

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**  
**KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE**



**Monitoring přírodě blízkých řešení nakládání s vodami**  
**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.**

**Bakalant: Vladislav Vereshchagin**

2024

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vladislav Vereshchagin

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

**Monitoring přírodě blízkých řešení nakládání s vodami**

Název anglicky

**Monitoring of nature based solutions in water management**

---

### Cíle práce

Cílem práce je sestavit přehled dostupného technického vybavení pro monitoring přírodě blízkých řešení v systémech nakládání s vodami.

Práce bude zaměřena na dílčí hodnocení těchto systémů s ohledem na vybrané indikátory dopadů.

Dílčím cílem práce je popis senzorů pro vodní management, který bude v rámci praktické části práce doplněn a rešerší zaměřenou na zavádění inovativních přístupů a představení příkladů dobré praxe.

### Metodika

Práce je rešeršního charakteru, teoretická část čerpá zejm. z odborné literatur, praktická část pak z dostupných internetových zdrojů od výrobců a dodavatelů systému měření a regulace doplněných o publikované studie již instalovaných systémů. Práce bude rozdělena do čtyř tematických celků:

1. Teoretický úvod do problematiky přírodě blízkých řešení
2. Přístupy k hodnocení těchto systémů
3. Sběr dat – popis senzorů
4. Příklady dobré praxe

**Doporučený rozsah práce**

40 stran

**Klíčová slova**

kompostování, biologicky rozložitelný odpad, třídění odpadu, město Kadaň

---

**Doporučené zdroje informací**

Altman V., Vaculík P., Mimra M., 2010: Technika pro zpracování komunálního odpadu. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha: 120 s. ISBN 978-80-213-2022-2.

Benešová L., Černík B., Doležalová M., Havránková V., Kotoulová Z., Marešová K., Slavík J., 2011: Komunální a podobné odpady, Kleinwächter, Frýdek-Místek: 94 s. ISBN 978-80-901732-1-7.

Hřebíček J., 2010: Projektování nakládání s bioodpady v obcích. © nakladatelství MŽP, Praha: 103 s. ISBN 978-80-85763-67-6.

Pearsová, P., 2017: Kompost: Snadno a ekologicky, Praha: 192 s. ISBN: 978-80-7549-244-9.

Slavík, J., Čurda, S., Chorazy, T., Sobotka, L., Křístková, M., 2015: Institucionální a ekonomická analýza využití bioodpadu v obcích. IREAS, Institut pro strukturální politiku, Praha: 119 s. ISBN: 978-80-86684-97-0.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2020/21 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2021

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2021

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2021

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Monitoring přírodě blízkých řešení nakládání s vodami* vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze dne 28. 3. 2024

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych touto cestou poděkoval Ing. Tereze Hnátkové, Ph.D.za odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce.

# Monitoring přírodě blízkých řešení nakládání s vodami

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na významné aspekty ochrany vodních ekosystémů a zdrojů, které vyžadují další zkoumání. Jejím hlavním cílem je identifikovat klíčové motivace a cíle výzkumu a zdůraznit potřebu rozvoje monitorovacích struktur a přírodě blízkých opatření pro lepší ochranu vodních ekosystémů. Cílem autorů je nejen zaplnit mezery ve vědeckých poznacích, ale také najít praktická řešení pro zvýšení bezpečnosti vodních zdrojů v souladu s principy udržitelného rozvoje. Tato studie nabízí hloubkové analýzy, které obohacují naše znalosti o ochraně vodních ekosystémů a přispívají k rozvoji inovativních přístupů k jejímu zlepšení v kontextu současných výzev a požadavků udržitelného rozvoje.

## Klíčová slova:

Inovativní technologie, monitoring, kvalita vod, intravilán obce, extravilán obce, přírodní řešení, indikátor.

# **Monitoring of nature based solutions in water management**

## **Abstract**

This bachelor work is focuses on important aspects of water ecosystem and resource conservation that require further investigation. Its main objective is to identify key motivations and research objectives and to highlight the need for the development of monitoring structures and nature-based measures to better protect aquatic ecosystems. The authors aim not only to fill the gaps in scientific knowledge but also to find practical solutions to improve the security of water resources in accordance with the principles of sustainable development. This study offers in-depth analyses that enrich our knowledge on the protection of aquatic ecosystems and contribute to the development of innovative approaches to improve it in the context of current challenges and requirements of sustainable development.

## **Key words:**

Innovative technologies, monitoring, water quality, urban municipality, non-urban municipality, nature-based solution (NBS), indicator.

# Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíle práce .....	2
2.1 Hlavní cíl .....	2
2.2 Specifické cíle .....	2
3 Metodika .....	3
4 Vymezení problematiky .....	4
4.1 Problematika hospodaření .....	4
5 Nature-Based Solutions.....	7
5.1 Co je to Nature-Based Solutions (NBS).....	7
5.2 Proč používat NBS .....	8
5.3 Typy NBS zaměřené na hospodaření s vodními zdroji.....	9
6 Indikátory .....	12
6.1 Zkoumané indikátory .....	12
7 Metody monitoringu ve vodě.....	15
8 Výsledky .....	17
8.1 Zelená střecha.....	22
8.2 Suchá nádrž – poldr .....	26
8.3 Zelené fasády.....	27
8.4 Další vhodná NBS v rámci vodního managementu .....	30
9 Diskuse.....	33
10 Závěr a přínos práce .....	36
11 Přehled literatury a použitých zdrojů .....	38



# 1 Úvod

Tato práce se zabývá problematikou sledování přírodě blízkých řešení ochrany vod. Jeho hlavním cílem je analyzovat současný stav ochrany vodních ekosystémů a zdrojů se zaměřením na specifické aspekty vodního hospodářství, které dosud nebyly dostatečně prozkoumány. Tato úvodní část práce poslouží k nastínění důležitých motivací a záměrů, které vedly k realizaci této studie.

Současná ochrana vodních ekosystémů je nesmírně důležitá, protože voda je klíčovým zdrojem pro životní prostředí na Zemi. Ochrana vodních ekosystémů je spojena s mnoha výzvami spočívajícími ve znečištění vody, ztrátě biologické rozmanitosti a střídání klimatu. Prostřednictvím různých institucí již bylo vynaloženo značné úsilí na lepší ochranu a udržitelnou kontrolu vody. Přesto však existují oblasti, které vyžadují další zkoumání a rozvoj.

V kontextu této práce je zásadní otázkou, jak mohou být navrženy a použity sledovací struktury a odpovědi, které mohou být blízké přírodě a výkonné při obraně vodních ekosystémů. To zahrnuje nejen technické prvky, ale také pozornost věnovanou biologické rozmanitosti, udržitelnosti a společenským potřebám. Ačkoli některé prvky tohoto problému jsou již dobře zdokumentovány, existují určité mezery v odborných znalostech, které se tato práce snaží zaplnit.

V této souvislosti je velmi důležité zdůraznit, že tato práce se bude věnovat specifickým faktorům problémů kontroly vody, které dosud nebyly přesně prozkoumány, a to jak z hlediska vědeckých studií, tak z hlediska praktického využití. Jejím cílem je přispět k rozšíření znalostí a posílení bezpečnosti vodních ekosystémů v souladu s myšlenkami udržitelného rozvoje.

V následujících částech práce budou podrobněji rozebrány klíčové faktory vodohospodářské problematiky a nabídnuta technika studia.

## **2 Cíle práce**

### **2.1 Hlavní cíl**

Základním cílem této práce je reálně formulovaný přehled dostupného technického systému pro monitorování přírodně blízkých řešení v systémech nakládání s vodami.

Předpokládaným vlastním přínosem této práce bude poskytnutí uceleného přehledu technologických alternativ, které lze pro sledování vodních struktur využít. Získané odborné poznatky budou moci sloužit jako základ pro budoucí výzkum a rozhodování v oblasti ochrany vodního prostředí.

### **2.2 Specifické cíle**

Práce bude zaměřena na dílčí hodnocení těchto systémů s ohledem na vybrané indikátory dopadů, a to:

- Indikátor – Emise uhlíku,
- Indikátor – Teplota,
- Indikátor – Zranitelnost povodní,
- Indikátor – Zranitelnost suchem,
- Indikátor – Kvalita vody,
- Indikátor – Správa zeleně,
- Indikátor – Biodiverzita.

Dílčím cílem práce je popis senzorů pro vodní management, který bude v rámci praktické části práce doplněn o rešerši zaměřenou na zavádění inovativních přístupů a představení příkladů dobré praxe.

## 3 Metodika

Práce je rešeršního charakteru, teoretická část čerpá zejm. z odborné literatury, praktická část pak z dostupných internetových zdrojů od výrobců a dodavatelů systému měření a regulace doplněných o publikované studie již instalovaných systémů. Základem teoretického aspektu této práce je komplexní prozkoumání relevantních odborných zdrojů, které zahrnuje různé výzkumy v oblasti přírodě blízké řešení, systém hodnocení přírodě blízkých řešení, indikátory měření a technologie měření. Byl proveden důkladný průzkum ve vědeckých časopisech, digitálních knihovnách a databázích, jako jsou Mendeley, ScienceDirect, Národní technická knihovna, Knihovna ČZU a Springer. Prostřednictvím tohoto přístupu je komplexně řešen současný teoretický rámec problému, což umožňuje pochopit nejnovější pokroky ve výzkumu v této oblasti.

Z metodologického hlediska je hlavním aspektem zkoumání přírodních řešení (NBS) a jejich vlivu na vodní hospodářství. Příkladem takových řešení jsou umělé mokřady, zelené střechy a mnoho dalších, které nejenže splňují svoji funkci, ale lze je znovu vytvořit i ve velkých městech. Tento referát bude zkoumat, které z těchto technologií mají největší přínos pro vodárenství.

Praktická část práce spočívá v detailní analýze dostupných informací od výrobců a dodavatelů systémů měření a regulace. V této části se podíváme na výhody některých technologií s nevýhodami a účinností. Specifická pozornost bude věnována příkladům využití těchto technologií.

Práce bude rozdělena do čtyř tematických celků:

1. Teoretický úvod do problematiky přírodě blízkých řešení
2. Přístupy k hodnocení těchto systémů
3. Sběr dat – popis senzorů
4. Příklady dobré praxe

## 4 Vymezení problematiky

### 4.1 Problematika hospodaření

Problematika hospodaření s vodou je jednou z nejnáročnějších situací, kterým lidstvo v 21. století čelí. Mezi četné vnější faktory, které přispívají k této situaci, patří dopady klimatických změn a sucha. Nárůst počtu obyvatel měst má za následek zvýšení odpovědnosti, kterou je třeba odpovídajícím způsobem řídit. V posledních desetiletích zažívá mnoho částí světa rostoucí poptávku po vodě, znečištěné vodní zdroje a vážný nedostatek vody. Vedoucí a nenahraditelná role vody v udržitelném rozvoji je stále více uznávána, v některých zemích zůstává hospodaření s vodními zdroji a poskytování služeb souvisejících s vodou v rámci veřejného povědomí a vládních priorit. Klíčovým aspektem, který je třeba vzít v úvahu, je pochopení spravedlivé poptávky zákazníků a řešení problému nevyužité vody (non-revenue water-NRW). Jednou z hlavních překážek, které musí vodohospodářství řešit, je generování dostatečných příjmů. To je zvláště důležité vzhledem k rostoucímu počtu obyvatel. S rostoucí a intenzivnější poptávkou po vodě se efektivní hospodaření s vodou stává nezbytnou nutností. Za tohoto současného stavu je nezbytné využívat nejmodernější technologie a zavádět silnější opatření. Aby bylo možné účinně uspokojit poptávku po vodě, je nezbytné zavést vhodnější modely hospodaření.

Voda je důležitá pro životní styl, kondici, bezpečnost potravin, energetiku, podnikání a ekosystémy. Hospodaření s vodou je metoda efektivního a udržitelného plánování, rozvoje, rozdělování a monitorování vodních zdrojů na jedné z úrovní – místní, celostátní, regionální a mezinárodní. Vodní oblast však čelí mnoha náročným situacím, které ohrožují její udržitelnost a výkonnost.(EEA 2019)

Mezi hlavní problémy patří:

**Nedostatek vody:** Tým vědců pod vedením Ulfa Bentgena z Ústavu globální změny Akademie věd ČR zpracoval analýzou dubů nejpodrobnější data o letním zemědělském suchu ve střední Evropě. Podle jejich výsledků byl loňský rok nejsušším za 21102 let.

V důsledku toho je nedostatek vody pro základní potřeby, jako je pití, zemědělství, energie a udržování ekosystémů. Rozsáhlý výzkum ukázal, že nedostatek vody je celosvětovým

problémem, který ovlivňuje miliony lidí na celém světě. Jak se lidská populace neustále rozrůstá, poptávka po vodě se zintenzivňuje, což zatěžuje již tak omezené vodní zdroje. Navíc měnící se klimatické vzorce dále naruší dostupnost vody a zhorší již tak kritickou situaci. Přestože voda pokrývá 71 % zemského povrchu, pouze 3 % tvoří sladká voda a většina z nich je nepřístupná, protože je uzavřena v ledovcích a ledových čepicích. Zbývající sladká voda se nachází především v řekách, jezerech a podzemních vodonosných vrstvách. Bohužel mnoho z těchto vzácných zdrojů je náchylných ke znečištění, nadměrnému využívání a účinkům změny klimatu. (Buentgen\_2021\_NatureGS)

**Znečištění vody:** Problematika znečištění vod je závažnou záležitostí, která představuje hrozbu jak pro životní prostředí, tak pro dostupnost a kvalitu vodních zdrojů pro lidi. Znečištění vody může pocházet z mnoha zdrojů, jako jsou průmyslové činnosti, zemědělské postřiky, komunální odpadní vody, těžební operace a lodní doprava. Tyto zdroje mají potenciál vnášet do vody škodlivé látky, včetně mikroorganismů, chemikálií, těžkých kovů, plastů a hormonů. Znečištěná voda může mít neblahý vliv na lidské zdraví, vést k řadě nemocí, alergií, a dokonce i rakovině a zároveň ohrožovat imunitu. Znečištěná voda navíc narušuje ekosystémy a biologickou rozmanitost, způsobuje škody na stanovištích, snižuje produktivitu, podporuje invazivní druhy a zasahuje do potravního řetězce. Proces čištění znečištěné vody je zásadním krokem k ochraně a obnově vodních zdrojů. V závislosti na typu a rozsahu znečištění se pro čištění vody používají různé metody a technologie, které mohou být časově, finančně i energeticky náročné.

**Ztráty vody:** Přestože se ztráty vody v České republice snižují, podle odhadu Organizace pro výživu a zemědělství (FAO) světové zásoby vody pokračuje klesat. Vodní oblast trpí nadměrnými ztrátami vody v důsledku neefektivního hospodaření, stárnoucí infrastruktury, úniků a poruch. Ztráty vody snižují příjmy vodárenských společností, zvýší poplatky za provoz a údržbu a snižují tlak a příjemnost dodávané vody.

**Povodně:** Jednou z nejzávažnějších přírodních katastrof, které ohrožují lidi i majetek, jsou povodně. Ty mohou být způsobeny několika faktory, včetně extrémních srážek, tání ledovců, seismické aktivity, sopečných erupcí, protržení přehrad a lidských zásahů do životního prostředí. Následky povodní mohou být katastrofální a vést k významným

škodám na obydlích, zemědělství, dopravě, energetice, zdraví a bezpečnosti. Kromě toho mají povodně také škodlivý dopad na životní prostředí, například znečišťují pitnou vodu, erodují půdu a ničí biologickou rozmanitost. K povodním dochází často v mnoha regionech světa a je zásadní přijmout účinná opatření pro prevenci a reakci se zapojením státních orgánů, mezinárodních organizací a občanské společnosti.

**Nedostatek finančních prostředků:** Vodohospodářský sektor nutně potřebuje důslednou finanční podporu na obnovu a posílení své infrastruktury, výrobních kapacit a lidských zdrojů. Přidělování finančních prostředků je nezbytné pro zlepšení kvality a dostupnosti dodávek vody, snížení ztrát a znečištění, přizpůsobení se měnícím se povětrnostním podmínkám a dodržování předpisů vydaných evropskými orgány. Financování v oblasti vodního hospodářství je však nedostatečné.

Hospodaření s vodou je zásadním aspektem ekonomiky i životního prostředí. Vodohospodáři zodpovídají za zajištění čisté vody, zabezpečení proti povodním, čištění odpadních vod, zavlažování, výrobu elektřiny a další související služby. Udržitelnost a účinnost vodního hospodářství je však ohrožena v důsledku různých problémů, které představují značné problémy.

## 5 Nature-Based Solutions

### 5.1 Co je to Nature-Based Solutions (NBS)

Koncept Natural-Based Solutions neboli přírodě blízké řešení, je stále předmětem diskuse a výzkumu, neboť není jednoznačně definován ani vymezen. NBS jsou založeny na využití přírodních procesů a ekosystémů pro řešení společenských výzev, jako je změna klimatu, znečištění, ztráta biologické rozmanitosti nebo sociální nerovnost. NBS mají potenciál přinést mnoho ekonomických, environmentálních a sociálních přínosů, pokud budou správně navrženy a implementovány.

IUCN nedávno provedla průzkum. Krátká konzultace s praktickým odborníkem a akademiků prostřednictvím svých základ pro stanovení definice IUCN pro NBS. Rámec zahrnuje Tři složky: (i) Celkové cíle NBS, (ii) definice NBS a (iii) seznam cílů NBS. Na základě těchto tří částí IUCN definuje NBS následujícím způsobem: *„Opatření na ochranu, udržitelnou správu a obnovení přirozených nebo modifikovatelných ekosystémů, které řeší společenské výzvy efektivně a adaptivně, současně poskytují lidstvu blahobyt a přínosy pro biologickou diverzitu“*. (E Cohen-Shacham et al. 2016)

Koncept řešení založených na přírodě (NBS) je v současnosti diskutovaným tématem a neexistuje univerzální shoda na jeho definici či rozsahu. Někteří političtí aktéři prosazují široký výklad NBS, který zahrnuje všechna řešení společenských problémů, která jsou buď inspirována nebo podporována přírodou. Naproti tomu Evropská komise, která prosazuje podporu NBS v politice a výzkumu, ji původně definovala jako mající konkrétnější rozsah (Nature-Based Solutions for More Sustainable Cities), zahrnující *„řešení, která jsou inspirována a podporována přírodou, která jsou nákladově efektivní, současně poskytují environmentální, sociální a ekonomické výhody a pomáhají budovat odolnost. Taková řešení přinášejí rozmanitější příroda a přírodní rysy a procesy do měst, krajin a mořských krajin, prostřednictvím místně přizpůsobených, zdrojově efektivních a systémových zásahů“*. (EC, 2015)

Přítomnost přírodních prvků v městském prostředí vytváří příležitosti pro různé disciplíny, jako je urbanismus a inženýrství. Koncept bio-mimikry byl s velkým efektem aplikován jak v architektuře, tak v inženýrství. Hledáním inspirace v přírodě se nám

podářilo vytvořit inovativní a udržitelné návrhy, které jsou účinné a zároveň esteticky příjemné. Kromě toho je v posledních letech stále populárnější použití systémů dešťové vody. Tyto systémy umožňují efektivní řízení a filtraci odtoku dešťové vody, snižují riziko záplav a minimalizují dopad na životní prostředí.

I když neexistuje žádná univerzální definice přírodě blízkých řešení, obvykle zahrnují práci s přírodními systémy, nikoli proti nim, aby byly přínosem jak pro lidi, tak pro životní prostředí. Tato řešení mohou zahrnovat činnosti, jako je zalesňování, obnova mokřadů a rozvoj zelené infrastruktury.

## 5.2 Proč používat NBS

Roste povědomí o tom, že udržitelná řešení lze nalézt následováním přírodního prostředí. Přírodě blízká řešení (NBS) mají potenciál poskytovat jak procesy přírodních ekosystémů, tak i služby. Namísto snahy o jediné řešení je výhodné hledat univerzální a účinné alternativy, které mohou sloužit více účelům. Inspirací přírodou můžeme vytvářet řešení, která napodobují její design a funkce. Je možné usnadnit ekonomiku, která šetří zdroje, tím, že zaujmeme opačný postoj. Politický program pro výzkum a inovace v rámci Evropské unie týkající se řešení založených na přírodě a denaturalizace městských oblastí se snaží stanovit konkrétní cíle.

Hlavními cíli EU v oblasti NBS a opětovného zrání měst jsou (Chrysi Laspidou et al. 2018):

1. Zlepšit rámcové podmínky pro řešení založená na přírodě na politické úrovni EU.
2. Vytvořit evropské výzkumné a inovační společenství pro řešení založená na přírodě.
3. Poskytnout důkazní a znalostní základnu pro řešení založená na přírodě.
4. Podporovat vývoj, zavádění a rozšiřování inovativních řešení založených na přírodě.
5. Začlenit NBS do mezinárodní agendy výzkumu a inovací.

Evropa se stala inovátorem v konceptu "Inovace s přírodou" jako prostředku k dosažení udržitelných a odolných měst. Nákladově efektivní řešení společenských problémů, která jsou inspirována přírodou, pomáhají vytvářet relevantní environmentální, sociální a ekonomické přínosy a napomáhají při vytváření přizpůsobivé městské infrastruktury. Ačkoliv NBS nejen šetří náklady na provoz a údržbu, ale také zlepšují veřejné zdraví



a podporují sociální soudržnost. Navíc přispívají k dlouhodobé udržitelnosti našeho ekosystému a zmírňují pravděpodobnost katastrof způsobených změnou klimatu. Je proto nezbytné podporovat výzkum a inovace v oblasti udržitelných řešení a zvyšovat povědomí o jejich výhodách pro společnost i životní prostředí.

Koncept zastřešující NBS vznikl jako prostředek ke zlepšení městského prostředí. Pro řešení problémů spojených se změnou klimatu je nezbytné rozvíjet odolnost. To znamená rozvíjet schopnost přizpůsobit se změnám a vytrvat v obtížných podmínkách a zároveň aktivně čelit hrozbám, které změna klimatu představuje.

Činnost přispívající ke splnění různých cílů udržitelného rozvoje (SDGs) má zásadní význam. Mezi ně patří cíl SDG 3, který se týká dobrého zdraví a pohody, cíl SDG 6, který se zaměřuje na čistou vodu a hygienu, cíl SDG 11, který se zabývá udržitelnými komunitami a městy, cíl SDG 13, který se snaží řešit opatření v oblasti klimatu, a cíl SDG 15, který se týká mimo jiné života na zemi. Problematika změny klimatu představuje v městských oblastech mnoho překážek, zejména pro větší města, která jsou vůči jejím dopadům obzvláště zranitelná. V nadcházejících desetiletích se očekává, že změna klimatu bude mít významné dopady. Navíc se předpokládá, že růst městské populace tyto dopady ještě zhorší (UN-Habitat 2017).

### **5.3 Typy NBS zaměřené na hospodaření s vodními zdroji**

Význam NBS při řešení problémů s dostupností vody a hospodařením s ní v městském prostředí zdůraznily UNESCO (2018) a Evropská komise (EK). Evropská komise (2015) považuje NBS za klíčový prvek své politické strategie pro obnovu přírody ve městech vzhledem k jejich schopnosti řešit různé společenské výzvy. Při hodnocení NBS je třeba brát v úvahu nejen schopnost jejich infrastruktury zvládat náhlé hrozby, jako jsou povodně, ale také trvalé výzvy, které vznikají po delší dobu v důsledku změny klimatu, například změna hladiny podzemní vody.

Běžným příkladem jsou zelené střechy. Městská centra mají velké množství střech, které jsou ideální pro použití.

Nedostatek solárních systémů je běžným problémem mnoha městských střech, což vytváří příležitost k maximálnímu využití současných nemovitostí. Modernizace střech zelenými

střechami může přinést značné výhody pro hustě osídlené městské oblasti. Využitím různých hloubek substrátu, rostlin a odvodňovacích sítí mohou zelené střechy vytvořit ekosystém, který funguje jako náhradní prostředí na běžných střechách. Tyto zelené střechy v podstatě fungují jako funkční součást městského prostředí. Podporují izolaci a snižují okolní teplotu střechy, další vrstvy na povrchu střechy mohou také bránit pronikání tepla do pláště budovy. Prostřednictvím evapotranspirace a blokování nebo odražení slunečního záření může vegetace vysazená na střeše snížit absorbované teplo budovou. Pro urbanisty, kteří chtějí bojovat proti efektu městského tepelného ostrova (UHI), může být začlenění zelených střech s vegetačními vrstvami užitečnou strategií. To je zvláště důležité vzhledem k omezenému prostoru městského prostředí pro vegetaci.

Ascione et al. (2013) v roce 2013 zkoumali spotřebu energie různých typů zelených střech ve srovnání s konvenčními střechami a variantami s chladným povrchem v řadě evropských regionů. Výsledky ukázaly, že na základě odrazivosti slunečního záření v daném místě mohou zelené střechy přinést snížení spotřeby energie o 0-11 % v teplejších regionech a 1-7 % v chladnějších regionech.

Za další často používaný NBS lze považovat mokřady. V porovnání s běžnými alternativami infrastruktury mohou mokřady často poskytovat konkurenceschopné a konzistentnější služby v oblasti regulace vody a zároveň přinášet řadu vedlejších sociálních a ekonomických výhod. Mokřady mohou využívat své vrozené schopnosti zpracovávat a zachycovat odpadní vody, a přispívat tak k udržení čistoty vody. Díky pomoci mikroorganismů, které se nacházejí v sedimentech a vegetaci v půdě, lze z vody odstranit mnoho různých druhů znečišťujících látek. Tím, že rozkládají škodlivý odpad, jsou schopny snížit koncentraci toxických látek a patogenů. Nicméně mokřady mají určitý práh, a pokud je tento limit překročen, jejich schopnost čistit znečištění se může vyčerpat a může trvat poměrně dlouho, než se obnoví jejich produktivita na plnou kapacitu. Mokřady, ať už chráněné, obnovené nebo vybudované, mohou poskytovat čistou vodu pro tyto různé účely. Pozoruhodná schopnost mokřadů zadržovat velké množství vody a postupně ji vypouštět má zásadní význam pro regulaci vodních hladin v obdobích sucha a při povodních.

Ve snaze napodobit přirozené hydrologické funkce mokřadů byly vytvořeny konstruované mokřady. Díky tomu se staly ceněným biologickým prostředkem čištění odpadních vod, někdy jako alternativa nebo doplněk k běžným čistírnám. Jsou zvláště cenné pro kontrolu znečištění živinami v různých proudech odpadních vod. Vybudované mokřady mohou také zmírňovat povrchový odtok z městských i venkovských oblastí, včetně zemědělských nebo chovatelských polí, tím, že snižují rychlost proudění vody a zároveň odstraňují živiny a sedimenty. V konečném důsledku tyto mokřady pomáhají zvládat znečištění po proudu a zvyšují kvalitu vody a zároveň regulují sucho a povodně.

Bioretenční systémy (BRS) využívané pro hospodaření s dešťovou vodou jsou známé jako udržitelné NBS. BRS instalované v blízkosti zdroje dosahují mnoha cílů, jako je snížení objemu odtoku, tlumení špičkových průtoků a dekontaminace srážkových vod. Hlavními faktory ovlivňujícími hydrologickou výkonnost bioretenčních zařízení jsou jejich vnitřní konfigurace a velikost, které mohou snížit objem odtoku o působivých 54-98 %. Do povrchové mulčovací vrstvy, která je jedním z hlavních prvků typické BRS, se vysazují různé druhy vegetace. Mezi tuto vegetaci a systém spodního odvodnění je vložena střední vrstva, která nese název biofiltrační médium-infiltrační zóna. Tato vrstva obsahuje zeminu, písek, šterk a/nebo organické médium. Pod ní se nachází drenážní vrstva, která se nachází v nejspodnější části BRS. Jakmile je vyčištěný odtok zachycen ze systému spodních drenáží, je buď odváděn odtokem do recipientu, nebo je bez prodlení odeslán k doplnění hladiny podzemní vody. Aby bylo možné řešit požadavky na čištění dešťových vod a také dodržovat místní zákony o čistotě vody, je třeba provést změny v návrhu BRS. Ty mohou zahrnovat taková opatření, jako je úprava hloubky a složení filtračního média a výsadba široké škály a vysoké hustoty rostlinných druhů. Další možností je přidání vnitřní zóny pro akumulaci vody. K zajištění dlouhodobé účinnosti jejich biofiltrace by pomohla instalace porézní dlažby před BRS, která by eliminovala suspendované látky.

Hmotnost znečišťujících látek v dešťové vodě lze účinně snížit pomocí BRS. Pomocí těchto systémů lze rovněž řídit hydrologii. Je třeba si uvědomit, že odstraňování znečišťujících látek je ovlivněno různými faktory včetně konfigurace systémů, médií a vlastností vegetace. (Opperman et al. 2013).

## 6 Indikátory

### 6.1 Zkoumané indikátory

Pro posouzení efektivity NBS ve vodním hospodářství musí být k dispozici přesné a relevantní údaje. V důsledku toho v rámci této studii byly do tohoto šetření začleněny nejvýznamnější ukazatele, jako je teplota, kvalita vody, zranitelnost povodní a zranitelnost suchem. A následně prozkoumaný technologie, které se k měření těchto ukazatelů nejčastěji používají.

Teplota je zásadním ukazatelem pro sledování účinnosti NBS ve vodním hospodářství. Tím, že může ovlivnit účinnost přírodě blízkých řešení následujícími způsoby.

Energetická účinnost systému může být ovlivněna **teplotou**. Příkladem toho je vliv vysoké teploty vody, která může přinutit systém pracovat nadměrně, což má za následek sníženou účinnost. Účinnost a rychlost biologických procesů včetně rozkladu organické hmoty. Extrémní teploty, ať už příliš nízké nebo příliš vysoké, mohou mít dopad na rychlost těchto procesů, což má za následek snížení účinnosti a celkového výkonu systému.

Mezi nejpřesnější a běžně používané technologie měření teploty patří teploměry, infračervené kamery a dataloggery. Teploměry jsou jednoduchá zařízení používaná pro měření teploty vzduchu, zatímco infračervené kamery jsou účinnější při měření teploty na velkých plochách. Naopak využití dataloggerů je schopno sledovat změny teploty za určitou dobu. Navzdory užitečnosti každé technologie existují také určitá omezení, která je třeba zvážit před výběrem vhodné technologie pro hodnocení NBS. Rozhodnutí, kterou technologii použít, nakonec závisí na konkrétních příkladech aplikací NBS.

*Kvalita vody* je dalším důležitým ukazatelem pro hodnocení účinnosti řešení založených na přírodě. K tomu se používají různé technologie pro měření kvality vody, jako jsou pH metry, měřiče rozpuštěného kyslíku a měřiče zákalu. Nicméně každá technologie má svá omezení a pro získání úplnějšího obrazu se doporučuje používat je v kombinaci s jinými měřicími nástroji. Například měřiče rozpuštěného kyslíku mohou měřit pouze hladiny kyslíku ve vodě, zatímco pH metry mohou měřit pouze úroveň kyselosti. Kombinace

různých technologií a zohlednění konkrétního typu NBS je proto zásadní pro zajištění přesnosti hodnocení kvality vody.

Průzkum identifikuje standardizovaný srážkový index (SPI) a Palmerův index závažnosti sucha (PDSI) jako běžně používané technologie pro měření indexů sucha. Nicméně pro přesnější měření vlivu sucha na ekosystémy musí být tyto technologie doplněny o další měření, jako jsou půdní vlhkost a vegetační indexy.

Po přezkoumání možných technologií měření indikátorů, jakož i studií, v nichž byly technologie použity právě pro určitý NBS, Byla sestavena tab. 1, která ukazuje, které měřítka byly měřeny v případě různých NBS.

Tab. 1 Příklady měřitek a technologií u různých NBS

	<b>Měřítka</b>	<b>Technologie</b>
<b>Teplota</b>	Průměrné nebo maximální denní místní teploty (°C)	Terénní měření na místě – Nikon Forestry pro Laserový dálkoměr; ENVI-Met (Ali et al. 2021)
	Riziko vlny horka: počet kombinací tropických nocí (>20°C) a horkých dnů (>35°C)	HOBO; datové záznamy CR1000; půda, senzory teploty a vlhkosti; a půdní měřiče tepelného toku (Zheng et al. 2021)
	Efekt městského tepelného ostrova (UHI)	Dálkový průzkum (Landsat a MODIS) (Bird et al. 2022)
	Globální záření, vzduch teplota, relativní vlhkost vzduchu, vítr a srážky	Meteorologická stanice, termorezistory PT100 (Olivieri et al. 2017)
	Transpirace (např. vlastnosti listové plochy)	Planimetr; pozemní skenování LiDAR; Občanská věda (Ngao et al. 2021)
<b>Zranitelnost povodní</b>	Maximální výška povodně	Časoběrné video, tlakové senzory a elektromagnetické měřiče proudu
	Doba do dosažení kulminačního bodu povodně	Časoběrné video, tlakové senzory a elektromagnetické měřiče proudu
	Odtok ve vztahu k množství srážek	konvenční zpracování půdy, redukováné zpracování půdy a řízené zatravnění, travním porostem kontrolovaným sečením v průběhu roku, respektive na třech parcelách (Biddoccu et al. 2013)
	Infiltrační kapacita	Hortonovský odtok, databáze (Kõiv-Vainik et al. 2022)
	Evapotranspirace	(Reis et al. 2023)

	<b>Měřítko</b>	<b>Technologie</b>
<b>Kvalita vody</b>	Základní kvalita vody (pH, teplota, EC, DO, průtok)	Odběr vzorků vetiveru a laboratorní analýza
	Dusík a fosfor v povrchových a/nebo podzemních vodách	Odběr vzorků vody a laboratorní analýza (Jarvie et al. 2020)
	Kovové znečišťující látky v povrchové a/nebo podzemní vodě	Laboratorní studie založené na standardních metodách (Geronimo et al. 2019)
	Celkové nerozpuštěné látky (TSS)	Polní spektrofotometr; Turbidimetr; respirometrický BOD OxiTop; multisenzor měřič (Dal Ferro et al. 2021)
	Vypouštění znečišťujících látek do místních vodních útvarů	Laboratorní odběr vzorků pomocí senzorů včetně WTW Multi 3320 přenosná dvoukanálová sonda, AL450 Multidirect fotometr (Boano et al. 2021)
	Celkový počet a druhy bohatství vodních makrobezobratlých	Měření na místě pomocí digitálních sond. (Maceda-Veiga et al. 2022)
<b>Zranitelnost suchem</b>	Hloubka k podzemní vodě; indexy sucha	Standardizovaný srážkový index (SPI) a Palmerův index závažnosti sucha (PDSI) (Abrar Faiz et al. 2022)
	Využití dešťové vody nebo šedé vody pro účely zavlažování.	Model simulace vodní bilance (WBSM) (Rahman et al. 2012)

Zdroj: vlastní zpracování

Efektivita ve vodním hospodářství je závislá na výběru jak vhodného parametru, tak technologie pro danou NBS. I když každá technologie má svůj vlastní soubor výhod a nevýhod, použití více technologií může nabídnout komplexnější pochopení měřených ukazatelů. Lze konstatovat, že výběr správné kombinace technologie a parametru je zásadní pro přesné hodnocení účinnosti ve vodním hospodářství.

## 7 Metody monitoringu ve vodě

Byla vypracována srovnávací tabulka (viz tab. 2 níže), která slouží k porovnání vybraných technologií. Pro lepší analýzu byla upřesněna stanoviště i cíle použití těchto technologií. Pro metody monitorování bylo vybráno několik nejlepších řešení, která mohou poskytnout přesné údaje pro zjišťování účinnosti. Pro některé typy přírodně blízkých řešení bude nutné použít více technik pro zjištění efektivity.

Tab. 2 Porovnání vybraných technologií NBS v rámci nakládání s vodami

Typ NBS	Cíl	Lokalita	Metoda monitoringu	Příklad
Zelená střecha	Hospodaření s dešťovou vodou	Peking, Čína	HOBO U30: systém sklápěcích lopatek	Městské zelené střechy pro řízení mikroklimatu na střeše: případová studie ze Sydney v Austrálii
Výsadba vegetace na svazích	Prevence eroze a zvýšení biodiverzity	hory Jeseníky	Terénní průzkumy a fotopasti	Kontrola vegetace na svazích a sčítání druhů savců
Vytvoření rybníka	Zlepšení vodního režimu a zvýšení biodiverzity	Přírodní park Český kras	Pozorování ptáků a vodních organismů	Sčítání druhů ptáků a vodních organismů

Zdroj: vlastní zpracování

Na podkladě výše uvedené tabulky vyplývá, že jednotlivé typy NBS vyžadují také odlišné metody monitoringu. V případě zelených střech, jejichž primárním cílem je dosáhnout efektivního hospodaření s dešťovou vodou, se jeví jako vhodné využít k monitoringu systém sklápěcích lopatek, což bylo také aplikováno v případové studii městské zelené střechy v Sydney v Austrálii. Dalším možným opatřením je vytvoření rybníku, který umožňuje zlepšit vodní režim a zvýšit biodiverzitu. To je důležitý cíl i jiných NBS, jako např. výsadby vegetace na svazích. V obou konkrétních případech se osvědčily především terénní výzkumy, kdy se např. pozoruje počet ptáků a vodních organismů u daného typu NBS.

Přehledem a vzájemných srovnáních aplikovaných senzorů a monitorovacích technik se zabývaly i dvě rešeršní studie (Kumar et al. 2021; Anderson et al. 2023). Kumar et. (2021) přehledně sumarizuje jednotlivé monitorovací techniky na základě toho, v jaké zemi byly aplikovány. Např. v Rakousku lze k vyřešení problému sesuvů půd využít NBS, jako jsou drenážní rýhy, vypouštění povrchových vod, odvodňovací rýhy či utěsnění kanálů a toků, čímž se zabrání infiltraci. V těchto případech se jako nejvhodnější jeví monitorovat stav půdní vody pomocí TDR. Vhodné jsou i další senzory či techniky, jako jsou sondy, terénní pozorování, ale i dálkový průzkum Země. Ve Finsku se monitorovaly přínosy NBS, které umožní vyrovnat se se zátěží různých látek a sedimentů ve vodě. Proto se za tímto účelem hodnotila efektivita NBS, jako jsou mokřady, různé typy nádrží či regulace kulminačního odtoku. K tomu se využívalo těchto monitorovacích technik: zhodnocení kvality vody, hodnocení jednotlivých sedimentů apod.

Rešeršní studie Andersena et al. (2023) se zaměřila přímo na zhodnocení konkrétních NBS z hlediska použitých monitorovacích technik a senzorů. Ty se vzájemně odlišují podle typu NBS a dle toho, jaký problém či riziko má NBS vyřešit. Podobně jako bylo uvedeno v dané tab. 2, tak i tato studie došlo k závěru, že vhodnou monitorovací technikou u zelených střech je HOB0 U30: systém sklápěcích lopatek (tím lze velmi efektivně zhodnotit účinnost zelených střech v návaznosti na její cíl hospodaření s dešťovými vodami). Blíže je tato problematika řešena v následné kapitole.



## 8 Výsledky

Tato kapitola představuje praktickou část bakalářské práce přinášející na základě rešerše dostupných informací výrobců, dodavatelů, strategických dokumentů a již publikovaných odborných studií a výzkumů důležité poznatky o využitelných technologiích NBS ve vztahu k vodnímu hospodářství (managementu). Jde o typy přírodě blízkých řešení, jako je např. zelená střecha, modrozelená střecha, bio filtrace/retenční systémy, vybudované mokřady, lesnictví, louky a pastviny či zelené stěny (Anderson *et al.* 2023). Některé tyto systémy budou představeny právě v této kapitole, z níž vyplynou příklady dobré praxe z České republiky a zahraniční a taktéž používané technologie a senzory výrobců.

V této souvislosti je zapotřebí uvést i několik souhrnných informací ze zrealizovaných studií ve vztahu k NBS v rámci vodního hospodaření. NBS se v této souvislosti chápe jako určitý zastřešující koncept, jehož součástí je řada akcí, jako např. adaptace na ekosystémy či zelená infrastruktura. Jde tedy o různá technická opatření, zařízení a instalace, které se používají jako doplňující nebo nahrazující funkce ekosystémů. Zmínit je možné např. sběr, čištění a skladování vody. V rámci vodního hospodaření s vnitrozemskými vodními zdroji lze za jeden z možných příkladů NBS zmínit používání nárazníkových pasů, které zmírňují difúzní znečištění, chrání biologickou rozmanitost, snižují erozi břehů řek a zvyšují estetickou hodnotu krajiny. V případě obnovy řek se má docílit vrácení původních útvarů do takového stavu, který povede k poskytnutí vyššího objemu ekosystémových služeb. Další potenciální opatření umožní zadržovat vodu, jejímž následkem bude zmírnit riziko povodní. Příkladem takového typu NBS je i umělý potok. Každý typ NBS je spojen s různými typy benefitů, přičemž lze podle studie autorů Souliotis a Voulvoulis (2022) zmínit následující:

- Opětovné napojení řek na záplavová území – umožňuje odstraňovat bariéry podél toku řeky, přínosy: regulace zásobování vodou, zmírňování rizika povodní, čištění vody, snížení eroze, zvýšení biodiverzity, možnost rekreace, doplňování živin, odolnost vůči extrémním klimatickým jevům, vzdělávací příležitosti, možnosti obnovy.
- Zalesňování – zajištěno nárůstem počtu stromů a dalších druhů vegetace v povodí. Přínosy: regulace zásobování vodou, zmírňování povodní, čištění vody, kontrola

eroze, zajištění biodiverzity, možnosti rekreace a turistiky, regulace klimatu, možnosti obživy.

- Půdy a vegetace – docíleno udržováním dobré struktury půdy a vegetace. Přínosy: zvýšení drenáže, zlepšení kvality vody, zvýšení produkce plodin, zajištění odolnosti vůči extrémním klimatickým jevům.
- Nárazníkové pásy – vznik vegetačních ploch mezi vodními toky a suchozemskými ekosystémy. Přínosy: zmírňování povodní, docílení čistších vod, snížení eroze, regulování teploty vody zajištěním stínování, zvýšení biologické rozmanitosti, možnosti rekreace, estetická funkce.
- Mokřady – výstavba mělkých vegetačních vodních ploch. Přínosy: regulace zásobování vodou, zmírňování povodní, zajištění vyšší kvality vody, regulace teploty vody, možnosti obživy, vyšší odolnost vůči extrémních klimatických jevům, estetická funkce.
- Obnova řek a mokřadu – zajištění obnovením přirozených procesů vodních útvarů. Přínosy: regulace zásobování vodou, eliminace rizika vzniku záplav, estetická funkce, zvýšení biodiverzity, rekreace a cestovní ruch.
- Udržitelné odvodňovací systémy – vznik drenážních systémů řídicí srážky. Přínosy: zásobování vodou, zmírňování vzniku povodní, doplňování podzemních vod, zlepšování kvality vody, estetická funkce

Uvedená studie autorů Souliotis a Voulvoulis (2022) předkládá na případové studii řeky Ingol způsoby, jak lze monitorovat některé indikátory hodnotící přínosy mokřadů. Jde především o vyhodnocení konkrétních hodnot těchto látek, jako jsou dusičnany, fosfát, uhlík. Taktéž byla hodnocena sekvestrace uhlíku v různých typech mokřadů (např. v rybnících, záplavových oblastech, ve vybudovaných mokřadech či na mokřadních loukách). Nejnižší hodnotu sekvestraci uhlíku vykazuje mokřadní louka (0,169 t CO<sub>2</sub> na 1 ha za rok), naopak nejvyšší rybníky (16,12 t CO<sub>2</sub> na 1 ha za rok)

Studie autorského kolektivu Kumar et al. (2021) přináší důležité informace o metodách monitorování účinnosti některých typů NBS při zmírňování hydrometeorologických rizik. Přináší důležité poznatky metodách, v jejichž rámci se využívají měřicí stanice či bezdrátová senzorová síť, ale také o metodách pomocí dálkového průzkumu (např.

s využitím multispektrových a radových senzorů). Níže je podáván přehled jednotlivých typů NBS, monitorovacích technik, druhů sběru dat a v neposlední řadě i výkonových indikátorů vybraných NBS vedoucí ke snížení rizika povodní (Kumar et al., 2021):

- Mokřady (na příkladu Číny) – monitorovací technikou byl srážkoměr, teploměr, proudoměr, vlkoměr a anemometr, na základě toho byly shromážděny údaje, jako je denní množství srážek, teplota, rychlost větru, relativní vlhkost, sluneční energie, ukazatelem výkonnosti byl vrchol povodní a snížení sucha.
- Mokřady (zaměřeno globálně) – využito monitorovacích technik, jako je teploměr a srážkoměr. Sesbíranými daty byla teplota, denní množství srážek, množství odtoku vody, evatranspirace. Ukazatelem výkonnosti se stalo zlepšení kvality vody, regulace vlhkosti půdy, riziko povodní a snížení eroze.
- Slatiny, mokřady (Nizozemsko) – využito monitorovacích technik, jako je fatomer, SONAR (zvuková navigace a měření vzdálenosti), satelitní výškoměr, vlnoměry (systémy oceánských senzorů). Sesbíranými daty byla terénní měření na dvou slatinných bažinách, hodnoceny byly údaje o hladinách oceánských vod, rychlosti větru či oceánského proudu. Ukazatelem výkonnosti se stalo riziko povodní a snížení eroze.
- Slatiny, mokřady (Nizozemsko) – využito monitorovacích technik, jako je fatomer, SONAR (zvuková navigace a měření vzdálenosti), satelitní výškoměr, vlnoměry (systémy oceánských senzorů). Sesbíranými daty byla terénní měření na dvou slatinných bažinách, hodnoceny byly údaje o hladinách oceánských vod, rychlosti větru či oceánského proudu. Ukazatelem výkonnosti se stalo riziko povodní a snížení eroze.
- Mokřady v ústní řek (USA) – využity monitorovací techniky jako barometr, anemometr. Sesbírána byla tato data: rychlost větru atmosférický tlak. Ukazatelem výkonnosti se stalo tlumení vln oceánu.
- Mokřady, vegetace, slatiny (Jižní Louisiana, USA) – využity monitorovací techniky jako snímače hladiny vody, ADCP, příliv a odliv, MODIS. Sesbírána byla tato data: profily vodní hladiny, míra útlumu bouře, nadmořská výška, rychlost větru. Ukazatelem výkonnosti se stala odolnost pobřeží vůči povodním, zlepšení zásobování vodou.

- Mokřady (Severní Dakota, USA) – využity monitorovací techniky jako vrtulníky a meteorologický balón. Sesbírána byla tato data: snímky NAIP, národní inventář mokřadů. Ukazatelem výkonnosti se stala odolnost pobřeží vůči povodním, zlepšení zásobování vodou.
- Mokřady, rybníky – využity monitorovací techniky jako srážkoměr, teploměr, proudoměr, výparník, vlhkoměr, anemometr, pyrhelimetr. Sesbírána byla tato data: digitální výškový metr, mapa využití území, odvodňovací zóny mokřadů, denní množství srážek, další meteorologické proměnné a proudění, mapa inundací. Ukazatelem výkonnosti se stalo riziko vzniku povodní a snížení míry sucha.
- Zelené střechy, bioretence, dešťové zahrady (Thajsko) – využity monitorovací techniky jako měřič fáze proudu. Sesbírána byla tato data: množství průtoku vody ve špičce. Ukazatelem výkonnosti se stalo snížení objemu odtoku vody.
- Zásobní nádrže, propustné dřevěné bariéry, vegetace (Velká Británie) – využity monitorovací techniky jako měřič fáze proudu. Sesbírána byla tato data: množství průtoku vody ve špičce. Ukazatelem výkonnosti se stalo snížení objemu odtoku vody.

Podobně taktéž Anderson et al. (2023) přinášejí důležité informace o technikách snímání a měření, jež jsou nezbytná ke studiu, hodnocení a pochopení konkrétních řešení NBS při nakládání s vodami. Právě díky těmto sensorům je možné docílit jedinečných a užitečných meteorologických a fyziologických dat vztahující se k přírodním intervencím mezi různými prostorovými, spektrálními, časovými a tematickými stupnicemi. Níže je proto sestaven přehled jednotlivých typů NBS, přičemž u každého z nich je uvedeno, jaký je jeho přínos, jaký parametr se hodnotí při měření daného typu NBS, o jakou škálu šlo a jaké techniky byly aplikovány (Anderson et al. 2023):

- Umělý plovoucí ostrov – přínos spočívá v řízení kvality vody, měřenými parametry byly: fyzikálně chemické parametry kvality vody či kvalitativní parametry, jako např. kontaminace arzenem či železem, technikou snímání byl odběr vzorků a laboratorní analýza.
- Biofiltrační/retenční systémy – přínos spočívá v hospodaření s dešťovou vodou a ve zvýšení kvality vody, měřenými parametry byly: dešťová voda (výkon zadržování vody), fyzikálně chemické parametry (přítomnost těžkých kovů

a nerozpuštěných látek), množství či kvalita vody (bioretenční kapacita), technikou snímání byla laboratorní studie založená na standardních metodách.

- Biofiltrační/retenční systémy – přínos spočívá v hospodaření s dešťovou vodou a ve zvýšení kvality vody, měřenými parametry byly: dešťová voda (výkon zadržování vody), fyzikálně chemické parametry (přítomnost těžkých kovů a nerozpuštěných látek), technikou snímání byla laboratorní studie založená na standardních metodách.
- Modrozelené střechy – přínos spočívá v hospodaření s dešťovou vodou a v energetické účinnosti, měřenými parametry byly: množství dešťové vody, energetická účinnost budov (např. hydraulický výkon, tepelný výkon), kapacita zadržování dešťové vody, evapotranspirace, technikou snímání byl laboratorní odběr vzorků, numerické modelování, využití teploměru – vlhkoměru, snímače tlaku vzduchu, ultrazvukového snímače rychlosti a směru větru, snímače vlhkosti půvy, vířivé kovariační věže, senzory tlaku, teploměry sběru dat každých 30 minut.
- Zelené střechy – přínos spočívá v regulaci teploty a ve zvýšení kvality vzduchu, měřenými parametry byl: tepelný výkon, teplota blízkého povrchu a zemského povrchu, přítomnost (koncentrace) ozónu, oxidu uhličitého a oxidu dusičitého, technikou snímání byly HOBOS, záznamníky dat, snímače teploty a vlhkosti půdy, měřiče tepelného toku půdy, snímače teploty – mikro stupnice, satelitní snímání, přenosné monitory kvality ovzduší Aeroqual.
- Zelené střechy – jde o častý typ NBS využíván při řešení nakládání s vodami. Proto je jejich přínosem i zlepšení kvality vzduchu, zajištění hospodaření s dešťovou vodou či zvýšení biodiverzity. Proto se také liší parametry, které jsou při hodnocení těchto přínosů využívány. Jde např. o LAI, PM2,5, míra znečištění ovzduší určitými částicemi, retence dešťové vody, míra přítomnosti organických látek, vyhodnocení počtu druhů volně žijících zvířat a různých druhů rostlin (ze zvířat může jít např. o netopýry). Využívanou škálou jsou terénní měření na konkrétním místě. Technikami snímání se v různých případech staly především tyto: přenosný inteligentní přístroj na měření rychlosti větru, anemomaster, aerosolový monitor, měřič listové plochy, HOBO U30, magnetická a elementární

analýza, přenosný ph-metr, přenosný turbidimetr 2100Q, biochemická spotřeba kyslíku, vakuový sběrač hmyzu – model 122 či ultrazvukové zapisovače.

- Zelené stěny (fasády) – přínosem je především regulace teploty a zvýšení kvality vzduchu. Hodnotí se takové parametry, jako např. teplota vzduchu, RH, snížení tlaku, tepelný výkon (stínění, transpirace, izolace, přítomnost (koncentrace) ozónu, oxidu uhličitého a oxidu dusičitého, míra vlhkosti. Využívanou škálou jsou terénní měření na konkrétním místě. Technikami snímání se v různých případech staly především tyto: infračervená kamera, digitální teploměry a vlhkoměry, statistický analyzátor hluku, snímače teploty – mikro stupnice, satelitní snímání, meteorologické měřicí stanice, termorezistory, přenosné monitory kvality ovzduší Aeroqual, snímače HMP155, odběr vzorku oxidu uhličitého, porometr, hyperspektrální kamera a termokamera.

Na podkladě výše uvedeného je proto zřejmé, že při hodnocení účinnosti a efektivity jednotlivých druhů NBS jsou různé techniky snímání (senzory), které je možné v praxi aplikovat. Také v České republice se jednotliví výrobci zaměřují na vývoj těchto snímacích technik. Příkladem je např. přenosný monitor kvality ovzduší Aeroqual. Existují však i jiné senzory, které je možné využít při hodnocení kvality vzduchu. Distributorem pro prodej těchto přenosných monitorů kvality ovzduší je např. globální trh Fruugo provozující v České republice e-shop na webové stránce fruugo.cz (Fruugo, 2024). Zde má zájemce na výběr z řady různých přenosných monitorů, které se odlišují dle ceny, kvality i přesnosti měření. Příkladem je např. Air Quality Monitor, Indoor Air Pollution Meter Micro Dust Tester U50a, který zajišťuje plnou kontrolu kvality vzduchu, přičemž je možné změřit 8 různých druhů dat, a to včetně PM2.5, PM1.0, PM10. Je vybaven senzorem vysoké citlivosti a dosahuje poměrně vysoce přesného testování (Fruugo, 2024).

## **8.1 Zelená střecha**

Zelené střechy se považují za vegetační vrstvy, které jsou realizované v prostoru střešních prostor, a to především v městském prostředí. Jejich cílem je dosáhnout provize funkčních zelených ploch a zmírnit efekt tepelného ostrova. Existuje několik typů zelených střech, které se odlišují na základě pokryvu, komplexity a rozsahu. Za jejich hlavní benefity se považuje možnost ochlazování a evapotranspirace, umožňující snížit teplotu střechy

a okolí, což ochlazuje celý vzduch. V konečném důsledku se proto zelené střechy podílejí na regulaci negativních vlivů v urbanizovaném prostoru, což je způsobeno zejména zastavěností půdy, budovami a tepelnými emisemi. Technologie zelených střech vychází z jejich požadavku disponovat nejméně retenční kapacitou v rozsahu 251/m<sup>2</sup> a 95% pokrytích po třech letech od doby implementace. Rozlišují se čtyři typy zelených střech, a to intenzivní, extenzivní, chytré a mokrořadní střechy (Urban Lab, Horizont 2020, 2019).

Se zelenými střechami jsou také spojeny příslušné výhody. Lze zmínit pozitivní ovlivňování mikroklimatu ve městech, snižování pocitové teploty, zvyšování vlhkosti vzduchu, biodiverzity a zlepšování kvality ovzduší. Toho je docíleno tím, že je zachycován prach, PM10 a další znečišťující látky. Významný benefit je u zelených střech spojen s eliminací přívalových povodní. Dochází k zadržování dešťové vody, a ta je následně využívána k zavlažování rostlin. To se podílí i na snižování odtoku dešťové vody ze střechy, proto není v takové míře zatěžován kanalizační systém. Proto se zelené střechy považují za velmi vhodné řešení, jak snížit vysoké riziko povodní (ASITIS, 2021).

Podle studie Anderson et al. (2023) jsou zelené střechy jedním z příkladů dobré praxe v rámci NBS v procesu vodního managementu, které přinášejí benefity, jako je regulace teploty a zkvalitňování ovzduší. V rámci monitoringu těchto NBS jsou využívány techniky snímání, jako je HOBO; záznamníky dat CR1000; snímače teploty a vlhkosti v půdě; měřiče tepelného toku v půdě (pro hodnocení benefitů regulace teploty) a přenosné monitory kvality ovzduší Aeroqual (pro hodnocení zkvalitňování ovzduší). Důležitým benefitem zelených střech je ovšem právě hospodaření s dešťovou vodou a zajištění biodiverzity. V případě řešení hospodaření s dešťovou vodou se dle uvedené studie využívá monitorovacích senzorů, jako je HOBO U30; systém sklápěcích lopatek, přenosný pH-metr, konduktoměr nebo biochemická spotřeba kyslíku.

Součástí zelených střech jsou také mokřadní střechy, kdy jsou propojovány extenzivní zelené střechy a umělé mokřady, a to za účelem pročistit domácí odpadní vody označované také jako šedé vody. Kromě toho je doplňkovou funkcí mokřadních střech, že přechodně zadržují dešťové vody, ty postupně uvolňují, což umožňuje snižovat povrchový odtok. Pozitivně též ovlivňují mikroklima. K nejdůležitějším benefitům se řadí

ochlazování teploty vzduchu, eliminace vzniku záplav, zadržování vody. Fungují také jako biotop pro hmyz a ptáky ve městech. Zlepšují kvalitu vody a umožňují vyšší dostupnost vody. Poté, co jsou mokřadní střechy vyčištěny, lze vodu využít i k řadě dalším, jiným účelům (Urban Lab, Horizont 2020, 2019).

Dále jsou v tomto textu uvedeny výsledky vybraných studií, které se věnovaly účinnosti zelených střech a vyhodnocení využívání jednotlivých technologií. Jednou z takových studií je od autorského kolektivu Pardela et al. (2020), podle nichž se zelené střechy v praxi využívají zejména proto, že účinně zadržují dešťovou vodou, zvyšují městskou diverzitu a zmírňují nepříznivé klima ve městech. Uvedení autoři realizovali interdisciplinární studii, kterou realizovali na třech historických zelených střechách, které pokrývají bunkry v polské Vratislavi. Studie trvala po dobu tří let, přičemž se zkoumala vodní akumulace střechy. Ze získaných výsledků této studie lze shrnout, že zelené střechy nacházející se na opevněných starých více než 100 let umožňují zlepšit kvalitu dešťové vody, snížit rychlost a objem odtoku, zmírnit tepelný efekt městských ostrovů a podporovat biologickou rozmanitost volně žijících živočichů a přírodních stanovišť. V tomto případě se hovoří o tzv. divokých zelených střechách, které nejenom že zvyšují biodiverzitu mnohých druhů lesních rostlin a živočichů, ale také cenným prvkem systému ekologických panelů a chodeb. Autoři studie se taktéž domnívají, že při opravách těchto střech by mělo být využito původní zeminy, přičemž by nemělo být využíváno hnojení ani by se neměly zavádět nové druhy, především se vyvarovat okrasným rostlinám.

Také Raimondi a Becciu (2021) uvádějí, že zelené střechy jsou významným a především účinným nástrojem vedoucí k udržitelnému městskému odvodnění. Je to dáno tím, že vlivem zelených střech dochází ke snižování a udržení odtoku vody. V jiných studiích podobného typu bylo zjištěna různě velká retenční kapacita zelené střechy, přičemž tyto studie se vždy v rámci analýzy vztahovaly ke konkrétnímu místu střechy. Nebraly však ohled na to, že by již zelená střecha obsahovala v určité míře nějaký objem dešťových srážek před vlastním studiem retenční kapacity střechy. Proto se daní autoři ve své studii zaměřili na zjištění a monitorování, jak lze hodnotit výkon zelených střech v rámci regulace dešťové vody z hlediska jejího odtoku. Výsledky naznačují, že zvažování více než dvou zřetězených událostí v rámci odhadu pravděpodobnosti odtoku je vhodnou metodikou při analýze výkonu zelených střech. Ukázalo se, že je nutné počítat s tím, že



retenční objem zelených střech je do jisté míry částečně předvyplněn dešťovými srážkami z předcházejícího období, což následně ovlivňuje, resp. zkresluje dosažené výsledky. Je proto vždy zapotřebí odhadnout počet řetězených srážek, jimiž je vysvětlován odtok ze zelených střech.

Studie Pirouz et al. (2020) realizovala komplexní experimentální analýzu, v níž autoři hodnotili různé tepelné dopady a spotřebu vody zelených střech v oblasti středomořského klimatu. Měření byla uskutečněna na extenzivní zelené střeše o ploše 55 m<sup>2</sup>, v jejímž rámci jsou aplikovány chladicí a topné systémy. Rozbor hodnot prokázal, že v létě byla na zelené střeše dosahována maximální teplota 30,3 °C, zatímco u klasické střechy to byla teplota o více než 40° C vyšší (72° C). Naproti tomu v zimním období dosáhla hodnota teploty na klasické střeše -8,6° C, naproti tomu hodnota na zelené střeše byla výrazně vyšší, a to 7,4° C. To vede k závěru, že zelená střecha má výrazný vliv na spotřebu energií jak v létě, tak v zimě, což odpovídá určitým tepelným požadavkům. Proto se zelená střecha dle tohoto experimentu podílí na snížení vody stopy. Díky tomu, že zelené střechy disponují určitou retenční kapacitou, umožňují snížit spotřebu v budově. V zimě je zelenými střechami vykazována vyšší spotřeba vody, nicméně není zapotřebí zavlažování tohoto typu střech, protože je využíváno vody ze srážek. Uvedení autoři se proto domnívají, že ve středomořských státech lze na zelených střechách dosáhnout týchž tepelných podmínek budov jak v létě, tak v zimě, kdy zároveň dochází k výraznému snížení spotřeby vody.

Jedním z dodavatelů zelených střech je v České republice Sedum Top Solution (2024), která také na svých webových stránkách uvádí příklady dobré praxe, kdy NBS v podobě zelených střech přinesly řadu pozitivních efektů. Příkladem je proto výstavba extenzivní zelené střechy záchranných složek v Hradci Králové během měsíce května roku 2022. Celková plocha předpěstovaných rozchodníkových rohoží dosáhla 534 m<sup>2</sup>. Celý projekt realizovala společnost Greentop s.r.o. Dále se jednalo o výstavu extenzivní zeleného střechy na budově výrobního závodu Jaguár v Nitře na Slovensku. Jednalo se o velkou plochu administrativní budovy, čímž získala nejenom užitečné, ale také estetické funkce. Zelená střecha nyní poskytuje zaměstnancům krásný výhled do okolí. Celková plocha předpěstovaných rozchodníkových rohoží dosáhla 1 000 m<sup>2</sup>. Celý projekt realizovala společnost Ekrost s.r.o., a to v průběhu měsíce září roku 2018. Uvedená plocha zelené

střechy představuje pro srovnání maximální kapacitu plného kamionu. Extenzivní zelená střecha byla také položena do oblasti střešního prostoru rodinného domu ve Žďáře nad Sázavou, v kraji Vysočina. V tomto případě byly navíc ideálně propojeny benefity jak zelené střechy, tak i možnosti fotovoltaiky. Celková plocha předpěstovaných rozhodníkových rohoží dosáhla 150 m<sup>2</sup>. Celý projekt realizovala společnost tazahrada.cz, a to v průběhu měsíce dubna roku 2022. Užitek v tomto případě byla redukce přehřívání střešní konstrukce, kdy zelená střecha umožňuje díky odpařování zlepšovat výkonnost nainstalovaných solárních panelů. U nich bylo navíc díky výstavbě zelené střechy docíleno vyšší produkce energie. Vlivem výparu z vegetace bylo a stále je docílováno ochlazování spodní části panelů fotovoltaiky, čímž se zvyšuje jejich efektivita a taktéž vyšší produkce elektrické energie. Za předpokladu příliš horského vzduchu kolem panelů, by totiž nemusely fungovat přesně tak, jak mají. To však redukuje technologie zelených střech, neboť je konstantně dosahováno teploty kolem panelů v rozsahu cca 25° C. Ta se považuje za ideální pro výrobu solární energie.

## **8.2 Suchá nádrž – poldr**

Poldr, který je také označován jako suchá ochranná či retenční nádrž je dalším typem technologie, který lze užít jako NBS v rámci vodního hospodaření. Poldr je definován jako vodní dílo poskytující protipovodňovou ochranu. Své označení „suchý“ poldr získalo toto opatření proto, že nádrž zůstává po většinu dobu nenaplněna. K jejímu naplnění dochází pouze v případě, že vzniknou záplavy. Tím, že je poskytnut bezpečný prostor pro rozliv, je poldr spojen s ochranou proti povodním u zastavěných oblastí. K hlavním výhodám tohoto opatření se řadí jak ochrana proti povodním, tak zajištění řešení vůči dlouhodobě působícímu suchu. Poldr zajišťuje taktéž biodiverzitu, kdy se v mnoha případech poldry spojují s mokřady a jsou součástí širších biokoridorů. V návaznosti na výše uvedené se proto doporučuje kombinace poldrů a mokřadů, které by měly být spíše menší, neustále zatopené a nacházející se v dolní části nádrže (ASITIS, 2021).

Jedním z příkladů dobré praxe implementace tohoto opatření je v České republice vzniklá Suchá nádrž N2 Dolní Chrášť v Otrokovicích, jejíž stavba byla dokonce na podzim roku 2019. Nastavení výpustě poldru je následující: zajištění opouštění tzv. neškodného průtoku z vodního díla. Je udržitelný do doby naplnění celé nádrže. Poté dochází

k přetékání vody tzv. bezpečnostním přelivem, kdy je možné docílit oddálení povodně. Uvedený příklad dobré praxe se osvědčil zejména v případě ochrany zastavěných území před rozsáhlými povodněmi, s nimiž má daná oblast poměrně velkou zkušenost (např. z roku 1997) (Státní pozemkový úřad, 2024).

### **8.3 Zelené fasády**

Rozeznává se několik druhů zelených fasád jako soubor inovativních opatření, které slouží k retenci dešťové vody. Jedním z příkladů je zelená fasáda semi-intenzivní, jejíž součástí je vertikální podpůrná konstrukce, po níž je vedena popínavá rostlina. Zakořenění rostlin může být realizováno buď v úrovni země, nebo v kořenáčích, které se již nacházejí na vyšší úrovni, čímž se pokryje větší plocha stěny. Za předpokladu, že stěna obsahuje více úrovní kořenáčů, je zapotřebí instalovat kapkovou závlahu pro rostliny, které se nacházejí ve vyšších úrovních. Tato závlaha by měla být kombinována s čidly vlhkosti, které se budou nacházet v kořenáčích. Díky tomu vzroste efektivita závlahy a bude omezeno plýtvání vodou a zároveň se též eliminuje riziko, že bude vysychat vegetace. S tímto typem NBS se pojí celá řada benefitů. Především lze hovořit o pozitivním ovlivňování mikroklimatu ve městech, čehož se dosáhne pomocí výparu. Taktéž se prokázalo, že v blízkosti, kde se nacházejí zelené fasády, je snižována pocitová teplota a zvyšuje se vlhkost vzduchu. Jde opět o další řešení, jehož prostřednictvím je pozitivně ovlivňována biodiverzita, neboť zelené fasády jsou vhodným prostorem k usídlení hmyzu, drobného ptactva aj. Zelené fasády se díky přítomnosti zelené vegetace podílejí na zachycování PM10 a jiných znečišťujících látek, což vede ke zlepšování kvality ovzduší. Uvádí se, že tato NBS vedou ke snížení znečištění ovzduší až o 30 % (ASITIS, 2021).

Příkladem dobré praxe tohoto NBS je vytvořená zelená fasáda nacházející se v 5. vídeňském obvodu, která je považována za jednu z největších v celé Evropě. Rozloha fasády dosahuje 850 m<sup>2</sup>, přičemž je v ní osazeno na 17 tis. rostlin z celkem 25 různých druhů. Přínosem zelené fasády je především zmírňování vzniku tepelných ostrovů ve městech. Dle dostupných měření bylo prokázáno, že díky vzniku této zelené fasády ve Vídni došlo během letního období k odpaření až 300 litrů vody denně. Navíc se snížila teplota povrchu oproti jiným až o 10° C, čímž dosahuje efektivitu 70 klimatizací. Zelená fasáda však účinkuje i v zimě, kdy jejím vlivem dochází k zateplování příslušné budovy.

Tím je redukován únik tepla o více než 50 %. Listová plocha rostlin se také podílí na zlepšování kvality místního ovzduší (Nadace Partnerství, 2024).

Kromě zelené fasády semi-intenzivní existuje také extenzivní zelená fasáda, která je složena z popínavých rostlin, jež jsou zakořeněny v úrovni země. Jejich schopností je ze své podstaty pokrytí povrchu budovy, aniž by muselo být užito doplňkové podpůrné konstrukce, na rozdíl od zelené fasády semi-intenzivní. Nevýhodou však je, že extenzivní zelené fasády disponují pouze omezenou plochou, přičemž bez podpory není možné rostlinami celou tuto plochu pokrýt. Proto se tento typ zelených fasád využívá především u nižších budov, jako jsou rodinné domy či obytné budovy dosahující maximálně čtyř pater. Podobně jako u semi-intenzivních zelených fasád jsou i extenzivní spojeny s pozitivním ovlivněním mikroklimatu, zvyšováním vlhkosti vzduchu, růstem biodiverzity a zlepšováním kvality ovzduší (ASITIS, 2021).

Také výzkumná studie autorů Manso a Castro-Gomes (2015) se blíže zabývala možnými pozitivními dopady a účinností zelených fasád. Podle tohoto zdroje je jejich součástí technologie, jejímž prostřednictvím lze maximalizovat funkční přínos rostlin za účelem zvýšení výkonu budov, a proto se na zelené fasády nahlíží jako na určitou součást udržitelné strategie městské obnovy. Je podotýkáno, že zelené fasády jsou účinnější než zelené střechy, a to díky tomu, že ve městech lze budovy osázet zelenými stěnami až ve dvojnásobně vyšší rozloze celkového půdorysu budov. Systémy zelených fasád jsou využívány ve smyslu pasivního konstrukčního řešení. Také uvedená studie podotýká, že se zelené fasády velmi významně podílejí na zlepšování mikroklimatu, a to nejenom v zimním, ale také v letním období. Během zimy se na zelené fasády nahlíží jako na doplňkovou izolační vrstvu, zatímco během léta zelené fasády dokáží snižovat okolní teplotu, a tak daný prostor ochlazovat. Dochází také jejich prostřednictvím ke snižování energetických nároků na vytápění.

Systém zelených fasád detailně popisuje také Urban Lab a Horizont 2020 (2019), které mohou využívat buď panelů či jiných médií, jejichž prostřednictvím roste vegetace, nebo jde o stěny s popínavými rostlinami. Bez ohledu na to jsou souhrnně všechny zelené fasády založeny na systému zavlažování a speciálních substrátů vedoucí ke snižování celkové váhy fasády. Nejčastěji jsou aplikovány prefabrikované panely nebo speciálně

navržené systémy překážek a nádob. Kromě již uvedených přínosů lze taktéž zmínit funkci přírodní hlukové ochrany a zajišťování estetické hodnoty. Taktéž se uvádí, že tím, že u zelených fasád dochází k jejich zavlažování povrchovým odtokem, tak na sebe převádějí část povrchové regulace vody. Ačkoliv jsou zelené fasády v praxi využívány zejména ke zkvalitňování okolního vzduchu, přesná míra pročištění vzduchu závisí na daném druhu použitých rostlin, a též na částicích a plynech, které jsou zachytávány. Se zelenými fasádami je spojena velmi dobrá vypařovací funkce, kdy je tímto způsobem vypařováno až 75 % ročních srážek. Živé zelené stěny umožňují docílit přímého zastínění vůči slunečnímu záření, přičemž umožňují i nepřímé stínění. To však závisí na tom, jaký typ vegetace byl využit. Zelené stěny se významně podílejí na snižování hluku. Zachycená povrchová voda se využívá např. k zavlažování. Kromě klasických zelených fasád se lze v praxi také setkat s mechovými stěnami, jež jsou charakteristické svým vysokým bioaktivním povrchem ve srovnání s jinými typy vegetace. Proto se ve vyšší míře podílejí na odpařování vlhkosti, což aktivně přispívá k redukci mnohých znečištění. Dle výsledků proběhlých experimentů byla prokázána poměrně vysoká efektivnost mechových stěn, kdy jsou pohlcovány jemné prachové částice. To má následný vliv na zlepšování kvality ovzduší. V tomto rámci lze zmínit technologii označovanou jako „City Tree“, což je biotechfiltr podílející se na zlepšování kvality městského ovzduší. Filtr je charakterizován jako druh kompaktní a mobilní konstrukce, která je na obou stranách vertikálně prorostlá jednotlivými druhy mechů. Mech má v této souvislosti tu vlastnost, že na sebe naváže různé druhy znečištění, např. ve formě oxidu dusíku. V oblasti vodního managementu se k výhodám mechu řadí zadržování vysokého objemu vody, přičemž se taktéž podílejí ve vyšší míře na odpařování. Tato funkce má za následek, že se v okolí mechových stěn snižuje teplota.

## 8.4 Další vhodná NBS v rámci vodního managementu

Zdroj ASITIS (2021) zmiňuje i další vhodná NBS ve vztahu k efektivnímu vodnímu managementu. Příkladem je skupina drobných infiltračních ploch liniového typu, jejichž součástí jsou např. **zasakovací pásy a průlehy**. Ty jsou popisovány jako liniová ochranná opatření, jejichž součástí je zatravněný povrch. Jejich hlavní výhodou je umožnění odvodu a zasakování srážkové vody a tajícího sněhu z okolí. Součástí těchto pásů je také vegetace a štěrk, které v tomto typu NBS plní funkci filtru, jehož prostřednictvím dochází k přefiltrování vody. Ta je následně odváděna buď kanalizačním systémem, nebo je prosakována do podzemních vod. Je také možná kombinace liniových vsakovacích prvků společně s retenčními a akumulacími nádržemi zadržující dešťovou vodu. Benefitem tohoto typu NBS je snižování teploty prostředí, zvyšování vlhkosti vzduchu a obecně zlepšování městského mikroklimatu. Podílí se taktéž na řešení sucha, kdy prosakováním vod do půdy a jejich následnou přefiltrací lze docílit doplnění zásob podzemních vod. Zasakovací pásy velmi dobře působí proti vzniku povodní, neboť zde dochází k regulaci objemu a rychlosti povrchového odtoku, a tím se snižuje riziko vzniku lokálních záplav. Podobně jako jiná NBS již dříve v této kapitole uvedených je možné díky zasakovacím pásům docílit zvýšení biodiverzity. Pokud jsou zatravněné plochy dobře udržovány, může se tento prostor stát sídlem pro různé druhy hmyzů. Poskytují také potravu včelstvu. Zvyšování kvality ovzduší je u těchto pásů docíleno tím, že je zde zachytáván polétavý povrch, příp. i další znečišťující látky. Často se lze s těmito pásy setkat např. mezi kolejemi tramvají, nebo v prostorech, kde je oddělován chodník od silniční komunikace. Jako vhodné se jeví jejich umístění v místech s nižší nadmořskou výškou, v nichž dochází ke koncentraci dešťové vody a vody z tajícího sněhu.

Zasakovací pásy a průlehy nejsou jedinými NBS, které lze v urbanizovaném prostoru využít k šetrnému hospodaření s vodou. Podle zdroje Urban Lab a Horizont 2020 (2019) je možné do této skupiny zařadit také **infiltrační nádrže**. Jsou popisovány jako druh mělkých ploch, které jsou běžně prázdné. Avšak v případě, že hrozí záplavy, tak se naplňují vodou a ta je postupně vsakována do půdy. Další formou jsou retenční nádrže charakteristické svou vlastností kontinuálního zadržování srážkové vody, a to i v době sucha. Tento typ NBS vede také ke zlepšování kvality vody. Hlavním benefitem je retence

dešťové vody, kdy retenční nádrž disponuje potenciálem k opakovanému využívání vody k zavlažovacím účelům. Uvádí se, že do této skupiny NBS patří také **propustné zpevněné povrchy** disponující schopností absorpce přívalových srážek, díky čemuž dochází ke snižování povrchového odtoku vody. Technologie tohoto typu NBS předpokládá, že je voda vsakována či jinak řečeno infiltrována mezerami mezi dlaždicemi. Voda však může být také dočasně zadržována ve šterkové vrstvě, přičemž je následně infiltrována nebo odváděna do kanalizačního systému. Tento druh NBS lze využít v prostorech parkovišť, v oblastech chodníků, cyklostezek, ulic či příjezdových cest. Hlavní funkcí je snížit povrchový odtok, zpomalit odtok dešťové vody a filtrovat vodu, což vede ke snížení množství znečišťujících látek. Hlavním přínosem propustné dlažby je ochránit kvalitu vody, zefektivnit hospodaření s dešťovou vodou, snížit povrchový odtok dešťové vody, řídit infiltraci a v neposlední řadě i dočasně zadržet dešťovou vodu.

Díky obnově **břehových porostů** lze dosáhnout revitalizace říčního toku, a tím přiblížit přírodní stav okolí toku a říční nivy. Toto NBS umožňuje zlepšit místní ekosystémy, zvýšit ekologickou stabilitu v okolí toku a zvýšit jeho estetickou hodnotu. Mimo jiné je však tímto řešením podporována vodohospodářská funkce vodního toku. Toto NBS bylo do této práce vybráno záměrně, a to z několika důvodů. Prvním je, že díky zeleni je ochlazován okolní vzduch, a to působením evapotranspirace. Zvyšuje se taktéž okolní vlhkost vzduchu. Porosty se podílejí na pozitivním ovlivněním mikroklimatu až do vzdálenosti 50 metrů. Břehové porosty mají taktéž vliv na zvyšování biodiverzity. To proto, že tyto porosty představují biotop řady různých druhů rostlin a živočichů, mnohokrát těch, které jsou chráněny a ohroženy působením nivních ekosystémů. Snižují riziko vzniku povodní, a to tím, že je břehovými porosty snižována rychlost a celkový odtok vody. Dochází taktéž k retenci vody v půdě. Navíc břehové dřeviny vykazují poměrně vysokou odolnosti vůči záplavám. Břehové porosty se dle dostupného zdroje podílejí i na výrazném zvyšování kvality vody, a to tím, že se odstraňuje dusík považovaný ve velké koncentraci za polutant. Tím, že břehové porosty plní funkci stínění, se též snižuje ohřev vody slunečním zářením, a proto se ve vodě v daleko nižší koncentraci vyskytují vodní řasy a sinice (ASITIS, 2021).

V neposlední řadě je také možné zmínit **dešťové zahrady**, kterými se chápou terénní prohlubně, které byly vytvořeny buď přírodě, nebo uměle. Do nich jsou následně svedeny

srážkové vody z okolních povrchů, např. ze střech, chodníků aj. Významným benefitem dešťových zahrad je zachycení vody a její následné zdržení po dobu maximálně 72 hodin, než dojde k jejímu odpaření nebo vsáknutí. Tento proces má vliv na eliminaci problému nepříjemného zápachu. Taktéž snižuje množení bodavého hmyzu. Voda, která je v dešťových zahradách zadržována, se přefiltruje díky kořenovému systému rostlin, které zde rostou, přičemž voda může být dále odváděna kanalizačním systémem do podzemních vod. Může však být také zadržena v retenční nebo akumulární nádrži. Dešťové zahrady se významně uplatňují při řešení problémů spojených se suchem, horkem či nižší mírou biodiverzity, podobně, jako je tomu u jiných typů zeleně. Také se dešťové zahrady podílejí na snížení vzniku záplav, kdy je regulován objem i rychlost povrchového odtoku (ASITIS, 2021).

Ve studii autorů Souliotis a Voulvoulis (2022) byly posuzovány přínosy Ingolského **mokřadu**, přičemž se pozornost zaměřila na koncentraci hlavních znečišťujících látek vody. Porovnávána byla koncentrace fosforu a amoniaku ve vodě, čímž mohlo být ověřeno, že mokřad dosahuje vyšší účinnosti odstraňování obou monitorovaných znečišťujících látek. Studie se snažila vyhodnotit, do jaké míry je možné zlepšit kvalitu odpadních vod využitím NBS typu mokřad na příkladu Ingolského mokřadu. Z hlediska jeho účinnosti se prokázalo snížení tlaků spojených s eutrofizací v přijímaných vodách. V tomto případě se kombinovalo opatření typu NBS s již zavedenou šedou infrastrukturou, čímž bylo docíleno velmi dobrých výsledků ve vztahu k zajištění vyšší kvality vody. To však má i příslušné ekonomické implikace – snížily se finanční náklady na zajištění vyšší kvality vody. Autoři studie také dodávají, že rozsáhlejší mokřady by mohly zajistit vyšší hodnotu uhlíku měřenou za jeden rok. Co se týče emisí uhlíku, při výstavbě mokřadu bylo dosaženo vzniku přibližně poloviny emisí uhlíku v porovnání s výstavbou alternativy v podobě šedé infrastruktury.



## 9 Diskuse

Předcházející kapitola poskytla ucelený přehled významných NBS v rámci efektivního hospodaření s vodou. Proto bylo zapotřebí pracovat s různými českými i zahraničními odbornými zdroji, které zde poskytly důležitou a významnou rešerši jednotlivých NBS, sledovaných parametrů i možností snímacích technik. S těmi se bylo možno seznámit především v zahraničních experimentálních i přehledových studiích.

V souvislosti se společenskými změnami, k nimž se podle Ramírez-Agudelo et al. (2020) řadí např. sekvestrace uhlíku, odolnost pobřeží, obnova ekosystémů či řízení povodí, se zapotřebí v praxi implementovat systémové způsoby řešení těchto problémů. To umožňují jednotlivé typy NBS, jejichž prostřednictvím lze docílit významnému přínosu pro společnost, lze také dosáhnout blahobytu, lidského zdraví a na jejich základě taktéž udržitelně využívat jednotlivé typy zdrojů. Také studie Qi et al. (2021) poukazuje na fakt, že je zapotřebí hledat účinná řešení problémů, jako je např. nedostatek vod, záplavy povrchových vod či znečištění sladké vody. Podle této studie dochází k těmto problémům zejména z důvodu velmi rychle probíhající urbanizace ve městech, také jsou zaznamenávány různé změny ve využívání půd a neadekvátní konstrukční standardy při výstavbě odvodňovacích systémů. Proto se předpokládá, že díky NBS bude moci tyto problémy adekvátně řešit, a to i v návaznosti na řešení a udržení biologické diverzity, což je další významný problém, s nímž se jednotlivé státy potýkají, jak odhalila rešerše v předcházející kapitole.

Příkladem efektivním NBS v souvislosti s nakládáním s vodami jsou např. zelené střechy, mokřady, břehové porosty, suché nádrže, infiltrační nádrže aj., které byly popsány v předcházející kapitole. Tyto zmiňuje nejenom studie autorů Ramírez-Agudelo et al. (2020), ale také studie autorů Cui et al. (2021), podle nichž jsou NBS, jako jsou stromy, mokřady, parky či zelené střechy spojeny s mnoha přínosy při nakládání s vodami. Např. regulují povodně, zmírňují městské tepelné ostrovy, regulují sekvestraci uhlíku, vedou k výraznému stínění a zajišťují biologickou diverzitu, jakož i možnosti pro docílení optimálního duševního zdraví člověka.

Na základě provedené literární rešerše v předcházející kapitole byly tyto skutečnosti potvrzeny, neboť se prokázalo, že NBS řeší řadu problémových situací, k nimž na úrovni měst dochází (např. lze jimi vyřešit problém častých záplav, sucha, znečišťování vod aj.). Ve studii autorů Ramírez-Agudelo et al. (2020) se popisují přínosné NBS, jako jsou otevřené zelené plochy (městské parky), zeleno-modrá infrastruktura (mokřady, říční parky, dešťové zahrady), zelené střechy, zelené stěny apod. Obecně se podle výše uvedeného zdroje na NBS nahlíží jako na řešení, která jsou inspirována a podporována přírodou, na jejichž základě lze čelit různým společenským výzvám a zároveň přinášejí řadu výhod, např. ekologického, sociálního či ekonomického charakteru. K takovým výsledkům bylo dospěno v předcházející kapitole práce, kdy lze vyzdvihnout zejména tyto kategorie NBS, které lze implementovat v rámci efektivního řešení nakládání s vodami. Konkrétně jde dle předchozí rešerše o veřejnou zeleň, vertikální zahrady, zelené střechy, ozeleňování městských ploch či suché nádrže.

Pro účely této bakalářské práce a s ohledem na její rozsah byla pozornost zaměřena jenom na některé NBS a jejich technologie a systémy. Především šlo o zelené střechy, modrozelené střechy, zelené fasády (stěny), obecně vertikální zahrady, mokřady, suchá nádrž, retenční nádrž aj. Podle zdroje ASITIS (2021) jde proto o skupinu modro-zelených opatření, k nimž se mimo jiné řadí právě suché nádrže, zelené fasády různého typu, břehové porosty, propustné povrchy aj.

Bylo taktéž důležité se zabývat jednotlivými sledovanými parametry a snímacími technikami. Lze proto vyzdvihnout různé přenosné snímací monitory znečištění vzduchu. Je třeba však tyto senzory odlišit i podle toho, jaký indikátor je sledován. Podobné senzory jsou využívány při regulaci a hodnocení kvality ovzduší a měření teploty, jiné naproti tomu v případě hodnocení účinnosti biologické rozmanitosti. Především se však tyto studie věnují konkrétním příkladům na různých částech Země v rámci terénního šetření.

Na základě rešerše odborných, především zahraničních zdrojů bylo dospěno k výsledku, že prostřednictvím NBS lze řešit různé problémy s vodou, jež jsou způsobeny řadou urbanizačních procesů, klimatickými změnami a riziky a taktéž lze díky nim poskytovat další služby. To také potvrzuje např. studie autorů Ramírez-Agudelo et al. (2020), podle níž se k potenciálním faktorům úspěchu implementace NBS v oblasti vodního

hospodářství radí účetnictví, monitoring a komunikace. Pro potřeby této bakalářské práce jsou důležitá zejména měřítka monitoringu NBS, která mohou nabývat různých rozměrů a typů využívající jak teoretických dat, tak i výsledků z terénního měření. Je však zřejmé, jak dodává výše uvedená studie, že žádný typ NBS nemůže plně uspokojit všechny potřeby, ani nelze docílit kontroly celkových dopadů vodních problémů. Proto je zapotřebí, aby realizace uvedených NBS v této bakalářské práci byla podporována na různých úrovních odpovědnosti, různými územními měřítky a v různých sektorech. Podle studie Qi et al. (2021) lze prostřednictvím NBS nejenom vyřešit nejistotu, jak dokládá výše uvedený zdroj, ale lze se také efektivně postavit složitosti městského rozvoje. NBS lze proto na základě poznatků získaných rešerší v předcházející kapitole bakalářské práce považovat za přínosnou a očekávanou změnu, díky níž se budou moci města nejenom v České republice vyrovnávat a adekvátně řešit problémy s vodou, ale také budou moci být zlepšeny ekologické a sociální podmínky. Jak se ukázalo, řada NBS vede ke zlepšení problémů, jako jsou záplavy, zkvalitňování vod a ovzduší a taktéž docílení biodiverzity, což je problém, který musí řešit řada států na celém světě.

Jak vyplynulo z provedené rešerše, NBS v souvislosti s řešením vodních problémů jsou spojena nejenom s řadou výhod a přínosů, ale jejich implementace může být v praxi ztížena i různými problémy a nedostatky. Může se např. jednat o složitost komplexního přístupu vytvářející technickou, institucionální, ekonomickou a sociální nejistotu. Omezením může být taktéž nedostatečná technologická kapacita nebo nedostatek infrastruktury, kdy nejsou dostatečně vyřešeny systémy monitorování podzemních vod. Nelze taktéž zapomenout na to, že NBS musí být také podpořeny veřejnými orgány díky jejich financování a dalšími výzkumu (Ramírez-Agudelo et al. 2020).

Do budoucna je proto důležité zamyslet se nad realizací několika návrhů, které by bylo možno implementovat na základě NBS. V této souvislosti studie Qi et al. (2021) pojednává o vývoji komplexního samooptimalizačního modelu, jehož prostřednictvím by bylo možno identifikovat vhodná technická opatření (např. bioretenční systémy či zelené střechy). Dalším návrhem je zavedení technologických přístupů a sítí, na jejichž základě by se zlepšila koordinace mezi městskými úřady, zlepšení investičního modelu PPP a nalezení nových finančních mechanismů vedoucích k udržitelné výstavbě a provozu.

## 10 Závěr a přínos práce

Tato bakalářská práce se věnovala problematice NBS, čímž je přírodě blízké řešení vztahující se k ochraně vod a vodnímu hospodaření. Obecně se lze v současnosti setkat s řadou různých problémů, které lze prostřednictvím NBS účinněji a efektivněji řešit. V návaznosti na problémy související s globálním oteplováním, větší mírou urbanizace, zástavbou na místech, kde dříve stávaly lesy a jiná zeleň se taktéž zhoršuje klima celkově, ale také hospodaření s vodou. Do budoucna se předpokládá, že bude mít nejenom Česká republika problém s dostatkem vody. Již dnes se ukazuje, že ve městech je výrazně vyšší teplota, stále častěji se zvyšuje počet měsíců s vyššími teplotami v ovzduší, již i v zimních měsících se dostávají období s vyššími teplotami, než bylo dříve obvyklé. V létě se dostávají období sucha, je monitorováno nižší množství srážek. Proto jsou vytvářena různá opatření a řešení v rámci NBS ve vztahu k efektivněji zaměřenému vodnímu hospodářství.

Tato práce si kladla za cíl reálně zformulovat přehled dostupného technického systému za účelem monitorování NBS v systémech nakládání s vodami. S tím souviselo i vytvoření přehledu těchto opatření, které mohou být v praxi využity za účelem zvýšení retenční kapacity, zvýšení kvality vzduchu i snížení teploty v urbanizovaném prostoru. Proto také byly v rámci praktické části přineseny základní poznatky o různých NBS, jako jsou zelené střechy, mokřady, suché nádrže, retenční nádrže, dešťové zahrady aj. Bylo důležité se zabývat jejich přínosy, možnostmi aplikování v praxi, jakož i jejich technologiemi, které lze využít při monitorování těchto konkrétních NBS. V rámci jednotlivých systémů bylo hodnoceno, jak může být NBS využito z hlediska jednotlivých indikátorů. Závěrem této práce se proto podařilo ukázat, že zmiňované NBS dle získaných informací ze strategických dokumentů i uskutečněných studií přináší řadu užitečných výhod, díky nimž lze do budoucna snižovat teplotu v městských zástavbách, snižovat emise uhlíku, snížit riziko vzniku povodní, snížit míru výskytu období sucha, zvyšovat kvalitu vody i ovzduší a v neposlední řadě tím docílit zvýšení biologické rozmanitosti (biodiverzity). Tato bakalářská práce nepřinesla přímo nová, originální data z terénu, ale snažila se poukázat a shrnout již publikované informace na různých místech o NBS v systémech nakládání s vodami.

V této souvislosti je např. možné vyzdvihnout inovativní řešení zelených střech, ty se podle zdroje Urban Lab a Horizont 2020 (2019) popisují jako určité vegetační vrstvy, které se nacházejí v prostoru střech, přičemž jejich benefity byly prokázány zejména v prostředí měst. Největší přínos z hlediska jejich technologií spočívá především ve snížení teploty v okolí, čímž dochází k ochlazení teploty celého ovzduší. Sledovány byly výsledky v různých typech studií, kdy se prokázalo, že zelené střechy jsou spojené s určitým objemem retenční kapacity, jež byla měla činit nejméně 25l/m<sup>2</sup>. Významnou funkci jako zelené střechy mají také zelené stěny, jejichž fungování je však založeno na jiné technologii. Počítá se s tím, že jde o formu vertikální zahrady, kdy je buď za pomoci určité konstrukce (médiu), či bez ní a s využitím určitého druhu rostlin zajištěno mnoho různých benefitů. Opět jde o podobné jako v případě zelených střech. Další formou NBS jsou také mokřady či suché nádrže, které jsou označovány jako poldry. Důležitou výhodou těchto NBS je, že mohou velmi efektivně přispívat k eliminaci vzniku povodní. Představeny proto byly i některé příklady dobré praxe na území České republiky, ale také v zahraničí (Ingolský mokřad), z čehož plyne, že jejich účinnost je zřejmé a prokázána.

Na základě těchto veškerých souvislostí s uvedením konkrétních příkladů byly představeny nejenom možnosti využití konkrétních řešení, ale také stanoveny parametry a snímací techniky (senzory), které lze aplikovat v praxi. Prokázání účinnosti NBS je z tohoto ohledu stěžejní proto, aby je bylo možno častěji využívat na různých domech či v různých částech města. Bude proto možno na tyto poznatky navázat např. zpracováním diplomové práce již v podobě vlastního, primárního výzkumu, kdy bude za pomoci konkrétního senzorů na určitém místě hodnoceno, jak lze daným typem NBS snížit okolní teplotu. Je také možno porovnat, jak se odlišuje teplota okolí a vzduchu v případě, že se v okolí dané NBS nachází, a v případě, že tomu tak není.

## 11 Přehled literatury a použitých zdrojů

- Abrar Faiz, M. et al., 2022: A composite drought index developed for detecting large-scale drought characteristics. *Journal of Hydrology* 605 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169421013585>.
- Ali, M. B., Alawadi, K., Khanal, A., 2021: The Role of Green Infrastructure in Enhancing Microclimate Conditions: A Case Study of a Low-Rise Neighborhood in Abu Dhabi. *Sustainability* 13 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4260>.
- Anderson, V., Suneja, M., Dunjic, J., 2023: Sensing and Measurement Techniques for Evaluation of Nature-Based Solutions: A State-of-the-Art Review. *Land* 12: 1–39.
- ASITIS, 2021: Katalog typových adaptačních opatření (online) [cit. 2024.02.29], dostupné z [https://www.modrozelenyprerov.eu/assets/files/Katalog\\_adaptacnich\\_opatreni.pdf](https://www.modrozelenyprerov.eu/assets/files/Katalog_adaptacnich_opatreni.pdf).
- Biddoccu, M. et al., 2013: Hillslope Vineyard Rainfall-Runoff Measurements in Relation to Soil Infiltration and Water Content. *Procedia Environmental Sciences* 19 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029613003101>.
- Bird, D. N. et al., 2022: Combining Spatial and Temporal Data to Create a Fine-Resolution Daily Urban Air Temperature Product from Remote Sensing Land Surface Temperature (LST) Data. *Atmosphere* 13 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <https://www.mdpi.com/2073-4433/13/7/1152>.
- Boano, F. et al., 2021: Assessment of the Treatment Performance of an Open-Air Green Wall Fed with Graywater under Winter Conditions. *ACS EST Water* 1 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestwater.0c00117>.
- Cui, M., Ferreira, F., Kwan Fung, T., Matos, J. S., 2021: Tale of Two Cities: How Nature-Based Solutions Help Create Adaptive and Resilient Urban Water Management Practices in Singapore and Lisbon. *Sustainability* 13 (online) [cit. 2024.03.18], dostupné z <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/18/10427>.

- Dal Ferro, N. et al., 2021: Green walls to treat kitchen greywater in urban areas: Performance from a pilot-scale experiment. *Science of The Total Environment* 757 (online) [cit.2024.01.18], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720377202?via%3Dihub>>.
- European Environment Agency 2019: European waters Assessment of status and pressures 2018. (online) [cit.2023.09.18], dostupné z <<https://www.eea.europa.eu/publications/state-of-water>>.
- Fruugo, 2024: Měříče kvality ovzduší (online) [cit. 2024.03.08], dostupné z <<https://www.fruugo.cz/merice-kvality-ovzdusi/a-5515>>.
- Geronimo, F. K. F. et al., 2020: Evaluation on the suspended solids and heavy metals removal mechanisms in bioretention systems. *Membrane Water Treatment* 10 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <<http://www.techno-press.org/content/?page=article&journal=mwt&volume=10&num=1&ordernum=11>>.
- Jarvie, H. P. et al., 2020: Biogeochemical and climate drivers of wetland phosphorus and nitrogen release: Implications for nutrient legacies and eutrophication risk. *Journal of Environmental Quality* 49 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jeq2.20155>>.
- Kõiv-Vainik, M. et al., 2022: Urban stormwater retention capacity of nature-based solutions at different climatic conditions. *Nature-Based Solutions* 2 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772411522000301>>.
- Kumar, P., et al., 2021: An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards. *Earth-Science Reviews* 217: 1–26.
- Maceda-Veiga, A. et al., 2022: Effects of two submerged macrophyte species on microbes and metazoans in rooftop water-storage ponds with different labile carbon loadings. *Water Research* 211 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135421011933?via%3Dihub>>.

- Manso, M. et Castro-Gomes, J, 2015: Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 863–871.
- Nadace Partnerství, 2024: Vídeň - zelená fasáda domu v Einsiedlergasse (online) [cit. 2024.03.03], dostupné z <https://www.prostranstvi.cz/Priklady-dobre-praxe/Databaze/Viden-zelena-fasada-domu-v-Einsiedlergasse>.
- Ngao, J. et al., 2021: Implications of Urban Land Management on the Cooling Properties of Urban Trees: Citizen Science and Laboratory Analysis. *Sustainability* 13 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/24/13656>.
- Olivieri, F. et al., 2022: An experimental method to quantitatively analyse the effect of thermal insulation thickness on the summer performance of a vertical green wall. *Energy and Buildings* 150 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816315419?via%3Dihub>.
- Pardela, L. et al., 2020: Sustainable Green Roof Ecosystems: 100 Years of Functioning on Fortifications—A Case Study. *Sustainability* 12: 1–21.
- Pirouz, B. et al., 2020: Decreasing Water Footprint of Electricity and Heat by Extensive Green Roofs: Case of Southern Italy. *Sustainability* 12: 1–16.
- Qi, Y. et al., 2021: Addressing Challenges of Urban Water Management in Chinese Sponge Cities via Nature-Based Solutions. *Water* 13 (online) [cit. 2024.03.18], dostupné z <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/10/2788>.
- Rahman, A., Keane, J., Alam Imteaz, M., 2012: Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. *Journal of Hydrology* 605 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344911002473>.
- Raimondi, A. et Becciu, G, 2021: Performance of Green Roofs for Rainwater Control. *Water Resources Management* 35: 99–111.
- Ramírez-Agudelo, N., Porcar Anento, R., Villares, M., Roca, E., 2020: Nature-Based Solutions for Water Management in Peri-Urban Areas: Barriers and Lessons Learned from Implementation Experiences. *Sustainability* 12 (online) [cit. 2024.03.18], dostupné z <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/23/9799>.



- Reis, M. C. G. et al., 2023: Evapotranspiration beds as a zero-discharge nature-based solution for wastewater disposal: A review. *Ecological Engineering* 189 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z [z <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857423000058>](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857423000058).
- Sedum Top Solution, 2024: Ukázky vybraných projektů [cit. 2024.03.08], dostupné z [z <https://sedumtop.cz/case-study/>](https://sedumtop.cz/case-study/).
- Souliotis, I. et Voulvoulis, N., 2022: Operationalising nature-based solutions for the design of water management interventions. *Nature-Based Solutions* 2: 1–11.
- Státní pozemkový úřad, 2024: Suchá nádrž Dolní Chráště v Otrokovicích (online) [cit. 2024.03.03], dostupné z [z <https://zitkrajinou.spucr.cz/voda-a-sucho/sucha-nadrz-dolni-chraste-otrokovicich/>](https://zitkrajinou.spucr.cz/voda-a-sucho/sucha-nadrz-dolni-chraste-otrokovicich/).
- Urban Lab, Horizont 2020, 2019: Přírodě blízká řešení: Katalog adaptačních opatření (online) [cit. 2024.02.24], dostupné z [z <https://adaptacepraha.cz/wp-content/uploads/2021/03/Priode\\_blizka\\_reseni\\_katalog\\_cesky\\_web.pdf>](https://adaptacepraha.cz/wp-content/uploads/2021/03/Priode_blizka_reseni_katalog_cesky_web.pdf).
- Zheng, X. et al., 2021: Outdoor thermal performance of green roofs across multiple time scales: A case study in subtropical China. *Sustainable Cities and Society* 70 (online) [cit. 2024.01.18], dostupné z [z <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670721001979?via%3Dihub>](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670721001979?via%3Dihub).