

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE**

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Bakalářská práce

**Metody pro zadržování srážkové vody
v urbanizovaných oblastech**

Územní technická a správní služba v životním prostředí

2022

Vedoucí práce: Ing. Jakub Burket

Bakalant: Daniel Čejka



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:	Daniel Čejka
Studijní program:	Územní technická a správní služba v životním prostředí
Vedoucí práce:	Ing. Jakub Burket
Garantující pracoviště:	Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Metody pro zadržování srážkové vody v urbanizovaných oblastech
Název anglicky:	Rainwater retention methods in urban areas
Cíle práce:	Bakalářská práce se zabývá zachycováním, udržením a lepším využitím atmosférických srážek v zastavěných oblastech. Cílem práce je popsat jednotlivá opatření, včetně těch využívaných v zahraničí, která omezují odtok vody z měst. Ve vlastní práci poté student využije získané informace k porovnání účinnosti jednotlivých opatření.
Metodika:	1. Literární rešerše: Popsat tradiční způsoby odvodnění měst a jejich negativní vlivy. Popsat a charakterizovat vhodná opatření a postupy pro zlepšení zadržování vody v urbanizovaném území, včetně těch zahraničních. 2. Vlastní práce: Na základě získaných informací porovnat efektivitu jednotlivých opatření a vybrat ty, která se profilují jako nejvýhodnější. Autor může zvolit a měnit osnovu v průběhu práce dle potřeby.
Doporučený rozsah práce:	30
Klíčová slova:	Zelená střecha, atmosférické srážky, infiltrace, tepelný ostrov

Doporučené zdroje informací:

- HLAVÍNEK, P. -- PRAX, P. -- KUBÍK, J. Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území. Brno: ARDEC, 2007. ISBN 978-80-86020-55-6.
- KREJČÍ, V. -- GUJER, W. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. Brno: NOEL 2000, 2002. ISBN 80-86020-39-8.
- STRÁNSKÝ, D. -- ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ. RADA PRO PODPORU ROZVOJE PROFESE. *Srážkové vody a urbanizace krajiny : TP 1.20.1 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2012. ISBN 978-80-87438-28-2.
- VÍTEK, J., STRÁNSKÝ, D., KABELKOVÁ, I., BAREŠ V., VÍTEK, R. Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2015. ISBN 978-80-260-7815-9.
- Zákon č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- ZELEŇÁKOVÁ, M., HUDÁKOVÁ, G., STEC, A. *Rainwater Infiltration in Urban Areas*, Springer 2020, ISBN: 978-3-030-34-697-3

Předběžný termín obhajoby: 2021/22 LS - FZP

Elektronicky schváleno: 15. 11. 2021
prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 24. 11. 2021
prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Děkan

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Metody pro zadržování vody v urbanizovaných oblastech“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 15. 03. 2022

.....
Daniel Čejka

Poděkování

Touto cestou bych rád v první řadě poděkoval vedoucímu práce Ing. Jakubu Burketovi za jeho trpělivost a rady, které mi během vytváření práce poskytl. Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu, a to jak finanční, tak psychickou, bez této podpory bych práci nikdy nezkompletoval.

Abstrakt

Práce se zabývá možnostmi retence a akumulace srážkové vody v urbanizovaném prostředí. Zprvu je práce zaměřena na historii a metody řešení hospodaření se srážkovou vodou v jednotlivých etapách vývoje lidstva a obydlých oblastech. Hlavní část práce pak tvoří hodnocení a představení jednotlivých konkrétních současných postupů, pro zadržení vody ve městech. Práce hodnotí jejich možnosti využití dle parametrů, které poskytují a také vhodnost jejich umístění. Součástí práce je také přehled platné legislativy. Další fází práce je přístup jednotlivých měst v boji proti srážkovému odtoku. Tato část popisuje ucelenější koncepce, které města již vytvořila a zasadila do svého prostředí. Podle těchto koncepcí v kombinaci s představením jednotlivých objektů bude vytvořena jednoduchá a široce uplatnitelná strategie k retenci srážkové vody ve městech.

Klíčová slova

zelená střecha, atmosférické srážky, infiltrace, tepelný ostrov

Abstract

The work deals with the possibilities of retention and accumulation of rainwater in an urban environment. First, the work focuses on the history and methods of rainwater management in the various stages of human development and populated areas. The main part of the work then consists of the evaluation and presentation of individual specific current procedures for water retention in cities. The work evaluates their use according to the parameters they provide and also the suitability of their location. Part of the work is also an overview of current legislation. The next phase of the work is the approach of individual cities in the fight against precipitation runoff. This section describes the more comprehensive concepts that cities have already developed and planted in their environment. According to these concepts, in combination with the presentation of individual objects, a simple and widely applicable strategy for the retention of rainwater in cities will be created.

Key words

green roof, atmospheric precipitation, infiltration, heat island

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce	3
3	Historie hospodaření s dešťovou vodou.....	4
4	Funkce objektů	7
5	Zařízení a plochy pro povrchovou retenci	10
5.1	Štěrkové a mlatové plochy	11
5.2	Zpevněné propustné povrchy.....	12
5.3	Zatravňovací dlažba a štěrkový trávník.....	14
5.4	Vsakovací průleh.....	15
5.5	Vsakovací nádrž	18
5.6	Trávníky	19
5.7	Umělý mokřad	20
5.8	Stromy.....	21
6	Podzemní zařízení pro vsak a retenci	23
6.1	Vsakovací rýha	23
6.2	Vsakovací šachta.....	25
6.3	Podzemní retenční nádrž	27
6.4	Podzemní prostor vyplněný vsakovacími bloky.....	28
7	Zelené střechy	30
7.1	Extenzivní zelená střecha	30
7.2	Intenzivní zelená střecha.....	31
7.3	Semi-intenzivní zelená střecha	31
7.4	Zvolené materiály zelené střechy	31
7.5	Přínosy.....	32
7.6	Investiční náklady	33
8	Legislativa	34
8.1	Zákon č. 254/2001 Sb.....	34
8.2	ČSN 75 9010	34
8.3	TNV 75 9011	34
9	Příklady realizací.....	36
9.1	Stuttgart	36
9.2	Hamburg.....	36
9.3	Stockholm.....	37
9.4	Kodaň	38
10	Výsledné zhodnocení.....	39

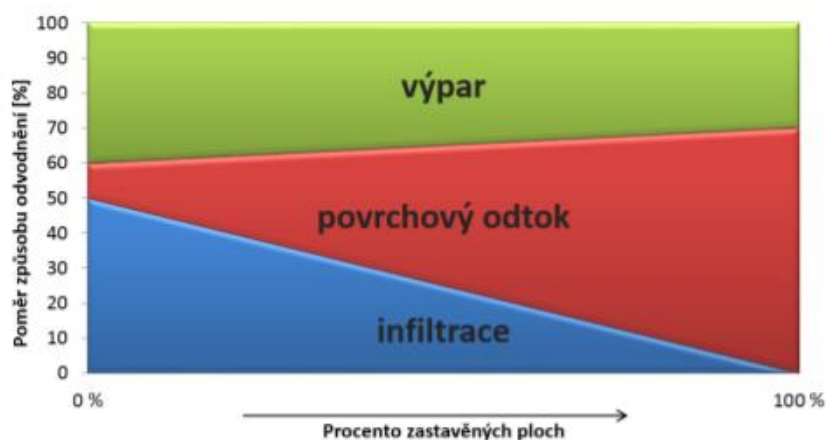
11	Diskuse.....	43
12	Závěr a přínos práce	45
13	Přehled literatury a použitých zdrojů	46

1 Úvod

Život ve městech je stále více negativně ovlivňován dopady klimatické změny a mírou urbanizace. Ve městském prostoru dominují nepropustné plochy a zeleň která, se mezi nimi nachází, nedokáže plnit nároky, které se vlivem klimatické změny stále zvyšují. Očekává se, že dopady rozkolísaného a extrémního počasí, se kterým se počítá i v následujících století, budou mít stále větší dopady na životy a majetek obyvatel měst (Vítek a kol., 2018).

Množství nezpevněných ploch vede ke dvou extrémům. Prvním je efekt tepelného ostrova. Z důvodu stále se zvyšujícího počtu horkých a suchých dní v kombinaci s větším množstvím nepropustných povrchů a jejich skladby, narůstá množství kumulovaného tepla ve městě. To se vlivem těchto dvou faktorů extrémně přehřívá. Tvoří se větší nárok na chladicí mechanismy, a pokud se jedná o klimatizační jednotky, tak se tento problém vlivem produkce odpadního tepla v okolí budov ještě více prohlubuje. Druhým případem, na který nejsou města dostatečně připravena jsou krátké, ale intenzivní dešťové srážky. Na zpevněných plochách města se nemá kde zadržet a vsáknout, z ulic se stávají chvilková řečiště, vnikají mnohé škody a z čisté vody, kterou bychom tolik potřebovali, se stává odpad, jenž mizí v kanalizaci a zatěžuje čistírny odpadních vod (Čubr a kol., 2019).

Objem vody z atmosférických srážek, které dopadly na zemský povrch můžeme rozdělit do tří složek. Část vody se odpaří díky evapotranspiraci zpět do atmosféry. Další část objemu srážek se vsáknou do podloží. Zbylou vodu tvoří povrchový odtok, který úměrně roste mírou urbanizace (DHI a.s., ©2017).



Obrázek 1 Způsob odvodnění dle míry zastavění (DHI a.s., ©2017)

Potřeba hospodaření s vodou z atmosférických srážek na území měst však nemá za cíl jen řešení těchto dvou extrémních hydrologických jevů. Primárním účelem by měla být obnova přirozeného vodního režimu v stávající zástavbě a jeho zachování v zástavbě nové. V důsledku soustavy opatření by také mělo dojít k rozvoji biodiverzity a stabilizace mikroklimatu (Schmidt, 2011). Město a příroda nejsou striktně odděleny a dochází k jejich prolínání. Města by měla být svým charakterem a strukturou v budoucnosti lépe odolná proti klimatickým změnám a výkyvům počasí. To je důležitý aspekt věci, opatření musí být prospěšná pro co nejvíce jedinců a odvětví, zvláště z důvodů ochoty investorů, těchto mnohdy velice nákladných projektů (Tušl, 2021).

2 Cíle práce

Bakalářská práce si klade za cíl vytvoření ucelené literární rešerše, na jejímž základě bude vytvořen soubor opatření, která by zmírnila negativní dopady špatného hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných území a snížila efekt tepelného ostrova. Výsledkem práce by měla komplexní a široce uplatnitelná strategie složená z jednoduchých opatření, v závislosti na okolním prostředí a kontextu, do kterého jsou zasazována tak, aby omezila odtok vody z měst. Daná strategie bude vycházet z rozdělení města do zón, dle míry jejich retenční a vsakovací možnosti a měla by reflektovat konkrétní možnosti daného prostředí pro uplatnění jednotlivých postupů a metod. Součástí výsledků by mělo být i porovnání efektivity opatření pro hospodaření s dešťovou vodou v urbanizovaných území a pro jaký druh uplatnění v městském prostředí budou vhodné, či jaké výhody přinesou. Mezi další cíle si práce klade představení legislativy uplatňované v rámci návrhu a posouzení metod pro hospodaření se srážkovými vodami a vyhodnocení norem či zákonů, vzhledem k jejich přínosu pro řešení dané problematiky.

3 Historie hospodaření s dešťovou vodou

V historii zachytávání a hospodaření s vodou se setkáváme s různými přístupy, ať už více či méně efektivními. Mezi ostatními vzhledem k okolním podmínkám však dominuje systém odvodnění, hospodaření a využití vody v inkém městě Machu Picchu. Město bylo vybudováno ve výšce 2500 metrů nad mořem zhruba před 500 lety, do dnešní doby je nebývale zachovalé a poskytuje nám vhlad do soužití lidí s přírodou v poměrně nepřátelském prostředí ve středu And. Město bylo pečlivě plánováno a nic nebylo opomenuto. Inkové vybudovali síť kanálů a sběrný systém, který do města přiváděl 25 litrů vody za minutu. Tato voda byla distribuována do 16 fontán, které díky přelivným hranám a výlevkám v nádržích udržovaly stálý odtok 25 litrů za minutu, což umožňovalo udržet stálý proud vody i v obdobích s menšími či většími srážkami. Systém fontán se tak dokázal vypořádat s proudem od 10 do 100 litrů za minutu. V případě silných dešťů bylo možné otevřít kamenné ventily, které vodu přeměrovaly do stupňovitých teras. Z pohledu práce je však zajímavější systém odvodnění, který byl, stejně jako celé město, pečlivě naplánován. Systém zemědělsky obdělávaných teras, do který ústily odvodňovací otvory, které odváděly vodu ze střech města. Terasy tak byly dostatečně zásobeny vodou a dodnes zabraňují erozi svahu, která by vedla ke zhroucení města. Vzhledem k průměrným ročním srážkovým úhrnům v oblasti, které činí až 2000 milimetrů za rok, byl systém odvodnění naprosto klíčovou součástí města, který díky své funkčnosti zachoval město až do dnešních dnů (Wright K. R., 2021).

V Evropě v téže době dochází k renesanci a spolu s renesancí přichází také větší zájem o parky. Pro tuto dobu je typický takzvaný italský park nebo italské terasovité zahrady. Ve velkém se budují zvláště v jižní Evropě, ale mezi příklady těchto zahrad v českých zemích jsou palácové zahrady pod Pražským hradem. K jejich budování dochází na konci 16. století, a to z důvodu ztráty obranné funkce jižních hradeb Pražského hradu. Musíme si ale uvědomit, že i přes přínos v podobě zdržení srážkové vody, všechny tyto parky a zahrady byly vytvářeny za účelem odpočinku společenské smetánky a většina obyvatel ani neměla do těchto zahrad přístup (Hendrych, 2005).

Revoluce nastává v největších evropských městech populační exploze a „stavební boom“, který nevyhnutelně vede k překotnému rozvoji aglomerací. Také nároky obyvatel se s postupem času mění a lidé si stále více uvědomují potřebu

systemu na hospodaření s odpadní a srážkovou vodou ve městech. Na rozdíl od dnešní doby jsou ale tyto důvody pro obyvatelstvo existenčního charakteru. V Londýně kvůli špatnému přístupu k pitné vodě a zoufalým hygienickým podmínkám, propuká v roce 1853 epidemie cholery, která si vyžádá na deset tisíc obětí. Další problém nastává v roce 1858, kdy se vlivem velice horkého léta linul z řeky Temže tak obrovský zápach, že byla narušena činnost parlamentu, který se také nacházel v okolí řeky Temže. Kanalizace ústila v té době přímo do řeky a tak bylo v okolí ústí umístěno vápno pro rozpuštění toxických látek, ale s nevelkým účinkem. Ještě téhož roku bylo uzákoněno vybudování jednotné kanalizační sítě. Výstavba prvotní jednotné kanalizační sítě v Londýně byla dokončena v 70. letech 19. století a vedla k zastavení šíření cholery ve městě (Hlavínek a kol., 2007).

V roce 1828 je v Praze sice dobudováno prvních 44 kilometrů stok, tyto stoky byly ale zaústěny přímo do Vltavy a z dnešního pohledu zdaleka nesplňovaly ani základní parametry, a to jak hygienické, tak technické. Zlom nastává v roce 1865. Stávající situace v té době již nebyla udržitelná, vznikl úřad stavební a hospodářský, nastolena byla „kanalizační otázka“ a debata nad dalším rozvojem odvodnění. Dne 16. 7. 1884 vyhlásila Praha soutěž na projekt generálního řešení pražské kanalizace. Žádný s přihlášených návrhů však před odbornou porotou neuspěl. Po další odborné debatě bylo nakonec dosaženo finálního návrhu, který vypracovali Dr. Hobrecht a Ing. Kaftan. Stoky v pravobřežní části města sváděly odpadní vodu na dolní okraj Karlína ke shybce směřující pod Vltavou do Holešovic. Sem přicházel i hlavní sběrač z levé strany Vltavy, vedený z Malé Strany pod Letnou. Společná hlavní stoka, do níž byl napojen i hlavní sběrač z Holešovic-Buben, měla vyústit do Vltavy pod dolním okrajem Holešovic. Tento projekt neobsahoval čištění odpadních vod (Jásek, 2018). Z pražského zastupitelstva byl ve druhé polovině 19. století velice aktivní Čeněk Gregor. Ten je některými považován za otce pražské kanalizace a zasloužil se o přerod Prahy v moderní město připravené vstoupit do 20. století. Byl nejen politikem, ale i architektem, který se zároveň intenzivně zajímal o technické prostředky na řešení „kanalizační otázky“. Studoval odbornou literaturu a zajímal se o kanalizační systémy v jiných evropských městech. Své vize hájil až do zdárného dokončení kanalizace v Praze (Jásek, 2006).

S počátkem 20. století přichází další populační exploze, a to se projevuje i ve výstavbě měst. K Praze jsou přidány v roce 1922 velká území za tehdejší hranicí

města a vzniká tzv. “Velká Praha“. Tento akt byl však spíše symbolický a bylo jen otázkou času, kdy se již poměrně hustě obydlená území na předměstí připojí k Praze samotné. S takovým rozvojem však přicházel problém. Stále větší množství zpevněných, odvodňovaných ploch vytvářely na kanalizaci stále větší tlak, a to i přes oddělení srážkové a splaškové kanalizace. V posledních desetiletích se však oba tyto klasické způsoby odvodnění ukazují jako dlouhodobě neudržitelné. Neudržitelnost současného způsobu odvodnění má dvě hlavní příčiny. První příčinou je nárůst zpevněných ploch umocněný rychlou urbanizací, druhou je měnící se klima (Vítek a kol., 2015).

Dnes je již zcela jasné, že kapacita odvodnění nezpevněných ploch není neomezená, spolu se zvyšováním teploty také roste efekt tepelného ostrova měst, který zvyšuje výpar a také zapříčiňuje nižší objem srážek v centrech měst. Díky těmto faktorům roste potřeba vytvořit soustavu opatření, které když už vodu ve městě nezastaví, tak aspoň její postup zbrzdí a dají tak vodě větší příležitost odpařit se do atmosféry a tak ulevit jak kanalizaci, tak i samotnému prostředí ve městě například mírným poklesem teploty v letních dnech (Hlavínek a kol., 2007)

4 Funkce objektů

System opatření a postupů pro udržitelné hospodaření s atmosférickými srážkami v urbanizovaných území rozdělujeme do čtyř základních skupin, opatření pro zlepšení mikroklimatu a/nebo prevenci vzniku srážkového odtoku, vsakovací objekty, retenční objekty a objekty pro akumulaci a využívání vody. Každá skupina objektů má ve městě svoji nezastupitelnou roli a při návrhu systému je potřeba myslet na vyváženost jednotlivých prvků podle jejich následné funkce a prospěchu okolí, zásadním aspektem je i ekonomická stránka systému (Stránský a kol., 2021a).

Opatření pro zlepšení mikroklimatu a/nebo prevenci vzniku srážkového odtoku

Mezi tento typ objektů a ploch řadíme taková opatření, která se často nachází na začátku odvodňovací sítě. Jde o opatření přímo bránící vodě odtéct z místa dopadu na povrch tím, že ji vsakem nebo zadržením znemožní odtéct. Ve většině případů jsou úzce svázána s vegetací, ale umožňují vsak převážně pouze v místě dopadu vody, není vhodné na tento typ ploch vést vodu z jiného místa. Mezi další výhody patří utváření mikroklimatu v okolí díky výparu, vytváření stínu a v důsledku i snížení teploty v okolí těchto míst. Jeden vzrostlý strom vytváří chladicí výkon 20-30 kW, což odpovídá zhruba efektu zhruba desíti klimatizačních jednotek (Pokorný a kol., 2018). Tyto opatření dále dělíme na propustné a polopropustné plochy, mezi které řadíme například šterkové a mlatové plochy, propustné a zatravněné dlažby nebo šterkové trávníky. Dalším typem jsou zelené plochy. Mezi tyto plochy patří například trávníky, keře, stromy nebo dešťové záhony (Sýkorová a kol., 2021).

Vsakovací objekty

Funkcí vsakovacích objektů je infiltrace srážkové vody do hlubších půdních vrstev. Ta je podmíněna vsakovacími poměry podloží. Konstrukčně jsou vsakovací objekty tvořeny jako plochy či prostory určené k příjmu vody z nepropustných ploch, jejich dočasnou retenci a postupný vsak do podloží. V případě, kdy je svrchní vrstva objektu zatravněna, slouží i jako velmi kvalitní biologický filtr pro přečištění srážkové vody. Často se však pod povrchem nachází nepropustné vrstvy, v takovém případě je nutné vést konstrukci do propustných vrstev a nepropustnou nahradit například šterkem. Při návrhu je nutné počítat s množstvím infiltrované vody do podloží, zvážit rizika znečištění podzemních vod, či vliv zvýšené vlhkosti půdy na okolní stavby (Sýkorová a kol., 2021). Mezi příklady tohoto typu opatření patří plošný vsak

bez retence, vsakovací průlehy, vsakovací retenční rýhy, vsakovací retenční nádrže a vsakovací šachty (Stránský a kol., 2021a).

Retenční objekty

Tento typ objektů volíme zvláště v místech, kde geologické podmínky neumožňují vsak vody do podloží. V takovém případě je snaha vodu alespoň zpomalit a dočasně zdržet odtok. K tomuto účelu se budují retenční objekty. Jde o nadzemní nebo podzemní objekty, jež mají prázdný retenční prostor, který je při dešti postupně zatopen. Množství přitékající vody je závislé na velikosti srážky, odtékající množství je však vždy stejné (regulované). Regulátor je zařízení, které se osazuje na odtoku daného objektu a umožní odtékat pouze povolený průtok (Sýkorová a kol., 2021). Mezi tyto objekty řadíme suché retenční dešťové nádrže, podzemní dešťové retenční nádrže a umělé mokřady (Stránský a kol., 2021b).

Objekty pro akumulaci a využívání vody

Akumulaci využíváme zejména jako zdroj vody pro účely zelené infrastruktury města, jako zálivka rostlin, kropení chodníků a silnic. Vodu je také možné využít pro účely splachování toalet či jiné účely. Pokud je voda vhodně využita v místě dopadu, může v důsledku pomoci hned několikrát, ochlazuje prostředí při samotném dopadu a poté při zálivce či dalším využití (Vítek a kol., 2015). Výhodou akumulačních objektů jsou jejich prostorové nároky a možnost umístění pod zem, na druhou stranu neposkytují žádnou další přidanou hodnotu krom samotné akumulace vody (Hesigová a kol., 2014).

Vodní prvky

Vodní prvky nejsou pro samotné hospodaření s dešťovými vodami příliš důležité, mohou být však cílem vody z akumulačních objektů a v zásadě snižovat efekt tepelného ostrova. Dále plní estetickou funkci a dokážou vhodně doplňovat další prvky HDV (Stránský a kol., 2019).

Ekonomický aspekt

System vsakování a retence srážkových vod v urbanizovaných území má i ekonomické výhody. Cena vodného a stočného, zejména vlivem růstu nákladů na čištění odpadních vod, roste. Dalším důvodem růstu cen je i klesající hladina podzemních vod a zmenšování zdrojů pitné vody. Implementací komplexního systému hospodaření se srážkovými vodami snížíme náklady na odvádění a čištění odpadních vod, zlepšíme stav podzemních vod, ale také snížíme tlak na energetickou síť v letních měsících vlivem ochlazení města (Markovic a kol., 2014).

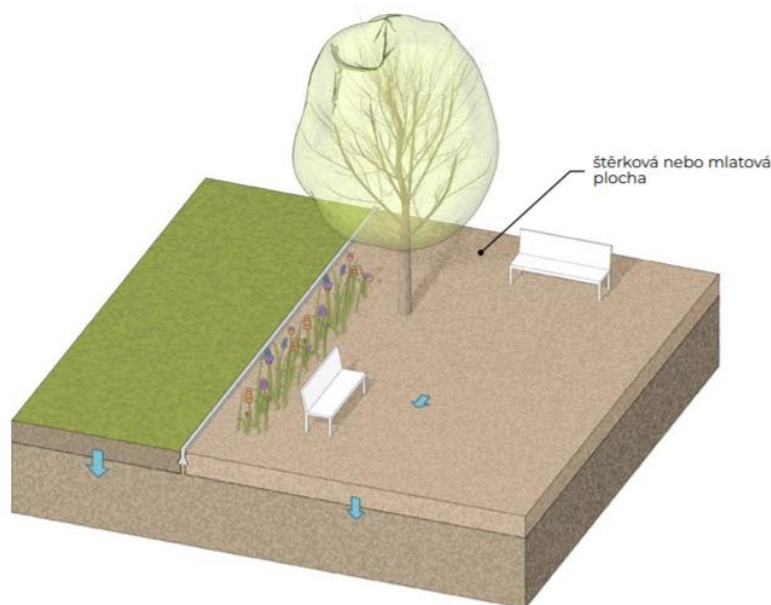
5 Zařízení a plochy pro povrchovou retenci

Povrchová retence či přímé vsakování přes půdní horizonty, je ve volné krajině nejpřirozenějším způsobem retence vody a vsaku vody. Uplatnění tohoto přirozeného způsobu hospodaření s dešťovou vodou, uplatňujeme tedy i v urbanizovaných územích. V zásadě existují dvě možnosti vsaku, přímá v místě dopadu srážky, přes propustnou svrchní vrstvu půdy, nebo v místech určených k vsaku vody přivedené z jiných, jinak nepropustných ploch. Uplatněním způsobu přímého vsaku přes půdní horizonty, nevzniká potřeba vytváření systémů s retenčním prostorem, jako je průleh či povrchová nádrž. Alternativním způsobem vsaku je pak užití systémů pro vsak z povrchu terénu, jako je zatravněvací dlažba či drenážní beton. V ideálním případě je pak srážka na povrchu rozprostřena rovnoměrně, pro dosažení vyšší efektivity odparu či vsaku. Vsakovací zařízení s povrchovou retencí též nabízí výhody v podobě snížení kulminačního nátoků srážkové vody do kanalizace pomocí retence a vsaku a také je využita jejich filtrační schopnost zachytu solných a ropných látek z komunikací. Zvyšování retenční účinnosti půdy volíme na základě znalosti horninového podloží. Tohoto zvýšení můžeme dosáhnout kypřením, či přimícháním písku do svrchní humusové vrstvy (MPMR, ©2019).

Výhody tkví v jednoduchosti a přirozenosti povrchových způsobů vsaku a retence. Cesta vody přes svrchní půdní profily do hlubších hornin je přirozenou retencí vody v krajině. Uplatnění těchto tradičních způsobů hospodaření s vodou na povrchu v kombinaci s technickými systémy jako jsou retenční vsakovací nádrže či průlehy dosáhneme rovnovážnějšího odtoku vody z měst a tím i zmírnění negativních dopadů extrémních srážkových a teplotních výkyvů (Hesigová a kol., 2014).

5.1 Štěrkové a mlatové plochy

Řadí se mezi plochy s nestmeleným povrchem. Používají se zejména, když je možné zpevněnou plochu nahradit nezpevněným povrchem. Takovými případy jsou například chodníky v parcích, okolí dětských nebo sportovních hřišť, méně zatížené části náměstí a podobně. Obecně lze říci, že štěrkové a mlatové plochy budujeme tam, kde zpevněné plochy již ztratily význam. Opatření tohoto typu jsou užívána pouze k vsaku vody, spadlé přímo na svrchní vrstvu. Není vhodné na tyto povrchy svádět vodu z jiných nepropustných povrchů (Sýkorová a kol., 2021).



Obrázek 2 Mlatový povrch (Sýkorová a kol., 2021)

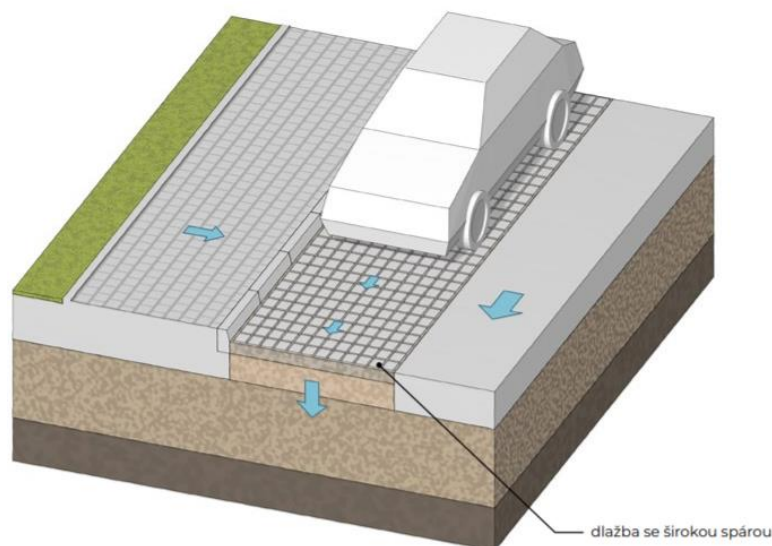
Svrchní vrstvy štěrkových ploch jsou tvořeny kamenivem různých frakcí. Druh a jejich složení je zvoleno na základě odhadu budoucího zatížení a retenčních schopností půdních vrstev. Pro budoucí zatížení automobilovou dopravou jsou zvoleny frakce větší, v případě pouze pochozích vrstev pak menší. Povrch může být zpevněn pomocným roštem či rohožemi zabraňujícím propadávání kameniva. Z důvodů zachování propustnosti je nutné vyvarovat se použití prachu a jiných drobných částic. Mlat a mechanicky zpevněné kamenivo jsou si vzhledově podobné a v praxi jsou běžně označovány pouze názvem mlat (Markovič a kol., 2014). Podkladné vrstvy z kameniva jsou dimenzované na požadovanou zátěž a liší se především technologií pokládky a tloušťkou svrchní vrstvy. Propustnost mlatových ploch nedosahuje propustnosti ploch štěrkových. Povrchy tohoto typu jsou náchylné na erozi, zvláště pak mlat, z tohoto důvodu, se z pravidla neumísťují ve svazích se sklonem vyšším než 5 % (Sýkorová a kol., 2021).

Náročnost budování a údržby těchto typů povrchů není nikterak vysoká, plní velice kvalitně estetickou funkci a jsou velmi užitečnou alternativou ke zpevněným povrchům. Mohou dosahovat poměrně velkých zatížení, tudíž mohou být využity i v případě příjezdových komunikací. Mezi primární výhody patří snížení povrchového odtoku, zdržení vody v místě dopadu a zvýšení půdní vlhkosti. Důležitým faktorem jsou pořizovací náklady, které nejsou nikterak vysoké a také možnost recyklace materiálů. Nevýhody šterkových a mlatových ploch jsou absence vegetační složky a jen malá sorpční schopnost vázat látky, které negativně ovlivňují půdní profily z povrchu (např. ropné látky a soli). Mlatové povrchy jsou ohroženy ve vyšších sklonech erozí a svrchní vrstvy se musí pravidelně doplňovat, naopak je také potřeba odstraňovat kamenivo které bylo přirozeným transportem odneseno mimo komunikace. Nevýhodou je i odstraňování spadaneho listí a odklizení sněhu (Kabelková, 2009)

Cena provedení šterkových a mlatových ploch se pohybuje mezi 480-1300 Kč/m², provozní náklady jsou od 92 do 174 Kč/m² (Sýkorová a kol., 2021).

5.2 Zpevněné propustné povrchy

Jedná se o povrchy z celoplošně propustných vrstev, povrchy z propustných krytů, nebo z nepropustných krytů se spárami či otvory. Současné prefabrikované dlažby, mají díky svému tvaru mezi sebou jen velmi malé spáry, kterými se voda nemůže v dostatečném množství zasáknout do hlubších půdních vrstev. To přináší větší zatížení stokové sítě. Propustné plochy mohou být alternativou k současným nepropustným asfaltům a dlažbám v místech s nižší dopravní zátěží a přispět ke zlepšení vodního režimu v zastavěném území, snížit tlak na stokové sítě a v neposlední řadě zmírňovat negativní důsledky srážkových a teplotních výkyvů, pomocí zvýšení vlhkosti půdních profilů a odparu vody z povrchu, kterým se svrchní vrstvy přirozeně ochladí (Vítek a kol., 2015)



Obrázek 3 Dlažba se širokou spárou (Sýkorová a kol., 2021)

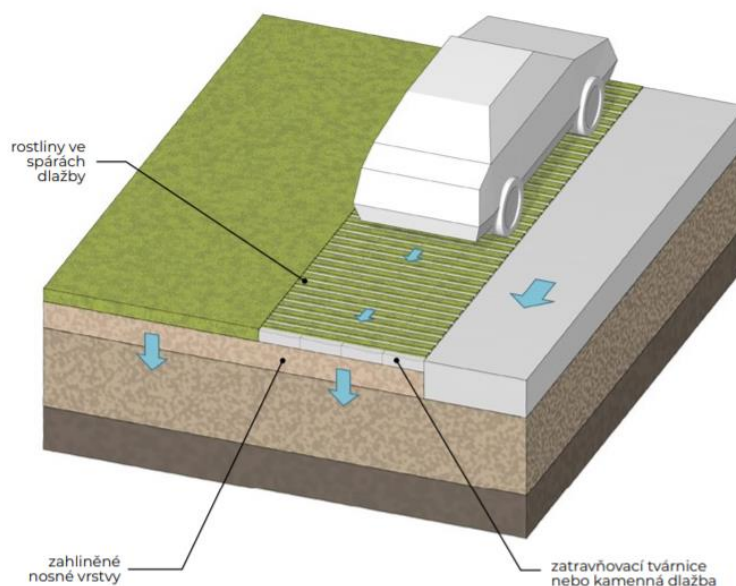
V rámci základního dělení tohoto typu povrchů rozeznáváme povrchy, které umožňují vsak vody skrze spáry nepropustných fragmentů a ty, které umožňují vsak skrze celou svou plochu (propustné dlaždice). Nesmíme však zapomínat na vsakovací schopnost profilu, nacházejícího se pod námi instalovanými propustnými plochami, ta musí být vyšší, než vsakovací schopnost povrchu a konstrukčních vrstev. Tento typ povrchů neumožňuje infiltraci jiné vody než té, která na něj přímo dopadla, tedy stejně jako v případech šterkových a mlatových povrchů (Hesigová a kol., 2014).

Drenážní beton je relativně novou technologií, nabízí alternativu k dlážděným komunikacím. Propustnost vzniká díky obsahu jemných částic, těch je u propustného betonu mnohem méně, než v případě betonu klasického. Vyšší je i objem pórů. Oproti běžnému betonu, kde póry tvoří 3-5 % objemu je to u drenážního betonu 15-22 % objemu (Hlavínek a kol., 2007). Propustný beton je uložen na pískovém podsypu, tam je srážková voda zdržena do doby jejího vsaku do půdy. Jeho přední výhodou je možnost volby jakéhokoliv tvaru, absence odpadů, které vznikají při řezání dlažby do požadovaného tvaru a kladný vliv na okolní klima. Jeho propustnost dosahuje až 95 %. Nevýhodou oproti dlažbě je v městském prostředí zvláště monolitická konstrukce. Ta brání případným úpravám inženýrských sítí, nacházejících se pod komunikací. V případě potřeby opravy je pak nutné vyměnit kompletně celý povrch, a to je velmi nákladné (Collepari, 2009). Příkladem užití drenážního betonu v praxi jsou parky Gaštanica a Jama v Bratislavě, nebo parkoviště před obchodním domem LIDL v Písku. Cena provedení zmíněných ploch se pohybuje

mezi 1230-1550 Kč/m², provozní náklady jsou od 10,- do 40,- Kč/m² (Sýkorová a kol., 2021).

5.3 Zatravněvací dlažba a štěrkový trávník

Tyto typy povrchů bývají instalovány v místech nižšího zatížení. Typicky se jedná o méně využívané chodníky na sídlištích, parkoviště u méně frekventovaných cílů, pěšiny nebo zkratky. V případě parkoviště se musí jednat o místa, kde není předpoklad delší stání vozidel. Tato doba by neměla přesáhnout deset hodin denně (Sýkorová a kol., 2021). Zatravněvací dlažba, vegetační tvárnice a štěrkové trávníky dosahují dobrého čistícího účinku. To je důležitým faktorem právě v případě stání pro automobily. Při návrhu je nutné počítat s údržbou a mít stanovené postupy údržby. Neudržované plochy ztrácí svůj účel a stávají se více přítěží než přínosem. Jedná se o situace, kdy trávnatý povrch ve spárách, či štěrkový trávník důsledkem vysokých teplot a zanedbáním zavlažování odumírá. Opačným případem je zanedbání sečení, taková situace sice nemá přímý negativní vliv na retenci vody, ale komunikace či plochy se stávají neestetickými a neplní dostatečně svou funkci ve veřejném prostoru (Hlavínek a kol., 2007).



Obrázek 4 Zatravněvací dlažba (Sýkorová a kol., 2021)

Zatravněné štěrkové plochy poskytují vysokou retenční i odpařovací schopnost a disponují i určitým biologickým čistícím výkonem. Tento typ ploch je i poměrně levný a disponuje velkou únosností, je tedy možné jej použít i v případě ploch určených k parkování. Pro výstavbu je nutno odstranit horních cca 25 cm půdy,

spodních 10 cm profilu je nosná štěrková vrstva, tvořena štěrkem frakce 0/32 (Hlavínek a kol. 2007). Horní vrstva se skládá se směsí štěrku a půdy osetou travním semenem a posypanou štěrkem. Příkladem užití štěrkového trávníku je areál oblasti Dolních Vítkovic, kde slouží jako alternativa k velkým zpevněným plochám, pomáhá zmenšit odtok vody a snižuje efekt tepelného ostrova (Sýkorová a kol., 2021).

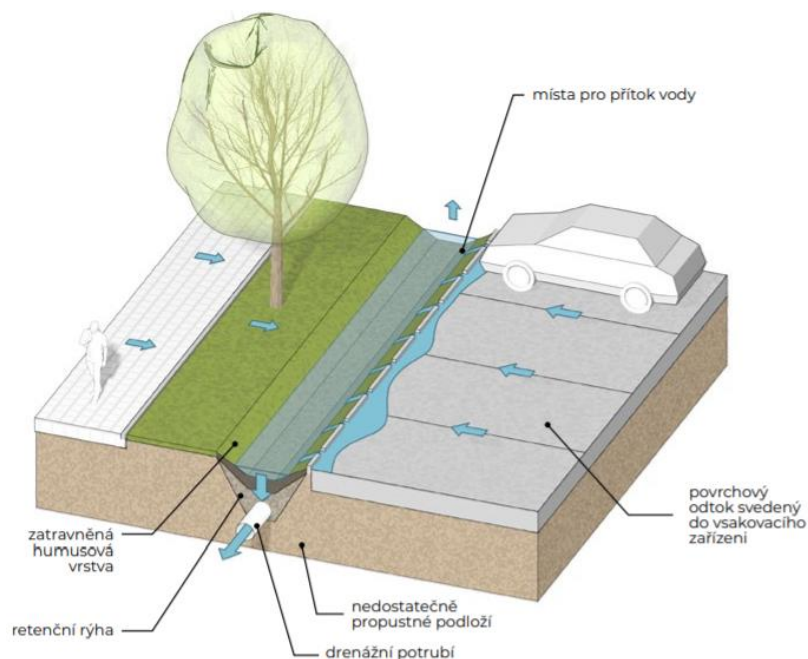
Zatravňovací dlažba je příkladem povrchu, který poskytuje vysokou odolnost a zároveň kvalitně plní estetickou a ekologickou funkci pro své okolí. Jeho předností je stejně jako v případě štěrkového trávníku filtrační a retenční funkce. Obvykle je dlažba tvořena z betonových nebo plastových materiálů, takzvaných roštů, případně kamennými dlaždicemi, pokládány se širokou spárou vyplněnou hlinitopísčítým substrátem obsahujícím travní osivo. Plastové součásti však trpí nižší životností v místech styku s koly aut, také tvoří jistou ekologickou zátěž. Je tedy nutné zvážit jejich vhodnost vzhledem k potřebě (Stránský a kol., 2021b). Dlažba může pokrývat celou šířku komunikace, na méně využívaných pasážích komunikací můžeme zvolit pokrytí jen v konkrétních exponovaných místech. Zatravňovací dlažba najde uplatnění i v místech, kde bývá trvanlivý povrch pravidelně narušován sešlapem, jedná se například o zkratky na travnatých plochách, mezi obytnými domy. V takovém případě se sice nezvýší retenční schopnost místa, ale jedná se o vhodnou alternativu ke standartním zpevněným plochám (Kabelková, 2009).

Cena provedení štěrkových trávníků se pohybuje mezi 760 a 1340 Kč/m² roční údržba včetně odstraňování plevelů a doplnění štěrku je 128-210 Kč/m². V případě zatravňovací dlažby činí investiční náklady 1180-1390 Kč/m² a roční údržba 48-60 Kč/m² (Sýkorová a kol., 2021).

5.4 Vsakovací průleh

Průleh je zařízení pro zachytávání, krátké zdržení a následný vsak dešťové vody. Zásadní rozdíl oproti předchozím typům zařízení účel průlehu. Ten je určen primárně pro vsak a hospodaření se srážkovými vodami, které spadnou mimo plochy průlehu a teprve následně jsou pomocí sklonu nebo kanalizace svedeny do průlehu, určenému k retenci a vsaku této vody. Jedná se o mělký, široký příkop s biologickou vrstvou na povrchu nebo obsypaný štěrkem. Vegetační vrstva bývá většinou zatravněna, ale může být tvořena i kvetoucími rostlinami. Výhodou kvetoucích rostlin na povrchu průlehu je estetika a biologická rozmanitost s kladným vlivem na hmyz.

V případě nedostatečně propustného podloží, může být průleh doplněn retenční rýhou s drenážním potrubím (Sýkorová a kol., 2021). Zsakovací průlehy jsou nejlevnější a stavebně nejsnáze proveditelné řešení. Většinou se průlehy dělají tak velké, aby se i za silného deště veškerá voda vsákla do 15 hodin. Pokud jsou srážky slabší, voda se v průlehu ani neobjeví (Kabelková, 2009).



Obrázek 5 Vsakovací průleh (Sýkorová a kol., 2021)

Vsakovací průlehy by měli být dimenzované tak, aby v nich docházelo pouze ke krátkodobému vzduť. Při dlouhodobějším vzduť vody stoupá riziko zakolmatování (zanesení) a ztuhnutí povrchu, což v důsledku může vést ke zhoršeným retenčním schopnostem. V tomto směru se jako maximum osvědčila výška vzduť 30 cm. Niveleta dna průlehu by měla být navrhována jako vodorovná, pro co nejlepší rozložení vody v celé délce průlehu, důležité je ji v průběhu užívání nadále udržovat vodorovnou. V případě delších či větších průlehu je vhodné, zvláště v případě svažitého terénu opatřit průleh zemními hrázkami (Hesigová a kol., 2014). Hydraulické zatížení vsakovacích průlehu má probíhat, pokud možno povrchově otevřenými přítokovými žlaby. Obecně jsou odtoky vedeny přímo ze zpevněných ploch do průlehu. V takovém případě je pak snaha zajistit co nejrovnoměrnejší přítok vody přes hranu zpevněných ploch. Při bodovém zaústění z otevřené rýhy nebo trubního vedení musí být učiněna opatření k rovnoměrnému rozmístění a proti vyplavení. V ideálním případě dojde k vytvoření systému průlehu a zelených ploch a jejich přirozenému spojení. Díky druhově bohatému osetí s různými travami, keři

nebo stromy mohou být „technická díla“ sama tvořícími prvky na malých pozemcích. V suchách obdobích mohou být zelené plochy využity jako prostory pro hru a relaxaci. Tak nevzniká žádný dodatečný nárok na plochu. Míčové hry jsou však nevhodné, neboť dochází ke zhutnění půdy (Hlavínek a kol., 2007).

Výstavba se provede odstraněním horní vrstvy, vytěžením zeminy, rozprostřením vsakovací vrstvy šterku 2/36. Na takto vytvořený vsakovací základ se nanese směs suti a zeminy a oseje se směsí travin a křovin. Požadovaná vsakovací plocha vychází cca 15 m² na 100 m² odvodněné plochy. Hloubka jamek by měla být maximálně 0,3 m, vhodná tloušťka oživené půdní vrstvy je 20-30 cm. Sklony jsou ideální v poměru 1:2, vhodné je zaoblení profilu (Hlavínek a kol., 2007).

Vsakovací průleh s retenční rýhou navrhujeme v případě, kdy půdní profil nebo hornina nedosahuje dostatečných vsakovacích parametrů. Případně bývá užíván v místech, kde se pod průlehem mělce uložená nepropustná vrstva. Díky rýze vyplněné šterkem nebo plastovými prefabrikovanými bloky zlepšíme či vytvoříme retenční schopnost vsaku vody do hlubších, již propustných profilů. Do rýhy se uloží drenážní potrubí, to je ukončeno v revizní šachtě bezpečnostním přelivem. Toto potrubí je využito jen tehdy, kdy je retenční rýha zcela zaplněna vodou a bezpečnostním přelivem následně odtéká voda, na kterou již průleh nebyl dimenzován (Kabelková, 2009).

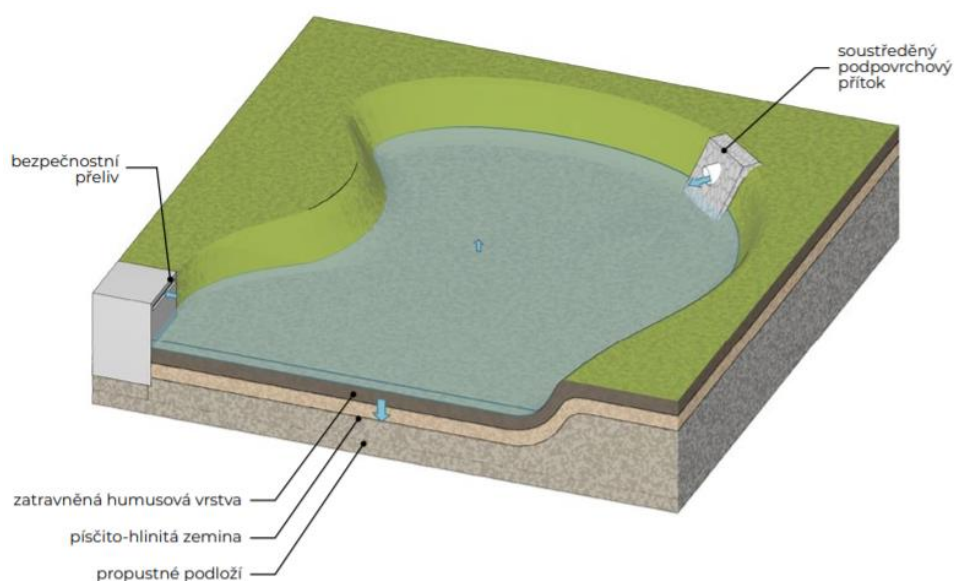
Vsakovací průleh s retenční rýhou a regulovaným odtokem je navrhován z důvodů velmi nízké vsakovací schopnosti podloží. Z těchto důvodů je voda v rýze zdržena a nevsakuje se do podloží, nebo jen ve velice omezené míře. Z tohoto retenčního prostoru následně voda pomocí regulátoru umístěného na konci drenážního potrubí, za bezpečnostním přelivem, odtéká regulovaně do šachty. Z té srážková voda pokračuje do povrchových vod nebo kanalizace (Stránský a kol., 2013).

Náklady na stavbu průlehu se liší podle jednotlivých druhů průlehu. Cena údržby není podle druhů průlehu příliš rozdílná a ve všech zmíněných případech se pohybuje mezi 30 Kč a 62 Kč na jeden metr průlehu za rok a zahrnuje sečení trávy a jinou povrchovou údržbu, v případě průlehu s retenční rýhou i pravidelnou kontrolu šachty. Pořizovací náklady se však liší výrazně, a to u ceny materiálu, náklady zemních prací jsou též podobné. V případě jednoduchého průlehu se zatravněným povrchem je pořizovací cena 1920-2530 Kč/m². U průlehu s retenční rýhou z prefabrikovaných

bloků náklady dosahují 3340-5180 Kč/m², je-li zvolen průleh, s retenční rýhou vyplněnou šterkem, cena oproti průlehu s prefabrikovanou rýhou stoupne o zhruba 200 až 500 Kč/m². Posledním a finančně nejnáročnějším typem průlehu je průleh s retenční rýhou a regulovaným odtokem, náklady na jeho stavbu jsou 4340-9770 Kč/m² (Sýkorová a kol., 2021).

5.5 Vsakovací nádrž

Dalším typem zařízení pro retenci a vsak dešťové vody do půdních horizontů je Vsakovací nádrž. Vsakovací nádrž je tvořena objemným retenčním prostorem, díky němuž je schopna pojmout srážkovou vodu z většího množství zpevněných a nezpevněných ploch ve městech. Vzhledem k povaze zařízení je vhodné vybudování nádrží v místech s velkými plochami zeleně nebo naopak v prostředí, kde se takové plochy nenachází téměř vůbec a vsak vody ze zpevněných ploch je výrazně omezen. Samotné vsakování probíhá stejně jako v případě vsakovacího průlehu se zatravněnou vrstvou přes ozeleněnou svrchní vrstvu, kterou jsou pokryty svahy i dno nádrže. Vedle estetické, ekologické a zdržovací funkce má travní povrch kladný vliv i na kvalitu vsakované vody, díky jeho filtračním schopnostem (Stránský a kol., 2021b).



Obrázek 6 Retenční vsakovací nádrž (Sýkorová a kol., 2021)

Poměr mezi plochou napojených nezpevněných ploch a plochou vsakovací je zpravidla větší, než 1:15. Díky tomu je vhodné nádrže navrhovat v místech napojení velkých jednotných ploch, například u průmyslových areálů nebo v oblastech nové výstavby. Toto vysoké hydraulické zatížení si ve vztahu na požadavek relativně rychlého prázdnění nádrže vyžaduje dostatečnou a trvale zajištěnou propustnost

podloží. Při nižších propustnostech se zvyšuje doba prázdnění a tím i doba vzduť. Obzvlášt' důležitý je správný odhad doby kolmatace nádrže v čase. Příčinou zakolmatování jsou v první řadě látky, které sebou nese voda dešťového odtoku, které se v zóně vsaku ukládají a vytváří těsnící nánosy (vnější kolmatace). Vyspádování dna nádrže směrem k místu přítoku zabrání tomu, aby se zanášelo celé dno. Dochází ovšem k zesílenému usazování v místě přítoku. Vsakovací nádrži bývá zpravidla předsazeno usazovací zařízení. To by mělo být navíc vybaveno i zařízením k zachytávání plovoucích nečistot např. nornou stěnou. Pokud nádrže nemají předsazeno usazování, je nutno pro dimenzování počítat s propustností dna sníženou na pětinu. Tím je pro návrh zohledněn postup kolmatace po dobu provozu nádrže. Propustnost svahů (stěn) nádrže může být brána v původní hodnotě (Hlavínek a kol., 2007).

Výhodou je velmi dobrý vsakovací výkon, nevýhodou je samozanášení dna při nevhodné údržbě a také nutnost oplocení, jelikož naplněná nádrž představuje možnost ohrožení pro hrající si děti. Osázením dna a svahů se zvyšuje filtrační schopnost. Nutné je zabránit zhutnění zeminy (např. stavebními vozidly). Sklony svahů musí být navrženy dle bezpečnostního stupně zeminy (Hlavínek a kol., 2007).

Náklady na výstavbu retenčních nádrží se pohybují v rozmezí 1450-1840 Kč/m². Roční náklady na údržbu, jenž zahrnuje sečení trávy, shrabání listí, odstranění nežádoucích předmětů a pravidelnou kontrolu a čištění bezpečnostního přelivu se pohybují mezi 35,- a 65 Kč/m² (Sýkorová a kol., 2021).

5.6 Trávníky

Trávníky a zatravněné plochy tvoří největší zelené plochy měst. Jsou nezbytnou součástí kvalitního života, pro své nenahraditelné pozitivní efekty na okolí, mezi které řadíme velkou retenční schopnost, nižší teplotu povrchu při vysokých teplotách, útočiště hmyzu a dalších živočichů a také pozitivní protierozní účinek. Z důvodu zlepšení propustnosti je vhodné trávník pravidelně kypřit. Po technické a praktické stránce nabízí trávníky také řadu výhod, mezi ně řadíme nízké pořizovací náklady, poměrně jednoduchou údržbu a kontrolu. Trávníky však neposkytují únosnost výše zmíněných povrchů pro účel plošné retence, z tohoto důvodu je účel trávníků jiný, jeho funkce není vytvoření kompromisu mezi potřebou lidí a přírodou, ale tvorba plochy přírodě blízké. To vše s ohledem na typ trávníku, jeho zasazení do okolní zástavby, nezbytnou údržbu a závlivu (Stránský a kol., 2021b). Sečení

travnatých ploch ve městech se stalo v posledních letech důležitým tématem a velké množství měst začalo v parcích uplatňovat metodu tzv. mozaikového sečení. Jedná se o metodu, při které je seč prováděna po jednotlivých fragmentech povrchu v časových intervalech. Díky tomu trávník poskytuje více vývojových stádií rostlin a stává se biologicky rozmanitější. Výhodou mozaikové seče je i odolnost trávníku proti suchu a horkým epizodám, díky eliminaci období po kompletním posečení, během kterého je trávník velice náchylný na podeschnutí, kvůli množství dopadající sluneční energii přímo na zemský povrch. Ten se poté rychleji zahřívá a dochází k velkému odparu vody z povrchu (Hesigová a kol., 2014).

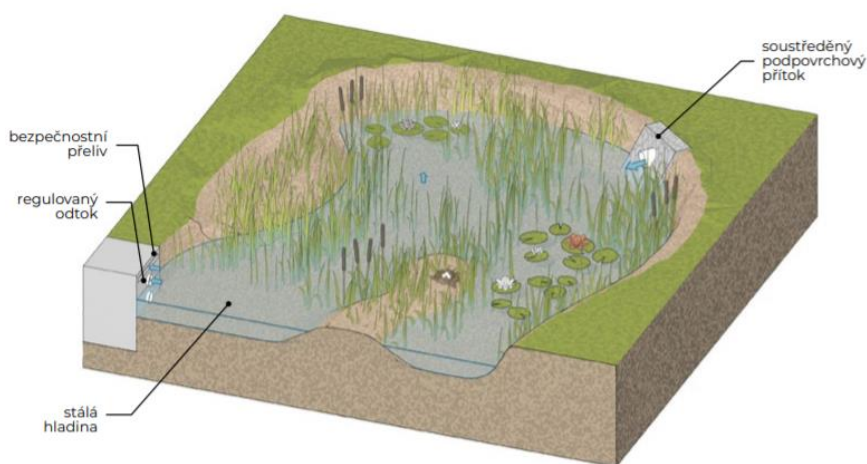
Typy městských trávníků se dají definovat jako škála, kde na jedné straně stojí málo druhový okrasný trávník, vhodný například do menších parků v centrech měst, okolí kancelářských budov či městských zahrad. Tento typ trávníku neposkytuje takovou biologickou rozmanitost ani odolnost, náklady na údržbu jsou poměrně vysoké a jediné co zde dominuje je estetická funkce. Nevýhodou je i náročnost na zálivku a hnojení. Přes to poskytuje dobrou retenční schopnost a pro účely městské vybavenosti jsou takové plochy nepostradatelné. Na opačné straně škály stojí luční, proměnlivé trávníky. Z důvodů potřeby sečení jen dvakrát ročně a bez potřeby zálivky po celý rok jsou tyto trávníky levnější na údržbu, také jsou biologicky rozmanitější, poskytují více potravy a prostoru pro hmyz. Takovýto typ trávníků je vhodné použít na odlehlejších stranách parků či pro parky a zelené plochy na kraji města. Vždy však záleží na konkrétním případě a místě. Vhodnost zvolení správného typu trávníku je důležitá pro vyvarování se zbytečných budoucích nákladů na jeho údržbu nebo dokonce kompletní výměnu (Sýkorová a kol., 2021).

Cena investičních nákladů parterového trávníku, který řadíme právě k méně druhovým okrasným trávníkům se pohybuje mezi 260 a 285 Kč/m². Provozní náklady pak dosahují včetně zálivky, hnojení, sečení a shrabání listí 100-120 Kč/m². V případě lučního trávníku investiční náklady dosahují 125-145 Kč/m², provozní roční náklady pak dosahují 30-40 Kč/m² (Sýkorová a kol., 2021).

5.7 Umělý mokřad

Samotný umělý mokřad není zařízením pro přímé zdržení a vsak dešťových vod, jeho obrovské přínosy pro okolí jsou však nezpochybnitelné. Poskytují životní prostor velkému množství živočichů, snižují vliv tepelného ostrova ve městě a jsou přirozeným estetickým doplněním městské krajiny. Hlavní funkcí umělého mokřadu

je filtrační schopnost. Je však nutné zvážit limity odstranění znečištění a nároky na plochu mokřadu a jeho údržbu. V městském prostředí, kde dochází k velkému znečištění dešťových vod nalezne mokřad velké uplatnění, jeho prostorové nároky jsou však poměrně velké a často se zde dostáváme do sporu mezi potřebou přečištění vody a ztrátou potenciálně stavebního pozemku (Vítek a kol., 2015). Vzhledem ke své povaze vytvářet divoké prostředí a prostorovým nárokům naleznu umělé mokřady uplatnění zvláště na krajích měst či obcí, nebo na území větších městských parků. Často ale mohou najít umělé mokřady uplatnění v blízkosti nově budovaných logistických hal. Umělý mokřad tvoří často dílčí prvek centrálního systému odvodnění měst (Stránský a kol., 2021b).



Obrázek 7: Umělý mokřad (Sýkorová a kol., 2021)

Investiční náklady na vybudování umělého mokřadu se liší podle typu podloží, ve kterém je budován, způsobu předchozího využití pozemku a velikosti budoucího mokřadu. Náklady mohou činit od 1150 Kč/m² až po 3750 Kč/m² mokřadu (Sýkorová a kol., 2021).

5.8 Stromy

Vzrostlé stromy mají pro hospodaření a zachytávání vody ve městech dvojí roli. V první řadě dokáže plocha listů či jehlic na svém povrchu zdržet srážkovou vodu. Následnou evaporací z povrchu se voda dostává zpět do atmosféry a zlepšuje podmínky ve městě. V druhé řadě jsou stromy významné pro retenci vody z povrchů v okolí. Voda může být svedena k otvorům v chodnicích a následnou retencí selepší životní podmínky jak pro strom samotný, tak klesne zatížení kanalizační sítě. Strom samotný dokáže během letních dnů vyprodukovat chladicí výkon až desítky klimatizačních jednotek, což má velmi významný vliv na snížení efektu tepleného

ostrova. V zásadě se dá říct, množství stromů, v hustě obydlených částech center měst přímo ovlivňuje kvalitu života a spotřebu energie. Toto platí obzvláště ve městech s vysokým množstvím klimatizačních jednotek na počet obyvatel, které zvyšují produkci odpadního tepla do okolí (Pokorný a kol., 2018).

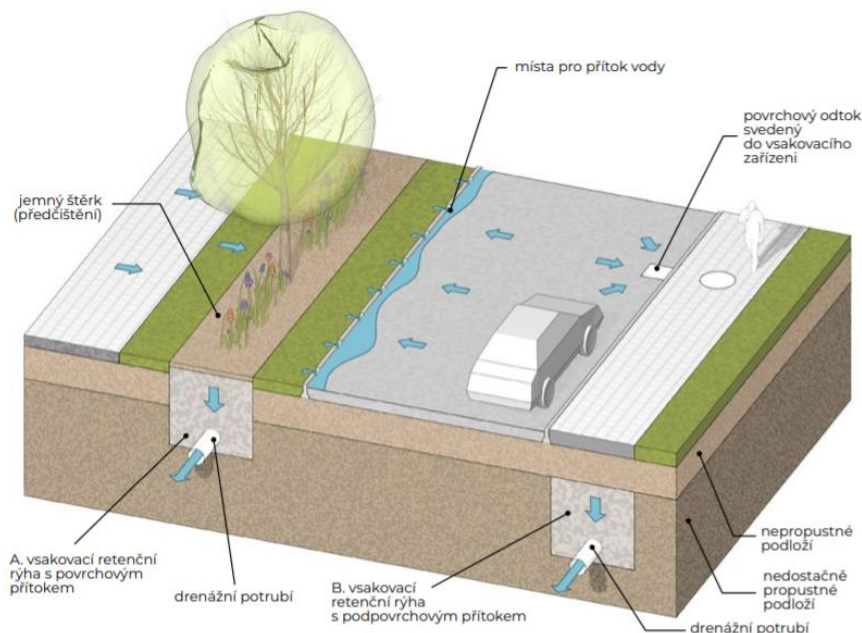
Stromy jsou nedílnou součástí takzvané modrozelené infrastruktury kombinující vodní a vegetační prvky. Problém je zajištění dostatečného množství vody pro kvalitní plnění účelu, který mají stromy poskytovat. Dbát se také musí na co největší omezení kontaminace přitékané vody do vsakovacího prostoru stromu a dohled nad tím, jestli kořeny stromů nenarušují infrastrukturu města (Stránský a kol., 2019).

6 Podzemní zařízení pro vsak a retenci

Zařízení pro podzemní vsak a retenci již netvoří tak přírodě blízké prostředí a struktury. Nutnost takových systémů vzniká při nedostatečně velkých propustných plochách na povrchu v místě dopadu srážek a voda pro svou retenci musí být odvedena do podzemí. Při podpovrchové infiltraci je povrchová část půdního horizontu odstraněna a dešťový odtok je přímo zaústěn do spodních půdních horizontů, které neobsahují prakticky žádný humus. Tyto vrstvy vykazují podstatně nižší schopnost zachycení látkového znečištění než povrchové vrstvy, a to především v těch případech, kdy je jejich propustnost vysoká. Díky tomuto vlivu stoupá nebezpečí kontaminace podzemní vody. To je velmi podstatné v okolí komunikací a chodníků například v zimních měsících, kdy bývají tyto povrchy soleny. Celoročně se pak musíme vypořádat s ropnými látkami v okolí silnic. Z těchto důvodů může být předčištění dešťového odtoku nezbytné (Novotná a kol., 2015).

6.1 Vsakovací rýha

Vsakovací rýha je hloubené liniové vsakovací zařízení vyplněné propustným štěrkovým materiálem s retencí a vsakováním do propustnějších půdních a horninových vrstev. Vsakovací rýha je vhodná zejména u liniových staveb či např. na obvodu parkovišť a tam, kde jsou omezené prostorové podmínky, které neumožňují aplikaci povrchového vsakování. Přívod vody je zajištěn po povrchu nebo pod povrchem. Při vsakování v rýze s podpovrchovým přívodem musí být na vtoku umístěna kalová jímka a revizní šachta, popřípadě proplachovací šachta na opačném konci drenáže. Svým charakterem je alternativou vsakovacímu průlehu, výhodou rýhy jsou menší prostorové nároky. Díky tomuto faktu však neposkytují takový biologický přínos, ten můžeme však navýšit v závislosti na zvoleném vegetačním pokryvu (Vítek a kol., 2015).



Obrázek 8 Vsakovací rýha (Sýkorová a kol., 2021)

Stavební provedení delší vsakovací rýhy by mělo být, pokud možno provedeno tak, aby byla voda v retenčním prostoru rozvedena rovnoměrně, v celé délce rýhy. Z tohoto důvodu je možné vodu rozvádět pomocí podélně umístěného perforovaného potrubí, které je doplněno o revizní šachty pro případnou možnost revize a čištění. V prostoru rýhy je odtok akumulován a předáván do podzemní intenzitou odpovídající propustnosti okolní půdy (Hlavínek a kol., 2007). Velikost rýhy bývá většinou omezena polohou hladiny podzemní vody. Je-li dešťová voda vsakována přes oživenou vrstvu půdy, je dosaženo dobrého filtračního efektu. Je-li srážkový odtok zaústěn přímo do spodních propustných vrstev, je z důvodu rizika kontaminace podzemní vody nutné předradit filtrační zařízení (MPMR ©2019).

Dle způsobu přítoku můžeme vsakovací rýhy dělit na ty s povrchovým přítokem a na rýhy s podpovrchovým odtokem. V případě rýhy s povrchovým přítokem je srážková voda do rýhy přiváděna po povrchu. Na svrchní straně rýhy nalezneme filtrační vrstvu, složenou se štěrku nebo geotextilie. Předčistění vody musí být řešeno pomocí zatravněného pásu mimo rýhu. V případě rýhy s podpovrchovým přítokem je voda přiváděna do vsakovacího prostoru pomocí potrubí. V samotné rýze je voda rozvedena pomocí drenážního potrubí. Předčistění podpovrchového odtoku je řešeno pomocí kalové jímky, případně odborným zařízením (Kabelková, 2009). Rýha by měla být řešena tak, aby byl pomocí revizní šachty umožněn přístup k drenážnímu potrubí. Způsob podpovrchového přívodu vody do rýhy umožňuje využití povrchu

na rýhou pro další účely. V obou případech řešení přítoku vody mohou být rýhy vybaveny regulovaným odtokem v závislosti na vsakovací schopnosti podloží. Regulace odtoku je řešena v revizní šachtě, v níž je umístěn bezpečnostní přeliv, který je nezbytnou součástí regulace odtoku vody. Zároveň tak může probíhat vsakování vody do půdního profilu a regulovaný odtok do jiného vsakovacího zařízení či kanalizace, ideálně oddílné (Sýkorová a kol., 2021).

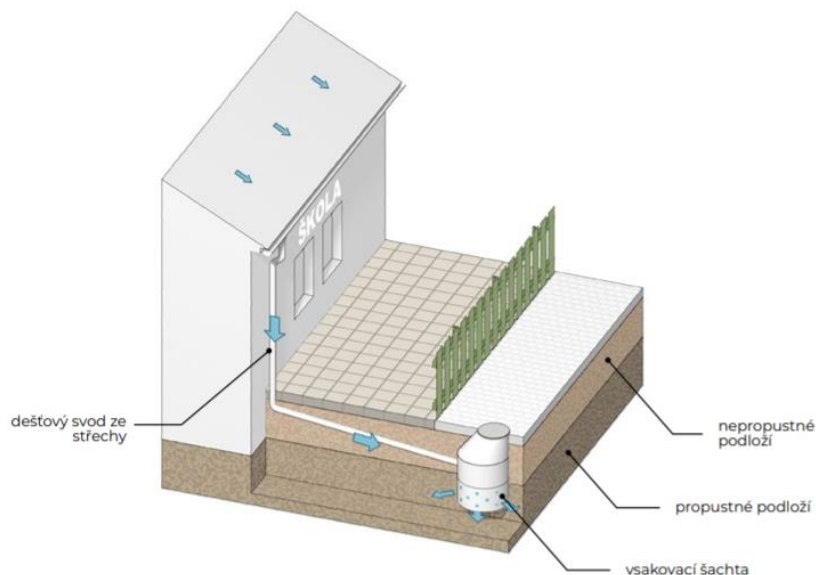
Investiční náklady na vybudování vsakovací rýhy se liší jak v závislosti na typu přítoku vody, tak v závislosti volby vegetačního pokryvu. V případě retenční rýhy s povrchovým přítokem z prefabrikovaných bloků hovoříme o nákladech od 3580 do 5100 Kč/m². V případě rýhy s povrchovým přítokem vyplněnou šterkem cena provedení vzroste o zhruba 300,-/m². V obou případech je do ceny započítán povrch rýhy složený se záhonu trvalek. K investičním nákladům na rýhy s povrchovým přítokem je nutné ještě přidat realizaci zatravněného pásu, jehož náklad odpovídají zhruba 110 Kč/m². Roční provozní náklady u obou typů rýh se pohybují v rozmezí 125 až 200 Kč/m² (Sýkorová a kol., 2021).

Náklady na vybudování rýhy s podpovrchovým přítokem jsou výrazně nižší. V případě prefabrikovaného materiálu jsou náklady 1935-2580 Kč/m². Zvolíme-li rýhu s podpovrchovým přítokem vyplněnou šterkem, náklady stejně jako v předchozím případě vzrostou o zhruba 300 Kč/m². Náklady na údržbu jsou také výrazně nižší a zahrnují kontrolu a čištění šachty. Ročně se pohybují jen mezi 8,- a 32 Kč/m² (Stránský a kol., 2021a).

6.2 Vsakovací šachta

Vsakovací šachta je podzemní objekt určený k bodovému podpovrchovému vsaku srážkové vody. Jsou tvořeny retenčním prostorem, jehož hloubka převažuje nad ostatními rozměry. Stejně jako v případě vsakovací rýhy je zde nevýhodou velmi omezená čistící funkce. Výhodou jsou pak malé prostorové nároky, což je v urbanizovaných územích často velmi důležitým faktorem. Na nátoku musí být dle míry potenciálního znečištění vybaveny předčištěním vody pro účinné zabránění kolmatace nebo objekt s půdním filtrem (Stránský a kol., 2021a). Provádějí se však opatření před zanášením otvorů i v samotné šachtě. Jednou z možností je umístění filtračního vaku do šachty, který plní účel ochrany okolního propustného prostředí před zanesením nečistotami, přes to si šachta zachová dobrou propustnost. Vak je možné vyjmout

a vyčistit. Druhou možností je tvorba filtračního lože na dně šachty (např. písčiny substrát). V takovém případě je vsakování možné pouze dnem samotným. Dojde-li k zanesení filtračních vrstev je třeba filtrační vrstvu sejmout a nahradit novou. Třetí možností je pak naopak vsakování pouze přes perforované stěny šachty. Ve dně šachty se následně vymezí usazovací prostor a následně probíhá jeho čištění dle potřeby (MPMR ©2019).



Obrázek 9 vsakovací šachta (Sýkorová a kol., 2021)

Využívání šachet pro vsak do podloží a dočasnou retenci vody patří již mezi tradiční metody hospodaření s srážkovými vodami. Retenční prostor tvoří vnitřní objem šachty. Ten je dán vnitřním průměrem skruží a hloubkou vsakovací šachty. Samotné zasakování vody do horninového prostředí nebo půdních horizontů pak může probíhat ve dvou směrech, horizontálně přes dno šachty, nebo vertikálně pomocí perforované stěny šachty a spárami mezi skružemi. Využití vsakovacích šachet je však reálně poměrně omezené, vysoké nároky na kvalitu vody a také specifická vlastnost použití v případech, kdy jsou vrchní vrstvy půdy hůře propustné než ty spodní, dělají s vsakovacích šachet zařízení pro spíše specifické situace (MPMR ©2019).

Vsakovací šachta typ A

Skruže mají boční prostupy nad filtrační vrstvou nade dnem. Tento typ šachet má vložen filtrační vak, a to za účelem ochrany spodních vod a udržení vsakovací schopnosti. Celý vsakovací tok musí tímto vakem projít. Ve vaku jsou zadrženy usaditelné a odfiltrovatelné látky před vsakem je třeba podle potřeby filtrační vak vyjmout a buďto propláchnout, nebo vložit nový (Hlavínek a kol., 2007).

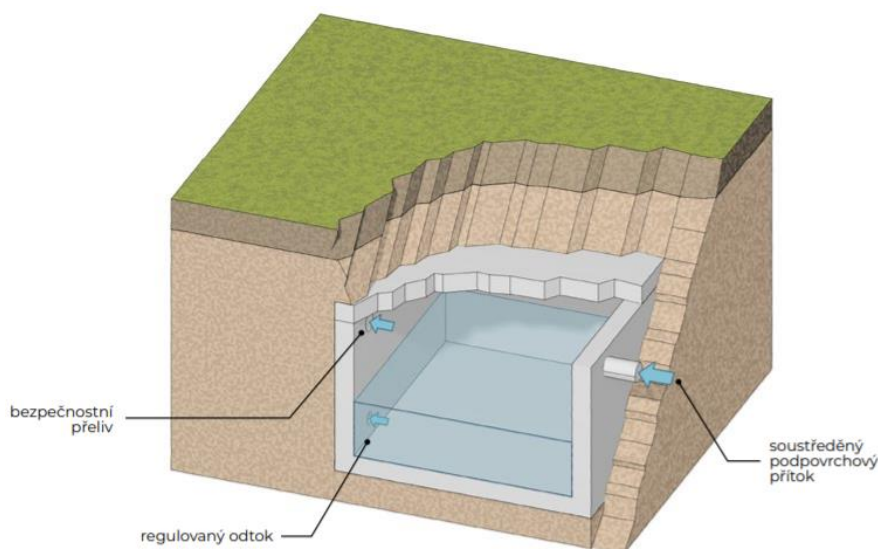
Vsakovací šachta typ B

Skruže mají boční prostupy pod filtrační vrstvou, pod úrovní dna, což znamená, že vsakování probíhá pouze filtračním ložem. Usaditelné a odfiltrovatelné látky jsou zachytávány na povrchu filtračního lože. Je zapotřebí sejmout dle potřeby svrchní vrstvu filtračního lože a nahradit ji novým filtračním pískem (Hlavínek a kol., 2007).

Finanční náklady na výstavbu se liší v zásadě pouze podle typu materiálu, ze kterého je šachta vytvořena, rozeznáváme základní tři typy, šachty z betonových skruží, z prefabrikovaného plastu a šachty zděné. Cena jedné šachty se pohybuje od 23 000 do 57 500 Kč. V tomto případě se jedná jen o modelový příklad průměrné šachty z plastového prefabrikátu a objemu 2 m³, který odpovídá běžně prodávaným plastovým šachtám. Náklady se ovšem mohou výrazně měnit vlivem rozsahu zakázky, či vlivem jiných faktorů (Sýkorová a kol., 2021).

6.3 Podzemní retenční nádrž

Jedná se o nádrže s podzemním prostorem, určeným čistě k retenci dešťové vody. Jsou tvořeny retenčním prostorem, pro zadržení vody a její následný regulovaný odběr, čímž snižují kulminační účinek deště. Retenční prostor je zpravidla tvořen potrubím velkého průměru nebo vodotěsnou jámkou umístěnou pod úrovní terénu vyrobenou z betonu, plastu nebo plastových boxů izolovaných folií. Jedná se o čistě technické řešení, které není ve veřejném prostoru vidět, díky čemuž zde nejsou jakékoliv nároky na estetickou stránku věci a hledí se pouze na míru efektivnosti. Cílem je tedy maximální využití podzemního prostoru pro zachycení co možná největšího množství vody. Díky malým prostorovým nárokům jsou v hustě zastavěném území vhodnou alternativou k povrchové retenci. Podzemní retenční nádrže však nemohou být plnohodnotnou náhradou k nadzemní retenci (Vítek a kol., 2015).



Obrázek 10 Podzemní retenční nádrž (Sýkorová a kol., 2021)

Účelem podzemních retenčních nádrží je protažení a zploštění křivky kulminačního odtoku z měst, snížit tlak na kanalizace a případně vytvořit retenční prostor pro následný odběr vody a její další použití. Příkladem užití tohoto typu zařízení jsou rozsáhlé podzemní prostory, vybudované v japonském Tokiu. Město roky čelilo následkům extrémních přívalových dešťů následkem tajfunů či bouřek a bylo nuceno vybudovat podzemní prostory, které jsou schopny tyto objemy pojmout a následně využít, či postupně vypouštět do oceánu (Sugai, 2017).

Investiční náklady na vybudování podzemních retenčních nádrží se liší zejména vlivem výběru stavebního materiálu, obvykle je zvolen beton či plast. Dalšími faktory ovlivňující cenu provedení nádrže je struktura podloží a objem nádrže samotné. Průměrné podzemní retenční nádrže mají objem 5-25 m³, v takovém případě je cena provedení od 20 000 do 38 000 Kč/1 m³ nádrže (Sýkorová a kol., 2021).

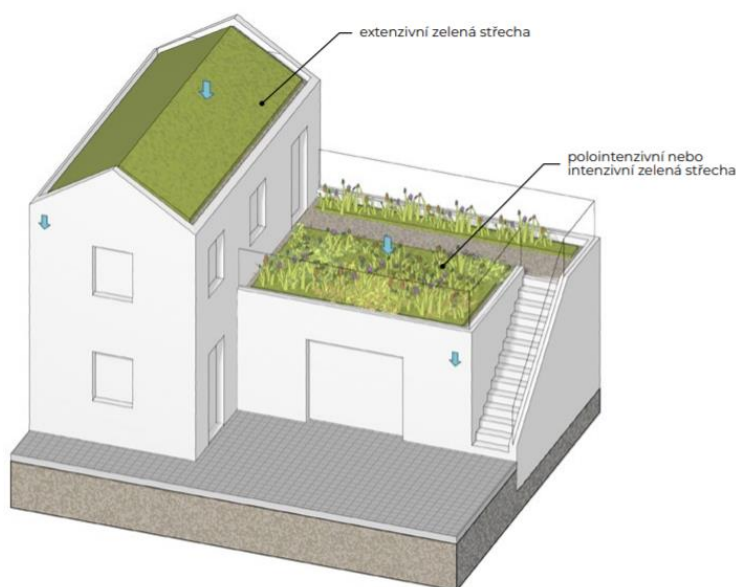
6.4 Podzemní prostor vyplněný vsakovacími bloky

Jedná se o zařízení, jež je alternativou k vsakování pomocí klasické vsakovací rýže. V tomto případě je retenční prostor vytvořen pomocí plastových prefabrikovaných bloků, tvořených perforovanými stěnami. Tento typ opatření se využívá především v místech s nedostatečnou plochou pro přirozenou retenci vody na povrchu, nebo v případě špatné propustnosti horninového podloží. V takovém případě je nutno počítat s delším zdržením vody v retenčním prostoru a tomu tento prosto uzpůsobit. Voda je do retenčního prostoru přiváděna podpovrchovým potrubím, přes usazovací a rozdělovací šachtu. Důvodem předčištění a zdržení splavenin před

vtokem do akumulčního prostoru je zásadní zvýšení životnosti systému. Je-li podzemní prostor součástí širšího systému nakládání s dešťovými vodami je vhodné doplnění o bezpečnostní přeliv, který v případě mimořádných či dlouhodobých srážek umožní přebytečný přítok do prostoru odvést do kanalizace nebo lépe retenční nádrže, z důvodů možného ohrožení zastavěného území (MPMR ©2019).

7 Zelené střechy

Během hodnocení a porovnávání dříve zmíněných systémů zadržení vody v urbanizovaných územích, byla řešená srážková voda převážně dopadající na veřejně přístupné prostory měst, jako jsou komunikace, parkoviště nebo jakýkoliv volný městský prostor. Výjimku tvoří retenční prostory, které slouží k hospodaření s vodou, často dopadající i na střešní plochy. Cílem udržitelného rozvoje je však řešení těchto vod přímo v místě dopadu srážky. Při pohledu shora je však zřejmé, jak velké množství vody dopadající do městských oblastí, přichází prvotního do kontaktu s povrchem na střechách obytných či jiných budov. Proto je třeba dbát zvýšené pozornosti i právě o tyto značně rozlehlé plochy, které přichází do kontaktu se srážkovou vodou jako první. Jedním z řešení této problematiky jsou právě zelené střechy (Markovič a kol., 2014).



Obrázek 11 Zelená střecha (Sýkorová a kol., 2021)

7.1 Extenzivní zelená střecha

Podstatou extenzivní zelené střechy je vegetace s maximální mírou autoregulace, schopná udržet se v odpovídající kvalitě bez pravidelné zálivky a jen s minimální péčí člověka (obvykle 1–2× ročně kontrola, odstranění nežádoucí vegetace, přihnojení dle typu substrátu a vývojové fáze porostu). Výběr použitých rostlinných druhů je nutné maximálně přizpůsobit stanovištním podmínkám. Vegetaci extenzivních zelených střech tvoří rostliny s vysokou regenerační schopností a schopné přizpůsobit se extrémním podmínkám stanoviště. Rostliny musí být v daných podmínkách dostatečně konkurence schopné, aby potlačovaly rozvoj nežádoucích rostlin. Porost extenzivní střechy tvoří vegetace s předvídatelným

sukcesním vývojem, který může zahrnovat i spontánní osídlení dalšími, při realizaci nepoužitými druhy (Dostal a kol., 2017).

7.2 Intenzivní zelená střecha

Tento typ zelené střechy je již svým složením a strukturou více podobný klasické volné přírodní krajině či zahradám a dokáží plnit i jejich funkci. Osázeny jsou tak již klasickými trávničky, křovinami či dokonce stromy. Z laického pohledu je tedy spíše vhodnější užití termínu střešní zahrada. Ten dokáže lépe evokovat představu skutečného účelu užití a funkce takovýchto střešních ploch. Podobou a principem fungování, totiž intenzivní zelené střechy odpovídají právě běžným zahradám (Hesigová a kol., 2014)

Oproti extenzivnímu typu zelených střech jsou však ty intenzivní náročnější na údržbu i konstrukci. Intenzivní zelené střechy vyžadují stálou a pravidelnou údržbu a dohled nad dlouhodobým vývojem, aby stále dokázali plnit svoji určenou funkci. Často bývají doplněny z důvodu náročnosti rostlin na zálivku systémy na zavlažování, také zde vzniká potřeba instalovanou zeleň pravidelně doplňovat o živiny a samotná mocnost substrátu je v tomto případě minimálně 20 centimetrů, v závislosti na zvoleném typu vegetačního krytu (Novotná a kol., 2015). Soustava zeleně a substrátu je pak doplněna o technické instalační vrstvy, ty jsou dimenzovány na vyšší zatížení, než v případě extenzivních zelených střech. Z důvodů náročnější instalace a údržby tohoto typu zelené střechy je vhodná instalace na ploché střechy (Odbor životního prostředí Magistrátu města Brna, 2019).

7.3 Semi-intenzivní zelená střecha

Semi-intenzivní zelené střechy jsou kombinací intenzivních a extenzivních zelených střech. Jsou charakteristické drobnými bylinami, nízkými keři a travami různých druhů. Typická střední hloubka substrátu pro semi-intenzivní střechu je pak 15-30 centimetrů. Poskytují potenciál pro formování zahradního efektu. Stejně jako intenzivní zelené střechy jsou závislé na závlahovém systému a pravidelnému dodávání potřebných živin pro rostliny (Sainz M. R. a kol., 2015).

7.4 Zvolené materiály zelené střechy

Materiál střechy je zvolen na základě zvoleného typu střechy a doporučení výrobce, nebo distributora zvolené skladby. Důležitou součástí zejména během rekonstrukčních realizací, je pak sledování přítomnosti kořenové membrány, či pokud

dochází k úpravám hydroizolace. Hydroizolace musí deklarovat možné použití pro zelené střechy, z důvodu mechanické odolnosti proti prorůstání kořenů, pokud tuto podmínku nespĺňuje, je nezbytné instalovat jako první vrstvu ochrannou fólii, jež splňuje specifickou odolnost proti prorůstání kořenů (Odbor životního prostředí Magistrátu města Brna, 2019).

Substrát je volen na základě požadavků konkrétní realizace. Nezbytně nutné je pak volit substrát na základě konkrétních požadavků s ohledem na statické posouzení konstrukce, plánovanou výsadbu rostlin, typ zelené střechy a formu volené instalace. Střechy, u nichž je plánována nižší únosnost nesmíme přetěžovat a je nutné zvolit substrát, jehož objemová hmotnost i v nasyceném stavu nepřesahuje zhruba 1100 kg/m³. V takovémto případě je pak nejvhodnější volbou přísně extenzivní typ zelené střechy, s výškou substrátu zhruba 5-6 centimetrů. Tato forma sebou přináší limity z hlediska retenční schopnosti střechy. Při volbě substrátu je vhodné zohlednit jeho pH faktor pro správnou skladbu výsadby rostlin. V případě správně zvoleného substrátu můžeme eliminovat vyšší výskyt náletových rostlin na povrchu budoucí zelené střechy (Odbor životního prostředí Magistrátu města Brna, 2019).

Z hlediska volby rostlin je dnes znám konvenční systém vegetačních střech, jinak známý jako zelené střechy. Principem je základ tvořen rodovou rostlinnou monokulturou, tvořenou například rozchodníky. Dnešní doporučení hovoří o tvorbě a rozvoje druhově bohatších směsí na střechách, stále však v rámci jedné rodové skupiny. Častá sestava rostlinných společenstev je v současnosti tvořena druhy *Sedum album*, *Sedum sexangulare*, *Sedum hybridum*, varianty *Sempervivum*, *Sedum reflexum* a řadou podobných druhů rostlin z kategorie rozchodníků. Volba rostlin je závislá na výšce aplikovaného substrátu, přičemž hlavním parametrem je substrátu je obsah organické složky. Ta by měla tvořit 15-20 % z objemové hmotnosti substrátu. Takovýto typ zelené střechy můžeme považovat za základní variantu, aplikovatelnou ve většině případů. Alternativní návrhy jsou vždy možné a vyžadují posouzení odborníka včetně úpravy specifikace použitého substrátu (Odbor životního prostředí Magistrátu města Brna, 2019).

7.5 Přínosy

Schopnost retence vody a její následný odpar do ovzduší přináší městskému prostředí značné benefity v podobě zvýšení vlhkosti vzduchu a tím i zmenšení efektu tepelného ostrova, snížení kulminace odtoku dešťové vody do kanalizace a také

budova samotná se díky zelené střeše stává odolnější proti teplotním výkyvům. Zelená střecha slouží jako velmi dobrá izolace, která v letních dnech zabrání rozpálení střešní plochy. V zimních měsících zelená střecha naopak brání únikům tepla z nejvyšších pater budov. Napojením na tento typ systému, zejména pro budovy s velkorysími technickými prostory, lze vyvinout mechanismus pro akumulaci vody shromážděné ze zelené střechy a její pozdější využití pro různé účely jako je zalévání zeleně, voda na toalety atd. (Zelňáková a kol., 2017).

Pozitivní vliv zelené střechy na delší časové rozprostření dotoku srážkové vody byl prokazatelně dokázán. To vede ke stabilnější odezvě povodí v urbanizovaných území na srážky. Srážky zadržené na povrchu zelené střechy se následně odpařují pomocí povrchu rostlin. Voda je na povrchu střechy případně zadržena i ve vrstvách půdy pod rostlinnou vrstvou. Díky těmto faktorům dochází jen k velmi omezenému odtoku vody do kanalizační sítě. Míra odtoku závisí na použitém typu a technologii zelené střechy, otok bývá však v zásadě omezen o 50-80 %. Dalším nesporným benefitem je samotný fakt přítomnosti vegetačních vrstev v místech, kde běžně nejsou přítomny. To v důsledku vede k potlačení efektu tepelného ostrova, který vede ke zhoršení kvality života ve městech v letních měsících a klade vyšší nároky na naši energetickou síť. V neposlední řadě mají zelené střechy kladný vliv na množství prachu v ovzduší (Hlavínek a kol., 2007).

7.6 Investiční náklady

Náklady na vybudování zelené střechy zahrnují veškeré izolační vrstvy, folie, textilie, substrát, rostliny dopravu i provedení. Náklady se liší v závislosti na zvoleném typu zelené střechy a sklonu povrchu. Náklady na plochou extenzivní zelenou střechu se pohybují od 1000,- do 2000 Kč/m². V případě extenzivní zelené střechy se sklonem vyšším než 15° náklady vzrostou na 2000-2500 Kč/m². Pokud je zvolena intenzivní zelená střecha, bude se cena výstavby pohybovat v rozmezí 2000-3500 Kč/m². Roční náklady na údržbu zelených střech se také liší v závislosti na zvoleném typu. Extenzivní zelené střechy vyžadují nižší údržbu a ročně jsou náklady na 1m² 15-60 Kč. V případě intenzivní zelené střechy se roční náklady na údržbu pohybují od 80-250 Kč/m². Do nákladů nejsou zahrnuty případné statické úpravy budov, pokud instalujeme zelenou střechu na již vystavěnou budovu (Sýkorová a kol., 2021).

8 Legislativa

8.1 Zákon č. 254/2001 Sb.

Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) hovoří o obecných principech nakládání, užívání a ochrany povrchových a podzemních vod. Účelem zákona je tedy chránit podzemní a povrchové vody jako nenahraditelné, ale zároveň ohrožené zdroje. Stanovuje podmínky pro jejich hospodárné využití, zachování vodních zdrojů a předejití stavu nedostatku vody a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod. Součástí zákona je úprava právních vztahů k povrchovým a podzemním vodám, vztah fyzických a právnických osob k využívání vodních zdrojů i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt vodních zdrojů souvisí. Vše v zájmu udržitelného užívání vodních zdrojů.

8.2 ČSN 75 9010

Jedná se o normu s názvem „vsakovací zařízení srážkových vod“ z roku 2012. Tato norma pojednává o návrhu, výstavbě a provozu vsakovacích zařízení, včetně jejich dimenzování. Z hlediska koncepčního přístupu měst k hospodaření s dešťovou vodou však norma neposkytuje dostatečné a ucelené řešení, pokud vodu nelze vsáknout do povrchu (Hesigová a kol., 2014). Mezi konkrétní nedostatky patří absence systémových opatření, řešení odvodnění celků v případě nemožnosti vsaku, či podcenění řešení bezpečnostních přelivů u vsakovacích objektů a možné riziko záplav. Dalším nedostatkem je maximální doba zdržení vody. Ta je normou nevhodně stanovena na dobu tří dnů, což je z důvodů možné četnosti srážek velmi riskantní kritérium (Vítek a kol., 2015).

8.3 TNV 75 9011

Technická norma „Hospodaření se srážkovými vodami“ z roku 2013 navazuje na výše zmíněnou normu ČSN 75 9010. Norma TNV 75 9011 komplexněji reflektuje většinu nedostatků normy ČSN 75 9010 (Vítek a kol., 2015). Prioritně jsou postupy hospodaření se srážkovými vodami stanoveny v následujícím pořadí. V první řadě by se voda měla ideálně vsakovat na pozemku, pokud to není možné hovoří norma o zdržení a regulovaném odpouštění oddílnou kanalizací do vodního toku. V případě že ani tento postup není možné zvolit, je poslední možností regulovaný odtok jednotnou kanalizací (Hesigová a kol., 2014). Zjednodušeně se dá říct, že norma obsahuje potřebné informace pro komplexní návrh a údržbu zařízení pro hospodaření

se srážkovými vodami, pravidla pro koncepcce a stanovuje limitní hodnoty maximálního specifického odtoku ($3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$), či dobu prázdnění retenčních objektů (24 hodin). Pro pochopení hospodaření se srážkovými vodami je důležitý přehled o obou normách, pro samotný návrh je však vhodnější norma TNV 75 9011, která je z pohledu praxe využitelnější (Vítek a kol., 2015).

9 Příklady realizací

9.1 Stuttgart

Projektem vhodně využívající postupy pro hospodaření s dešťovou vodou v Bavorsku je přestavba bývalých kasáren v Scharnhauser park, jež je v okolí Stuttgartu se s plochou 140 hektarů největším rozvojovým projektem městské výstavby počátku 21. století. Voda je odváděna otevřenými systémy a jedním z důvodů, proč byl zvolen tento postup je snaha bránit vysychání dvou potoků pod svahem v letních měsících. V případě deště můžeme pozorovat, jak se žlaby a filtrační příkopy ve středu sídliště plní vodou a jak později tato voda vystupuje v retenčních příkopech vyčištěná na povrch. Systém využívá též sítě drenážních trubek, šachet a potrubí z několika vtokových objektů ke svádění vody do okolních mokřadů a biotopů. Voda ze silně frekventovaných komunikací je vedena odděleně. Její čištění probíhá separátně v dešťových usazovacích nádržích s půdním filtrem, než je svedena do potoků (Bavorský zemský úřad, 2006).

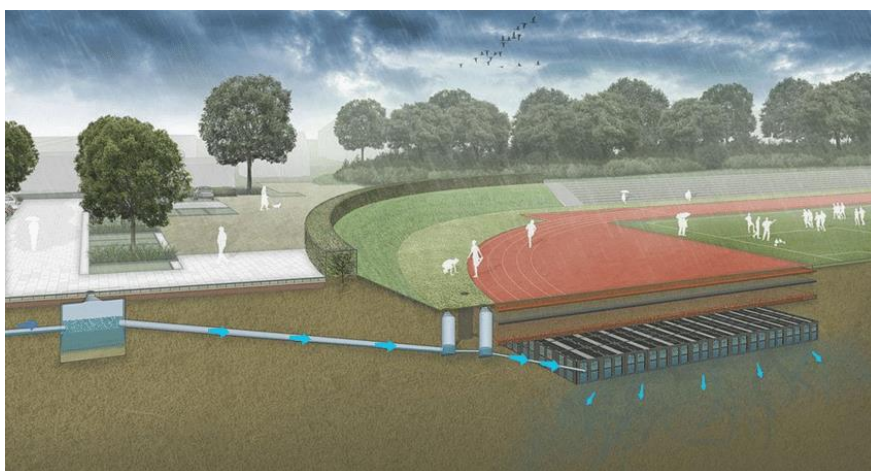


Obrázek 12 Výřez plánu nakládání s dešťovou vodou v Scharnhauser Parku (Bavorský zemský úřad, 2006)

9.2 Hamburg

V Minulosti se několikrát během přívalových dešťů v ulici Möllner Landstraße vyskytly bleskové povodně. Ty se staly hrozbou pro místní obyvatele a ohrožovaly provoz metra, kvůli k nedaleko umístěnému vestibulu. Vzhledem k poloze ulice a už tak extrémním nárokům na kanalizaci nepřicházela možnost jejího zkapacitnění v úvahu. Bylo tak nutné přijít se zcela unikátním řešením.

Bylo rozhodnuto o vytvoření pilotního projektu, jen by zahrnoval technické řešení hospodaření s dešťovou vodou přímo v lokalitě. Konkrétně se jedná o systém podzemního retenčního a vsakovacího úložiště pod místním atletickým stadionem. Dojde-li k vydatným dešťům, přebytečná voda je dovedena do tohoto prostoru. Ten je schopen pojmout více než 500 000 litrů vody (Pokrývková a kol., 2020).



Obrázek 13 Řešení podzemního vsaku, Hamburk (Pokrývková a kol., 2020)

9.3 Stockholm

Ve švédské metropoli je uplatňován komplexní systém řešení srážkových vod s důrazem na využití substrátu pro výsadbu stromů. Principem je pórovité podloží, které je však stále dostatečně únosné pro stavbu komunikací na jeho povrchu. Samotný prostor výsadby je pak vyplněn takzvaným strukturálním substrátem, jež je postupně hutněným kamenivem, do kterého je tlakově proudem vody aplikována směs biolouhu a kompostu. Vlastnost substrátu dokáže eliminovat problémy se zasolením, a i pro závlahu citlivějších stromů. Je možné použít vodu z odtoku z komunikací. Do retenčního prostoru stromů je přiváděna i přebytečná srážková voda z povrchu střech. Z vodohospodářského hlediska je systém schopen pojmout až dvacetiletou vodu. V současné době je takto ve Stockholmu vysázena zhruba 25 % stromů a nová výsadba se již neprovádí jiným způsobem. Nahrazování starých kultur též probíhá podle těchto nových standardů (Stránský a kol., 2019).

9.4 Kodaň

Kodaň se potýkala s problémem vyplívajícím z polohy města. To leží na rovinatém ostrově a z tohoto důvodu se v případě silnějších dešťů tvořily velké laguny. V roce 2011 bylo navrženo alternativní řešení spočívající v oddělení dešťového odtoku od kanalizační sítě kdykoliv je to možné, tam kde to možné není je počítáno se zvýšením kapacity současné kanalizace. Přebytečná dešťová voda by pak měla odtékat novými tunely do oceánu nebo místního vodního toku. Velké dešťové stoky mají za cíl město ochránit před desetiletou vodou. Tento typ řešení v Kodani je ale uplatněn pro řešení jen extrémních srážek (Liu a kol., 2017). Nadále je v koncepci města prioritně zasazena modrozelená infrastruktura pro přirozené hospodaření se srážkovými vodami. Od roku 2025 bude v dánské metropoli povinné ozelenění každé střechy, se sklonem nižším jak 30° . Příkladem vybudování zelené střechy v Kodani je projekt domu „8 house“. Ten se nachází na konci nově zbudované rezidenční čtvrti, na hranici mezi obytnou zónou a přilehlou rezervací přírodních mokřadů. Dvě šikmé zelené střechy, každá o rozloze 1700 m^2 , se svažují ve sklonu 30° z dvanáctého patra až téměř k zemi a snižují vizuální dopad citlivého přechodu mezi městskou krajinou a přírodní rezervací (Rømø, 2014).



Obrázek 14 Zelená střecha domu 8 house, Kodaň (Foerstner, 2019)

10 Výsledné zhodnocení

Z historického kontextu je zřejmé, jak dlouho a rozmanitě se lidé s problematikou srážkových vod ve městech a sídlech zabývají. Historický posun v hospodaření s vodou ve městech a objevy nás zavedly až do současnosti, kdy máme velmi účinné mechanismy na přizpůsobení se novým výzvám, kterým budou naše města čelit v budoucnu. Otázkou je, jak účinně a rychle, ale také dlouhodobě dokážeme tyto prvky posunu našich měst k příjemnějšímu životu aplikovat do veřejného prostoru.

Z rešerše plyne, že existují rozličné metody pro kvalitnější a přirozenější hospodaření s dešťovou vodou ve městech. Každá z nich je jedinečná a najde uplatnění v poměrně specifických případech. Prvky jako například stromy mohou měnit důležitost svého přínosu podle hustoty zástavby v okolí, zcela jiný primární užitek má vzrostlý strom na hlavní třídě a strom v lesoparku. To, co je důležité při aplikaci jednotlivých metod je hned několik věcí. Vztah k okolí, zda-li je možné aplikovat opatření vyžadující propustné prostředí, jaké je dopravní a ekologické zatížení, estetická stránka a podobně. Dalším aspektem je stanovení cílů. Jakou retenční schopnost bude potřeba vytvořit, pro odlehčení kanalizace, zda se počítá s biologickým aspektem opatření či jakou údržbu bude třeba vynaložit pro efektivní provoz. Vzhledem k tomu že již existuje spousta metodických plánů, jak řešit konkrétní prvky města, jako jsou ulice či náměstí, rozhodl jsem se vytvořit koncepci širšího významu, uplatnitelnou ve více městech.

V zásadě se jedná o princip rozdělení města do tří, z hlediska dopadové plochy srážek zcela odlišných oblastí. Tou první je historické jádro města a hustá bloková zástavba, v Praze prezentována například Smíchovem či Vinohrady. Druhou urbanizovanou oblastí jsou pak rozlehlá předměstí a sídliště, která však nejsou tak hustě zastavěna a z celkového pohledu poskytují větší prostor pro retenci vody. Třetí oblastí jsou pak velká rozvojová území a plánované městské čtvrti. Této oblasti dnes můžeme vtisknout zcela přirozený přírodní ráz z hlediska hospodaření s dešťovou vodou, proto je důležité se na tato území zaměřit i přes jejich relativně malou plochu. V ideálním případě by v těchto nově budovaných oblastech měla srážková voda setrvat co nejdéle po dešti, a zatěžovat dešťovou kanalizační síť zcela minimálně.

Centrum a bloková zástavba

Z urbanistického i kulturního hlediska se jedná o nejcennější partie města. Proto musíme k hospodaření s vodou přistupovat citlivě a co nejméně narušovat celkový dojem z území. Proto by strategie měla stát převážně na zvýšení retenční schopnosti již zbudovaných objektů. Konkrétními způsoby jsou využití strukturálního substrátu pro výsadbu stromů po vzoru Stockholmu a svedení co možná největšího množství srážkových vod do těchto prostorů v historickém jádru města. Při přípravách rekonstrukcí veřejných prostranství a ulic by měl být uplatněn vhodný postup pro retenci co největšího množství srážkové vody v oblasti. Podle typologie prostředí se může jednat o vyšší počet stromů (přestavba Václavského náměstí) či využití inovativních přístupů k retenci (Möllner Landstraße, Hamburk). Dalšími kroky jsou pak rekonstrukce parků a zelených ploch. V parcích by na cestách měly převažovat mlatové povrchy a okraje parků v kontaktu s komunikacemi by pak měly sloužit jako pozvolný přesun mezi přírodě blízkým a městským prostředím. K tomu lze využít vsakovacích průlehů a zatravnovací dlažby. Zároveň by tento přechod poskytl značný retenční prostor srážkové vodě z přilehlých komunikací.

Předměstí a sídliště

Tyto zóny měst většinou poskytují dostatečně velké plochy pro retenci a akumulaci vody, jen nejsou vhodně využity. Rozsáhlé travnaté plochy, mezi kterými se nachází zpevněné komunikace, skýtají velkou příležitost pro snížení dešťového odtoku. Prvním opatřením je uplatňování mozaikové seče v případě větších travnatých ploch. Při rekonstrukcích zpevněných ploch jako jsou parkoviště a chodníky důkladně zhodnotit, jejich intenzitu vytyžení a v případě dostatečně nízkého zatížení zvolit zatravnovací dlažbu, mlatové povrchy či šterkové trávniky. Pokud jsou komunikace vyhodnoceny jako nevhodné pro zbudování těchto povrchů, je nutné dlouhodobě přeměňovat travnaté plochy v okolí komunikací tak, aby byly schopny větší retence a vodu do těchto prostor svádět. Přírodě nejbližším způsobem jsou vsakovací průlehy či retenční nádrže. Za předpokladu vyšší koncentrace škodlivých látek, které by se mohly dostat do spodních vod z komunikací, je vhodné zvolit podle prostorových možností umělý mokřad. Vše musí být navrženo v souladu s retenční schopností podloží.

Velká rozvojová území

Při návrhu nových území musí být detailně popsána vsakovací schopnost podloží a následně provedeno vyhodnocení, kolik dešťové vody je plocha schopna pojmout. Na základě této znalosti by pak mělo nově budované území schopno pojmout co největší množství srážkové vody nejen ze svého území, ale i z ploch ve svém okolí. V případě velmi špatné vsakovací schopnosti podloží by měl projekt navrhnout alternativní řešení v podobě podzemních retenčních a akumulacích objektů. Důraz by měl být kladen na maximální využití retenční schopnosti nových zelených ploch jejich zvrásněním či vybudováním retenční nádrže. Střechy by měly být převážně vegetační, pro co největší omezení odtoku. Na komunikacích může být využito vsakovacích povrchů.

Pro porovnání efektivity opatření pro vsak, retenci či akumulaci srážkové vody je nutné znát prostředí, do kterého jsou zasazeny. Z hlediska potencionálního vsaku a retence vody z velkých ploch jsou nejlepším řešením retenční nádrže, které jsou dimenzovány pro retenci vody z nepropustných povrchů, jež mají plochu více jak 15X větší, než je vsakovací plocha retenční nádrže. Velmi dobře plní také estetickou funkci. Problémem jsou však nároky na podloží, které musí být pod retenční nádrží schopno takové množství vody pojmout. Také prostorové nároky je zvláště v centru města a okolí brát v potaz, retenční nádrž může plnit svůj účel jen tehdy, pokud je do jejího prostoru sváděna voda s poměrně velkými plochami, což samozřejmě vytváří nároky i na velikost nádrže samotné.

V takových případech se jako ideální jeví využití vsakovacího průlehu. Ten sice neposkytuje retenční prostor pro velké plochy, ale systém průlehu může být velmi efektivní pro odvodnění větších ploch. Další nespornou výhodou jsou nižší nároky na podloží, prostor a cena provedení. Ne vždy jsou svrchní vrstvy půdy schopné dostatečné infiltrace, pokud se v hlubších horizontech nachází propustné vrstvy, je nejvhodnější a přírodě nejbližší budování vsakovacích rýh. Ty plní velmi dobře funkci, jakou má vsakovací průleh. V případě silných prostorových nároků či vysoké svrchní hloubce nepropustných vrstev, je nejlepší volbou vsakovací šachta či podzemní

retenční nádrž. V případě, kdy jsou vsakovací podmínky dobré a zůstává silný nárok na prostor, je vhodným řešením vodu svádět do prostoru stromů.

Zmíněná opatření velmi dobře plní funkci retence a vsaku vod z nepropustných povrchů. Z dlouhodobého hlediska je ale nejúčinnějším způsobem hospodaření se srážkovými vodami ve městech omezit srážkový odtok na minimum a přiblížit strukturu dopadových ploch přírodnímu stavu. Mezi nejefektivnější řešení tohoto problému patří zelené vegetační střechy. Ty dokáží omezit odtok až o 80 % a výrazně přispět k nižšímu zatížení kanalizační sítě. Nespornou výhodou je také pozitivní vliv na redukci efektu tepelného ostrova a vytvoření biodiverzity v místě, kde se standartně nenachází. Další možnou a účinnou metodou jsou vsakovací povrchy a vegetační dlažby. Jejich užití je však omezené mírou zatížení, kterému budou během svého provozu čelit.

11 Diskuse

Hlavínek a kol. (2007) popisuje možnosti hospodaření s dešťovou vodou, dle struktury obytné zástavby. V případě center měst hovoří o téměř vyloučené možnosti vsakování srážkové vody, vzhledem k míře zpevnění ploch. Jako jediné řešení problematiky zmiňuje ozelenění střešních ploch, které je ve většině evropských měst vzhledem k historickému a estetickému významu téměř vyloučena. Z mého pohledu se od roku 2007 změnilo velké množství technologických postupů a samotná absence velkých vsakovacích ploch již nemusí být překážkou pro hospodárné využití dešťové vody i v centech měst. Díky novým typům substrátů již není problém zasolení vody z komunikací, která je odvedena do retenčního prostoru kořenového systému stromů. Mezi další alternativy patří podzemní vsakovací a akumulací zařízení. V případě oblasti novostaveb, které v mé práci nahrazuje pojem velká rozvojová území, zmiňuje Hlavínek a kol. (2007) integrování jiných přístupů k dešťové vodě do konceptu městského urbanizačního plánu a omezení odtoku na úroveň přirozeného. Příklady takových přístupů jsou například využití technických způsobů pro infiltraci vod z nepropustných povrchů, preferovat povrchové odvádění vod pomocí žlabů a příkopů, využití průlehů doplněnými jezírky v parcích, či vybudování zařízení pro odstranění ropných látek ze znečištěných ploch. Na rozdíl od koncepce centra města zde panuje s mou prací téměř naprostá shoda.

Stránský a kol. (2019) zmiňují ve své studii šest strategických cílů směřování vodního hospodářství v urbanizovaných územích. Jedná se o dosažení přirozené vodní bilance, ochrana urbanizovaného území před zaplavením v důsledku přívalových srážek, ochrana povrchových a pozemních vod proti znečištění, snížení spotřeby pitné vody užíváním srážkové vody, zlepšení mikroklimatu ve městech a podpora využití vody pro zajištění estetických, rekreačních a dalších služeb v urbanizovaných územích. Jedná se o odlišný přístup k řešení hospodaření se srážkovými vodami ve městech, než k jakým dospěla má práce. V praxi by však vedl k velmi podobným výsledkům. Ve studii není rozděleno město, ale samotný způsob nakládání s vodou. S výjimkou cíle snížení spotřeby pitné vody užíváním srážkové vody, je v mé práci alespoň částečně každý cíl též popsán.

Z legislativního hlediska je základním právním rámcem hospodaření a nakládání s vodami Vodní zákon č. 254/2001 Sb. Ten však hovoří pouze o obecných principech a samotné hospodaření se srážkovými vodami nezmiňuje. Významnějšími

právními rámci pro účely práce jsou normy ČSN 75 9010 a TNV 75 9011. Norma ČSN 75 9010 vsakovací zařízení srážkových vod definuje konkrétní způsoby hospodaření se srážkovými vodami, ale čelila kritice za nekoncepčnost, a tak musela být doplněna o normu TNV 75 9011, která již přesně definuje podmínky užití, údržbu a provoz objektů pro hospodaření se srážkovou vodou. Tato norma reaguje na současné trendy a předpisy v oblasti vodního a stavebního práva a zabývá se způsoby nakládání se srážkovými vodami odtékajícími z povrchu urbanizovaného území. Jedná se o návod pro návrh a provoz odvodnění urbanizovaného území způsobem blízkým přírodě. Norma se podílí na naplňování vodohospodářské politiky ČR, jejímž smyslem je zajištění trvale udržitelného rozvoje.

12 Závěr a přínos práce

Veškeré stanovené cíle práce byly naplněny a byla zhodnocena efektivita opatření a povrchů pro udržitelnější hospodaření se srážkovými vodami. Vytvořena byla také strategie uplatnění opatření a jejich zasazení do městského prostředí. Práce představila metody pro udržitelné hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaném prostředí a představila části města, do kterých by bylo vhodné konkrétní metody a povrchy zasadit. Práce prokázala důležitost těchto metod a možné uplatnění ve veřejném prostoru města. Představen byl také legislativní rámec, uplatňovaný při návrhu a posouzení opatření pro hospodaření se srážkovými vodami. V praxi nejlépe uplatnitelnou se ukázala být norma TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami, která je komplexním materiálem pro další postup při řešení dané problematiky.

Přínosem práce je ucelená a jednoduše aplikovatelná strategie, která si neklade za cíl představení zcela nových postupů a metod při řešení hospodaření se srážkovou vodou, ale vytváří jednoduchou koncepci efektivních opatření, které jsou s výjimkou nově budovaných oblastí města aplikovatelná postupně a nevytváří jednorázový finanční tlak na investory, na které je zvláště v dnešní době kvůli prudce se zvyšujícím cenám stavebního provedení tlak již vysoký. Mezi další přínos práce patří ucelená rešerše zpracovaná z mnoha odborných zdrojů, jež hodnotí důvody pro uplatňování jednotlivých postupů a jejich následný přínos pro okolí. Ta se stane podkladem pro diplomovou práci, která by se měla věnovat návrhu metod pro hospodaření se srážkovou vodou v ulici Děkanská Vinice II a legislativnímu procesu, který by takový návrh a realizaci zahrnoval.

Využitelnost výsledků závisí na míře tlaku obyvatel měst a ochotě investorů dané postupy uplatňovat. V dnešní době však tlak narůstá. Vlivem hydrologických extrémů způsobených změnou klimatu jsou dopady na obyvatele měst stále vyšší. Mezi dopady způsobené špatným hospodařením s dešťovou vodou patří například zvyšující se cena vodného a stočného, přes nižší průměrnou spotřebu v domácnostech způsobenou vysokým tlakem na kanalizační síť a čistírny odpadních vod. Přínosem pro budoucí vývoj by mohla být také přísnější legislativa, zpřísnující podmínky výstavby a užívání nových staveb v urbanizovaném území.

13 Přehled literatury a použitých zdrojů

Bajer A., Lisá L., Cílek V., Ložek V., 2020: Geodiverzita a hydrodiverzita. Dokořán, Praha.

Bavorský zemský úřad pro životní prostředí, úřad v oblasti působnosti Bavorského státního ministerstva pro životní prostředí, zdraví a ochranu spotřebitelů, 2006: Přírodě blízké odvodnění dopravních ploch v sídlech. Vodohospodářský úřad Deggendorf, Mnichov.

Collepari M., 2009: Moderní beton, pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT). Informační centrum ČKAIT. Praha.

Čubr V., ENVIC-občanské sdružení, 2019: zeleno-modrá infrastruktura. Rada města Plzně. Plzeň.

DHI a.s. 2017: Městské odvodnění-Hospodaření s dešťovými vodami. DHI a.s. Praha.

Dostal P., Macháč J., Dubová L., Louda J. 2017: ZPŮSOBY SYSTÉMOVÉ PODPORY VÝSTAVBY ZELENÝCH STŘECH. Svaz zakládání a údržby zeleně, z.s. Brno.

Heisigová M. R., Bím J., Bylinová A. a kol., 2014: Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území, Evropský sociální fond.

Hendrych J., 2005: Tvorba krajiny a zahrad: historické zahrady, parky a krajina jako významné prvky kulturní krajiny; jejich proměny, hodnoty, význam a ochrana. Vydavatelství ČVUT. Praha.

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

Jásek J., 2006: William Heerlein Lindley a pražská kanalizace. Scriptorium, Praha.

Kabelková I., 2009: Jak hospodařit s dešťovou vodou na soukromém pozemku. Ústav pro ekopolitiku. Praha.

Liu L., Jensen M. B., 2017: Climate resilience strategies of Beijing and Copenhagen and their links to sustainability, University of Copenhagen. Denmark

Markovic G., Zelňáková M., Káposztásová D., Hudáková G., 2014: Rainwater infiltration in the urban areas, Technical University of Košice, Slovakia.

Ministerstvo pro místní rozvoj, srpen 2019: VSAKOVÁNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD. Odbor stavebního řádu. Praha.

Novotná J., Lubas M., Kabelková I., září 2015 Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR. GEOtest, a.s., Sweco Hydroprojekt a.s. Brno.

Odbor životního prostředí Magistrátu města Brna, 2019: Zelené střechy-Metodika k podání žádosti v dotačním programu na podporu vytváření zelených střech. Odbor životního prostředí Magistrátu města Brna. Brno.

Pokryvková J., Jurík L., Hanzlík R., 2020: Water retention in urban areas in the Danube Region: Study on facts, activities, measures and their financial assessment, Slovak university of agriculture in Nitra. Slovakia.

Pokorný J., Hesslerová P., Jirka V., Huryňa H., Seják J., 2018: VÝZNAM ZELENĚ PRO KLIMA MĚSTA A MOŽNOSTI VYUŽITÍ TERMÁLNÍCH DAT V MĚSTSKÉM PROSTŘEDÍ. Urbanismus a územní rozvoj XXI. S. 26-37.

Rømø D., 2014: Green roofs Copenhagen. The Technical and Environmental Administration in City of Copenhagen. Kodaň.

Schmidt M., 2011: Hospodaření s dešťovou vodou v kontextu adaptace a zmírnění změny klimatu. Technische Universität Berlin. Berlin.

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

Stránský D., Hora D., Kabelková I., Vacková M., Vítek J., 2021a: Standardy hospodaření se srážkovými vodami na území hlavního města Prahy. hlavní město Praha. Praha.

Stránský D., Hora D., Kabelková I., Vacková M., Vítek J., 2021b: Metodický postup uvedení Standardů hospodaření se srážkovými vodami na území hlavního města Prahy do praxe. Hlavní město Praha. Praha.

Sugai M., 2017: Stormwater Control Measures for Tokyo. Planning Section, Planning and Coordination Division, Bureau of Sewerage. Tokyo Metropolitan Government. Tokio, Japan.

Sýkorová M., Tománek P., Šušlíková L., Staňková N., Habalová M., Čtverák M., Macháč J., Hekerle M. 2021: Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu. V Praze. České vysoké učení technické (ČVUT) ve spolupráci s Univerzitou Jana Evangelisty Purkyně (UJEP). ISBN 978-80-01-06817-5.

Šálek J., 2012: Voda v domě a na chatě: využití srážkových a odpadních vod. Grada, Praha.

Tušl J., 2021: Dešťovka. Permakultura. Praha.

Vítek J., Stránský D., Kabelková I., Bareš V., Vítek R.: 2015 Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. Koniklec. Praha. ISBN 978-80-260-7815-9

Vítek J., Vacková M., Vítek R., Pelčák P., Zadražilová M., Hora D., Soldán P., 2018: HOSPODAŘENÍ SE SRÁŽKOVÝMI VODAMI – CESTA K MODROZELENÉ INFRASTRUKTUŘE. Statutární město Olomouc. Olomouc.

Wright K. R., 2021: The Masterful Water Engineers of Machu Picchu, Water. Wright Water Engineers, Inc. Denver, USA.

Zelňáková M., Diaconu D. C., Haarstad K., 2017: Urban Water Retention Measures. Technical University of Košice. Slovakia.

Legislativní zdroje

ČSN 75 9010: Vsakovací zařízení srážkových vod, Český normalizační institut, 2012

TNV 75 9011: Hospodaření se srážkovými vodami, 2013

Zákon č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

Internetové zdroje

Jásek J., Almerová J., 2018: Historie kanalizace (online) [cit. 2022.01.10] dostupné: <<https://www.pvs.cz/historie/historie-kanalizace/>>

Foerstner O., 2019: 8 Tallet bulding in Copenhagen, Denmark (online) [cit. 2022.03.29] dostupné: <<https://www.dreamstime.com/tallet-bulding-copenhagen->

denmark-august-aerial-view-building-designed-famous-danish-architect-bjarke-ingels-image157012627>

Sainz M. R. a kol., 2015: Semi intensive green roof (online) [cit. 2022.02.28] dostupné: <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/sites/cracc/files/inline-files/Semi_intensive_green_roofs.pdf>

Seznam obrázků

Obr. 1: Způsob odvodnění dle míry zastavění (Městské odvodnění-Hospodaření s dešťovými vodami, 2017)

Obr. 2: Mlatový povrch (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 3: Dlažba se širokou spárou (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 4: Zatravnovací dlažba (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 5: Vsakovací průleh (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 6: Retenční vsakovací nádrž (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 7: Umělý mokřad (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 8: Vsakovací rýha (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 9: Vsakovací šachta (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 10: Podzemní retenční nádrž (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 11: Zelená střecha (Voda ve městě: metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021)

Obr. 12: Výřez plánu nakládání s dešťovou vodou v Scharnhauser Parku (Přírodě blízké odvodnění dopravních ploch v sídlech, 2006)

Obr. 13: Řešení podzemního vsaku, Hamburk (Water retention in urban areas in the Danube Region: Study on facts, activities, measures and their financial assessment, 2020)

Obr. 14: Zelená střecha domu 8 house, Kodaň [cit.2022.03.29]

<<https://www.dreamstime.com/tallet-bulding-copenhagen-denmark-august-aerial-view-building-designed-famous-danish-architect-bjarke-ingels-image157012627>>