

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**VYUŽITÍ ROSTLIN PRO RŮZNÉ PRVKY HOSPODAŘENÍ
S DEŠŤOVÝMI VODAMI**

UTILIZATION OF PLANTS IN DIFFERENT METHODS OF
STORM WATER MANAGMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. RNDr. Dana Komínková, Ph.D.

Bakalant: Hana Frintová

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hana Frintová

Krajinářství
Územní technická a správní služba

Název práce

Využití rostlin pro různé prvky hospodaření s dešťovými vodami

Název anglicky

Utilization of plants in different methods of storm water management

Cíle práce

Cílem práce je na základě literární rešerše vyhodnotit využití různých druhů rostlin v různých prvcích používaných při hospodaření s dešťovými vodami (zasakovací pásy, průlehy, biofiltry, zelené střechy a fasády), vyhodnotit jejich využitelnost pro daný typ opatření, různé klimatické podmínky a účinnost odstranění znečišťujících látek. Zmapovat situaci v ČR a porovnat se stavem v zahraničí.

Metodika

1) Literární rešerše

- a) nakládání se srážkovými vodami
- b) využití rostlin pro různé prvky nakládání s dešťovými vodami

2) Vytvoření seznamu rostlin používaných pro různé prvky hospodaření s dešťovými vodami

3) Porovnání situace v ČR a zahraničí

Doporučený rozsah práce
45 stran

Klíčová slova

nakládání s dešťovými vodami; rostliny; zasakovací pásy; zelené fasády; průlehy; biofiltry ;

Doporučené zdroje informací

- Baraldi R., Neri L., Costa F., Facini O., Rapparini F., Carriero G., 2019: Ecophysiological and micromorphological characterization of green roof vegetation for urban mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening* 37, S. 24-32.
- Gunawardena K. R., Wells M. J., Kershaw T., 2017: Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment* 584-585, S. 1040-1055.
- Nastran M., Kobal M., Eler K., 2019: Urban heat islands in relation to green land use in European cities. *Urban Forestry & Urban Greening* 37, S. 33-41.
- Xiao Xiao Li, Jun Jun Cao, a kol. (2018). Green roofs: Effects of plant species used on runoff. *Land Degradation and Development*. Volume 29, Issue 10, 3628-3638

Předběžný termín obhajoby
2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce
prof. RNDr. Dana Komínková, Ph.D.

Garantující pracoviště
Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2019

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 4. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 02. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Využití rostlin pro různé prvky hospodaření s dešťovými vodami“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, 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 vědoma, 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.

Ve Velkém Oseku dne 22. 03. 2020

.....

Hana Frintová

Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Daně Komínkové, Ph. D., za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala.

Abstrakt

Změna klimatu, urbanizace a ekologické zájmy jsou hybnou silou nových strategií hospodaření s dešťovými vodami. V urbanizovaném prostředí je výrazně omezena infiltrace srážek, které následně tvoří povrchový odtok obsahující řadu znečišťujících látek a kontaminantů. Dochází k častým povodňovým situacím a kontaminaci vodních toků. Dlouhá období sucha a vysoká intenzita slunečního záření v kombinaci s uměle vytvořenými aktivními povrchy mění mikroklima městských oblastí. Všechny tyto aspekty vedou k tvorbě nového udržitelného městského způsobu odvodnění, který k přirozenému návratu srážkové vody do hydrologického cyklu využívá přirozené hydrologické procesy jako je infiltrace, evapotranspirace, filtrace a retence. Nový způsob hospodaření s dešťovou vodou, který si již osvojila řada vyspělých států, jako prioritní řešení nabízí přírodě blízká „zelená“ opatření, jejichž základní funkční složku tvoří vegetace. Zelená opatření využívají přirozených schopností rostlin, kterými udržují či vytvářejí příjemnější městské mikroklima, čistí vzduch a snižují prašnost, přispívají k regulaci srážkového odtoku a odstraňování znečišťujících látek z povrchového odtoku, podporují městskou biologickou rozmanitost a zvyšují estetickou hodnotu.

Bakalářská práce nastiňuje vliv klimatických změn a urbanizace krajiny na hydrologický cyklus. Seznamuje se způsoby nakládání se srážkovými vodami, vyhodnocuje jejich výhody a přispění ke zlepšení vodního režimu a mikroklima městských oblastí. Na základě poznatků z odborných knih a periodik seznamuje s vlivem jednotlivých druhů rostlin na srážko-odtokový cyklus, odstranění znečišťujících látek a na celkové mikroklima městského prostředí. Z hlediska hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaných územích porovnává situaci v ostatních zemích s Českou republikou.

Klíčová slova

Hospodaření s dešťovou vodou, vsakování, evapotranspirace, využití rostlin, urbanizace

Abstract

Climate change, urbanization and environmental interests are forces giving rise to new rainwater management strategies. In the urban environment, precipitation infiltration is considerably limited, which results in surface runoff containing a range of pollutants and contaminants. As a result, floods are common and rivers and streams become contaminated. Long periods of drought and high intensity solar radiation, combined with artificially created active surfaces, have been changing the urban microclimate. All these aspects lead to the creation of new sustainable urban drainage solutions, using natural hydrologic processes such as infiltration, evapotranspiration, filtration, and retention to move precipitation water naturally back to the hydrologic cycle. A new rainwater management solution, which has already been adopted by a number of developed countries, is primarily based on “green” solutions close to nature. The key functional component of these solutions is vegetation. Green solutions use abilities natural to plants to maintain or create better urban microclimate, clean the air and reduce dustiness. Plants also naturally contribute to precipitation runoff regulation and removal of pollutants from the surface runoff. Apart from that, they support urban biodiversity and increase the aesthetic value of urban areas.

The bachelor’s thesis deals with the impact of climate change and landscape urbanization on the hydrologic cycle. The author describes precipitation water management solutions, assessing how they contribute to the improvement of the water regime and microclimate in urban areas. Based on expert literature, the thesis explores how specific plant species impact on the precipitation-runoff cycle, the removal of pollutants and the overall urban microclimate. The author compares rainwater management in urbanized areas in the Czech Republic and abroad.

Keywords

Storm water management, infiltration, evapotranspiration, utilization of plants, urbanization

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce	2
3	Vliv klimatických změn na hydrologický cyklus.....	3
3.1	Změny ve složení atmosféry	3
3.2	Funkce lesa ve spojitosti s klimatickými změnami.....	4
3.3	Klimatické změny v České republice.....	4
3.3.1	Sucho	4
4	Urbanizace	7
4.1	Důsledky urbanizace na složky životní prostředí.....	7
4.2	Místní klimatické efekty.....	8
4.2.1	Městské tepelné ostrovy	9
4.3	Syndrom urbanizovaných toků.....	9
4.4	Důležitost zachování přirozeného vodního cyklu v urbanizovaném povodí 10	
4.5	Význam městské zeleně	12
5	Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaných územích v ČR	14
5.1	Nové pojetí městského odvodnění v legislativě a normách.....	15
5.2	Podmínky a pravidla při volbě způsobu odvodnění dle principů HDV	16
5.3	Udržitelné městské odvodňovací systémy	17
5.4	Způsoby hospodaření s dešťovými vodami.....	18
6	Využití rostlin při hospodaření s dešťovými vodami	20
7	Zelené střechy	21

7.1	Typy zelených střech.....	21
7.1.1	Intenzivní zelené střechy	22
7.1.2	Polointenzivní zelené střechy	22
7.1.3	Extenzivní zelené střechy	23
7.2	Funkce a účinky zelených střech	23
7.2.1	Regulace srážkového odtoku.....	24
7.2.2	Regulace teploty a vlhkosti vzduchu	27
7.2.3	Snižování znečištění městského ovzduší.....	28
7.3	Vegetace zelených střech.....	30
7.3.1	Intenzivní ozelenění.....	31
7.3.2	Extenzivní ozelenění	32
7.4	Střešní substráty.....	34
8	Vegetační stěny.....	37
8.1	Zelené fasády	39
8.2	Vertikální zahrady.....	40
9	Systémy biologické retence	43
9.1	Úloha rostlin v systémech biologické retence.....	44
9.2	Hydrologické funkce bioretenčních systémů	45
9.3	Úprava kvality vody prostřednictvím bioretence	47
9.3.1	Odstraňování suspendovaných pevných látek a uhlovodíků	47
9.3.2	Redukce těžkých kovů bioretenčními systémy.....	48
9.3.3	Odstraňování dusíku a fosforu systémy bioretence	49
9.4	Vegetace bioretenčních objektů.....	50

9.4.1	Vegetace dešťových zahrad	51
9.4.2	Vegetace v ulicích měst.....	53
10	Situace v ostatních zemích z hlediska hospodaření s dešťovými vodami v porovnání s ČR.....	59
10.1	Přírodě blízké hospodaření s dešťovou vodou v Německu	59
10.2	Rozvoj s nízkým dopadem v USA.....	61
10.3	Udržitelný městský odvodňovací systém ve Velké Británii	61
10.4	Hospodaření s dešťovými vodami v České republice.....	62
11	Závěr.....	65
12	Použitá literatura	67
13	Seznam tabulek, obrázků a grafů	79
	Přílohy	81

1 Úvod

V posledních letech jsou předmětem velkého zájmu odborníků i laické veřejnosti klimatické změny. Dle souhrnné zprávy Páté hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu je s 95 % shodou zřejmé, že hlavní příčinou probíhající změny klimatu je zvýšení antropogenních emisí skleníkových plynů, a to převážně vlivem ekonomického a populačního růstu od dob před průmyslovou revolucí (IPCC 2014). Nejočividnějším ukazatelem klimatické změny je každoroční nárůst průměrné teploty Země, který je doprovázen narůstajícím počtem extrémních projevů počasí (Braniš et Hůnová 2016). V České republice se klimatické změny projevují především nárůstem teplot jak dlouhodobých průměrných ročních, tak i extrémních teplot ve vegetačním období, distribucí srážek v podobě menšího počtu srážkových dnů a intenzivnějších dešťů. Důsledkem je častější výskyt povodní a prodlužující se období sucha (Černochoch 2017).

Česká republika leží na rozvodnici tří moří: Severního, Baltského a Černého. Téměř veškeré její významnější toky odvádějí vodu na území sousedních států. Vzhledem k této skutečnosti jsou naše vodní zdroje naprosto závislé na atmosférických srážkách a každá odchylka od klimatického normálu se promítá v hydrologickém cyklu krajiny (MŽP, 1997). Na značném narušení vodního režimu krajiny se již podepsala morfologická degradace většiny vodních toků a intenzivní zásahy do přírodních ekosystémů probíhající v 19. a 20. století. Téměř všechna opatření provedená v tomto období měla za následek rychlý odvod vody z krajiny. Intenzivní zemědělské a lesní hospodaření, rozvoj průmyslu a následná rostoucí míra urbanizace krajiny v kombinaci s probíhajícími klimatickými změnami tak rozpoutaly vlnu negativních dopadů na vodní zdroje (Cílek et. al. 2017). Vzniklá, dlouhodobě neudržitelná situace si vyžaduje nápravu nevhodných zásahů a minimalizaci negativních dopadů pomocí přírodě blízkých opatření, které podporují přirozené hydrologické procesy a přispívají tak k zachování přirozeného vodního cyklu (MŽP 2015).

2 Cíle práce

Cílem práce, je na základě literární rešerše vyhodnotit využití různých druhů rostlin v různých prvcích používaných při hospodaření s dešťovými vodami (zasakovací pásy, průlehy biofiltry, zelené střechy a fasády) a poskytnout seznam používaných rostlinných druhů. Vyhodnotit jejich využitelnost pro daný typ opatření, různé klimatické podmínky, účinnost odstranění znečišťujících látek a regulaci odtoku a zmapovat a porovnat situaci v České republice a porovnat ji se stavem v zahraničí.

3 Vliv klimatických změn na hydrologický cyklus

Naše planeta v posledních letech čelí nebývalým klimatickým změnám v podobě častějších výskytů extrémních událostí, jako jsou vichřice, vlny veder, povodně a sucha, které vytvářejí stále větší tlak na vodní útvary. Klimatické změny očekávané v průběhu 21. století zahrnují pokračující nárůst průměrné teploty vzduchu, častější vlny veder, extrémnější srážky a zvýšený výskyt bouří, vzestup průměrné hladiny oceánu a jeho okyselování a s tím související záplavy, sesuvy půdy, znečištění ovzduší, nedostatek vody a zvýšené riziko vyhynutí velké části živočišných a rostlinných druhů (IPCC 2014). Vyšší teploty souvisejí s nárůstem celkového výparu, který je ovšem limitován zásobou vody v půdě a v povrchových vrstvách. V případě, že by nedošlo ke kompenzaci výparu vyššími srážkami, budou tyto zásoby vyčerpány, což by znamenalo zvýšený výskyt horkých vln a sucha. Narůstající teplota vzduchu a schopnost atmosféry pojmout a udržet více vody má také vliv na výskyt závažnějších srážkových extrémů zejména v letním období. V zimních měsících zvyšování teploty znamená změnu srážkového charakteru ze sněhu na déšť a dřívější tání sněhu (Černoch 2017). Tento klimatický vývoj by vedl ke zvýšenému povrchovému odtoku, snížení dotace podzemních vod, poklesu průtoků zejména v bezsrážkových obdobích a k omezení vydatnosti dostupných vodních zdrojů (Kadlecová 2016). Hybnou silou těchto klimatických změn je závislost našich ekonomik na fosilních palivech, způsoby využívání půdy a celosvětové odlesňování vedoucí ke zvýšení emisí skleníkových plynů v atmosféře (IPCC 2014).

3.1 Změny ve složení atmosféry

Vodní pára, oxid uhličitý a metan, ale také oxid dusný, fluorované a chlorované uhlovodíky patří do skupiny skleníkových plynů obsažených v atmosféře, které mají schopnost absorbovat tepelnou energii emitovanou zemským povrchem. Svou přítomností v atmosféře udržují tepelnou stabilitu Země, tzv. skleníkový efekt. Vyšší koncentrace těchto plynů způsobuje zesílení přirozeného skleníkového efektu, jehož důsledkem je oteplování oceánů a následné oteplování celé planety (Braniš et Hůnová 2016). Rozdílné povrchové teploty mezi souší a oceánem mění větrné proudění přenášející vodní páru nad kontinenty, čímž je ovlivněn koloběh vody. V mnoha místech Země tak dochází k nepředvídatelným a neobvyklým projevům počasí spojených s povodněmi či obdobími sucha (Cílek et al. 2017). Povodňové události, ke kterým dochází v posledních desetiletích v Evropě, jsou spojovány

především s extrémními srážkami připisovanými právě klimatickým změnám (Besselaar et al. 2013).

3.2 Funkce lesa ve spojitosti s klimatickými změnami

Významnou funkci v ovlivnění klimatických změn, ale také vodního cyklu, plní lesní ekosystémy. Lesy jsou významným zdrojem kyslíku, úložištěm oxidu uhličitého a lapačem prachových částic (Pokorný et Hesslerová 2011). Intercepcí srážek a vysokou schopností absorpce bylinného patra snižují extrémní odtoky z lesních povodí, riziko vzniku povodní a podporují dotaci podzemních vod (Vančura 2006). Díky specifickému mikroklimatu, které je v lese vytvářeno, dochází ke snižování teplotních extrémů a udržování stabilně vlhčího ovzduší. Zásluhou evapotranspirace patří funkční les k nejchladnějším ekosystémům. Význam lesů a celé biosféry spočívá v udržení dynamické rovnováhy ve složení atmosféry a v distribuci sluneční energie a vody na pevninách. Celosvětový nárůst pastvin, zemědělských a urbanizovaných ploch na úkor původních ekosystémů a rozsáhlé odlesňování krajiny se promítá do teplotních změn, ale také do množství a kvality vody v oběhu (Pokorný et Hesslerová 2011).

3.3 Klimatické změny v České republice

V České republice se klimatické změny projevují především nárůstem průměrných ročních teplot doprovázených extrémními projevy počasí v podobě horkých dnů, sucha a intenzivnějších dešťů při poměrně stálých dlouhodobých srážkových úhrnech (Havelková et al. 2017). V období mezi rokem 1961 až 2018 vykazoval nejvyšší teploty na území ČR právě rok 2018. Průměrná roční teplota vzduchu (9,6 °C) byla o 1,7 °C vyšší než průměrné roční teploty naměřené v letech 1981 až 2010. Rok 2018 tak teplotně překonal doposud nejteplejší roky 2014 a 2015 s průměrnou teplotou 9,4 °C (Crhová et al. 2019). Suchá období v kombinaci s mírnými zimami, minimální sněhovou pokrývkou a intenzivními dešti souvisí s narušením hydrologického cyklu promítajícího se do množství a kvality povrchové i podzemní vody (Černoch 2017).

3.3.1 Sucho

Předcházející fakta poukazují na skutečnost, že jedním z hlavních problémů, které s sebou přináší antropogenně podmíněná změna klimatu, je nepochybně sucho

vyvolávající řadu dalších negativních procesů. Sucho lze zjednodušeně charakterizovat jako stav nedostatku vody v dané lokalitě oproti její průměrné hodnotě (Brázdil et al. 2015). Většinou se jedná o jev nahodilý, vyskytující se z velké části v obdobích podnormálních srážek v trvání několika dní až měsíců (ČHMÚ 2019). Nedostatek srážek bývá doprovázen větším počtem hodin slunečního svitu, vysokou teplotou vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu nebo sníženou retenční schopností půdy podporující ztrátu vody evapotranspirací (Brázdil et al. 2015). Intenzitu sucha lze vyhodnotit pomocí tzv. indexů sucha, které se opírají o množství a rozdělení srážek v kombinaci s hodnotami evapotranspirace, případně se schopností půdy zadržet vodu. Jedním z používaných indexů sucha u nás je Standardizovaný srážkový evapotranspirační index SPEI (Trnka et al. 2016). SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) patří mezi indexy, jež umožňují hodnotit sucho s využitím denních meteorologických měření. K výpočtu se využívá sjednocení rozdílu úhrnu srážek a potenciální evapotranspirace travního porostu za dané období (1 až 6 měsíců) pomocí statistického rozdělení pravděpodobnosti (ČHMÚ 2019).

Sucho lze rozlišovat z několika pohledů. Z hlediska projevů a časového měřítka lze rozlišovat sucho klimatické, půdní a hydrologické. Z hlediska dopadů a časového měřítka na zemědělské, půdní a socioekonomické, které již sebou přináší rozsáhlé dopady na ekonomiku a fungování celé společnosti (Brázdil et al. 2015; ČHMÚ 2019). Prvotní příčinou sucha v přírodních podmínkách České republiky je nedostatek atmosférických srážek. Vlivem nárůstu bezesrážkových dnů nebo dnů s podprůměrnými srážkami v dané oblasti během určitého období dochází k záporným výsledkům ve vodní bilanci a ke stupňování důsledků sucha. Nejprve se projevuje tzv. sucho půdní neboli zemědělské. Prvotním příznakem je nedostatek vody v kořenové vrstvě půdního profilu, tedy nedostatek půdní vlhkosti, která je společně s teplotou půdy a teplotou vzduchu nejdůležitějším meteorologickým faktorem ovlivňujícím vývoj a produktivitu rostlin (Brázdil et al. 2015). Následkem dlouhodobého nedostatku srážek je tzv. sucho hydrologické. Projevuje se nedostatkem zdrojů povrchových vod (nižšími průtoky ve vodních tocích, hladinami jezer a nádrží) a s určitým časovým odstupem se promítá do zásob podzemních vod, které mají velmi významnou roli v oběhu vody v přírodě (Soukalová et Muzikář 2015).

Z celkového množství srážkové vody se do podzemí vsákne pouhých 10 až 25 %. Značná část je spotřebována vegetací, odvedena řekami do moří, anebo je vypařena. Vzhledem k závislosti veškerých zdrojů včetně zásob podzemních vod

na atmosférických srážkách, jde pouze o pomíjivou část (Kadlecová 2016), která je kromě přírodních faktorů výrazně ovlivňována činností člověka. Tyto antropogenní zásahy zahrnující výstavbu hustých silničních sítí, úpravy vodních toků, zábory půdy a především urbanizaci, představují radikální změny v přírodních procesech, včetně přirozeného režimu povrchových a podzemních vod (Pokorná et Záborská 2008; Soukalová et Muzikář 2015).

4 Urbanizace

V současné době je očekáváno, že do roku 2050 budou žít v městském prostředí dvě třetiny lidské populace, což představuje oproti dnešním 54 % významný nárůst. V rámci Evropy, která je jedním z nejvíce urbanizovaných kontinentů, osídluje městské oblasti 73 % obyvatel. Pro města to znamená velkou zátěž, a to jak v oblasti vytvoření příznivých životních podmínek pro obyvatele, tak i v oblasti klimatických změn, které jsou vlivem fyzických aspektů městské krajiny umocňovány (Nastran et al. 2019). Intenzita rostoucích městských aglomerací v relativně krátkém časovém rozpětí zejména v rozvíjejících se státech tzv. třetího světa způsobuje řadu problémů především v neodpovídající technické a sociální infrastruktuře (Mouliček 2008).

Suburbanizace, nejdynamičtější urbanizační proces přeměny lidských sídel, je doprovázena řadou environmentálních, sociálních a ekonomických faktorů, které mají negativní dopad na životní prostředí. Představuje vznik velkých metropolí a jejich aglomerací, kde se soustřeďuje stále větší podíl obyvatelstva, ekonomických aktivit a obslužných funkcí. V posledních letech dochází k plošnému rozrůstání suburbánní výstavby ve většině obcí v zázemí větších měst. Lidé opouštějí trend bydlení v bytových domech center měst a stěhují se do bytů v rodinných domech v příměstských oblastech (Sýkora 2003). Nejedná se pouze o výstavbu tzv. satelitních městeček, ale zejména o rozsáhlé skladovací, průmyslové nebo obchodní objekty doplněné o novou silniční infrastrukturu podporující zvýšený objem tranzitní a automobilové dopravy (Ouředníček 2011).

4.1 Důsledky urbanizace na složky životní prostředí

S narůstající koncentrací světové populace v městských oblastech se zvyšuje i tlak kladený na přírodní ekosystémy (Shuster et al. 2005). Urbanizace v některých lokalitách zcela pozměnila krajinný ráz i životní prostředí. Vysoká koncentrace průmyslu, a s tím spojené nevyhnutelné služby obyvatelstvu, znásobily negativní dopady na životní prostředí, jako je hluchost, znečištění vod a ovzduší, nadměrný a nenávratný zábor zemědělských půd pro stavební a výrobní účely či potlačení přírodních prvků v městských oblastech (Ouředníček 2011). Nová výstavba vytváří nové tvary reliéfu krajiny v podobě náspů, hald a protihlukových valů (Chuman et Romportl 2011). Vegetační a mokřadní plochy s přirozenou retenční schopností jsou nahrazovány nepropustnými povrchy komunikací, střech a budov a veškeré vody jsou

odváděny stokovou sítí (Shuster et al. 2005). Krajina ztrácí retenční schopnost, klesá infiltrace a zrychluje se povrchový odtok. Nedostatečným či zcela chybějícím vegetačním pokryvem dochází ke snížení celkového výparu a umocňování povrchového odtoku. Nárůst nepropustných ploch v městských povodích způsobuje změny v hydrologii a geomorfologii toků. Dochází ke zvýšenému zatížení vodních toků živinami, těžkými kovy, pesticidy a dalšími kontaminanty. Tyto změny mají za následek konzistentní pokles bohatství řas, bezobratlých a ryb v městských tocích. (Paul et Meyer 2001).

4.2 Místní klimatické efekty

Topoklima (místní klima) neboli reliéfové podnebí je převážně utvářeno vlivem členitého georeliéfu a jeho aktivním povrchem (Středová et al. 2011). Časoprostorová proměnlivost klimatu často vyvolává uvnitř území se specifickým topoklimatem klimatické odchylky označované jako místní klimatické efekty (MKE), které mohou vést k vážným důsledkům v krajině. Vznik MKE se na rozdíl od globálních klimatických účinků pojí s místními geografickými podmínkami. Jedná se především o projevy interakce mezi charakterem tvaru aktivního zemského povrchu a jeho pokryvem, které se promítají do energetické bilance a společně s meteorologickými podmínkami bezprostředně ovlivňují topoklima jako celek. Klimatické charakteristiky jednotlivých lokalit, např. urbánní krajiny, která má své specifické mikroklima, se můžou v porovnání s charakterem topoklimatu širšího okolí značně lišit (Vysoudil 2009). Teplotní poměry v urbanizovaných oblastech souvisí především se specifickými vlastnostmi prostředí městské zástavby, která se v porovnání s volnou krajinou značně liší (Voogt et Oke 2003). Vzhledem k uměle vytvořenému aktivnímu povrchu, který převládá nad povrchy s vegetačním pokryvem a vodními plochami se urbanizovaná krajina oproti jiným lokalitám stává místem vzniku a výskytu extrémnějších projevů místních klimatických efektů spojených především s termickými procesy, změnami proudění, výparem a kondenzací vody v atmosféře, které jsou pro urbánní prostředí charakteristické (Rožnovský 2003; Vysoudil 2010). Na základě těchto změn v energetické bilanci vznikají mikroklimatické jevy v podobě tepelných ostrovů, ostrovů chladu, snížené viditelnosti, vyšší koncentrace aerosolů, vyšších srážkových úhrnů, městských povodní či kaňonového efektu (Vysoudil 2010; Středová et al. 2011; Supuka 2018).

4.2.1 Městské tepelné ostrovy

Městské prostředí vykazující vlastní mikroklima je typicky teplejší než okolní venkovské oblasti. Tento jev, typický pro uzavřené městské oblasti, známý jako efekt městského tepelného ostrova (UHI Urban Heat Island) je z velké části výsledkem změn povrchových vlastností v oblastech městské zástavby a jejího bezprostředního okolí a nedostatkem povrchů s vegetačním pokryvem a vodních ploch. Vyznačuje se větší absorpcí slunečního záření, snížením klimatizačních schopností a evaporačních poměrů (Gunawardena et al. 2017, Pickett et al. 2001). Trvání a velikost UHI je dána prostorovou heterogenitou městské krajiny. Se zvyšujícím se procentem umělých povrchů, které jsou charakteristické především velkou tepelnou kapacitou a nepropustností a nárůstem vertikálních ploch bránících proudění vzduchu rostou i teplotní rozdíly mezi danými oblastmi (Pickett et al. 2001; Pokorný et al. 2018). Na intenzitě tepelného ostrova se podílí také velikost měst a rostoucí hustota obyvatelstva související se zvýšeným využíváním energií spojených s chlazením či vytápěním prostor, průmyslovými aktivitami a dopravními prostředky. Vyšší koncentrace kondenzačních částic v městské atmosféře vlivem zvýšených teplot, v kombinaci s nepropustnými povrchy, způsobuje změny srážkového režimu dané lokality, které se projevují vyšším výskytem srážek (o 5 až 10 %) a přízemních inverzí (Pickett et al. 2001). Zatím co lidské aktivity ve městech, jakožto produkční článek antropogenních emisí, mají potenciál zvýšit množství tepelné energie uvolněné do městského klimatu, počasí, povětrnostní situace, městské a geografické rysy slouží jako prostředek ke změně její intenzity a distribuce (Gunawardena et al. 2017).

4.3 Syndrom urbanizovaných toků

Městský rozvoj klade velký tlak na původní ekosystémy, ale také ovlivňuje dynamiku městského prostředí jako ekosystému. Toky mající v městských oblastech důležitou roli, jsou vlivem tohoto rozvoje přetvářeny a znehodnocovány. Ztrácí své přirozené funkce a vlastnosti, dochází k jejich degradaci a změnám v hydrologii celého povodí. Pojem „syndrom urbanizovaných toků“ (urban stream syndrome) popisuje pozorovanou ekologickou degradaci vodních toků protékajících městskými oblastmi. Známky syndromu urbanizovaných toků se projevují zvýšeným výskytem bleskových povodní způsobených změnami hydrologických podmínek, zvýšenou koncentrací živin a kontaminantů, změnou morfologie a stability koryta a sníženou biotickou

diverzitou vodních toků se zvýšenou dominancí tolerantních druhů (Walsh et al. 2005). Počátek mnoha uvedených symptomů degradace vodních toků má spojitost především s procentuálním nárůstem nepropustných povrchových vrstev (ISC Impervious Surface Cover) na úkor vegetačních ploch v povodí. Zvýšený podíl těchto ploch omezuje vsakování a celkový výpar srážkových vod a zároveň způsobuje rapidní nárůst objemu povrchového odtoku, který je při 75-100 % ISC v porovnání se zalesněným povodím více jak pětinasobný (Paul et Meyer 2001). V kombinaci s efektivnějším transportem odtoku stokovými systémy a neúměrným přetvářením koryt toků dochází během dešťových událostí k rychlejším nástupům povodní, vyšším a častějším povodňovým průtokům oproti suchým obdobím, kdy průtoky nedosahují ani minimálních přirozených průtoků (Walsh et al. 2005).

Změny hydrologických podmínek, zejména vliv tzv. korytotvorných, plnokapacitních průtoků, se společně s antropogenními zásahy odráží v morfologii koryt toků. Koryta ztrácí přirozenou schopnost přizpůsobit se dlouhodobým změnám v transportu sedimentu a změnám v režimu proudění. Mění se sedimentační procesy, koryta jsou méně stabilní a více ohrožená erozí. Dochází ke zvýšenému prohlubování a rozšiřování dna i břehů koryta, což vede ke snižování kvality vody a ztrátě stanovišť mnoha společenstev (Walsh et al. 2005). Míra znečištění vody a sedimentů těchto toků závisí na rozsahu a typu urbanizace (obytné, komerční či průmyslové), přítomnosti čistíren odpadních vod nebo zaústění z odlehčovacích komor jednotné kanalizace, ale také na rozsahu odvodnění dešťové vody. Působení uvedených symptomů včetně zvýšení teploty vody v tocích odvíjející se od podílu ISC má za následek snížení biologické biodiverzity vodních společenstev (Paul et Meyer 2001). Zejména u populace ryb a bezobratlých, kde index biologické integrity (IBI Index of Biological Integrity) vycházející z dostupnosti energie (potravy) ve stanovišti, biotické interakce, kvality vody a struktury stanoviště se stoupajícím procentem ISC prudce klesá (Paul et Meyer 2001; Plesník 2010). IBI se využívá při hodnocení schopnosti přírodních vodních ekosystémů dlouhodobě udržet vyrovnané společenstvo, nejčastěji ryb (Plesník 2010).

4.4 Důležitost zachování přirozeného vodního cyklu v urbanizovaném povodí

Hydrologický cyklus neprobíhá pouze na globální úrovni, ale také na úrovni jednotlivých povodí. Základní vstupní jednotku koloběhu vody v povodí tvoří

atmosférické srážky dopadající na dané povodí, které jsou pomocí srážko-odtokového procesu transformovány na odtok. Zjednodušeně řečeno se jedná o zachycení srážkové vody na vegetaci, předmětech (intercepce) nebo zadržení v rybnících, mokřadech či terénních depresích (retence). Určité množství vody se vypaří (transpirace, evapotranspirace), odteče povrchovým odtokem nebo se vsákne do půdy (infiltrace), odkud odtéká po svahu hypodermickým odtokem či prosákne do hlubších vrstev, kde doplní zásoby podzemní vody dotující vodní toky v období sucha. Celý tento složitý proces přeměny srážkové vody na odtok je ovlivňován řadou klimatických a fyzicko-geografických faktorů (Chmelová et Frajer 2014). Do skupiny klimatických činitelů, ovlivňujících především celkový výpar vody z povodí, patří kromě příčinných srážek také vlhkost a teplota vzduchu, rychlost a směr větru a atmosférický tlak. Fyzicko-geografičtí činitelé určují především dynamiku transformace srážek na odtok vody a významně ovlivňují velikost a časový průběh odtoku. Jedná se především o vliv plochy, tvaru a svažitosti povodí, meandrování toků, hustoty říční sítě, drsnosti koryta, geologických a pedologických poměrů či vegetačního pokryvu (Starý 2005), ale také o vliv míry urbanizace, která zamezením infiltrace vody do půdy a hladkými umělými povrchy zvyšuje odtokový koeficient povodí, a tedy i hodnotu maximálního odtoku (Pokorná et Zábranská 2008). Ovlivnění některého z jednotlivých dílčích procesů srážko-odtokového cyklu má zásadní vliv na výsledek hydrologické bilance daného povodí. V hydrologii se bilance vztahuje k určitému časovému období, zpravidla k hydrologickému roku a udává vztah mezi vstupy v podobě srážek, přítoku a zásob vody a výstupy, kam řadíme výpar, odtok a úbytek vody z vodních zdrojů (Chmelová et Frajer 2014). Hodnoty prvků bilanční rovnice a její výsledek vypovídají o podílu jednotlivých složek v celkovém odtoku a o stavu pokrytí potřeb a ztrát vody v povodí. V případě záporné bilance nejsou vstupy schopny pokrýt výstupy a zásoby vody se ztenčují. Naopak kladná bilance vede k uspokojení veškerých potřeb a zároveň k doplňování zásob vodních zdrojů (Kemel 1996).

K nejzásadnějším změnám přirozeného koloběhu vody, které se promítají i do volné přírody, dochází především v urbanizovaných oblastech. Příčinou je silné narušení srážko-odtokového cyklu způsobené omezením přirozeného odpařování a infiltrace srážkových vod vlivem vysokého podílu nepropustných ploch a nevhodných způsobů odvádění, které je ve většině případů zajištěno prostřednictvím jednotné stokové sítě (Lhotáková, 2013). Rychlé odvedení srážkové vody a nepropustnost povrchu, umocněné globální změnou klimatu, má za následek zvyšující se četnost kulminačních průtoků způsobujících lokální záplavy a povodně a rychlý odtok vody

z povodí, aniž by došlo k nasycení půdního profilu a k doplnění zásob podzemních vod. Mimo negativních účinků na vodní bilanci má typ městského odvodnění také vliv na mikroklima v městských aglomeracích a znečištění vodních toků během přívalových srážek (Vítek et al. 2015). Narušení přirozeného hydrologického režimu ohrožuje životní prostředí i energetický režim v prostředí velkých měst. Městská zeleň nedostatečně zásobována vodou, tak nemůže plnit její hlavní úlohu nejúčinnějšího a nejlevnějšího klimatického zařízení přispívajícího ke zvýšení kvality života ve městech (Stránský 2013). Zásadním řešením, které by mohlo danou situaci změnit, je především změna v přístupu k hospodaření s dešťovou vodou a k vodě jako takové a podpora začlenění většího množství vegetace do městských oblastí (MŽP 2015).

4.5 Význam městské zeleně

Městská zeleň je v očích většiny lidí chápána pouze jako estetický prvek zahrad, parků a městských prostranství nebo místem relaxace a odpočinku. Z pohledu ekologie, meteorologie, hydrologie či pedologie se však jedná o nenahraditelný prvek, který má v městském ekosystému, po produkci kyslíku, řadu dalších důležitých funkcí (Pokorný et al. 2018). Klíčová úloha městské zeleně v parcích, ulicích nebo na budovách domů, spočívá především v klimatizační schopnosti, kterou dokáže v městských oblastech udržet, či vytvořit příjemnější mikroklima i přes působení silného slunečního záření, vysokých teplot, případně silných mrazů (Pondělničková 2014). Vlivem evapotranspirace, zachycení části slunečního záření a zastínění povrchů ovlivňuje proces chlazení (Nastran et al. 2019). Sluneční energie je ve vegetaci zásobené vodou vázána prostřednictvím vody a rostlin v podobě vodní páry. Během dne dokáže výparem vody ochlazovat své okolí a v noci uvolňováním nahromaděného tepla své okolí oteplovat. Tento mechanismus tak napomáhá ke snížení teplotních rozdílů mezi denní a noční dobou (Pokorný et al. 2018), snižuje tepelný stres v důsledku UHI, způsobený vyššími teplotami v uzavřených městských oblastech vlivem uvolňování nahromaděného tepla z komunikací, budov a ostatních materiálů pohlcujících sluneční energii, nedostatkem vlhkosti vzduchu a větrného proudění a zlepšuje životní podmínky městských obyvatel. Chladicí efekt zelených ploch závisí především na typu a uspořádání vegetace. Větší plochy poskytují větší ochlazení než menší (Nastran et al. 2019) a v rámci druhového složení mají lesní plochy větší chladicí účinek než travní porosty (Pokorný et al. 2018). Neméně důležitou roli v urbánních oblastech představuje také retence a infiltrace vody, která

probíhá především v přízemní vegetaci a v půdě stromových porostů vyznačujících se vysokou jímavostí vody (Armson et al. 2013; Baptista et al. 2018; Nagase et Dunnett 2012; Trinh et Ghui 2013; Xiao et McPherson 2016; Zölch et al. 2017;) a schopnost rostlin zachycovat prachové či jiné škodlivé částice a pohlcovat plynné sloučeniny oxidu uhličitého, které zvyšují prašnost a zhoršují kvalitu ovzduší (Baraldi et al. 2019). Z hlediska biodiverzity je nutné poukázat na schopnost jednotlivých solitér či provázaných stanovišť městské zeleně stát se samostatným biotopem pro řadu dalších rostlinných nebo živočišných druhů, které by jinak v tomto prostředí nepřežili a poskytnout jim tak potřebné útočiště (Pondělníček 2014). Výčet základních funkcí nebo spíše schopností městské zeleně svědčí o její široké škále pozitivních účinků na městský ekosystém a o důležitosti v poskytování řady ekosystémových služeb, na kterých jsou lidé z hlediska existence a udržení určité životní úrovně závislí (Pokorný et al. 2018).

5 Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaných územích v ČR

Jedním z hlavních cílů hospodaření s dešťovou vodou (HDV) v urbanizovaných povodích je zavedení efektivnějšího hospodaření se srážkovými vodami (Vítek et al. 2015) přispívající ke zmírnění vlivu urbanizace na hydrologický režim krajiny a vodní ekosystémy (Krejčí et al. 2002). Snahou HDV je především řešit příčiny negativního dopadu urbanizace na hydrologický cyklus, nikoliv pouze chránit před důsledky. Nabízí širší škálu možností, kam a jak srážkovou vodu odvést, a to v souladu se zachováním přirozeného hydrologického cyklu. Jde o zcela odlišný přístup k dešťové vodě než u tradičního způsobu odvodnění, který v první řadě nabízí odvedení dešťových vod z městských oblastí co nejkratší cestou pomocí kanalizace nebo přímo do vodního recipientu. I když HDV využití stokové sítě zcela nevyklučuje, jedná se pouze o krajní řešení, kdy jsou již veškeré možné či přípustné varianty vyčerpány (Vítek et al. 2015).

Způsob odvodnění městských oblastí, který byl vyvinut v polovině 19. století a který je v mnohých městech či obcích využíván stále, se zaměřoval především na problémy týkající se hygieny a ochranu nemovitostí před záplavami. Prioritou bylo rychlé odvedení splaškové i dešťové vody mimo městskou zástavbu pomocí jednotné stokové sítě přes čistírnu odpadních vod do vodního recipientu. Mnohdy ještě původní stokové systémy nebyly na tak velký objem odpadních a srážkových vod, který vlivem rychlé a rozsáhlé urbanizace krajiny a měnícího se klimatu stále narůstá projektovány (Krejčí et al. 2002). Výsledkem jsou častá překročení kapacity stokového systému způsobené rostoucími hodnotami intenzity a periodicity výskytu dešťových událostí a nárůstem nepropustných ploch zvyšujících objem povrchového odtoku. V takových případech pak nejsou stokové systémy schopny povrchový odtok bezpečně odvést. Dochází k zahlcení uličních vpustí i celého odvodňovacího systému, mísení srážkové vody s vodou splaškovou, zaplavení okolního území a kontaminaci vodních toků znečišťujícími látkami z městských povrchů i kanalizačních sítí. Tento systém odvodnění se ukazuje jak z ekonomického, tak z ekologického hlediska dlouhodobě neudržitelný (Vítek et al. 2015).

Nové pojetí městského odvodnění má zcela jiné priority. Nabízí způsoby, jak lze neudržitelnost současného stavu nakládání se srážkovými vodami změnit. Dává přednost přirozenému způsobu odvodnění a přispívá k eliminaci negativních účinků urbanizace. Podporuje především opatření, která redukuje objem, zpomalují

transformaci srážkové vody na odtok a zachovávají či napravují přirozenou vodní bilanci. Cílem je, co nejvíce se přiblížit přirozenému režimu podzemních a povrchových vod, který v krajině probíhal ještě před urbanizací (Krejčí et al. 2002). Základ tvoří decentrální způsob odvodnění, který nejlépe naplňuje zásady HDV. Jeho princip spočívá v návratu dešťové vody do přirozeného vodního cyklu, zdůrazňuje podporu zadržování a vsakování dešťové vody co nejbližší místu spadnutí, usiluje o zapojení vegetace a hydrologických prvků v systému městského odvodnění, ale také o využívání dešťové vody při běžných činnostech místo vody pitné. Výsledný efekt přináší řadu ekologických i ekonomických pozitiv. Schopnost povrchu zadržet a propustit vodu přispívá ke snížení rychlosti a objemu povrchového odtoku, zvyšuje doplňování zásob podzemních vod a podporuje ochranu vodních toků a jejich společenstev (Stránský et al. 2007). Navýšením vegetačních ploch, které působí mimo jiné také jako přírodní klimatizační zařízení lze docílit zlepšení mikroklimatu a celkového zkvalitnění městského prostředí (Pokorný et al. 2018). Z ekonomického hlediska se jedná především o snižování zvyšujících se nákladů na protipovodňová opatření či rekonstrukce a stavby čistíren odpadních vod a stokových sítí, které jsou vlivem silného narušení přirozeného koloběhu vody a klimatických změn značně přetěžovány (MŽP 2015).

5.1 Nové pojetí městského odvodnění v legislativě a normách

Přenesení těchto principů do návrhů městského odvodnění přináší řadu nových legislativních opatření, změn a pravidel, která je nutné dodržovat a řídit se jimi, ale také lepší klima, menší rizika a škody a větší úspory. Mezi základní strategické dokumenty, ve kterých je oblast hospodaření se srážkovými vodami z hlediska plánování v oblasti vod nebo územního rozvoje zdůrazňována, patří Plán hlavních povodí České republiky a Politika územního rozvoje České republiky (Vítek et al. 2015). Z právních předpisů vztahujících se k novému způsobu odvodnění měst lze uvést zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, který tvoří základní legislativní předpis obsahující, mimo jiné, definici srážkových vod a určující podmínky obecného nakládání se srážkovými vodami a vyhlášku č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, obsahující ve svém znění určité požadavky na řešení srážkových vod (Stránský 2013). Legislativní předpisy byly postupně doplněny technickými normami, které reagují na současné tendence a předpisy v oblasti vodního a stavebního práva a předkládají návody, jak by se mělo při hospodaření se srážkovými vodami postupovat. Technická norma ČSN 75 9010

Vsakovací zařízení srážkových vod z roku 2012 uvádí vsakování srážkových vod jako jeden ze způsobů HDV. Určuje základní principy pro návrhy, výstavbu a následný provoz podzemních a povrchových vsakovacích zařízení jednotlivých staveb, neřeší však jejich souvislost s celým městským odvodňovacím systémem (Vítek et al. 2015). Odvětvová technická norma TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami z roku 2013, která vznikla na základě doplnění normy předešlé, se věnuje způsobům nakládání se srážkovými vodami odtékajícími z povrchů urbanizovaných území a komplexně řeší problematiku HDV. Uvádí, jak postupovat při správném výběru příjemce srážkových vod a technického řešení. Zabývá se problematikou znečištění srážkových vod, kde uvádí výčet řešení dle míry jejich znečištění. Popisuje objekty decentrálního způsobu odvodnění, které jsou při hospodaření se srážkovými vodami používány, určuje výpočetní postupy pro jejich dimenzování a poskytuje informace o jejich provozu a údržbě (MŽP 2015). Současná legislativa ČR, ze které vyplývají konkrétní postupy při volbě způsobu odvodnění staveb a která preferuje principy HDV, se týká pouze nových staveb, změn staveb nebo změn jejich využití, nevztahuje se však na stávající zástavby (Stránský 2013).

5.2 Podmínky a pravidla při volbě způsobu odvodnění dle principů HDV

Hospodaření se srážkovou vodou nabízí širokou škálu technických opatření, které je možno přizpůsobit dle místně specifických podmínek. Usnadňuje to vytvořit systém městského odvodnění odrážející principy HDV, který lze aplikovat i v lokalitách, kde je návrh přírodě blízkého opatření velmi obtížný. Nejvyšší prioritou je přikládána především preventivním opatřením směřujícím k minimalizaci povrchového odtoku v místě vzniku např. využívání propustných povrchů, zelených střech, retence a přímého využívání srážkových vod a k redukci znečištění povrchového odtoku čištěním ulic, minimalizací solení v zimním období, omezením používání herbicidů, pesticidů a umělých hnojiv, která mají v udržitelném odvodnění měst velmi významnou roli (Stránský et al. 2007).

Zvolit způsob odvodnění vlastně znamená rozhodnout o příjemci srážkových vod, včetně vod z bezpečnostních přelivů. Příjemcem, do kterého je možné srážkovou vodu odvést, může být ovzduší, půdní a horninové prostředí, povrchová voda, akumulární nádrž pro další využití nebo jednotná kanalizace. Při jeho výběru se rozhoduje na základě právních priorit, místní přípustnosti a proveditelnosti, z čehož vyplynou technická řešení. Z hlediska přípustnosti se posuzuje míra ohrožení

kvality vody. Při návrhu je nutné srážkové vody rozlišovat dle stupně znečištění a počítat s případným řešením jejich předčištění. Proveditelnost se posuzuje z hlediska realizovatelnosti způsobu odvodnění, na základě hodnocení technicko-ekonomických aspektů (TNV 75 9011). Abychom dospěli ke správnému a účinnému způsobu odvodnění dané lokality, musíme se řídit určitými kritérii, která jsou při rozhodování o konkrétním opatření stěžejní. Jedná se především o geologické a hydrogeologické poměry dané lokality poskytující informace o složení zeminy, horninovém podloží a hydraulických poměrech a odhalující možnosti případného ovlivnění okolních staveb a zdrojů podzemních vod. Dalšími neméně důležitými kritérii jsou kvalita a množství srážkových vod, velikost odvodňované plochy, prostorové možnosti, lokální podmínky na stavebním pozemku a v jeho okolí a vlastnická práva dotčených i sousedních pozemků (MŽP 2015).

S ohledem na výše uvedená kritéria je prioritně podporováno vsakování do půdního a horninového prostředí, které patří mezi vysoce účinné způsoby decentrálního odvodnění. Dalším možným řešením je retence a regulovaný odvod do povrchových vod. K této variantě však lze přistoupit pouze v případě, že by vsakování bylo vzhledem k nevhodným hydrogeologickým podmínkám neproveditelné nebo by se jednalo o vsakování vod vysoce znečištěných představující podstatné environmentální riziko. Ve výjimečných případech, a to pouze při splnění podmínek neproveditelnosti či nepřípustnosti předchozích možností, se přistupuje k retenci a regulovanému odvodu srážkové vody jednotnou kanalizací (Stránský 2013).

5.3 Udržitelné městské odvodňovací systémy

Vytvoření udržitelného městského odvodňovacího systému, který by co nejlépe přispíval k přirozenému návratu srážkové vody do hydrologického cyklu a omezil nepříznivé dopady rostoucího objemu znečištěného odtoku dešťové vody, obnáší kombinaci postupů a systémů, které využívají a zlepšují přirozené procesy jako je infiltrace, evapotranspirace, filtrace a retence srážkových vod (Srishantha et Rathnayake 2017). Základem je decentrální způsob odvodnění. Decentralizační objekty zajišťují hospodaření se srážkovou vodou v místě spadu, zpravidla přímo na pozemku stavby nebo v jejich těsné blízkosti (TNV 75 9011). Zadržením srážkové vody v místě snižují intenzitu povrchového odtoku při přívalových, ale i běžných srážkových událostech, umožňují výpar, vsakování, čištění srážkové vody a její opětovné využívání (Vítek et al. 2015). V kombinaci s prvky zelené infrastruktury (ZI)

představují sjednocený, vysoce účinný a přírodě blízký způsob městského odvodnění, který nachází uplatnění téměř ve všech městských částech Srishantha et Rathnayake 2017.

5.4 Způsoby hospodaření s dešťovými vodami

Inovativní přístup k nakládání s dešťovými vodami svými postupy účinně redukuje nepropustné oblasti a snaží se udržovat přirozenou hydrologii. Podporuje zachování nezpevněných propustných ploch a zlepšení infiltrační kapacity i celkové kvality půdy, která je pro přirozené vsakování klíčová (Shafique et Kim 2017). Nabízí různá opatření od přírodě blízkých, až po ryze technická, jejichž výběr je podmíněn především geologickým a hydrogeologickým podmínkám a kvalitě vody (MŽP 2015). Prioritu klade na opatření podporující přirozené vsakování a retenci s využitím zelené infrastruktury, která je díky svému multifunkčnímu využití v mnoha zemích stále více podporována a implementována (Elmqvist et al. 2015; Shafique et Kim 2017; Srishantha et Rathnayake 2017; Tsegaye et al. 2019; Zölch et al. 2017). Jako prioritní řešení, nabízí různé varianty propustných povrchů komunikací, chodníků, parkovacích ploch a zelené střechy, které mohou být kombinovány se zatravněnými plochami, vsakovacími průlehy, vsakovacími příkopy tzv. bioswales, dešťovými zahradami, retenčními dešťovými nádržemi či umělými mokřady, které lze zařadit mezi tzv. přírodně blízká neboli zelená opatření povrchového vsakování či retence (Vítek et al. 2015; Shafique et Kim 2017; Srishantha et Rathnayake 2017). Vzhledem ke kritériím dané lokality, kdy není možné využít pouze uvedená opatření, předkládá možnost kombinace s objekty využívající podpory technických prvků a podzemního způsobu vsakování, jako jsou vsakovací rýhy, podzemní prostory vyplněné štěrkem nebo prefabrikovanými bloky či vsakovací nádrže (MŽP 2015).

Účinnost jednotlivých opatření na městskou hydrologii a městské mikroklima je v posledních letech podnětem řady vědeckých studií, jejichž výsledky vnášejí do této oblasti důležité poznatky (např. Armson et al. 2013; Nagase et Dunnett 2012; Saaroni et al. 2018; Trinh et Ghui 2013; Völker et al. 2013; Zölch et al. 2017). Jako příklad lze uvést výsledky studie Zölcha et al. (2017), které poukazují na schopnost stromů i zelených střech zvyšovat kapacitu ukládání vody a snižovat povrchový odtok, která v případě stromů spočívá především v intercepci a evapotranspiraci, zatímco u zelených střech jde o skladování vody v jejich substrátu. Trinh et Ghui (2013) ve své studii hodnotili potencionální hydrologické dopady urbanizace a účinnost extenzivních

zelených střech a bioretenčních systémů a dospěli k závěru, že extenzivní zelené střechy mohou zadržet až 50 % srážek a kombinací obou zelených struktur lze docílit redukce odtoku na úroveň před urbanizací. Armson et al. (2013) prokázali potenciál stromů ve snižování povrchového odtoku prostřednictvím zachycení a infiltrace, když porovnávali odtok městské povrchové vody z pozemku pokrytého trávou, z čistě asfaltové plochy a z pozemku se stromem zasazeným ve středu asfaltové plochy. Nagase et al. (2012) ve své studii o vlivu různých druhů rostlin na množství odtoku z extenzivních střech prokázali, že nejúčinnější skupinou byly trávy. Příkladem účinků vegetace na městské mikroklima mohou být výsledky výzkumu Saaroni et al. (2018), kteří porovnávali teploty zelených lokalit s teplotami okolních oblastí městské zástavby bez vegetace a dospěli k závěru, že městské parky, pouliční stromy a zahrady mohou vést ke snížení teploty v jejich okolí o 1,5 °C až 3,5 °C, nebo studie Völker et al. (2013), kteří při hodnocení chladícího efektu rybníků, nádrží a toků ve městech poukázali na chladící účinek těchto ploch v průměru o 2,5 °C.

Vzhledem k tématu mé práce a v závislosti na nedostatku půdy a propustných ploch v městských oblastech se nyní zaměřím především na využití zelených střech a fasád a bioretenčních objektů v podobě vsakovacích průlehů či příkopů.

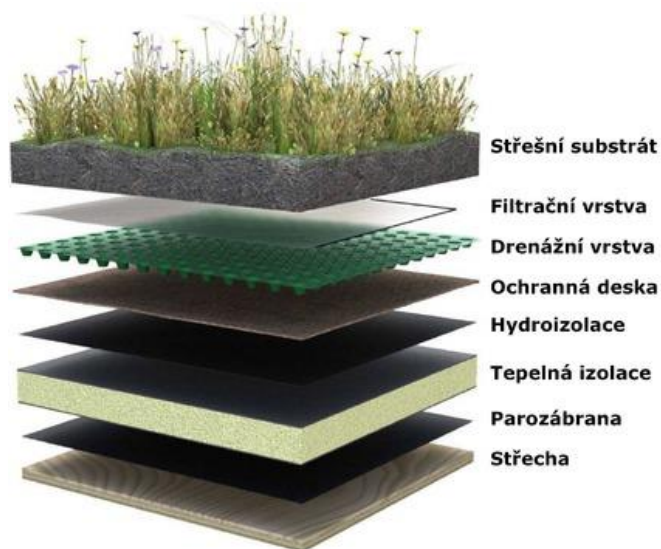
6 Využití rostlin při hospodaření s dešťovými vodami

Do městské zeleně lze všeobecně zařadit parky, lesoparky, městské a příměstské lesy, aleje, stromy a keře v ulicích, zahrady a trávníky, tedy veškerá zelená prostranství ve městech (Pokorný et al. 2018). V případě městských zelených infrastruktur se již hovoří o funkčních spojitých sítích zeleně, které přispívají k odolnosti městských ekosystémů. Poskytují služby k udržování nebo obnově ekologických, tedy i hydrologických funkcí (Zölch et al. 2017). Jsou hlavními městskými přírodními zařízeními, která mají funkci návratu dešťové vody do přírodního hydrologického cyklu (Li et al. 2018). Zelenou infrastrukturu lze také definovat jako jakékoli přírodní či uměle vytvořené funkční zelené prostory, které zadržují dešťovou vodu poblíž svého zdroje a pomocí přírodních rostlinných a půdních systémů zvyšují infiltraci a odpařování. Zelená infrastruktura funguje jako multifunkční zařízení, které lze využít při řízení odtoku, redukci znečišťujících látek přítomných ve srážkových vodách i ve vzduchu, zmírňování mikroklima, podpoře městské biologické rozmanitosti i celkovém zvyšování kvality životního prostředí (Tsegaye et al. 2019).

Vědecké práce i současná praxe v oblasti zelené infrastruktury se převážně zaměřují na vegetační (zelené) střechy, vegetační stěny a systémy biologické retence (zasakovací pásy, vsakovací průlehy nebo dešťové zahrady) (Shafique et Kim 2017, Vítek et al. 2018; Zölch et al. 2017). Základní složku většiny z těchto prvků by však měly tvořit stromy, které zachycením velkého množství přicházejících srážek, odstraňováním vody z půdy pomocí transpirace a zvyšováním infiltrace interagují s městským hydrologickým cyklem a posilují tak výkon ostatních technologií zelené infrastruktury (Berland et al. 2017).

7 Zelené střechy

Zelené (vegetační) střechy jsou přírodě blízkým řešením adaptace na změnu klimatu a způsobem, jak pozitivně ovlivňovat koloběh vody a městské mikroklíma a přispívat ke kvalitnějšímu a zdravějšímu životu ve městech (Dostal et al. 2017). Vzhledem k nedostatku půdy v městských oblastech, jsou přijímány jako jedny z nejlepších přírodních řešení (Nagase et Dunnett 2012). Nabízí alternativu vegetačních ploch, především tam, kde pro ně není dostatek místa (Dostal et al. 2017). V zásadě se jedná o střechy osázené vegetací na růstovém substrátu, které jsou navrženy a konstruovány tak, aby podporovaly růst různých druhů vegetace a schopnost zadržet vodu a poskytovaly estetické, environmentální a ekonomické přínosy (Vijayaraghavan 2016). Obecně se zelené střechy skládají z vegetace, růstového substrátu, filtrační tkaniny, drenážní vrstvy, ochranné vrstvy a hydroizolačních vrstev (Obrázek 1). Každá z těchto součástí plní určitou úlohu. Jejich výběr podléhá zeměpisné poloze, typu a funkci střechy (Čermáková et Mužíková 2009; Minke 2000; Vijayaraghavan 2016).



Obrázek 1: Základní vrstvy zelené střechy (zdroj: www.plzen-zahradnictvi.cz)

7.1 Typy zelených střech

Existuje několik typů zelených střech, které se dělí podle různých kritérií. Může to být na základě druhu vegetace, přístupnosti, převažující funkce, sklonu, skladby vegetačního souvrství či podle polohy a prostorové vazby na okolní terén (Burian et al. 2016). Základním kritériem, od kterého se odvíjí konstrukční řešení střech a také

volba druhu vegetace, je jejich sklon. I když se sklon u jednotlivých typů střech uvedených v ČSN 73 1901 (2011) od publikace Minke (2000) liší, můžeme uvést dělení střech podle Minke (2000), kdy do sklonu 3° jde o střechy ploché, od 3° do 20° se jedná o střechy s mírným sklonem, při 20° až 40° s velkým sklonem a o strmých střechách můžeme hovořit při sklonu větším jak 40°. Nejčastěji jsou zelené střechy rozdělovány podle druhu vegetace, a to na intenzivní, polointenzivní a extenzivní (Čermáková et Mužíková 2009; Minke 2000; Vijayaraghavan 2016).

7.1.1 Intenzivní zelené střechy

Intenzivní zelené střechy, známé jako střešní zahrady, jsou realizovány na plochých střechách nebo na střechách se sklonem menším než 10° (Mentens et al. 2006). Většinou se využívají v komerčních oblastech (Shafique et Kim 2017). Obvykle jsou pochozí nebo pobytové a bývají doplněny zpevněnými povrchy a zahradními prvky (Burian et al. 2016). Tento druh střech se vyznačuje silnou vrstvou substrátu, širokou paletou rostlin, vyšší hmotností, náročnější údržbou a vyššími investičními náklady (Vijayaraghavan 2016). Výška substrátu se řídí velikostí a nároky použitých rostlin, neměla by však klesnout pod 300 mm. Díky silnějšímu vegetačnímu souvrství, které vytváří vhodné a trvalé prostředí pro život a růst rostlin, mohou intenzivní zelené střechy poskytovat téměř neomezenou pestrost rostlin, od trav a trvalek, až po keře a stromy (Burian et al. 2016). Úprava podmínek pro zvolenou vegetaci však vyžaduje intenzivní údržbu ve formě pravidelného odstraňování plevelu, přihnojování a závlahy (Vijayaraghavan 2016).

7.1.2 Polointenzivní zelené střechy

Polointenzivní zelené střechy jsou vlastně jednoduché intenzivní střechy s kombinací ozelenění intenzivních a extenzivních střech a hloubkou substrátu v rozmezí 150 až 300 mm. Díky středně silné vrstvě substrátu pojmou malé bylinné rostliny, půdokryvné rostliny, trávy a keře (Minke 2000). Oproti intenzivním střechám vyžadují menší náklady a méně péče, ale podobně jako u intenzivních střech je potřebné odstraňování nežádoucí vegetace, případně kosení, přihnojování a občasné zalévání, i když ne v takové intenzitě jako u střech intenzivních (Dostal et al. 2017).

7.1.3 Extenzivní zelené střechy

Extenzivní (rozsáhlé) zelené střechy se vyznačují tenkou vrstvou substrátu, zpravidla o výšce 30 až 150 mm (Minke 2000), která může být i 200 mm (Čermáková et al. 2009), nižší hmotností, nižšími investičními náklady a minimální péčí. Vzhledem k výšce substrátu mají omezené možnosti při výběru rostlin. Vegetaci tvoří převážně mechy, sukulenty a rozmanité druhy trav a bylin, které jsou odolné vůči suchu a mrazu, nevyžadují intenzivní péči a dokážou se přizpůsobit extrémním podmínkám. Používají se především divoké rostliny s vysokou regenerační schopností (Minke 2000) a rostliny s dostatečnou konkurenceschopností, aby potlačily rozrůstání nežádoucích rostlin (Dostal et al. 2017). Tento typ střech může být realizován na plochých i šikmých střechách s maximálním sklonem 45° (Mentens et al. 2006). Vzhledem k omezené nosnosti některých budov, nižším nákladům a minimální údržbě patří k nejvíce rozšířenému typu zelených střech (Vijayaraghavan 2016).

7.2 Funkce a účinky zelených střech

Zelené střechy zastávají mnoho funkcí, které se vzájemně prolínají a doplňují. Jedná se o funkce urbanistické, krajinářské, ekologické/environmentální, ekonomické či ochranné. Z ekologického/environmentálního hlediska zelené střechy přispívají tím, že regulují teplotu a vlhkost vzduchu, čistí ovzduší, omezují víření prachu, zpomalují odtok, zadržují vodu a vytvářejí náhradní plochy a životní prostor pro rostliny a živočichy (Šimečková et al. 2010). Při plnění své funkce využívají všech hlavních hydrologických procesů, jako jsou srážky, intercepce, evapotranspirace, infiltrace a retenční (Trinh et al. 2013; Zölch et al. 2017). Jejich funkčnost / účinnost však závisí na typu vegetace a jejím pokrytí, složení a výšce růstového substrátu, drenážním prvku a jeho skladovací kapacitě, sklonu střechy, objemu a časovém rozestupu dešťových událostí (Vijayaraghavan 2016) a v neposlední řadě na klimatických podmínkách dané oblasti (Li et al. 2018). Přesto, že jsou zelené střechy ve většině případů zřizovány za účelem úspory energie a zmírnění efektu městského tepelného ostrova, mají značný potenciál v oblasti nakládání s městskými srážkovými vodami (Trinh et al. 2013).

7.2.1 Regulace srážkového odtoku

Při hospodaření s dešťovými vodami je hlavním úkolem zelených střech regulace srážkového odtoku, zvýšení celkového výparu, zadržování objemu a ukládání srážkové vody do jednotlivých vrstev zelených střech a postupného odvádění přebytečné vody do vsakovacích či akumulčních objektů (Vijayaraghavan 2016; Shafique et al. Kim 2017). Množství vody a skupenství, kterým je voda navracena do hydrologického cyklu může být v systému zelených střech ovlivněno několika způsoby (Tabulka 1) (Zölch et al. 2017). Voda dopadající na povrch střech může být zachycena na povrchu rostlin a následně odpařena nebo absorbována absorpčními materiály substrátu či zadržena v jeho pórovitých materiálech, odkud může být přijata rostlinami a uložena v jejich tkáních nebo prostřednictvím transpirace přenesena zpět do atmosféry (Nagase et al. Dunnett 2012). Zbývající voda je infiltrována přes filtrační tkaninu do drenážní vrstvy, která má za úkol vodu zadržet a přebytečnou vodu odvádět (Minke 2000). Drenážní vrstva slouží jako reservoár vody, kde dochází k jejímu postupnému vypařování a využívání rostlinami. V případě úplného využití kapacity drenážních prostor dochází k odtoku vody odvodňovacím systémem, který je propojen s akumulčními, vsakovacími či retenčními objekty. Právě množství odpařené a odváděné vody vysvětluje potenciál zelených střech pro snižování odtoku (Vijayaraghavan 2016), které závisí především na hydrologických charakteristikách substrátu, jeho hloubce (Baryła et al. 2014; Mentens et al. 2006) a na strategiích využití vody vegetací (Nagase et al. Dunnett 2012; Li et al. 2018).

Tabulka 1: Možnost ovlivnění hydrologických procesů v obytných městských částech (cca 50 % hustota budov na rozloze 3,5 ha) aplikací vegetace na střechy budov (vegetaci střech představují traviny s vrstvou substrátu 0,2 m). Upraveno dle Zölch et al. (2017).

Hydrologický proces	Objem vody v m ³ (městská část se střechami bez vegetace)	Objem vody v m ³ (městská část se střechami s vegetací)
Srážky	-779,0	-779,0
Povrchový odtok	750,7	733,9
Evapotranspirace:	0,0	49,1
Výpar z intercepce	0,0	4,0
Výpar z půdy	0,0	12,1
Transpirace rostlin	0,0	30,4
Výpar z retence	0,0	2,6
Doplňování podzemní vody	0,0	5,9
Změna úložiště*	0,6	-23,1
Možná odchylka**	27,7	13,2

* Pokud je množství infiltrované vody menší než potřeba vody pro evapotranspiraci, je voda odebírána z nasycené zóny a její skladování se mění. ** např. odpařování z detenčního úložiště, mezní odtoky, chyba modelu.

Poznatky o výkonnosti jednotlivých typů střechech při snižování odtoku poskytly výsledky studie Mentense et al. (2006), kdy schopnost intenzivních zelených střechech zadržovat dešťové srážky při průměrné výšce substrátu 210 mm dosahovala v průměru 75 % ročních srážek. U extenzivních střechech s průměrnou výškou substrátu 100 mm se jednalo v průměru o 50 % zadržení a štěrkové střechech bez vegetace s výškou 50 mm zachytily pouhých 24 % ročního srážkového úhrnu. Rozdíl ve výkonnosti intenzivních střechech v porovnání s extenzivními a štěrkovými střechechami byl připisován především hloubce substrátu, která je u intenzivních střechech podstatně vyšší a u štěrkových střechech také absencí vegetace (Mentense et al. 2006).

Kromě hydrologických vlastností a hloubky substrátu (Baryła et al. 2014; Mentens et al. 2006) je pro redukci odtoku důležitým prvkem vegetace (Nagase et Dunnett 2012; Li et al. 2018). Vegetace může odtok vody ze zelených střechech výrazně ovlivnit v souvislosti s kapacitou rostlin pro zachycení vody (intercepci), retenci vody a transpiraci, která závisí na výšce rostlin, jejich listové ploše, struktuře povrchu listů a kořenovém systému (Nagase et Dunnett 2012). Pro redukci odtoku zelenými střechechami je vegetace důležitým parametrem (Li et al. 2018; Nagase et Dunnett 2012).

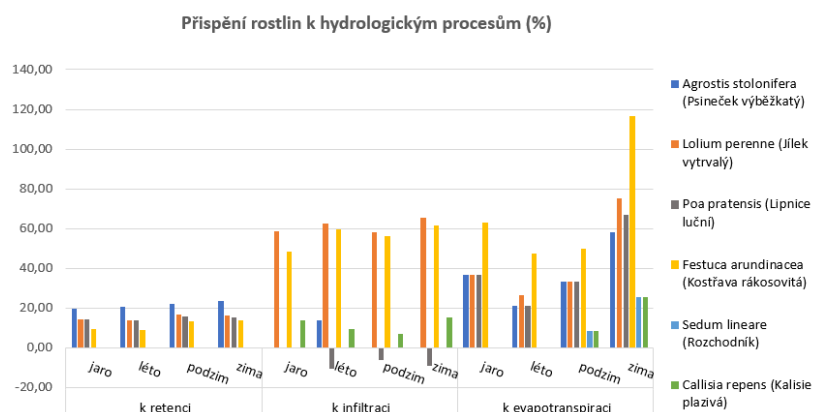
Vlivem vegetace a rozmanitostí rostlin na snížení odtoku zelenými střechechami se ve své intenzivní studii, zabývali Nagase et Dunnett (2012). Z celkového hodnocení experimentu byly při snižování odtoku vody nejúčinnější trávy, *Anthoxanthum odoratum* (tomka vonná), *Trisetum flavescens* (trojštět žlutavý), *Festuca ovina* (kostřava ovčí) a *Koeleria macrantha* (smělek štíhlý), následovaly byliny - *Silene uniflora* (silenka přímořská), *Prunella vulgaris* (černohlávek obecný), *Leontodon hispidus* (máchelka srstnatá), *Armeria maritima* (trávníčka přímořská) a rozchodníky - *Sedum rupestre* (rozchodník suchomilný), *Sedum album* 'Coral Carpet' (rozchodník bílý), *Sedum spurium* 'Coccineum' (rozchodník pochybný), *Sedum acre* 'Minor' (rozchodník ostrý). Rozchodníky, kromě *Sedum rupestre* (rozchodník suchomilný), představovali jedinou skupinu druhů, která vykazovala větší odtok vody než odtok ze střechech pouze se substrátem bez vegetace. Výsledky ukázaly rozdílný vliv jednotlivých druhů rostlin na snižování množství odtoku, a to v souvislosti s výškou rostlin, jejich průměrem a velikostí kořenového systému. Vyšší druhy trav s větším průměrem a větším kořenovým systémem (většina druhů trav z této studie) zadržely více vody než nižší rostliny s menším průměrem (většina druhů rozchodníků z této studie). Konzistentní vztah mezi druhovou bohatostí a množstvím odtoku však prokázán nebyl (Nagase et Dunnett 2012).

Důležité poznatky v oblasti vlivu vegetace zelených střech na snížení odtoku přinesla také studie Li et al. (2018), která byla zaměřena na přispění jednotlivých druhů rostlin k retenční schopnosti zelených střech, míře infiltrace, evapotranspiraci a celkovém odtoku a na vztahy mezi parametry vegetace a hydrologickým výkonem. Experiment zahrnoval čtyři druhy trav: *Agrostis stolonifera* (Psineček výběžkatý), *Lolium perenne* (Jílek vytrvalý), *Poa pratensis* (Lipnice luční), *Festuca arundinacea* (Kostřava rákosovitá) a dva druhy sukulentních rostlin *Sedum lineare* (Rozchodník), *Callisia repens* (Kalisie plazivá), které jsou nejčastěji používanými rostlinnými druhy na rozsáhlých zelených střechách v Číně. Většina z těchto rostlin je rozšířeným a původním druhem v ČR (Pladias © 2014–2019). Rostliny byly vysázeny do boxů o hloubce substrátu 225 mm, se sklonem 2° a tvořily 100 % pokrytí. Jeden kontrolní box byl zcela bez vegetace. Jednotlivé boxy byly vystaveny šesti typům simulovaných dešťových událostí, které činily 5, 10, 25, 50, 100 a 250 mm srážek za den, v rámci čtyř ročních období. Výsledky přispění k hydrologickým procesům byly porovnávány s kontrolním boxem bez vegetace (Li et al. 2018).

V účinnosti jednotlivých rostlinných druhů, v porovnání s bezvegetační kontrolou, byly prokázány značné rozdíly (Obrázek 2). Ke zlepšení retenční kapacity zelené střechy, ve všech čtyřech ročních obdobích, nejvíce přispěl psineček výběžkatý. Jeho retenční schopnost byla v průměru o 21,4 % vyšší než u kontroly bez vegetace. U ostatních druhů trav byla retence vyšší pouze o 13,75 % a u sukulentních rostlin nebyl zjištěn žádný významný rozdíl. O vyšší míru infiltrace se nejvíce zasloužil jílek vytrvalý, v průměru o 61,1 % a kostřava rákosovitá o 56,4 %. Nejhůře si vedla lipnice luční, u které byla v období léto, podzim, zima míra infiltrace dokonce o 8,7 % nižší než u kontroly. Při ztrátě vody evapotranspirací si nejlépe vedla, zejména v zimě, kostřava rákosovitá s transpirační ztrátou o 116,7 % vyšší (2,6 mm/den) než u kontroly (1,2 mm/den). Ostatní druhy trav v zimě prokázali ztrátu vody prostřednictvím evapotranspirace o 66,6 % vyšší a sukulenty pouze o 25 % vyšší než bezvegetační kontrola (Li et al. 2018).

Testování účinků rostlin na celkový odtok ze zelených střech, v rámci jednotlivých období a při různých intenzitách srážek, přineslo poznatky o významném vlivu rostlinných druhů na objem odtoku a velkých rozdílech v redukci odtoku mezi rostlinnými druhy, a to v závislosti na intenzitě srážek a ročním období. Nejvyššího podílu na snížení odtoku ve všech ročních obdobích a při všech intenzitách dosáhla *Festuca arundinacea* (kostřava rákosovitá) (Li et al. 2018).

Analýza účinků rostlinných druhů, při jednotlivých hydrologických procesech a celkovém odtoku ze zelených střech prokázala významné ovlivnění, zejména druhy trav (Li et al. 2018; Nagase et Dunnett 2012). Výsledky celé studie ukázali možnost výrazného zlepšení snížení odtoku ze zelených střech, především výběrem rostlinných druhů s vyšší biomasou výhonků a rychlejší evapotranspirací (Li et al. 2018).



Obrázek 2: Příspěvní jednotlivých druhů rostlin zelených střech k hydrologickým procesům v jednotlivých ročních obdobích v porovnání se zelenou střechou bez vegetace (upraveno dle Li et al. 2018)

7.2.2 Regulace teploty a vlhkosti vzduchu

U funkcí zelených střech např. čištění a zvlhčování vzduchu, tepelně izolační vlastností a ochlazování okolního prostředí je rozhodujícím faktorem (kromě výšky a vlastností vrstvy substrátu) výška, hustota a tloušťka porostu a velikost povrchu listů, tedy aktivní plocha povrchu rostlin, která je u různých typů vegetace rozdílná (Tabulka 2) (Minke 2000, Francis et Jensen 2017).

Tabulka 2: Velikost plochy aktivního povrchu rostlin u různých typů vegetačního pokryvu dle Minkeho (2000), na základě výsledků Výzkumné laboratoře pro experimentální stavebnictví, univerzita Kassel 1981.

Typ vegetace	Výška/tloušťka porostu (v cm)	Aktivní plocha povrchu porostu na m ² plochy (v m ²)
Trávník	3	6
	5	9
Luční porost	60	až 225
Travnatá střecha	neuveдено	více než 100
Rozchodníky	8	1
	10 (velmi hustý porost)	2,4
Divoké víno (na fasádě)	10	3
	20	5
Břečťan (na fasádě)	25	11,8

Pro svou klimatizační schopnost bývají zelené střechy využívány jako efektivní řešení úspory energie v oblasti stavebnictví (Čermáková et Mužíková 2009). Zlepšením tepelného výkonu budov, ke kterému dochází omezením dopadajícího slunečního záření na střešní konstrukci a teploty vzduchu v důsledku přítomnosti vegetační vrstvy a vrstvy média, snižují spotřebu energie vynaložené pro chlazení (Vijayaraghavan 2016). Schopností zelené střechy zlepšit tepelný výkon budov se ve své studii zabývali Ekaterini et Dimitris (1998). Podle jejich zjištění může být z celkového množství dopadající sluneční energie na zelené střechy 27 % odraženo, 60 % absorbováno rostlinami a růstovým médiem a pouhých 13 % propuštěno k povrchu pláště budovy. Míra úspory energie však závisí na rostlinných druzích jejich hustotě a typu a tloušťce růstového média.

Zelené střechy lze také chápat jako praktický nástroj ke zmírnění účinku městského tepelného ostrova (UHI) (Vijayaraghavan 2016, Francis et Jensen 2017) a regulaci vlhkosti vzduchu (Šimečková et. Večeřová 2010; Moghbel et Salim 2017). Vypařováním vody, fotosyntézou a schopností vody obsažené v rostlinách akumulovat teplo, odnímá rostlina teplo ze svého okolí a zvyšuje relativní vlhkost vzduchu. Tento ochlazovací a zvlhčující efekt je patrný zejména za horkých letních dní, kdy může vegetace spotřebovat až 90 % sluneční energie a vypařovat zvýšené množství vody (Minke 2000).

Dle výsledků měření teploty a vlhkosti vzduchu ve volném prostoru ve výšce 1 m nad střešní plochou může být průměrná teplota vzduchu extenzivní zelené střechy v porovnání s konvenční střechou bez vegetace a bez substrátu o 3,7 °C nižší a vlhkost vzduchu o 8,46 % vyšší (Moghbel et Salim 2017). Maximální ochlazovací účinek zelených střech v úrovni chodců (1–2 m nad zemí) oproti konvenčním střechám se pohybuje v rozmezí od 0,03 °C do 3 °C, a to v závislosti na výšce budovy, hustotě městské zástavby, typu (hustotě) vegetace, pokrytí zelenou střechou a dostupností vody. To znamená, že zavlažované zelené střechy se 100 % pokrytím, hustší, patrovitou vegetací na nižších budovách v hustší městské zástavbě vykazují v úrovni chodců vyšší účinek chlazení (Francis et Jensen 2017).

7.2.3 Snižování znečištění městského ovzduší

Snižováním znečištění ovzduší prostřednictvím zelených střech je myšlena redukce plyných látek, např. oxidu uhličitého (CO₂), oxidu dusičitého (NO₂), oxidu siřičitého (SO₂), a ozonu (O₃) a odstraňování pevných (prachových) částic menších jak 10 μm

(PM₁₀) (Francis et Jensen 2017; Moghbel et Salim 2017; Baraldi et al. 2019). Prachové částice (PM₁₀) jsou tvořeny směsí mnoha různých druhů látek včetně uhlíku, částic síranů, kovů a anorganických solí. Významným zdrojem těchto částic je tzv. sekundární prašnost, tedy zviření již usazeného prachu z těžby, dopravy nebo stavebnictví (Petrлік et al. 2018).

Vegetace zelených střech, stejně jako všechny rostliny, je schopna fixace anorganického CO₂ ze vzduchu, který využívá při fotosyntéze a jeho následné uplatnění v tvorbě organické hmoty a produkci kyslíku (Minke 2000; Kleger et Válek 2013). Rostliny zelených střech mohou absorbovat i ostatní plynné škodliviny např. NO₂, SO₂, O₃ (Currie et Bass 2008) či zachycovat prachové částice (Speak et al. 2012), z nichž některé mohou být absorbovány rostlinami, odplaveny srážkovou vodou a vsáknuty do půdy nebo opět vneseny větrem do atmosféry (Wesely 2007).

Na vliv vegetace zelených střech při redukci prachových částic se zaměřili Speak et al. (2012). Rozdílné účinky v zachycování prachových částic rostlinami přisuzovali odlišné morfologii, jako je struktura a povrchu listů a hustotě jednotlivých rostlinných druhů. Travniny s rovnoběžnými drážkami na povrchu listů a hustými tenkými dlouhými listy *A. stolonifera* (psineček výběžkatý) a *F. rubra* (kostřava červená) vykazovaly výrazně vyšší účinnost. *P. lanceolata* (jitrocel kopinatý) a *S. album* (rozchodník bílý) s odlišnou morfologií a podstatně nižší biomasou vykazovaly účinek mnohem nižší. Výsledky studie jsou znázorněny v tabulce č. 3. Účinnost až 9,21 g/m²/rok při odstraňování PM₁₀ předkládají výsledky modelové studie Currine et Bass (2008), v případě nahrazení 20 % střech (odpovídá přibližně 48,6 ha) v městské čtvrti Midtown v Torontu intenzivními zelenými střechami osázenými keři. Autoři obou studií uvádějí nárůst odstraňování znečištění se zvyšující se hustotou vegetace (Currine et Bass 2008; Speak et al. 2012).

Tabulka 3: Odhady zachycených prachových částic PM₁₀ rostlinami zelených střech v centru Manchesteru ve Velké Británii při 100% pokrytí střech vegetací*. Upraveno dle Speak et al. (2012).

Druh (latinský a český název)	Zachycených PM ₁₀ (g/m ² /rok)	Zachycených PM ₁₀ z celkového ročního znečištění (%)
<i>Agrostis stolonifera</i> (psineček výběžkatý)	1,81 ± 0,06	17,5%
<i>Festuca rubra</i> (kostřava červená)	3,21 ± 0,10	9,8%
<i>Plantago lanceolata</i> (jitrocel kopinatý)	0,49 ± 0,02	2,7%
<i>Sedum album</i> (rozchodník bílý)	0,42 ± 0,01	2,3%

* Jedná se o dvou a třípatrové budovy, roční znečištění prachovými částicemi PM₁₀ v oblasti studie (326 ha) 9,18 t/rok, 100% pokrytí zelených střech odpovídá 50 ha.

Z oblasti snižování koncentrace CO₂ z ovzduší prostřednictvím rostlin zelených střech přinesla důležité poznatky studie Baraldi et al. (2019). Hodnotili potenciální schopnost rostlin, běžně používaných k pěstování na zelených střechách, pro snižování koncentrace CO₂, na základě vztahu mezi asimilací CO₂, stomatální vodivostí, transpirací, které jsou považovány za klíčové funkční parametry rostlinných druhů spojených se zlepšováním kvality životního prostředí. Autoři ve výsledcích poukazují na určitou souvislost mezi stoupající stomatální vodivostí a transpirací rostlinných druhů se zvyšující se asimilací CO₂ (Tabulka 4) a upozorňují na možnost využití získaných poznatků při odstraňování plyných znečišťujících látek z ovzduší ve městech.

Tabulka 4: Hodnoty asimilace CO₂, stomatální vodivosti a transpirace 15 - ti druhů rostlin používaných k ozelenění vegetačních střech dle Baraldi et al. (2019).

Druh	Asimilace CO ₂ ($\mu\text{mol m}^2/\text{s}$)	Stomatální vodivost ($\text{mol H}_2\text{O m}^2/\text{s}$)	Transpirace ($\text{mol m}^2/\text{s}$)
<i>Erigeron karvinskianus</i> (turan Karwinského)	17.09 ± 0.76	neuvedeno	5.16 ± 0.30
<i>Achillea millefolium</i> (řebříček obecný)	16.10 ± 0.77	0.25 ± 0.01	6.07 ± 0.26
<i>Salvia nemorosa</i> (šalvěj hajní)	13.76 ± 0.43	0.24 ± 0.02	4.11 ± 0.20
<i>Veronica longifolia</i> (rozrazil dlouholistý)	13.71 ± 0.44	0.20 ± 0.01	4.13 ± 0.24
<i>Rudbeckia sullivantii</i> 'Goldsturm' (třapatka)	11.33 ± 0.16	0.16 ± 0.01	3.46 ± 0.06
<i>Filipendula vulgaris</i> 'Kahome' (tužebník obecný)	9.19 ± 0.30	0.18 ± 0.01	3.53 ± 0.19
<i>Campanula persicifolia</i> (zvonek broskvolistý)	9.16 ± 0.38	0.16 ± 0.01	4.46 ± 0.18
<i>Lonicera pileata</i> (zimolez fialový)	8.62 ± 0.45	neuvedeno	1.96 ± 0.13
<i>Origanum vulgare</i> (dobromysl obecná)	8.26 ± 0.39	neuvedeno	2.78 ± 0.12
<i>Gaura lindheimeri</i> (svíčkovec Lindheimerův)	7.24 ± 0.41	neuvedeno	2.49 ± 0.16
<i>Solidago praecox</i> (zlatobýl)	6.71 ± 0.30	0.08 ± 0.01	1.94 ± 0.12
<i>Satureja repandens</i> (saturejka)	6.37 ± 0.21	neuvedeno	1.99 ± 0.07
<i>Filipendula purpurea</i> (tužebník)	6.05 ± 0.22	0.08 ± 0.00	1.84 ± 0.08
<i>Sedum spectabile</i> (rozchodník nádherný)	6.00 ± 0.28	0.19 ± 0.06	2.29 ± 0.23
<i>Hypericum moserianum</i> (třezalka Moserova)	5.90 ± 0.34	0.04 ± 0.00	1.31 ± 0.11

7.3 Vegetace zelených střech

Rostliny střešních zahrad jsou hlavní biologicky aktivní, uměle založenou vrstvou, určující funkci zelených střech (Burian et al. 2016). Životnost celého systému závisí především na zdraví rostlin, které je v případě nepříznivých podmínek značně ohroženo. Rostliny musí čelit různým klimatickým podmínkám a výkyvům počasí, jako jsou vysoké teploty, mráz, slunečnímu záření a vítr. V případě extenzivních střech jsou rostliny vystaveny výkyvům v dostupnosti vody, omezené hloubce substrátu a minimálnímu obsahu živin (Vijayaraghavan 2016). Výběr druhů rostlin by měl tedy

odpovídat požadované funkci, stanovištním podmínkám a předpokládané intenzitě údržby (Minke 2000). Z hlediska rezistence by se mělo jednat především o původní rostlinné druhy, které jsou již přizpůsobeny místním klimatickým podmínkám a lépe odolávají místním škůdcům (Vijayaraghavan 2016). K ozelenění střeš lze využít osivo, výhony, sazenice, travní koberce či vegetační rohože (Minke 2000).

Hlavními limitujícími stanovištními podmínkami pro výběr vhodných rostlinných druhů dle Čermákové a Mužíkové (2009) jsou:

- vlastnosti substrátu (schopnost akumulovat vodu, konzistence a tloušťka),
- sklon střechy a její umístění v rámci světových stran,
- povětrnostní podmínky (působení větru v oblasti budovy, výška budovy a umístění rostliny v rámci plochy střechy),
- množství dopadajících srážek, existence srážkových stínů a způsob budoucí závlahy,
- doba oslunění a zastínění,
- tepelné působení (jakým teplotám bude vegetace vystavena)

7.3.1 Intenzivní ozelenění

U intenzivních zelených střeš lze vzhledem k minimální výšce substrátu 300 mm a intenzivní péči při výběru rostlin brát ohled především na rozmezí teplot, působení větru a délku a míru zastínění či oslunění. Výběr vegetace je podřízován stavebním záměrům a většinou pobytové funkci. Zvolené vegetaci je poskytována pravidelná intenzivní údržba spočívající v umělém zavlažování, přihnojování, kultivaci, odstraňování nežádoucích rostlin. Výsadba intenzivních zelených střeš má vysokou estetickou a užitnou hodnotu (Burian et al. 2016). Při dostatečné výšce substrátu může mít téměř neomezenou rozmanitost rostlin a design, jako je tomu u výsadeb klasických zahrad či parků na rostlém terénu (Čermáková et Mužíková 2009).

Vyhovující může být celoplošné zatravnění střechy (okrasné, užitkové, luční), osázení pestrými trvalkami dávající střeše v průběhu roku proměnlivý ráz, pokryv z plazivých a nízkých druhů dřevin až po výsadbu stromů. U výsadby větších druhů stromů je nutné jejich kotvení proti vyvrácení větrem (Burian et Ondřej 1992). Omezení výsadby dřevin na vegetačních střešách se týká především stromů, které jsou limitované zejména výškou (>10 m) nebo hloubkou kořenového systému (Burian et Ondřej 1992; Čermáková et Mužíková 2009). Zvláště stromy s křivým kořenem,

který sahá do velkých hloubek, jsou pro ozelenění střech nevhodné. Nedostatek hloubky může způsobit deformaci kořenového systému i nadzemní hmoty a stromy se stávají nestabilními (Čermáková et Mužíková 2009). Mezi nevhodné druhy stromů pro intenzivní ozelenění střech řadí Burian et Ondřej (1992) a Čermáková et Muzikářová (2009) *Acer* (javor), *Aesculus* (jírovec), *Alnus* (olše), *Betula* (bříza), *Fagus* (buk), *Fraxinus* (jasan), *Juglans* (ořešák), *Juniperus* (jalovec), *Magnolia* (magnólie), *Platanus* (platan), *Picea* (smrk), *Pinus* (borovice), kromě jejich nižších, zakrslých či plazivých druhů.

I když je výsadba stromů a keřů na střešních konstrukcích v porovnání s výsadbou na přirozeném půdním profilu dosti limitována a finančně náročnější, je pro intenzivní ekologizaci střech s vysokým výkonem nezbytná Kolb et al. (2019). Správná výsadba vhodných dřevin v městském prostředí omezuje tepelný stres, dlouhodobé sucho a záplavy. Absorpcí plyných znečišťujících látek a filtrací jemného prachu čistí vzduch a díky poskytovanému stínu, intercepci a transpiraci zajišťují chladicí efekt a zvlhčují vzduch (Verschoren 2018). Výkon intenzivních střech závisí na různé patrovitosti porostů, hustotě výsadby a listové ploše (Čermáková et Mužíková 2009).

Projektová skupina Federální asociace zelených budov (Bundesverband Gebäude Grün), Kolb et al. (2019) vypracovala na základě informací získaných z odborné literatury a praktických zkušeností seznam více jak 170 druhů dřevin vhodných pro intenzivní zelené střechy. Při výběru rostlin se zaměřili na hloubku kořenového systému, výšku růstu, umístění (slunce, polostín, stín), složení substrátu (alkalický, neutrální, kyselý) a na vlastnosti, které jsou pro zelenou střechu významné, jako je mrazuvzdornost, přínos pro faunu (zajištění potravy pro motýly, včely, ptáky), odolnost proti lomu, stabilita, odolnost vůči suchu, škůdcům, chorobám a znečišťujícím látkám, tolerance k řezu a náročnost na údržbu. Příklady doporučených druhů dřevin pro intenzivní zelené střechy dle Kolba et al. (2019), se zaměřením na velmi vysokou odolnost proti znečišťujícím látkám a mrazu jsou uvedeny v příloze č. 1.

7.3.2 Extenzivní ozelenění

Od extenzivní zeleně se očekává především její ekologický účinek než estetický, proto je v souvislosti se zadržováním dešťové vody a čištěním vzduchu důležité, aby vegetační kryt pokrýval celou plochu, byl co nejhustší a přibližně stejně vysoký (Minke 2000). Toho lze nejlépe dosáhnout použitím divokých trav nebo směsí divokých trav

a bylin (Li et al. 2018; Minke 2000; Nagase et Dunnett 2012), které mají vzhledem k hustotě a délce olistění a hustšímu kořenovému systému lepší hydrologické a tepelně izolační vlastnosti než sukulentní porosty (Čermáková et Mužíková 2009).

Při výběru vegetace je nutné se zaměřit na společenstva rostlin, která odolají extrémním stanovištním podmínkám, především dlouhodobému suchu i krátkodobému přemokření, větru a mrazu, rostliny s dobrou regenerační schopností, schopné plošného rozrůstání, samostatně se vysemeňující (např. kostřava, šalvěj, koniklec aj.) a na rostliny vyžadující minimální péči, za které lze považovat tučnolisté a suchomilné rostliny a skalničky (Čermáková et Mužíková 2009). Mezi běžně používané rostliny extenzivních střech patří zejména sukulenty (rozchodníky, netřesky) a rozmanité druhy divokých trav a bylin, tedy druhy odolné vůči suchu a relativně nejméně náročné na mocnost substrátu (Minke 2000).

Sukulentní rostliny umějí dobře hospodařit s vodou. Mají schopnost ve svých výhoncích a listech zadržovat vodu a silně omezit vypařování. Jde o zcela nenáročné a snadno pěstovatelné rostliny vyžadující propustnou hlinitopísčitou půdu (u netřesků se může jednat o půdu písčitou či štěrkovitou), které stejně jako většina druhů trav vyžadují slunná stanoviště (Hanzelka 2018). Nízké vrstvy substrátů se sukulentními porosty (50–80 cm) jsou intenzivně prokořeněné, na povrchu však nejsou tyto porosty schopny vytvořit zcela souvislý rostlinný pokryv (Ondřej 1990).

Pro dosažení hustého vegetačního pokryvu s rozsáhlou listovou plochou, kterým lze získat dokonalou tepelnou a zvukovou izolaci, čistší ovzduší (Minke 2000) a zvýšení retenční schopnosti střechy (Li et al. 2018; Nagase et Dunnett 2012) jsou vhodné především porosty z divokých trav, zvláště odrůdy kostřavy, lipnice, ostřice a kavyl či kombinace divokých trav a bylin (Minke 2000).

Do směsi travnatých střech lze začlenit také druhy z oblasti vytrvalých druhů bylin např. zvonky, hvozdíky či druhy mateřídoušky, které kromě mateřídoušky, zvláště v zimě, nevytváří příliš hustý a vysoký pokryv, ale dokážou obohatit jejich vzhled a přilákat hmyz (Minke 2000). Z hlediska vytrvalosti, odolnosti a stálosti na extenzivní zelené střeše lze uvést zvonek okrouhlostý (*Campanula rotundifolia*) – na území ČR původní a rozšířený druh (Pladias © 2014–2019), který v rámci desetileté studie Lubella et al. (2017) v náročných podmínkách zelené střechy ve Wellesley v Massachusetts vykazoval výrazné rozšíření. Při možnosti výšky substrátu 200 mm lze do extenzivní zeleně začlenit také polokeře či velmi nízké a nenáročné keře např.

nízké kručinky, kaliny, případně zakrslé vrby a poléhavé jalovce, které mohou přispět k lepší výkonnosti extenzivních střeš (Čermáková et Mužiková 2009).

7.4 Střešní substráty

Stejně jako strategie využití vody vegetací i hloubka substrátu a jeho hydraulické charakteristiky ovlivňují hydrologickou výkonnost zelených střeš (Li et al. 2018). Jeho vlastnosti, zejména hloubka, typ a vlhkostní podmínky mají zásadní vliv na zadržovací kapacitu a kvalitu vody a růst rostlin (Wang et al. 2017). Vlastnosti a složení substrátu se liší podle požadované funkce střešy, typu rostlinného pokryvu a konstrukčního uspořádání (Šrámek et Dubský 2014). Vzhledem k drsným podmínkám zelených střeš se od substrátů očekávají jedinečné vlastnosti, jako je podpora růstu rostlin, vysoká sorpční schopnost a menší tendence k extrakci (vylouhování), kterých nelze docílit použitím pouze jedné složky. Obecně se mísí několik komponentů s různými vlastnosti a v různých poměrech (Vijayaraghavan 2016).

Střešní substráty, zvláště u extenzivních střeš, by měly být lehké, aby střešou příliš nezatěžovaly. Z důvodu dostatečného zadržení vody by měly mít vhodný poměr pórů o různých velikostech a při plném nasycení by si měly zachovat dostatek vzduchu. Schopnost substrátů udržet vodu je důležitá pro rostliny i pro zpomalování odtoku. Substráty musí vykazovat dobrou drenážní schopnost, aby byly schopny dobře odvádět vodu i za intenzivních dešťů a zachovávat si objem, dlouhodobě odolávat větru, mrazu, přímému slunci a dalším nepříznivým vlivům počasí, aby nedocházelo k narušení jeho stability. Stabilita střešního substrátu je pro zachování jeho funkcí velmi důležitá. Použitím velkého podílu nestabilních komponentů, které postupem času degradují, dochází ke snížení mocnosti substrátu (Šrámek et Dubský 2014) a může docházet ke kontaminaci odtokové vody (Vijayaraghavan 2016).

Mezi nestabilní komponenty substrátů patří např. vermikulit, expandovaný perlit (Wang et al. 2017), hrubozrnný keramzit nebo z organických složek kompost či rašelina (Šrámek et Dubský 2014). Vermikulit a expandovaný perlit mají špatnou odolnost proti opotřebení. Expandovaný perlit se může v průběhu času rozpadat na prášek, čímž dochází ke snižování prodyšnosti a drenáže, a tedy i ke snižování schopnosti zelených střeš zadržovat vodu. Pozitivem obou složek je však výrazná schopnost absorpce vody (Wang et al. 2017). Kompost a rašelina jsou typicky nestabilními organickými složkami substrátu. I když mají dobrou schopnost zadržovat

vodu a částečnou schopnost zadržovat živiny, časem se rozkládají a smršťují, čímž snižují mocnost substrátu (Šrámek et Dubský 2014). Celkový obsah organických komponentů v substrátech by měl být tedy nízký. Doporučený maximální obsah organických (spalitelných) látek ve střešních substrátech, který ve své publikaci předkládá výzkumná asociace pro rozvoj krajiny a krajinný design v Bonnu FFL (2008) je uveden v tabulce č. 5. U hrubozrnného keramzitu dochází k nestabilitě oddělováním velkých zrn, které zůstávají na povrchu, čímž se snižuje tloušťka výkonné vrstvy a tím i množství vody, které je substrát schopen zadržet (Šrámek et Dubský 2014).

Tabulka 5: Maximální obsah spalitelných látek v jednotlivých typech střešních substrátů podle doporučení FLL (2008), čerpáno z (Šrámek et Dubský 2014).

Střešní substrát	Spalitelné látky (g/l)
Extenzivní	< 65
Intenzivní	< 90
Jednovrstvý (extenzivní i intenzivní)	< 40

Vysokou odolností proti opotřebení se vyznačuje např. aktivní uhlí, zeolit, pemza nebo láva, což může pomoci prodloužit životnost zelených střech. Komě toho aktivní uhlí i pemza mají velmi dobře vyvinuté struktury pórů, které substrátům dodávají vysokou schopnost absorpce vody a vysokou absorpční rychlost (Wang et al. 2017). Jako absorpční substrát pro zvýšení zadržovací schopnosti a prodloužení životnosti rozsáhlých střech by byla dle Wang et al. (2017) vhodná směs aktivního uhlí nebo pemzy s expandovaným perlitem nebo vermikulitem.

Růstová média použitá na zelených střechách mají často nízkou kapacitu pro výměnu organických látek a kationtů. Běžná hnojiva nebo kompost se proto mohou uvolňovat rychleji, než média mohou ukládat nebo rostliny absorbovat. Následkem je zvýšení obsahu živin v odtoku (Morgan et al. 2013), zejména dusíku a fosforu. Aby se zabránilo vyluhování živin ze zelených střech byla růstová média pozměňována biocharem, do růstového substrátu byly začleňovány mořské řasy nebo používána hnojiva s řízeným uvolňováním (Wang et al. 2017). Alsup et al. (2010) analyzovali sedm druhů substrátů zelených střech jako potencionální zdroje kovů v odtoku. Jednalo se o popel z uhlí, Axis (aditivní sorpční materiál s čistou kalcifikovanou křemelinou), lávovou horninu (červená láva), Lassenit (70 % oxidu křemičitého, 10 % křemičitanu hlinitého a 2 % krystalobilitu), Haydit (expandovaná břidlice) a Akrilate (expandovaný jílový substrát) v poměru 3:1 s borovou kůrou. Jedná se o běžně

používané substráty v systémech zelených střech v USA. Ze zkoumaných substrátů však ani jeden nebyl považován za zdroj Cr, Cu, Fe, Ni nebo Zn, a kromě Lassenitu nebyly ani zdroji Mn, byly však označeny jako potencionální zdroje Cd a Pb (Alsup et al. 2010).

8 Vegetační stěny

Vegetační stěny, tzv. zelené zdi, jsou vlastně vertikálně umístěné plochy zeleně přímo na stěny budov, opěrné technické konstrukce či opěrné zdi. Jedná se o poměrně nový systém, který má minimální půdorysné nároky a pokrývá nezbytnou potřebu zeleně především v městském prostředí (Čechová 2017). Vzhledem k tomu, že v městských centrech může být rozsah fasád dvojnásobkem půdorysu budov, mají zelené zdi větší potenciál než zelené střechy (Manso et Castro-Gomes 2015). Vegetační stěny poskytují ekonomické a ekologické přínosy i estetickou hodnotu. Přínosy se mění v závislosti na druhu budovy, technologii zelené zdi, druzích rostlin a jejich pokrytí (Timur et Karaca 2013). Zelené stěny (Obrázek 3) tvoří součást městské zelené infrastruktury. Přispívají k celé řadě ekosystémových služeb, včetně nárůstu biologické rozmanitosti měst (poskytnutím stanovišť pro organismy), zachycování srážek, snižování odtoku, zlepšování kvality ovzduší (regulace prašnosti, asimilace CO₂), tlumení hluku, k psychické pohodě a zvyšování estetiky města. Role vegetačních stěn spočívá zejména ve zlepšování kvality ovzduší, chlazení měst, snižování energetické zátěže budov a zlepšování tepelné pohody (Timur et Karaca 2013; Cameron et al. 2014).



Obrázek 3: Vnější obytná zeď muzea Quai Branly v Paříži
(zdroj: www.matadomnetwork.com)

Snižováním teploty vzduchu v městských oblastech pomáhají zmírňovat účinky městského tepelného ostrova a ochlazováním povrchu budov snižují závislost na klimatizačních zařízeních (Cameron et al. 2014). Rostliny či keře podél zdí působí jako tepelný izolant (Čechová 2017) a poskytují výraznou termoregulaci (Cameron et al. 2014). Ke snížení povrchové teploty dochází v důsledku zastínění, chlazení

vzduchu evapotranspirací a snížení rychlosti větru v blízkosti fasády, které vede ke snížení tepelného toku skrz stěny (Susorova et al. 2014). Chladicí potenciál vegetačních stěn je ovlivňován výběrem rostlinných druhů (Cameron et al. 2014), orientací stěn ke světovým stranám a přítomností blízkých překážek (Susorova et al. 2014).

Vlivem rostlin na chladicí potenciál zelených stěn se ve své studii zabývali Cameron et al. (2014). Jejich výzkum zahrnoval hodnocení mechanismů jednotlivých druhů rostlin při chlazení stěn, zejména snižováním teploty stěn zastíněním a evapotranspirací, které se u jednotlivých druhů rostlin značně lišily. Břečťan (*Hedera helix*), zimolez (*Lonicera 'Gold Flame'*) a jasmín pravý (*Jasminum officinale 'Clotted Cream'*) do značné míry zajišťovaly chladicí účinek zastíněním, zatímco chlazení druhem Fuchsie (*Fuchsia 'Lady Boothby'*) bylo spojeno především s evapotranspirací. Bobkovišeň lékařská (*Prunus laurocerasus*) a čistec vlnatý (*Stachys byzantina*) ochlazovali zastíněním i evapotranspirací téměř stejnou měrou. Výsledky experimentu také poukázaly na vliv fyziologie rostlin a morfologie listů při zvýšení chladicího výkonu zelených stěn (Cameron et al. 2014).

Rostliny na stěnách budov přispívají k redukci prašnosti a škodlivých plynných látek (Currine et Bass 2008). U prachových částic dochází k jejich zachycování povrchy listů a postupnému smývání do substrátu během dešťů. Plynné částice jsou absorbovány stomaty listů do těla rostlin, kde mohou být uloženy nebo transportovány skrz kořenový systém do substrátu (Čechová 2017). Množstvím odpařené a zadržené srážkové vody přispívají ke snížení rychlosti a objemu povrchového odtoku (Nagase et Dunnett 2012) a díky odpařování zachycených dešťových srážek či rosy napovrchu listů a transpirační schopnosti zvlhčují okolní vzduch (Čechová 2017). Příkladem může být výsledek experimentu Susorové et al. (2014) na univerzitě v Chicagu, kdy jižní stěna budovy kampusu porostlá břečťanem zvýšila, oproti zdi holé, relativní vlhkost vzduchu v průměru o 2,1 %.

Zelené stěny lze rozdělit na dvě základní kategorie, na zelené fasády a živé stěny tzv. biostěny či vertikální zahrady, což je dáno zejména schopnostmi rostlinných druhů a konstrukčním řešením. Rostliny zelených fasád mají schopnost v samotné zdi zakořenit a růst, což je typické např. pro bylinné druhy jako je zvěšinec zední (*Cymbalaria muralis*) či trýzel (*Wallflowers*) nebo pro mechy, lišejníky a některé druhy trav nebo jsou přirozeně přizpůsobeny k lezení nahoru a přes překážky, kdy je pro jejich úspěšný růst po stěnách a budovách obvykle nezbytný podpurný systém. Oproti

tomu systémy živých stěn (vertikální zahrady, biostěny) se skládají z vegetačních panelů, rohoží či osázených vertikálních modulů a vyznačují se velkou rozmanitostí a hustotou rostlinných druhů (Timur et Karaca 2013).

8.1 Zelené fasády

Zelené fasády tvoří popínavé (pnoucí) dřeviny rostoucí přímo na zdech (Obrázek 4) nebo nosných konstrukcích. Výhonky rostlin pokrývají stěny budov, či zdí, zatímco jejich kořenový systém roste v zemi. Jedná se o systém produkující velké množství biomasy na místech, kde by výsadba jiných prvků zeleně např. stromů či vegetačních pásů nebyla možná (Burian et Ondřej 1992). Pro zelené fasády lze použít samopnoucí rostliny, které zpravidla nepotřebují žádnou oporu ani vyvazování a přichytávají se pomocí kořínků nebo přilnavých terčů, např. neopadavý břečťan, brslen či opadavý přísavník a pnoucí hortenzie nebo rostliny vyžadující oporu či konstrukci, a zpočátku také vyvazování, mezi které patří plamének, jasmín, pnoucí růže, zimolez, podražec, réva, vistárie, trubač aj. (Timur et Karaca 2013).



Obrázek 4: Zelená fasáda z břečťanu popínavého (zdroj: www.zahradaapriroda.cz)

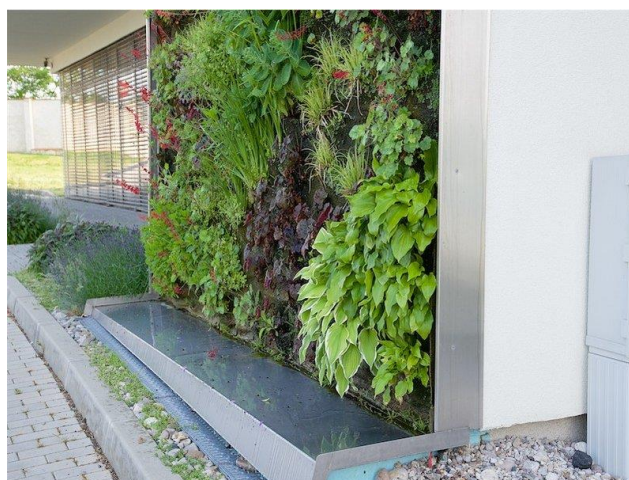
Ve srovnání s vertikálními zahradami mají zelené fasády určité výhody, ale také nevýhody. Výhodou představují především minimální půdorysné nároky a nižší pořizovací náklady. Popínavým rostlinám pokrývajícím značnou část stěny pro svůj růst zpravidla postačí otvor v dlažbě nebo asfaltu, což je velkým pozitivem v silně urbanizovaných městských zástavbách (Burian et Ondřej 1992). Vzhledem k tomu, že neobsahují téměř žádné materiály a mají nízké nároky na údržbu představují malou zátěž pro životní prostředí (Manso et Castro-Gomes 2015). Nevýhody

zelených fasád spočívají v delší době dorůstání popínavých rostlin do požadovaných velikostí, ve snížené schopnosti termoregulace u opadavých druhů rostlin v zimním období a ve ztrátě podstatné části ozeleněné plochy v případě úhynu některé z rostlin, kdy dorůstání nové rostliny má opět dlouhodobější ráz (Čechová 2017).

Příklady samopnoucích rostlin zpravidla nevyžadujících podporu a pnoucích rostlin vyžadujících oporu nebo vyvazování vhodných pro zelené fasády se zaměřením na odolnost vůči mrazu, stanovištní podmínky, rychlost růstu či podporu fauny dle Johnstona et Newtona (2004) a Krajčovičové (2005) jsou uvedeny v příloze č. 4 a 5.

8.2 Vertikální zahrady

Vertikální zahrady (Obrázek 5) nazývané také jako živé stěny nebo biostěny, mohou představovat opěrné (stabilizační), na stěnu upevněné nebo samostatně stojící vertikální technické konstrukce osázené rostlinami (Timur et Karaca 2013). Tato technologie přinesla možnost na zelené zdi použít širší paletu rostlinných druhů (pokud jsou brány v úvahu jejich potřeby zalévání a výživy), např. nízkých keřů, vytrvalých rostlin, trav, kapradin i sukulentních rostlin (Manso et Castro-Gomes 2015).



Obrázek 5: Vertikální zahrada Buštěhrad (zdroj: www.vaszahradnik.cz)

Rostliny živých stěn mohou být pěstovány hydroponicky (kontinuální systém živých stěn) nebo v substrátu (modulární systém živých stěn). Kontinuální systémy jsou běžně založeny na hydroponické metodě, která vyžaduje neustálý přísun vody a živin kvůli nedostatku substrátu (Manso et Castro-Gomes 2015), který je nahrazován např. minerální plstí, kokosovým vláknem, keramzitem či pemzou (Čechová 2017). Hydroponické systémy umožňují růst rostlin bez půdy, pomocí vrstev ze syntetické

textilie s kapsami, s malým množstvím růstového média (pouze pro oporu kořenového systému rostlin) a vlhčených zavlažovacím systémem. Nedostatek půdy je kompenzován poskytováním potřebných živin pro vývoj rostlin v zavlažovací vodě. Modulární systémy představují prvky se specifickým rozměrem, které zahrnují pěstební médium, kde mohou rostliny růst. Každý prvek, ve formě misek, nádob, květináčů nebo pružných sáčků je podepřen doplňkovou strukturou nebo upevněn přímo na svislém povrchu. (Manso et Castro-Gomes 2015). V našich klimatických podmínkách je z důvodu zimních mrazů používán systém pěstování rostlin v růstovém substrátu (Čechová 2017).

Živé stěny působí jako tlumič hluku (až o 40 dB) a vibrací. Samostatně stojící živé stěny, tzv. krajinné stěny, zajišťují stabilizaci svahu (Timur et Karaca 2013). Rostliny a média zelených opěrných zdí podporují hydrologické procesy (intercepci, infiltraci a evapotranspiraci) a ochlazováním a zastíněním okolí zmírňují efekt městského tepelného ostrova (Ostendorf et al. 2011). Prostřednictvím vegetační složky se také aktivně podílí na odstraňování oxidu uhličitého (CO₂) a prachových částic z ovzduší (Charoenkit et Yiemwattana 2017) a zmírňování víření prachových částic (Timur et Karaca 2013). Účinky vegetačních stěn lze v mnoha ohledech přirovnat k účinkům strmých zelených střech, a to i v případě výběru vhodných rostlinných druhů, které musí čelit podobným stanovištním podmínkám (Ostendorf et al. 2011).

O termoregulačních schopnostech živých stěn informují výsledky projektu Mojskiho et al. (2018). Jejich hydroponický vertikální zahradní systém přizpůsobený polským klimatickým podmínkám s výsadbou smělka sivého (*Koeleria glauca*) poskytl v nejméně chladnějším měsíci (lednu) tepelnou ochranu povrchu budovy v podobě vyšší teploty vzduchu za živou stěnou v průměru o 0,69 °C ve dne a 2,09 °C během noci. V nejteplejším měsíci (červnu) poskytl chladicí efekt projevující se nižšími teplotami vzduchu za stěnou v průměru o 4,68 °C ve dne a o 1,82 °C před stěnou v noci.

Na vliv plochy listů a hustoty olistění rostlinných druhů na sekvestraci uhlíku a na termoregulační schopnosti živých stěn upozornili ve výsledcích svého experimentu Charoenkita et Yiemwattana (2017). Při analýze tepelných a uhlíkových dat živých zdí v tropickém klimatu, osázených třemi druhy rostlin, vykazovaly nejvyšší účinnost v termoregulační schopnosti a sekvestraci uhlíku rostliny s nejhustším olistěním a malými listy (*Cuphea hyssopifolia* – hlazenec yzopolistý) oproti rostlinám s velkými či středně velkými listy a menší hustotou olistění (*Tibouchina urvilleana* – tibouchína urvillská, *Excoecaria cochinchinensis* – čínský kroton).

Při výběru rostlin je nutné zohlednit statiku konstrukce zelené stěny, která zodpovídá za životaschopnost celého projektu ekologizace. V případě zeleně, která není trvale zásobována vodou a živinami je důležitost přikládána odolnosti rostlin vůči suchu a mrazu a objemu substrátu. Substrát poskytuje ochranu kořenům rostlin a díky kapacitě vody v substrátu napomáhá k překlenutí období sucha (Pfoser 2018). Důležitým kritériem je také orientace na světovou stranu určující délku a míru oslunění nebo stínu a s tím související vysychání nebo promrzání růstového substrátu. Pro vertikální zahrady se volí rostliny, které rychle rostou a dobře kryjí podloží. V podmínkách ČR lze využít původních sukulentních rostlin, trvalek či okrasných travin pěstovaných v suchých zídkách či skalkách (Čechová 2017). Příklady doporučených druhů rostlin (travin, kapradin a trvalek) dle Pfosera (2018), vhodných pro živé stěny (vertikální zahrady) v klimatických podmínkách ČR jsou uvedeny v příloze č. 6, 7, 8.

Udržení správné funkce a prodloužení životnosti systémů živých zdí však vyžaduje určitou péči v podobě pravidelných kontrol statiky konstrukcí a jejich případné výměny, udržování dostatečné hustoty pokryvu dosazováním rostlin, udržování dostatečné vlhkosti, přísunu živin, odstraňování plevelů a případného usměrňování růstu rostlin (Pfoser 2018).

Z hlediska porovnání vertikálních zahrad (živých zdí) se systémy zelených fasád mají živé zdi určité výhody týkající se především regenerace rostlin v případě poškození systému zelené stěny nebo úhynu jednotlivých rostlin, kdy v případě vertikální zahrady postačí pouze výměna jednotlivých sazenic, případně výměna modulu (Stará 2014). Dalším pozitivem je větší tepelná a akustická izolace, možnost využití při stabilizaci svahů (Timur et Karaca 2013). Nevýhodu představují vyšší pořizovací náklady a využívání druhů materiálu jejichž nižší trvanlivost, recyklační potenciál a vysoká spotřeba vody mohou mít významný dopad na celkovou environmentální zátěž (Manso et Castro-Gomes 2015).

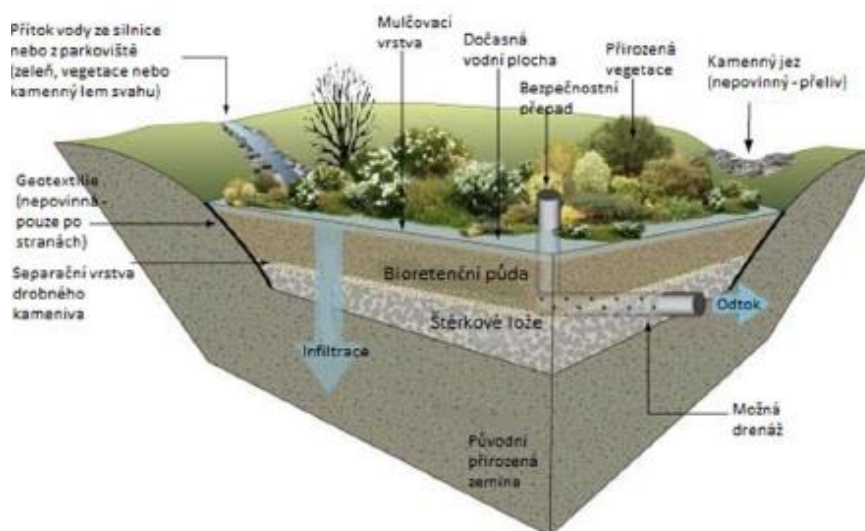
9 Systémy biologické retence

Systémy biologické retence patří mezi typická komplexní opatření pro nakládání s městskými dešťovými vodami, využívající prvky zelené infrastruktury. Jedná se o vegetační krajinné deprese určené k zadržení a úpravě odtoku dešťové vody v místě spadu a ke snížení maximálních průtoků, které lze využít i v obytných a komerčních oblastech nebo v městských parcích (Shafique et al. 2017). Cílem těchto opatření je, podobně jako u udržitelných odvodňovacích systémů, napodobit přirozený odtok zadržením vody během intenzivních srážek, čímž kromě vlastní retenční funkce přispívají také ke snížení zatížení kanalizačního systému. Jejich výhodou je vysoká retenční a odpařovací kapacita a vysoký biologický čistící výkon (Hlavínek, 2007). Nevýhodou může být jejich náročnost na prostor potřebný pro vsakování, což tento způsob nakládání s dešťovou vodou znevýhodňuje především v silně urbanizovaných oblastech, jako jsou například centra měst (Heisigová et al. 2014). Kromě podpory přírodních hydrologických procesů a odstraňování znečišťujících látek zvyšují biologickou rozmanitost a přispívají ke snižování okolních teplot prostředí (Shafique 2016).

Systémy bioretence se zpravidla skládají ze záplavové oblasti (Trinh et al. 2013), osázené různými druhy trav, trvalkami, keří nebo stromy, z vrstvy filtračního média složeného ze směsi písku, půdy a organických látek, která je pokryta tenkou vrstvou (2,5–8 cm) mulče a z přechodové a drenážní vrstvy (Davis 2008). Základním principem bioretenčních systémů je zadržení a akumulace dešťové vody z povrchového odtoku, její přirozené odpařování a vsakování přes vegetační vrstvu a ostatní vrstvy do půdního a horninového prostředí a stabilní hladiny podzemní vod, čímž zvyšují retenční schopnost krajiny, obnovují přirozené čistící procesy, přispívají ke zlepšení místních mikroklimatických podmínek a k návratu přirozeného vodního cyklu (Obrázek 6) (Trinh et al. 2013). Při své funkci, zejména při odstraňování znečišťujících látek z odtoku dešťové vody, využívají chemické, biologické a fyzikální vlastnosti rostlin, mikrobů a půd (Li et al. 2016).

Bioretenční systémy představují vybudované zatravněné nebo osázené vsakovací zařízení (bioretenční buňky), určené k zadržení a postupnému vsakování srážkových vod. Mohou být liniové, představované jako vsakovací průlehy, zasakovací pásy, svejly či biosvejly (z angličtiny přejímám výraz „swales, bioswales“) nebo plošné, běžně označované jako dešťové zahrady či dešťové záhony, tzv. „Rain garden“ (Pyšková 2018). V městském prostředí bývají většinou realizovány formou kvetoucích

záhonů nebo dešťových zahrad a vsakovacích zahradních průlehů, plnících převážně funkci hydrologickou a vegetačních příkopů nebo vegetačních pásů podél vozovky jejichž hlavní úkol spočívá v regulaci odtoku a odstraňování znečišťujících látek z povrchového odtoku z chodníků, komunikací či parkovacích ploch (Hlavínek, 2007, Shafique et Kim 2017, Irvine et Kim 2018).



Obrázek 6: Princip bioretenčního systému (zdroj: www.modernienenergetika.cz).

9.1 Úloha rostlin v systémech biologické retence

Vegetace v systémech bioretence přispívá k udržení pórovitosti půdy, podpoře evapotranspirace, k biologické aktivitě, odstraňování znečišťujících látek a ke zvýšení estetické hodnoty (Davis 2008). Nadzemní části vegetace zachycují část vody na svém povrchu, čímž podporují výpar a snižují povrchový odtok (Hunt et al. 2012). Vegetace tvořící povrch šikmých přírodních ploch i horní povrch bioretenčních systémů poskytuje specifický hydraulický odpor zpomalující rychlost toku (Irvine et Kim 2018), čímž dochází k prodloužení hydraulické retenční doby a poskytnutí více času na účinnější odstraňování znečišťujících látek z odtoku (Hunt et al. 2012). Rozptýlením hydrodynamické energie, která je nesena odtokovou vodou dochází ke snížení eroze a k zachycení hrubých částí na povrchu nebo uvnitř vegetační vrstvy (Irvine et Kim 2018). Kořenový systém rostlin brání stlačování a zanášení média, zajišťuje jeho porozitu čímž přispívá k infiltraci, udržení hydraulické kapacity a k transpiraci (Hatt et al. 2009; Hunt et al. 2012).

9.2 Hydrologické funkce bioretenčních systémů

Od bioretenčních systémů se očekává především zmírnění špičkových průtoků a objemů povrchového odtoku pomocí přírodě blízkých hydrologických procesů, infiltrace určitého podílu odtoku a uvolnění odtoku z bioretenční buňky rychlostí nenarušující geomorfologii toku (Hunt et al. 2012). Dešťové zahrady, stejně jako zasakovací pásy či vsakovací průlehy, mají jedinečnou schopnost obnovy přirozených hydrologických podmínek a udržování přirozeného vodního cyklu v dané oblasti „přeměnou“ povrchové odtokové vody na infiltraci a evapotranspiraci (Xiao et Mc Pherson 2011; Hunt et al. 2012; Shafique 2016). Jejich aplikace v městských oblastech spočívá v zadržení přebytečné vody přitékající z okolního terénu (střech, parkovišť a ostatních zpevněných nepropustných ploch) (Kravčík 2010), jejím postupným vsakováním přes jednotlivé infiltrační vrstvy a odpařování, které přispívá nejen k lepší kvalitě vody a snížení povrchového odtoku, ale také k ochraně vodních toků před vymíláním a k doplňování podzemních vod (Shafique et Kim 2017).

Řízení odtoku bioretenční buňkou závisí na její infiltrační kapacitě, která je ovlivňována plochou a hloubkou povrchového zatopení, druhy rostlin vegetačního pokryvu, filtračním médiem, hydraulickou vodivostí půdy, filtrační plochou, a především množstvím a intenzitou dešťové události (Shafique 2016). Čím větší je dostupný úložný objem, který zahrnuje povrchovou plochu bioretence, hloubku média a hloubku kořenů rostlin, tím větší je infiltrace, evapotranspirace a nižší průtok uvolněný bioretenční buňkou (Hunt et al. 2012). Pokud je požadovaný úložný objem limitován omezením hloubky (vedení inženýrských a komunikačních sítí) nebo nedostupností potřebné plochy (Xiao et Mc Pherson 2011), musí být využity i další možnosti k řízení odtoku, např. správný výběr rostlin, konfigurace média a drenáže, či propojení bioretenční buňky s podzemním či nadzemním zádržným systémem v kombinaci s bezpečnostním přelivem a regulovaným odtokem (Hunt et al. 2012).

Jakýkoli požadavek na infiltraci závisí také na infiltračních podmínkách půdy (Hunt et al. 2012; Turk et al. 2014). Vhodné jsou porézní hrubé zrnité půdy s vysokou mírou infiltrace (Shafique et Kim 2017), osázené rostlinami s hlubšími kořeny zajišťujícími porozitu půdy (Hatt et al. 2009). Hydraulická vodivost využívaných médií, která je indikátorem schopnosti půdy vést a předávat vodu potřebnou pro rostliny do kořenové zóny a také ji z kořenové zóny odvádět, bývá 10 až 100krát vyšší, než je vodivost okolního půdního profilu (Kameníčková 2012; Trinh et Chui 2013). Standardní běžně používaná média obsahují přibližně 50 % objemového stavebního

písku, 30 % ornice a 20 % kompostu, s obsahem jílu méně než 10 % (Davis 2008). Přesné složení a poměr složek média však záleží na primární funkci, kterou má bioretenciční zařízení plnit a na druhu a míře kontaminace (Turk et al. 2014).

Výsledky o hydrologických funkcích bioretencičních objektů dokládá mnoho vědeckých studií. Například dle studie Davise (2008) lze bioretencičním zařízením o ploše 2krát 28 m² zachycujícího odtok dešťové vody z 0,24 ha nepropustné plochy dosáhnout snížení maximálního průtoku o 44 až 63 % a prodloužit dobu koncentrace až o 2 hodiny. U některých srážkových událostí lze dosáhnout zachycení celého objemu přítoku bez nulového odtoku. Hatt et al. (2009) ve své studii prokázali až 80 % účinnost bioretence při zmírňování vrcholných průtoků a významné zvýšení infiltrační kapacity v souvislosti s prudkým růstem vegetace, čímž poukázali na důležitou roli kořenové zóny vegetace při udržování porozity filtračního média. Trinh et Chui (2013) dospěli k závěru, že zavedením bioretencičního zařízení na 5 % plochy povodí (rozloha povodí 160 m²) lze zvýšit infiltraci vody v povodí v průměru o 10 % a u jednotlivých srážek s vysokou intenzitou může dojít až k 30 % zvýšení infiltrace v povodí.

Vlivem různých typů vegetace na ztrátu vody evapotranspirací a na množství odtoku z bioretenciční buňky (dešťové zahrady) se ve svém experimentu zabývali Nocco et al. (2016). Z výsledků experimentu prováděného v měsíci červenci bylo patrné, že největší příspěvek ke snížení odtoku měla bioretenciční buňka s vegetační vrstvou ze směsi trvalek (prérie), která vykazovala pouhých 25 % odtoku z bioretenciční buňky. Odlišné hodnoty vykazovaly bioretenciční buňky s holou půdou se 70 % odtoku, s keří 60 % odtoku a s travním porostem 60 % odtoku. Celkové vyhodnocení výsledků z experimentů prováděných v měsících červenci, srpnu a září/říjnu je uvedeno v tabulce č. 6. Rostlinné druhy (rozdělení dle typu vegetace – prérie, keře, tráva) použité k osázení jednotlivých typů dešťových zahrady v experimentu Nocco et al. (2016) jsou uvedeny v příloze č. 9.

Tabulka 6: Vliv různých typů vegetace na množství odtoku z dešťové zahrady v období od července do října. Upraveno dle výsledků experimentu Nocco et al. (2016).

Množství přítoku (\varnothing v mm)	Typ vegetace dešťové zahrady	Množství odtoku (\varnothing v mm)	Změna v ukládání půdní vody (\varnothing v mm)	Ztráta vody evapotranspirací (\varnothing v mm)
59 mm	Holá půda	42	1	18
	Prérie (směs trvalek)	11	7	42
	Keře	29	1	31
	Tráva	34	0	27
Standardní chyba vegetace (mm)		2	2	2

9.3 Úprava kvality vody prostřednictvím bioretence

Urbanizované oblasti se nepotýkají pouze s nadměrným množstvím povrchového odtoku, ale také s řadou znečišťujících látek (polutantů), které obsahuje. Jedná se především o suspendované pevné látky (TSS), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), těžké kovy (např. zinek, měď, olovo, železo), dusík (amoniak, dusičnany) a fosfor (Xiao et Mc Pherson 2011). Bioretenční systémy jsou schopny tyto látky prostřednictvím filtračních médií, fyzikálních (filtrace, vypařování), chemických (sorpce, iontové výměny, srážení) a biologických procesů (fytoremediace, mikrobiální transformace, transpirace) odstraňovat. Do jaké míry však závisí především na jejich konstrukčním řešení (Shrestha et al. 2018).

Určitý negativní vliv na odstraňování polutantů z odtoku přináší zvyšování infiltrační kapacity bioretenčních systémů, která přispívá k řízení odtoku, ale ne vždy je vhodná z hlediska zlepšení kvality podzemní vody (Shafique 2016). Odstraňování znečišťujících látek téměř jakéhokoli druhu je založeno na hydraulické retenční době daného infiltračního zařízení a oddělení některých látek z odtoku vyžaduje určitý čas, aby byly tyto mechanismy účinné. Delší hydraulická retenční doba tedy zvyšuje kvalitu vody, ale snižuje rychlost vsakování, což může při větších dešťových událostech negativně ovlivnit hydrologický výkon bioretenčních objektů (Hunt et al. 2012).

9.3.1 Odstraňování suspendovaných pevných látek a uhlovodíků

Při odstraňování suspendovaných pevných látek z odtoku hraje významnou roli sedimentace a filtrace, v kombinaci s relativně jemným médiem, relativně nízkou průtokovou rychlostí a vegetací (Hunt et al. 2012). V počátečních fázích srážkové události vstupuje dešťová voda do vrstev mulče a vegetace, kde dochází sedimentací k účinnému zachycení větších částic s vyšší hustotou a filtrací přes relativně jemné médium dochází k zadržení jemných částic (Irvine at Kim 2018). Důsledkem je zachycení velké části pevných látek ve vrchní vrstvě bioretenční buňky a vysoce efektivní odstranění celkových suspendovaných pevných látek (TSS) (Hunt et al. 2012). Negativem může být postupné snižování infiltrační rychlosti způsobené zanášením povrchu bioretenční buňky zadrženými jemnými částicemi (Irvine at Kim 2018), kterou lze do jisté míry podpořit kořenovým systémem rostlin, ale hlavně správnou a pravidelnou údržbou bioretenčních objektů (Hunt et al. 2015). K odstraňování TSS z odtoku postačí malá hloubku média, odpovídající přežití a růstu

rostlin (doporučeno min. 0,3 m), míra infiltrace do 0,04 mm/s a přítomnost vegetace (Hunt et al. 2012). Při odstraňování uhlovodíků (toluenu a naftalenu) z odtoku hraje důležitou roli především vrchní vrstva mulče, která dokáže zachytit více jak 80 % uhlovodíků, které jsou následně rozloženy v důsledku mikrobiální aktivity (Hong et al. 2006).

9.3.2 Redukce těžkých kovů bioretenčními systémy

Při redukci těžkých kovů z odtoku je důležitost přikládána především půdním médiím a částečně vegetaci (Hatt et al. 2009). Sorpční kapacita bioretenčních médií je však omezená. Těžké kovy zde mohou být akumulovány pouze do určité úrovně a na určitou dobu (Hunt et al. 2012). Pro zadržení těžkých kovů v bioretenci se nabízí také možnost začlenit do půdních médií látky s nízkou rozpustností např. oxidy železa nebo hliníku způsobující jejich imobilitu (Sun et Davis 2007) a vyšší hodnota pH, která významně podporuje adsorpční schopnost půdních médií (Turk et al. 2014). Další možností je periodické odstraňování mělké povrchové vrstvy média, která vykazuje nadměrné hromadění kovu (Sun et Davis 2007) nebo absorpce kovů pomocí vybrané vegetace a její pravidelné sklizně, tedy pomocí tzv. fytoextrakce. Fytoextrakce je jednou z metod fytořemediace (využití zelených rostlin k přesunu, akumulaci nebo odstraňování kontaminantů z životního prostředí), která mimo jiné spočívá v absorpci těžkých kovů (např. kadmia, olova, zinku, mědi, niklu) kořeny rostlin či stromů a v následné akumulaci těchto kovů v nadzemních částech rostlin (Vaněk et al. 2017).

Na absorpci těžkých kovů (Zn, Cu, Pb a Cd) pomocí vegetace bioretenčních systémů se ve své experimentální studii zaměřili Sun et Davis (2007). Jejich experiment zahrnoval tři druhy trav, proso prutnaté (*Panicum virgatum*), kostřavu rákosovitou (*Tall fescue*) a sveřep (*Bromus ciliatus*), které patří mezi vzpřímené trvalky s vysokou biomasou a odpovídajícím potenciálem pro fytořemediaci kovů. Z celkového množství vstupujících kovů však bylo 88–97 % zachyceno v půdních médiích a pouze 0,5–3,3 % kovů bylo absorbováno rostlinami. Nižší množství zachycených kovů bylo částečně připisováno nižší produkci rostlinné biomasy. I když hodnoty akumulace kovů rostlinami z experimentu nejsou srovnatelné s hodnotami typických hyperakumulačních rostlin, které mohou být 100násobně vyšší, mohou být výsledné hodnoty významné pro bioretenční média.

9.3.3 Odstraňování dusíku a fosforu systémy bioretence

Odstraňování dusíku a jeho forem z odtoku je oproti odstraňování TSS nebo kovů poměrně složitý proces (Hatt et al. 2009). Eliminace dusíku je ovlivňována formou přítomného dusíku, složením média, proměnným režimem smáčení a sušení, který je pro provoz biofiltru charakteristický a přítomností a druhem vegetace (Lucas et Greenway 2008; Hunt et al. 2012). Systémy bioretence, které mají pozitivní vliv na účinné odstraňování organického dusíku či amoniakálního dusíku (NH_4^+) však nemusejí být účinné při snižování koncentrace NO_x (oxidu dusnatého, oxidu dusičitého) (Hatt et al. 2009). NO_x je vysoce rozpustný a ve filtračním médiu těžko zachytitelný. Jeho odstranění je v podstatě závislé na absorpci rostlinami nebo na denitrifikaci. Příchozí organický dusík zadržený biofiltrem je mineralizací, amonifikací a nitrifikací přeměněn na NO_x a pokud není absorbován kořenovým systémem rostlin nebo procesem denitrifikace přeměněn na N_2 (elementární dusík), je z biofiltru následně vyplaven (Davis et al. 2006).

Pro účinné zpracování dusíku je zapotřebí hlubší vrstva média (minimálně 75 cm), nižší infiltrační rychlost (0,007 – 0,014 mm/s) a menší podíl organické hmoty v substrátu (méně jak 10 % celkového objemu), která po svém rozpadu způsobuje vyluhování dusíku z bioretenční buňky, ale je však také potřebným zdrojem uhlíku pro nitrifikační a denitrifikační bakterie (Hunt et al. 2012). Důležitým mechanismem redukce dusíku v bioretenci je přítomnost vegetace, která v bioretenčních buňkách zajišťuje vyšší účinnost odstraňování dusíku než u buněk bez vegetace (Lucas et Greenway 2008). Rychlost a množství odstraňovaného dusíku rostlinami se liší v závislosti na objemu kořenové hmoty, a proto je v bioretenci žádoucí využití rostlin s větší a hlubší kořenovou biomasou (Bratieres et al. 2008). Na rozdíly v účinnosti jednotlivých rostlinných druhů při sekvestraci dusíku ve své studii poukazují Hatt et al. (2009), kteří ve svém experimentu po nahrazení rostlinných druhů tajar (*Dianella*) v bioretenční buňce druhy ostřic (*Carex appresse*) s hustými vláknitými kořeny zjistili zvýšenou retenci dusíku.

Zatím co odstraňování dusíku úzce souvisí s mikrobiálními procesy (nitrifikace-denitrifikace), odstraňování fosforu (P) je závislé na filtraci, a především na chemických parametrech média (Hunt et al. 2012; Shrestha et al. 2018). Základem je použití filtračního média s nízkým obsahem fosforu a nízkým podílem organické hmoty, která svou degradací vede k vyluhování fosforu z média (Hatt et al. 2009). Mechanismus odstraňování fosforu filtrací souvisí s vazbou fosforu na částicích, které

mohou být pomocí TSS zachyceny ve vrstvě média (Hunt et al. 2012). U chemických parametrů média lze využít půdních substrátů s vyšším obsahem oxidů železa a hliníku (větší množství je přítomné v jílu či bahně), které podporují vazbu fosforu (Roy 2017) a přispívají k výraznému zvýšení jeho odstraňování (Shrestha et al. 2018).

Souvislost odstraňování fosforu se složením média dokládají výsledky terénní studie Shrestha et al. (2018), na univerzitě ve Vermontu (USA). Autoři porovnávali výkonnost bioretenčních buněk (podél silnice se středním provozem) při odstraňování živin (dusíku a fosforu) z povrchového odtoku v závislosti na druhové biodiverzitě vegetace a složení půdního média (Tabulka 7). Výsledky dokládají, že odstraňování orthofosforečnanů (Ortho-P), celkového fosforu (TP) a oxidů dusíku (NO_x) bylo nejvíce ovlivněno složením média, které mělo 94 % účinnost při odstraňování Ortho-P a 86 % u TP a 55 % účinnost při odstraňování NO_x.

Tabulka 7: Vliv druhové biodiverzity vegetace a složení média bioretenční buňky při odstraňování živin (fosforu a dusíku) z povrchového odtoku dle (Shrestha et al. (2018).

Bioretenční buňka	Orthofosforečnany - Ortho-P			Celkový fosfor TP		
	Přítok (mg)	Odtok (mg)	Účinnost (%)	Přítok (mg)	Odtok (mg)	Účinnost (%)
ND*	628	3578	-470%	1141	4430	-288%
VD**	784	5365	-584%	3050	5106	-67%
VD SM***	643	37	94%	1067	154	86%
Bioretenční buňka	Oxidy dusíku - NO _x			Celkový dusík TN		
	Přítok (mg)	Odtok (mg)	Účinnost (%)	Přítok (mg)	Odtok (mg)	Účinnost (%)
ND*	1440	1414	2%	5955	3256	45%
VD**	4810	6213	-29%	15936	8823	45%
VD SM***	4033	1802	55%	5910	3689	38%

*Buňka s nízkou diverzitou vegetace (ND) obsahovala 2 druhy rostlin: denivky (*Hemerocallis* spp.) a proso prutnaté (*Panicum virgatum*). **Buňka s vysokou diverzitou vegetace (VD) zahrnovala 7 rostlinných druhů: klejicha hlíznatá (*Asclepias tuberosa*), sasanka kanadská (*Anemone canadensis*), orlíček kanadský (*Aquilegia canadensis*), astříčka novoanglická (*Symphotrichum novae-angliae*), baptisie jižní (*Baptisia australis*), záplevák podzimní (*Helenium autumnale*), lobelka šarlatová (*Lobelia cardinalis*). ***Bioretenční buňka s vysokou druhovou diverzitou a "Sorbtive MediaTM" (VD SM), kde bylo 7,6 cm štěrkové vrstvy nahrazeno P-sorbentem "Sorbtive MediaTM" (tento materiál obsahuje jemné granule oxidu Fe a Al pro podporu absorpce rozpuštěného fosforu).

9.4 Vegetace bioretenčních objektů

Rostliny jsou nezbytným a funkčním prvkem bioretenčních systémů (Bortolini et Zanin 2019). Prostřednictvím procesu transpirace a dlouhodobým udržováním hydraulické kapacity půdních médií kořenovým systémem podporujícím infiltraci přispívají

k zachování přirozeného vodního cyklu (Hatt et al. 2009; Bortolini et Zanin 2019), napomáhají k odstraňování sedimentů, živin (Shrestha et al. 2018) a těžkých kovů (Sun et Davis 2007) a v neposlední řadě svými ozdobnými prvky zvyšují estetickou hodnotu krajiny (Bortolini et Zanin 2019).

Pro maximální účinnost systémů bioretence je důležitým faktorem vitalita rostlin a s tím související správný výběr rostlin. Pokud rostliny neprosperují, nelze od objektů bioretence očekávat plnohodnotné a dlouhodobé plnění funkcí, které mají splňovat (Bortolini et Zanin 2019). Rostliny musí čelit daným klimatickým podmínkám, expozici (slunce, stín) a určité míře kontaminace. Vzhledem ke střídání období občasného zatopení a nedostatku vody je nutné, aby rostlinné druhy tolerovaly zamokření i delší sucho, tedy rostliny s dužnatými podzemními orgány (oddenky, hlízký, silné kořeny) anebo hluboko kořenící (Pyšková 2018). U objektů veřejné zeleně nahrazujících nepropustné povrchy v blízkosti silnic nebo parkovišť, zahrnující kruhové objezdy, dopravní ostrůvky, pásy zeleně mezi vozovkami a dělící pásy mezi vozovkou a chodníkem, musí rostliny vzdorovat prostorovému omezení, dlouhým obdobím sucha, případnému krátkodobému zatopení, vysoké prašnosti, znečištění exkrementy a přítomnosti soli nebo solanky z povrchů komunikace v zimním období (Bartoš et Martinek 2018).

9.4.1 Vegetace dešťových zahrad

Výběr vegetace dešťových zahrad se odvíjí od klimatických, půdních či geografických podmínek daného území a primární funkce, kterou mají rostliny v objektu bioretence zastávat (snižování odtoku, odstraňování kovů nebo živin, estetická hodnota). Výsadba by měla zahrnovat stromy, keře, ozdobné trávy nebo trvalky (Kravčík 2010). Většinou jsou doporučovány původní druhy rostlin, které však díky měnícím se půdním podmínkám vlivem teplejšího mikroklimatu městské krajiny nemusejí být imunní vůči škůdcům, proto jsou využívány i druhy nepůvodní (Dunnet et Clayden 2007). Výběr druhové skladby vegetace či míra druhové diverzity je důležitá z hlediska ovlivnění účinnosti jednotlivých funkcí bioretenčních systémů (Nocco et al. 2016; Shestera et al. 2018).

Vzhledem k funkci dešťových zahrad akumulovat a postupně infiltrovat dešťovou vodu (cca do 24 hodin po dešťové události) (Danko 2014), podléhá výběr vegetace schopnosti překonat několikahodinové zatopení a dvou až čtyřdenní zamokření (Kravčík 2010). Při výběru je nutné přihlížet i k umístění rostlin v prohlubni dešťové

zahrady, kterou lze vzhledem k míře a době zatopení či zamokření rozdělit na tři oblasti (vlhkostní zóny) - mokrou, střední a sušší (přechodovou) (Danko 2014; Yuan et Dunnett 2018; Bortolini et Zanin 2019). V nejhlubší mokré zóně lze použít rostliny tolerující několikahodinové zaplavení a několikadenní zamokření. Střední zóna by měla zahrnovat vlhkomilné rostlinné druhy a v přechodové zóně zahrnující oblast přechodu mezi dešťovou zahradou a okolním prostředím lze využít rostliny pro středně vlhké půdy tolerující sucho (Danko 2014).

Pro osázení dešťových zahrad na pozemcích rodinných domů v klimatických podmínkách ČR se dle Pyškové (2018) jeví jako velmi vhodné:

- řebříček bertrám (*Achillea ptarmica*), vousatice Gerardova (*Andropogon gerardii*), klejicha hlíznatá (*Asclepias tuberosa*), hvězdnice (*Aster sp.*), metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*), sadec (*Eupatorium sp.*), pryšec bahenní (*Euphorbia palustris*), konitrud lékařský (*Gratiola officinalis*), denivka (*Hemerocallis sp.*), želonice lysá (*Chelone glabra*), kosatec sibiřský (*Iris sibirica*), kyprej vrbice (*Lythrum salicaria*), dochan psárkovitý (*Pennisetum alopecuroides*), třapatka trojlaločná (*Rudbeckia triloba*) či rozrazil virginský (*Veronicastrum virginicum*).

Na základě testování dvanácti dešťových zahrad na účinnost substrátů filtračního lože pro podporu růstu rostlin a odstraňování živin z odtoku městské dešťové vody v Severní Karolíně (USA) Turk et al. (2014) pro výsadbu dešťových zahrad doporučují:

- stromy – bříza černá (*Betula nigra*, *Betula nigra* 'Duraheat'), magnólie viržinská (*Magnolia virginiana*, *Magnolia* 'Sweet Thing')
- keře – itea viržinská (*Itea virginica*, *Itea virginica* 'Henry's Garnet')
- trvalky – sadec skvrnitý (*Eupatorium maculatum*), slunečnice (*Helianthus angustifolius*, *Helianthus angustifolius* 'First Light')
- byliny – proso prutnaté (*Panicum virgatum* 'Shenandoah'), sítina rozkladitá (*Juncus effusus*)

Bortolini et Zanin (2019) se z důvodu zajištění hydrologické a estetické funkce dešťových zahrad ve své studii v teplých, mírných klimatických podmínkách severovýchodní Itálie (Ø roční teplota 13 až 14°C, Ø roční srážky 700 až 900 mm) kromě hydrologického chování dešťových zahrad zaměřili také na vhodnost

některých bylinných druhů v jednotlivých vlhkostních zónách dešťové zahrady s výsledky:

- hvězdnice novobelgická (*Aster novi-belgii* 'White Ladies'), denivka (*Hemerocallis hybrida* 'Glittering Treasure'), kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*), bezkolonec modrý (*Molina caerulea* – rostliny prokázaly toleranci ke všem zónám a vysokou estetickou hodnotu;
- třapatka zářivá (*Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm') - vhodná pro mokrou a střední zónu;
- třapatkovka nachová (*Echinacea purpurea* 'The King' – nejlépe stření zóna;
- gazánie zářivá (*Gazania rigens*) - přechodová (sušší) zóna;
- kyprej vrbice (*Lythrum salicaria* 'Robert') - nevodný pro dešťovou zahradu s nízkou údržbou – rostlina byla každoročně napadena broukem, bázlivcem jilmovým (*Galerucella luteola*), jehož housenky požírají listy této rostliny;
- mydlice lékařská (*Saponaria officinalis*) - z pohledu vlhkostních podmínek druh vhodný pro všechny zóny, nevhodný pro výsadbu v dešťové zahradě s nízkou údržbou – rychlým růstem společně s hojným samočinným výsevem se stal příliš invazní;

9.4.2 Vegetace v ulicích měst

Vzhledem k četným omezením týkajících se implementace bioretančních objektů v husté stávající zástavbě městských ulic s hustým provozem, jedná se převážně o vegetaci zasakovacích pásů (vsakovacích průlehů) a polopropustných zatravňovacích bloků umístěných podél komunikací nebo parkovacích ploch, zahrnující kruhové objezdy, dopravní ostrůvky, pásy zeleně mezi vozovkami a dělící pásy mezi vozovkou a chodníkem (Vítek et al. 2018). Hlavní úkol vegetace těchto objektů spočívá zejména ve zpomalení odtoku, odstraňování sedimentů z povrchů silnic, chodníků či parkovacích ploch (Shafique et Kim 2017; Shrestha et al. 2018) a snižování účinků městského tepelného ostrova (Pokorný et al. 2018).

Mikroklima městských ulic se vyznačuje vyššími teplotami vzduchu i půdy, vyšší koncentrací prachu a kontaminací těžkými kovy či posypovými solemi (Štěpán 2003). Rostliny musí čelit extrémním podmínkám, což je pro výsadbu městské zeleně značně limitující (Bartoš et Martinek 2018). Vegetace zahrnuje převážně výsadbu stromů, keřů, trvalkových či travních porostů nebo jejich kombinace (Štěpán 2003; Bartoš et al. 2017). Ve většině případů tvoří základní prvek vegetačních

(vsakovacích) pásů stromy nebo stromořadí, které lze využít v kombinaci s většinou propustných či polopropustných povrchů (Vítek et al. 2018)

Stromy jsou schopny na malé ploše zajistit relativně hustou vegetaci. Jejich začlenění (i ostatních druhů vegetace) do pouliční městské výsadby přispívá k udržování a obnově hydrologického cyklu (Berland et al. 2017). Zachycením srážek (intercepce), evapotranspirací, podporou infiltrace a zastíněním povrchů snižují povrchový odtok a ochlazují prostředí (Armson et al. 2013; Vailshery et al. 2013; Xiao et McPherson 2016; Pokorný et al. 2018). Schopností zachycovat prachové částice či jiné škodlivé látky a absorbovat plynné sloučeniny oxidu uhličitého či oxidu siřičitého zlepšují kvalitu ovzduší (Vailshery et al. 2013).

O přispění či vlivu stromů na městské prostředí pojednává mnoho studií. Například Armson et al. (2013) ve své studii o vlivu pouličních stromů a tráv na městské povrchové odtoky poukázali na schopnost stromů, v případě studie javory babyka (*Acer campestre*), s průměrným stářím 8 let, plochou koruny 3,27 m², jednotlivě vysazených uprostřed asfaltové plochy (9 m²), ve výsadbové jámě 1 x 1 m v městské části Manchesteru ve Velké Británii, které přispěly ke snížení povrchového odtoku z asfaltové plochy průměrně o 62 % v létě a 58 % v zimním období. Xiao et Mc Pherson (2016) se ve své studii zaměřili na množství zachycených srážek povrchy stromů (stonky i listy), kde poukázali na největší míru zachycení srážek povrchy jehličnatých druhů stromů a na výrazné rozdíly v zachycování srážek v letním a zimním období u opadavých druhů, kdy zelkova ostrolistá (*Zelkova serrata* (Thunb.) Makino) byla v době olistění schopna při intenzitě srážek 12,9 mm/h a 15,49 mm/h zachytit 80 % dešťových srážek, zatímco v zimě (bez olistění) množství zachycených srážek při stejných intenzitách kleslo na 16 a 25 %. Vailshery et al. (2013) prováděli výzkum vlivu pouličních stromů na mikroklima a znečištění ovzduší v tropickém městě Bangalore v Indii. Porovnáním úseků silnic ve dvaceti lokalitách města se stromy i bez nich, hodnotili rozdíly v teplotách, vlhkosti a znečištění. Výsledky v úsecích ulic se stromy vykazovaly v průměru vyšší vlhkost, nižší teplotu i nižší znečištění. Odpolední okolní teploty vzduchu byly nižší až o 5,6 °C, povrchové teploty silnice byly chladnější až o 27,5 °C a koncentrace SO₂ byla nižší až o 65 %. Hodnoty prachových částic (PM₁₀), které u 50 % silnic vykazovaly téměř dvojnásobky přípustných limitů, u 80 % ulic se stromy splňovaly hodnoty přípustné limity.

Aby však bylo dosaženo požadovaných funkcí, musí stromy dobře prosperovat. Největší omezení při výběru vhodné vegetace do městského prostředí ulic se týká právě stromů (Štěpán 2003). Ideální strom by měl především dobře snášet sucho, přímé účinky slunečního záření, omezený prostor pro kořenový systém, zhutnění půdy, znečištění ovzduší, působení posypových solí a odolnost chorobám a škůdcům (Miksová et Pejchal 2019). Vzhledem k těmto stresovým podmínkám neexistuje žádný taxon dřeviny, který by splňoval veškerá tato kritéria. Při výběru je nutné zaměřit se na podmínky přímo daného stanoviště a zlepšit zde stanovištní podmínky ochrannými opatřeními (Málek et al. 2012). Mezi základní ochranná opatření patří ochrana půdy před zhutněním (zatravnovací rošty, pochozí mříže, mulčování, rostlinný pokryv a jejich kombinace), ochrana kmene před mechanickým poškozením (zábradlí, kamenné sloupky), ochrana kmene před psí močí pryžovými plachetkami, ochrana proti působení posypových solí (zvýšené obrubníky stromových mís, ochranné demontovatelné mantinely) a zajištění dostatečné zálivky bez kontaminace solí či ropných látek a přísun živin (Štěpán 2003).

Pro omezení vlivu klimatických změn a udržení obyvatelnosti měst, sestavil Lucien Verschoren (Verschoren 2018) na základě domácích (nizozemských) a evropských výzkumů a zkušeností a ve spolupráci s vlámskými pěstiteli stromů seznam tzv. „klimatických“ stromů vhodných pro výsadby v zahradách, průmyslových areálech, parcích a ulicích měst. Jedná se o seznam 80 stromů se schopností nejlépe se vyrovnat s klimatickými změnami, tedy s rostoucími teplotami, suchem, vlhkem a bouřemi, chladem i mrazem a odolných vůči škůdcům a chorobám. Příklady většiny druhů dřevin ze seznamu jsou uvedeny v příloze č. 10. Výsledky vědeckých studií o účinnosti jednotlivých druhů a poskytující návrhy vhodných druhů (Armson et al. 2013; Vailshery et al. 2013; Xiao et McPherson 2016; Verschoren 2018) však nemohou plně odpovídat podmínkám jiných oblastí a konkrétním stanovištním podmínkám, kde mohou být zcela odlišné (Miksová et Pejchal 2019).

Na hodnocení běžně používaných druhů domácích listnatých stromů se ve své studii zaměřili Miksová et Pejchal (2019). Hodnoceno bylo 11 kultivarů domácích listnatých stromů (celkem 178 jedinců) vysazených převážně ve zpevněných plochách ulic města Brna se zaměřením na věk, tloušťku kmene, výšku stromu, vývojové stadium, fyziologickou a biochemickou vitalitu, průměr, tvar a hustotu koruny, převládající směr růstu větví, výskyt chorob či škůdců, poškození extrémními teplotami nebo suchem, tvorbou výmladků, reakcemi na řez, defekty architektury koruny a negativní působení kořenů. V celkových výsledcích (Tabulka 8) si nejlépe vedl javor babyka (*Acer*

campestre 'Red Shine'), u kterého nebyly v hodnotících kritériích zjištěny žádné zásadní problémy a byl vyhodnocen jako druh vhodný pro výsadbu v ulicích města Brna. Naopak habr obecný (*Carpinus betulus 'Fastigiata'*) vykazoval nižší fyziologickou i biochemickou vitalitu, časté poškození extrémními teplotami, defekty architektury koruny a převážně špatnou reakci na řez. Na základě daných kritérií byl vyhodnocen jako druh do ulic Brna nevhodný.

Tabulka 8: Výsledky vhodnosti 11 kultivarů domácích listnatých stromů vysazených převážně ve zpevněných plochách ulic města Brna pro použití v ulicích měst dle Miksově et Pejchala (2019).

Druh (latinský název)	Druh (český název)	Výška stromu (m)	Průměr koruny (m)	Vhodnost
<i>Acer campestre 'Elsrijk'</i>	javor babyka	9,8	5,3	***
<i>Acer campestre 'Red Shine'</i>	javor babyka	8,2	4	***
<i>Acer platanoides 'Columnare'</i>	javor mléč	12,4	5	**
<i>Acer platanoides 'Emerald Queen'</i>	javor mléč	9,1	6,1	*
<i>Acer platanoides 'Globosum'</i>	javor mléč	5	4,8	**
<i>Carpinus betulus 'Fastigiata'</i>	habr obecný	9,1	3,1	*
<i>Crataegus x media 'Paul's Scarlet'</i>	hloh prostřední	5,7	4,9	*
<i>Fraxinus excelsior 'Nana'</i>	jasan ztepilý	8,7	7,1	**
<i>Prunus x eminens 'Umbraculifera'</i>	višeň křovitá	5,5	3,3	**
<i>Tilia cordata 'Greenspire'</i>	lípa malolistá	11,4	7,1	*
<i>Tilia cordata 'Rancho'</i>	lípa malolistá	5,1	2,9	**

* málo vhodný až nevhodný, ** podmíněčně vhodný, *** vhodný

Pozn.: Rozměry stromu (výška a průměr koruny) odpovídají průměrné hodnotě pro věkovou kategorii 21-40 let.

I když je nabídka stromů pestrá, aktuální populace stromů ve městech bývá velmi úzká, trendově vázaná a monokulturní. Stromy monokulturních souborů se stávají náchylnější k chorobám a škůdcům, proto je nutné dávat přednost smíšeným výsadbám s biotopy keřů a trvalek (Verschoren 2019).

Trvalky představují skupinu víceletých druhů nedřevnatých rostlin. Víceleté druhy rostlin zahrnují skupinu rostlin s podzemními zásobními orgány (cibuloviny, hlíznaté rostliny a druhy s dužnatými oddenky), které přečkávají suchá období díky vysokému obsahu vody ve svých, převážně podzemních zásobních orgánech (cibulích, hlízách, oddencích), rostliny se zásobou vody v listech a stoncích (sukulenty) a víceleté druhy kvetoucích bylin bez zásobních orgánů, které k zásobení vodou využívají hluboce kořenící kořeny nebo husté sítě svazčitých kořenů (trávy), omezení výparu vody z listů nebo dokáží efektivněji čerpat vodu z půdy (Hanzelka 2018).

Trvalkové výsadby představují důležitý a nyní hojně rozšířený prvek návrhových řešení rozvoje a obnovy městské zelené infrastruktury (Sojková et al. 2006). Jejich začlenění do systému zeleně obcí a měst přispívá k naplňování myšlenek zelené infrastruktury dle evropské legislativy (Hillová et Kuřková 2018). Stejně jako všechny vegetační prvky i smíšené trvalkové záhony přispívají k obnově hydrologického cyklu a kvalitnějšímu a zdravějšímu životu ve městech. Nadzemní části rostlin zachycují srážkovou vodu a fungují jako filtr prachových částic. Příznivá půdní struktura a dostatečná drenážní vrstva, která je při městských výsadbách vyžadována, podporuje vsakování a reguluje odtok (Bartoš et Martinek 2018). Vrstva anorganického (minerálního) muče pokrývající trvalkové záhony zabraňuje tvorbě půdního škraloupu, eliminuje výpar vody z půdy a usnadňuje vsakování dešťové vody (Hanzelka 2018). Extenzivní údržba, obnášející menší množství rušivých zásahů, široká potravní nabídka a stabilita prostředí přispívá k podpoře biodiverzity bezobratlých a drobných obratlovců (Bartoš et Martinek 2018).

Smíšené trvalkové záhony mohou být součástí stávajících zelených ploch nebo tvořit vegetační pokryv nově vzniklých objektů městské zeleně nahrazujících nezpevněné plochy např. ostrůvků v křižovatkách, kruhových objezdů nebo pásů zeleně podél chodníků nebo mezi vozovkami (Sojková et al. 2006), kde je nutné z důvodu přehlednosti v dopravě a zajištění bezpečnosti chodců dodržovat určité limity, především výšku rostlinných společenstev (Příloha 11) (Bartoš et Martinek 2018).

Výběr rostlin pro výsadbu podél komunikací musí podléhat extrémním stanovištním podmínkám spojeným s provozem na pozemních komunikacích (prach, výfukové plyny, zasolení, shrnování sněhu), pohybem lidí (sešlap, psí exkrementy, odpadky), velkou intenzitou slunečního záření nebo naopak přemírou stínu, s nedostatkem vody, vyššími teplotami nebo mrazy a přiměřené ekonomické náročnosti a extenzivní údržbě (Sojková et al. 2006). Některé bylinné směsi lze využít také jako podrostovou výsadbu stromů či stromořadí poskytující ochranu kmenům stromů a jejich kořenové zóně, kde dokážou i vzhledem k limitujícím faktorům vytvořit souvislý vegetační pokryv a zatraktivnit prostředí. Rostliny těchto stanovišť musí čelit omezenému množství využitelného slunečního záření a v důsledku přítomnosti velkých kořenových systémů stávajících vzrostlých dřevin také omezenému přísunu vody a živin. Vznikají zde polostinná až stinná, vlhká, středně vlhká a suchá stanoviště, která určují nabídku vytrvalých bylin použitelných jako podrost dřevin (Příloha 12) (Bartoš et al. 2017).

I když se jedná o výsadby s extenzivní údržbou, i tak je nutná určitá pravidelná údržba kombinací ekologicko-zahradnického přístupu. Ekologický přístup spočívá v poskytnutí příležitosti rostlinám najít si vlastní rovnováhu. Údržba by tedy měla probíhat spíše regulačně, tedy omezením růstu příliš expanzních druhů. Ze zahradnického hlediska je však nutný také každoroční sestřih rostlin v předjaří, aby nedošlo k poškození brzy rašících druhů cibulovin (Hillová et Kuřková 2018), pletí, odstraňování suché hmoty a odpadků (Bartoš et Martinek 2011).

10 Situace v ostatních zemích z hlediska hospodaření s dešťovými vodami v porovnání s ČR.

Zelená infrastruktura dešťové vody (GSI) - Green stormwater infrastucture je alternativní přístup hospodaření s dešťovou vodou v blízkosti zdroje, podporující přirozené hydrologické procesy. Technologie GSI jsou velmi populární a díky jejich četným výhodám se po celém světě používají stále více. Zdůrazňují řádné, udržitelné a decentralizované hospodaření s dešťovou vodou. Postupy využívané při GSI jsou v různých zemích popisovány pod různými termíny, např. v Německu jsou známi pod názvem „naturnahe Regenwasserbewirtschaftung“, v USA a Kanadě jako BMPs (Best Management Practices) nebo LID (Low Impact Development), ve Velké Británii se jedná o SUDS (Sustainable Urban Drainage System) (Shafique et Kim 2017). Základní princip však mají společný, spočívá v návratu srážkové vody do přirozeného koloběhu vody a zachování vyrovnané vodní bilance v urbanizovaném území (Fletcher et al. 2015). K základním nástrojům patří decentralizované systémy, které pomocí přírodně blízkých opatření podporujících výpar, vsakování a zadržování srážkové vody co nejbližší k místu vzniku, zpomalují odtok do recipientů a podporují čištění srážkových vod (MŽP 2019).

10.1 Přírodě blízké hospodaření s dešťovou vodou v Německu

V Německu jsou v souvislosti s GSI používány termíny *naturnahe Regenwasserbewirtschaftung* (přírodě blízké hospodaření s dešťovou vodou), nebo *dezentrale Regenwasserbewirtschaftung* (decentralizované hospodaření s dešťovou vodou) (Vítek et al. 2015). Změna směrem ke strategiím a technikám přírodně blízkého odvodnění měst začala v Německu počátkem 80. let. Nejprve se zaměřením na jednotlivé technologie, včetně infiltrace, zelených střech a akumulace dešťové vody. Během 90. let zde byly vyvinuty integrované koncepty kombinující řadu decentralizovaných technik pro nakládání s dešťovými vodami v městském plánování. Tyto přístupy jsou podpořeny legislativními prostředky a zdůrazněny německými národními technickými směrnicemi pro nakládání a dešťovými vodami (např. DWA-A 100, 2006) jako povinnou součástí integrovaného hospodaření s dešťovými vodami (Flechter et al. 2015).

Ke zintenzivnění ochrany vodních toků v Německu v roce 1996 významně přispěla novela Vodního zákona (WHG, 2009), která stanoví: „Při přijímání opatření, která

mohou mít vliv na vodní útvar, je každá osoba povinna vyhnout se nepříznivým změnám ve vlastnostech vody, zajistit hospodárné využívání vody s náležitým ohledem na vodní bilanci a udržovat účinnost vodní bilance, aby se zabránilo zvýšení a zrychlení odtoku vody“. Touto klauzulí bylo jasně zavrhnuto klasické, co nejrychlejší odvádění dešťových vod z urbanizovaných území. V souvislosti se vsakováním dešťových vod je také legislativně ošetřena ochrana půdy, která podléhá spolkovému Zákonu na ochranu půdy (BBodSchG) a společně s ochranou vody i staveb je chráněna nařízeními a technickými směrnici např. DWA-A 138, 2005; DWA-A 100, 2006; DWA-M 153E, 2007) (MŽP 2015).

Technické směrnice poskytující podrobné informace o plánování, konstrukcích a provozu infiltračních systémů dešťové vody (DWA-A 138, 2005) a doporučených opatření pro nakládání s dešťovými vodami (DWA-M 153E, 2007) a zejména zpoplatnění odvádění srážkových vod z nepropustných povrchů do kanalizace či případné snížení či úplné odpuštění těchto poplatků při vsakování, retenci a užívání dešťové vody na pozemku, vedou k motivaci obyvatelstva aktivně se zapojit do aplikace přírodně blízkých způsobů odvodnění. Účinnost zavedení poplatků a případných kompenzací se projevila např. v Mnichově, kdy ročně dochází k úbytku přibližně 300 tisíc m² nepropustných ploch napojených na kanalizaci (Stránský et al. 2007).

Pro podporu přírodě blízkého HDV německá města zavádějí také řadu strategií, týkajících se ve většině případů aplikací zelených střech, se kterými má Německo již 50letou zkušenost (Kabelková 2018) a které je ve výzkumu a aplikaci zelených střech ve městech světovým lídrem. Z důvodu zlepšení městského mikroklima a kvality životního prostředí ve městech spustilo město Berlín již v letech 1983–1996 program na ozeleňování vnitrobloků, který se týkal finanční podpory při ozeleňování dvorů, střech a fasád (Dostal et al. 2017). V roce 2014 zavedlo město Hamburk strategii pro zelené střechy s cílem využít nevyužitý prostor, a získat tak díky střechám během 10 let 100 ha nového zeleného prostoru. V roce 2018 tak mělo město Hamburk na obytných domech, průmyslových areálech a ostatních budovách celkem 139 ha zelených střech (Kabelková 2018). Německá města např. Berlín, Mnichov, Hamburk, Drážďany aj. mají zelené střechy zahrnuté v územních plánech a požadavky na jejich realizaci jsou v Německu zcela standartním nástrojem (Dostal et al. 2017).

10.2 Rozvoj s nízkým dopadem v USA

V USA je zelená infrastruktura prostřednictvím vládní agentury USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) vnímána zejména v souvislosti s udržitelnými přístupy k odvodnění urbanizovaných území (Vítek et al. 2018). V Kanadě a v USA jsou pro tyto přístupy používány termíny *Low Impact Development* (LID) - rozvoj s nízkým dopadem (Shafique et Kim 2017), *Best Management Practices* (BMPs) - nejlepší manažerské postupy nebo *Stormwater Control Measures* (SCMs) - opatření pro regulaci dešťové vody (Vítek et al. 2015). LID je inovativní přístup pro správu dešťových vod, který se snaží zmírnit nepříznivé účinky urbanizace a dosáhnout rovnováhy hydrologické bilance pomocí decentralizovaných opatření v malém měřítku, obvykle v malých povodích 1 ha nebo méně (Flechter et al. 2015). Zdůrazňuje použití malých, přirozených drenážních prvků integrovaných v městských oblastech pro zpomalení, čištění infiltraci a zachycení městských odtoků (Shafique et Kim 2017). Zásady LID jsou rozšířené a začínají se používat stále častěji. Několik velkých měst po celém světě často používá řešení LID jako strategie pro přizpůsobení se změně klimatu. Např. Toronto, má povinné odpojení dešťových svodů od kanalizace a zřizování zelených střech (Eckart et al. 2017).

Za vůdce v progresivních a kreativních postupech LID je ve Spojených státech považován Portland, převážně z důvodu zavedení přísných předpisů v tomto městském regionu, které podporují zelenou infrastrukturu (Gallo et al. 2012) a díky místní vládě, která do městské zelené infrastruktury investovala 8 miliónů dolarů (Shafique et Kim 2017). Například rozšíření podlažní plochy nad rámec místních stavebních předpisů je možné pouze při realizaci zelené střechy. Čím větší je plocha zelené střechy, tím větší je povolená dodatečná podlažní plocha (Dostal et al. 2017). Z důvodu přetížení stokových systémů začlenilo zelenou infrastrukturu do svých plánů i mnoho dalších měst např. Seattle, Philadelphia, Kansas City, New York, Washington, Louisville (Eckart et al. 2017).

10.3 Udržitelný městský odvodňovací systém ve Velké Británii

Ve Velké Británii a ve Skotsku je přírodě blízká koncepce HDV známá pod termínem *Sustainable Urban Drainage System* (SUDS) - udržitelný městský odvodňovací systém (Srishantha et Rathnayake 2017). Vývoj ve změně přístupu ke správě dešťových vod ve Velké Británii začal koordinovaným způsobem fungovat na konci 80. let, kdy byly v roce 1992 vydány pokyny poskytující návod na technické možnosti

k regulaci městského odtoku. V roce 2007 byl vydán manuál SUDS, který poskytoval komplexní informace o implementaci SUDS ve Velké Británii. Ve Skotsku jsou technologie SUDS ve většině nových zástaveb povinné již od roku 2003. (Flechter et al. 2015). Primárním cílem SUDS je přechod z potrubního inženýrství na postupy a systémy, které využívají a zvyšují přirozené hydrologické procesy, tj. infiltraci, evapotranspiraci, filtraci, retenci a opětovné použití (Srishantha et Rathnayake 2017). SUDS se skládá z řady technologií a technik používaných k vypouštění srážkových povrchových vod způsobem, který je udržitelnější než konvenční řešení. Tyto postupy jsou založeny na filozofii co možná nejtěsnější replikace přirozeného předvývojového odtoku před urbanizací (Flechter et al. 2015) a konfigurovány jako řada praktik a technologií, které spolupracují na vytvoření tzv. „Management Train“, který zahrnuje čtyři klíčové kroky: kontrolu u zdroje, předúpravu, retenci a infiltraci (Srishantha et Rathnayake 2017).

10.4 Hospodaření s dešťovými vodami v České republice

V České republice (ČR) je přírodě blízký způsob odvodnění měst označován termínem *Hospodaření s dešťovými vodami* (HDV), který vychází z hospodárného a smysluplného užívání vody s ohledem na měnící se podmínky

. Opatření v rámci HDV napodobující a podporující přirozený hydrologický režim v povodí (Vítek et al. 2015) jsou jedním ze základních nástrojů k dosažení strategických cílů, vyplývajících z adaptačních opatřeních *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR* (2015) (MŽP 2019). HDV nabízí širokou škálu technologií, díky kterým lze následky klimatických změn minimalizovat (Stránský 2007).

Základem pro vytvoření právního rámce HDV, který až do roku 2007 chyběl, byly požadavky *Plánu hlavních povodí ČR*, které z důvodu ochrany a zlepšování stavu povrchových a podzemních vod, vodních ekosystémů a ochrany ekologické stability krajiny apelovaly na omezení množství srážkových vod odváděných do kanalizace a zlepšení podmínek přímého vsakování dešťové vody do půdního prostředí (MZ 2007; MŽP 2015). Současnými hlavními legislativními dokumenty ČR, ve kterých je povinnost uplatňovat principy hospodaření s dešťovými vodami obsažena jsou zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a prováděcí vyhláška stavebního zákona č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, které jsou po technické stránce naplňovány základními technickými normami TNV 75 9010 (Hospodaření

se srážkovými vodami) a ČSN 75 9010 (Vsakovací zařízení srážkových vod) (MŽP 2019).

I Když jsou povinnosti uplatňovat principy HDV již zakotveny v legislativě, oproti vyspělým zemím západního světa jsme s aplikacemi systémů přírodě blízkého odvodnění značně pozadu (MŽP 2015). Jejich realizace prostřednictvím systému tzv. modrozelené infrastruktury (MZI), který je důmyslným propojením městské zeleně s hydrologickými prvky městského systému odvodnění, představuje zcela zásadní prostředek přizpůsobení se klimatickým změnám a základní nástroj prevence proti suchu a záplavám. Začlenění tohoto systému do odvodňovacích systémů urbanizovaných území se však potýká s řadou nedostatků a překážek (Vítek 2018). Principy HDV v podobě MZI bývají chybně interpretovány a zjednodušovány, což vede ke znehodnocení funkčnosti celého systému a následné nedůvěře k systému MZI (Vítek 2010). Implementace opatření MZI se z pohledu investic, komplikovanosti projektů, jejich časové náročnosti a vysokých požadavků na odbornost aktivních účastníků projektu setkává s rozporuplným vnímáním ze strany odborné veřejnosti (Vítek et al. 2018).

Mezi typické překážky přijetí nového způsobu odvodnění, které byly vyhodnoceny na základě praktických zkušeností z projektování přírodě blízkých způsobů odvodnění v České republice dle Vítek et al. (2018) patří:

- Výjimky ve zpoplatnění odvádění srážkové vody do kanalizace uvedené v § 20, odst. 6, zák. č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích, které nemotivují majitele odvodňovaných staveb k realizaci přírodě blízkých způsobů odvodnění a značně snižují konkurenceschopnost zavádění HDV.
- Nesystematičnost právních a technických předpisů uvedených v zákonech, prováděcích vyhláškách a technických normách, formulujících pravidla a postupy nového způsobu odvodnění, způsobuje nekoordinovanost jednotlivých dotčených oborů a nepřipravenost státní správy danou problematiku odborně řešit.
- Nedůvěra k novému způsobu odvodnění a pochybnosti o jeho technické proveditelnosti, funkčnosti a spolehlivosti ze strany městských představitelů, dotčených orgánů, úředníků, ale i ze strany některých projektantů.
- Nedostatek odborníků specializovaných na implementaci nástrojů HDV do praxe.

Z důvodu zákonné povinnosti uplatňovat principy HDV pouze u nových staveb, při změnách staveb nebo změnách jejich použití podniká stát za podpory evropských fondů motivační kroky v podobě dotačních programů. Z důvodu podpory využívání srážkových vod je vlastníkům a stavebníkům rodinných a bytových domů poskytována Ministerstvem životního prostředí a Státním fondem životního prostředí České republiky dotační podpora. Z evropských prostředků jsou v rámci Operačního programu Životního prostředí podporována opatření na hospodaření se srážkovými vodami, která podpoří lepší využívání dešťové vody a umožní eliminovat riziko povodní v obcích, městech či městských částech (MŽP 2019). I navzdory ztíženým podmínkám při implementaci principů HDV v urbanizovaném prostředí a nedostatům či překážkám, vzniká v České republice řada dílčích realizací, jak ze strany vlastníků jednotlivých nemovitostí, tak ze strany obcí, měst či městských částí (MŽP 2015; Vítek et al. 2015). Příklady realizací přírodě blízkých opatření hospodaření s dešťovou vodou na území České republiky jsou uvedeny v příloze č. 13 (Počítáme s vodou © 2020).

11 Závěr

Vlády a organizace na celém světě se s pomocí akademických obcí obracejí k přírodě, aby zmírnily naléhavé environmentální, ekonomické a společenské výzvy způsobené industrializací. Řešení založená na přírodě se stále více používají při tvorbě návrhů odolných krajín a měst, aby umožnila dosáhnout cílů hospodářského rozvoje s příznivými výsledky pro životní prostředí a pro společnost. Pochopili nutnost přechodu z tzv. „šedé“ na „zelenou“ infrastrukturu, aby obnovili ekologickou rovnováhu v městské krajině za účelem rozvoje odolných ekosystémů a zdravější společnosti. Uvědomují si že obnova zelené a modré infrastruktury v městských oblastech může být nejen ekologicky a sociálně žádoucí, ale také ekonomicky výhodná a že příroda může poskytnout méně nákladná a dlouhotrvající řešení, jakož i přinést zdravotní a ekologické přínosy.

Není pochyb o tom, že přírodě blízká opatření aplikovaná prostřednictvím zelených střech, vegetačních stěn a systémů bioretence tvoří účinný systém přispívající k přirozenému návratu dešťové vody do hydrologického cyklu, snižování kontaminace vod a činí města obyvatelnějšími a bohatšími. Zelené střechy a vegetační stěny přinášejí do husté městské zástavby značné množství náhradních vegetačních ploch v místech, kde by klasické prvky městské zeleně neměli šanci. Vegetace zelených střech a vegetačních zdí prostřednictvím výparu a fotosyntézy zmírňují účinky městského tepelného ostrova, zastíněním povrchů ochlazují budovy a zachycováním polutantů na povrchu rostlin a absorpcí škodlivých plyných látek, např. CO₂, NO₂, SO₂ snižují znečištění ovzduší, a to především v závislosti na hustotě vegetačního pokryvu, fyziologii rostlin a morfologii listů. Potenciál bioretenčních systémů spočívá zejména v regulaci a odstraňování znečišťujících látek z povrchového odtoku a v doplňování podzemních vod. Důležitost vegetace v bioretenci je připisována především snižování špičkových průtoků a prodloužení doby koncentrace, díky kterému dochází k významnému zvýšení infiltrace v souvislosti s prudkým nárůstem vegetace i její kořenové biomasy. Prodloužením hydraulické retenční doby vlivem zpomalení rychlosti povrchového odtoku nadzemní biomasou a akumulací kořenovým systémem se vegetace se částečně podílí také na odstraňování těžkých kovů a celkového dusíku.

Na základě poznatků z odborných knih a periodik prokázaly rostliny velký potenciál pro zvýšení účinnosti jednotlivých prvků hospodaření s dešťovými vodami. Je však důležité si uvědomit, že jejich přispění se odvíjí od výběru jednotlivých druhů, který

nepodléhá pouze klimatickým, půdním a geografickým podmínkám daného území a primární funkci, kterou mají v opatření plnit, ale také konkrétním stanovištním podmínkám, které mohou být na jednotlivých stanovištích totožného území velmi rozdílné. Proto je důležité výběru rostlin věnovat značnou pozornost.

12 Použitá literatura

1. Alsup S., Ebbs S., Retzlaff W., 2010: The exchangeability and leachability of metals from select green roof growth substrates. *Urban Ecosyst* 13: 91–111.
2. Armson D., Stringer P., Ennos A., R., 2013: The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening* 12: 282–286.
3. Baptista M. D., Livesley S. J., Parmehr E. G., Neave M., Amati M., 2018: Terrestrial Laser Scanning to Predict Canopy Area Metrics, Water Storage Capacity, and Throughfall Redistribution in Small Trees In: *Remote Sensing*, 10: 1-22.
4. Baraldi R., Neri L., Costa F., Facini O., Rapparini F., Carriero G., 2019: Ecophysiological and micromorphological characterization of green roof vegetation for urban mitigation. *Urban Forestry & Urban Greening* 37: 24–32.
5. Bartoš A., Martinek J., 2011: Smíšené trvalkové výsadby s vyšším stupněm autoregulace a extenzivní údržbou. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Průhonice, 84 s.
6. Bartoš A., Bartošová I., Pešičková R., 2017: Smíšené trvalkové výsadby pro rostlinná a polostinná stanoviště. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Průhonice, 36 s.
7. Bartoš A., Martinek J., 2018: Smíšené trvalkové výsadby. Profi Press, Praha, 256 s.
8. Baryła A., Karczmarczyk A., Bus A., 2014: Analiza stosunków wodnych substratów wykorzystywanych w systemach zielonego dachu. *Inżynieria Ekologiczna* 39: 7–14.
9. Berland A., Shiflett S. A., Shuster W. D., Garmestani A. S., Goddard H. C., Herrmann D. L., Hopton M. E., 2017: The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and Urban Planning* 162: 167–177.
10. Besselaar E. J. M., Klein Tank A. M. G., Buishand T. A., 2013: Trends in European precipitation extremes over 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 33: 2682-2689.
11. Bortolini L., Zanin G., 2019: Reprint of: Hydrological behaviour of rain gardens and plant suitability: A study in the Veneto plain (north-eastern Italy) conditions. *Urban Forestry & Urban Greening* 37: 74–86.
12. Braniš M., Hůnová I. [eds], 2016: Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší. Univerzita Karlova v Praze, Karolinum Press, 351 s.

13. Bratieres K., Fletcher T. D., Deletic A., Zinger Y., 2008: Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: a large-scale design optimisation study. *Water Reschers* 42: 3930–3940.
14. Brázdil R., Trnka M. a kolektiv, 2015: Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 s.
15. Burian S., Dostalová J., Dubský M., Hamala P., Chaloupka k., Kozmák J., Pařava R., Straková M., Šrámek F., Vacek P., Vokál J., 2016: Standardy pro navrhování, provádění a údržbu vegetačních souvrství zelených střech. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno, 34 s.
16. Burian S., Ondřej J., 1992: Oživená architektura: Ozeleňování budov. Fajma Praha, 58 s.
17. Cameron R. W. F., Taylor J. E., Emmett M. R., 2014: What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment* 73: 198-207.
18. Cílek V., Just T., Sůvová Z., Mudra P., Rohovec J., Zajíc J., Dostál I., Havel P., Storch D., Mikuláš R., Nováková T., Moravec P., 2017: Voda a krajina: kniha o životě s vodou a návratu k přirozené krajině. Dokořán, Praha, 198 s.
19. Clark O. R., 1937: Interception of rainfall by herbaceous vegetation. *Science* 86: 591–592.
20. Crespo C. H., Gonzalvo F. M., Martín M., Doménech I. A., 2019: Influence of rainfall intensity and pollution build-up levels on water quality and quantity response of permeable pavements. *Science of the Total Environment* 684: 303–313.
21. Currie B. A., Bass B., 2008: Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosyst*: 11:409–422.
22. Čechová 2017: Vertikální zahrady jako východisko pro přelidněná města. *Nika* 6 (38): 28-31.
23. Čermáková B., Mužíková R., 2009: Ozeleněné střechy. Grada, Praha, 248 s.
24. Černocho V., 2017: Sucho. *Věda a výzkum* 2: 15–23.
25. Davis A. P., 2008: Field Performance of Bioretention: Hydrology Impacts. *Journal of Hydrologic Engineering* 13: 90-95.
26. Davis A. P., Shokouhian M., Sharma H., Minami C., 2006: Water quality improvement through bioretention media: nitrogen and phosphorus removal. *Water Environment Research* 78: 284–293.

27. Dostal P., Macháč J., Dubová L., Louda J., 2017: Způsoby systémové podpory výstavby zelených střech. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno, 30 s.
28. Dunnett N., Clayden A., 2007: Rain gardens: sustainable rainwater management for the garden and designed landscape. Timber Press, Portland, 186 s.
29. Eckart K., McPhee Z., Bolisetti T., 2017: Performance and implementation of low impact development – A review. *Science of the Total Environment* 607,608: 413–432.
30. Ekaterini E., Dimitris A., 1998: The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. *Energy* 27: 29-36.
31. Elmqvist T., Setälä H., Handel S. N., Ploeg S., Aronson J., Blignaut J.N., Gómez-Baggethun E., Nowak D.J., Kronenberg J., Groot R., 2015: Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:101–108.
32. Fletcher T. D., Shuster W., Hunt W. F., Ashley R., Butler D., Arthur S., Trowsdale S., Barraud S., Semadeni-Davies A., Bertrand-Krajewski J. L., Mikkelsen P. S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D., Viklander M., 2015: SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage, *Urban Water Journal*, 12: 525-542
33. FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2008: Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), Bonn.
34. Francis L. F. M., Jensen M. B., 2017: Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services. *Urban Forestry & Urban Greening* 28: 167–176.
35. Galloa C., Moore A., Wywrot J., 2012: Comparing the adaptability of infiltration based BMPs to various U.S. regions. *Landscape and Urban Planning* 106: 326-335.
36. Gunawardena K. R., Wells M. J., Kershaw T., 2017: Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment* 584-585: 1040-1055.
37. Hanzelka P., 2018: Květiny pro suché zahrady. Grada, Praha, 184 s.
38. Hatt B. E., Fletcher T. D., Deletic A., 2009: Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. *Journal of Hydrology* 365: 310–321.

39. Havelková L., Petra Huislová, Jan Vopravil, Jiří Hladík, 2017: Vliv klimatických změn na půdy ČR, *Vesmír* 96: 584-585.
40. Heisigová M. R., Bím J., Bylinová A. a kol., 2014: Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. Modul 2 – Environmentální aspekty udržitelného stavě. MS architekti, Praha, 35 s.
41. Hillová D., Kuřková T., 2018: Súčasný prístup k navrhovaniu kvetinových prvkov v mestskom prostredí. *Životne prostredie* 1: 54-61.
42. Hlavínek P., 2007: Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. Ardec, Brno 164 s.
43. Hong E. Y., Seagren E. A., Davis A. P., 2006: Sustainable oil and grease removal from synthetic stormwater runoff using bench-scale bioretention studies. *Water Environment Research* 78: 141–155.
44. Huang H., Li T., Gupta D. K., He Z., Yang X., Ni B., Li M., 2012: Heavy metal phytoextraction by *Sedum alfredii* is affected by continual clipping and phosphorus fertilization amendment. *Journal of Environmental Sciences* 24: 376–386.
45. Hunt W. F., Davis A. P., Traver R. G., 2012: Meeting Hydrologic and Water Quality Goals through Targeted Bioretention Design. *Journal of Environmental Engineering* 138: 698-707.
46. Charoenkit S., Yiemwattana S., 2017: Role of specific plant characteristics on thermal and carbon sequestration properties of living walls in tropical climate. *Building and Environment* 115: 67-79.
47. Chmelová P. R., Frajer J., 2014: Základy fyzické geografie 1: Hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 131 s.
48. Chuman T., Romportl D., 2011: Suburbanizace a její vliv na přírodní prostředí. *Geografické rozhledy* 20: 22–23.
49. Ioannidou V., Arthur S., 2018: Hydrological Response of a Permeable Pavement Laboratory Rig for Stormwater Management. *Proceedings*, 2: 1-8.
50. IPCC, 2014: Summary for Policymakers, In: *Climate Change 2014, Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland: 151 s.
51. Irvine J. L., Kim A. S., 2018: Understanding bioswale as a small water and wastewater treatment plant: A theoretical review. *Desalination and Water Treatment*: 1–15.

52. Johnston J., Newton J. 2004: Building Green -“A guide to using plants on roofs, walls and pavements”. Greater London Authority, London, 121 s.
53. Kadlecová R., 2016: Voda pro půl Česka. Vesmír 95: 568-569.
54. Kameníčková I., Larišová L., Stoklásková A., 2012: Vliv různých agrotechnologií na nasycenou hydraulickou vodivost Ks hlinité půdy v lokalitě Bohaté Málkovice. Littera skripta (5) 2: 233-242.
55. Kemel M., 1996: Klimatologie, meteorologie, hydrologie. České vysoké učení technické, Praha, 289 s.
56. Kim H., Seagren E. A., Davis A. P., 2003: Engineered bioretention for removal of nitrate from stormwater runoff. Water Environ 75: 355–367.
57. Kolb W., Mann G., Duthweiler S., Schönfeld P., Beining W., Fürst T., Heinrich A., Kolb T., König P., Kreutner M., Mollenhauer F., Sniedt G., Steenis N., Wassmann F., 2019: Geeignete Gehölze für Dachbegrünungen. Bundesverband GebäudeGrün e.V., Berlin, 29 s.
58. Krajčovičová D., 2005: Popínavé rostliny v zahradě. CP Books, Brno, 96 s.
59. Kravčík M., 2010: Dažďové záhrady pre zdravú klímu miest III. (online) [cit. 2019-11-10], dostupné z <<https://kravcik.blog.sme.sk/c/228207/Dazdove-zahrady-pre-zdravu-klimu-miest-III.html>>.
60. Krejčí V., a kol., 2002: Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup. Vyd. 1., Noel 2000: 562 s.
61. Lhotáková Z., 2013: Hospodaření s vodou v urbanizovaných územích. Výstavba měst a obcí 1: 4-5.
62. Li J., Jiang Ch., Lei T., Li Y., 2016: Experimental study and simulation of water quality purification of urban surface runoff using non-vegetated bioswales. Ecological Engineering 95: 706-713.
63. Li X. X., Cao J. J., Fei L., Dong Q., Wang Z. L., Xu P., 2018: Green roofs: Effects of plant species used on runoff. Land Degradation and Development 29: 3628-3638.
64. Lubell J. D., Connolly B., Jones K. N., 2017: Ten-year persistence of native plant species on a green roof in Northeast US. Native Plants Journal 18:227–234.
65. Lucas W. C., Greenway M., 2008: Nutrient retention in vegetated and nonvegetated bioretention mesocosms. Journal of irrigation and drainage engineering, 134: 613–623.
66. Málek Z., Horáček P., Kiesenbauer Z., 2012: Stromy pro sídla a krajinu. Vydavatelství Baštan, Olomouc, 357 s.

67. Manso M., Castro-Gomes J., 2015: Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 863–871.
68. Mentens J., Raes D., Hermy M., 2006: Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning* 77: 217–226.
69. Miksová L., Pejchal M., 2019: Vhodné kultivary domácích listnatých stromů pro použití v ulicích měst. *Zahradnictví* 7: 52-55.
70. Minke G., 2000: Dächer begrünen: einfach und wirkungsvoll; Planung, Ausführungshinweise und Praxistipps. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 93 s. Překlad, Šedivá M., 2001: Zelené střechy: plánování, realizace, příklady z praxe. HEL, Ostrava, 86 s.
71. Moghbel M., Salim R. E., 2017: Environmental benefits of green roofs on microclimate of Tehran with specific focus on air temperature, humidity and CO2 content. *Urban Climate* 20: 46–58.
72. Mojski J., Kalaji H., Swoczyna T., Milecka M., Widelska E., 2018: Adaptacja hydroponicznego systemu ogrodów wertykalnych do warunków Polskich. *Inżynieria Ekologiczna* 1: 96–105.
73. Morgan S., Celik S., Retzlaff W., 2013: Green Roof Storm-Water Runoff Quantity and Quality. *Journal of Environmental Engineering*, 139: 471-478.
74. Mulíček O., 2008: Geografie sídel. In Toušek, V., Kunc, J., Vystoupil, J. (eds.): *Ekonomická a sociální geografie*. Aleš Čeněk, Plzeň: 97-130.
75. MZ, 2007: Plán hlavních povodí České republiky. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha, 85 s.
76. MŽP, 1997: Voda v České republice. Ministerstvo životního prostředí České republiky a Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha, 38 s.
77. MŽP, 2015: Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR. GEOtest, a. s., Brno a Sweco Hydroprojekt a. s., Praha, 54 s.
78. MŽP, 2019: Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích. Asociace pro vodu ČR, z.s., Brno, 130 s.
79. 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.
80. Nastran M., Kopal M., Eler K., 2019: Urban heat islands in relation to green land use in European cities. *Urban Forestry & Urban Greening* 37: 33-41.
81. Nocco M. A., Rouse S. E., Balster N.J., 2016: Vegetation type alters water and nitrogen budgets in a controlled, replicated experiment on residential-sized rain

- gardens planted with prairie, shrub, and turfgrass. *Urban Ecosystems* 19: 1665–1691.
82. Ondřej J., 1990: Extenzivní ozeleňování střech. Výzkumný a šlechtitelský ústav okrasného zahradnictví, Průhonice, 34 s.
83. Ostendorf M., Retzlaff W., Thompson K., Woolbright M., Morgan S., 2011: Storm water runoff from green retaining wall systems. In: *CitiesAlive e proceedings of the 9th annual green roof and wall conference*, 9: 1-15.
84. Ouředníček M., 2011: Suburbanizace v České republice: aktéři suburbánního vývoje. *Geografické rozhledy* 20: 2-5.
85. Paul M. J., Meyer J. L., 2001: Streams in the Urban Landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32: 333-365.
86. Pfoser N., 2018: *Vertikale Begrünung*. Stuttgart, Eugen Ulmer, 240 s.
87. Pickett S. T. A., Cadenasso M. L., Grove J. M., Nilon C. H., Pouyat R. V., Zipperer W. C., Costanza R., 2001: Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial Ecological, Physical, and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 32: 127-157.
88. Plesník J., 2010: Příroda jako proudící mozaika, *Ochrana přírody* 3: 27-30.
89. Pokorná D., Zábranská J., 2008. *Hydrologie a hydroopedologie*. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 218 s.
90. Pokorný J., Hesslerová P., 2011: Odlesňování a klima. Klimatické změny v Mau Forest v západní Keni. *Vesmír* 90: 573-577.
91. Pokorný J., Hesslerová P., Jirka V., Huryňa H., Seják J., 2018: Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí. *Urbanismus a územní rozvoj* 20: 1-12.
92. Pondělíček M., 2014: Zeleň měst a její úloha ve světle klimatické změny. *Regionální rozvoj mezi teorií a praxí* 2: 56-62.
93. Pyšková J., 2018: Pohled na využití vody v zahradě se mění. *Zahradnictví* 9: 22-25.
94. Rowe D. B., 2011: Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution* 159: 2100–2110.
95. Roy E.D., 2017: Phosphorus recovery and recycling with ecological engineering: a review. *Ecological Engineering* 98: 213–227.
96. Rožnovský J., 2003: Klimatologická hodnota aneb parky, počasí a podnebí. In: Němcová L. (ed): *Funkce zeleně ve městě aneb „o hodnotách, jež se jen zřídka berou vážně“*. Veřejná zeleň města Brna, Brno: 16-18.

97. Saaroni H., Amorim J.H., Hiemstra J.A., Pearlmutter D., 2018: Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. *Urban Climate* 24: 94–110.
98. Shafique M., 2016: A review of the bioretention system for sustainable storm water management in urban areas. *Materials and Geoenvironment*, 63: 227-236.
99. Shafique M., Kim R., 2017: Green stormwater infrastructure with low impact development concept: a review of current research. *Desalination and Water Treatment* 83: 16–29.
100. Shrestha P., Hurley S. E., Wemple B. C., 2018: Effects of different soil media, vegetation, and hydrologic treatments on nutrient and sediment removal in roadside bioretention systems. *Ecological Engineering* 112: 116–131.
101. Shuster W. D., Bonta J., Thurston H., Warnemuende E., Smith D. R., 2005: Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal* 2: 263–275
102. Sojková E., Hrubá T., Součková M., Pincová V., Kiesenbauer Z., Dlouhá E., Kirschner V., Ondřejová V., 2006: Ochrana, obnova a rozvoj zeleně malých měst. *Acta Pruhoniana* 85, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Průhonice, 140 s.
103. Soudek P., PetrováŠ., Benešová D., Kotyza J., Vaněk T., 2008: Fytoremediace a možnosti zvýšení jejich účinnosti. *Chemické listy* 102: 346-352.
104. Soukalová E., Muzikář R., 2015: Hydrologické sucho v podzemních vodách. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* 57: 34-41.
105. Speak A. F., Rothwell J. J., Lindley S. J, Smith C. L., 2012: Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment* 61: 283-293.
106. Srishantha U., Rathnayake U., 2017: Sustainable urban drainage systems (SUDS) – what it is and where do we stand today? *Engineering and Applied Science Research* 44: 2355-241.
107. Stará M., 2014: Zelená fasáda – módní výstřelek nebo rozumná volba? (online) [cit. 2019-10-24], dostupné z <<https://www.drevostavitel.cz/clanek/zelena-fasada>>.
108. Starý M., 2005: Hydrologie: Modul 01. Vysoké učení technické v Brně, Brno, 213 s.

109. Stránský D., 2013: Přírodně blízké hospodaření se srážkovými vodami na stavebním pozemku a jeho důsledky pro územní plánování. České vysoké učení technické, Praha, 9 s.
110. Stránský D., Kabelková I., Vitek J., Suchánek M., 2007: Podklad pro koncepci nakládání s dešťovými vodami v urbanizovaných územích. Asociace čistírenských expertů České republiky, Praha, 58 s.
111. Středová H., Bowka A., Dobrovolný P., Krédl Z., Krahula L., Litschmann T., Pokorný R., Rožnovský J., Středa T., Vysoudil M., 2011: Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů, Český hydrometeorologický ústav, Praha, 102 s.
112. Suchara 2012: Hlavní ekologické charakteristiky prostředí měst a jejich ulic – stanovištní poměry pro růst dřevin. Zahrada-park-krajina 1: 47-49.
113. Sun X., Davis A. P., 2007: Heavy metal fates in laboratory bioretention systems. Chemosphere: 1601–1609.
114. Supuka J., 2018: Aktuálne problémy mestských sídiel a potenciál ich rešenia prostredníctvom zelenej infraštruktúry. Životné prostredie 1: 11-18.
115. Susorova I., Azimi P., Brent S., 2014: The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building facade orientations. Building and Environment 76: 113-124.
116. Sýkora L., 2003: Suburbanizace a její společenské důsledky. Sociologický časopis 39: 217–233.
117. Šimečková J., Večeřová I. [eds.], 2010: Zelené střechy – naděje pro budoucnost. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno, 38 s.
118. Šrámek F., Dubský M., 2014: Hodnocení střešních substrátů a jejich zařazení do systému typových substrátů definovaných ve vyhlášce 131/2014 Sb. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Průhonice, 24 s.
119. Štěpán V., 2003: Stromy v ulicích měst a na parkovištích. Správa veřejného statku města Plzně, Plzeň, 56 s.
120. Timur Ö., B., Karaca E., 2013: Vertical Gardens [online]. 2013 [cit. 2019-10-25]. Dostupné z <<https://www.intechopen.com/books/advances-in-landscape-architecture/vertical-gardens>>.
121. TNV 75 9011: Hospodaření se srážkovými vodami. Sweco Hydroproject, Praha, 2013. 65 s.
122. Trinh D. H., Chui T. R. M., 2013: Assessing the hydrologic restoration of an urbanized area via an integrated distributed hydrological model. Hydrology and Earth System Sciences 17: 4789–4801.

123. Trnka M., Brázdil R., Žalud Z., 2016: Sucho v České republice. *Vesmír* 95: 565-567.
124. Tsegaye S., Singleton T. L., Koeser A. K., Lamb D. S., Landry S. M., Lu S., Barber J. B., Hilbert D. R., Hamilton K. O., Northrop R. J., Ghebremichael K., 2019: Transitioning from gray to green (G2G) A green infrastructure planning tool for the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening* 40: 323–334.
125. Turk R. L., Kraus H. T., Bilderback T. E., Hunt W. F., Fonteno W. C., 2014: Rain Garden Filter Bed Substrates Affect Stormwater Nutrient Remediation. *Hort Science* 49: 645-652.
126. Vailshery L. S., Jaganmohan M., Nagendra H., 2013: Effect of street trees on microclimate and air pollution in a tropical city. *Urban Forestry & Urban Greening* 12: 408–415.
127. Vančura K., 2006: Les a voda. *Vesmír* 85:474-477.
128. Vaněk T., Soudek P., Podlipná R., Petrová Š., Landa P., 2017: Fytoremediace a možnosti její aplikace. Edice Věda kolem nás. Středisko společných činností Akademie věd ČR, v. v. i., Praha, 23 s.
129. 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.
130. Vítek J., 2018: Jak se projevuje úroveň zákonných a technických předpisů na aplikaci modrozelené infrastruktury. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* 3: 27-34.
131. Vítek J., Stránský D., Kabelková I., Bareš V., Vítek R., 2015: Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. ZO ČSOP Koniklec, Praha, 128 s.
132. Vítek J., Vacková M., Vítek R., Pelčák P., Zdražilová M., Hora D., Soldán P., 2018: Hospodaření se srážkovými vodami – cesta k modrozelené infrastruktuře. JV Projekt VH, Brno, 200 s.
133. Völker S., Baumeister H., Claßen T., Hornberg C., Kistemann T., 2013: Evidence for the temperature-mitigating capacity of urban blue space – a health geographic perspective. *Erdkunde*. 67:355-371
134. Vysoudil M., 2009: Klasifikace místních klimatických efektů. *Geografický časopis* 61: 229-241.
135. Vysoudil M., 2010: Místní klimatické efekty. Výskyt a projevy v městské a krajině. *Geografický časopis* 4: 176-179.
136. Walsh CH. J., Roy A. H., Feminella J. W., Cottingham P. D., Groffman P. M., Morgan R. P. II., 2005: The urban stream syndrome: current knowledge and the

- search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society* 24: 706-723.
137. Wang X., Tian Y., Zhao X., Peng Ch., 2017: Hydrological performance of dual-substrate-layer green roofs using porous inert substrates with high sorption capacities. *Water Sci Technol* 75: 2829-2840.
138. Wesely M. L., 2007: Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models. *Atmospheric Environment* 41: 52-63.
139. Xiao Q., McPherson E. G., 2011: Performance of engineered soil and trees in a parking lot bioswale. *Urban Water Journal* 8 (4): 241–253.
140. Xiao Q., McPherson E.G., 2016: Surface water storage capacity of twenty tree species in Davis, California. *Journal of Environmental Quality* 45: 188–198.
141. Yuan J., Dunnett N., 2018: Plant selection for rain gardens: Response to simulated cyclical flooding of 15 perennial species. *Urban Forestry & Urban Greening* 35: 57–65.
142. Zölch T., Henzeb L., Keilholz P., Pauleitb S., 2017: Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale. *Environmental Research* 157: 135–144.

Zákony, vyhlášky a normy

1. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění.
2. Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu, v platném znění.
3. Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území, v platném znění.
4. TNV 75 9010: Vsakovací zařízení srážkových vod. HYDROPROJEKT CZ a. s., Praha, 2012, 44 s.
5. TNV 75 9011: Hospodaření se srážkovými vodami. Sweco Hydroproject, Praha, 2013, 65 s.
6. ČSN 73 1901: Navrhování střech – základní ustanovení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011, 56 s.

Internetové zdroje

1. BBodSchG 1998: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (online) [cit. 2020-03-13], dostupné z < <https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/>>.

2. Crhová L., Čekal R., Černá L., Kimlová M., Krejčová K., Šádková E., Štěpánková B., Vrabec M., 2019: Monitoring sucha: Roční zpráva o hydrometeorologické situaci v České republice 2018 (online) [cit. 2019-06-16], dostupné z <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/sucho/Zpravy/ROK_2018.pdf>.
3. ČHMÚ, 2019: Monitoring sucha (online) [cit. 2019-06-07], dostupné z <<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/SPEI.html>>.
4. Danko L., 2014: Rain Gardens – Plants (online) [cit. 2020-01-31], dostupné z <<https://extension.psu.edu/rain-gardens-the-plants>>.
5. Hunt W. F., Lord B., Loh B., Sia A., 2015: Plant Selection for Bioretention Systems and Stormwater Treatment Practices (online) [cit. 2020-02-28], dostupné z <<https://link.springer.com/bookseries/11214>>.
6. Kabelková I., 2018: Hospodaření s dešťovými vodami a adaptační opatření na změnu klimatu v Kodani a Hamburku (online) [cit. 2020-03-14], dostupné z <<https://stavba.tzb-info.cz/strechy/17793-hospodareni-s-destovymi-vodami-a-adaptacni-opatreni-na-zmenu-klimatu-v-kodani-a-hamburku>>.
7. Kleger L., Válek P., 2013: Chemické látky – oxid uhličitý (online) [cit. 2020-03-05], dostupné z <<https://arnika.org/oxid-uhlicity>>.
8. Petrlík J., Válek P., Havel M., 2018: Cemické látky – polétavý prach PM10 (online) [cit. 2020-03-05], dostupné z <<https://arnika.org/poletavy-prach-pm10>>.
9. Pladias © 2014–2019: Databáze české flóry a vegetace (online) [cit. 2019-10-11], dostupné z <<https://www.pladias.cz>>.
10. Verschoren L., 2018: Meer bomen en boomsoorten voor ons klimaat (online) [cit. 2020-02-10], dostupné z <<https://be.thegreencity.eu/meer-bomen-en-boomsoorten-voor-ons-klimaat/>>.
11. Verschoren L., 2019: Entering the market with climate trees. Lucien Verschoren focuses on the importance of combining different types. (online) [cit. 2020-03-11], dostupné z <<https://digitaal.hortipoint.nl/grootgroenplus-2019/entering-the-market-with-climate-trees/>>.
12. WHG, 2009: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts – Wasserhaltungsgesetz (online) [cit. 2020-03-13], dostupné z <https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/BJNR258510009.html>.
13. Počítáme s vodou © 2020: Mapová databáze příkladů realizací hospodaření s dešťovou vodou v ČR (online) [cit. 2020-03-17], dostupné z <<https://www.pocitamesvodou.cz/mapa-prikladu>>.

13 Seznam tabulek, obrázků a grafů

Tabulky

Tabulka 1: Možnost ovlivnění hydrologických procesů v obytných městských částech (cca 50 % hustota budov na rozloze 3,5 ha) aplikací vegetace na střechy budov (vegetaci střech představují traviny s vrstvou substrátu 0,2 m). Upraveno dle Zölch et al. (2017).

Tabulka 2: Velikost plochy aktivního povrchu rostlin u různých typů vegetačního pokryvu dle Minkeho (2000), na základě výsledků Výzkumné laboratoře pro experimentální stavebnictví, univerzita Kassel 1981.

Tabulka 3: Odhady zachycených prachových částic PM10 rostlinami zelených střech v centru Manchesteru ve Velké Británii při 100% pokrytí střech vegetací*. Upraveno dle Speak et al. (2012).

Tabulka 4: Hodnoty asimilace CO₂, stomatální vodivosti a transpirace 15 - ti druhů rostlin používaných k ozelenění vegetačních střech dle Baraldi et al. (2019).

Tabulka 5: Maximální obsah spalitelných látek v jednotlivých typech střešních substrátů podle doporučení FLL (2008), čerpáno z (Šrámek et Dubský 2014).

Tabulka 6: Vliv různých typů vegetace na množství odtoku z dešťové zahrady v období od července do října. Upraveno dle výsledků experimentu Nocco et al. (2016).

Tabulka 7: Vliv druhové biodiverzity vegetace a složení média bioretenční buňky při odstraňování živin (fosforu a dusíku) z povrchového odtoku dle (Shrestha et al. (2018).

Tabulka 8: Výsledky vhodnosti 11 kultivarů domácích listnatých stromů vysazených převážně ve zpevněných plochách ulic města Brna pro použití v ulicích měst dle Mikšové et Pejchala (2019).

Obrázky

Obrázek 1: Základní vrstvy zelené střechy (Zahradnictví Plzeň, Zelené střechy a střešní zahrady, dostupné z <https://www.plzen-zahradnictvi.cz/zelena-strecha/>)

Obrázek 2: Přispění jednotlivých druhů rostlin zelených střech k hydrologickým procesům v jednotlivých ročních obdobích v porovnání se zelenou střechou bez vegetace. Upraveno dle výsledků Li et al. (2018).

Obrázek 3: Vnější obytná zeď muzea Quai Branly v Paříži (Matador Network, dostupné z <https://matadornetwork.com/read/green-walls-world/>)

Obrázek 4: Zelená fasáda z břečťanu popínavého (Zahrada a příroda, dostupné z <https://www.zahradaapriroda.cz/brectan-popinavy-chrani-dum/>)

Obrázek 5: Vertikální zahrada Buštěhrad (Váš zahradník – František Ryvola, dostupné z http://www.vaszahradnik.cz/img/_vertikal_bustehrad.foto/tn/dsc_5383---version-2.jpg?1468245222)

Obrázek 6: Princip bioretenčního systému (Bydlení nové generace, JRD Development – Ing. Petr Valeš, dostupné z https://www.modernienergetika.cz/wp-content/uploads/2019/03/JRD_Development.pdf)

Přílohy

Příloha 1: Příklady doporučených druhů dřevin (zakrslých keřů, keřů, velkých keřů a malých stromů) pro intenzivní zelené střechy vhodných pro klimatické podmínky ČR (klimatická zóna 6 = mrazuvzdornost při minimálním teplotním rozmezí – 29 °C až – 23 °C) a vysoce odolných proti znečišťujícím látkám dle Kolba et al. (2019).

Příloha 2: Sortiment rostlin odolných vůči suchu a relativně nejméně náročných na mocnost substrátu, vhodných pro extenzivní zelené střechy s výškou substrátu 50 až 80 mm. Upraveno dle Minke (2000); Čermáková et Mužíková (2009); Bohuslávek et al. (2009); Burian et al. (2016).

Příloha 3: Travniny pro hustý vegetační pokryv extenzivních zelených střech s výškou substrátu 140 až 180 mm (Minke 2000; Čermáková et Mužíková 2009; Bohuslávek et al. 2009; Burian et al. 2016).

Příloha 4: Samopnoucí rostliny vhodné pro zelené fasády (zpravidla nevyžadující podporu, vyjma velmi hladkých povrchů) se zaměřením na odolnost vůči mrazu, stanovištní podmínky, rychlost růstu či podporu fauny. Upraveno dle Johnstona et Newtona (2004) a Krajčovičové (2005).

Příloha 5: Pnoucí rostliny vhodné pro zelené fasády vyžadující oporu nebo vyvazování, se zaměřením na odolnost vůči mrazu, stanovištní podmínky, rychlost růstu či podporu fauny. Upraveno dle Johnstona et Newtona (2004) a Krajčovičové (2005).

Příloha 6: Trvalky pro živé stěny (vertikální zahrady) vhodné pro klimatické podmínky ČR – pH substrátu neutrální – druhy řazeny dle nároků na vodu. Upraveno dle Pfosera (2018).

Příloha 7: Travniny pro živé stěny (vertikální zahrady) vhodné pro klimatické podmínky ČR – pH substrátu neutrální – druhy řazeny dle nároků na vodu. Upraveno dle Pfosera (2018).

Příloha 8: Kapradiny pro živé stěny (vertikální zahrady) vhodné pro klimatické podmínky ČR – pH substrátu neutrální – druhy řazeny dle nároků na vodu. Upraveno dle Pfosera (2018).

Příloha 9: Rostlinné druhy (rozdělení dle typu vegetace – prémie, keře, tráva) vysázené v každém typu dešťové zahrady při experimentu Nocco et al. (2016), k vyhodnocení vlivu typu vegetace na množství odtoku a odstraňování dusíku z odtoku dešťové zahrady. Výsledky experimentu uvedeny v tabulce č. 6.

Příloha 10: Dřeviny ze seznamu tzv. "klimatických" stromů dle Verschoren (2018).

Příloha 11: Trvalková směs „Rozkvetlé nábřeží“ vhodná pro suché půdy a slunná stanoviště ve městech (kruhové objezdy, silniční ostrůvky, vegetační pásy mezi silnicí a chodníkem, zahrady) dle (Bartoš et Martinek 2018).

Příloha 12: Trvalková směs „Venkovská nálada“ pro výsadby do polostínu na okraj porostu vzrostlých dřevin ve veřejných i soukromých plochách městské i venkovské zeleně (středně vlhké až sušší lokality) dle Bartoš et al. (2017).

Příloha 13: Příklady přírodě blízkých opatření hospodaření s dešťovou vodou realizovaných na území České republiky dle Počítáme s vodou © (2020).

Příloha 1: Příklady doporučených druhů dřevin (zakrslých keřů, keřů, velkých keřů a malých stromů) pro intenzivní zelené střechy vhodných pro klimatické podmínky ČR (klimatická zóna 6 = mrazuvzdornost při minimálním teplotním rozmezí – 29 °C až – 23 °C) a vysoce odolných proti znečišťujícím látkám dle Kolba et al. (2019).

Taxon (botanický název)	Taxon (český název)	Umístění*			Substrát**			Kriteria***				
		☀	☾	●	alk	neu	kys	Opp	Stb	Tvs	Rez	Tvř
Zakrslé keře s výškou kořenové oblasti 15 - 20 cm (výška růstu 20 - 100 cm)												
<i>Berberis thunbergii</i> 'Kobold'	dříšťál Thunbergův	x	x		x	x	x	4	4	3	3	4
<i>Cotoneaster</i> 'Eichholz'	skalník	x	x		x	x	x	4	3	4	3	4
<i>Mahonia aquifolium</i> 'Apollo'	mahonie cesmínolistá	x	x	x	x	x	x	4	4	3	3	4
<i>Prunus tenella</i>	mandloň nízká	x	x		x	x		4	4	3	4	4
<i>Salix repens argentea</i>	vrba plazivá	x	x		x	x		4	4	4	4	4
<i>Syringa meyeri</i> 'Palibin'	šeřík Meyerův	x	x		x	x		4	4	3	4	3
Zakrslé keře s výškou kořenové oblasti 25 - 30 cm (výška růstu 80 - 200 cm)												
<i>Aronia arbutifolia</i>	arónie planikolistá	x	x			x	x	4	4	3	4	3
<i>Amelanchier ovalis</i>	muchovník oválný	x	x		x	x		4	4	4	4	3
<i>Chaenomeles japonica</i>	kdoulovec japonský	x	x			x	x	4	4	3	3	3
<i>Clematis viticella</i>	plamének vlašský	x	x		x	x		4	4	3	3	3
<i>Ligustrum vulgare</i> 'Lodense'	ptačí zob obecný	x	x	x	x	x	x	4	4	3	2	4
<i>Mahonia aquifolium</i>	mahonie cesmínolistá	x	x	x		x	x	4	4	3	3	4
<i>Rosa gallica</i>	růže keltská	x	x		x	x		4	4	3	3	4
<i>Salix purpurea</i> 'Nana'	vrba purpurová	x	x		x	x		4	4	4	4	4
<i>Salix rosmarinifolia</i>	vrba rozmarýnolistá	x	x				x	4	4	4	4	4
<i>Pinus mugo</i> 'Gnom'	borovice kleč	x			x	x	x	4	4	4	3	2
Keře s výškou kořenové oblasti 40 - 50 cm (výška růstu 200 - 500 cm)												
<i>Amelanchier lamarckii</i>	muchovník Lamarckův	x	x		x	x	x	4	4	3	3	3
<i>Berberis thunbergii</i>	dříšťál Thunbergův	x	x		x	x	x	3	4	3	3	2
<i>Caragana arborescens</i>	čimišník stromovitý	x	x		x	x		3	4	4	3	3
<i>Cornus mas</i>	dřín obecný	x	x		x	x		4	4	4	4	4
<i>Elaeagnus multiflora</i>	hlošina mnohokvětá	x			x	x		4	4	3	3	3
<i>Kolkwitzia amabilis</i>	kolkvície krásná	x	x		x	x		3	4	3	3	3
<i>Rosa multiflora</i>	růže mnohokvětá	x	x		x	x		4	4	4	4	4
<i>Salix caprea</i> 'Mas'	vrba jíva	x	x		x	x		3	3	3	3	4
<i>Spiraea nipponica</i>	tavolník niponský	x	x		x	x		4	4	3	4	4
<i>Viburnum lantana</i>	kalina tušalaj	x	x		x	x		3	4	4	3	3
<i>Pinus nigra</i> 'Nana'	borovice černá	x			x	x		3	4	4	3	2
<i>Pinus sylvestris</i> 'Watereri'	borovice lesní	x			x	x	x	3	3	4	3	3
<i>Taxus media</i> 'Hillii'	tis prostřední	x	x	x	x	x	x	3	4	3	3	4
Velké keře a malé stromy s výškou kořenové oblasti 60 - 70 cm (výška růstu 500 - 1000 cm)												
<i>Acer tataricum</i> ssp. <i>ginnala</i>	javor amurský	x	x		x	x		3	3	3	3	2
<i>Aesculus pavia</i>	jírovec pávie	x				x	x	3	3	2	3	3
<i>Amelanchier arborea</i> 'Robin Hill'	muchovník stromovitý	x	x		x	x	x	4	4	3	3	2
<i>Betula pendula</i> 'Dalecarlica'	bříza bělokorá	x	x		x	x	x	3	3	4	3	2
<i>Carpinus betulus</i> 'Pendula'	habr obecný	x	x	x	x	x	x	4	4	2	3	4
<i>Corylus avellana</i>	líška obecná	x	x	x	x	x	x	3	4	3	3	3
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	hlošina úzkolistá	x			x	x		3	3	4	3	2
<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	dřezovec trojtrnný	x	x		x	x		4	4	4	3	2
<i>Sorbus aucuparia</i>	jeřáb ptačí	x	x			x	x	4	3	3	2	3
<i>Thuja plicata</i> 'Atrovirens'	zerav řasnatý	x	x			x	x	3	3	3	3	4

Legenda k příloze č. 1

* Umístění: ☀ slunce; ☪ polostín; ● stín. ** Substrát: alk – alkalický; neu – neutrální; kys – kyselý.

*** Kritéria: Opp – odolnost proti lomu; Stb – stabilita při zatížení větrem; Tvs – tolerance vůči suchu; Res – rezistence vůči škůdcům a chorobám; Tvř – tolerance k řezu; (1 – nízká; 2 – střední; 3 – vysoká; 4 – velmi vysoká).

Příloha 2: Sortiment rostlin odolných vůči suchu a relativně nejméně náročných na mocnost substrátu, vhodných pro extenzivní zelené střechy s výškou substrátu 50 až 80 mm. Upraveno dle Minke (2000); Čermáková et Mužíková (2009); Bohuslávek et al. (2009); Burian et al. (2016).

Taxon - latinský název	Taxon - český název	Výška substrátu (mm)	Minke 2000	Bohuslávek et al. 2009	Čermáková et Mužíková 2009	Burian et al. 2016	Původnost v ČR*
<i>Allium atropurpureum</i>	česnek nachový	50 - 80	X		X		N
<i>Allium flavum var. minus</i>	česnek žlutý	50 - 80	X		X		
<i>Allium montanum</i>	česnek horský	50 - 80	X		X		
<i>Allium schoenoprasum</i>	pažitka pobřežní	50 - 80	X	X	X	X	P
<i>Bromus tectorum</i>	sveřep střešní	50 - 80	X		X	X	A
<i>Carex humilis</i>	ostřice nízká	50 - 80	X	X		X	P
<i>Festuca punctoria</i>	košťava pichlavá	50 - 80	X		X		
<i>Festuca vivipara</i>	košťava živorodá	50 - 80	X		X		
<i>Poa angustifolia</i>	lipnice úzkolistá	50 - 80	X		X		P
<i>Poa compressa</i>	lipnice smáčkutá	50 - 80	X		X	X	P
<i>Sedum acre</i>	rozchodník ostrý	50 - 80	X		X		P
<i>Sedum album</i>	rozchodník bílý	50 - 80	X	X	X	X	P
<i>Sedum caucolicum</i>	rozchodník sklání	50 - 80	X	X	X		
<i>Sedum floriferum</i>	rozchodník květnatý	50 - 80	X	X	X	X	
<i>Sedum hispanicum</i>	rozchodník španělský	50 - 80	X		X	X	N
<i>Sedum hybridum</i>	rozchodník křížený	50 - 80	X	X	X	X	N
<i>Sedum kamtschaticum</i>	rozchodník kamčadský	50 - 80	X	X	X		
<i>Sedum reflexum</i>	rozchodník skaliskový	50 - 80	X	X	X	X	P
<i>Sedum sexangulare</i>	rozchodník šestiřadý	50 - 80	X	X	X	X	P
<i>Sedum spurium</i>	rozchodník zvrhlý	50 - 80	X	X	X	X	N
<i>Sempervivella sedoides</i>	netřešník rozchodníkový	50 - 80	X		X		
<i>Sempervivum arachnoideum</i>	netřesk pavučinatý	50 - 80	X		X	X	
<i>Sempervivum montanum</i>	netřesk horský	50 - 80	X		X	X	
<i>Sempervivum tectorum</i>	netřesk střešní	50 - 80	X		X		N

* **P (původní)** – původní taxon na území České republiky; **A (archeofyt)** – nepůvodní taxon zavlečený v období mezi počátkem neolitického zemědělství a rokem 1500; **N (neofyt)** – nepůvodní taxon zavlečený po roce 1500; **K (pěstovaný v kultuře)** – nepůvodní taxony, které jsou na území České republiky pouze pěstovány v kultuře, ale nezplaňují (Pladias © 2014–2019).

Příloha 3: Travniny pro hustý vegetační pokryv extenzivních zelených střech a výšku substrátu 140 až 180 mm (Minke 2000; Čermáková et Mužíková 2009; Bohuslávek et al. 2009; Burian et al. 2016).

Taxon - latinský název	Taxon - český název	Výška substrátu (mm)	Minke 2000	Bohuslávek et al. 2009	Čermáková et Mužíková 2009	Burian et al. 2016	Původnost v ČR*
<i>Agrostis stolonifera</i>	psineček výběžkatý	140 - 180			X		P
<i>Agrostis capillaris</i> syn. <i>A. tenuis</i>	psineček obecný (tenký)	140 - 180	X		X		P
<i>Bromus erectus</i>	sveřep vzpřímený	140 - 180	X		X		P
<i>Carex digitata</i>	ostřice prstnatá	140 - 180	X		X		P
<i>Carex humilis</i>	ostřice nízká	140 - 180	X		X	X	P
<i>Festuca pallens</i> syn. <i>F. glauca</i>	kostřava sivá	140 - 180	X	X	X		P
<i>Festuca ovina</i>	kostřava ovčí	140 - 180	X		X	X	P
<i>Festuca rubra commutata</i>	kostřava červená trsnatá	140 - 180	X		X		P
<i>Festuca rubra genuina</i>	kostřava červená výběžkatá	140 - 180	X		X		
<i>Festuca valesiaca</i>	kostřava valiská	140 - 180				X	P
<i>Poa pratensis</i>	lipnice luční	140 - 180	X		X		P
<i>Stipa pennata</i>	kavyl Ivanův	140 - 180	X		X		P
<i>Stipa ucrainica</i>	kavyl ukrajinský	140 - 180	X		X		

* **P (původní)** – původní taxon na území České republiky (Pladias © 2014–2019).

Příloha 4: Samopnoucí rostliny vhodné pro zelené fasády (zpravidla nevyžadující podporu, vyjma velmi hladkých povrchů) se zaměřením na odolnost vůči mrazu, stanovištní podmínky, rychlost růstu či podporu fauny. Upraveno dle Johnstona et Newtona (2004) a Krajčovičové (2005).

Druh (latinský a český název) / olistění	Výška rostliny (m)*	Vhodná poloha (umístění)*	Tempo růstu	Mrazuvzdornost*
	Stanovištní podmínky*			
	Poznámky			
Přísavné a kořenující druhy popínavých rostlin zpravidla nevyžadující podporu (vyjma velmi hladkých stěn)				
<i>Hedera helix</i> (břečťan popínavý)	10 m	stín, polostín	pomalé	do – 25°C
stálezelený	Vlhčí hlinitopísčité půdy, toleruje i sušší, nesnese dlouhodobé přemokření.			
	Vhodné pro hnízdění ptáků a přezimování motýlů. Poskytuje nektar a pyl pro včely a pestřenky.			
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (přísavník pětičetný)	10 m	slunce, polostín	průměrné	do – 20°C
opadavý	Nenáročný na půdu, optimum vápenaté půdy.			
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (přísavník trojčipý)	10 m	slunce, polostín	rychlé	do – 20°C
opadavý	Vlhčí půdy, toleruje i sušší, hlinité i kamenité.			
	Při mřížové konstrukci vhodné stanoviště pro hnízdění ptáků. Poskytuje nektar a pyl pro včely.			
<i>Hydrangea petiolaris</i> (hortenzie řapíkatá)	10 m	polostín, stín	průměrné	do – 20°C
opadavý	Lehké mokřejší kyselé půdy (ne těžké zamokřelé a vápenité)			
	Vhodné stanoviště pro hnízdění ptáků. Poskytuje nektar pro včely a další hmyz.			
<i>Euonymus fortunei</i> (brslen Fortuneův)	1 - 3 m	sever; polostín, stín	pomalé	do – 20°C
stálezelený	Propustné hlinité půdy, toleruje i nepřemokřené těžké jílovité.			

*dle Krajčovičové (2005)

Příloha 5: Pnucí rostliny vhodné pro zelené fasády vyžadující oporu nebo vyvazování, se zaměřením na odolnost vůči mrazu, stanovištní podmínky, rychlost růstu či podporu fauny. Upraveno dle Johnstona et Newtona (2004) a Krajčovičové (2005).

Druh (latinský a český název) / olistění	Výška rostliny (m)*	Vhodná poloha (umístění)*	Tempo růstu	Mrazuvzdornost*
	Stanovištní podmínky*			
	Poznámky			
Ovívivé a úponkaté druhy popínavých rostlin vyžadující oporu (trubky, tyče; konstrukce z mřížek, drátů, aj.)				
<i>Lonicera periclymenum</i> (zimolez německý)	4 - 5 m	slunce, polostín	průměrné	do – 25°C
opadavý	Vyžaduje vlhké půdy. Při hustém porostu vhodné stanoviště pro hnízdění ptáků. Díky nočním květům vhodné podmínky pro hmyz, zejména můry, díky nočním květům.			
<i>Clematis vitalba</i> (plamének plotní)	10 - 12 m	polostín	rychlé	do – 25°C
opadavý	Roste i na méně vyživných půdách, alkalických navážkách, snáší i sušší půdy. Poskytuje potravu pro ptáky a pro hmyz.			
<i>Aristolochia macrophylla</i> (podražec velkokvětý)	8 - 10 m	polostín, stín	průměrné	do – 25°C
opadavý	Vlhčí těžší hlinité půdy, které drží vodu. Rostlina má velké srdčité listy, které odpaří mnoho vody (Burian et Ondřej 1992).			
<i>Vitis amurensis</i> (réva amurská)	6 - 8 m	slunce, polostín	průměrné	do – 20°C
opadavý	Půdy sušší kamenité nebo stěrkové. Poskytuje plody pro ptáky a nektar a pyl pro včely.			
<i>Wisteria floribunda</i> (vistárie japonská)	8 m	slunce	průměrné	do – 20°C
opadavý	Vyžaduje výživnou propustnou půdu. Poskytuje podmínky pro hnízdění a vynikající nektar a pyl pro včely.			
<i>Capsis radicans</i> (trubač kořeňující)	5 - 8 m	slunce, polostín	pomalé	do – 20°C
opadavý	Půdy vlhké, propustné, hluboké a výživné			
Vzpěrné popínavé rostliny (nutné upevnění či uvázání na opěrné konstrukci)				
<i>Jasminum nudiflorum</i> (jasmín nahokvětý)	3 m	slunce, polostín	průměrné	do – 20°C
opadavý	Vlhké, hlinité a písčitohlinité půdy, snáší i sucho, na zimu je nutné přikrýt kořeny.			
<i>Rosa spp.</i> (popínavá růže)	2 - 5 m	slunce, polostín	průměrné	do – 20°C
opadavý	Půdy vápenité, hlinité či písčitohlinité s dostatečnou zásobou humusu. Poskytuje nektar pro včely a stanoviště pro hnízdění ptactva.			
<i>Rubus fruticosus</i> (ostružiník křovitý)	3 m	slunce, polostín	průměrné	do – 25°C
opadavý	Nenáročný, snese půdy vlhčí i sušší, hlinité i kamenité Poskytuje pyl pro včely a nektar pro včely a motýly. Bobule pro ptáky a malé savce, Noční vůně a přitahuje můry.			
<i>Cotoneaster dammeri</i> (skalník Dammerův)	1 m	slunce, polostín	pomalé	do – 25°C
stálezelený	Vlhčí vápenaté hlinitopísčité půdy, toleruje i sušší půdy. Hustý porost může být použit k hnízdením ptactva. Bobule poskytují potravu pro ptáky či drobné savce, nektar a pyl pro včely.			
<i>Pyracantha coccinea</i> (hlohyně šarlatová)	3 m	slunce, polostín	pomalé	do – 20°C
stálezelený	Vlhčí vápenaté, hlinitopísčité půdy, snáší i sucho. Dobré pro hnízdění ptáků, např. Drozdů. Poskytuje nektar a pyl pro včely a bobule pro ptáky, zejména kosy.			

*dle Krajčovičové (2005)

Příloha 6: Trvalky pro živé stěny (vertikální zahrady) vhodné pro klimatické podmínky ČR – pH substrátu neutrální – druhy řazeny dle nároků na vodu. Upraveno dle Pfosera (2018).

Druh (latinský a český název)	Světelné podmínky	Vlhkost substrátu	Teplotní podmínky*	Výška rostliny (cm)	Výsadbová vzdálenost/ ks/m ²	Péče
				Intenzita růstu		
<i>Nepeta × faassenii</i> šanta zkřížená	slunce	suchý	4	20 - 90 rychlá	30 - 35 cm 8 - 11 ks	nízká
<i>Waldsteinia ternata</i> mochnička trojčetná	polostín, stín	suchý, středně vlhký	3	10 - 15 cm střední	30 cm 11 ks	střední
<i>Campanula portenschlagiana</i> zvonek dalmatský	slunce, polostín	suchý, středně vlhký	4	15 cm neuveďeno	25 - 30 cm 11 ks	střední
<i>Geranium macrorrhizum</i> kakost oddenkatý	slunce, polostín	suchý, středně vlhký	4	30 cm neuveďeno	30 cm 10 ks	střední
<i>Geranium x cantabrigiense</i> 'Biokovo' kakost kantabrijský	slunce, polostín	suchý, středně vlhký	5	20 - 25 cm pomalá	20 - 30 cm 13 - 16 ks	střední
<i>Iberis sempervirens</i> iberka vřdzyzelená	slunce	suchý, středně vlhký	4	10 - 25 cm pomalá	30 - 40 cm 7 ks	nízká
<i>Bergenia crassifolia</i> bergénie tučnolistá	slunce, polostín	středně vlhký	3	20 - 40 cm střední	35 - 40 cm 7 ks	střední
<i>Tiarella cordifolia</i> mitrovnička srdcolistá	polostín	středně vlhký	3	10 - 15 cm pomalá	25 cm 15 ks	nízká
<i>Arabis caucasica</i> huseník kavkazský	slunce, polostín	středně vlhký	4	15 - 20 cm pomalá	20 - 30 cm 13 ks	střední
<i>Heuchera hybrida</i> 'Obsidian' dlužicha	slunce, polostín	středně vlhký	5	40cm střední	35 cm 8 ks	střední
<i>Heuchera micrantha</i> 'Palace Purple' dlužicha drobnokvětá	slunce, polostín	středně vlhký	5	30 - 70 cm střední	35 cm 7 - 8 ks	střední
<i>Hosta plantaginea</i> bohyška jitrocelová	slunce	středně vlhký	5	60 cm střední	50 - 60 cm 4 ks	střední
<i>Pachysandra terminalis</i> pachysandra klasnatá	polostín	středně vlhký	5	25 - 30 cm pomalá	20 - 30 cm 13 ks	nízký
<i>Vinca minor</i> 'Alba' barvínek menší	polostín, stín	středně vlhký	5	10 - 15 cm pomalá	25 cm 16 ks	nízký

* teplotní podmínky dle klimatických zón (mrazuvzdornost – otužilost rostlin) podle USDA (U. S. Department of Agriculture). Zóna 2 (-40 až -46 °C); 3 (-35 až -40 °C); 4 (-29 až -35 °C); 5 (-23 až -29 °C); 6 (-18 až -23 °C).

Příloha 7: Travniny pro živé stěny (vertikální zahrady) vhodné pro klimatické podmínky ČR – pH substrátu neutrální – druhy řazeny dle nároků na vodu. Upraveno dle Pfosera (2018).

Druh (latinský a český název)	Světelné podmínky	Vlhkost substrátu	Teplotní podmínky*	Výška rostliny (cm)	Výsadbová vzdálenost	Péče
				Intenzita růstu	ks/m ²	
<i>Festuca amethystina</i> kostřava ametystová	slunce	suchý	4, 5	10 - 45 cm	30 cm	nízká
				pomalá	11 ks	
<i>Festuca cinerea</i> 'Blauglut' kostřava popelavá	slunce	suchý	6	20 cm	20 - 30 cm	nízká
				pomalá	13 ks	
<i>Koeleria glauca</i> smělek sivý	slunce	suchý	4	10 - 40 cm	25 cm	nízká
				pomalá	16 ks	
<i>Briza media</i> třeslice prostřední	slunce	suchý, středně vlhký	5	20 - 40 cm	35 cm	střední
				střední	8 - 10 ks	
<i>Festuca filiformis</i> kostřava tenkolistá	slunce	suchý, středně vlhký	5	15 cm	25 - 30 cm	nízká
				pomalá	11 ks	
<i>Sesleria heuffleriana</i> pěchava Heufferova	slunce, polostín	suchý, středně vlhký	5	30 - 70 cm	30 - 40 cm	střední
				střední	4 - 6 ks	
<i>Eragrostis spectabilis</i> milička	slunce	suchý, středně vlhký	6	20 - 50 cm	40 cm	nízká
				střední	6 ks	
<i>Luzula nivea</i> bika sněžná	polostín, stín	suchý, středně vlhký	6	15 - 40 cm	30 - 40 cm	střední
				střední	8 ks	
<i>Carex morrowii</i> 'Variegata' ostřice japonská	polostín	středně vlhký	6	25 - 40 cm	30 - 40 cm	nízká
				střední	6 ks	

* teplotní podmínky dle klimatických zón (mrazuvzdornost – otužilost rostlin) podle USDA (U. S. Department of Agriculture). Zóna 2 (-40 až -46 °C); 3 (-35 až -40 °C); 4 (-29 až -35 °C); 5 (-23 až -29 °C); 6 (-18 až -23 °C).

Příloha 8: Kapradiny pro živé stěny (vertikální zahrady) vhodné pro klimatické podmínky ČR – pH substrátu neutrální – druhy řazeny dle nároků na vodu. Upraveno dle Pfošera (2018).

Druh (latinský a český název)	Světelné podmínky	Vlhkost substrátu	Teplotní podmínky*	Výška rostliny (cm)	Výsadbová vzdálenost/ ks/m ²	Péče
				Intenzita růstu		
<i>Asplenium trichomanes</i> sleziník červený	polostín	suchý, středně vlhký	2	10 cm	20 cm	střední
				pomalá	25 ks	
<i>Polystichum aculeatum</i> kapradina laločnatá	polostín, stín	středně vlhký	5	45 - 80 cm	40 - 50 cm	střední
				střední	4 - 5 ks	
<i>Adiantum venustum</i> netík půvabný	polostín	středně vlhký, vlhký	3	10 - 15 cm	20 - 35 cm	střední
				střední	8 - 12 ks	
<i>Blechnum spicant</i> žebrovice různolistá	polostín, stín	středně vlhký, vlhký	5	25 - 40 cm	30 - 40 cm	střední
				střední	7 - 8 ks	
<i>Matteuccia struthiopteris</i> pérovník pštrosí	polostín, stín	středně vlhký, vlhký	3	80 - 120 cm	80 - 120 cm	vysoká
				střední	1 - 3 ks	
<i>Athyrium niponicum 'Pictum'</i> papratka niponská	polostín	středně vlhký, vlhký	4	20 - 40 cm	40 - 50 cm	střední
				střední	5 ks	
<i>Phyllitis scolopendrium</i> jelení jazyk	polostín, stín	středně vlhký, vlhký	5	25 - 40 cm	30 - 40 cm	vysoká
				pomalá	7 - 8 ks	
<i>Dryopteris affinis</i> kapraď rezavá	polostín, stín	středně vlhký, vlhký	4	50 - 100 cm	60 - 90 cm	střední
				rychlá	1 ks	
<i>Polypodium vulgare</i> osladič obecný	polostín, stín	středně vlhký, vlhký	3	20 - 40 cm	30 - 35 cm	střední
				střední	8 - 10 ks	

* teplotní podmínky dle klimatických zón (mrazuvzdornost – otužilost rostlin) podle USDA (U. S. Department of Agriculture). Zóna 2 (-40 až -46 °C); 3 (-35 až -40 °C); 4 (-29 až -35 °C); 5 (-23 až -29 °C); 6 (-18 až -23 °C).

Příloha 9: Rostlinné druhy (rozdělení dle typu vegetace – prémie, keře, tráva) vysázené v každém typu dešťové zahrady při experimentu Nocco et al. (2016), k vyhodnocení vlivu typu vegetace na množství odtoku a odstraňování dusíku z odtoku dešťové zahrady. Výsledky experimentu uvedeny v tabulce č. 6.

Typ vegetace	Druh (latinský název)	Druh (český název)
Prémie (směs trvalek)	<i>Andropogon gerardii</i>	vousatice
	<i>Asclepias incarnata</i>	klejicha narudlá
	<i>Aster novae - angliae</i>	hvězdnice novoanglická
	<i>Baptisia bracteata</i>	baptisie
	<i>Boltonia asteroides</i>	falešná astra (hvězdnice)
	<i>Carex vulpinoidea</i>	ostřice liščí
	<i>Echinacea pallida</i>	třapatkovka bledá
	<i>Echinacea purpurea</i>	třapatkovka nachová
	<i>Eupatorium perfoliatum</i>	sadec prorostlý
	<i>Helianthus occidentalis</i>	slunečnice západní
	<i>Liatris pycnostachya</i>	šuškarda hustoklasá
	<i>Monarda fistulosa</i>	zavinutka trubkovitá
	<i>Panicum virgatum</i>	proso prutnaté
	<i>Parthenium integrifolium</i>	divoký chinin
	<i>Penstemon calycosus</i>	dračík
	<i>Ratibida pinnata</i>	ratibida zpeřená
<i>Rudbeckia hirta</i>	třapatka srstnatá	
<i>Solidago rigida</i>	zlatobýl	
<i>Veronicastrum virginicum</i>	rozrazil virginský	
Keře	<i>Aronia melanocarpa</i>	temnoplodec černoplodý
	<i>Cornus sericea 'isanti'</i>	svída výběžkatá
	<i>Ilex verticillata</i>	Cesmína přeslenitá
	<i>Salix purpurea gracilis</i>	vrba purpurová trpasličí
	<i>Viburnum dentatum</i>	kalina zubatá
	<i>Viburnum trilobum</i>	kalina klikvová
Traviny	<i>Poa pratensis</i>	lipnice luční

Příloha 10: Dřeviny ze seznamu tzv. "klimatických" stromů dle Verschoren (2018)

Druh (latinský název)	Druh (český název)
<i>Acer campestre</i> 'Elsrijk', 'Lienco'	javor babyka
<i>Acer cappadocium</i> 'Rubrum'	javor kapadocký
<i>Acer x freemanii</i> 'Autumn Blaze'	javor stříbrný (<i>Acer saccharinum</i>) x javor červený (<i>Acer rubrum</i>)
<i>Acer monspessulanum</i>	javor francouzský
<i>Acer rubrum</i> 'October Glory', 'Red Sunset', 'Scanlon'	javor červený
<i>Alnus cordata</i>	olše srdčitá
<i>Alnus x spaethii</i> 'Spaeth'	olše japonská (<i>Alnus japonica</i>) x olše kavkazská (<i>Alnus subcordata</i>)
<i>Amelanchier arborea</i> 'Robin Hill'	muchovník stromovitý
<i>Amelanchier laevis</i> 'Ballerina'	muchovník hladký
<i>Amelanchier lamarckii</i>	muchovník Lamarkův
<i>Styphnolobium japonicum</i> 'Regent'	jerlín japonský
<i>Tetradium daniellii</i>	ampák Danielův
<i>Tilia cordata</i> 'Böhle', 'Greenspire', 'Rancho'	lípa malolistá
<i>Tilia x europaea</i> 'Euchlora', 'Pallida'	lípa evropská (obecná)
<i>Tilia tomentosa</i> 'Brabant', 'Doornik'	lípa stříbrná
<i>Ulmus</i> 'Columelle', 'Lobel'	jilm
<i>Zelkova serrata</i> 'Green Vase'	zelkova ostrolistá (pilovitá)
<i>Carpinus betulus</i> 'Lucas'	habr obecný
<i>Castanea sativa</i>	kaštanovník jedlý
<i>Catalpa bignonioides</i>	katalpa trubačovitá
<i>Celtis australis</i>	břestovec jižní
<i>Cladrastris kentukea</i>	křehověvec žlutý
<i>Corylus colurna</i>	líška turecká
<i>Crataegus x lavallei</i> 'Carrierei'	hloh Lavallův
<i>Crataegus x persimilis</i> 'Splendens'	hloh slívolistý
<i>Fraxinus americana</i> 'Autumn Purple'	jasan americký
<i>Fraxinus angustifolia</i> 'Raywood'	jasan úzkolistý
<i>Fraxinus ornus</i> 'Mecsek', 'Obelisk'	jasan zimnář
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> 'Summit', 'Obelisk'	jasan pensylvánský
<i>Ginkgo biloba</i>	jinan dvouločný (ginkgo biloba)
<i>Gleditsia triacanthos</i> 'Skyline', 'Sunburst'	dřezovec trojtrnný
<i>Heptacodium miconioides</i>	heptakodium jasmínovité
<i>Koelreuteria paniculata</i>	svítel latnatý
<i>Liquidambar styraciflua</i> 'Worplesdon'	ambroň západní
<i>Liriodendron tulipifera</i>	liliovník tulipánokvětý
<i>Magnolia kobus</i>	šácholan japonský (magnólie japonská)
<i>Malus</i> 'Evereste', 'Red Obelisk', 'Red Sentinel'	jabloň
<i>Malus tschonoskii</i>	jabloň Tschonoského
<i>Mespilus germanica</i>	mišpule obecná
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	metasekvoje čínská
<i>Morus alba</i>	morušovník
<i>Nyssa sylvatica</i>	tupela lesní
<i>Ostrya carpinifolia</i>	habrovec habrolistý
<i>Parrotia persica</i>	parotie perská
<i>Pinus sylvestris</i>	borovice lesní
<i>Platanus orientalis</i> 'Minaret'	platan východní
<i>Prunus padus</i> 'Albertii'	střemcha obecná
<i>Pterocarya fraxinifolia</i>	lapina jasanolistá
<i>Pyrus calleryana</i> 'Chanticleer', 'Redspire'	hrušeň Calleryova
<i>Quercus bimundorum</i> 'Crimson Spire'	dub bílý (<i>Quercus alba</i>) x dub letní (<i>Quercus robur</i>)
<i>Quercus cerris</i>	dub cer (dub slovenský)
<i>Quercus frainetto</i>	dub balkánský
<i>Quercus palustris</i> 'Green Dwarf', 'Pingreen'	dub bahenní
<i>Quercus petraea</i>	dub zimní
<i>Quercus phellos</i>	dub vrbolistý
<i>Quercus robur</i>	dub letní
<i>Quercus x warei</i> 'Regal Prince'	dub letní (<i>Quercus robur</i> f. <i>fastigiata</i>) x dub dvoubarevný (<i>Quercus bicolor</i>)
<i>Sorbus aria</i> 'Magnifica'	jeřáb muk
<i>Sorbus aucuparia</i> 'Sheerwater Seedling'	jeřáb ptačí
<i>Sorbus intermedia</i> 'Brouwers'	jeřáb prostřední
<i>Sorbus torminalis</i>	jeřáb břek

Příloha 11: Trvalková směs „Rozkvetlé nábřeží“ vhodná pro suché půdy a slunná stanoviště ve městech (kruhové objezdy, silniční ostrůvky, vegetační pásy mezi silnicí a chodníkem, zahrady) dle (Bartoš et Martinek 2018).

Složení trvalkové směsi „Rozkvetlé nábřeží“			
Funkce rostlin/ procentuální zastoupení	Druh (latinský název/český název)	%	ks/m ²
Solitérní / 10 %	<i>Calamagrostis brachytricha</i> (třtina chloupkatá)	2	18
	<i>Echinops ritro</i> 'Veitch's Blue' (bělotrn modrý)	1	9
	Tužebník obecný 'Plena' (tužebník obecný)	3	27
	<i>Helictotrichon sempervirens</i> 'Saphirsprudel' (ovsň stálezelený)	2	18
	<i>Phlomis russeliana</i> (sápa Russelova)	2	18
Skupinové / 46 %	<i>Aster novae-angliae</i> 'Purple Dome' (astříčka novonaglická)	5	45
	<i>Iris barbata</i> (kosatec německý) - nízký, směs barev	5	45
	<i>Linum flavum</i> (len žlutý)	5	45
	<i>Salvia nemorosa</i> 'Mainacht' (šalvěj hajní)	5	45
	<i>Paeonia tenuifolia</i> 'Plena' (pivoňka úzkolistá)	4	36
	<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm' (třepatka zářivá)	7	63
	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude' (rozchodník nachový)	8	72
	<i>Veronica teucrium</i> 'Königsblau' (rozrazil ožankovitý)	7	63
Pokryvné / 35 %	<i>Artemisia schmidtiana</i> 'Nana' (pelyněk Schmidtův)	7	63
	<i>Geranium</i> × <i>cantabrigiense</i> 'St. Ola' (kakost kantabrijský)	9	81
	<i>Geranium renardii</i> (kakost Renardův)	6	54
	<i>Gypsophila repens</i> 'Rosea' (šater plazivý)	4	36
	<i>Origanum vulgare</i> 'Compactum' (dobromys obecná)	5	45
	<i>Potentilla neumanniana</i> (mochna jarní)	4	36
Vtroušené / 9 %	<i>Gaura lindheimeri</i> (svíčkovec Lindheimerův)	2	18
	<i>Knautia macedonica</i> 'Mars Midget' (chrastavec makedonský)	1	9
	<i>Linum perenne</i> (len vytrvalý)	3	27
	<i>Lychnis coronaria</i> (kohoutek věncový)	3	27
Celkem		100	900
Cibulnaté a hlíznaté	<i>Allium aflatanense</i> 'Purple Sensation' (česnek aflatunský)		200
	<i>Crocus chrysanthus</i> 'Gypsy Girl' (šafrán zlatý)		900
	<i>Narcissus jonquilla</i> 'Baby Moon' (narcis okolíkatý)		500
	<i>Narcissus poeticus</i> var. <i>recurvus</i> (narcis bílý)		500
	<i>Tulipa praestans</i> 'Unicum' (tulipán botanický)		500
Celkem ks/100 m²			2600

Příloha 12: Trvalková směs „Venkovská nálada“ pro výsadby do polostínu na okraj porostu vzrostlých dřevin ve veřejných i soukromých plochách městské i venkovské zeleně (středně vlhké až sušší lokality) dle Bartoš et al. (2017).

Složení trvalkové směsi „Venkovská nálada“		
Funkce rostlin	Druh (latinský název/český název)	ks/10m ²
Solitérní	<i>Aruncus dioicus</i> (udatna lesní)	1
	<i>Dryopteris filix-mas</i> (kapraď samec)	2
	<i>Paeonia officinalis</i> 'Rubra Plena' (pivoňka lékařská)	1
Skupinové	<i>Aster cordifolius</i> 'Little Carlow' (hvězdnice srdcolistá)	4
	<i>Bergenia cordifolia</i> 'Winterglut' (bergenie tučnolistá)	5
	<i>Dicentra spectabilis</i> 'Alba' (Srdcovka nádherná)	5
	<i>Doronicum orientale</i> (kamzičník východní)	5
	<i>Euphorbia polychroma</i> (p ryšec mnohobarvý)	5
	<i>Helleborus orientalis</i> (čemeřice východní) odrůdy	4
	<i>Heuchera sanguinea</i> 'Coral Forrest' (dlužicha krvavá)	6
	<i>Hosta undulata</i> 'Albomarginata' (bohyška vlnitolistá)	5
	<i>Primula veris</i> 'Cabrillo Yellow' (prvosenka jarní)	6
<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreunde' (rozchodník nachový)	5	
Pokryvné	<i>Viola odorata</i> (violka vonná)	7
	<i>Vinca minor</i> 'Aureovariegata' (barvínek menší)	7
	<i>Fragaria</i> 'Rujana' (jahodník)	7
	<i>Galium odoratum</i> (svízel vonný)	7
Vtroušené	<i>Aquilegia vulgaris</i> (orlíček obecný) odrůdy	2
	<i>Digitalis purpurea</i> (náprstník červený)	1
Celkem rostlin		85
Cibulnaté a hlíznaté	<i>Muscari latifolium</i> (modřelec)	100
	<i>Ornithogalus nutans</i> (snědek nicí)	50
	<i>Tulipa sylvestris</i> (tulipán planý)	25
	<i>Galanthus elwesii</i> (sněžěnka Elwésova)	50
	<i>Scilla siberica</i> (ladoňka sibiřská)	150
	<i>Narcissus cyclamineus</i> 'Jetfire' (narcis bramboříkový)	80

Příloha 13: Příklady přírodě blízkých opatření hospodaření s dešťovou vodou realizovaných na území České republiky dle Počítáme s vodou © (2020).

Opatření	Název opatření	Rok realizace	Město
Akumulace dešťové vody	Dešťovka pro táborovou základnu	2015	Litomyšl
Akumulace dešťové vody	Rohan city	2016	Praha 8
Akumulace dešťové vody	Bytový dům Rarach projektu U cukrovaru v Praze	2015	Praha - Modřany
Akumulace dešťové vody a vegetační střechy	Lanek Ostrava-bydlení v přírodě		Ostrava - Petřkovice
Jezírka	Prosecký potok v parku Podviní	1998	Praha - Vysočany
Jezírka a tůně	Zahrada plná tůní u Sedlčan		okres Sedlčany
Jezírko	Užitečné jezero v Brně v parku Pod Plachtami	2012	Brno-Nový Lískovec
Jezírko	Školní jezírko - dešťová voda v zahradě	2014	Jilové u Prahy
Jezírko	Jezírko v zahradě Montessori školy	2015	Praha 12 - Modřany
Mokřady a tůně	Ptačí park Josefovské louky	od 2011	Josefov
Mokřad	Mokřad pro školu v Židlochovicích	2018	Židlochovice
Mokřady a tůně	Kozmické ptačí louky	od 2006	okres Opava
Pasivní dům	Centrum Veronika Hostětín	2006	Bojkovice
Propustné povrchy	Prostranství před penzionem ve Valticích		Valtice
Propustné povrchy	Prostranství před kaplí v Dobřichovicích		Dobřichovice
Propustné povrchy	Trvalkové pásy podél rušných ulic v Praze	2007	Praha-Vinohrady
Propustné povrchy	Propustné parkoviště ve Štruncových sadech		Plzeň
Protipovodňový průleh	Božkovský ostrov v Plzni		Plzeň-Božkov
Retenční nádrž	Retenční nádrž Červený Mlýn		Brno
Retenční nádrž s vsakovacími bloky	Obchodní centrum Otrokovice	2013	Otrokovice
Retenční nádrže, zelená střecha	Budova Delta	2015	Praha 4
Revitalizace krajiny	Zálučí u Blatničky	2015	Blatnička
Revitalizace potoka	Biocentrum Ostrůvek	2014-2015	Kobylí, okres Břeclav
Revitalizace potoka	Rvitalizace Litovicko-Šáreckého potoka	2013	Praha 6
Revitalizace potoka	Revitalizace Rokytky v Praze - Čihadla	2008	Praha-Hostavice
Revitalizace potoka	Revitalizace Rokytky v Praze - Hořejší rybník	2014	Praha-Hrdlořezy
Revitalizace potoka	Revitalizace Radotínského potoka	2018	Tachlovice
Revitalizace toku	Nová podoba řeky Moravy na jihu Olomouce	2013	okres Olomouc
Vertikální zahrada	Vertikální zahrada v zahradnickém učilišti v Praze	2016	Praha 12
Vertikální zahrada	Vertikální zahrada Buštěhrad		Buštěhrad
Vodní a zelené plochy	Spielberk Office Centre - Brno		Brno
Vodní dům	Vodní dům u obce Hulice na Benešovsku	2016	Vlašim
Vodní plocha	Nové rybníky v pražské Stromovce	2017	Praha-Holešovice
Vodní plochy	Business Complex TITANIUM	2013	Brno
Vodní prvek	Nové vodní plochy v brněnském parku Lužánky	2008	Brno
Vodní prvky	Studna na dětském hřišti v Jičíně		Jičín 1
Vodní prvky	Malešický park	2013	Praha 10 - Vršovice
Vsakovací parkoviště	Parkoviště na ul. Edvarda Beneše, Blansko	2014	Blansko
Vsakovací průlehy s rýhou	Městský dům kultury v Karviné	2006	Karviná-Fryštát
Využití dešťové vody	Továrna v Lanškrouně		Lanškroun
Využití šedé vody	Využití šedé vody v paneláku v Jiříkově	2019	Jiříkov
Využívání dešťové vody	Rodinný dům ve Vonoklasech	2011	Vonoklasy
Využívání dešťové vody, zelené střechy	Main Point Karlín	2011	Praha 8
Zadržení vody v urbanizované krajině	Lochotínský park v Plzni	2015	Plzeň
Zahrada, jezírko, vsakování DV	Komunitní zahrada Suchdol	2015	Praha - Suchdol
Zasakovací plochy	McDonald s ČR, spol. s r.o.		Čechtice
Zasakovací plochy	NH COLLECTION OLOMOUC CONGRESS	2010	Olomouc
Zasakování dešťové vody	Zasakování v univerzitním kampusu Brno-Bohunice	2006	Brno-Bohunice
Zasakování dešťové vody	Zasakování v areálu aquaparku Brno Kohoutovice	2010	Brno - Kohoutovice
Zeleň	Rozkvetlá a bující veřejná zeleň v Ostravě	2019	Ostrava
Zelená fasáda	Zelená výrobní hala LIKO-VO	2019	Slavkov u Brna
Zelená střecha	Zelená střecha na budce zastávky Hradčanská		Praha
Zelená střecha	ATREA s.r.o. v Jablonci nad Nisou	2013	Jablonec nad Nisou
Zelená střecha	Dům s mokřadní střechou	2016	Praha 7
Zelená střecha	Intenzivní zelená střecha centra Algotech	2014	Třeboň
Zelená střecha	City Green Court	2012	Praha 8 - Karlín
Zelená střecha	Zelená výrobní hala Železný	2014	Jiloviště
Zelená střecha a fasáda	Zelená budova Butterfly v Karlíně	2018	Praha-Karlín
Zelená střecha a fasáda	Zelená multifunkční budova DRN na Národní třídě	2012-2017	Praha 1
Zelená střecha a využití dešťové vody	Centrum ekologických aktivit Sluňákov	2007	Horka nad Moravou
Zelené střechy a propustné povrchy	Komunitní centrum Všichni spolu	2017	Ostrava Poruba
Zelná fasáda a střecha; jezírko	Stavba v souladu s přírodou	2014	Slavkov u Brna