

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
**Fakulta životního prostředí**  
**Katedra plánování krajiny a sídel**



**Česká  
zemědělská  
univerzita  
v Praze**

**Možnosti modro-zelené infrastruktury**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí práce: Ing. Jan Petruš**

**Bakalant: Pavel Kohout**

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavel Kohout

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

**Možnosti modro-zelené infrastruktury**

Název anglicky

**Options of blue-green infrastructure**

---

## Cíle práce

Cíl bakalářské práce spočívá v poskytnutí komplexního přehledu o modro-zelené infrastruktuře a oblastech, které ji ovlivňují. Tento přehled zahrnuje důkladnou rešerši příslušných teoretických konceptů, historický kontext vývoje modro-zelené infrastruktury a stanovení klíčových faktorů pro úspěšnou implementaci této infrastruktury. Bude také zahrnuta strategie pro adaptaci na změny klimatu a jejich vztahu k tématu modro-zelené infrastruktury, a to včetně začlenění prvků modro-zelené infrastruktury do městského prostředí v České republice.

## Metodika

Zaměření této bakalářské práce spočívá v provádění literární rešerše odborných článků, vědeckých studií a dostupných informačních zdrojů s cílem zdůraznit význam modro-zelené infrastruktury.

## Doporučený rozsah práce

dle nařízení děkana č.01/2020 – Metodické pokyny pro zpracování bakalářské práce na FŽP

## Klíčová slova

Urbanizace, Vegetace, Voda, Hospodaření s dešťovou vodou

---

## Doporučené zdroje informací

BREARS, Robert C. *Blue and green cities : the role of blue-green infrastructure in managing urban water resources*. London: Palgrave Macmillan, 2018. ISBN 978-1-137-59257-6.

BREARS, Robert C. *Urban water security*. Chichester, West Sussex, England: Wiley, 2017. ISBN 978-1-119-13172-4.

ČERMÁKOVÁ, Barbora; MUŽÍKOVÁ, Radka. *Ozeleněné střechy*. Praha: Grada, 2009. ISBN 978-80-247-1802-6.

HLAVÍNEK, Petr; PRAX, Petr; KUBÍK, Jiří. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. Brno: ARDEC, 2007. ISBN 978-80-86020-55-6.

KABISCH, Nadja.; KORN, Horst.; STADLER, Jutta.; BONN, Aletta.; SPRINGERLINK (ONLINE SERVICE). *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas [electronic resource] : Linkages between Science, Policy and Practice*. Cham: Imprint: Springer, 2017. ISBN 9783319560915.

SÝKORA, Jaroslav; ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. *Urbanismus a územní plánování : (venkovský prostor)*. Praha: Powerprint, 2016. ISBN 978-80-7568-004-4.

---

## Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Jan Petrů

## Garantující pracoviště

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 21. 11. 2023

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 11. 2023

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 07. 02. 2024

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Možnosti modro-zelené infrastruktury, vypracoval samostatně a citoval jsem všechny zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Čáslavi dne 27.3.2024

.....

Pavel Kohout

## **Poděkování**

Rád bych vyjádřil svůj hluboký vděk vedoucímu mé závěrečné práce Ing. Janu Petru, za odborné vedení, trpělivost a sdílení užitečných informací. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za jejich podporu po celou dobu vyhotovování práce.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá komplexním přehledem modro-zelené infrastruktury (MZI) a jejím potenciálem v oblasti udržitelného rozvoje měst a adaptace na změny klimatu. MZI, kombinující vodní prvky a zeleň, představuje důležitý prvek moderní doby v plánování odolných a životaschopných městských prostředí. Cílem práce je poskytnout důkladnou rešerši příslušných teoretických konceptů, historického kontextu a podstatných faktorů potřebných k úspěšné implementaci. Práce zdůrazňuje význam integrace MZI do městského plánování jako prostředku ke zlepšení hospodaření s dešťovou vodou (HDV), zvýšení biodiverzity, podpoře sociálního blahobytu a adaptaci na změny klimatu. Na základě literární rešerše odborných článků a vědeckých studií práce identifikuje přínosy a omezení v environmentálních, sociálních a ekonomických oblastech, spojená s implementací prvků MZI v městském prostředí.

**Klíčová slova:** Urbanizace, vegetace, voda, hospodaření s dešťovou vodou

## **Abstract**

This bachelor thesis provides a comprehensive overview of blue-green infrastructure (BGI) and its potential for sustainable urban development and climate change adaptation. BGI, integrating water management and green spaces, emerges as a crucial element in planning resilient and viable urban environments. The aim of this work is to offer an exhaustive review of relevant theoretical concepts, historical context, and key factors for successful implementation. The thesis highlights the importance of integrating BGI into urban planning as a means to improve stormwater management (SWM), enhance biodiversity, support social well-being, and adapt to climate change. Based on a literature review of professional articles and scientific studies, the work identifies the benefits and limitations in environmental, social, and economic areas associated with the implementation of BGI elements in an urban setting.

**Keywords:** Urbanization, vegetation, water, stormwater management

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Modro-zelená infrastruktura .....	3
3.1	Modrá infrastruktura – hospodaření se srážkovými vodami.....	5
3.1.1	Strategické cíle .....	6
3.1.2	Environmentální benefity hospodaření se srážkovými vodami .....	7
3.1.3	Ekonomické benefity hospodaření se srážkovými vodami .....	8
3.1.4	Sociální benefity hospodaření se srážkovými vodami .....	8
3.2	Zelená infrastruktura .....	8
3.3	Historický vývoj modro-zelené infrastruktury po současnost .....	10
3.4	Vliv modro-zelené infrastruktury na klimatickou změnu .....	12
3.4.1	Zmírňování efektu tepelného ostrova města (UHIE).....	12
3.4.2	Zadržování dešťové vody a zmírnění rizika povodní.....	13
3.4.3	Podpora biodiverzity a posílení ekosystémů.....	14
3.5	Výskyt modro-zelené infrastruktury .....	15
3.5.1	Budovy .....	15
3.5.2	Podzemní prostory .....	16
3.5.3	Veřejná prostranství a další oblasti.....	17
4	Právní rámec a normy .....	18
5	Opatření modro-zelené infrastruktury .....	19
5.1	Opatření ke zpomalení odtoku v retenčním prostoru.....	19
5.1.1	Povrchové retenční nádrže bez zásobního prostoru .....	19
5.1.2	Povrchové retenční nádrže se zásobním prostorem .....	20
5.1.3	Podzemní retenční nádrže .....	21
5.2	Opatření ke snížení či prevenci vzniku srážkového odtoku.....	22
5.2.1	Dešťový záhon .....	22
5.2.2	Vegetační zelené střechy .....	23
5.3	Vsakovací opatření.....	24
5.3.1	Systémy plošného vsakování .....	24
5.3.2	Podélné vsakovací prvky.....	25
5.3.3	Soustředěné povrchové vsakování .....	26
5.3.4	Podzemní prostory – vsakovací galerie.....	27
5.3.5	Vsakovací šachty.....	28

5.3.6	Podzemní vsakovací drén.....	29
5.4	Akumulace pro další použití .....	31
5.4.1	Akumulační nádrže .....	31
5.5	Opatření podporující pobytové funkce a biodiverzitu .....	32
5.5.1	Umělý mokřad/tůň .....	32
5.5.2	Zelené fasády .....	33
5.5.3	Bylinné záhony.....	34
5.5.4	Stromy a keře .....	36
5.5.5	Vodní prvky .....	37
6	Modro-zelená infrastruktura v České republice a zahraničí .....	38
6.1	Česká republika, Praha.....	38
6.2	Švédsko, Stockholm.....	39
6.3	Čína, Peking .....	40
6.4	USA, Filadelfie .....	41
7	Výsledky .....	42
8	Diskuse.....	44
9	Závěr.....	46
10	Přehled literatury a použitých zdrojů .....	48
11	Seznam obrázků .....	55



## **Seznam zkratk**

MZI – Modro-zelená infrastruktura

HDV – Hospodaření s dešťovou vodou

ČOV – Čistírna odpadních vod

# 1 Úvod

Změna klimatu je skutečně velkou výzvou naší doby. Její první dopady pocítujeme hlavně ve městských oblastech, kde se teploty mohou lišit o mnoho stupňů, a to převážně proto, že nyní už téměř každý druhý člověk na planetě žije v městském prostředí. Změny klimatu už dnes mají výrazný negativní vliv na různé živočišné a rostlinné druhy, ale také na to, jak naše ekosystémy fungují. To se projevuje úbytkem přirozeného životního prostředí z důvodů extrémních teplot a suchu. Zároveň se kvůli těmto podmínkám v našich krajích často daří invazním druhům, které do našeho prostředí původně nepatří (Kabisch a kol. 2017).

Mezi projevy klimatické změny patří i zvýšený počet silných přivalových dešťů a navyšování jejich intenzity, ale také výskyt delších suchých období bez srážek. Také zažíváme více tropických dní a nocí, což znamená, že se ve městech stále více rozšiřuje efekt tepelného ostrova (Stránský a kol. 2019). Městská prostředí jsou převážně pokrytá nepropustnými povrchy jako jsou například komunikace, chodníky, budovy, v některých centrech měst dosahují nepropustné plochy neuvěřitelných 70 % a více. Následkem je změna lokálního přirozeného koloběhu vody, kdy se dešťová voda přes zpevněné povrchy nedokáže vsakovat do půdní vrstvy a množství evapotranspirace je snížena. Dalším následkem je zvýšení objemu povrchového odtoku (Paul a Mayer 2001). Vysoko intenzivní deště zvýšenými odtoky dešťové vody způsobují eroze půdních profilů a odnáší sedimenty, živiny a nerozpuštěné látky do kanalizačních systémů nebo do hydrografické sítě. Správy měst proto musí řešit nedostatek vodních objemů v podzemních prostorách a přetěžování městských kanalizačních systémů během intenzivních dešťů. Roční úhrny srážek se celkově oproti minulým desetiletím nemění, ale srážkové události se budou vyskytovat v menších intervalech, avšak s mnohem vyšší intenzitou (Kopp a kol. 2023).

Postupem času vznikl účinný systém na zmírnění vlivu klimatických změn, který dnes nazýváme modro-zelená infrastruktura (dále MZI). MZI je nápomocným nástrojem měst k adaptaci na zmírnění vlivů, které klimatická změna přináší a vytváří kvalitnější a zdravější životní prostředí pro životní úroveň v urbanizovaných oblastech. Základem systému jsou systémy hospodaření s dešťovými vodami (dále HDV), ale klade se zde mnohem větší důraz na roli zelených prvků, které v opatřeních neplní pouze roli estetickou nýbrž ochlazují okolní vzduch a zvyšují biodiverzitu (Vítek a kol. 2018).

## 2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vytvořit literární rešerši již známých skutečností problematiky systémů MZI a na základě dostupných odborných zdrojů vytvořit komplexní přehled ohledně těchto systémů. Práce seznámí s tématem MZI a s částmi, ze kterých se skládá – modrá a zelená infrastruktura. Bude seznámeno, co jsou to strategické cíle HDV a proč jsou důležité pro správnou implementaci MZI. Následně budou vyzdvihnuty sociální, ekonomické a environmentální benefity, které využíváním těchto systémů vznikají. Dále práce prozkoumá po historické stránce vznik a první výskyt slova MZI, ale i historicky první výskyty opatření předcházející těmto systémům. Historie ukazuje, proč je MZI stále novým pojmem. V další části budou uvedeny přínosy MZI na klimatickou změnu a na kvalitu městského života, a také místa výskytu těchto opatření v městském prostředí. Práce prozkoumá i právní rámec co se týče zákonů a také nejpoužívanější opatření MZI, které budou popsány, vyzdviženy budou jejich přínosy a omezení. Zahrnuty budou i příklady implementace systémů MZI v České republice a v globálním měřítku i v zahraničí. Využita bude česká i zahraniční odborná literatura, které se budou opírat o odborníky na vybranou oblast jako jsou Ing. Jiří Vítek, doc. Ing. David Stránský, doc. RNDr. Jan Kopp Ph.D., Robert C. Brears nebo prof. Dr. Nadjda Kabisch.

Práce si klade za cíl pomocí literární rešerše odhalit hlavní problematiky MZI spočívající ve výzvách, které jsou spojené s jejich implementací do městského prostředí, údržbou a efektivitou. Budou prozkoumány přínosy, ale i omezení, které jednotlivá opatření nabízí. Součástí diskuse bude kritické zhodnocení vlivů opatření MZI na klimatickou změnu a jejich význam pro městská prostředí a jeho obyvatele.

### 3 Modro-zelená infrastruktura

Klimatická změna je jev, který na planetě Zemi probíhá již od jejího vzniku, ovšem v současné době jsou změny klimatu stále rychlejší a začínají ovlivňovat život jak na souši, tak v oceánech. Tento jev znamená změnu v našem klimatu, kterou lze statisticky pozorovat prostřednictvím změn v průměrných hodnotách nebo rozmanitosti jejich vlastností, a to po velmi dlouhá období, obvykle desetiletí nebo ještě déle. Příčiny změny klimatu spočívají jak v přirozených jevech, jako jsou sluneční cykly nebo vulkanické erupce, tak v činnostech člověka, které mění složení naší atmosféry (Brears 2017).

MZI je strategicky plánovaná síť přírodních a polopřírodních oblastí, která zahrnuje zelené plochy nebo modré plochy, pokud jde o vodní ekosystémy, a další fyzické prvky viz obrázek 1. V kontextu vody se jedná o strategicky plánovanou síť kvalitních přírodních a polopřírodních oblastí s dalšími environmentálními prvky, která je navržena a spravována tak, aby poskytovala širokou škálu ekosystémových služeb a chránila biodiverzitu. Jejím účelem je tedy využívat přírodní procesy ke zlepšení kvality vody a správě množství vody obnovou hydrologické funkce městské krajiny (Brears 2018).

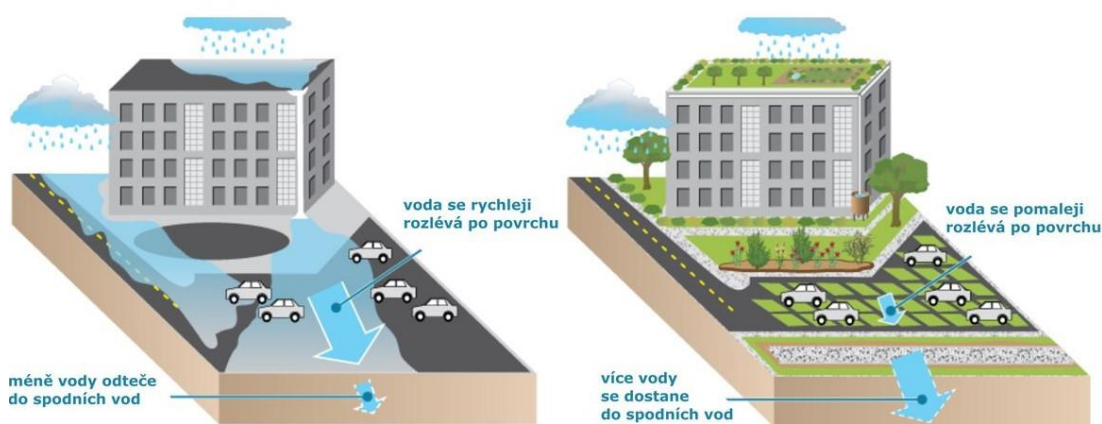


Obrázek 1: Ideál modro-zeleného města (Asio, ©2021)

MZI se dělí na dvě skupiny, tou první jsou přírodní vodní prvky, které zahrnují modré plochy jako jsou rybníky, řeky, jezera a mokřady. Druhou skupinou jsou uměle vytvořené prvky, včetně zelených budov, ulic se zelení nebo umělých vegetačních

záhonů, přičemž obě skupiny obsahují některé z funkcí, které jsou pro správnou funkčnost MZI potřebné. A je to právě spojení těchto prvků a jejich funkcí, které umožňují MZI být multifunkční systémem. Konkrétně jde o schopnost plnit hned několik funkcí a poskytovat několik výhod v téže prostorové oblasti s využitím vzájemných vztahů mezi vegetací a vodním cyklem, čímž se zlepšují podmínky pro život ve městě tak, že podporuje udržitelný rozvoj a ekosystémové služby související s vodou a zelení (Brears 2018).

Jednou z výrazných charakteristik těchto systémů je, že poskytují ekosystémové služby, jako je snížení efektu tepelného ostrova a snižování teploty okolního vzduchu, dále zlepšení kvality vzduchu díky evapotranspiraci, která probíhá v zelených listech městské vegetace, obnova nebo vytváření koridorů pro podporu biodiverzity, snižování hluku, zachycení oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), lepší kontrola nad kvalitou dešťové vody a řízení odtoku dešťové vody viz obrázek 2. Navíc funkce MZI dokážou ve spojení se stávající sítí šedé infrastruktury, jako jsou kanalizační sítě, regulovat a snižovat možný velký odtok dešťových vod z okolních nepropustných ploch, čímž zabráňují zahlcení těchto kanalizačních systémů (Kozak a kol. 2020).



Obrázek 2: Zadržování plošného odtoku ve městech (Piráti Liberecký kraj, ©2020)

Ministerstvo životního prostředí v roce 2021 uvedlo definici MZI:

*„Modrozelená infrastruktura (MZI) je soubor přírodě blízkých a technických opatření, která propojují srážkový odtok s vegetačními a vodními prvky v sídlech za účelem podpory přirozeného lokálního koloběhu vody, zvýšení ochrany jakosti vod, zlepšení mikroklimatické funkce zeleně a dalších 11 ekosystémových služeb. Přirozený lokální koloběh vody je podporován decentralním vsakem, výparem a zpomalením odtoku, ochrana jakosti vod přirozenými procesy čištění srážkového odtoku, mikroklimatické*

*funkce prostřednictvím sídelní zeleně dostatečně zásobené vodou a další ekosystémové služby vhodnou skladbou (z hlediska biodiverzity) a začleněním opatření MZI do veřejného prostoru (z hlediska estetiky, rekreace ad.). Opatření MZI na sebe navazují a vytváří systém na úrovni budov či větších území. Význam systému MZI spočívá v jeho schopnosti výrazně snižovat negativní dopady urbanizace umocňované změnou klimatu“ (Stránský a kol. 2021b).*

### **3.1 Modrá infrastruktura – hospodaření se srážkovými vodami**

HDV, nebo anglicky Stormwater management, představuje soubor opatření a technik zaměřených na efektivní řízení odtoku povrchových vod, které vznikají v důsledku srážek. Cílem těchto opatření je minimalizovat negativní dopady odtoku na životní prostředí, infrastrukturu a lidské zdraví (Hlavínek a kol. 2007).

Je velmi důležité stanovit určité podmínky pro efektivní nakládání s dešťovou vodou v existujících zástavbách, protože současný systém neukládá poplatky za odvodňování srážkových vod z pevných povrchů. Zavádění opatření pro HDV by mělo vést k redukci nákladů spojených s jejím odváděním a také k snižování nákladů na čištění v městských čistírnách odpadních vod (dále ČOV). Realizace takových zařízení závisí na konkrétních charakteristikách dané oblasti, včetně centrálních městských částí, obytných a komerčních zón, stejně jako na individuálních rodinných domech nebo v průmyslových areálech (Hlavínek a kol. 2007).

Brown a Farrelly (2009) ve své práci zkoumají HDV v oblasti udržitelného rozvoje měst a obcí, kde zdůrazňují, že význam propojení systémů pro zachytávání a využívání dešťové vody pro urbanistické plánování přispívá nejen k ochraně vodních zdrojů, ale také ke zlepšení kvality života ve městech.

Další významnou oblastí, se kterou se HDV do jisté míry vypořádává je snižování rizika povodní, kdy zelené infrastruktury, jako jsou zelené střechy, dešťové zahrady a propustné povrchy, které pomáhají absorbovat a zadržovat dešťovou vodu, čímž se snižuje riziko povodní (Fletcher a kol. 2014).

### 3.1.1 Strategické cíle

Bylo identifikováno šest hlavních strategických cílů:

- 1. Dosáhnout přirozené vodní bilance:** Cílem je obnovit přirozenou vodní rovnováhu v existující zástavbě a udržet ji v nových výstavbách tím, že se minimalizuje povrchový odtok a maximalizuje infiltrace a evapotranspirace. Tímto se také předchází vzniku povodní a sucha (Stránský a kol. 2019).
- 2. Zabránit záplavám urbanizovaných oblastí:** Ochrana urbanizovaných oblastí před potenciálním zaplavením způsobeným extrémními srážkami, včetně záplav způsobených přetížením kanalizačních systémů, koncentrovaným povrchovým odtokem nebo záplavami z místních vodních toků v důsledku odvodnění území (Stránský a kol. 2019).
- 3. Ochrana povrchových a podpovrchových vod:** Snížení přenosu znečištění a hydraulického tlaku na povrchové vody z přeпадů odlehčovacích komor kanalizace a odtoků z oddělených dešťových kanalizací. Zlepšení morfologického stavu a biodiverzity povrchových vod a zabránění kontaminace podzemních vod (Stránský a kol. 2019).
- 4. Snížit spotřebu pitné vody pomocí srážkové vody:** Využití srážkové vody jako alternativního zdroje užitkové vody, čímž se snižuje potřeba produkce, distribuce a spotřeby pitné vody, a zároveň se chrání vodní zdroje a předchází se nedostatku vody (Stránský a kol. 2019).
- 5. Zlepšit mikroklima ve městech:** Zvýšení vzdušné vlhkosti, snížení teplot vzduchu a tepelných ostrovů, a snížení prašnosti, což vede k vylepšení městského klimatu (Stránský a kol. 2019).
- 6. Podpořit využití vody pro estetické a rekreační účely:** Revitalizace vodních toků a vodních ploch jako integrálních prvků městského prostředí, podpora vzniku nových vodních prvků ve veřejném prostoru a posílení funkční městské zeleně. Cílem je také zvýšit vnímání vody v urbanizovaných oblastech jako prostředku pro zlepšení kvality života (Stránský a kol. 2019).

### 3.1.2 Environmentální benefity hospodaření se srážkovými vodami

Mezi environmentální benefity pro HDV doajista patří snižování rizika povodní viz obrázek 3, které lze dosáhnout za pomoci praktik bio retence a infiltrace, kdy se v zařízeních HDV jako jsou retenční nádrže nebo akumulční nádrže zadržují srážkové vody. S tím je spojené i zabraňování znečišťování vodních toků, tím že se srážková voda, která odtéká po nepropustném podloží a váže na sebe nebezpečné látky z dopravní infrastruktury, zadržuje. Nezachycená voda by mohla odtékat na zemědělské půdy a způsobovat erozi půdy, která je znehodnocuje a zvyšuje dno vodních toků, čímž dochází k vysoké mortalitě rostlin a živočichů, kteří žijí na dnech vodních toků. Dalším důležitým benefitem je podpora vsakování do půdního profilu, čímž se doplňují zásoby podzemní vody a vegetace v urbanizovaném prostředí má více vody k dispozici. S tím souvisí i podpora biotopů a živočichů v nich žijících. Velkým benefitem systémů sběru vody je také zlepšení kvality vzduchu a snížení emisí uhlíku v atmosféře – neboť se snižuje množství vody, která by byla kanalizační sítí přivedena do ČOV. Evaporace, která z vodních prvků nastává, ochlazuje okolní vzduch a přispívá kvalitnímu životnímu prostředí (Brears 2018).



Obrázek 3: Přetékající voda přes protipovodňové zábrany v Ústí nad Labem (Foto: Hauptvogelová 2013)



### **3.1.3 Ekonomické benefity hospodaření se srážkovými vodami**

HDV nabízí také ekonomické benefity. Mezi ně patří snížení potřeby výstavby a údržby tradiční šedé infrastruktury pro odvodnění, což může vést k výrazným úsporám pro městské rozpočty (Fletcher a kol. 2014). Dalším velkým benefitem je i doplňování zásob vodních nádrží a podzemní vody, kterou mohou města v letních měsících využívat a nemusí v případě velkého sucha přivádět vodu z jiných oblastí. Prvky HDV fungují jako prevence nebo pouze potlačují vznik záplav, což snižuje náklady měst na renovace a opravy napáchané vodním živlem. Záplavy zároveň souvisí i s již zmíněnou erozí půdy, která je schopna zničit veškerý pokryv zemědělských půd a přivést zemědělce o živnost. Dále prvky HDV v domácnostech mohou být napojeny na vodovodní síť budov a využívat dešťovou vodu na závlahy nebo splachování toalet, čímž se snižují finanční náklady občanů (Brears 2018).

### **3.1.4 Sociální benefity hospodaření se srážkovými vodami**

Mezi sociální benefity HDV určitě patří vliv vodních prvků na pozitivní psychiku člověka a redukuje stres. Občané v letních měsících vyhledávají vodní prvky jako jsou kašny, fontány, trysky, aby schladili své tělo. Evaporace, která ochlazuje okolní vzduch, pozitivním vlivem působí na lidské zdraví a předchází vyčerpání organismu. Zároveň vodní prvky plní funkci estetickou a obohacují nudné urbanizované oblasti, čímž přispívá k estetickému vzhledu měst. Tyto prvky mohou vést k posílení společenské soudržnosti a pocitu příslušnosti k místu. Benefitem je i zvýšená míra vzdělanosti obyvatelstva ohledně prvků MZI a o udržitelném řízení vodních zdrojů. (Brears 2018).

## **3.2 Zelená infrastruktura**

Původně byla "zelená" infrastruktura spojována spíše s parky, lesy, mokřady, zelenými pásy nebo záplavovými cestami ve městech a jejich okolí, tyto prvky poskytovaly funkce ke zlepšení kvality života nebo ekosystémové služby, jako je filtrace a vsakování vody do půdy, a zpomalování povrchového odtoku, čímž se snižuje riziko záplav. Nyní je zelená infrastruktura častěji spojována s environmentálními nebo udržitelnými cíli, kterých se města snaží dosáhnout pomocí kombinace přírodních přístupů. Příklady zelené infrastruktury a technologických praktik zahrnují zelené, modré a bílé střechy; tvrdé a měkké propustné povrchy; zelené uličky a ulice; městské lesnictví; zelené otevřené prostory, jako jsou parky a mokřady;

a přizpůsobování budov pro lepší odolnost proti záplavám a přílivovým vlnám (Foster a kol. 2011).

Na druhou stranu, šedá infrastruktura, která znázorňuje vybudované kanalizační sítě nebo ČOV, odkazuje na tradičnější přístupy k řešení klimatických dopadů, včetně výstavby dalších ČOV pro zvládnání nárůstu odtoku z intenzivnějších srážek. Šedá infrastruktura doplněná o prvky zelené infrastruktury přispívá ke snížení zatížení kanalizačních systémů a společně napomáhají ke klimatické odolnosti měst a venkovských prostor. Například inovace, jako jsou propustné a polopropustné povrchy, mohou být považovány za hybrid zelené a šedé infrastruktury (Foster a kol. 2011).



Obrázek 4: Skupiny benefitů zelené infrastruktury (Evropská komise, ©2013)

Městské a národní parky, parkové cesty, lesy, komunitní zahrady a celá řada dalších forem chráněných soukromých a veřejných složek přírodní krajiny (zelených prostor) mohou být také považovány za zelenou infrastrukturu. V městském prostředí může zelená infrastruktura zahrnovat nejen krajinné prvky a zelené spojovací koridory, ale i další formy přírody jako jsou například zelené střechy a městské stromy, které poskytují ekosystémové služby podporující zdraví, aniž by vyžadovaly velkou spotřebu omezené městské půdy (Nieuwenhuijsen 2021).

V mezinárodním kontextu definuje Evropská komise zelenou infrastrukturu jako: *"strategicky plánovaná síť přírodních a polopřírodních oblastí s rozdílnými environmentálními rysy, jež byla navržena a je řízena s cílem poskytovat širokou škálu ekosystémových služeb. Zahrnuje zelené plochy (nebo modré plochy, jde-li o vodní ekosystémy) a jiné fyzické prvky v pevninských (včetně pobřežních) a mořských oblastech. Na pevnině se zelená infrastruktura může nacházet ve venkovských oblastech i v městském prostředí."* (Evropská komise ©2013).

Přínosy zelené infrastruktury jsou mnohostranné viz obrázek 4. Vědecké studie potvrzují, že zelená infrastruktura může významně přispět k mitigaci dopadů klimatické změny, například prostřednictvím absorpce CO<sub>2</sub>, snižování teploty v městských oblastech a zlepšování retence vody. Kromě toho zelená infrastruktura podporuje biodiverzitu tím, že poskytuje životní prostor pro mnoho druhů rostlin a živočichů a umožňuje jejich migraci a genetickou výměnu (Gill a kol. 2007).

### **3.3 Historický vývoj modro-zelené infrastruktury po současnost**

Historický vývoj MZI odráží postupný posun v přístupu k urbanismu a správě vodních zdrojů, od tradičního důrazu na šedou infrastrukturu, jako jsou kanalizace a betonové bariéry, k integraci přírodních prvků a systémů. Tento vývoj byl motivován rostoucím uznáním potřeby udržitelnějšího a odolnějšího řešení výzev spojených s urbanizací a změnou klimatu

Historické kořeny zelených prvků sahají až do starověké Mezopotámie, kde byl koncept zahradních střeš známý již v dobách vlády krále Šalomouna kolem let 929–917 př. Kr. Archeologické nálezy z města Ninive ukázaly stopy po střeších porostlých vegetací. Tyto střešní zahrady, které se nacházely na území dnešního Iráku mezi řekami Eufrat a Tigris, byly průkopníky v oblasti urbánní zeleně. Reliéfy z 8. a 7. století př. Kr. odhalily existence vícepatrových teras, jež byly osázeny rostlinami a vybaveny složitými zavlažovacími systémy, což naznačuje, že regiony Asýrie a Babylón mohou být považovány za původní domoviny dnešních zelených střeš (Čermáková a Mužíková 2009).

První termín použitý pro odkaz na ekosystémy jako na infrastrukturu byl "ekologická infrastruktura". Tento návrh předložilo v roce 1984 59 vědců z 24 zemí, kteří se zúčastnili jednoho z technických setkání programu Člověk a biosféra (Man and Biosphere) o městském plánování. (Silva a kol. 2017).

Ekologická infrastruktura byla definována jako "strukturální síť krajiny, která se skládá z kritických prvků krajiny a prostorových vzorců, jež mají strategický význam pro zachování integrity a identity přírodních a kulturních krajin a zajištění udržitelných ekosystémových služeb, ochranu kulturního dědictví a rekreačních zážitků" (Silva a kol. 2017)

Anglický termín "blue-green infrastructure" se poprvé objevil v roce 2000 a zhruba ve stejnou chvíli se objevil koncept "Trame Verte et Bleue", což byl systém zaměřený na ochranu existence biodiverzity v koridorech podél vodních toků ve městě (Kozak a kol. 2020). Termín "zelená infrastruktura" byl poprvé použit v roce 2004 Floridskou komisí pro zelené koridory ve zprávě pro guvernéra tohoto státu, aby zdůraznil, že integrace státních konzervačních oblastí do propojeného systému, který tvoří zelenou infrastrukturu, je stejně důležitá pro konzervaci a správu jako postavená infrastruktura. Od té doby byla zelená infrastruktura obvykle definována velmi široce jako "propojená síť přírodních oblastí a dalších prostor, která zachovává hodnoty a funkce přírodních ekosystémů, udržuje čistý vzduch a vodu a poskytuje širokou škálu výhod pro lidi a divokou zvěř" (Silva a kol. 2017).

Okolo roku 2007 Americká agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) použila termín zelená infrastruktura pro označení integrovaného přístupu k řízení dopadů mokrého počasí, který zároveň poskytuje výhody pro komunity na městské úrovni (Silva a kol. 2017).

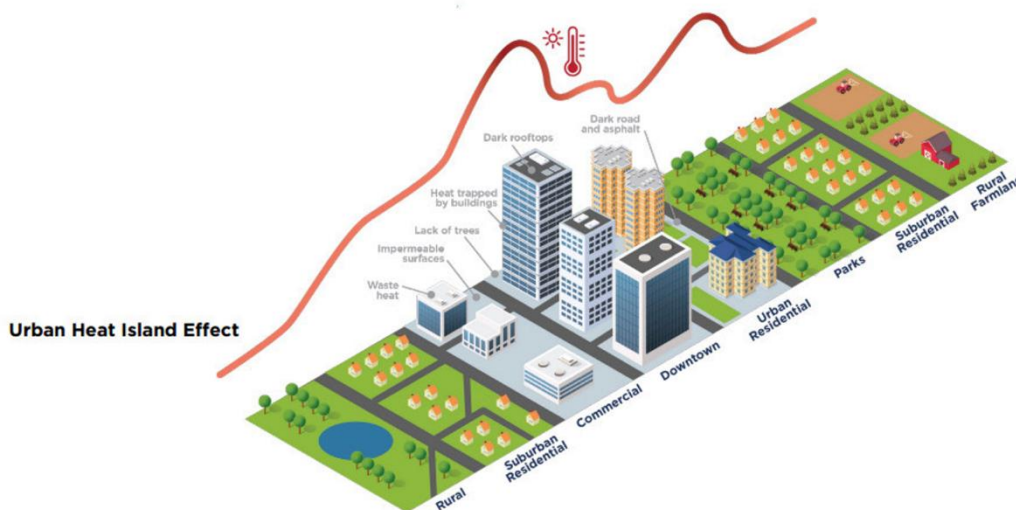
Od té doby byl koncept zelené infrastruktury spojován pouze s městským plánováním. Ačkoli se všechny pokusy omezovaly na použití zelené infrastruktury v městských kontextech, Evropská unie přijala široký koncept zelené infrastruktury, definující ji jako "strategicky plánovanou síť přírodních a polo-přírodních oblastí s dalšími environmentálními prvky navrženými a spravovanými tak, aby poskytovaly širokou škálu ekosystémových služeb" (Silva a kol. 2017).

### 3.4 Vliv modro-zelené infrastruktury na klimatickou změnu

V této kapitole bude zdůrazněn vliv MZI na klimatické změny, které ovlivňují stav kvality života v městském prostředí. Nejprve je zde představeno, jak MZI účinně zmírňuje efekt tepelného ostrova, následně jak snižuje riziko vzniku povodní a na závěr její role v podpoře biodiverzity a podpoře ekosystémů.

#### 3.4.1 Zmírňování efektu tepelného ostrova města (UHIE)

Efekt tepelného ostrova města (urban heat island effect, UHIE) je jev, při kterém městské oblasti vykazují vyšší teploty než jejich okolní venkovské oblasti. Tento jev je způsoben převážně absorpcí a akumulací tepla stavebními materiály a nedostatkem vegetace. Měření potvrzují, že teploty ve městech překračují teploty v řádech stupňů oproti okolním oblastem v důsledku nižší vlhkosti viz obrázek 5. Během slunečných dnů mohou být městské oblasti o 1 až 3 °C teplejší než v okolním prostředí, zatímco ve velkých městech jako je Praha nebo Pardubice může rozdíl dosahovat 5 až 6 °C a více. Tento jev má minimální pozitivní vliv v zimě díky úspoře nákladů na vytápění, ale v létě způsobuje zvýšené riziko vln veder a souvisejících zdravotních rizik (Pavelčík a kol. 2019).



Obrázek 5: The Urban Heat Island Effect (Moody's analytics, ©2024)

Mezi hlavní příčiny vzniku tepelného ostrova se primárně řadí nízké množství rostlin a stromů, které evapotranspirací ochlazují okolní vzduch. S tím je spojený zrychlený odtok po zpevněném podloží nebo kanalizací místo toho, aby se přirozeně vsákl do půdního profilu, odkud by rostliny a stromy mohli čerpat vodu a následně vytvářeli již zmíněnou evapotranspiraci. Povrchový odtok ve městském prostředí dosahuje

okolo 50-75 %, kdežto v lesních kulturách se jedná o rozmezí okolo 2-10 % a v zemědělské krajině je to 12-20 %. Další příčinou jsou vysoké budovy, které vyzařují infračervené záření, které není vyzářeno zpět na oblohu, ale zachytávají jej okolní vysoké budovy. Toto záření se nazývá křížová radiace. Dále ve městech s velkou rozlohou klesá funkce ochlazování okolním prostředím (Pavelčík a kol. 2019).

Lin a kol. (2020) ve své studii zkoumali vliv modré infrastruktury na efekt tepelného ostrova města. Výsledkem bylo zjištění, že vodní plochy mohou výrazně snižovat teplotní rozdíly v městských oblastech oproti okolnímu prostředí. Zvýšení zastoupení vodních ploch ve městě o 10 % vedlo k poklesu intenzity působení tepelného ostrova o 11,33 %. Studie také představila efektivní chladicí vzdálenost vodních ploch, kdy chlazení stále působí, tato vzdálenost byla stanovena na 100 metrů, což znamená, že chladicí efekty vodních ploch mohou pozitivně ovlivnit okolní oblasti do vzdálenosti 100 metrů. Ovšem ochlazovací účinek modrých ploch je spojen s jejich rozměry a geometrickým tvarem. Chladicí efekt jezer a nádrží je ovlivněn tvarem, velikostí a uspořádáním v krajině, zatímco u řek není (Lin a kol. 2020).

Technické prvky MZI, včetně střešních zahrad, parků a otevřených vodních ploch jako jsou řeky nebo kašny, mohou efektivně snižovat teploty ve městech tím, že poskytují stín a podporuje odpařování vody, následná evaporace vede k ochlazování okolního vzduchu (Gill a kol. 2007). Celkově lze konstatovat, že MZI má potenciál v boji proti efektu tepelného ostrova města a přispívá k vytváření příznivějšího mikroklimatu v městských oblastech (Antoszewski a kol. 2020).

### **3.4.2 Zadržování dešťové vody a zmírnění rizika povodní**

Se zvyšujícím se rozšiřováním městského prostředí a rostoucí urbanizací se v kombinaci s klimatickými změnami, kdy se stále častěji vykytují krátké přívalové deště se zhoršuje situace ohledně záplav. Nepropustné povrchy ve městech, které převažují oproti polopropustným či propustným povrchům, směřují k absenci vsakování vody do půdního profilu a zvyšuje se rychlost vodního odtoku, která ve větším množství může společně s zaplněnou kapacitou kanalizační sítě vyvolat ničivé povodně viz obrázek 6 (Pavelčík a kol. 2019). V případech, kdy se vyskytují extrémní srážky a kanalizační sítě jsou přetížené, se ve městech navrhuje nouzové plány na minimalizování škod způsobených vodou. Takovéto sítě zahrnují vybrané ulice, které slouží jako nouzové cesty a odvádí nezadržovanou srážkovou vodu z města

do okolní krajiny nebo do bezpečných lokalit. Sítě je potřeba vhodně navrhnout a je zapotřebí spolupráce integrovaného záchranného systému, urbanistů a dopravních inženýrů (Sýkorová a kol. 2021).

Podle studie Bates a kol. (2008) vede změna klimatu ke zvýšení frekvence a intenzitě dešťových srážek v mnoha regionech světa, což zvyšuje riziko povodní. Využitím MZI lze povrchovému odtoku ve městském prostředí předcházet prostřednictvím implementace prvků jako jsou dešťové zahrady, zelené střechy, plochy pro infiltraci vody a obnovu mokřadů, které společně fungují jako systém pro zadržování a postupné uvolňování dešťové vody, čímž se snižuje tlak na městské kanalizační systémy a zvyšuje se schopnost krajiny vsakovat, akumulovat a zpracovat nadměrné srážky (Bates a kol. 2008).

Jedním z příkladů úspěšné aplikace MZI je třeba vyzdvihnout projekt v Nizozemském Rotterdamu, kde byla zavedena tzv. vodní náměstí, která běžně slouží jako veřejná prostranství s ochlazujícím účinkem vzduchu a sociálními benefity, ale v případě silných dešťů se z nich stávají dočasné zadržovací nádrže (van der Hoeven a Wandl 2015).



Obrázek 6: Porovnání odtoku srážkových vod v přirozeném a urbanizovaném prostředí (Hospodaření s dešťovou vodou v ČR, ©2015)

### 3.4.3 Podpora biodiverzity a posílení ekosystémů

S rozšiřujícími městy se rozšiřuje i zástavba, ve spojení s klimatickou změnou dochází ke ztrátě přirozených přírodních habitatů a pokles biodiverzity. Opatření MZI poskytuje fauně a flóře v městském prostředí důležité habitaty a vytváří nové biotopy a ekosystémy, které posilují přírodě blízké podmínky pro život živočichů jako jsou opylovači nebo poletaví viz obrázek 7 (Tzoulas a kol. 2007). Vytvářením zelených koridorů a vodních cest se propojují izolované modré a zelené plochy, což umožňuje

živočišným druhům migrovat a přecházet mezi biotopy. Přesun živočichů je důležitý kvůli genetické výměně a stálosti společenstev (Dearborn & Kark 2010). Jsou chráněny biotopy, druhy, ale i geny, jejich vysoká biodiverzita je známkou zdravého ekosystému a napomáhají přilákání, ochraně a následnému rozmnožování živočichů, kteří by ve standartní městské urbanizované krajině nenašli útočiště. Mezi tyto živočichy se řadí ptáci, malí savci jako jsou hlodavci, obojživelníci a hmyz (Tzoulas a kol. 2007).



Obrázek 7: Moderní způsoby využití MZI (LIKO-Noe, ©2018)

### 3.5 Výskyt modro-zelené infrastruktury

V této podkapitole bude stručně seznámeno s výskytem MZI na budovách, v podzemních prostorech a ve veřejném prostranství.

#### 3.5.1 Budovy

Budovy jsou součástí každé obydlené oblasti a zabírají velké množství celkové výměry měst, proto jsou ideální místem pro umístování opatření, které napomáhají ke zmírnění klimatických změn a zároveň mají i sociální a ekonomické výhody. Využívá se zde střešních zahrad, zelených střech a zelených fasád, kde tyto prvky nejenže přispívají ke snižování teploty v okolí a uvnitř budovy, ale také snižují odtok dešťové vody z budov, čímž při přívalových deštích šetří kanalizační síť a zároveň podporují biodiverzitu v osídlených oblastech. Zároveň vytvářením zelených fasád a zelených střech na budovách se zvyšuje atraktivita města a díky tomu stoupají i ceny



těchto nemovitostí (Cristiano a kol. 2023). Jak uvádějí ve své práci Mentens a kol. (2006), zelené střechy mohou zadržet až 75 % dešťové vody, čímž významně přispívají k redukci povrchového odtoku a možnosti následných záplav. Toto tvrzení potvrzuje i Cristiano a kol. (2023), kteří ve své práci uvádějí, že zelené střechy zadrží 45 % celkového úhrnu dešťových srážek a u některých budov může zadržení dosáhnout až 71 %.



Obrázek 8: Bosco Verticale v Miláně (Boeri Studio, Vertical Forest. Photo: Dimitar Harizanov, 2017)

### 3.5.2 Podzemní prostory

Podzemní prostory zahrnují i podzemní garáže a parkovací domy, které napomáhají k uvolnění nadzemních městských ploch odkloněním většího množství automobilů, které by jinak zabírali okolní polohy, které mohou být využité pro rozšiřování modrých a zelených prvků na povrchu. Tímto způsobem se zvyšuje schopnost města efektivně využívat možnosti MZI a tím absorbovat dešťovou vodu, která by jinak zatěžovala kanalizační síť (Stránský a kol. 2019).

Pavelčík a kol. (2019) ve své práci zdůrazňuje význam zachování vegetačního pokryvu a organické hmoty v půdě pro udržení vody v krajině pro vegetaci. Navrhuje zvýšení podílu přírodních a přírodě blízkých ploch s vegetací, což zahrnuje nejen nadzemní, ale i podzemní strategie pro zachycení a využití dešťové vody. Důležitá je pestrost

stanovišť, od ovocných sadů přes listnaté lesy až po mokřady a rybníky, která mohou být integrální součástí městského plánování a rozvoje.

V podzemních prostorech se aktivně využívají i prvky pro retenci nebo akumulaci dešťové vody, mezi ně patří například podzemní retenční nádrže, vsakovací šachty, podzemní rýhy, vsakovací galerie či podzemní drény. Podzemní opatření mají podobnost v zadržování dešťových srážek a v jejich následném uvolňování do půdního profilu nebo následné znovu využití zachycené vody (Stránský a kol. 2019).

### **3.5.3 Veřejná prostranství a další oblasti**

Ve veřejném prostředí se volí taková opatření MZI, aby mohla poskytovat možnosti rekreace obyvatelům měst, takové prvky jsou například parky, vodní prvky, zelené plochy jako jsou louky. Další úlohou těchto opatření je zlepšení estetiky městského prostředí, podpora biodiverzity, a hlavně plní úlohu vsakování nebo ukládání dešťových vod. Kromě toho výzkumy z oblasti psychologie ukazují na pozitivní vliv vegetace a vodních prvků na psychickou pohodu člověka včetně redukce stresu a zlepšení jeho celkové zdraví (Hartig a kol. 2014). Na druhou stranu mohou mít veřejná prostranství naopak negativní vliv na člověka, a to v případech, kdy jsou zelené plochy neudržované, například neudržovaný park může v člověku dlouhodobě zvyšovat stres způsobený strachem z možného trestného činu, který by mohl v takovémto parku nastat (Tzoulas a kol. 2007).

Jako další oblasti jsou chápány průmyslové zóny nebo dopravní infrastruktury, kterým prvky zelené infrastruktury mohou napomáhat jako nástroj na zachycování prachu, který se následně nebude dále šířit do ovzduší nebo jako přírodní protihlukové stěny, které napomáhají ve snížení hlukových emisí. Vytvářením zelených koridorů podél silnic a železnic lze ochránit dopravní prostředky od povětrnostních a srážkových vlivů. Vytváření modrých prvků jako jsou zadržovací a filtrační systémy v průmyslových areálech zlepšuje kvalitu životního prostředí (Kopp a kol. 2023).

## 4 Právní rámec a normy

Využívání prvků MZI vychází z legislativních dokumentů:

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Zákon č. 254/2001 Sb. se zabývá ochranou vodních zdrojů, konkrétně podzemních a povrchových vod, a stanovuje pravidla podle kterých s nimi lze hospodářsky nakládat. Zákon popisuje, jak důležité je správné hospodaření s dešťovou vodou a upřednostňuje jejich vsakování a zadržování na pozemcích. Osoby, které nakládají s vodním zdrojem jsou povinni je chránit a efektivně využívat v souladu se zákonem.
- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Zákon č. 183/2006 Sb., se věnuje územnímu plánování a udává podmínky pro výstavbu a rozvoj veřejné infrastruktury, včetně podmínek týkajících se HDV. Ty jsou dále rozepsány ve vyhláškách č. 501/2006 Sb. a č. 268/2009 Sb.
- Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území. Vyhláška č. 501/2006 Sb., požaduje, aby bylo na stavebních pozemcích řešeno HDV s ohledem na vsakování do půdy nebo jejich odvodnění, pokud tedy nejsou využívány jiným způsobem. Prioritou je vsakování srážkových vod do půdy, není-li vsakování možné, pak se voda odvádí do povrchových vod, anebo následně do kanalizace. V případě, že je voda kontaminovaná, je třeba zřídit zachycovací zařízení.
- Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Vyhláška č. 268/2009 Sb., podle § 6, odstavce 4, požaduje, aby stavby, na které dopadají dešťové srážky, vodu odváděli k místu, kde bude umožněno vsakování. V případě, že vsakování není možné, se voda musí odvést do povrchových vod, pokud ani to není možné, tak se voda odvádí do kanalizační sítě. Vodu není nutné odvádět v případě dalšího použití. Pokud je voda znečištěna nebezpečnými látkami, je potřeba vytvořit potřebná opatření na zachycení vody.
- Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). Umožňuje vlastníkům sítě se napojit na vodovodní a kanalizační síť.

- Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

## **5 Opatření modro-zelené infrastruktury**

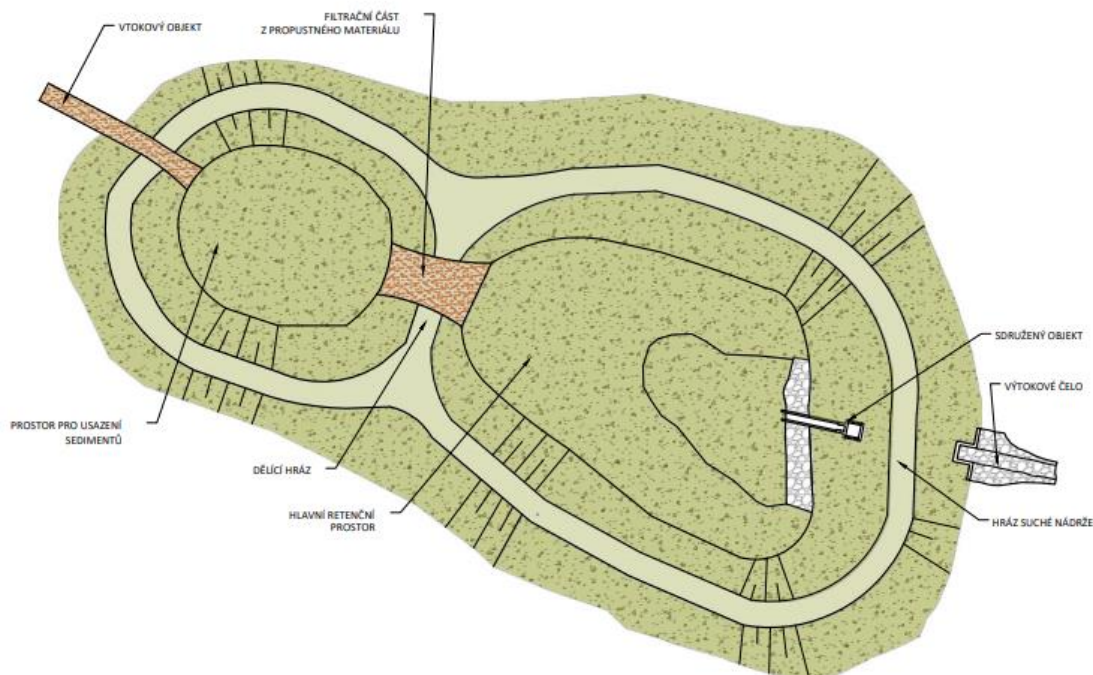
V této kapitole bude seznámeno s jednotlivými opatřeními MZI, které se v městských oblastech nejčastěji volí a vyskytují. Opatření zde budou rozdělena podle primární funkce, kterou zastávají – opatření pro zpomalení odtoku retenčním prostorem, opatření ke snížení či prevenci vzniku srážkového odtoku, vsakovací opatření, opatření akumulace pro další použití, opatření podporující pobytové funkce a biodiverzitu.

### **5.1 Opatření ke zpomalení odtoku v retenčním prostoru**

V této podkapitole budou představeny opatření, které zastávají funkci ke zpomalení odtoku v retenčním prostoru, jedná se o povrchové retenční nádrže bez zásobního prostoru, retenční nádrže se zásobním prostorem a podzemní retenční nádrže. Ke každému opatření bude přiložené schéma pro lepší pochopení a vizualizaci.

#### **5.1.1 Povrchové retenční nádrže bez zásobního prostoru**

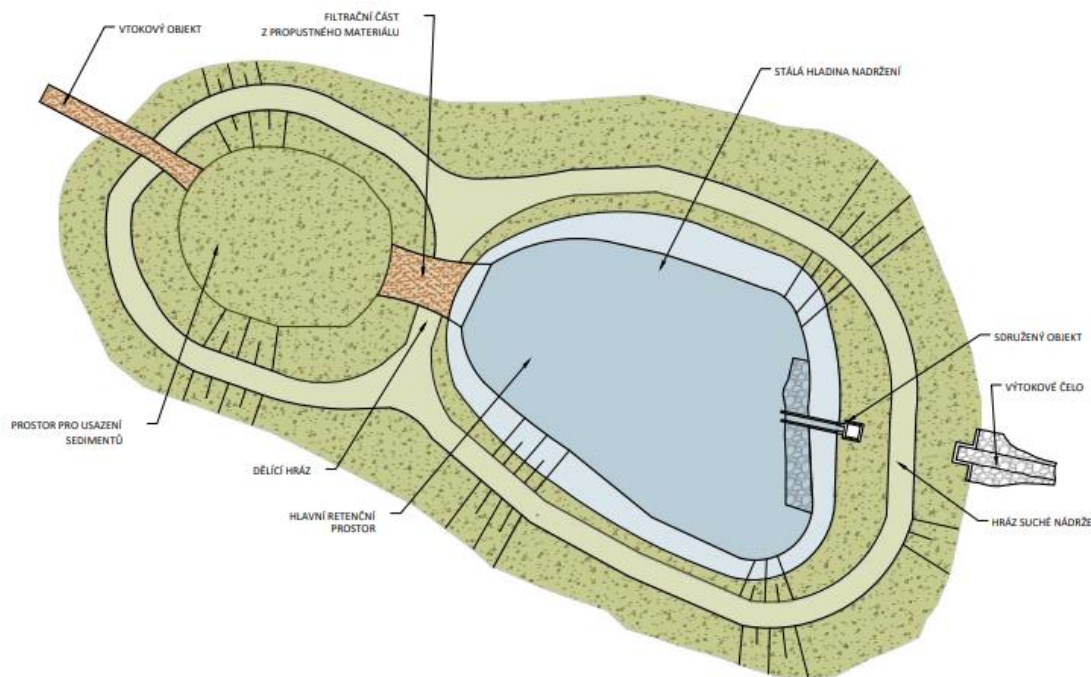
Retenční nádrže bez zásobního prostoru jsou základním prvkem MZI, které mají za úkol zadržet nadměrné množství vody během intenzivních dešťových událostí. Tyto nádrže jsou navrženy tak, aby byly v podstatě prázdné a připraveny přijmout nové množství vody v případě potřeby (Kopp a kol. 2022). Do hlavního retenčního prostoru nádrže se odvodňují srážky ze všech typů zpevněných ploch jako jsou střechy, chodníky nebo komunikace. Dno retenční nádrže musí být v rovině, pokud to není kvůli sklonitosti terénu možné, tak se používají rozdělovací hrázky viz obrázek 9 (Vítek a kol. 2018). Tyto nádrže mají nejenom retenční a estetickou funkci, ale mohou být realizovány jako nadzemní či podzemní, a někdy jako mělká vodní tělesa, tzv. mokřady. Je nutné, aby byly vybaveny ochrannými přelivy, které zvládnou přebytečný průtok před navrhovanými srážkami (Hlavínek a kol. 2007). Maximální průtoky lze často ovlivnit pomocí dimenzování vypustného potrubí. Avšak tato metoda bývá omezená a nemusí být schopna efektivně zvládnout regulaci všech návrhových srážkových situací. Mezi nevýhody se řadí nízká účinnost filtračního účinku do půdního profilu a zanášení trubek, které zde plní odtokovou a přívodní funkci (Kopp a kol. 2022).



Obrázek 9: Povrchová retenční nádrž bez zásobního prostoru (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

### 5.1.2 Povrchové retenční nádrže se zásobním prostorem

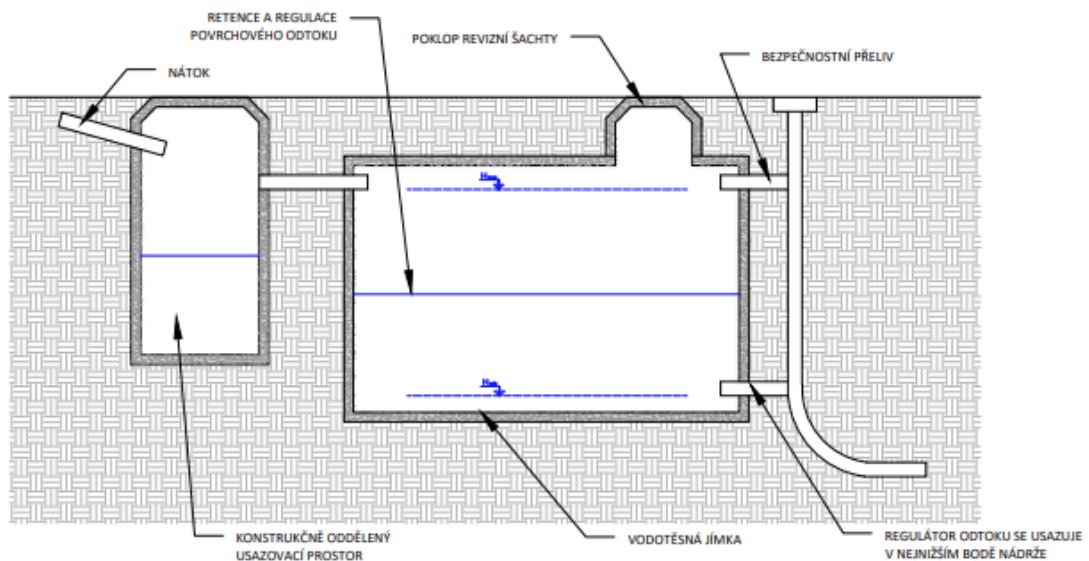
Povrchové retenční nádrže se zásobním prostorem představují vývojový krok vpřed ve srovnání s nádržemi bez zásobního prostoru. Kromě dočasného či stálého zadržení srážkové vody ve vytvořené terénní prohlubni viz obrázek 10, tyto nádrže umožňují akumulaci vody pro pozdější využití (Kopp a kol. 2022). Tato multifunkčnost přináší řadu výhod, včetně možnosti snížení spotřeby pitné vody pro zavlažování veřejných zelených ploch nebo soukromých zahrad. Další potenciální výhodou je zlepšení mikroklimatu v okolí nádrže pomocí podpory evaporace akumulované vody (Gill a kol. 2007). Mezi výhody se řadí i zvyšování půdní vlhkosti, což napomáhá biodiverzitě v půdě i n povrchu, dále opatření láká svou atraktivitou obyvatele, obzvláště v letních měsících a podporuje tím rekreační aktivity. Nepřímým benefitem je navýšení hodnoty okolních nemovitostí. Mezi nevýhody se řadí velké nároky na prostor, neumožňuje kompletní přečistění srážkových vod a stálé hladiny s absencí přirozených vodních živočichů, jako jsou obojživelníci, ryby a vodní hmyz, jsou často ideálním pro líhnutí komárů (Sýkorová a kol. 2021). Výzkum, který provedl Liu a kol. (2018) poukazuje na významnost retenčních nádrží se zásobním prostorem na snižování dopadů urbanizace a na hydrologický cyklus města.



Obrázek 10: Povrchová retenční nádrž se zásobním prostorem (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

### 5.1.3 Podzemní retenční nádrže

Podzemní retenční nádrže představují další významné opatření MZI. Nádrže jsou umístěny pod povrchem země, což minimalizuje ztrátu cenného městského prostoru viz obrázek 11, který lze použít pro podobné účely s opatřením MZI. Podzemní nádrže mohou být navrženy buď jako systémy bez zásobního prostoru, nebo s možností akumulace vody. Výhodou podzemních nádrží je jejich neviditelnost a minimální vliv na estetiku městského prostředí. Navíc mohou přispět k ochraně kvality vody tím, že zabraňují přímému styku akumulované vody s povrchovými znečišťujícími látkami. Mezi další přínosy se řadí možnost využívání dešťových vod pro nadzemní použití jako je závlaha, a náročnější údržba technologiemi pro podzemní použití. (Trowsdale a Simcock 2011).



Obrázek 11: Podzemní retenční nádrž (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

## 5.2 Opatření ke snížení či prevenci vzniku srážkového odtoku

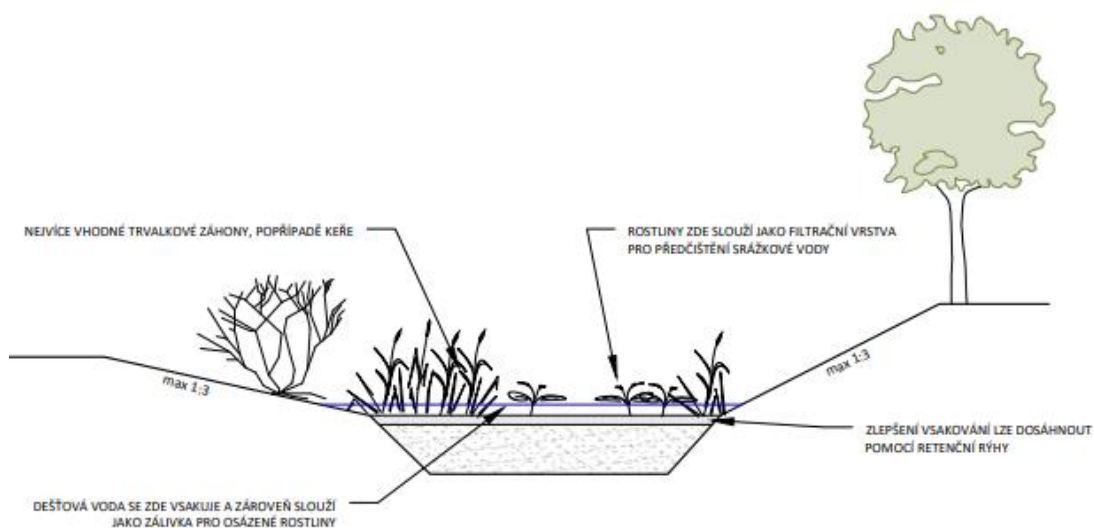
Podkapitola se bude zabývat opatřeními, které zastávají primární funkci snižování či prevence vzniku srážkových odtoků, jedná se o dešťové záhony a zelené vegetační střechy. Ke každému opatření bude přiložené schéma pro lepší pochopení a vizualizaci.

### 5.2.1 Dešťový záhon

Dešťový záhon bývá často označován jako dešťová zahrada a představuje většinou menší objekty připomínající nížinu v krajině viz obrázek 12, do které je sváděna dešťová voda z okolních střech či zpevněných nepropustných ploch. Jeho hlavní funkcí je zadržování, filtrace a následné vsakování do půdní povrchu. Tento proces pomáhá snižovat množství vody, které by jinak mohlo způsobit erozi, znečištění vodních toků, přetížení městských odvodňovacích systémů a následného rizika povodní. Dále se vyznačuje funkcí estetickou, které je docíleno použitím okrasných rostlin (Dietz a Clausen 2008, Sýkorová a kol. 2021).

Význam dešťových záhonů spočívá především v jejich schopnosti minimalizovat negativní dopady srážkového odtoku. Ve městech, kde převládají nepropustné povrchy, může být srážková voda kontaminována různými polutanty, včetně olejů z vozidel, těžkých kovů a pesticidů. Dešťové zahrady pomáhají tyto látky zachytit a filtrují je přirozenou cestou, čímž přispívají k čistší vodě v městském prostředí (Prince George's County ©1999).

Kromě ekologických přínosů mají dešťové zahrady také pozitivní vliv na biodiverzitu. Poskytují životní prostor pro řadu druhů hmyzu, ptáků a dalších živočichů, čímž podporují biologickou rozmanitost v urbanizovaných oblastech. Mezi omezení opatření patří požadavky na dostatečné vsakovací vlastnosti půdy v podloží a potencionální zanášení svrchních částí záhonu zbytky z odumřelých rotlin (Helfield a Diamond 1997).



Obrázek 12: Dešťový záhon (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

### 5.2.2 Vegetační zelené střechy

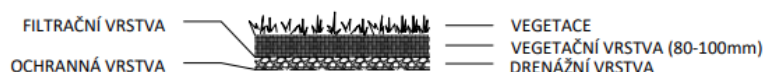
Zelené střechy jsou definovány jako střechy budov, které jsou částečně nebo zcela pokryty vegetací a půdou, případně speciálním substrátem, který umožňuje růst rostlin (Oberndorfer a kol. 2007). Zelené střechy se dělí na extenzivní, polointenzivní a intenzivní viz obrázek 13, přičemž extenzivní se vyznačují menšími mocnostmi půdy a vegetací s nízkou mírou růstu – mech, netřesky, travnaté porosty, trvalky, rozchodníky, díky čemuž jsou minimální nároky na údržbu a zálivka vůbec neprobíhá. Polointenzivní střechy obsahují větší druhy rostlin a keřů. Intenzivní střechy mají mocnost půdního substrátu větší než 200 mm a využívá se zde stromů a keřů, a proto jsou náročnější na údržbu. Mezi hlavní výhody zelených střech patří zlepšení tepelné izolace budov (Sýkorová a kol. 2022). Zelené střechy mohou významně snížit potřebu klimatizace v letních měsících díky schopnosti vegetace pohlcovat sluneční záření a nepropouštět jej na pevné povrchy střech budov. Tato skutečnost vede k redukci energetických nároků budov a tím i ke snížení emisí skleníkových plynů. Dalším důležitým přínosem je schopnost zadržovat dešťovou vodu. Zelené střechy mohou zadržet až 70-90 % srážek, což významně přispívá k omezení povodňových



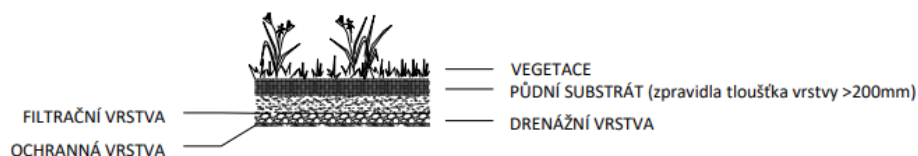
rizik v městských oblastech. Zadržaná voda je postupně uvolňována, čímž se snižuje zatížení kanalizačních systémů (Mentens a kol. 2006).

Naopak mezi nevýhody a omezení opatření patří vyšší počáteční finanční investice ve srovnání s klasickou střechou, kvůli vyšším požadavkům na statické vlastnosti konstrukcí, které musí zvládnout nápor zeminy a musí se využít hydroizolační prvky na ochranu všech prvků zařízení proti vodě (Sýkorová a kol. 2021).

#### EXTENZIVNÍ ZELENÁ STŘECHA:



#### INTENZIVNÍ ZELENÁ STŘECHA:



Obrázek 13: Rozdíl mezi extenzivní a intenzivní zelenou střechou (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

### 5.3 Vsakovací opatření

Podkapitola se bude zabývat opatřeními, které zastávají primární funkci vsakovací, jedná se o systémy plošného vsakování, šterkový trávník, propustná a polopropustná dlažba, šterkové povrchy a zatravněné povrchy. Ke každému opatření bude přiložené schéma pro lepší pochopení a vizualizaci.

#### 5.3.1 Systémy plošného vsakování

**Vsakování přes zatravněovací dlažbu** je efektivním opatřením, které kombinuje výhody zelených ploch a pevných povrchů, jeho popularitě se dostává převážně na venkovních parkovištích, kde zatravněovací dlažba umožňuje růst trávy skrze otvory v dlažbě, což oproti pevným nepropustným povrchům, podporuje vsakování dešťových vod do půdního profilu, ale přitom zachovává požadavky na pevnost a stabilitu podloží, aby bylo možné po povrchu procházet a přejíždět motorovými vozidly (Dietz a Clausen 2008). **Šterkový trávník**, další populární řešení, je tvořen vrstvou šterku pokrytou tenkou vrstvou půdy, která je osázena trávníkem. Tato způsob zpevnění ploch podporuje vsakování dešťové vody a zároveň zachovává estetický vzhled a funkčnost trávníku (Booth a Leavitt 1999).

Pro **propustnou a polopropustnou dlažbu** jsou používány materiály, které umožňují průchod vody skrze svou strukturu do podloží. Jedná se především o betonové nebo kamenné dlažby s pískovými spárami (Ferguson 2005). Tyto systémy jsou obzvláště vhodné pro použití v městských oblastech, na nízko frekventovaných parkovištích, komunikacích či jiných plochách u kterých je vyžadováno zpevnění povrchu, a kde je potřeba řešit problémy spojené s povrchovým odtokem vody a znečištěním (Vítek a kol. 2018). **Štěrkové povrchy a zatravnění** představují další metody, které podporují přirozené vsakování vody do půdy viz obrázek 14. Tyto techniky jsou často využívány v parkových oblastech, okolí budov a v rekreačních zónách pro jejich schopnost kombinovat funkční a estetické funkce (Dunnett a Clayden 2007).

Výhody systémů plošného vsakování jsou mnohostranné. Kromě snižování rizika povodní a eroze tyto systémy napomáhají obnově podzemních vod, zlepšují kvalitu vody odvedené do vodních toků a přispívají k estetické a biologické diverzitě městského prostředí. Navíc, využívání těchto systémů v městském plánování může přinést ekonomické výhody tím, že se snižují náklady na odvodnění a na stavbu nepropustných asfaltových ploch, a zvyšuje se hodnota nemovitostí (Roy a kol. 2008).



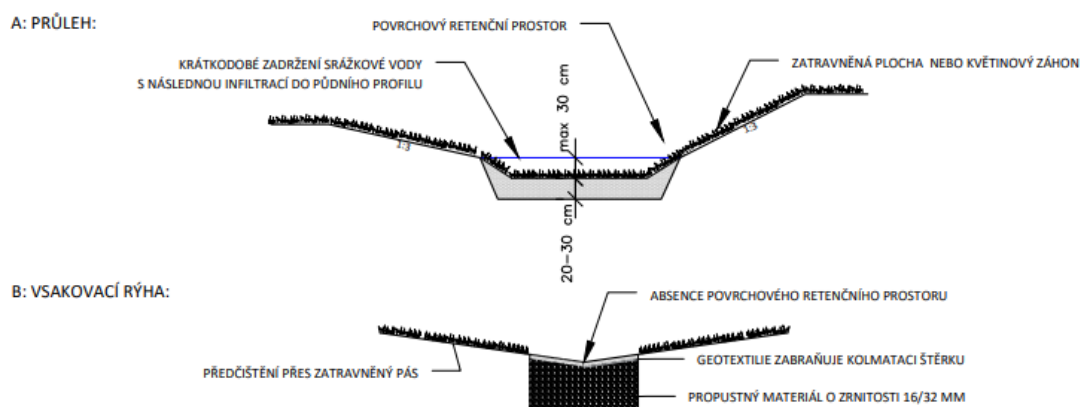
Obrázek 14: Systémy plošného vsakování (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

### 5.3.2 Podélné vsakovací prvky

**Rýha a průleh** jsou podélné vsakovací opatření, které se nachází v podzemí a je do nich sváděna srážková voda ze zpevněných ploch jako jsou silnice, chodníky apod. Jednou z funkcí opatření je oddělování dvou různých druhů prostor, jako třeba komunikace od chodníku nebo náměstí od komunikace. Rýha je tvořena vrstvou štěrku nebo plastovými bloky, který zde slouží k dočasné retenci a následnému vsakování do podložních částí půdy. Mezi výhody se dále řadí ochlazování vzduchu evaporací, v případě, že je na rýze nebo průlehu vysazena vegetace může taktéž plnit estetické funkce, čímž následně hraje roli v podpoře biodiverzity (Sýkorová a kol. 2021). **Rýha** je obvykle vyznačuje jako mělký, úzký kanál, který může být vyplněn vegetací nebo

šterkem pro zvýšení absorpční kapacity. **Průleh** je velmi podobným prvkem, avšak s tím rozdílem, že bývá často větší a hlubší, neboť je navrhovaný pro zachycování a vsakování většího množství vody, než je tomu u rýhy viz obrázek 15 (Kopp a kol. 2022).

Mezi další znatelné přínosy vsakovacích podélných prvků, jako jsou rýhy a průlehy, patří napomáhání ke snižování rychlosti povrchového odtoku a zvyšují množství vody, která je absorbována do půdy, čímž přispívají k redukci rizika povodní. Zároveň je s tím spojená i zvýšená infiltrační funkce a navýšení vlhkosti v půdním podloží. Jelikož jsou rýhy a průlehy velmi nenáročné na údržbu a jejich pořizovací náklady nejsou vysoké, tak jejich ekonomický benefit je značný (Fletcher a kol. 2013). Dalším důležitým aspektem je zlepšení kvality vodních toků. Vsakováním dešťové vody do podzemí dochází k její přirozené filtraci, což může významně přispět ke snižování znečištění vodních zdrojů. To je zvláště důležité v urbanizovaných oblastech, kde je vysoká koncentrace znečišťujících látek z důvodů průmyslu nebo dopravní infrastruktury. Vsakovací podélné prvky tedy nejenže pomáhají v boji proti povodním, ale také podporují lepší kvalitu vody a zdravější vodní ekosystémy (Trowsdale a Simcock 2011).



Obrázek 15: Průleh a rýha (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

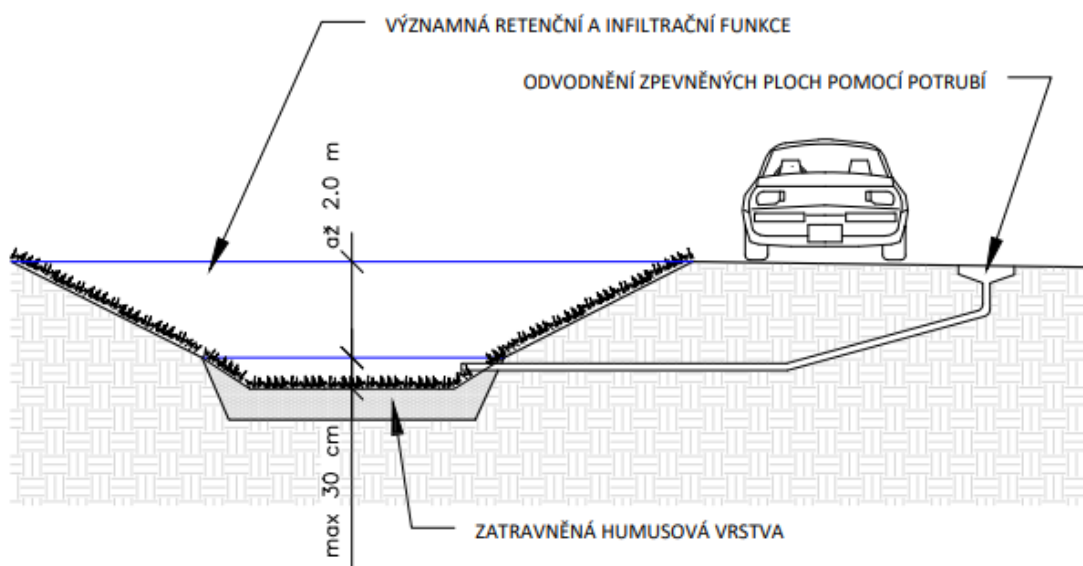
### 5.3.3 Soustředěné povrchové vsakování

Soustředěné povrchové vsakování je opatření, při kterém se snižuje terén, do kterého je následně pomocí potrubí a odtokových žlabů směřována dešťová voda z okolních urbanizovaných pevných ploch viz obrázek 16. Vsakovací zařízení tohoto typu má důležitou funkci, při které zadržuje vodu a následně ji postupně vsakuje do půdního

podloží. K infiltraci vody zde dochází za pomoci travnatého porostu, který chrání půdní profil proti erozi, ale zároveň napomáhá k filtraci vody od znečišťujících látek a následně dochází k propouštění do nižších vrstev půdy a ke zvýšení vlhkosti v půdě (Kopp a kol. 2022).

Ve srovnání s tradičními metodami odvodnění, které často spočívají v odvádění dešťové vody přímo do kanalizace či vodních toků, soustředěné povrchové vsakování má oproti nim hned několik výhod. Mezi ně patří evapotranspirace, která probíhá díky zatravněnému povrchu půdy v opatření, dále údržba je zde velmi nenáročná kvůli jednoduchosti, a proto je rozumným řešením pro začlenění mezi prvky zeleně ve městském prostředí (Fletcher a kol. 2013).

Mezi nevýhody a omezení opatření soustředěného povrchového vsakování se řadí problémy s prostorovou náročností, protože opatření zabírají větší plochy. Filtrační a infiltrační schopnost závisí na správném půdním profilu, ale i na podloží, aby bylo dosaženo co možná největší propustnosti, a proto jsou zasakovací funkce opatření mnohdy oslabena a dokáží pojmout pouze omezené nižší objemy dešťové vody. S tím souvisí i nevhodnost využití do vysoko znečištěná prostředí jako jsou průmyslové zóny, neboť nedokáží zajistit úplné filtrační účinky (Sýkorová a kol. 2021).



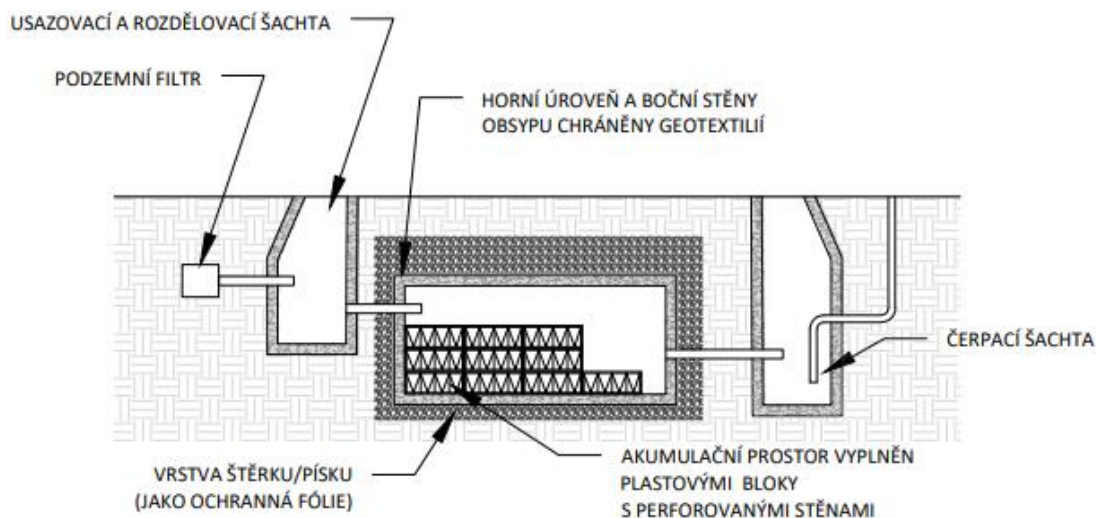
Obrázek 16: Soustředěné povrchové vsakování (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

#### 5.3.4 Podzemní prostory – vsakovací galerie

Podzemní prostory známé jako vsakovací galerie jsou rýhy s výplní z propustných štěrkových materiálů nebo se jedná o bloky z plastových materiálů s perforovanými stěnami. Do podzemního prostoru opatření je voda přiváděna otvorem nebo pomocí

vstupní šachty a poté je voda přiváděna do akumulčního prostoru pomocí podzemního potrubí, které vede přes šachty usazovací a rozdělovací viz obrázek 17. Usazovací šachta je velmi důležitá, neboť zastává funkci předčištění a zadržuje splaveniny před tím, než vtečou do akumulčního prostoru. Opatření zároveň obsahuje revizní šachty, které slouží ke kontrole funkcí (Sýkorová a kol. 2021). Zařízení se využívá převážně v místech, kde jsou problémy s plošným vsakováním například z důvodů nepropustného horninového podloží, nebo tam kde není k dispozici dostatečně velká plocha pro vsakování dešťových vod. Velikost a design galerie závisí na mnoha faktorech, včetně očekávaného množství srážek, typu půdy a blízkosti podzemních vodních zdrojů (Clark a kol. 2010).

Mezi hlavní výhody opatření se řadí malá náročnost plošného záboru, protože většina vsakovacího zařízení se nachází v podzemí, dále se jedná o velmi nenáročný, jehož výstavba není finančně ani inženýrsky náročná. Naopak mezi velmi častá omezení a nevýhody patří velmi vysoká pravděpodobnost zanesení přivodného a odtokového potrubí přírodním materiálem, což může následně způsobit úplné nebo částečné pozastavení infiltrační funkce do podzemního prostoru (Kopp a kol. 2022).



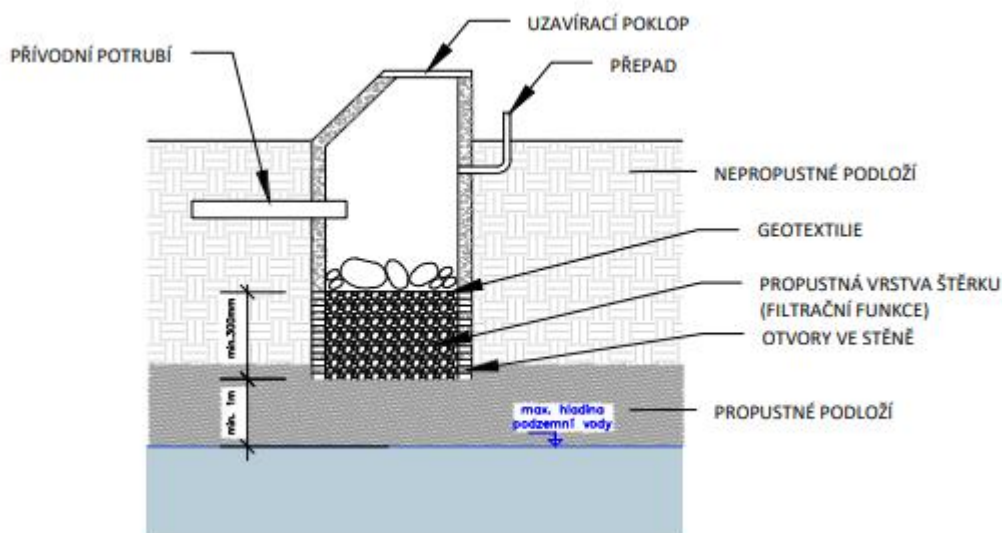
Obrázek 17: Vsakovací galerie (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

### 5.3.5 Vsakovací šachty

Vsakovací šachty jsou bodová opatření, která se vyznačují malou prostorovou náročností a jejich hlavní funkcí je vsakování dešťové vody, která je přivodním potrubím přiváděna do tělesa šachty. Šachta je tvořena podobným způsobem jako jsou tvořeny kanalizační šachty – konstrukce z betonových nebo plastových skruží,

případně může být i zděná. Dno je složeno ze šterkové vrstvy, která ve spojení s otvory ve stěnách dna, vsakuje vodu do půdního podloží viz obrázek 18. Vsakovací šachty jsou díky nízkým prostorovým nárokům použitelná na veliké řadě městských ploch a veřejném prostranství, ale také nakazí estetickou ani architektonickou podobu města nad povrchem, neboť lze vidět pouze poklop (Sýkorová a kol. 2021).

Mezi hlavní výhody a přínosy se řadí již zmíněné vsakování dešťové vody z pevných ploch do půdního podloží, s tím související zvýšená vlhkost půdy. Z konstrukční výhod opatření se jedná o malé prostorové nároky a velice nenáročnou údržbu. Co se týče nevýhod a omezení, tak velkým nedostatkem je absence filtrační funkce, protože vsakovací šachty nepřinášejí mimo primárně vsakovací funkce žádné další benefity, a tak je vhodné využívat splavené dešťové vody, které pocházejí z čistších částí městského prostředí jako jsou střechy budov. Dále se jedná o malé kapacity možného vsakování splavené vody do půdy kvůli menším objemovým rozměrům šachty, a proto je riziko přeplnění šachty (Kopp a kol. 2022).



Obrázek 18: Vsakovací šachta (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

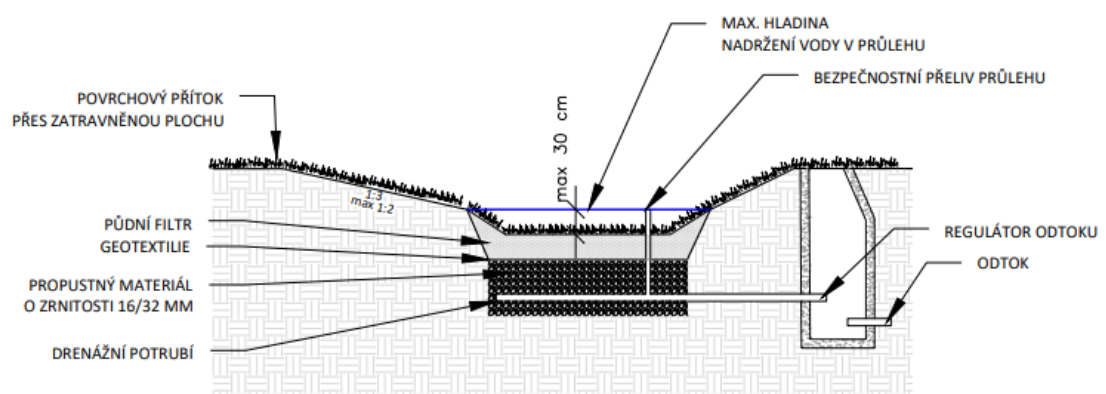
### 5.3.6 Podzemní vsakovací drén

Podzemní drén je vsakovací zařízení, které se skládá z průlehu a rýhy, které odvádějí vodu z okolního prostředí. První fází je zachycení dešťového odtoku v okolí vsakovacího drénu a přes zatravněnou plochu je voda unášena do průlehu (Kopp a kol. 2022). V blízkosti vodního prvků by měl být travní porost, který chrání půdu před otokem, ale zároveň i vodu do opatření odvádí (Sýkora a kol. 2016). Hladina splavené vody v průlehu musí dosahovat maximálně 30 centimetrů viz obrázek 19, aby se voda

v průlehu dokázala udržet a postupně se vsakovala. Dále je voda vsakována a zároveň filtrována přes půdním profil, který je obohacený o ochranou geotextílii. Z tohoto místa je voda následně transportována drenážním potrubím, které je obohacené o bezpečnostní přeliv a regulátor odtoku, do rýhy a poté následuje odtok. Bezpečnostní přeliv hraje důležitou roli v případech, kdy se dosáhne maximální zasakovací kapacity, nebo pokud je půdní profil zamrzlý z důvodů nízkých teplot. Zařízení lze kombinovat a tvořit tak ještě efektivnější sériové či paralelní zapojení, avšak vyšší bezpečnosti je dosaženo při zapojení paralelním (Kopp a kol. 2022).

Přínosem a výhodou opatření je zvýšení evapotranspirace, efektivní předčišťovací funkce dešťové vody a následné vsakování podporuje zvyšování míry vlhkosti půdy v podloží. Konstrukční výhodou je velká spolehlivost všech funkcí a při málo intenzivních srážkách o nízkých úhrnech zaručují téměř nulový odtok dešťové vody do okolního prostředí. Zároveň se jedná o velmi nenáročné opatření, které nevyžaduje složitou údržbu (Kopp a kol. 2022).

Mezi omezení opatření podzemní vsakovací drén se řadí nedostatečné odstranění těžkých znečištění ze zvláště kontaminovaných ploch, dále je zde omezeno zatravnění průlehu, který má funkci vsakování vody. Pravidelné kontroly a čištění jsou velmi důležité pro zachování efektivity opatření a zároveň fungují jako prevence vzniku problémů, jako je akumulace sedimentů nebo růst kořenového systému, který by mohl drény ucpat. Mezi konstrukční nevýhody a omezení patří náročná údržba a poměrně vysoká investiční částka oproti průlehům, které jsou zatravněné (Atamal 2018, Kopp a kol. 2022).



Obrázek 19: Podzemní vsakovací drén (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

## 5.4 Akumulace pro další použití

Podkapitola se bude zabývat opatřeními, které zastávají primární funkci akumulace dešťové vody pro další použití. Jedná se o systémy podpovrchových a povrchových akumulčních nádrží. Ke každému opatření bude přiložené schéma pro lepší pochopení a vizualizaci.

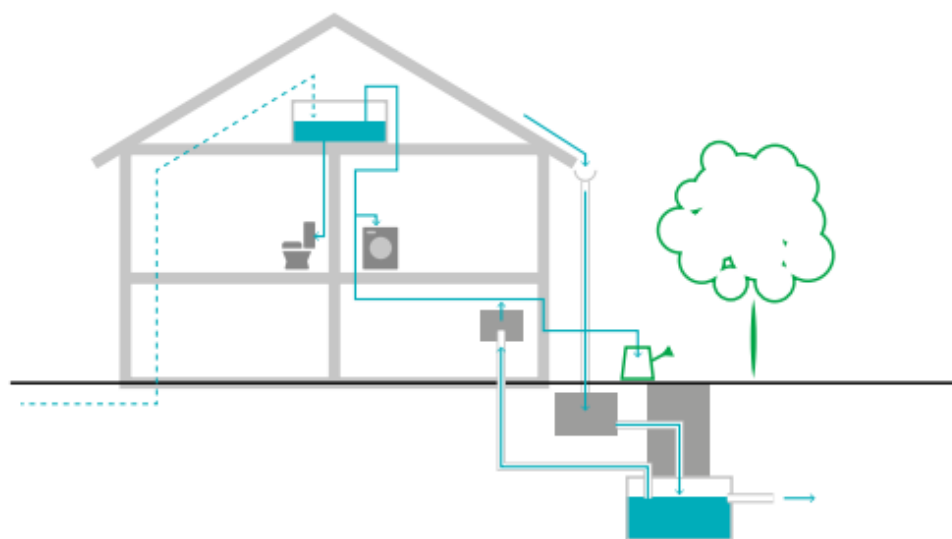
### 5.4.1 Akumulační nádrže

Zařízení pro akumulaci dešťových vod, jako jsou podzemní a nadzemní akumulční nádrže, jsou vhodným řešením u různých typů objektů a budov, kde je vyžadováno efektivní využití splavených vod. Zachycené dešťové vody lze následně využívat jako vegetační zálivku, zvlhčování prашných cest v období veder, umývání a čištění objektů nebo v domácnosti pro splachování toalet. S druhem využití se pojí i nároky na vyšší jakost vody, čehož lze dosáhnout akumulací primárně vod ze střešních krytin, kde je povrch relativně čistší než na pevných komunikacích apod., kde naopak povrch může být kontaminovaný, znečištěný prachem a zvířecími exkrementy. Riziková je především první fáze splachu po povrchu, který smyje největší koncentrace znečištění. Z těchto důvodů je vhodné využít filtrační šachtu, která vodu předčišťuje nebo první fázi splachu vůbec nezachytává. Podzemních akumulčních nádrží jsou z povrchu téměř k nepovšimnutí, jedinou viditelnou částí zařízení je vstupní poklop, a proto zařízení nekazí estetický a architektonický vzhled daného místa viz obrázek 20 (Sýkorová a kol. 2021).

Mezi výhody a přínosy akumulčních nádrží se řadí možnost využití dešťové vody jako zdroje pro splachování toalet nebo jako závlahu namísto pitné vody z vodovodního řádu, čímž lze dosáhnout finanční úspory. Ale problémem je, že akumulovaná voda nedokáže pokrýt celoroční spotřebu vody a je třeba ji doplňovat náhradním zdrojem pitné vody. V případech přeplnění akumulční nádrže bez možnosti bezprostředního využití je v nádrži zabudovaná regulační trubka, která odvede přebytečnou vodu do půdního povrchu, čímž se zvyšuje půdní vlhkost a zaplňování podzemních vod. Dalším přínosem je snižování povrchového odtoku v místě opatření, a to i přes nízkou prostorovou náročnost akumulčních nádrží (Kopp a kol. 2022).



Nevýhodou a omezením opatření je potřeba využití dalších technologií a zdrojů elektrické energie, které akumulovanou vodu budou dále čerpat do jiných zařízení, kde bude voda následně využívána pro jiné účely. Finanční investice použité na zbudování akumulčních nádrží nemají vysokou návratnost a jsou potřebné nároky na koordinaci se sítěmi místní podzemní technické infrastruktury (Kopp a kol. 2022).



Obrázek 20: Akumulační nádrž (JV PROJEKT VH s.r.o., ©2018)

## 5.5 Opatření podporující pobytové funkce a biodiverzitu

Tato podkapitola nabízí pohled na opatření MZI, která jsou zvláště důležitá pro podporu biodiverzity a zlepšení kvality pobytového prostředí. Zde jsou uváděna opatření jako například umělé mokřady, zelené fasády, bylinné záhony a vodní prvky, včetně analýzy jejich přínosů pro ekosystém města a možných omezení a nevýhod spojených s jejich realizací. Ke každé možnosti je zahrnuto schéma opatření.

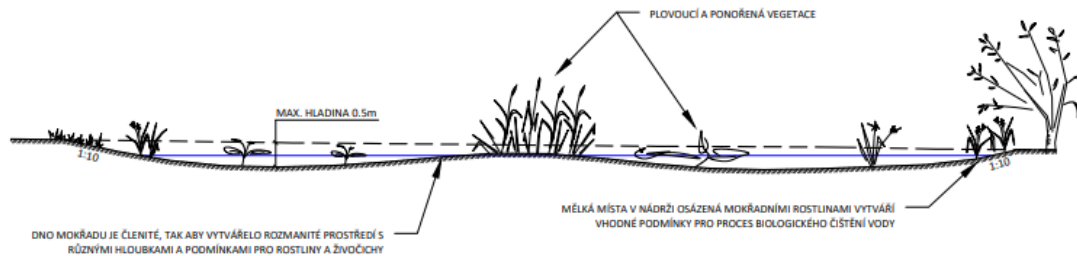
### 5.5.1 Umělý mokřad/tůň

Konstruované mokřady představují uměle vytvořené vodní ekosystémy, které jsou využívány pro biologickou očistu dešťové vody. Tyto systémy, se skládají nejčastěji z mělkých bazénů osázených vodními rostlinami, které dominují v odstraňování živin z kontaminované vody, a zároveň poskytují estetickou hodnotu a dopomáhají k diverzitě místní fauny a flóry viz obrázek 21 (Vítek a kol. 2018).

Mezi hlavní přínosy a výhody mokřadů patří schopnost biologického čištění skrze půdní profil a vegetační vrstvu, dále pomáhají regulovat vlhkost a teplotu v okolí,

zvyšují kvalitu vody a umožňují povrchovou retenci vody, čímž napomáhají k zadržování a regulaci odtoku ze zpevněných nepropustných ploch. Zároveň je podporována evapotranspirace, navýšení půdní vlhkosti, a to zejména v případech nezpevněného dna. Zvyšuje estetickou hodnotu místa a přitahuje obyvatele k rekreačním účelům (Vítek a kol. 2018).

Mezi omezení se řadí velké prostorové nároky, které nezapadají a zároveň nemusí být vhodné do určitých městských částí, jsou na ně kladeny specifické požadavky, jako jsou estetické a architektonické. Mokřady nebo tůně se stálou hladinou, s absencí výskytů vodních druhů jak obojživelníků, tak hmyzu, se mohou stát útočištěm pro líhnutí komárů (Vítek a kol. 2018).



Obrázek 21: Umělý mokřad (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

### 5.5.2 Zelené fasády

Zelené fasády, známé také jako živé stěny nebo vertikální zahrady, jsou systémy, které umožňují růst rostlin na vertikálních površích převážně stěn městských budov. Zelené fasády nabízí řadu výhod pro městské prostředí a mohou být realizovány jak uvnitř budov, tak na jejich vnějších fasádách. Opatření se skládají z několika komponent, včetně nosné konstrukce, která udržuje celou stěnu proti kolapsu, substrátu pro růst rostlin, zavlažovacího systému a samotných rostlin (Wood a kol. 2014).

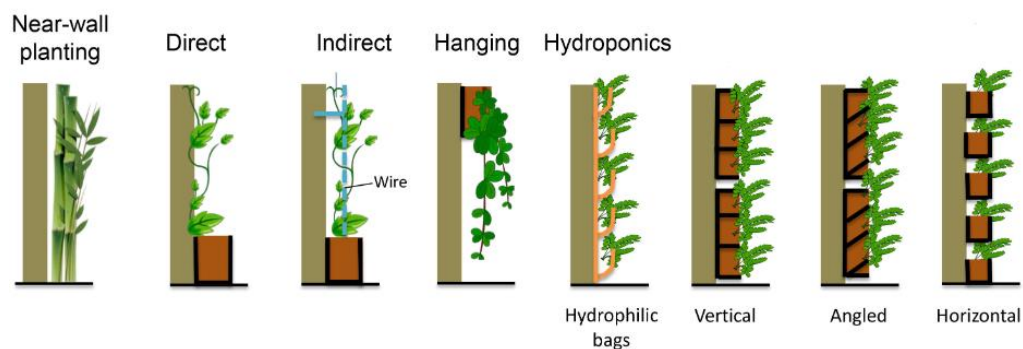
První skupinou zelených fasád jsou systémy pnoucích rostlin, které jsou propojeny s volnou půdou a jejich efektu se dostává až v delším období růstu. Druhou skupinou jsou systémy vertikálních zahrad, které naopak s volnou půdou spojeny nejsou, ale mají vlastní půdní substrát v nádobách na fasádě viz obrázek 22. (Kopp a kol. 2022).

Mezi hlavní výhody a přínosy opatření se řadí zlepšení kvality vzduchu, izolace budov, snížení hluku, podpora biodiverzity a estetické obohacení městského prostředí. Zelené

fasády přispívají k filtraci vzduchu absorpcí škodlivých látek a produkují kyslík, což vede ke zlepšení kvality městského vzduchu (Wong a kol. 2010). Dále zelené stěny poskytují tepelnou izolaci, čímž mohou snížit potřebu klimatizace v letních měsících a vytápění v zimních měsících, což vede k úsporám energie. Z hlediska sociálních výhod zelené fasády zlepšují estetiku městského prostředí, což může vést k zvýšení pocitu pohody obyvatel a zvýšení hodnoty nemovitostí (Perini a Rosasco 2013).

Přestože zelené fasády nabízejí mnoho výhod, existují také nevýhody a omezení spojené s jejich realizací a následnou údržbou. Mezi ně patří vysoké finanční pořizovací náklady, důležitá je správné zvolení vegetace a s tím související náročná údržba, kdy pověřené osoby musí do nebezpečných výšek pravidelně hnojit a zavlažovat a udržovat rostliny, aby opatření bylo funkční. V případě že jsou vnitřní živé stěny samo zavlažovací a s osvětlovacími systémy je taktéž třeba pravidelné údržby. Je také důležité před plánováním opatření zvážit limity budovy, na které se bude opatření realizovat, kvůli negativním dopadům na nepřipravené konstrukce a potenciálnímu poškození vodou (Ottelé a kol. 2011).

Příkladem zelených fasád je projekt Bosco Verticale v Miláně, Itálie, který se skládá ze dvou věžových budov, které jsou pokryty tisíci stromy a rostlin viz obrázek 8 (Marugg 2018).



Obrázek 22: Hlavní typy systému vertikální zeleně (Staffordshire University, ©2014)

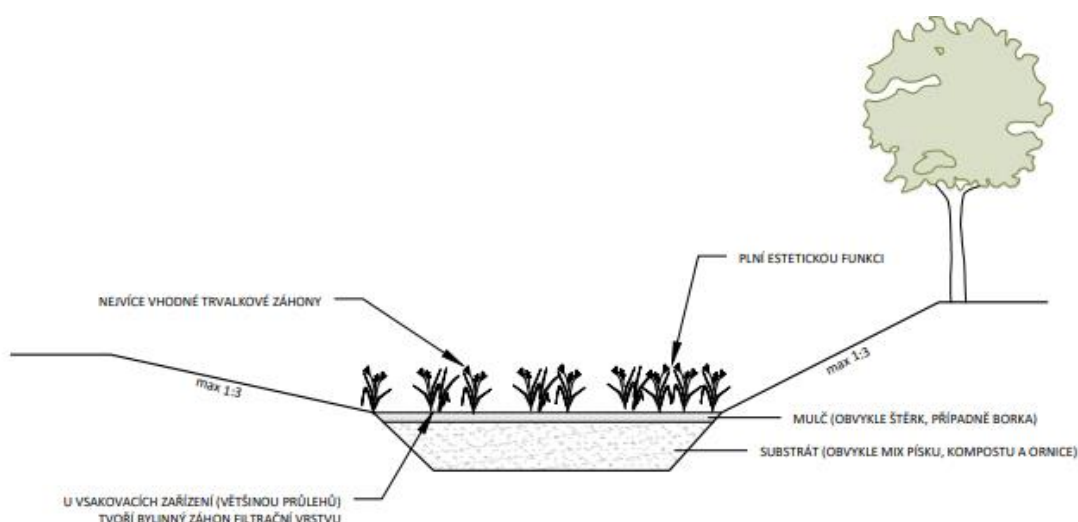
### 5.5.3 Bylinné záhony

Kvetoucí bylinné záhony jsou esteticky přitažlivější náhradou za trávnickové pokryvy vsakovacích zařízení. Jsou tvořeny různorodou zelení, která je převážně tvořena rostlinami jako jsou trvalky, letničky, dvouletky, hlíznatými rostlinami a jejich kombinací. Nejvíce jsou v opatření využívány trvalky nebo rostliny známé pro jejich vlastnost přetrvat po dlouhou dobu, a to i přes všechna možná roční období. Nejlepší volbou rostlin pro bylinné záhony jsou takové, které po odkvětu nevysychají, zůstávají

životaschopné a na jaře opět kvetou. Vysazováním okrasných rostlin jako jsou jednoletky, které mají pro opatření stejný efekt jako trvalky, ale nemají vlastnost přežít více než jedno roční období nebo přetrvat kruté zimy a delší sucha, jsou ekonomicky neefektivní kvůli častějším pořizovacím a údržbovým nákladům. Širokou rozmanitostí vlastností trvalek, jako je výška rostliny, její tvar a barva, lze dosáhnout esteticky libivých záhonů, které navýší atraktivitu městské části (Korenkova a kol. 2022).

Výhody a přínosy opatření bylinných záhonů zahrnují zachycení dešťové vody a redukci odtoku z povrchů, což dopomáhá k ochraně půdy před erozí. Dále pomáhá zlepšovat kvalitu ovzduší a lokální klimatické podmínky za pomoci evapotranspirace, tím snižují teplotu okolních ploch a přináší estetickou hodnotu do prostředí. Filtrační vrstva záhonů zajišťuje účinné předčištění dešťové vody viz obrázek 23, zatímco diverzita rostlin podporuje biodiverzitu a poskytuje prostor pro opylovače (Kopp a kol. 2022).

Nevýhodou a omezením bylinných záhonů oproti travnímu porostu jsou vyšší finanční náklady kvůli vyšším nárokům na estetiku, kdy je potřeba využít poměrově dražší rostliny, než jsou travní porosty, které potřebují další pravidelnou péči. S tím souvisí i požadavky na znalosti specialistů v oblasti zahradnictví a jejich zkušenosti v tomto odvětví, neboť je velmi důležité zvolit správné druhy rostlin, které nebudou omezovat vsakovací funkce opatření (Sýkorová a kol. 2021).



Obrázek 23: Bylinný záhon (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

#### 5.5.4 Stromy a keře

Důležitým prvkem zelené infrastruktury jsou dlouhověké stromy a keře. Stromy jsou důležité pro utváření specifického vzhledu veřejného prostranství. Jsou vysazovány ve skupinách, v alejích i jednotlivě. Stromy lze umístit jak na veřejná prostranství, pro rekreačně relaxační účely jako jsou například parky, nebo v centrech měst, kde je dělá opticky menší (Vítek a kol. 2018).

Hlavní funkcí stromů v městských oblastech je schopnost zachytávání prachových částic a drobných nečistot, což přispívá ke zmírnění mikroklimatu. Stromy přispívají k ochlazení a zvlhčování vzduchu, za pomoci evapotranspirace, a také vytváří stín. Podporují vsakování dešťových vod do půdního povrchu a dokážou pojmout velké množství vody. Dále podporují biodiverzitu a vytvářejí biotopy pro určité druhy živočichů jako jsou například opylovači. Stromy lze využít u průmyslových zón a u dopravní infrastruktury k snižování šíření hluku do okolí a do obytných zón. Z estetického hlediska zlepšují vzhled města a přispívají k psychickému zdraví obyvatel, a zároveň zvyšují hodnotu nemovitostí v okolí (Kopp a kol. 2022).

Nevýhody a omezení stromů v městských oblastech je nevole a předsudky občanů vůči změnám ročních období, kdy hlavně na jaře pyl způsobuje alergické reakce a na podzim opadává listí zároveň pokud strom stojí blízko stálých vodních ploch znehodnocuje tím kvalitu vody. Celoročním problémem je riziko padání větví. Stromy vyžadují vysoké nároky na prostor s tím souvisí i nároky na kořenový systém pod zemí a riziko, kdy kořeny znehodnocují pevné plochy. Stromy snižují retenční kapacitu průlehu a odpadem, který vytvářejí snižují infiltraci vody do půdního profilu. Stromy mají zvýšenou citlivost na posypovou sůl, která může vést až k úhynu dřeviny, což je obzvláště problémem v blízkosti hlavních dopravních tahů (Vítek a kol. 2018).

Na obrázku 24 je znázorněna minimální velikost výsadbové jámy podle objemu koruny stromu, kdy pro stromy malokorunné s objemem koruny přibližně  $50 \text{ m}^3$  je zapotřebí  $8 \text{ m}^3$  prokořenitelného objemu půdy, pro stromy středně velké s objemem koruny přibližně  $250 \text{ m}^3$  minimálně  $16 \text{ m}^3$  a pro stromy velké s objemem koruny přibližně  $650 \text{ m}^3$  minimálně  $25 \text{ m}^3$  (Vítek a kol. 2018).



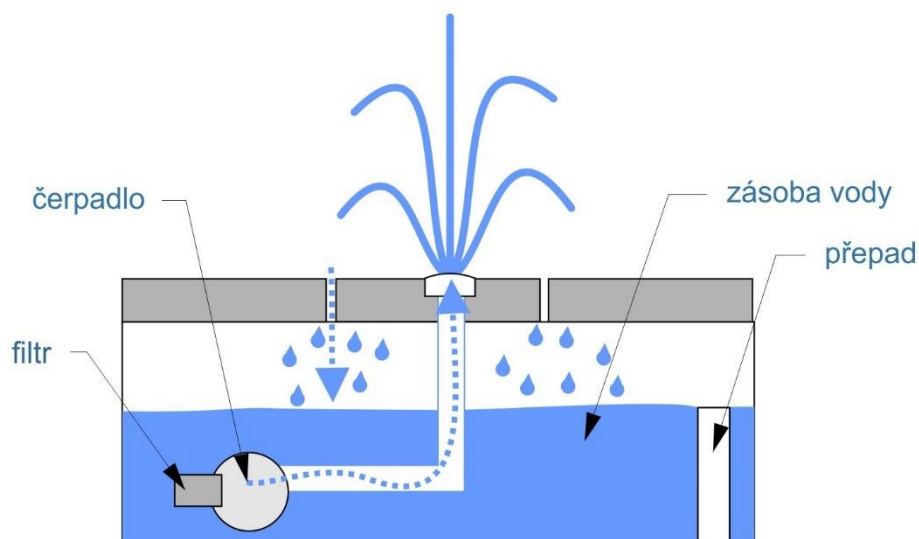
Obrázek 24: Minimální velikost prokořenitelného objemu půdy podle velikosti koruny stromu (Treewalker, s.r.o., ©2018.)

### 5.5.5 Vodní prvky

Opatření typu vodních prvků přináší do městského prostředí estetické obohacení, zlepšují vzhled a architektonický vizuál budov, ale také velmi často lákají obyvatele na rekreační účely. Možnosti rozšíření opatření jsou široké, od parků, historických i moderních budov, na náměstích až po plochy plnící pobytové funkce. Také jsou často obyvateli brána jako výrazné orientační body ve městě, nejčastěji se jedná o kašny, vodní trysky nebo historické fontány viz obrázek 25 (Langie a kol. 2022).

Mezi výhody a přínosy vodních prvků se řadí zlepšování mikroklimatu a zmírňování efektu tepelného ostrova, neboť vodní prvky mají schopnost ochlazovat vzduch v okolí, což je velmi důležité hlavně v období letních horkých dnů. Z vodního prvku, který má plochu 1 m<sup>2</sup> se za jeden den vypaří přibližně 1-2 litrů vody, tento proces je plně ovlivněn teplotou a okolním vzduchem. Kromě již zmíněné společenské a estetické funkce mají tato opatření i širokou škálu možností co se týče rozměrů a materiálů, ze kterých jsou kašny, fontány nebo trysky vyráběny (Sýkorová a kol. 2021). Z psychologického hlediska kontakt s vodními prvky přináší lidem pozitivní psychické účinky, jako je snížení úrovně stresu a zlepšení celkové pohody, dále také shromažďují obyvatele k jednomu místu, čímž se vytváří příjemné prostředí pro jejich interakci a podporují sociální soudržnost (Langie a kol. 2022).

Omezením a nevýhodou opatření je potřeba využívat i jiné technologie a energetická zařízení, která budou pohánět mechanismus čerpadel, aby vodní prvek splňoval požadovaný efekt. Dále je zapotřebí napojení i jiných zdrojů, než je voda dešťová kvůli vysokému suchu a možnosti dlouhých období bez srážek. S využitím dešťové vody jsou spojeny i vyžadované hygienické normy, které mají v případě napití ochránit občany od zdravotních problémů (Kopp a kol. 2022).



Obrázek 25: Schéma fontány (Dvůr, ©2022)

## 6 Modro-zelená infrastruktura v České republice a zahraničí

Kapitola je zaměřena na implementaci MZI v českém a zahraničním prostředí.

### 6.1 Česká republika, Praha

Praha, jako hlavní město České republiky, začleňuje do svého územního plánování prvky MZI. Jako vodítka městu slouží vytvořené standarty HDV na území hlavního města Prahy, které stanovily principy, požadované cíle, priority, navrhované postupy a konstrukční řešení prvků opatření. Nástrojem pro efektivnější HDV je využití objektů a funkčních systémů MZI. Tyto standarty se primárně využívají při výstavbách nových staveb, při rekonstrukcích starých staveb nebo při změnách odvodnění staveb v městském urbanizovaném území, což podporuje udržitelný prostor městského prostředí (Stránský a kol. 2021a). V Praze má MZI velký význam zejména kvůli historickým částem města, které mají z důvodů rozsáhlým nepropustným povrchům ekologická omezení, která jsou potřeba snížit. Rozšiřování městských hranic vede k rozrůstání města směrem k řekám a kopcovitým oblastem, což se odráží v rozdílných typech biotopů města. Rozvoj politických hranic města vedl k rozšíření směrem k tokům a kopcovitým oblastem, s preferencí jižních svahů, což je reflektováno v rozmanitých typech zeleně, od historických zahrad až po moderní parky a přírodní rezervace. Podíl zelených městských ploch v Praze činí 55,3 %, což z ní dělá jedno z deseti nejzelenějších měst na světě (Hussein a kol. 2020).

Finanční výdajová položka pro zelené oblasti by mohla být zvláště zásadní, protože Praha se chystá revitalizovat brownfieldy, což jsou nedostatečně využívané nemovitosti, které představují významné urbání problémy v celém Česku, a přetvořit je na zelené plochy plné zeleně, ale také jako nové lokality pro výstavbu rezidenčních oblastí s bytovými jednotkami obohacené o prvky MZI (Hussein a kol. 2020).

## 6.2 Švédsko, Stockholm

I když Stockholm má dobře rozpracované směrnice a politiky pro používání MZI a nové projekty ve městě těmto politikám obvykle odpovídají, starší části ve středu Stockholmu se podobného rozvoje nedočkaly. Mnoho ulic v městském centru Stockholmu postrádá jakákoli řešení MZI pro zvládnání náporu dešťových srážek a spoléhá se místo toho na tradiční technické systémy odvodnění, jako jsou kanalizační sítě (Brattgård 2021). Ve Stockholmu mezi lety 2003 a 2018 narostly zelené plochy o 9 % (Furberg a kol. 2020).

Nil Brattgård (2021) se ve své práci o udržitelném řízení dešťových vod ve vnitřním městě Stockholmu zabývá překážkami a omezeními, které jsou spojené s výstavbou systémů MZI v městském prostředí Stockholmu. Mezi hlavní překážky se řadí nedostatečně velké prostory pro výstavbu systémů MZI, proto je obtížné vytvářet prostorově náročná opatření jako jsou rybníky, umělé mokřady nebo retenční povrchové nádrže. Oproti nim je proto výsadba stromů a keřů, které jsou i přes svou náročnost pro kořenové systémy, považovány za méně náročné a jsou finančně dostupnější než jiné rozsáhlejší projekty. Dalším problémem jsou finanční náklady spojené s pořízováním těchto systémů, a časově náročná výstavba některých typů prvků, které vyžadují především výkopové práce, přičemž testování jejich funkcí je také časově náročné (Brattgård 2021).

Vhodným příkladem MZI ve Stockholmu je Sickla Kaj, kde byly použity odváděcí schody pro dešťovou vodu, které přesměrovávají vodu z budov a nádvoří do kanálu, odtud pak do jezera Hammarby. Zařízení je technickým řešením pro správu znečištěného povrchového odtoku, ale zároveň plní funkci esteticky přitažlivého prvku (Suleiman 2021).



### 6.3 Čína, Peking

Peking aktivně rozvíjí MZI s cílem řešit současné environmentální problémy, jako je znečištění vzduchu, nedostatek vody a vznik stále silnějších tepelných ostrovů ve městech. Zemědělsky obhospodařované půdy, lesy v nížinách a středně vysokých horských oblastech byly hlavními místy, kde se zelené plochy vyskytovaly. Množství zelených ploch, převážně zemědělské půdy na okrajích velkých měst, bylo v posledních dvaceti letech nahrazeno stavebními pozemky, což způsobilo zánik zelených ploch ve městech a v jejich okolí, a naopak se rapidně zvýšila urbanizace (Tang a kol. 2018). Amani-Beni a kol. (2019) ve své práci zkoumali vliv městské zeleně a vodních prvků na snižování teploty zemského povrchu v oblasti kolem Olympijského lesního parku v Pekingu. Jejich výzkum ukázal zjištění, že zelené a modré plochy jsou přispívají ke zlepšení mikroklimatu města, tím že snižují teplotu okolního vzduchu a okolních ploch, a proto by měly být obdobné realizovány prvky v městském centru Pekingu a začleněny do městské strategie plánování pro udržitelný rozvoj (Amani-Beni a kol. 2019). Město Peking pobízí soukromé podnikatele, aby začlenily prvky MZI do jejich strategických plánů vývoje (Griffiths a kol. 2020).

Čínská vláda v roce 2014 spustila pro Peking a další velká čínská města, program "Sponge City Initiative", který využívá výhod a přínosů MZI a snaží se s nimi podpořit vsakovací a filtrační funkce dešťové vody, snížit její povrchový odtok a navýšit kvalitu vody ve městě, za pomoci přirozených a polopřirozených prvků modré a zelené infrastruktury. Cílem programu je navýšením vegetačních a vodních prvků, jako jsou zelené střechy a stěny, parky plné vegetace, využití propustných a polopropustných povrchu na parkovištích, a dalších opatření. Tím chtějí dosáhnout poklesu intenzity tepelného ostrova v urbanizovaných centrech měst, podpořit biodiverzitu, snížit množství povrchového odtoku a tím snížit riziko záplav, a přizpůsobit městské prostředí na stále se měnící změnu klimatu (Griffiths a kol. 2020).

## 6.4 USA, Filadelfie

Ve městě Filadelfii ve spojených státech amerických je MZI důležitou součástí strategie "Green City, Clean Waters", kterou vyvinul Philadelphia Water Department (PWD) s cílem ochránit a zlepšit kvalitu místních vodních cest správou povrchového odtoku a snížením závislosti na další podzemní infrastruktuře. Město se potýká s několika výzvami, které souvisí s tradiční šedou infrastrukturou pro správu dešťových vod, včetně změn klimatu a splnění regulačních požadavků zákona Clean Water Act z roku 1972 (Brears 2018).

Klimatické projekce ukazují, že Filadelfie bude v průběhu tohoto století zažívat vlhčí a teplejší podmínky ve všech ročních obdobích. Předpovídá se zvýšený výskyt intenzivních a extrémně silných srážkových událostí, zejména v zimních měsících, což překračuje kapacitu městského kanalizačního systému. Tyto události mohou vést k přetížení systému a následným výlevům kombinovaných kanalizací do městských toků a řek (Brears 2018).

V roce 2009 oznámilo město Filadelfie dvacetiletý plán na zazelenění více než jedné třetiny svého centrálního území, kde jsou nepropustné plochy obsluhované tradičním kombinovaným kanalizačním systémem, plán bude financován investicí 2,4 miliardy dolarů. Cílem bylo využít zelenou infrastrukturu k dosažení vyšší vodní kvality. Plán Filadelfie zůstává jedním z největších z hlediska rozsahu a finančního závazku mezi městy v USA a Evropě. V důsledku toho je nyní Filadelfie vnímána jako národní a mezinárodní lídr v oblasti řízení dešťových vod díky svému ambicióznímu závazku vůči zelené infrastruktuře, přičemž jiná velká města v USA, jako je Washington D.C., New York a Chicago, zavádějí podobné strategie (Hsu a kol. 2020).

Rychlé změny v programech, které město provedlo, vycházely z kombinace kvantitativní analýzy údajů o fakturaci a programu města, kvalitativního vyhodnocení mediálních a veřejných dokumentů a následných rozhovorů s úředníky města (Hsu a kol. 2020). V rámci tohoto plánu město zavádělo různé programy, jako jsou programy Stormwater Management Incentives Program a Greened Acre Retrofit Program, které poskytují komerčním vlastníkům nemovitostí finanční pobídky a technickou pomoc pro implementaci zelené infrastruktury (Hsu a kol. 2020).

Mezi problémy s implementací systému MZI ve Filadelfii patří integrace těchto systémů do hustě zastavěných oblastí a zohlednění sociálních faktorů při výběru lokalit, jako je blízkost škol, dopravních uzlů a komunitních organizací, které mohou podporovat údržbu a vzdělávací cíle MZI. Důležitým faktorem vedoucím k úspěchu je koordinace s veřejnými stavebními projekty, získání soukromých investic, a řešení technických a finančních aspektů. Kromě toho je důležité zapojit komunity a zainteresovaných strany do plánování a udržování MZI projektů (Christman a kol. 2018).

## 7 Výsledky

Výsledky práce poskytují ucelený přehled přínosů, omezení a nevýhod, které mohou nastat při implementaci systémů MZI v městském prostředí. Význam těchto systémů pro městské prostředí je nezpochybnitelný, jsou nástrojem ke snižování vlivů klimatické změny na urbanizované oblasti, což zahrnuje zmírňování efektu tepelných ostrovů, jejichž vliv lze pocítit vždy po příjezdu z venkovských oblastí do center měst, ale také potlačují následky silných přívalových dešťů a na snižují úbytek biodiverzity ve městech.

Mezi výhody systémů MZI, které efekt tepelného ostrova zmírňují se řadí podpora evapotranspirace, což je fyzikální proces vypařování vody v podobě vodní páry, který je obohacen o výpar prováděný zelenými listy vegetační složky (transpirací), jako jsou stromy, keře a rostliny. Evapotranspirace zabraňuje dalšímu oteplování okolního vzduchu ochlazováním. Další zmírňující funkcí je poskytování stínu prostřednictvím stromů, které pohlcují sluneční záření dopadající na povrch a tím jej ochlazují. Vegetační střechy a vegetační stěny na vysokých budovách mají schopnost částečně pohlcovat sluneční záření a tím se snižuje odrazivost záření mezi urbanizovanými povrchy. Vodní prvky mají schopnost ochladit okolní vzduch až do vzdáleností 100 metrů, čímž společně s vegetací zlepšují mikroklima města.

Další vliv klimatické změny, který systém MZI řeší, je zlepšení správy dešťové vody hlavně během silných dešťů. První výhodou v této oblasti je zvýšení infiltrace a filtrace dešťové vody do půdního podloží skrze opatření s primární nebo sekundární funkcí vsakovací, tím se vody filtrují a doplňují se podzemní zásoby. S tím souvisí schopnost zachytávat a regulovat povrchový odtok, čímž se snižuje riziko zahlcení kanalizačních

sítí, snižují se rizika povodní, které mohou mít ničivé účinky, a snižuje se riziko eroze půdy a následné sedimentace v krajině.

V oblasti podpory biodiverzity je výhodou MZI vytváření nových přírodních nebo přírodě blízkých habitatů pro městskou faunu a flóru, což vede k podpoře druhové rozmanitosti. Dále některá opatření napomáhají propojovat izolované zelené a modré prostory, to umožňuje lepší pohyb a migraci druhů mezi různými oblastmi a přispívá ke genetické výměně a stabilitě populací. Vznikající ekosystémy a biotopy jsou u funkčních opatření odolnější vůči klimatické změně.

Ze sociálního hlediska jsou opatření MZI brána jako prvek, který dokáže zlepšit psychické, ale i tělesné zdraví obyvatel měst. Vegetační a vodní prvky zlepšují estetický vzhled urbanizovaných ploch a lze je mnohdy použít bez narušení architektonického stylu objektů města. Dále parky nebo řeky mohou sloužit pro rekreační účely a tím se zvyšuje i fyzická aktivita obyvatel. Zároveň MZI poskytuje prostor pro shlukování lidí a pro sociální interakci, čímž se podporuje sociální soudružnost.

Ekonomický přínosem je eliminace případných škod způsobených povodní, ale také zachycování a následné využívání dešťové vody pro osobní účely, což vede k finančním úsporám. Finanční úspory lze dosáhnout i při použití vegetačních střeš a fasád, díky kterým se sníží teplota uvnitř budov a není potřeba využívat klimatizačních systémů. Zvýšená estetická hodnota a opatření MZI v blízkosti lidských obydlí zvyšují ekonomickou hodnotu nemovitostí.

Systémy MZI mají ovšem i různá omezení a nevýhody, mezi ty se řadí vyšší počáteční náklady na výstavbu a údržbu opatření, což může být pro soukromé vlastníky komplikací. S tím souvisí i malá návratnost počátečních investic u některých opatření. Komplikovanější podzemní systémy vyžadují pravidelné kontroly funkcí kvůli zanášení potrubí sedimenty, odpadem a odumřelou vegetací, což následně vyžaduje náročnou údržbu. Dalším omezením je omezený prostor v zastavěných městských prostorech pro výstavbu opatření. S tím souvisí i konflikty zeleně s budovami a nepropustnými povrchy, které mohou stromy kořenovým systémem poničit. Zanedbaná opatření se mohou stát esteticky neatraktivními a mohou ztratit svou původní funkci. Vodní plochy se stálou hladinou a bez vodního života se mohou stát domovem pro komáří společenstva. Ze sociálního hlediska mohou být některá opatření obyvateli brána jako nežádoucí ať už kvůli organickému odpadu, který některá

opatření produkují, nebo kvůli omezení výhledu či nižší atraktivitě. Vodní prvky, jako jsou fontány nebo trysky, vyžadují náhradní zdroj pitné vody v období sucha, ale také další zařízení jako jsou čerpadla a přívod elektrické energie, které budou opatření pohánět. Mezi omezení patří i požadavky na specifický typ půdního podloží pro některé druhy opatření.

Z výsledků literární rešerše je zřejmé, že přínosy opatření MZI převažují nad omezeními a nevýhodami, proto je důležité zvýšit povědomí mezi odborníky a laickou veřejností o těchto výhodách, která mohou pomoci adaptovat městská prostředí na změny klimatu a podpořit udržitelný rozvoj. Ovšem důležité je i vytváření podpůrných legislativních a politických konceptů, ale také investovat do modrozelených programů.

## **8 Diskuse**

Práce byla zaměřena na prozkoumání systému MZI a jejího významu pro městské prostředí, a to zejména v kontextu klimatické změny. Byly zjištěny podstatné přínosy, omezení a nevýhody spojené s její implementací těchto systémů do městského prostředí. Hlavním zjištěním byla důležitost, kterou prvky MZI představují pro zmírnění dopadů klimatických změn, zejména ve vztahu k efektivnímu řízení dešťové vody, podpoře biodiverzity a zlepšení mikroklimatu ve městech, což vyzdvihuje rozmanité funkce, kterými opatření disponují.

Zjištění, ke kterým se práce dostala, jsou v souladu s dosavadní odbornou literaturou, ve kterých autoři zdůrazňují význam MZI, mezi ně patří Foster a kol. (2011) a Kabisch a kol. (2017). Ve studii byla také zjištěna zvýšená existence strategických plánů pro MZI a standarty HDV, což je ve srovnání s minulými lety, kde byl poměr těchto dokumentů pro města mnohem nižší, jedná se tedy o významný krok vpřed k udržitelnému rozvoji. Příkladem pro české prostředí může být dokument pro hlavní město Praha „Standarty hospodaření se srážkovými vodami na území hlavního města Prahy“ (Stránský a kol. 2021a), pro město Olomouc „Hospodaření se srážkovými vodami – cesta k modrozelené infrastruktuře“ (Vítek a kol. 2018) nebo pro město Ostrava „Metodika modrozelené infrastruktury statutárního města Ostravy“ (Vysloužil a kol. 2023). Tento rozdíl může být vysvětlen časovým odstupem a dynamickým vývojem v oblasti plánování MZI, ale také s povědomím vedení měst ohledně rizik, které klimatická změna přináší.

Práce dosáhla přijatelných zjištění v oblasti zdraví obyvatel, jejichž fyzický a psychický stav se může zlepšit implementací prvků MZI do městských sídel, kde budou sloužit jako významný prvek, který zvyšuje atraktivitu a estetickou hodnotu urbanizovanému okolí, ale také v případě zelených parků pro rekreační účely, což podporuje ve své práci Hartig a kol. (2014). Přijatelných zjištění se dosáhlo i v případě ekonomické oblasti, kdy mnohá opatření šetří energie, zvyšují hodnotu nemovitostí a eliminují škody, které by mohly potenciálně vzniknout při silných deštích. Toto tvrzení potvrzují i odborní autoři jako Sýkorová a kol. (2020) nebo Kopp a kol. (2021). Stejně jako jiné studie, například i tato práce potvrzuje, že MZI může efektivně přispět ke snížení teplot ve městech, zlepšení HDV a k podpoře biodiverzity.

I přes to, že práce stála na řadě informací a poznatků odborných autorů, tak omezení mohou být právě v různorodosti jejich původu. Například Clark a kol. pochází ze Spojených států amerických, kde jsou oproti vnitrozemským státům Evropy, ležících v mírném pásu, rozlišné klima a prostředí. Dalo by se tedy říct, že poznatky z jeho práce „Groundwater Contamination Potential from Infiltration of Urban Stormwater Runoff“ nemusely být relevantními pro tuto práci. Avšak v tomto případě se dalo předpokládat, že potenciální kontaminace podzemních vod infiltrací povrchového odtoku dešťové vody do půdy, jsou stejné jako v evropském mírném pásu.

Strategické plány, zejména ty s adaptačními strategiemi jsou velmi důležité pro úspěšné zavádění opatření. Motivací k jejich zavedení jsou dotační programy, a nikoliv legislativní rámec, který je, jak podotýká Vítek a kol. (2018), v případě českého stavebnictví a jeho vztahu k řízení vodního režimu v urbanizovaných oblastech, nekonceptní a nedostatečně koordinovaný. Odpovědnost za vytváření koncepčních dokumentů a nastavování pravidel pro MZI tak padá přímo na vedení měst. Nejasnosti panují i v interpretaci stávajících právních předpisů týkajících se odvodnění měst, kde chybí jasné směrnice pro technické normy zabývající se vodou a zelení ve městském prostředí. Pro lepší adaptaci městského prostředí na klimatickou změnu je důležité zvýšit povědomí v mnoha sektorech, které se podílejí na plánování, schvalování a realizaci staveb.

Odbornost zpracovatelů, kteří navrhují opatření MZI, je nezbytná, aby se předešlo problémům se schválením, protože není například přijatelné, aby nezkušený zpracovatel navrhl na zelené střechy strom, který v řádech let doroste do několika

desítek metrů výšky, čímž se ohrozí stabilita konstrukcí budov, ale především lidské životy. Na nevhodně realizované opatření se váže riziko úhynu vegetace, ale také částečná nebo celková nefunkčnost, která vede k dalším ekonomickým výdajům. Odborný zpracovatel musí mít na mysli i problémy spojené s alergickými reakcemi na pyl některých druhů zelených prvků vegetace.

Další překážkou, která může během schvalování opatření nastat, je nevole obyvatel a preferování jiného druhu využití prostor. Obyvatelé často kvůli své neznalosti problematiky MZI ve svých protiargumentech uvádí hrozby spojené s alergiemi, s padáním listů a jehličí, nebo s rizikem půdu větvi. Městské prostředí bývá po řadě let urbanizace téměř plně zastavěné pevnými povrchy, proto není dostatek prostoru pro implementaci opatření.

## **9 Závěr**

V dnešní době vliv klimatické změny stále více ovlivňuje městská i venkovská prostředí, proto je nutné hledat rozumná řešení, která budou společnosti nápomocna se přizpůsobit novým podmínkám. Hledání řešení ke změně klimatu je se zvyšujícím se rizikem vzniku ničivých záplav a tepelných ostrovů nevyhnutelné, neboť tyto skutečnosti ovlivňují nejen život člověka, ale také fauny a flóry. Objeveným řešením, které dokáže potlačovat vlivy klimatické změny, je systém MZI.

V bakalářské práci byla provedena podrobná literární rešerše zaměřená na MZI a její vliv na městské prostředí. Hlavní pozornost byla věnována významu opatření MZI na klimatické změny. Práce se zabývala možnostmi prvků, funkcí a jejich využití v urbanizovaném prostředí, včetně jejich přínosu na zlepšení správy řízení dešťové vody, potlačení vlivu tepelného ostrova ve městech, podpoře biodiverzity v rozšiřující se zástavbě a zlepšení celkového mikroklimatu města.

V práci byly popsány zásadní přínosy v environmentální oblasti, jako je snížení povrchového odtoku, redukce eroze, zvýšení infiltrace a kvality dešťové vody, naplňování kapacit podzemních vod a ochlazování okolního prostředí. V oblasti ekonomické jsou to nižší náklady na eliminaci škod povodní, využití dešťové vody, úspora energií, zvyšování cen nemovitostí. V oblasti sociální jsou to přínosy pro lidské duševní i fyzické zdraví obyvatel, zlepšení estetických vlastností města, rekreační účely a podpora sociální interakce.

Práce pospala i omezení, se kterými se lze setkat při implementaci prvků MZI v městském prostředí, jako jsou vysoké pořizovací a údržbové náklady, malá návratnost investic, složitá a pravidelná údržba, vysoké prostorové nároky, konflikty s původními stavbami, výskyt nežádoucích druhů fauny a flóry, požadavky na specifické druhy půdy, potřeba využití dalších mechanismů nebo nevole obyvatelstva.

Přínosem práce je vytvořený ucelený přehled o aktuálních skutečnostech a poznatcích ohledně MZI. Dosažené výsledky mohou být použity jako komplexní podkladový dokument k seznámení se s problematikou a implementací MZI. Takový dokument může posloužit laické veřejnosti nebo pro městské plánování jako zdroj informací v této oblasti. Práce poukázala na nedostatky v městském plánování některých z měst v České republice, které jsou oproti zahraničním zemím, jako je třeba Čína, pozadu.



## 10 Přehled literatury a použitých zdrojů

### Odborné publikace

Amani-Beni M., Zhang B., Xie G. -D., Shi Y., 2019: Impacts of Urban Green Landscape Patterns on Land Surface Temperature: Evidence from the Adjacent Area of Olympic Forest Park of Beijing, China. *Sustainability*, 11(2). S. 1-17.

Antoszewski P., Świerk D., Krzyżaniak M., 2020: Statistical Review of Quality Parameters of Blue-Green Infrastructure Elements Important in Mitigating the Effect of the Urban Heat Island in the Temperate Climate (C) Zone. *Int J Environ Res Public Health* 17 (19):7093. S. 1-36.

Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 s.

Booth D. B., Leavitt J., 1999: Field Evaluation of Permeable Pavement Systems for Improved Stormwater Management. *Journal of the American Planning Association*, 65 (3). S. 314-325.

Brears R. C., 2017: Urban water security. Chichester, West Sussex, England, Wiley, 320 s. ISBN 9781119131724.

Brears R. C., 2018: Blue and green cities : the role of blue-green infrastructure in managing urban water resources. Palgrave Macmillan, London, 318 s. ISBN 978-1-137-59257-6.

Brown R. R., Farrelly M. A., 2009: Delivering sustainable urban water management: a review of the hurdles we face. *Water Science and Technology* 59 (5). S. 839-846.

Clark S. E., Pitt R., Field R: 2010: Groundwater Contamination Potential from Infiltration of Urban Stormwater Runoff. In N. -B. Chang (Ed.), *Effects of Urbanization on Groundwater*. American Society of Civil Engineers. S. 119-164.

Cristiano E., Farris S., Deidda R., Viola F., 2023: How much green roofs and rainwater harvesting systems can contribute to urban flood mitigation? *Urban Water Journal* 20 (2). S. 140-157.

Čermáková B., Mužíková R., 2009: Ozeleněné střechy. Praha, Grada, 246 s. ISBN 978-80-247-1802-6.

- Dearborn D., Kark S., 2010: Motivations for Conserving Urban Biodiversity. *Conservation Biology* 24 (2). S. 432-440.
- Dietz M. E., Clausen J. C., 2008: Stormwater runoff and export changes with development in a traditional and low impact subdivision. *Journal of Environmental Management*, 87 (4). S. 560-566.
- Dunnett N., Clayden A., 2007: *Rain Gardens. Managing water sustainably in the garden and designed landscape*. Timber Press, 188 s. ISBN 978-0881928266.
- Evropská komise, 2013: *Zelená infrastruktura – zlepšování přírodního kapitálu Evropy*. COM (2013) 249. S. 1-12.
- Ferguson B., 2005: *Porous Pavements*. CRC Press, Boca Raton, 600 s. ISBN 9780429129308.
- Fletcher T. D., Andrieu H., Hamel P., 2013: Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, 51. S. 261-279.
- 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., 2014: SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal* 12 (7). S. 525-542.
- Foster J., Lowe A., Winkelman S., 2011: *The Value of Green Infrastructure for Urban Climate Adaptation*. Washington, D.C.: Center for Clean Air Policy, 52 s.
- Furberg D., Ban Y., Mörtberg U., 2020: Monitoring Urban Green Infrastructure Changes and Impact on Habitat Connectivity Using High-Resolution Satellite Data. *Remote Sensing*, 12(18). S. 1-29.
- Gill S. E., Handley J. F., Ennos A. R., Pauleit S., 2007: Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment* 33 (1). S. 115-133.
- Griffiths J., Chan F. K. S., Shao M., Zhu F., Higgitt D. L., 2020: Interpretation and application of Sponge City guidelines in China. *Philosophical Transaction a, The Royal Society Publishing* 378: 20190222. S. 1-20.

Hartig T., Mitchell R., de Vries S., Frumkin H., 2014: Nature and Health. Annual Review of Public Health 35 (1). S. 207-228.

Helfield J. M., Diamond M. L., 1997: Use of Constructed Wetlands for Urban Stream Restoration: A Critical Analysis. Environmental Management, 21 (3). S. 329-341.

Hlavínek P., Prax P., Kubík J., 2007: Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. Brno, ARDEC, 164 s. ISBN 978-80-86020-55-6.

Hsu D., Lim T. C., Meng T., 2020: Rocky steps towards adaptive management and adaptive governance in implementing green infrastructure at urban scale in Philadelphia. Urban Forestry & Urban Greening, 55. S. 1-10.

Hussein J., Salama M., Kumble P., Hanson IV, H., 2020: The Impact of the Relation Between Political Borders and Ecosystems in Creating Green Infrastructure Opportunities - the City of Prague. Preprints. S. 1-17.

Christman Z., Meenar M., Mandarano L., Hearing K., 2018: Prioritizing Suitable Locations for Green Stormwater Infrastructure Based on Social Factors in Philadelphia. Land, 7 (4). S. 1-17.

Kabisch N., Korn H., Stadler J., Bonn A., 2017: Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages Between Science, Policy and Practice. Cham, Springer International Publishing, 337 s. ISBN 978-3-319-56091-5.

Kopp J., Hejduková P., Ježek J., Kureková L., Vogt D., Roub R., Bureš L., a kol., 2022: Katalog opatření efektivního hospodaření se srážkovou vodou na rozvojových plochách urbanizovaných území. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 108 s.

Kopp J., Hejduková P., Ježek J., Kureková L., Vogt D., Roub R., Bureš L., a kol., 2023: Interdisciplinární přístupy efektivního hospodaření se srážkovou vodou na rozvojových plochách urbanizovaných území. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, 144 s. ISBN 978-80-261-1200-6.

Korenkova E. A., Shiryayeva N. A., Naumkin V. V., 2022: Analysis of the Prospects of Perennial Herbaceous Plants in Urban Landscaping for Creating Sustainable Floral Compositions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 988(4). S. 1-8.

- Kozak D., Henderson H., de Castro Mazarro A., Rotbart D., Aradas R., 2020: Blue-Green Infrastructure (BGI) in Dense Urban Watersheds. The Case of the Medrano Stream Basin (MSB) in Buenos Aires. *Sustainability*, 12(6). S. 1-30.
- Langie K., Rybak-Niedziółka K., Hubačíková V., 2022: Principles of Designing Water Elements in Urban Public Spaces. *Sustainability*, 14(11). S. 2-13.
- Lin Y., Wang Z., Jim C. Y., Li J., Deng J., Liu J., 2020: Water as an urban heat sink: Blue infrastructure alleviates urban heat island effect in mega-city agglomeration. *Journal of Cleaner Production*, 262. S. 1-8.
- Liu N., Liu C., Xia Y., Da B., 2018: Examining the coordination between urbanization and eco-environment using coupling and spatial analyses: A case study in China. *Ecological Indicators*, 93. S. 1163-1175.
- Marugg C., 2018: Vertical Forests: The Impact of Green Balconies on the Microclimate by Solar Shading, Evapotranspiration and Wind Flow Change, 125 s.
- 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 (3). S. 217-226.
- Nieuwenhuijsen M. J., 2021: Green Infrastructure and Health. *Annual Review of Public Health*, 42(1). S. 317-328.
- Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R. R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Köhler M., Liu K. K. Y., Rowe B., 2007: Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience* 5(10). S. 823-833.
- Ottel  M., Perini K., Haas E., Raiteri R., 2011: The green building envelope, Vertical greening. *Open Journal of Ecology*, 270 s. ISBN: 978-90-9026217-8.
- Paul M.J., Meyer J.L., 2001: Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32. S. 333-365.
- Pavel ik P., Kl p st  P., Lupa  M., Třebick  V., 2019: M sta a s deln  krajina  R v dob  zm ny klimatu: stru n  p ehled problematiky pro p edstavitele ve ejn  správy. *Rudn : CI2, o. p. s., 32 s.*
- Perini K., Rosasco P., 2013: Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment* 70(4). S. 110-121.

Prince George's County, ©1999: Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach. Department of Environmental Resources, Prince George's County, Maryland, 150 s.

Roy A. H., Wenger S. J., Fletcher T. D., Walsh C. J., Ladson A. R., Shuster W. D., Thurston H. W., Brown R. R., 2008: Impediments and Solutions to Sustainable, Watershed-Scale Urban Stormwater Management: Lessons from Australia and the United States. *Environmental Management*, 42 (2). S. 344-359.

Silva J. M. C. d., Wheeler E., 2017: Ecosystems as infrastructure. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(1). S. 32-35.

Stránský D., Hora D., Kabelková I., Salzman K., Suchánek M., Vacková M., Vítek J., 2021b: Analýza dokumentů pro koncepční hospodaření se srážkovou vodou v obcích, 58 s.

Stránský D., Hora D., Kabelková I., Vacková M., Vítek J., 2021a: Standarty hospodaření se srážkovými vodami na území hlavního města Prahy, 252 s.

Stránský D., Kabelková I., Bareš V., Bartáček J., Habr V., Hora D., Kříž K., Metelka T., Pánek P., Pelčák P., Suchánek M., Vébr L., Vítek J., Zadražilová M., 2019: Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích. 130 s.

Suleiman L., 2021: Blue green infrastructure, from niche to mainstream: Challenges and opportunities for planning in Stockholm. *Technological Forecasting and Social Change* 166. S. 1-12.

Suleiman L., 2021: Blue green infrastructure, from niche to mainstream: Challenges and opportunities for planning in Stockholm. *Technological Forecasting and Social Change*, 166. S. 1-12.

Sýkora J., 2016: Urbanismus a územní plánování: (venkovský prostor). Powerprint, Praha, 92 s. ISBN 978-80-7568-004-4.

Sýkorová M., Tománek P., Šušlíková L., Staňková N., Habalová M., Čtverák M., Macháč J., Hekrl M., 2021: Voda ve městě Metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu. *České vysoké učení technické*, Praha, 204 s.

Tang H., Liu W., Yun W., 2018: Spatiotemporal Dynamics of Green Spaces in the Beijing–Tianjin–Hebei Region in the Past 20 Years. *Sustainability*, 10(8). S. 1-16.

Trowsdale S. A., Simcock R., 2011: Urban stormwater treatment using bioretention. *Journal of Hydrology*, 397 (3-4). S. 167-174.

Tzoulas K., Korpela K., Venn S., Yli-Pelkonen V., Kaźmierczak A., Niemela J., James P., 2007: Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning* 81 (3). S. 167-178.

van der Hoeven F., Wandl A., 2015: Amsterwarm: Mapping the landuse, health and energy-efficiency implications of the Amsterdam urban heat island.: Mapping the landuse, health and energy-efficiency implications of the Amsterdam urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology* 36 (1). S. 67-88.

Vítek J., Vacková M., Vítek R., Pelčák P., Zadražilová M., Hora D., Soldán P., 2018: Hospodaření se srážkovými vodami – cesta k modrozelené infrastruktuře, Olomoucké stavební standardy k integraci modrozelené infrastruktury. *JV PROJEKT VH s.r.o.*, Brno, 122 s.

Vysloužil O., Sáňková Z., Tvrdá M., 2023: Metodika modrozelené infrastruktury statutárního města Ostravy. Ostrava, 61 s.

Wong N. H., Kwang Tan A. Y., Chen Y., Sekar K., Tan P. Y., Chan D., Chiang K., Wong N. C., 2010: Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment* 45 (3). S. 663-672.

Wood A., Bahrami P., Safarik D., 2014: Green Walls in High-Rise Buildings: An output of the CTBUH Sustainability Working Group. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Chicago. S 1-23.

### **Legislativní zdroje**

Zákon č. 254/2001 Sb.

Zákon č. 183/2006 Sb.

Vyhláška č. 501/2006 Sb.

Vyhláška č. 268/2009 Sb.

Zákon č. 274/2001 Sb.

Zákon č. 114/1992 Sb.

## **Ostatní zdroje**

Atamal. M., 2018: Factors that influence clogging mechanics in permeable pavement systems and solution suggestion to increase effective life. Edinburgh Napier university, School of Engineering & the Built Environment, Edinburgh. 73 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. Construction Project Management, Edinburgh.

Brattgård, N., 2021: Sustainable stormwater management in Stockholms inner city. KTH Royal institute of technology, School of architecture and the build environment, Stockholm. 41 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Swedish SBU.

## 11 Seznam obrázků

Obrázek 1: Ideál modro-zeleného města (Asio, ©2021) (online) [cit. 2024.01.03], dostupné z: <<https://www.asio.cz/cz/news/modrozelená-infrastruktura.1125>>

Obrázek 2: Zadržování plošného odtoku ve městech (Piráti Liberecký kraj, ©2020) (online) [cit. 2024.01.03.], dostupné z: <<https://liberecky.pirati.cz/aktuality/civilizace-vs-priroda-modro-zelena-infrastruktura-setri-krajinu-i-rozpocet/>>

Obrázek 3: Protipovodňové zábrany v Ústní nad Labem (Autor: Hauptvogelová, G. 2013)

Obrázek 4: Skupiny benefitů zelené infrastruktury (Autor: Evropská komise, ©2013)

Obrázek 5: The Urban Heat Island Effect (Moody's analytics, ©2024) (online) [cit. 2024.01.03] dostupné z: <<https://cre.moodyanalytics.com/insights/cre-news/why-is-it-hotter-in-cities-unpacking-the-urban-heat-island-effect/>>

Obrázek 6: Porovnání odtoku srážkových vod v přirozeném a urbanizovaném prostředí (Hospodaření s dešťovou vodou v ČR, ©2015)

Obrázek 7: Moderní způsoby využití MZI (LIKO-Noe, ©2018) (online) [cit. 2024.01.03], dostupné z: <<https://www.liko-noe.cz/cs/foto-a-video>>

Obrázek 8: Bosco Verticale v Miláně (Boeri Studio, Vertical Forest. Autor: Dimitar Harizanov, 2017)

Obrázek 9: Povrchová retenční nádrž bez zásobního prostoru (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 10: Povrchová retenční nádrž se zásobním prostorem (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 11: Podzemní retenční nádrž (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 12: Dešťový záhon (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 13: Rozdíl mezi extenzivní a intenzivní zelenou střechou (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 14: Systémy plošného vsakování (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 15: Průleh a rýha (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 16: Soustředěné povrchové vsakování (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)



Obrázek 17: Vsakovací galerie (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 18: Vsakovací šachta (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 19: Podzemní vsakovací drén (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 20: Akumulační nádrž (JV PROJEKT VH s.r.o., ©2018)

Obrázek 21: Umělý mokřad (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 22: Hlavní typy systému vertikální zeleně (Staffordshire University, ©2014) (online) [cit. 2024.01.13], dostupné z: <<https://www.staffs.ac.uk/>>

Obrázek 23: Bylinný záhon (JV PROJEKT HV s.r.o., ©2018)

Obrázek 24: Minimální velikost prokořenitelného objemu půdy podle velikosti koruny stromu (Treewalker, s.r.o., ©2019)

Obrázek 25: Schéma fontány (Dvůr, ©2022) (online) [cit. 2024.01.13], dostupné z: <<https://www.dvur10.cz/fontana>>