

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování**



**Návrh opatření hospodaření s dešťovou vodou
v urbanizovaném prostředí**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Petra Sychová, Ph. D.

Bakalant: Pavlína Štůlová

© 2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavína Štůlová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Návrh opatření hospodaření s dešťovou vodou v urbanizovaném prostředí

Název anglicky

Rainwater Management practices in urbanized area

Cíle práce

V současné době stále vzrůstá potřeba aktivního řešení hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném prostředí, a to nejen v malém měřítku, na jednotlivých pozemcích, kde je dešťová voda často následně využívána a je tak naplněna podpora snížení spotřeby pitné vody využitím vody srážkové. Ve větším měřítku, tedy koncepčním přístupem plánování adaptivní multifunkční infrastruktury v obcích a městech, je pak problematika řešena komplexně. Zcela typickým předmětem efektivního hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném prostředí je především obnova a podpora přirozeného koloběhu vody v prostředí charakteristickým velkým množstvím nepropustných povrchů, dále podpora zlepšení mikroklimatu ve městech a v neposlední řadě je nutná ochrana obce před zaplavením vlivem přívalových srážek.

Ochrana urbanizovaného území před lokálním zaplavením, ať již způsobeným soustředěným povrchovým odtokem z extravilánu či nedostatečnou kapacitou kanalizace (překročením hltnosti uličních vpustí) je hlavním předmětem bakalářské práce. Hlavním cílem práce pak je zhodnocení možných návrhových postupů k ochraně urbanizovaného území před soustředěných povrchovým odtokem formou vybraných opatření.

Metodika

- Vypracování literární rešerše dotčené problematiky
- Výběr vhodné studijní lokality
- Zhodnocení stávajícího stavu
- Návrh možných opatření hospodaření s dešťovými vodami
- Shrnutí zjištěných informací

Doporučený rozsah práce

Dle metodických pokynů

Klíčová slova

hospodaření s dešťovými vodami, zasakování, urbanizované území, lokální záplavy

Doporučené zdroje informací

- Butler D., Davies J. W., 2004: Urban drainage. 2nd. London: Spon Press. 566 p.
Krejčí, V., 2002: Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup. Brno: Noel 2000. 560 s.
Pelling, M., 2011: Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation. London: Routledge. 203 p.
Vítek, J., Stránský, D., Kabelková, I., Bareš, V., Vítek, R., 2015: Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 128 s.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petra Sychová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2024

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 2. 2024

prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Návrh opatření hospodaření s dešťovou vodou v urbanizovaném prostředí, vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledky 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

Pavλίna Štůlová

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Ing. Petře Sychové, Ph. D. za cenné rady a odbornou pomoc. Poděkování patří i mé rodině a přátelům, kteří mě během studia a při psaní této práce podporovali.

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku hospodaření s dešťovými vodami. Literární rešerše přibližuje problematiku zmenšujících se zásob pitné vody související nejen se změnou klimatu, ale také narůstajícími se nepropustnými plochami v urbanizovaném území. Rešerše dále seznamuje s moderními přístupy hospodaření s dešťovými vodami a s platnou legislativou, která v České republice není zcela jednoznačná a srozumitelná. Praktická část bakalářské práce je věnována využití srážkových vod ze střech garáží a zpevněných povrchů v obci Račetice a na základě zjištěných výpočtů a získaných dat navržení vhodného řešení ve smyslu udržitelného rozvoje měst a obcí.

Klíčová slova:

hospodaření s dešťovými vodami, zasakování, lokální záplavy, urbanizované území

Abstract

The bachelor thesis focuses on the issue of managing rainwater. The literature review discusses the decreasing supply of drinking water related not only to climate change but also to the increasing impermeable surfaces in urban areas. Additionally, the review introduces modern approaches to rainwater management and the current legislation, which is not entirely clear and understandable in the Czech Republic. The practical part of the bachelor thesis is dedicated to the utilization of rainfall from garage roofs and paved surfaces in the municipality of Račetice. Based on calculated data and obtained information, a suitable solution is proposed in terms of sustainable development of towns and municipalities.

Key words:

Rainwater management, logging, local flooding, urbanized lands

OBSAH

1	Úvod.....	1
2	Cíle práce	3
3	Literární rešerše	4
3.1	Zásoby vody na Zemi	4
3.2	Spotřeba vody	4
3.3	Srážkové vody v urbanizovaném území.....	6
3.4	Znečištění dešťových vod.....	9
3.5	Hospodaření s dešťovými vodami (HDV).....	12
3.6	HDV v platné legislativě ČR.....	14
3.7	Centrální systém odvodnění	16
3.8	Decentrální systém odvodnění (DSO)	17
3.9	Zařízení a objekty HDV.....	18
3.9.1	Snížení či prevence vzniku srážkového odtoku	19
3.9.2	Akumulace a využití srážkových vod	20
3.9.3	Zařízení využívající funkce vsakování	25
3.9.4	Zařízení využívající retenční funkce.....	30
4	Metodika.....	34
4.1	Redukovaný půdorysný průmět odvodňované ploch.....	34
4.2	Celkový objem srážkových vod z odvodňované plochy.....	35
4.3	Výpočet závlahového množství Mz s použitím ideálních srážek IS.....	35
5	Charakteristika studijního území	37
6	Výsledky	40
6.1	Redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy.....	40
6.2	Zisk dešťové vody v jednotlivých měsících	40
6.3	Výpočet závlahového množství Mz s použitím ideálních srážek IS.....	40
7	Diskuse.....	43
8	Závěr	46
9	Přehled literatury a použitých zdrojů:	47

Použité zkratky:

ČOV čistírna odpadních vod

DSO decentrální systém odvodnění

HDV hospodaření s dešťovými vodami

IS ideální srážky

Mz závlahové množství

PHP plán hlavních povodí

1 Úvod

Voda je základním předpokladem existence života. Před mnoha miliony let v ní vznikl život a dodnes je voda základní a nenahraditelnou podmínkou existence života. Voda je také základní stavební látkou všech organismů a zároveň rozpouštědlem, v němž probíhají veškeré chemické děje. Pro mnohé organismy je voda prostředím, ve kterém žijí celý život, jiní potřebují toto prostředí k rozmnožování, ale všechny organismy potřebují vodu k životu. Lidské tělo je tvořeno ze 70 % z vody, bez ní není schopno existovat a po 7 dnech následkem dehydratace umírá.

Lidstvo nepotřebuje vodu pouze z hlediska biologického, ale také k zajištění dalších antropogenních aktivit, především se jedná o hygienu, zajištění domácnosti, dopravu, průmyslovou výrobu, výrobu elektrické energie, ale také pro zemědělskou a hospodářskou činnost.

V poměru k celosvětovým zásobám vody je člověkem voda nejen nadměrně využívána, ale současně s tím dochází i k jejímu znečištění. Přitom se jedná o životadárnou tekutinu, se kterou se musí zacházet jako s velice vzácnou surovinou, protože její množství není neomezené, ale které naopak ubývá. Z tohoto důvodu je pro trvale udržitelný rozvoj zapotřebí s vodami smysluplně hospodařit a minimalizovat její spotřebu, zadržovat ji a vracet do krajiny a půdy tak, aby všechny složky životního prostředí byly vyvážené.

Jedním z důvodů, proč je nutné změnit přístup k dešťovým srážkám, je rozsáhlá urbanizace krajiny. Zvyšující se tempo zástavby vede k narušení přirozeného hydrologického cyklu. V urbanizovaných oblastech voda ovlivňuje kvalitu lidského života, především v období veder, kdy nepřítomnost vody ovlivňuje změnu mikroklimatu. Při dlouhodobém nedostatku vody nemají rostliny dostatek vlhkosti k růstu a metabolismu. To může vést k úhynu rostlin a snížení biodiverzity. Nedostatkem vegetace se tvoří tvrdé povrchové kůry, které způsobují, že jsou půdy náchylnější k erozi. To může mít za následek ztrátu úrodné půdy a zhoršení její kvality. Nedostatek srážek vede k poklesu hladiny podzemních vod, což má negativní dopad na vodní zdroje, jako jsou studny a prameny.

Člověk do přirozeného koloběhu vody zasahuje také stavěním přehrad, rušením mokřadů, narovnáváním vodních toků, melioračními zásahy, čímž je vážně narušován přirozený režim krajiny, což se projevuje stále častějšími přívalovými dešti a povodněmi. Zvýšení teploty, dlouhé období sucha a následné prudké intenzivní deště jsou důsledkem měnícího se klima v globálním měřítku.

Dalším aspektem je enormní nárůst lidské populace, která jen za posledních deset let vzrostla o jednu miliardu lidí na téměř osm miliard. Jedna třetina obyvatel je vystavena nedostatku vody a zhruba miliarda obyvatel nemá vůbec přístup k nezávadné pitné vodě. V mnoha zemích suchých oblastí je dostatek zdrojů čisté vody limitujícím faktorem civilizačního rozvoje.

Efektivní hospodaření s dešťovými vodami je klíčové pro udržitelné hospodaření s vodami v oblastech, které jsou závislé pouze na dešťových srážkách, jako je Česká republika.

2 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je zhodnocení současné situace týkající se hospodaření s dešťovou vodou a navržení přírodě blízkých opatření. V první části je vypracování literární rešerše zabývající se problematikou platné legislativy, územního plánování a klimatických změn. Druhá část je zaměřena na možná řešení, jak nakládat s dešťovou vodou dle moderních přístupů hospodaření s dešťovou vodou. Hlavní cíl je navržení vhodných řešení pro vybranou obec Račetice, které by pomohly zlepšit neutišenou situaci, zejména se záplavami v období přívalových dešťových srážek, a naopak v období sucha s nedostatkem vody.

3 Literární rešerše

3.1 Zásoby vody na Zemi

Celková rozloha oceánů a moří na Zemi zaujímá téměř 71 % z celkové plochy (361 mil. km²) a díky tomu je Země označována jako modrá planeta.

Zásoby vody na Zemi jsou okolo 1 400 mil. km³. Nachází se v různém skupenství (plynném, kapalném a tuhém) ve čtyřech prostředích: voda v mořích a oceánech, voda na pevninách, voda v atmosféře a voda v organismech. Voda v mořích a oceánech tvoří až 97,25 % objemu veškeré vody na Zemi a plní klíčovou globální termoregulační funkci na naší planetě. Teploty v nich se v průběhu roku mění jen minimálně a rozkolísání teplot by mělo fatální následky na potravinovou bezpečnost planety. Sladká voda činí necelá 3 % z celkového objemu veškeré vody na Zemi, z toho je více než 70 % uloženo v ledovcích a ve sněhu, 2 % v podzemních vodách a necelá 0,3 % v řekách a jezerech (Kravčík et al., 2007). Ze studie posledních 20 let vyplývá, že globální dostupnost podzemní vody klesá především na jižní polokouli, zejména v Jižní Americe, jihozápadní Africe a severozápadní Austrálii (Yongqiang et al, 2023).

Z celkového objemu vody na Zemi je pouze 0,007 % pitné vody. Asi 8 milionů lidí na světě nemá přístup k čisté pitné vodě a více než 3,5 milionu lidí každý rok zemře v důsledku nemocí způsobených konzumací špinavé a nefiltrované vody (Hydrotech, 2020).

V současné době jsou v České republice zdroje vody dostačující, ale vzhledem ke změnám klimatu se situace pomalu začíná měnit, zejména v regionech s nedostatkem srážek. Vládou schválená Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky navrhuje komplex opatření, která pomohou zmírnit důsledky sucha a nedostatku vody např. posílení a vytváření nových vodních zdrojů, změny agrotechnických postupů vedoucích k zadržení vody v půdě a zodpovědné hospodaření se srážkovými vodami. Obnovu přirozeného vodního režimu podporují evropské i národní dotační programy (MŽP, 2023).

3.2 Spotřeba vody

Vlivem industriální revoluce v 18. století započal nárůst světové populace a tento trend od druhé poloviny 20. století značně narůstá. Téměř každých deset let na Zemi přibude další miliarda obyvatel. S tímto nárůstem světové populace souvisí

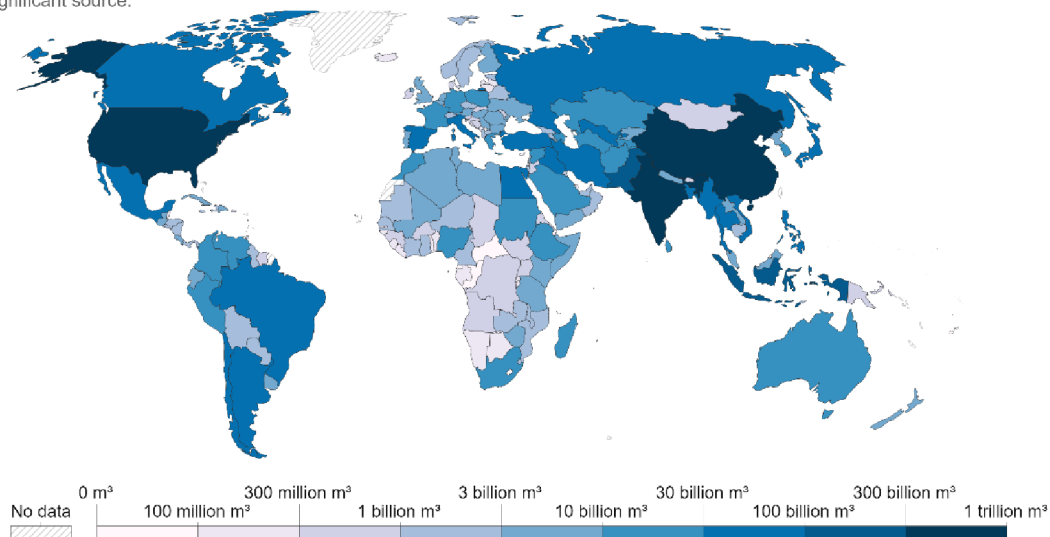
i enormní nárůst spotřeby sladké vody. Od roku 1900 spotřeba vody vzrostla šestinásobně. K zachování udržitelné úrovně sladkovodních toků je zapotřebí, aby spotřeba vody byla nižší než míra jejího doplňování z obnovitelných zdrojů.

V roce 2014 byla největším světovým odběratelem sladké vody Indie s více než 760 mld m³ ročně, druhá Čína s více než 600 mld m³ ročně a následně Spojené státy s přibližně 480 mld m³ ročně (Obrázek 1). Odběr vody závisí na několika faktorech, kterými jsou zejména zeměpisná šířka, klima, zemědělská nebo průmyslová výroba. Pro zemědělskou výrobu je spotřebováno více než 70 % sladké vody z celkového objemu, kdy tato spotřeba úzce souvisí s ekonomickou vyspělostí státu. Mezi největší odběratele sladké vody pro zemědělství jsou Súdán s 96 %, jižní Asie, Afrika a Latinská Amerika s více než 60 % spotřeby, naopak Německo a Nizozemsko pro účely zemědělství využívají méně než 1 %. V průmyslovém odvětví je situace opačná. Největšími odběrateli sladké vody jsou ekonomicky vyspělé země např. USA s více než 300 mld m³, na druhém místě je Čína s téměř poloviční spotřebou 140 mld m³. V průmyslovém odvětví činí spotřeba sladké vody 17 % z celkové spotřeby (Ritchie et Roser, 2018).

Annual freshwater withdrawals, 2017

Our World
in Data

Annual freshwater withdrawals refer to total water withdrawals, not counting evaporation losses from storage basins, measured in cubic metres (m³) per year. Total water withdrawals are the sum of withdrawals for agriculture, industry and municipal (domestic uses). Withdrawals also include water from desalination plants in countries where they are a significant source.



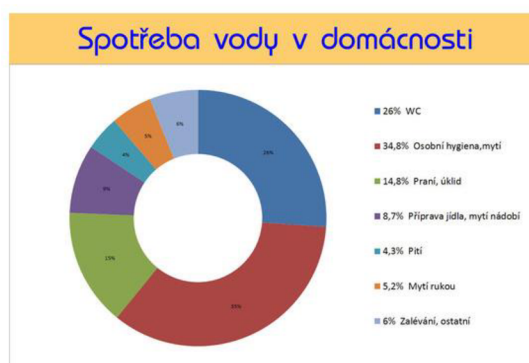
Source: Food and Agriculture Organization of the United Nations (via World Bank)
OurWorldInData.org/water-use-stress • CC BY

Obrázek 1: Odběry sladké vody podle zemí v roce 2017 (OurWorldinData, 2018).

Rozložení využití vody v Evropě je významně ovlivněno regionálními podmínkami a potřebami. Vysoká spotřeba vody v zemědělství v jižní Evropě je často

způsobena potřebou zavlažování kvůli suchým klimatickým podmínkám, což je významný rozdíl oproti jiným regionům, kde mohou být srážky častější a zavlažování méně potřebné. Zatím co v Evropě je přibližně 44 % vody využíváno na výrobu energie, 24 % v zemědělství a 11 % v průmyslu, tak v jižní Evropě dosahuje spotřeba vody v zemědělství 60 % a v některých oblastech dokonce až 80 %. Voda z řek a jezer je využívána především pro průmysl, energetiku a zemědělství, ale pro veřejné dodávky je využívána voda z podzemních zdrojů. V některých oblastech se jeví jako vhodná alternativa odsolování, ale to je vzhledem k vysoké energetické náročnosti zapotřebí zvážit (EEA, 2017).

Česká republika má nižší spotřebu celkové vody než většina evropských zemí. Spotřeba domácností činila v roce 2021 necelých 90 l/osobu/den. Oproti roku 1990, kdy kulminovala spotřeba na hodnotě 173,5 l se jedná o téměř 50 % úsporu. Pokles spotřeby byl způsoben zejména snížením průmyslové i zemědělské výroby po roce 1990 a výrazným růstem cen vodného. Jak znázorňuje (Obrázek 2) nejvíce vody je spotřebováno na osobní hygienu a mytí 34,85 %, dále pak ke splachování toalet 26 %, a na nejdůležitější životní potřebu, což je pití, je spotřebováno pouze 4,3 % (Severočeské vodovody a kanalizace, 2021).



Obrázek 2: Spotřeba vody v domácnosti (Severočeské vodovody a kanalizace, 2021).

3.3 Srážkové vody v urbanizovaném území

V 19. století čelila mnohá města problémům spojeným s hygienou a zdravím obyvatelstva kvůli nedostatečným systémům odpadních vod. Přítomnost splaškových vod, které volně tekly po ulicích a mísily se s dešťovou vodou, vedla k častým epidemiím a šířením nemocí. První stokové systémy byly vybudovány právě s cílem zlepšit hygienické podmínky ve městech a minimalizovat riziko kontaminace zdrojů pitné vody. Tradičním řešením bylo spojení splaškových a dešťových vod do jedné stokové sítě, která vedla mimo město. Později se však ukázalo, že tento přístup není

dlouhodobě udržitelný, zejména s ohledem na rostoucí urbanizaci a změny klimatu. Vysoký podíl nepropustných ploch v urbanizovaných oblastech způsobuje zvýšený povrchový odtok dešťové vody (Obrázek 3), což má za negativní dopady na hydrologický cyklus a životní prostředí. Dešťová voda nemá v urbanizovaných oblastech dostatečnou možnost infiltrace do půdy, protože je zadržována na nepropustných površích, jako jsou komunikace, chodníky, parkoviště a střechy budov (Vítek et al., 2015).



Obrázek 3: Porovnání odtoku srážkových vod v přirozeném a urbanizovaném území (Vítek et al., 2015)

Změna povrchových vlastností v urbanizovaných oblastech vede k narušení přirozeného cyklu dešťové vody a má široké dopady na mikroklima a hydrologii regionu. Tento jev je známý jako „městský tepelný ostrov“ a má mnoho negativních důsledků, včetně změny srážkových vzorců a mikroklimatických podmínek. Městský tepelný ostrov vytváří regiony s vyššími teplotami než okolní venkovská či přírodní oblast. Tyto vyšší teploty mohou ovlivnit proudění oblačnosti a pohyby vzduchu nad městem, což vede k posunu srážek směrem k horským oblastem a extrémním přívalovým deštům. Aby se minimalizovaly negativní dopady městského tepelného ostrova, je důležité implementovat strategie a opatření pro zlepšení regulace dešťové vody v urbanizovaných oblastech, včetně využívání zelené infrastruktury, propustných povrchů a dešťových nádrží. Tyto opatření mohou pomoci zvýšit infiltrační schopnost půdy, snížit povrchový odtok a minimalizovat riziko povodní a dalších nepříznivých dopadů na životní prostředí a kvalitu života (Kravčík et al., 2007).

Odtok srážkových vod je ovlivněn nejen vegetačním pokryvem, ale významným činitelem je také velikost a tvar povodí. Větší povodí mají delší doběhovou dobu (vzdálenost od hydrologicky nejvzdálenějšího bodu povodí do závěrového profilu)

a při intenzivním dešti je menší riziko povodně než u povodí menšího. Tvar povodí zase ovlivňuje dobu koncentrace a velikost kulminace průtokové vlny v závěrovém profilu povodí. Meandrování toku významně prodlužuje vzdálenost a tím i kulminační průtok. Jak upozorňuje Plecháč (1989) narovnávání koryt toků, odstraňování pobřežní vegetace a dláždění břehů kamením a betonem sice přispělo ke zvýšení kapacity koryta, ale také ke zrychlení odtoku vody z našeho území a snižování hladiny podzemních vod. V místě úprav došlo ke zvýšení protipovodňové ochrany, ale problém se tím pouze přesunul na místa pod provedenou úpravou. Podle map z roku 1 800 činila délka větších toků přibližně 12 500 km, zatímco v roce 1950 pouze 7 900 km, což je úbytek 4 600 km vodních toků.

V oblastech s vegetací je část sluneční energie spotřebována na transpiraci rostlin, což je proces, při kterém voda prochází rostlinnými pletivy a následně se vypařuje z povrchu listů. Tento proces nazývaný evapotranspirace přispívá k ochlazení rostlin a okolního vzduchu. V porostech, které mají dostatečný přísun vody, může být až 75 % sluneční energie spotřebováno na změnu skupenství na vodní páru. Pokud ale sluneční energie dopadá na zemský povrch bez vegetace, dochází k ohřívání povrchu např. půdy, která následně ohřívá vzduch a sluneční energie se přeměňuje na zjevné teplo (Pokorný, 2014). Vlivem gravitace odtéká voda do oceánu, a aby nebyla narušena zásoba vody v daném území, musí být doplňována atmosférickým transportem vody z oceánů na pevninu. Vědci Makarieva a Gorshkov (2007) se domnívají, že nad nezalesněnými oblastmi dokáží vzdušné proudy přenášet vodní páry pouze několik set kilometrů, zatímco nad zalesněnými oblastmi vzdušné proudy dokáží přenést vlhkost více než několik tisíc kilometrů. Podle principu nazývaného „biotická pumpa atmosférické vlhkosti“ přirozené lesy podporují vzestupný pohyb vzduchu nad lesem a nasávají vlhký vzduch z oceánu.

Zrychlený odtok z urbanizovaného území způsobuje, že znečišťující látky a sedimenty jsou spláchnuty z povrchu do řeky. Také odvodňovací systémy, kde dochází ke směšování odpadních vod s dešťovými, umožňují vstup znečišťujících látek do recipientu. V přirozeném prostředí dokáže příroda sama znečišťující látky (např. lidské výkaly) zpracovat, závisí to na schopnosti řeky asimilovat znečištění. Vzhledem k množství znečišťujících látek v urbanizovaném prostředí toho však příroda není schopna (Butler et Davies, 2004).

3.4 Znečištění dešťových vod

Dešťová voda zdaleka není absolutně čistá již při svém vzniku. Dešťové kapky se v atmosféře formují na tzv. kondenzačních jádrech. Jedná se o malé částice prachu, pylu, spór, smogu, krystalků soli, prachu z pouště. Průchodem atmosférou na sebe kapky navazují řady plynů rozpustných ve vodě, jako jsou například oxidy dusíku, síry, uhličitanu, dusíkaté a sirmé kyseliny, amoniakální dusík. Kvalita a čistota vody odpovídá míře lokálního znečištění, kdy největšími znečišťovateli jsou města a průmyslové oblasti.

Rozpuštěním oxidu uhličitého dochází ke vzniku kyseliny uhličitě, což zvyšuje kyselost a snižuje pH dešťové vody. Kyselá atmosférická depozice označovaná jako antropogenní atmosférická acidifikace ovlivnila ekosystémy stojacích i tekoucích vod na rozsáhlých územích s nízkou či vyčerpanou neutralizační schopností. Na evropském území bylo nejvíce poškozeno území Krušných hor, Jizerských hor a Krkonoš. Zdrojem znečištění bylo způsobeno především spalováním hnědého uhlí s vysokým obsahem síry v tepelných elektrárnách. Acidifikace prostředí na tomto území vyvolala změny chemismu vody, došlo k poklesu pH a nárůstu koncentrace aniontů silných kyselin a hliníku, což způsobilo toxicitu vody a změnu struktury společenstev vodních ekosystémů. Přestože došlo k výraznému snížení emisí síry, důsledky acidifikace se budou projevovat ještě velmi dlouho, protože došlo k nahromadění síry v půdním horizontu, a ta se postupně vyplavuje (Ponting, 2018).

V České republice je téměř polovina plochy využívána pro zemědělské účely, z tohoto hlediska je tedy zemědělství významným činitelem ve znečištění dešťových vod. Zejména vlivem přívalových dešťů dochází k erozi půd a živin, které se následně usazují v dolní části svahů. Eroze narůstá se sklonem svahů. Toto lze zmírnit vhodným výběrem jednotlivých kultur a umístěním orné půdy v nejméně erodovatelných místech. Náchylnost půd k erozím příznivě ovlivňuje diverzita krajiny. U velmi ohrožených pozemků se jako nejvhodnější protierozní opatření jeví zalesnění nebo zatravnění (Frouz et Frouzová, 2021).

V České republice spadne zhruba 40 % v létě, na jaře 25 %, na podzim 20 % a v zimě 15 % srážek. V letním období je intenzita srážek krátkodobá, v zimním období je intenzita srážek delší. Nejvíce srážek spadne v měsíci červenci, naopak nejméně v lednu. Dle provedené analýzy dat za období 1501–2020 zůstává dlouhodobé kolísání srážek poměrně stabilní s ročními a dekádoými variacemi, na rozdíl od teplot, které mají statisticky významný stoupající trend od roku 1890 a především za posledních 30 let (Brázdil et al., 2022). Při intenzivním dešti je efekt

prvního splachu zvláště významný, protože silnější srážky mají tendenci vyplavit větší množství znečištění z povrchů. Zejména v prvních fázích odtoku (cca 1 – 3 mm) má za následek výrazně vyšší koncentrace znečištění v prvních fázích odtoku dešťové vody (Dvořáková, 2007 a).

Typ plochy		Hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné částice	Těžké kovy	Uhlíkovdílky	Organické znečištění, BSK ₅	Živiny N, P	Patogenní mikroorganismy	Chloridy
Sítěchy	vegetační extenzivní	○	○	○	○	○	○	○	○
	vegetační intenzivní	○	○	○	○	●	●	○	○
	inertní	●	●	○/●	○/●	○/●	○/●	○/●	○
	s plochou neošetřených kovových částí do 50 m ²	●	●	●	○/●	○/●	○/●	○/●	○
	s plochou neošetřených kovových částí 50 m ² až 500 m ²	●	●	●●	○/●	○/●	○/●	○/●	○
s plochou neošetřených kovových částí nad 500 m ²	●	●	●●●	○/●	○/●	○/●	○/●	○	
Zatrávněné plochy	●/●●●	●/●●●	○	○	●	●	○/●	○	
Komunikace pro chodce a cyklisty	●●	●	○/●	○/●	●	●	●	○/●	
Parkoviště	málo frekventovaná (osobní auta)	●●	●	●	●	●	●	●	●
	(vysoce) frekventovaná (os. auta a busy)	●●	●●	●●	●●	●	●	●	●●
	nákladní auta ^d	●●●	●●●	●●●	●●●	●	●	●	●●
Pozemní komunikace	málo frekventované ^a (přijezdy k domům)	●●	●	●	●	●	●	●	●
	středně frekventované ^b	●●	●●	●●	●●	●	●	●	●●
	vysoce frekventované ^c	●●	●●●	●●●	●●●	●	●	●	●●●
Plochy u skladišť, manipulační plochy	●/●●●	●/●●●	●/●●●	●/●●●	●	●	●	●/●●	
Komunikace zemědělských areálů	●●●	●●●	●●	●●	●●●	●●●	●●●	○/●	
○		neznečištěná srážková voda							
●		mírně znečištěná srážková voda							
●●		středně znečištěná srážková voda							
●●●		vysoce znečištěná srážková voda							
/		až							
a		< 300 automobilů za 24 h, např. příjezdy k domům a místní komunikace v obytné zástavbě							
b		300 automobilů až 15 000 automobilů za 24 h							
c		nad 15 000 automobilů za 24 h, obvykle dálnice a rychlostní silnice							
d		parkoviště, která nejsou součástí veřejných komunikací							

Tabulka 1: Typické znečišťující látky na jednotlivých typech ploch a očekávané znečištění srážkových vod (norma TNV 75 9011, 2013).

Z (Tabulka 1) je patrné, že povrchy, ze kterých dešťová voda odtéká, mohou výrazně ovlivnit míru znečištění této vody. Na střechách se hromadí různé látky

a částice, které jsou po spláchnutí deštěm zaneseny do dešťové vody. Mezi tyto látky patří:

- Eternit a lepenka – materiály, které mohou obsahovat azbest, což je toxická látka
- Nátěry – chemické látky používané při nátěru střech, které mohou obsahovat toxické složky
- Ptačí trus – organické látky obsahující dusík a fosfor, které přispívají k eutrofizaci vodních toků
- Listí, prach, klacíky, pyl – různé organické a anorganické látky spláchnuté z povrchů střech
- Choroboplodné zárodky – mikroorganismy přítomné v organickém materiálu, který může být spláchnut deštěm
- Korozí se uvolňující toxické látky – například měď, chrom a zinek, které se uvolňují z kovových povrchů

Zhotovení střech a okapů z inertních materiálů snižuje riziko znečištění dešťové vody toxickými látkami. Inertní materiály jsou obvykle stabilní a nevyplavují do vody žádné nebezpečné chemikálie.

K tomu, aby se minimalizovalo znečištění dešťových vod z komunikací a chodníků, je důležité provádět pravidelnou údržbu povrchů a vozidel, a také správně nakládat s odpady. Je nutné, aby byly odstraněny nečistoty a odpadky ze silnic a chodníků, aby nedocházelo k jejich splachování do kanalizace a následně do vodních toků. Dále je důležité používat ekologicky šetrné materiály při stavbě komunikací a vozidel, aby se minimalizovalo uvolňování škodlivých látek do dešťových vod.

Jak poukazují Herle et Bareš (1990) vodní toky za přítomnosti kyslíku a působením mikroorganismů mají schopnost odbourávat organické znečištění, tento proces je označován jako **samočištění**. Průběh samočištění ovlivňují tři hlavní složky:

- Kyslík rozpuštěný ve vodě – čím vyšší je turbulence vody, prudší tok, nebo voda přepadá přes přeje a jezy, je nasycení kyslíkem ve vodě vyšší. S rostoucí teplotou vody nasycení kyslíkem klesá. Za denního světla také produkují kyslík fotosyntézou zelené rostliny.
- Mikroorganismy nacházející se ve vodě – pokud je ve vodě dostatek těchto organismů a potřebné množství kyslíku, probíhá rozklad organických látek v závislosti na teplotě. Při nízkých teplotách rozklad téměř ustává i při

nasycení kyslíkem. Při nočních teplotách nad 25 °C, kdy rostliny neprodukují kyslík, může zejména u pomalu tekoucích a více znečištěných toků docházet k úplnému spotřebování rozpuštěného kyslíku a k úhynu některých vodních organismů. Při vypouštění odpadních vod do horských potoků a vodních říček, může vzhledem k nízkému počtu těchto organismů dojít ke zatížení toku i na velmi dlouhých úsecích.

- Teplota vody – vyšší teplota vody urychluje rozkladnou činnost mikroorganismů, ale zmenšuje přísun kyslíku. Vyšší teplota vody se považuje za znečišťující složku.

3.5 Hospodaření s dešťovými vodami (HDV)

Pro zachování hydrologické bilance v urbanizovaném území je nutné více aplikovat do praxe hospodaření s dešťovými vodami. Konvenční odvodnění se projevilo z dlouhodobého hlediska jako zcela neudržitelné. Změna přístupu k odvodnění může přinést řadu výhod a efektivně řešit problémy spojené s dešťovou vodou ve městech a obcích. Namísto tradičního přístupu, který se zaměřuje pouze na rychlé odvedení dešťové vody z povrchů, by měly být implementovány strategie udržitelného hospodaření s dešťovými vodami (Vítek et al., 2015). Tento stav zároveň umocňuje globální změna klimatu. Dopady změny klimatu se projevují přímo (vzestup hladiny moří), nepřímo (omezený přístup k základním potřebám) a jako systémové poruchy (vzrůst cen komodit). Ke snížení zranitelnosti v každé úrovni dopadu se musíme zaměřit na adaptaci jako na mechanismus, který předchází vzniku škod. Lidé totiž mají většinou tendenci přizpůsobovat se místním projevům změny klimatu (povodním, změně výnosů plodin), aniž by je dávali do souvislosti se změnou klimatu (Peeling, 2011).

Změna přístupu k odvodnění je klíčovým prvkem při zlepšování hospodaření s dešťovými vodami a ochraně životního prostředí ve městech a obcích. Namísto tradičního přístupu, který se zaměřuje na co nejrychlejší odvedení dešťové vody z měst a obcí, je třeba zaměřit se na zadržení, zachycení a využití dešťové vody na místě. Hlavní úkoly a prvky, které musí být zahrnuty do nového konceptu odvodnění:

- **Zvyšování zásob podzemní vody** – implementace opatření, která umožní zvýšení zásob podzemní vody, například prostřednictvím zvýšením propustnosti půdy

- **Zlepšení mikroklimatu zpětným výparem do ovzduší** – využití vegetace a zelených ploch k regulaci teploty a vlhkosti ve městech prostřednictvím evapotranspirace
- **Akumulace srážkových vod** – vytvoření infrastruktury pro akumulaci srážkových vod jako jsou nádrže, přírodní rybníky
- **Úprava srážkových vod** – ošetření a čištění srážkových vod prostřednictvím různých technologií, jako jsou filtrace, odstraňování znečištění a recyklace vody pro opětovné použití
- **Využívání srážkových vod** – využití zachycené a akumulované srážkové vody pro závlahu zelených ploch, splachování toalet, čištění vozidel a dalších účelů, čímž se sníží spotřeba pitné vody
- **Zpomalení odtoku nevyužitých srážkových vod** – implementace opatření, která snižují rychlost odtoku nevyužitých srážkových vod z městských ploch, jako jsou zelené infrastruktury, propustné povrchy.

Tyto prvky nového konceptu odvodnění jsou klíčové pro udržitelné hospodaření s dešťovou vodou a ochranu životního prostředí ve městech a obcích. Implementace těchto opatření vede k efektivnějšímu využívání vodních zdrojů, zlepšení kvality životního prostředí a snížení rizika záplav a povodní.

Základním hlediskem pro řešení HDV závisí na velikosti obce a urbanistické koncepci. V městských aglomeracích vede rostoucí tempo zastavování a rozšiřování měst k závažnému narušení hydrologického cyklu nejen u nás, ale i ve světě (Vítek et al., 2015).

Ve vyspělých zemích došlo k nadměrnému zatížení přírody z důvodu zvýšení kvality života např. dopravní spojení, větší ochrana před nemocemi nebo záplavami. Negativní účinky tohoto zatížení jsou stále zjevnější, je proto nutné přehodnotit přístupy více v souladu s přírodou pro zvýšení kvality života pro současné i budoucí generace (Butler et Davies, 2004).

Jak upozorňuje Stránský (2018) v České republice umíme navrhnout izolované stavby hospodaření srážkovými vodami, ale je zapotřebí komplexní přístup s příslušnou legislativou a harmonizovanými technickými pravidly a porozuměním napříč profesemi. Vítek et al (2015) upozorňuje, že je celkově důležité, aby stát poskytoval jasný právní rámec, aktivně komunikoval s profesními sdruženími a občanskou společností, poskytoval finanční podporu a věnoval pozornost osvětě a vzdělávání veřejnosti, aby se mohly prosazovat efektivní politiky a opatření v oblasti hospodaření s dešťovými vodami. MŽP podporuje řadu opatření pomocí dotačních

programů, jedním z takových programů je Dešťovka. Jedná se o program zaměřený především na hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaných územích, který má především edukativní roli a využilo ji již více než 10 000 domácností.

Implementace politik a opatření pro udržitelnou správu vodních zdrojů, včetně účinného monitorování a regulace spotřeby vody, je klíčová pro udržení dlouhodobé dostupnosti vody. Zapojení veřejnosti, spolupráce mezi vládními institucemi, průmyslovými a komunitními organizacemi a výzkumnými institucemi je klíčové pro úspěšné implementace těchto opatření a dosažení udržitelnosti hospodaření s vodami v České republice.

3.6 HDV v platné legislativě ČR

Plán hlavních povodí (PHP) je důležitým nástrojem pro plánování a řízení vodního hospodářství v České republice. Slouží k ochraně vodních zdrojů, udržitelnému využívání vodních ekosystémů a zajištění dostatku vody pro všechny uživatele. Je nezbytné pravidelně aktualizovat PHP v souladu s aktuálními trendy a potřebami v oblasti vodního hospodářství.

Politika územního rozvoje je důležitým nástrojem pro ochranu území a prevenci před přírodními katastrofami. Ministerstvo pro místní rozvoj spolupracuje s dalšími orgány a obcemi na tvorbě plánů a opatření pro minimalizaci rizik a ochranu životního prostředí. Celkovým cílem je dosáhnout udržitelného rozvoje území, který bude odolný vůči přírodním katastrofám a zároveň bude respektovat potřeby obyvatel a životního prostředí.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů v platném znění, známý také jako vodní zákon, stanovuje důležité povinnosti a pravidla týkající se hospodaření s vodami v České republice. Jedním z klíčových ustanovení tohoto zákona je § 5, který ukládá stavebníkům povinnost hospodařit se srážkovou vodou přímo na jejich pozemku. Toto ustanovení vyžaduje, aby stavebníci zajistili zpracování srážkové vody v souladu se stavebním zákonem, což může zahrnovat vsakování, zadržování a odvádění povrchových vod. Nicméně, interpretace tohoto ustanovení může být předmětem nejednoznačnosti a různého výkladu. V praxi se stává, že požadavky vodního zákona jsou příliš přísné, zejména při provádění změn a úprav staveb. Z tohoto důvodu je posouzení nutnosti úprav odvodnění svěřeno místnímu stavebnímu úřadu a v případě nejasností může být zapojen i příslušný

krajský úřad. Takovýto nejednoznačný přístup může vést k rozdílné interpretaci pravidel a postupů v různých částech České republiky, což může být problematické pro dodržování jednotných standardů a zajištění soudržnosti v hospodaření s vodami. Příkladem této nejednoznačnosti je i posuzování objektů hospodaření s dešťovou vodou jako vodních děl, kde není vždy jasné, kdy má být daný objekt považován za vodní dílo a kdy nikoliv. Takovéto problémy mohou vyžadovat další úpravy a doplnění právních předpisů nebo vydání jasnějších směrnic pro jednotlivé subjekty a úřady, aby bylo možné zajistit jednotný a soudržný přístup k hospodaření s vodami v celé České republice.

Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) v platném znění, ukládá vlastníkově vodovodu nebo kanalizace povinnost umožnit připojení na ně, pokud se připojovaný pozemek nebo stavba nachází na území obce s vodovodní nebo kanalizační sítí, připojení dovoluje umístění vodovodu nebo kanalizace podle technických možností a odběratel splní podmínky stanovené tímto zákonem.

Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) definuje návrh stokových sítí dle normy ČSN EN 752 *Odvodňovací systémy vně budov*. Tato evropská norma byla zavedena do našeho prostředí dříve, než česká legislativa vyžadovala aplikaci HDV při nových stavbách. Proto norma neobsahuje postupy pro navrhování uličních stok, které by zohledňovaly přítok regulovaného množství deště z objektů a zařízení HDV, což vede k nadměrnému předimenzování stokových sítí.

Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území ve znění vyhlášky č. 269/2009 Sb. stanovuje jasné priority pro odvodňování srážkové vody. Před vsakováním je preferováno jiné využití srážkových vod, například jako užitkové vody v budově nebo pro závlahu. Pokud není možné srážkovou vodu využít jinak, je vždy nutné zajistit alespoň objekt s regulovaným odtokem.

Dle Vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby vyplývá, že stavby, ze kterých odtékají povrchové vody musí mít zajištěno jejich odvádění, pokud nejsou srážkové vody zadržovány pro další využití. Bezodtoková území, tedy stavební pozemky nebo stavby bez přípojek do uličních stok nebo přilehlých povrchových odtoků, by mohla být v rozporu s tímto prováděcím předpisem stavebního zákona. Je třeba mít na paměti, že zákony a vyhlášky mají za účel zajistit bezpečnost, ochranu životního prostředí a udržitelný rozvoj. Proto je důležité, aby vlastníci staveb a stavebníci dodržovali příslušné předpisy ohledně odvodňování a zacházení s dešťovou vodou.

3.7 Centrální systém odvodnění

Základy centrálního odvodnění byly budovány již starověkými civilizacemi, jako jsou např. mezopotámci, minojci (Kréta) a řekové (Atény), několik let před naším letopočtem z důvodu ochrany veřejného zdraví a prevencí před lokálními záplavami (Butler et Davies, 2004). Důsledky konvenčního odvodnění zahrnují nejen hydraulické problémy spojené s přetížením vodních toků během dešťů, ale také ekologické problémy spojené s látkovým znečištěním vod. Tato metoda vyžaduje velké finanční náklady na výstavbu a údržbu rozsáhlých stokových sítí a retenčních nádrží, což není vždy účinné a udržitelné řešení. Z tohoto důvodu se stále více uplatňují alternativní přístupy k odvodňování, které zdůrazňují zadržování, vsakování a opětovné využití dešťové vody na místě, aby se minimalizovaly negativní dopady na životní prostředí a zlepšila se odolnost měst vůči extrémním povodním a suchu. Takové přístupy jsou v souladu s principy udržitelného rozvoje a podporují lepší ochranu a management vodních zdrojů (Vítek, 2008).

Jednotnou kanalizační sítí jsou dešťové i odpadní vody odváděny jedním kanalizačním potrubím do čistírny odpadních vod. Stoková soustava je doplněna odlehčovacími komorami, které při větších než návrhových srážkách, odvádí část průtoku přímo do recipientu. Díky odlehčovacím komorám nedochází k hydraulickému přetížení kanalizační stoky, ale způsobuje hydraulické zatížení vodních toků, zhoršuje kvalitu vody a celkově narušuje ekologickou rovnováhu vodního toku. Na výstavbu jednotné kanalizační sítě musí být použity větší profily kanalizačního potrubí, jedná se tedy o finančně náročnější projekt výstavby, než je tomu u oddílné kanalizační soustavy. Dosud se jedná o nejvíce užívaný kanalizační systém.

V oddílné kanalizační síti jsou dešťové a splaškové vody odváděny odděleně samostatným systémem. I přes snahu o dokonalé oddělení dešťových a splaškových vod v oddílné kanalizační síti nelze úplně zajistit, aby tyto dva typy vod zůstávaly odděleny po celou dobu. Špatné napojení nebo křížení potrubí může mít za následek promíchání dešťové a splaškové vody. Dešťová voda se také dostává do splaškové vody infiltrací a přímým přítokem. Infiltrací do potrubí vstupuje, když podzemní voda prosakuje např. prasklinami nebo poškozením kořeny stromů nebo špatnými spoji. Přímý přítok je většinou způsoben špatným napojením z neznalosti nebo úmyslným zanedbáním, např. připojením domácí zahradní kanalizace do šachty pro splaškové vody (Butler et Davies, 2004).

Kombinací jednotné a oddílné kanalizační soustavy vzniká modifikovaná kanalizace. Dešťové vody z málo znečištěných ploch (například střechy, chodníky s nízkým provozem) jsou shromažďovány a odváděny samostatně do stok pro dešťové vody a do recipientu. Smíšené dešťové a splaškové vody jsou přivedeny do čistírny odpadních vod, kde jsou vyčištěny a upraveny před jejich vypuštěním zpět do životního prostředí.

3.8 Decentrální systém odvodnění (DSO)

Tento nový přístup k hospodaření s dešťovými vodami má za cíl minimalizovat povrchový odtok, zlepšit kvalitu vody, snížit riziko povodní a zlepšit udržitelnost městského prostředí. Tímto způsobem se snižuje tlak na kanalizační systémy a přírodní vodní toky, což přináší řadu ekologických a ekonomických výhod. Studie ukazují, že pomocí DSO lze dosáhnout významného snížení množství srážkových vod, které opouštějí zastavěné území. Odtok srážkových vod lze snížit 15 x až 20 x ve srovnání s konvenčními metodami odvodnění. Tím se snižuje zátěž na kanalizační systémy a přírodní toky, a zlepšuje se ochrana životního prostředí.

Jak uvádí Vítek et al. (2015) základní způsoby decentrálního odvodnění:

- Řeší problém tam, kde vznikl, za prostředky toho, kdo ho způsobil.
- Zmírňuje důsledky pokročilé urbanizace a změn klimatu.
- Účinněji chrání majetek a zdraví obyvatel před záplavami.
- Srážkovou vodu vsakují nebo ji zadržují a zpomalují její odtok.
- Přibližují koloběh vody v urbanizovaných zemích jeho přirozené podobě.
- Splňují kritéria udržitelného rozvoje města a obcí.

Mezi základní technické nástroje decentrálního systému odvodnění patří propustné povrchy navržené tak, aby umožňovaly vsakování srážkové vody do půdy, vegetační střechy pokryté rostlinami, které srážkovou vodu absorbují, snižují odtok a zlepšují kvalitu vzduchu, vsakovací nádrže vyplněné propustným materiálem, které slouží k dočasnému zachycení a uskladnění srážkové vody, jenž se postupně vsakuje, a sběr a využití srážkové vody v akumulačních nádržích pro její další využití jako je závlaha, splachování toalet nebo průmyslové procesy. Do objektů HDV je vhodné zakomponovat a maximálně upřednostňovat prostředí s nízkou či vyšší vegetací, ve městech nazývanou jako zelená infrastruktura. Propojení vodohospodářského účelu se zelenou infrastrukturou působí efektivněji a příznivě ovlivňuje komfort bydlení (Vítek et al., 2015). Voda je jedním z nejdůležitějších faktorů při tvorbě antropogenizovaného životního prostředí. Prožitek krásy z blízkosti zdroje vody se uskutečňuje prostřednictvím jeho vizuální, zvukové i hmatové formy. Pohled na vodní hladinu, ať stojatou nebo tekoucí, vodopád, studánku či termální vřídlo tryskající ze země, působí na člověka blahodárně. Voda je z hlediska duševního zdraví vhodným přírodním prvkem především pro obyvatele, kteří žijí mimo přírodní prostředí (Říha, 1987).

3.9 Zařízení a objekty HDV

Moderní přístup k hospodaření s dešťovou vodou je velmi důležitý a reflektuje faktory, jako je ochrana životního prostředí, bezpečnost a udržitelnost. Při volbě srážkových vod je nezbytné zvážit místní podmínky a možnosti, aby bylo zajištěno efektivní a bezpečné odvodnění. Prioritou je vsakování, což je nejlepší způsob, jak zachytit a vrátit srážkovou vodu zpět do půdy a podzemních vod, což přispívá k obnově zásob podzemní vody a snižuje povrchový odtok. Poté následuje odvedení do povrchových vod, což může být provedeno pomocí svodnic nebo dešťové kanalizace. Teprve pokud není možné použít tyto metody, se zvažuje připojení k jednotné kanalizaci, což by mělo být až poslední možností. Důležitou součástí plánování je také začlenění bezpečnostních přelivů, které chrání proti nadměrnému odtoku vody v případě extrémních srážek. Tyto přelivy musí být navrženy tak, aby odváděly vodu do bezpečného místa, například do vodního toku, a mohou být součástí tzv. řetězení objektů, které umožňují další zpracování vody a minimalizuje riziko přetečení (Vítek et al., 2015).

3.9.1 Snížení či prevence vzniku srážkového odtoku

Zohlednění principů udržitelného odvodnění při návrhu systému odvodnění je klíčové pro minimalizaci negativních dopadů na životní prostředí a zlepšení hospodaření s vodou. V první řadě je zapotřebí minimalizovat nepropustné zpevněné plochy. Snížení rozlohy zpevněných ploch a maximalizace propustných ploch umožňuje lepší vsakování dešťové vody do půdy a snižuje riziko povodní. Nezpevněné plochy, které nejsou využívány (např. brownfields) lze transformovat na propustné plochy. Při návrhu těchto opatření je důležité zohlednit vsakovací schopnost podloží, výšku hladiny podzemní vody a sklon terén při návrhu odvodňovacího systému (Vítek et al., 2015).

Vegetační a šterkové střechy umožňují zadržování a zpoždování srážkové vody, snižují srážkový odtok a zlepšují mikroklima. Nicméně, jejich proveditelnost závisí na schopnosti konstrukce unést zatížení. Vegetační a šterkové střechy se často neaplikují v historických centrech měst kvůli možnému narušení jejich památkového rázu (Vítek et al., 2015).

Studie Bohuslávka et al. (2009) zdůrazňuje mnoho výhod, které vegetační střechy přinášejí do urbanizovaných prostředí. Některé z hlavních přínosů jsou:

- Zadržování srážkové vody – vegetační střechy dokáží zadržet část srážkové vody, čímž snižují tlak na kanalizační systémy a přispívají k udržitelnějšímu hospodaření s vodou.
- Zlepšení ovzduší – vegetační střechy zvlhčují ovzduší a snižují množství oxidu uhličitého v atmosféře, čímž přispívají k lepší kvalitě vzduchu
- Akustický komfort – tyto střechy také tlumí hluk z letecké a automobilové dopravy, což výrazně zlepšuje kvalitu života obyvatel městských oblastí
- Regulace teploty – vegetační střechy chrání podstřešní prostory před nadměrným přehříváním v létě a přispívají k izolačním vlastnostem střešní konstrukce, což může vést ke snížení nákladů na vytápění a klimatizaci
- Ekologická diverzita – tyto střechy přibližují přírodní prvky do městského prostředí a mohou sloužit jako životní prostředí pro hmyz a ptáky, což podporuje biodiverzitu a ekosystémovou stabilitu
- Možnost zahradničení – za určitých podmínek mohou vegetační střechy sloužit jako lokalita pro zahradničení a pěstování rostlin, včetně chráněných druhů.

Celkově lze říci, že vegetační střechy mají potenciál vytvářet udržitelnější a příjemnější městská prostředí, která spojují ekonomické, ekologické a estetické aspekty.

Vegetační střechy se realizují ve třech základních variantách. Extenzivní vegetační střecha (Obrázek 4) je nejméně náročná na údržbu a výrazně nepřetěžuje nosnou konstrukci domu. Nízká vrstva substrátu se osazuje nenáročnými rostlinami např. netřesky a rozchodníky. Extenzivní střechy nejsou trvale pochozí. Polointenzivní vegetační střechy vyžadují více údržby, neboť se osazují vyšší vegetační vrstvou bylin a travin. Intenzivní vegetační střecha vyžaduje únosnou stavební konstrukci, protože výška substrátu dosahuje do výšky až 1 m a počítá se zde s výsadbou travin, ale i stromů. Intenzivní střechy bývají pochozí s řadou chodníčků, laviček a koutů k odpočinku.



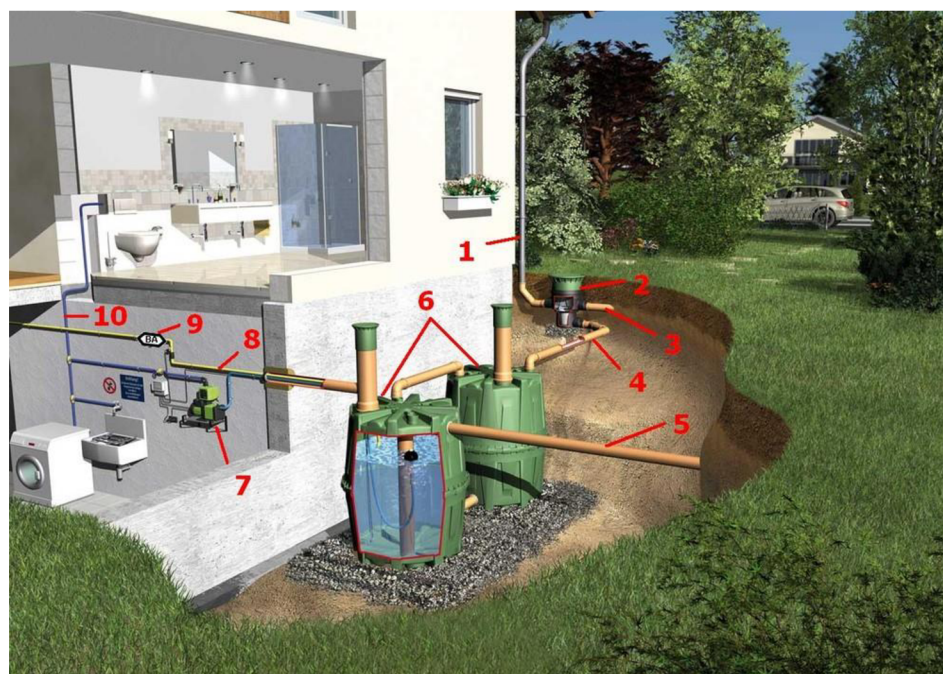
Obrázek 4: Extenzivní vegetační střecha (Greenville, 2013)

3.9.2 Akumulace a využití srážkových vod

Srážkové vody je možné využít jako zdroje užitkové vody pro různé domácí účely, např. splachování toalet, úklid, praní prádla a mytí aut. Tento způsob využití přispívá k úspoře pitné vody a zároveň snižuje zátěž na kanalizační systémy. Pro tyto účely je nezbytné vybudovat samostatný rozvod užitkové vody, který zajistí oddělení

srážkové vody od pitné vody a splaškových vod. Tím je zajištěna bezpečnost a zdravotní nezávadnost využívané vody pro domácí potřeby. Celkově je využití srážkové vody jako zdroje užitkové vody ekonomické, ekologické a udržitelné řešení pro zachování vodních zdrojů a snížení spotřeby pitné vody. Využitím srážkových vod lze ušetřit okolo 50 % spotřeby vody v domácnosti. Jak uvádí Dvořáková (2007 b), srážkové vody jsou obecně měkčí než pitná voda, což znamená, že obsahují méně minerálů a solí, stejně jako žádný chlor. Tato vlastnost srážkových vod je výhodná při různých aplikacích např. při zalévání rostlin nebo praní prádla. Vzhledem k nižšímu obsahu minerálů se srážková voda lépe smíchá s pracími prostředky na praní, což vede ke snížení potřeby pracích prostředků, a nakonec i k lepšímu výsledku praní. Díky nižší tvorbě kamene, není nutné používat drahé změkčovače vody, což přináší úsporu nákladů spojených s údržbou domácnosti. Celkově tedy využívání srážkových vod přináší ekonomické a ekologické výhody, zejména pokud jde o udržitelnost zahrad a domácností a snížení negativních dopadů tvrdé vody na spotřebiče a infrastrukturu domácností.

Systémy akumulace a využívání srážkových (Obrázek 5) vod jsou klíčovým prvkem decentralizovaného systému odvodnění a pomáhají snižovat množství povrchového odtoku a kulminačních průtoků.



Obrázek 5: Schéma technologického zařízení pro využití dešťové vody ze střechy (Markovič, 2012)

Legenda: 1- dešťové kanalizační potrubí, 2 – filtr, 3- přepadové kanalizační potrubí, 4 – lehobetonové potrubí s dešťovou vodou, 5 – přepadové potrubí do kanalizace (do vsakovacího zařízení), 6 – akumuláční nádrž, 7 – řídicí centrum s čerpadlem, 8 – přívod pitné vody pro naplnění akumuláční nádrže, 9 – zařízení na ochranu proti zpětnému toku, 10 – rozvod dešťové vody

Akumulační nádrže mohou být nadzemní nebo podzemní. Nadzemní nádrže mají nižší pořizovací cenu, ale zadržaná voda je v nich vystavena vlivu světla a tepla, což snižuje její kvalitu, a proto je nutné ji co nejdříve spotřebovat, případně vypustit mimo systém, např. ke vsakování. Podzemní nádrže musí být uloženy v nezámrazné hloubce.

Pro výpočet se doporučuje počítat s akumulační nádrží o velikosti přibližně 4 m³ na každých 100 m² plochy střechy (Vítek et al, 2015). Tento vztah je použitelný jako orientační směrnice pro stanovení vhodné velikosti nádrže v závislosti na potřebách uživatele a místních podmínkách. Plastové nádrže jsou oblíbené pro svou odolnost proti korozi, nízkou hmotnost, jednoduchou montáž a údržbu. Betonové nádrže mohou být vhodné pro prostředí s větším vnějším tlakem, ale je důležité zajistit jejich dostatečnou těsnost, zejména pokud nejsou zhotoveny jako monolitický celek (Dvořáková, 2007 b).

Zařízení na čištění dešťové vody

Okapové filtrační jednotky

a) Filtrační podokapový hrnec

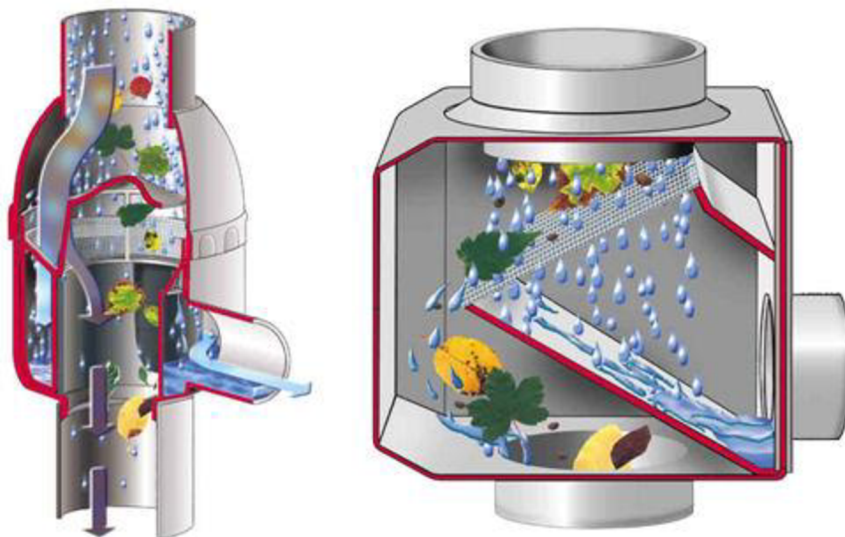
Jedná se o jednoduchý, ale efektivní systém opatřený sítkem pro zachycení hrubých nečistot. Pro správné fungování je důležité dbát na správnou volbu filtračního materiálu a na pravidelnou údržbu a čištění filtru (Obrázek 6).



Obrázek 6: Filtrační hrnec (Dvořáková, 2007)

b) Okapový filtr

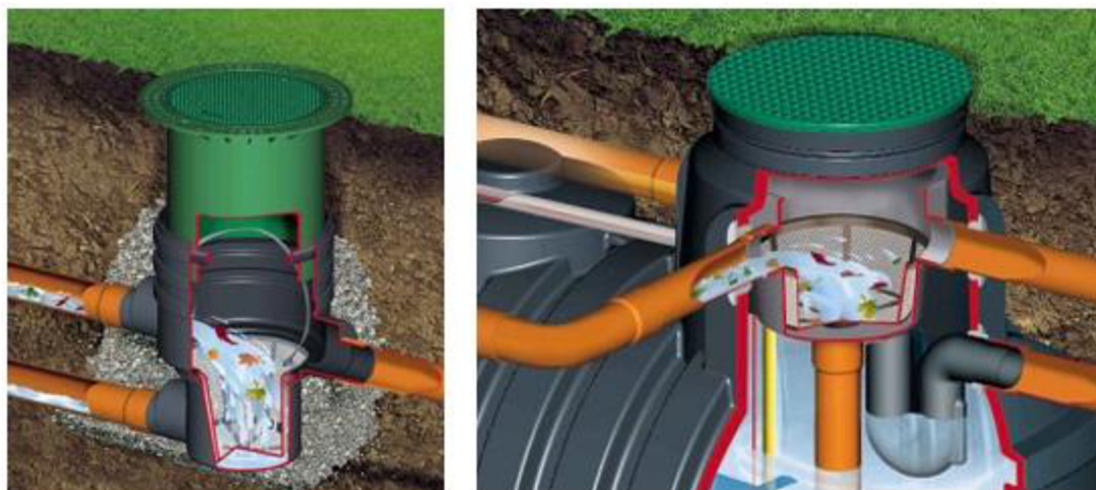
Okapové filtry (Obrázek 7) často obsahují samočistící mechanismus, díky kterému jsou hrubé nečistoty odvedeny přímo do kanalizace.



Obrázek 7: Svodové okapové filtry (Dvořáková, 2007)

Košíčkové filtry

Nejjednodušším a nejlevnějším řešením jsou košíčkové filtry s výtěžností přefiltrované vody 100 %. Košíčkové filtry lze použít jako samostatnou filtraci nebo je lze integrovat do filtrační šachty (Obrázek 8).



Obrázek 8: Filtrační koš umístěný v tělese filtru (vlevo) a v akumulaci nádrži (vpravo) (Dvořáková, 2007)

Samočistící filtrační jednotky

Samočistící filtrační jednotky (Obrázek 9: Samočistící filtr v interním provedení (vlevo) a šachtový filtr (vpravo) (Dvořáková, 2007). Tyto filtry (Obrázek 9) představují účinný způsob čištění srážkové vody před jejím uložením nebo odvedením do veřejné kanalizace.



Obrázek 9: Samočistící filtr v interním provedení (vlevo) a šachtový filtr (vpravo) (Dvořáková, 2007).

Filtry pro montáž do tlakového potrubí



Filtry se zpětným proplachem (Obrázek 10) jsou opatřené jemným sítkem a zajišťují dodávku filtrované vody nepřetržitě i během procesu čištění filtru.

Obrázek 10: Jemný filtr se zpětným proplachem (Dvořáková, 2007)

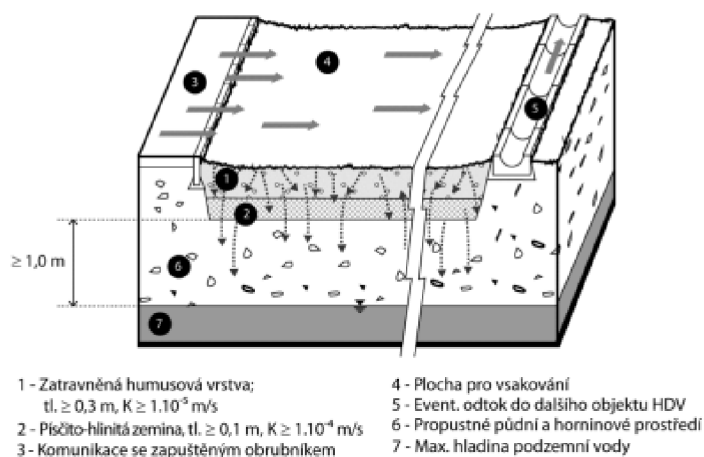
3.9.3 Zařízení využívající funkce vsakování

Normy ČSN 75 9010 a TNV 75 9011 stanovují požadavky a postupy pro návrh a výstavbu vsakovacích zařízení, která jsou klíčová pro účinné zachycení srážkových vod a jejich vstřebání do půdního a horninového prostředí. Normy upřednostňují povrchová vsakovací zařízení pro jejich čisticí schopnosti a podporu evapotranspirace, což pomáhá přirozenému procesu vstřebávání vody do půdy a rostlin. Proveditelnost závisí především na vsakovací schopnosti půdního prostředí. Přípustné vody mohou být vsakovány povrchově i podzemně, podmíněčně přípustné vyžadují předčištění před vsakováním, zatímco potenciálně vysoce znečištěné mohou být vsakovány pouze za striktních podmínek a předpokladu zachycení celého objemu a předčištění. Tyto normy a klasifikace zajišťují, že vsakování srážkových vod je prováděno efektivně a bezpečně s ohledem na ochranu životního prostředí a zabezpečení dodávek čisté vody. Jejich dodržování je klíčové pro udržitelné hospodaření se srážkovými vodami a ochranu vodních zdrojů.

a) Povrchové vsakování

Povrchové vsakování je proces, který umožňuje srážkovým vodám vsakovat do půdy či horninového podloží přímo z povrchu terénu. Tento způsob vsakování je založen na přirozených procesech a umožňuje postupné vstřebávání vody do půdy, což přispívá k omezení povrchového odtoku a eroze. Povrchové vsakování může být realizováno různými způsoby. Technické parametry pro všechny typy povrchového vsakování jsou upřesněny v normě TNV 75 90 11.

Plošné vsakování

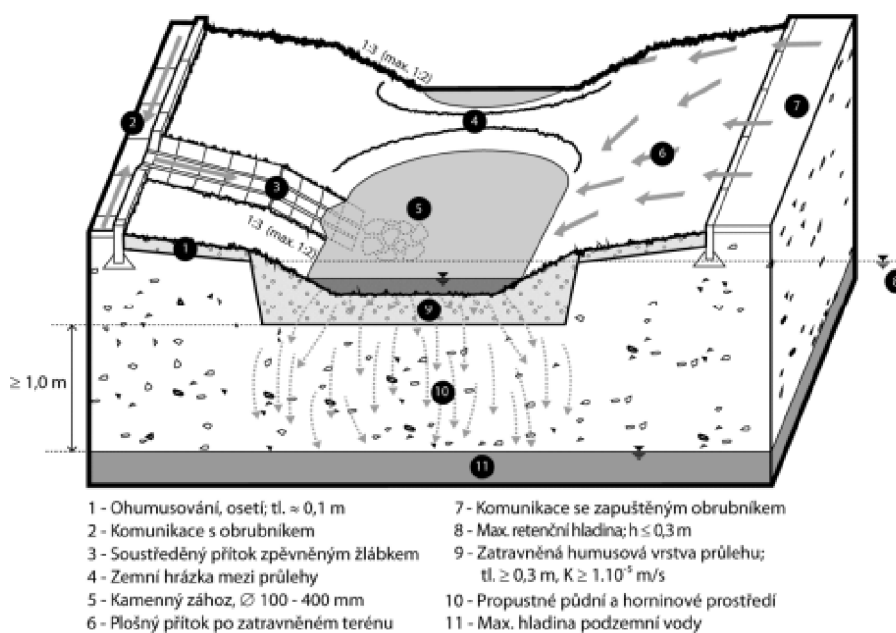


Obrázek 11: Objekt plošného vsakování (TNV 75 9011, 2013)

Plošná vsakovací zařízení (Obrázek 11) se navrhují jako plochy se zatravněnou humusovou vrstvou, což umožňuje srážkové vodě vsakovat se do půdy. Je důležité provádět důkladnou analýzu terénu a správně navrhnout a implementovat plošná vsakovací zařízení s ohledem na místní podmínky a potřeby. Plošné vsakování je finančně méně náročné nejen na výstavbu, ale také na údržbu. Pravidelně je zapotřebí odstraňovat odpadky a listí, kosit trávu a příležitostně odstranit sediment (TNV 75 9011, 2013; Vítek et al., 2015).

Vsakovací průleh

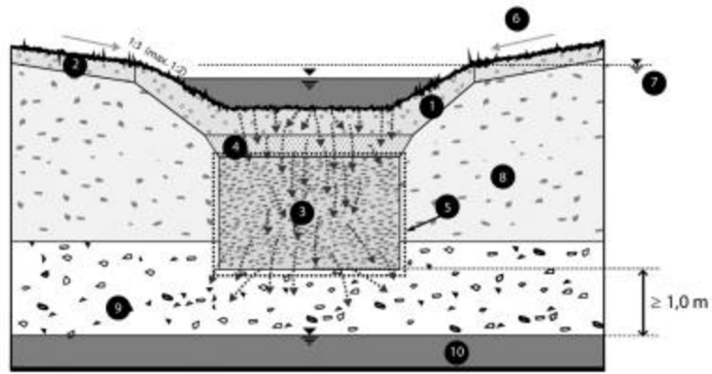
Vsakovací průlehy (Obrázek 12) mají menší nároky na místo, přibližně 7–20 % z velikosti odvodňované plochy (TNV 75 9011, 2013; Vítek et al., 2015).



Obrázek 12: Vsakovací průleh s povrchovým přívodem vody (TNV 75 9011, 2013)

Vsakovací průleh–rýha

Vsakovací průleh–rýha (Obrázek 13) je vhodný zejména pro liniové stavební útvary nebo například kolem parkovišť, kde jsou omezené prostorové podmínky (TNV 75 9011, 2013; Vítek et al., 2015).

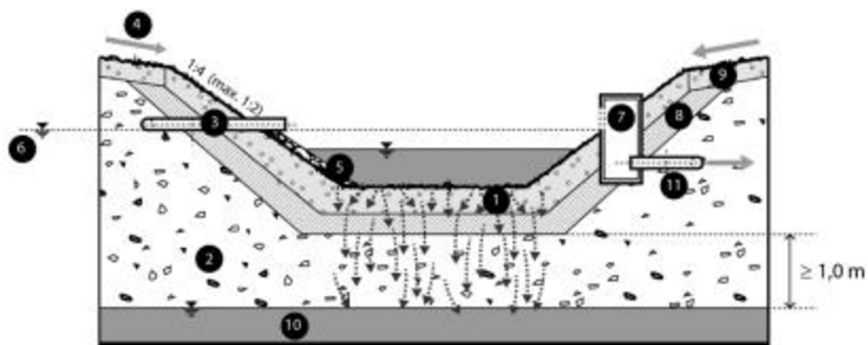


- | | |
|--|--|
| 1 - Zatrávněná humusová vrstva průlehu; tl. $\geq 0,3$ m, $K \geq 1 \cdot 10^{-3}$ m/s | 5 - Geotextilie |
| 2 - Ohumusování, osetí; tl. $\approx 0,1$ m | 6 - Plošný povrchový přítok |
| 3 - Retenční/vsakovací rýha (štěrka 16/32mm / prefabrikované bloky) | 7 - Max. retenční hladina; $h \leq 0,3$ m |
| 4 - Píščito-hlinitá vrstva, tl. $\geq 0,1$ m, $K \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s | 8 - Nedostatečně propustné půdní a horninové prostředí |
| | 9 - Propustné půdní a horninové prostředí |
| | 10 - Max. hladina podzemní vody |

Obrázek 13: Vsakovací průleh-rýha (TNV 75 9011, 2013)

Vsakovací nádrž

Vsakovací nádrž (Obrázek 14) s bezpečnostním přelivem je konstrukce navržená k vsakování srážkové vody s výraznou retenční funkcí. Oproti jiným vsakovacím zařízením nemá velké nároky na prostor, protože má vysokou vsakovací kapacitu a může být použita i na menších pozemcích. Je důležité, aby podloží mělo dostatečně vysokou hydraulickou vodivost ($K > 1 \cdot 10^{-5}$ m/s), aby byl zajištěn adekvátní vsakovací výkon nádrže a doba zatopení nebyla příliš dlouhá (TNV 75 9011, 2013; Vítek et al., 2015).



- | | |
|---|--|
| 1 - Zatrávněná humusová vrstva vsakovací nádrže; tl. $\geq 0,3$ m, $K \geq 1 \cdot 10^{-3}$ m/s | 6 - Max. retenční hladina; $h = 0,3 - 2,0$ m |
| 2 - Propustné půdní a horninové prostředí | 7 - Bezpečnostní přeliv (příp. v kombinaci s reg. odtokem) |
| 3 - Soustředěný podpovrchový přítok, event. od předřazeného předčistění | 8 - Píščito-hlinitá zemina, $K \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s |
| 4 - Plošný povrchový přítok | 9 - Ohumusování, osetí, tl. $\approx 0,1$ m |
| 5 - Kamenný zához, ev. dlažba | 10 - Max. hladina podzemní vody |
| | 11 - Odtok |

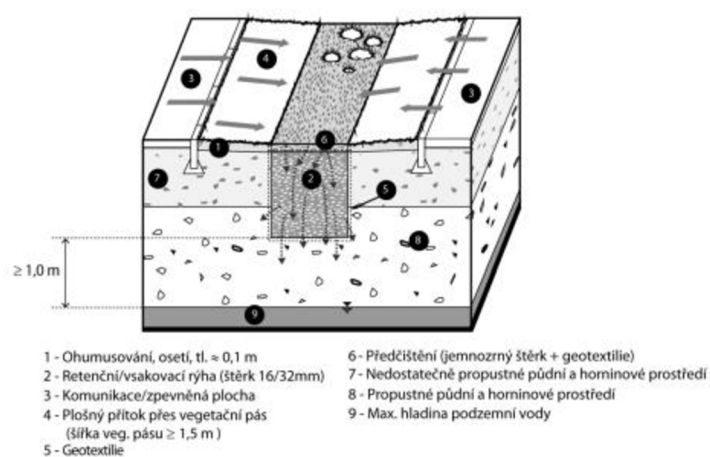
Obrázek 14: Vsakovací nádrž (TNV 75 9011)

b) Podzemní vsakování

Podzemní vsakování je metoda odvodňování, která umožňuje srážkovou vodu vsakovat přímo do podzemí do spodních vodních vrstev.

Vsakovací rýha

Vsakovací rýha (Obrázek 15) je specifický typ vsakovacího zařízení používaných na plochách s nedostatkem místa pro povrchové vsakování.



Obrázek 15: Vsakovací rýha s povrchovým plošným přítokem (TNV 75 9011)

Podzemní prostory vyplněné štěrkem nebo bloky



Obrázek 16: Podzemní vsakovací objekt vyplněný štěrkem (Vacek, 2018)

Vsakovací šachta

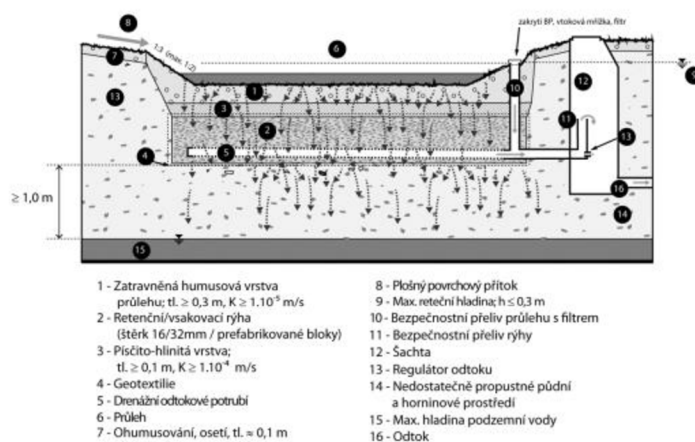
Obrázek 17) jsou bodová vsakovací zařízení, jejichž hlavní předností je jednoduchost, možnost revize a snadná obnova. Nevýhodou je omezená vsakovací plocha, což činí vsakovací šachty vhodné pouze pro menší odvodňované plochy (TNV 75 9011, 2013; Vitek et al, 2015).



Obrázek 17: Plastová vsakovací šachta (Vacek, 2018)

Další metody podzemního vsakování jsou:

- Vsakovací zařízení s regulovaným odtokem
- Vsakovací průleh – rýha s regulovaným odtokem (Obrázek 18)
- Vsakovací nádrž s regulovaným odtokem
- Vsakovací rýha s regulovaným odtokem

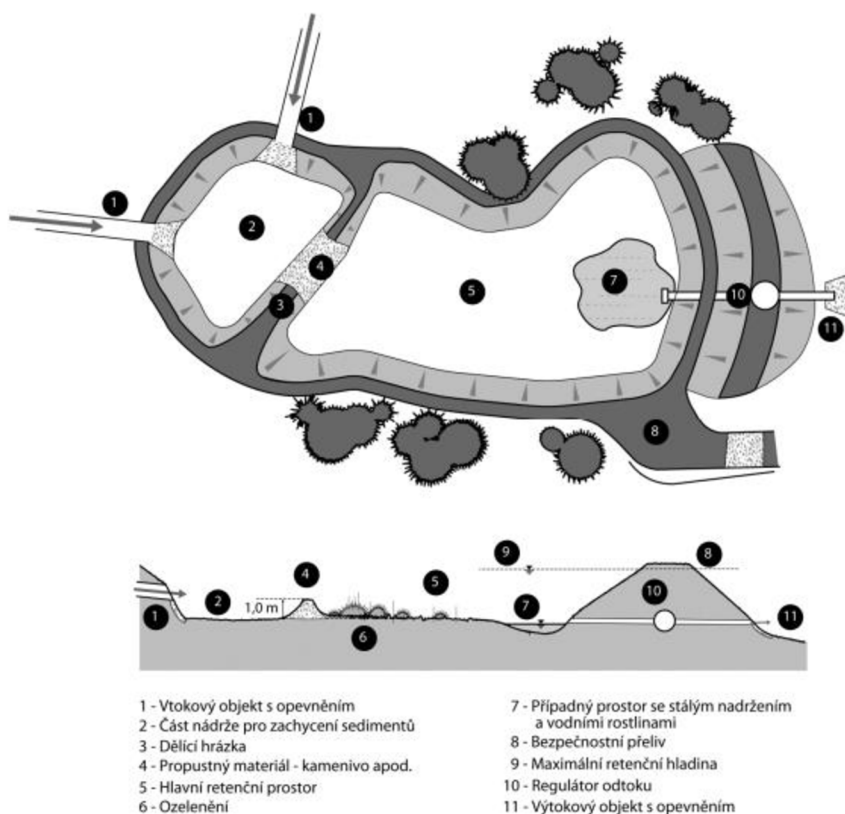


Obrázek 18: Vsakovací průleh-rýha s regulovaným odtokem (TNV 75 9011, 2013).

3.9.4 Zařízení využívající retenční funkce

Suché retenční dešťové nádrže (poldry)

Poldry (Obrázek 19) jsou určeny k udržení srážkové vody na omezenou dobu, což umožňuje postupné uvolňování vody do okolního prostředí. Jejich hlavním úkolem je snížení kulminačního průtoku, což pomáhá minimalizovat riziko záplav.



Obrázek 19: Suchá retenční nádrž (poldr) (TNV 75 9011, 2013).

Podzemní retenční dešťové nádrže

Podzemní retenční dešťové nádrže (Obrázek 20) mají hned několik výhod. Zaprvé umožňují efektivní využití dostupného prostoru, protože jsou umístěny pod zemí, tím pádem nezabírají žádný povrchový prostor a nezasahují do urbanistického designu okolí. Zároveň přispívají k ochraně životního prostředí tím, že zachycují srážkovou vodu a snižují tlak na kanalizační systémy, což snižuje riziko záplav. Další výhodou je regulace odtoku vody.



Obrázek 20: Podzemní retenční nádrž ve výstavbě (Samek, 2013).

Retenční dešťové nádrže se zásobním prostorem

Retenční dešťové nádrže se zásobním prostorem (Obrázek 21) jsou navrhovány jako okrasné prvky v obytných zástavbách a parcích, přičemž přispívají k estetickému zlepšení prostředí a mohou sloužit jako dekorativní prvky v krajině. Tyto nádrže ovlivňují mikroklima v okolí, zejména pokud jsou obklopeny vegetací. Vytvořením vodní plochy se snižuje teplota a zlepšuje prostředí pro rostliny a zvířata. Hlavním účelem těchto nádrží je transformace povodňové vlny, která vzniká při srážkovém odtoku. Tím, že zadržují a řízeně uvolňují vodu, snižují riziko záplav v urbanizovaných oblastech.



Obrázek 21: Retenční nádrž v městském parku v Bratislavě (ZAPA beton a.s., 2018).

Umělé mokřady

Umělé mokřady (Obrázek 22) jsou zelené a vodní prostory vytvořené lidskou činností. Jedná se o mělké nádrže se stálým nadržáním a s vodními rostlinami. Tyto rostliny mají schopnost absorbovat živiny a další látky z vody, čímž přispívají k čištění srážkových vod. Biologické procesy, které v mokřadech probíhají, pomáhají rozkládat organické látky a snižují zátěž živinami ve vodě

Výhodou mokřadů jsou nízké pořizovací a provozní náklady a široké využití v malých projektech nebo ve velkých městských realizacích (Cooper et al., 1996). Nevýhodou umělých mokřadů je citlivost biologických složek na toxické chemikálie, jako je čpavek a další pesticidy, které jsou pravidelně splachovány nebo vytlačovány proudící vodou, což může dočasně snížit účinnost čištění mokřadu (Donde et al, 2020).



Obrázek 22: Umělý mokřad na Amálii u Brejlského potoka (Benda, 2021).

Pro omezení vnosu nerozpuštěných látek a sedimentů do celé nádrže se doporučuje u vtoku do nádrže vytvořit konstrukčně oddělený usazovací prostor (TNV 75 9011, 2013; Vitek et al., 2015). Jak upozorňuje Mlejnská (2017), při návrhu a provozování umělých mokřadů je nutné dodržovat zásady např. dostatečné dimenzování a správné provozování mechanického předčištění, vhodná volba zrnitosti náplně umělého mokřadu, látkové a hydraulické zatěžování a provozní podmínky, aby nedocházelo ke kolmataci (souhrn fyzikálních, chemických a biologických procesů vedoucích ke snížení porozity a propustnosti), která

negativně ovlivňuje účinnost čištění. Účinnost umělých mokřadů vyhodnocují v experimentu Gaullier et al. (2019) jako značně odlišnou (24 – 97 %), především z důvodů hydrodynamických charakteristik proudění a velikosti průtoku, uspořádání daného mokřadu a na fyzikálně chemických vlastnostech konkrétního pesticidu. Nejvyšší účinnost čištění je vykazována při malých průtocích, doba zdržení je zřejmě hlavním faktorem účinnosti mokřadu. V případě nízkých průtoků probíhá kromě konvektivního proudění také hydrodynamická disperse, která zvyšuje dobu kontaktu pesticidu se substrátem. Při porovnání mokřadu s kanálem a mokřadu s tůněmi byla doba zdržení jen málo rozdílná ve prospěch mokřadu s kanálem, ale účinnost mokřadu s kanálem byla podstatně vyšší, což zřejmě způsobuje menší hloubka, čímž se zvyšuje aktivní povrch pro možnost interakce pesticidů se substrátem a jejich následná adsorpce.

4 Metodika

Pro návrh opatření hospodaření s dešťovými vodami je důležité stanovit množství srážek v závislosti na velikosti a typu povrchu odvodňovaných ploch. Dále na základě vyhodnocení výsledků navrhnutí vhodného způsobu odvodnění vybrané části urbanizovaného území a případného využití akumulovaných dešťových vod.

4.1 Redukovaný půdorysný průmět odvodňované ploch

Nejprve je nutné stanovit velikost odvodňované plochy střech, propustných zpevněných povrchů a asfaltové komunikace. A dále na základě druhu odvodňované plochy, úpravy a sklonu povrchu stanovit součinitel odtoku (ψ_i) dle normy ČSN 75 9010 (Tabulka 2).

Redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy A_{red} (m²) se stanoví pomocí základního vzorce č. 1:

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \psi_i$$

Kde je:

A_i půdorysný průmět odvodňované plochy určitého druhu v m²;

ψ_i součinitel odtoku srážkových povrchových vod pro odvodňovanou plochu určitého druhu;

n počet odvodňovaných ploch určitého druhu.

Druh odvodňované plochy; druh úpravy povrchu	Sklon povrchu		
	do 1 %	1 % až 5 %	nad 5 %
	Součinitele odtoku srážkových povrchových vod ψ		
Střechy s propustnou horní vrstvou (vegetační střechy)	0,4 až 0,7 ¹⁾	0,4 až 0,7 ¹⁾	0,5 až 0,7 ¹⁾
Střechy s vrstvou kačírku na nepropustné vrstvě	0,7 až 0,9 ¹⁾	0,7 až 0,9 ¹⁾	0,8 až 0,9 ¹⁾
Střechy s nepropustnou horní vrstvou	1,0	1,0	1,0
Střechy s nepropustnou horní vrstvou o ploše větší než 10 000 m ²	0,9	0,9	0,9
Asfaltové a betonové plochy, dlažby se záhlvkou spár	0,7	0,8	0,9
Dlažby s pískovými spárami	0,5	0,6	0,7
Upravené štěrkové plochy	0,3	0,4	0,5
Neupravené a nezastavěné plochy	0,2	0,25	0,3
Komunikace ze zatravněvacích tvárníc	0,2	0,3	0,4
Komunikace ze vsakovacích tvárníc	0,2	0,3	0,4
Sady, hřiště	0,1	0,15	0,2
Zatravněné plochy	0,05	0,1	0,15

¹⁾ Podle tloušťky propustné horní vrstvy (s rostoucí tloušťkou propustné horní vrstvy se součinitel odtoku srážkových povrchových vod snižuje až na uvedenou dolní mezní hodnotu).

Tabulka 2: Součinitele odtoku srážkových povrchových vod (ψ) (ČSN 75 9010, 2010).

4.2 Celkový objem srážkových vod z odvodňované plochy

Pro výpočet očekávaných příjmů srážek jsou použita data z nejbližší srážkoměrné stanice Tušimice, neboť pro zkoumanou lokalitu jsou tato data přesnější než data ze srážkového normálu ČHMÚ, vzhledem ke skutečnosti, že se zkoumaná lokalita nachází ve srážkovém stínu Krušných hor, kde jsou srážky pod dlouhodobým republikovým průměrem, jedná se dokonce o nejsušší oblast České republiky.

Celkový objem srážkových vod z odvodňované plochy se výpočtem vzorce č. 2 tj. získá vynásobením celkové redukované plochy A_{red} s průměrným dlouhodobým úhrnem srážek pro danou lokalitu.

$$V = \eta A_{red} \cdot S$$

Kde:

V celkový objem srážek z odvodňovaných ploch;

A_{red} redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy v m^2 ;

S průměrný dlouhodobý úhrn srážek v mm/m^2 ;

η hydraulická účinnost, resp. součinitel ztráty ve filtru (podíl průtoku vytékající vody a průtoku přitékajících srážkových vod) – pokud není uveden výrobcem, může se pro výpočet zařízení bez další úpravy vody používat hodnota 0,9.

4.3 Výpočet závlahového množství M_z s použitím ideálních srážek IS

Výpočet závlahových dávek pro zalévání zatravněného dětského hřiště a trávníků kolem něj se vypočítá dle ČSN 75 0434 Klattovou metodou upravenou Hemerkou (vzorec č.3). Při výpočtu závlahového množství M_z s použitím ideálních srážek (IS) se nejprve zájmové území rozdělí podle převládajícího půdního druhu, zjistí se průměrné měsíční teploty vzduchu za vegetační období (zaokrouhlo na celé $^{\circ}C$) a průměrné měsíční úhrny srážek za vegetační období v mm. Dále se porovnájí hodnoty z tabulky ideálních srážek (Tabulka 3) se skutečnými hodnotami. Hodnoty se zvětší nebo zmenší o hodnotu 5 mm na každý $1^{\circ}C$. Hodnota vláhové potřeby se vypočítá jako součet měsíčních hodnot upravených ideálních srážek. Provedou se vláhové bilance v jednotlivých měsících jako rozdíl měsíčních hodnot upravených ideálních srážek a skutečných srážek. Měsíčním porovnáním přebytků /

nedostatků vody k zalévání lze přesněji posoudit vhodnost zabudování akumulčních nádrží.

Plodina	Měsíc	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Celkem
	Teplota normál °C	9	14	17	19	18	14	12	
Trávník	S	55	70	85	95	85	55		445
	L	65	80	100	110	100	65		520
	T	50	60	70	80	70	50		380
S středně těžká půda L lehká půda T těžká půda									

Tabulka 3: Ideální srážky podle G. Hemerky v mm dle ČSN 75 0434 (upraveno autorem).

5 Charakteristika studijního území

Pro návrh opatření hospodaření s dešťovými vodami byla vybrána lokalita v severozápadních Čechách, na úpatí Doupovských a Krušných hor, konkrétně v obci Račetice (Obrázek 23). Obec leží ve výšce 289 m n. m v mírně zvlněné krajině mostecké pánve, přibližně deset kilometrů jihovýchodně od Kadaně. Jedná se o tradiční, intenzivně zemědělsky využívanou oblast, zaměřenou na pěstování zeleniny. Charakteristickými rysy je vysoký podíl kvalitních zemědělských půd II. třídy ochrany, scelených ve velké lány s absencí mezí, krajinné a izolační zeleně a minimální zastoupení lesů.



Obrázek 23: Poloha obce Račetice, okres Chomutov, kraj Ústecký, ČR (Kurzy.cz, 2023)

Zdejší krajina byla vážně narušena nejen povrchovou těžbou, ale i výstavbou sídelních a městských aglomerací a rozvojem průmyslu (Pecharová et al., 2011). Vysušování mokřadů a odvodnění několika tisíc hektarů území má dnes velké následky pro místní klima, protože tím byl narušen uzavřený koloběh vody. Nyní voda neobíhá v krátkém cyklu, ale z území rychle odtéká, následkem toho se krajina přehřívá. Vzniká zde tzv. srážkový stín a roční úhrny srážek činí necelých 500 mm/rok. V okolí se navíc nevyskytuje žádný vodní tok, který by sem vodu přiváděl.

Rok 2023 byl mírně nadprůměrný oproti dlouhodobému průměru (Tabulka 4) a větší podíl srážek spadl ve druhém pololetí. Z dlouhodobého průměru je ovšem zřetelné, že nejvíce srážek spadne v letním období – v měsících od května do září.

V Ústeckém kraji se pohybují průměrné měsíční teploty (Tabulka 5) dle dlouhodobého měření Českého hydrometeorologického ústavu nad celorepublikovým průměrem.

Úhrn srážek (mm/měsíc)	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	celkem
Rok 2022	24	24	18	46	25	62	16	41	55	17	29	29	386
Rok 2023	18	19	36	27	7	61	35	99	16	58	56	65	497
Dlouhodobý průměr (1967-2023)	24	20	24	26	47	58	56	59	40	30	31	28	443

Tabulka 4: Úhm srážek stanice Tušimice (upraveno autorem).

Průměrná teplota v °C	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ústecký kraj	-0,9	0,1	3,5	8,7	13,1	16,5	18,4	17,9	13,2	8,2	3,5	0,1

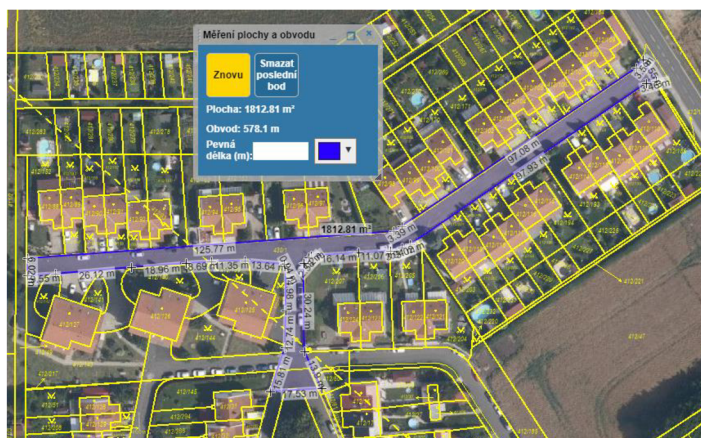
Tabulka 5: Průměrné měsíční teploty 1991 - 2020 (ČHMÚ, 2024).

Z pedologického hlediska zde převažuje jílovitohlinitá půda černozem, jedná se o nadprůměrně produkční a vysoce chráněné půdy, které patří do hydrologické skupiny C (půdy s nízkou rychlostí infiltrace 0,05-0,1 mm/min). Nízká infiltrace má za následek malý vsak do půdy, ale naopak způsobuje vysoké povrchové odtoky. To je spojeno s negativními dopady jako je zvýšená vodní eroze a degradace půdy, menší dodávka vláhy do půdního prostředí a v neposlední řadě i vznik lokálních záplav. Naproti tomu retenční vodní kapacita půd je vysoká (od 320 l/m²), dokáží tak zadržet v systému kapilárních pórů dostatečné množství vody pro potřeby rostlin (VÚMOP, 2022).

Obec Račetice nemá v současné době platný územní plán, zastupitelstvo obce usnesením 6/2021 ze dne 25.2.2021 rozhodlo o jeho pořízení. Mezi priority vyplývající z politiky územního rozvoje patří mimo jiné zajištění podmínek pro zadržování srážkových vod v zastavěném území a zastavitelných plochách a navržení krajinnotvorných prvků (rybníky, louky, aleje, meze, mokřady, sady).

Jako předmět zkoumání je zvolena zástavba 33 rodinných domů v obci Račetice postavených v roce 2005. Dešťové vody ze střech rodinných domů jsou zasakovány na pozemcích, ale dešťové vody ze střech garáží jsou svedeny okapem na propustné zpevněné plochy před garážemi a poté volně stékají do jednotné kanalizační sítě anebo vytvářejí obrovské kaluže (Obrázek 25), které zde zůstávají

i několik dní. Návrhové řešení počítá s odvedením srážkového odtoku ze střech na nedalekou plochu zeleně se vzrostlými stromy, která je ve vlastnictví obce Račetice.



Obrázek 24: Odvodňovaná plocha (KN, 2023).

Velikost odvodňovaných ploch, tj. střech s nepropustnou horní vrstvou a propustných zpevněných povrchů před garážemi je stanovena vlastním měřením a asfaltová plocha výměrou z map Katastru nemovitostí (Obrázek 24). Dle normy ČSN 75 90 10 se jedná o srážkové vody podmíněčně přípustné, jelikož velikost střech o redukované odvodňované ploše $A_{red} \geq 200 \text{ m}^2$.

Vlastní řešené území je definováno třemi rozdílnými odvodňovanými povrchy. Asfaltová plocha s rozlohou 1812,81 m² a sklonem do 1 %. Dále 33 střech s nepropustnou horní vrstvou, každá o ploše 10,2 m² se sklonem 1 % až 5 % a propustné zpevněné plochy před garážemi, z toho 12 stání o ploše 25,5 m² a 21 stání o ploše 15,3 m² se sklonem 1 % až 5 %.



Obrázek 25: Zkoumaná lokalita Račetice (zdroj: autor)

6 Výsledky

6.1 Redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy

Redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy se stanoví dle základního vzorce 1 viz. Kapitola 4.1. Výsledky jsou uvedeny v (Tabulka 6).

Typ plochy	$A_i (m^2)$	ψ_i	$A_{red} (m^2)$
Asfaltová plocha	1812,81	0,7	1268,97
Střecha s nepropustnou horní vrstvou	336,6	1	336,6
Dlažby s pískovými spárami	321,3	0,6	192,78
Celková redukovaná plocha			1798,35

Tabulka 6: Redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy (autor).

6.2 Zisk dešťové vody v jednotlivých měsících

Výpočet je proveden podle vzorce 2 kapitoly 4.2. Objem předpokládaných srážkových vod z celkové odvodňované plochy za rok činí 717 002 l tj. 717 m³. Výsledné hodnoty pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny v (Tabulka 7).

Měsíc	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	celkem
Zisk vody (m ³)	38,84	32,37	38,84	42,08	76,07	93,87	90,64	95,49	64,74	48,55	50,17	45,32	717

Tabulka 7: Zisk dešťové vody v jednotlivých měsících (upraveno autorem).

6.3 Výpočet závlahového množství M_z s použitím ideálních srážek IS

Výpočet je proveden Klattovou metodou upravenou Hemerkou popsané v kapitole č. 4.3.

Z tabulky č. 8 je patrné, že největší vláhový deficit pro travní porost je v měsíci dubnu a v letních měsících.

Závlahové množství Mz (mm)	Jednotka	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Celkem
Teplotní normál	°C	9	14	17	19	18	14	12	
Skutečná průměrná teplota	°C	9	13	17	18	18	13	8	
Rozdíl teplot (+,-)	°C	0	-1	0	-1	0	-1	-4	
Oprava IS	mm	0	-5	0	-5	0	-5	-20	
IS pro pastviny podle Hemerky pro těžkou půdu	mm	50	60	70	80	70	50		380
Upravená IS pro trávník pro těžkou půdu	mm	50	55	70	75	70	45		365
Průměrné úhrny srážek v lokalitě	mm	26	47	58	56	59	40	30	316
Potřeba závlahové vody	mm	24	8	12	19	11	5		79

Tabulka 8: Potřeba závlahové vody trávníku na těžké půdě metodou IS (upraveno autorem).

Redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy činí 1798,35 m². Z této plochy činí předpokládaný objem srážkových vod za rok 717 m³. Hodnoty pro jednotlivé měsíce jsou uvedeny v tabulce č. 9. Největší srážky přes 100 m³ spadnou především v letních měsících, kdy je nejvyšší potřeba závlahového množství na zalévání hřiště s výměrou 3 851 m². Pouze v měsíci dubnu jsou srážky nižší než potřeba vody k zalévání.

měsíc	průměr srážkových úhrnů (mm)	úhrn srážek na sběrnou plochu 1798,35 m ² (m ³ /měsíc)	potřeba vody pro zálivku (mm)	závlahová potřeba M _z na plochu hřiště 3851 m ² (m ³ /měsíc)	odtok do kanalizace (m ³ /měsíc)	množství vody odebrané pro zálivku V _{odběr} (m ³ /měsíc)
1	24	38,84	0,00	0	38,84	0
2	20	32,37	0,00	0	32,37	0
3	24	38,84	0,00	38,84	0,00	38,84
4	26	42,08	24,00	92,42	0,00	42,08
5	47	76,07	8,00	30,81	45,26	30,81
6	58	93,87	12,00	46,21	47,66	46,21
7	56	90,64	19,00	73,17	17,47	73,17
8	59	95,49	11,00	42,36	53,13	42,36
9	40	64,74	5,00	19,26	45,49	19,26
10	30	48,56	0,00	0	48,56	0
11	31	50,17	0,00	0	50,17	0
12	28	45,32	0,00	0	45,32	0

Tabulka 9: Bilanční potřeba dešťové vody na závlahu dětského hřiště a zatravněných ploch (autor).

Vzhledem k tomu, že ve sledované lokalitě se nachází jílovitohlinité až jílovité půdy, zasakování není vhodným řešením. Z tohoto důvodu návrh řeší zabudování retenčních nádrží opatřených bezpečnostním přelivem dle TNV 75 9011, kterým by v případě naplnění akumulčních nádrží byly nadbytečné srážky svedeny pomocí

přepadového potrubí do jednotné kanalizace. Podzemní akumulční nádrž musí být dále vybavena uzavíratelným otvorem pro přístup a odvětráním.

Z vypočtených hodnot v tabulce č. 9 je patrné, že pro uspokojení vláhové potřeby je nutné zabudování akumulčních nádrží o kapacitě cca 50 m³. Podzemní nádrže zajišťují stabilní teplotu vody bez přístupu světla, což vytváří vhodné podmínky pro uskladnění vody. Přesto se doporučuje akumulovanou vodu vyčerpávat cca do tří týdnů. Toto období je dostatečně dlouhé z hlediska očekávané dotace vody z příštího deště a zároveň zachování kvality vody.

Vhodným řešením je zabudování dvou navzájem propojených plastových akumulčních nádrží Columbus XXL (Obrázek 26), každá o objemu 26 000 l. Plastové nádrže mají velkou výhodu z hlediska manipulace a rychlosti montáže, navíc se monolitické samonosné nádrže nemusí obetonovávat. Masivní žebrovaná konstrukce zaručuje dokonalou statickou pevnost a těsnost.

Výrobce na ně poskytuje 30letou záruku a jejich životnost je prakticky neomezená.



Obrázek 26: Akumulační nádrž Columbus XXL (Aliaxis, 2024)

Technické parametry:

- Výška krytí 1,5m
- Objem 26 000 l
- Rozměry: délka 7 045 mm, šířka 2 500 mm, výška 2 550 mm, celková výška 3 160 mm
- Hmotnost: 1 150 kg

Do horní části akumulční nádrže se umísťuje filtrační koš, jehož funkcí je zachycení hrubých nečistot a listí před vniknutím do nádrže.

7 Diskuse

Povědomí veřejnosti ohledně šetření vody je klíčové pro udržitelné hospodaření s vodními zdroji a snižování tlaku na vodní prostředí. Quesnel et Ajami (2017) ve svém výzkumu poukazují, že osvěta a informovanost veřejnosti zvyšuje ochranu zdrojů, zvláště když jsou do informačních zpráv zahrnuty dlouhodobé důsledky. Proto je nutné zvyšování povědomí veřejnosti prostřednictvím různých kanálů komunikace a informačních kampaní jako jsou vzdělávací programy, informační brožury, webové stránky, sociální média, podpora a povzbuzování veřejnosti a v neposlední řadě zapojení institucí a veřejných osobností do kampaní pro šetření vody.

Všeobecně přijímaný přístup k hospodaření s dešťovými vodami staví na dobře zavedeném sociotechnickém systému, který alespoň v bohatších částech světa vyřešil většinu problémů s vodou a hygienou, které sužovaly města na přelomu 19. a 20. století. Naproti tomu chudší země ovlivněné nedostatkem finančních prostředků mají omezené možnosti investovat do vybudování infrastruktur, což zvyšuje jejich zranitelnost (Pelling, 2011).

Larsen et al (2016) upozorňují, že následkem urbanizace se nejen zvyšuje počet obyvatel, ale zároveň i plocha, která potřebuje odvodnění. Celosvětové odhady pro roky 2000 až 2030 naznačují rozšíření městských oblastí o dalších 60 až 200 %. Primárním cílem koncepcí jako udržitelné městské odvodňovací systémy, městský design, urbanistický design citlivý na vodu a zelené infrastruktury je udržení nebo znovuzavedení přirozenějšího stavu městského hydrologického povodí, snížení dopadu odvádění dešťových vod na vodní prostředí a snížení rizika povodní. Všechny tyto koncepty zavádějí silný prvek decentralizovaných opatření a zdůrazňují význam dlouhodobého plánování.

V současné době je upraveno legislativou v zákonu č. 254/2001 Sb. § 5, o vodách a o změně některých zákonů, že při výstavbě nových domů musí být dešťové vody ze střech přednostně akumulovány a následně využity nebo řešeny zasakováním přímo na pozemku. Aby toto opatření bylo komplexní, a tedy i efektivní, musí být hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaných územích řešeno zároveň na rozsáhlých zpevněných plochách celého urbanizovaného území.

V bakalářské práci je řešena možnost vybudování akumulčních nádrží pro zalévání dětského hřiště srážkovou vodou svedenou z komunikace, na které není dostatečně efektivně vyřešeno odvodnění. Z výpočtu závlahového množství s použitím ideálních srážek podle Klattovy metody upravené Hemerkou (Tabulka 8)

je patrné, že zalévání má být prováděno od měsíce dubna. Rostliny mají největší potřebu vody především na počátku vegetačního období, ale jak zmiňuje např. Brázdil et al. (2022) poslední dobou je patrný dřívější nástup vegetačního období. Z toho důvodu se v návrhu (Tabulka 9) počítá se zálivkou již v měsíci březnu, čímž je jarní vláhový deficit vyrovnán. Od května do září je bilance zisku vody pozitivní, tak se nabízí využití dešťové vody pro zalévání zatravněných ploch a zeleně na návsi. Dalším komponentem, který vylepšuje estetický dojem obce, je umístění mobilní zeleně do přenosných květináčů osázených především skalničkami a letničkami, vhodné jsou také různé keře a dřeviny, ale je možné květináče osázet i exotickými rostlinami, např. palmami, což významně zvyšuje atraktivitu, a navíc v zimních měsících poslouží jako dekorace v interiérech místních veřejných budov např. obecního úřadu, školky nebo DMC (dětského a mládežnického centra).

K zalévání zeleně postačí mobilní cisterna opatřená motorovým čerpadlem a hadicovým navijákem. Dešťovou vodu z akumulčních nádrží je zapotřebí pravidelně odebírat, doporučená doba uskladnění je 14-21 dní, ve výjimečných případech až 30 dnů (ČSN 75 6780, 2021). Po tuto dobu je vzhledem ke stabilní teplotě pod zemí a nedostatku světla zaručena dostatečná kvalita vody.

Od října do února není zapotřebí dešťovou vodu pro potřebu zálivky akumulovat, proto se v zimních měsících pustí odtokem přímo do kanalizace. Výhledově se tak nabízí možnost tuto vodu využívat i k jiným účelům, například ke splachování a úklidu budovy obecního úřadu nebo mateřské školky.

Aby bylo opatření hospodaření s dešťovými vodami v obci komplexní, bylo by vhodné navrhnout další opatření HDV. Například Kubelková (2023) představuje v rámci projektu Počítáme s vodou příklad řetězení opatření podle principů přírodě blízkého hospodaření s dešťovými vodami z areálu SUOMI Hloubětín v Praze 9. Na parkovištích je dešťová voda svedena do průlehů osázených stromy, které mají díky tomu dostatečnou závlahu vody. Nadbytečná voda se vsakuje drenážním potrubím, kterým jsou průlehy propojeny. Dešťová voda ze střech je zachytávána v nádržích a slouží pro zálivku. Nádrže jsou opatřeny bezpečnostními přelivy zaústěnými do zatravněných koryt a zasakovacích průlehů. Takováto opatření lze ovšem realizovat pouze v místech, kde jsou vhodné podmínky pro zasakování. Všechny liniové prvky jsou zaústěny do kaskády vsakovacích nádrží s bezpečnostním přelivem do Rokytky. Celý projekt završuje revitalizace blízké říčky, kdy došlo k odstranění strmých břehů a vytvoření meandrů osázených vodními rostlinami, což vytváří přírodní biotopy pro vodní živočichy, hmyz a ptactvo.

Vybudování akumulčních nádrží by rozpočet obce nemělo nijak výrazně zatížit, neboť v současné době se nabízí možnost využít dotační programy pro zlepšení životního prostředí a zmírnění dopadu klimatických změn. Například v obci Medlovice ve Zlínském kraji se za podpory Operačního programu Životního prostředí uskutečnil projekt vybudování akumulční nádrže na záchyt dešťové vody ze střechy objektu kulturního domu a šaten TJ k jejímu následnému využití k zalévání. Celková částka projektu činila 955 269 Kč, z toho bylo 811 978,53 Kč hrazeno z dotačního programu a 143 290,33 Kč z veřejných zdrojů (DotaceEU.cz, 2024). V obci Račetice bylo v minulosti využito dotací např. k výstavbě rodinných domů a bytových jednotek.

V urbanizovaném prostředí lze efektivně zadržovat vodu například formou modrozelené infrastruktury, která následně ovlivňuje i charakter bydlení. Modrozelená infrastruktura nejenže zlepšuje mikroklima a estetiku města, ale také přináší mnoho dalších přínosů pro životní prostředí a obyvatele. Je tedy důležité tento trend podporovat a implementovat do urbanistických plánů a projektů.

8 Závěr

Bakalářská práce poukazuje na problematiku hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaných územích, vodní zdroje jsou klíčovým faktorem pro zachování biodiverzity i pro existenci člověka samotného. Voda je důležitým aspektem v ochraně životního prostředí. Rychlé odvedení vody má za následek vysušování krajiny, střídání období sucha s intenzivními přivalovými srážkami, zvyšování teploty vzduchu a celkové narušení místního mikroklimatu.

V praktické části bakalářské práce je navrženo konkrétní řešení odvodnění části obce Račetice. Zabudováním akumulčních nádrží s bezpečnostním přepadem do jednotné kanalizace se zvýší ochrana intravilánu před přivalovými dešti. Na základě posouzení místních podmínek a zhodnocení výsledků se počítá s možností využití dešťové vody pro zalévání dětského hřiště. Navržené opatření umožní jednak zlepšení podmínek pro zeleň v obytné části, jež se projeví zlepšením mikroklimatu a dále zlepšení odtokových podmínek z řešeného území.

9 Přehled literatury a použitých zdrojů:

Knihy a články:

Bohuslávek P., Horský V., Jakoubková Š., 2009: Vegetační střechy a střešní zahrady. Skladby a detaily – únor 2009 konstrukční a materiálové složení. DEKTRADE, a.s., 72 s.

Butler D., Davies J. W., 2004: Urban drainage. 2nd. London: Spon Press. 566 p.

Cooper P.F., Job G.D., Green M.B., Shutes R.B.E., 1996: Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment. Swindon, UK, Water Research Centre Publications, 184 p.

Frouz J., Frouzová J., 2021: Aplikovaná ekologie. Nakladatelství Karolinum, Praha, 431 s.

Gaullier C., Baran N., Dousset S., Devau N., Billet D., Kitzinger G., Coisy E., © 2019: Wetland hydrodynamice and mitigation of pesticides and their metabolites at pilot-scale. Ecological Engineering, 136, 185-192.

Herle J., Bareš P., 1990: Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 208 s.

Quesnel K.J., Ajami N.K., 2017: Changes in water consumption linked to heavy news media coverage of extreme climatic events. Science Advances 3, e1700784.

Kravčík M., Pokorný J., Kohutiar J., Kováč M., Tóth E., 2007: Voda pre ozdravenie klímy – Nová vodná paradigma. Krupa Print, Žilina, 93 s.

Makarieva A. M., Gorshkov V. G., © 2007: Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1013–1033.

Mlejnská E., 2017: Kolmatace umělých mokřadů, VTEI, Ročník 59, číslo 5/2017, 4-11.

Pecharová E., Svoboda I., Vrbová M., 2011: Obnova jezerní krajiny pod Krušnými horami. Lesnická práce, s. r. o., 112 s.

Pelling M., 2011: Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation. London: Routledge. 203 p.

Plecháč V., 1989: Voda problém současnosti a budoucnosti. Nakladatelství Svoboda, Praha, 327 s.

Pokorný J., 2014: Hospodaření s vodou v krajině – funkce ekosystémů. UJEP FŽP, Ústí nad Labem, 103 s.

Ponting C., 2018: Zelené dějiny světa – Životní prostředí a kolaps velkých civilizací. Nakladatelství Karolinum, Praha, 478 s.

Říha J., 1987: Voda a společnost. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 340 s.

Larsen T.A., Hoffmann S., Lüthi CH., Truffer B., Mauer M., 2016: Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. Science. Vol. 352, NO. 6288, 928–933.

Vítek J., 2008: Odvodňování urbanizovaných území podle principů udržitelného rozvoje. Urbanismus a územní rozvoj. Ročník XI, číslo 4/2008, 1-12s.

Vítek J., Štránský D., Kabelková I., Bareš V., Vítek R., 2015: Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. Praha: 07/71 ZO ČSOP Koniklec, 128 s.

Yongqiang Z., Congcong L., Chiew F., Post D., Xuanze Z., Ning M., Jing T., Donkdonk K., Leung L., Qiang Y., Jiancheng S., Changming L., 2023: Southern Hemisphere dominates recent decline in global water availability. Science. Vol. 382, NO. 6670, 579-584p.

Internetové zdroje:

Brázdil, R., Dobrovolný, P., Mikšovský, J., Pišoft, P., Trnka, M., Možný, M., Balek, J., 2022: Documentary-based climate reconstructions in the Czech Lands 1501–2020 CE and their European context, Clim (online) [cit. 2023.07.24], dostupné z <<https://cp.copernicus.org/articles/18/935/2022/>>.

Donde, O., Atalitsa, C., 2020: Constructed Wetlands in Wastewater Treatment and Challenges of Emerging Resistant Genes Filtration and Reloading (online) [cit. 2023.08.25], dostupné z <<https://www.intechopen.com/chapters/73065>>.

DotaceEU, ©2024: Hospodaření se srážkovými vodami v intravilánu v obci Medlovice (online) [cit. 2024.3.16], dostupné z <<https://www.dotaceeu.cz/cs/statistiky-a-analyzy/mapa-projektu/projekty/05-operacni-program-zivotni-prostredi/05-1-zlepsovani-kvality-vody-a-snizovani-rizika-po/hospodareni-se-srazkovymi-vodami-v-intravilanu-v-obci-Medlovice>>.

Dvořáková D., 2007 a): Využívání dešťové vody (I) – kvalita a čištění (online) [cit. 2023.08.14], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cistení>>.

Dvořáková D., 2007 b): Využívání dešťové vody (II) – možnosti použití dešťové vody a části zařízení (online) [cit. 2023.08.14], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3962-vyuzivani-destove-vody-ii-moznosti-pouziti-destove-vody-a-casti-zarizeni>>.

EEA, ©2017: Drought and water overuse in Europe (online) [cit. 2023.07.22], dostupné z <<https://www.eea.europa.eu/media/newsreleases/drought-and-water-overuse-in-europe>>.

HYDROTECH, ©2020: Voda na Zemi (online) [cit. 2023.07.06], dostupné z <<https://www.hydrotech-group.com/blog/voda-na-zemi-kolko-jej-na-planete-mame-a-ake-mnozstvo-z-toho-tvori-pitna-voda>>.

Kabelková I., ©2023: Za příklady hospodaření s dešťovou vodou v Praze (online) [cit.2024.03.16], dostupné z <[Za příklady hospodaření s dešťovou vodou v Praze | Počítáme s vodou \(pocitamesvodou.cz\)](#)>.

MŽP, ©2023: Světový den vody: Urychleme změnu, dokud je čas (online) [cit. 2023.07.06], dostupné z <https://www.mzp.cz/cz/news_20230322_Vodohospodari-slavi-Svetovy-den-vody>.

Ritchie, H., Roser, M., 2018: Water Use and Stress (online) [cit. 2023.07.06], dostupné z <<https://ourworldindata.org/water-use-stress>>.

Stránský D., 2018: Hospodaření s dešťovou vodou – poznatky z reálných projektů v ČR, Německa a Dánska (online) [cit. 23.09.25], dostupné z <[Hospodaření s dešťovou vodou - poznatky z reálných projektů v ČR, Německa a Dánska - TZB-info](#)>.

Vacek J., 2018: Jak vypadá vsakovací zařízení (online) [cit. 2023.09.10], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/16968-hospodareni-se-srazkovymi-vodami>>.

VÚMOP, ©2022: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (online) [cit. 2023.09.24], dostupné z <<https://bpej.vumop.cz/10600>>

Zákony a vyhlášky:

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), v platném znění.

Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), v platném znění.

Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území ve znění vyhlášky č. 269/2009 Sb.

Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby.

Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

Normy:

Norma ČSN 75 9010: Vsakovací zařízení srážkových vod, Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010, 44 s

Norma TNV 75 9011: Hospodaření se srážkovými vodami. Sweco Hydroprojekt a.s., Praha, 2013, 65 s.

Norma ČSN 75 6780: Využití šedých a srážkových vod v budovách a na přilehlých pozemcích. Sweco Hydroprojekt a. s., Praha, 2021, 40 s.

Norma ČSN 75 0434: Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, Praha, 2017, 60s.

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Odběry sladké vody podle zemí v roce 2017 (Ritchie H., Roser M.: Water Use and Stress) (online) [cit. 2023.07.07], dostupné z: <<https://ourworldindata.org/water-use-stress>>.

Obrázek 2: Spotřeba vody v domácnosti (Severočeské vodovody a kanalizace) (online) [cit. 2023.07.22], dostupné z <<https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>>.

Obrázek 3: Porovnání odtoku srážkových vod v přirozeném a urbanizovaném území (Vítek et al., 2015).

Obrázek 4: Extenzivní vegetační střecha (Greenville (online) [cit. 2023.08.024], dostupné z <<https://www.greenville.cz/lehka-zelena-strecha.html>>.

Obrázek 5: Schéma technologického zařízení pro využití dešťové vody ze střechy (Markovič G.: Využití srážkové vody z povrchového odtoku pro zásobování budov (online) [cit. 2023.09.07], dostupné z < <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/8750-vyuziti-srazkove-vody-z-povrchoveho-odtoku-pro-zasobovani-budov> >.

Obrázek 6: Filtrační hrnec (Dvořáková D.: Využívání dešťové vody I (online) [cit. 2023.09.07], dostupné z < <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cisteni>>.

Obrázek 7: Svodové okapové filtry (Dvořáková D.: Využívání dešťové vody I (online) [cit. 2023.09.07], dostupné z < <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cisteni>>.

Obrázek 8: Filtrační koš umístěný v tělese filtru (vlevo) a v akumulární nádrži (vpravo) (Dvořáková D.: Využívání dešťové vody I (online) [cit. 2023.09.07], dostupné z < <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cisteni>>.

Obrázek 9: Samočisticí filtr v interním provedení (vlevo) a šachtový filtr (vpravo) (Dvořáková D.: Využívání dešťové vody I (online) [cit. 2023.09.07], dostupné z < <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cisteni>>.

Obrázek 10: Jemný filtr se zpětným proplachem (Dvořáková D.: Využívání dešťové vody I (online) [cit. 2023.09.07], dostupné z < <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cisteni>>.

Obrázek 11: Objekt plošného vsakování (TNV 75 9011(online) [cit. 2023.09.09], dostupné z <https://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011_brezen_2013.pdf>.

Obrázek 12: Vsakovací průleh s povrchovým přívodem vody (TNV 75 9011(online) [cit. 2023.09.10], dostupné z <https://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011_brezen_2013.pdf>.

Obrázek 13: Vsakovací průleh-rýha (TNV 75 9011(online) [cit. 2023.09.10], dostupné z <https://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011_brezen_2013.pdf>.

Obrázek 14: Vsakovací nádrž (TNV 75 9011(online) [cit. 2023.09.09], dostupné z <https://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011_brezen_2013.pdf>.

Obrázek 15: Vsakovací rýha s povrchovým plošným přítokem (TNV 75 9011(online) [cit. 2023.09.09], dostupné z <https://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011_brezen_2013.pdf>.

Obrázek 16: Podzemní vsakovací objekt vyplněný štěrkem (Vacek J.: Jak vypadá vsakovací zařízení srážkových vod (online) [cit. 2023.09.09], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/16968-hospodareni-se-srazkovymi-vodamif>>.

Obrázek 17: Plastová vsakovací šachta (Vacek J.: Jak vypadá vsakovací zařízení srážkových vod (online) [cit. 2023.09.09], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/16968-hospodareni-se-srazkovymi-vodamif>>.

Obrázek 18: Vsakovací průleh-rýha s regulovaným odtokem (TNV 75 9011(online) [cit. 2023.09.15], dostupné z <https://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011_brezen_2013.pdf>.

Obrázek 19: Suchá retenční nádrž (poldr) (TNV 75 9011(online) [cit. 2023.09.15], dostupné z <https://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011_brezen_2013.pdf>.

Obrázek 20: Podzemní retenční nádrž ve výstavbě (Samek O.: Motivace k hospodaření s dešťovou vodou (online) [cit. 2023.09.15], dostupné z <<https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/9961-motivace-k-hospodareni-s-destovou-vodou>>.

Obrázek 21: Retenční nádrž v městském parku v Bratislavě (ZAPA beton a.s.: Pilotní projekt městského parku s efektivním managementem vody v krajině (online) [cit. 2023.09.16], dostupné z <<https://m.tzb-info.cz/destova-voda/17178-pilotni-projekt-mestskeho-parku-s-efektivnim-managementem-vody-v-krajine>>.

Obrázek 22: Umělý mokřad na Amálii u Brejlského potoka (Centrum pro vodu, půdu a krajinu (online) [cit. 2023.09.018], dostupné z <<https://cvpk.czu.cz/cs/r-13895-aktuality-cvpk/umely-mokrad-na-amalii.html>>.

Obrázek 23: Poloha obce Račetice, okres Chomutov, kraj Ústecký, ČR (Kurzy.cz (online)[cit. 2023.12.8], dostupné z <<https://www.kurzy.cz/obec/racetice/mapy/>>.

Obrázek 24: Odvodňovaná plocha (KN (online) [cit. 2023.11.19], dostupné z <<https://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarWindowName=Marushka&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=719579&MarQParamCount=1>>.

Obrázek 25: Zkoumaná lokalita Račetice (zdroj: autor).

Obrázek 26: Akumulační nádrž Columbus XXL (Aliaxis s.r.o. (online) [cit. 2024.2.24], dostupné z <<https://www.aliaxis.cz/cs/produkty/productdetails/akumulacni-nadrz-columbus-xxl-1001111>>.

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Typické znečišťující látky na jednotlivých typech ploch a očekávané znečištění srážkových vod (TNV 75 9011) https://eagri.cz/public/web/file/209372/TNV_75_9011_brezen_2013.pdf

Tabulka 2: Součinitele odtoku srážkových povrchových vod (ψ) (ČSN 75 9010, 2010).

Tabulka 3: Ideální srážky podle G. Hemerky v mm dle ČSN 75 0434 (upraveno autorem).

Tabulka 4: Úhrn srážek stanice Tušimice (upraveno autorem) https://www.in-pocasi.cz/archiv/tusimice/?&typ=srazky&historie_bar_mesic=12&historie_bar_rok=2022#monthly_graph.

Tabulka 5: Průměrné měsíční teploty 1991-2020 (ČHMÚ, 2024).

Tabulka 6: Redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy (autor).

Tabulka 7: Zisk dešťové vody v jednotlivých měsících (autor).

Tabulka 8: Potřeba závlahové vody trávníku na těžké půdě metodou IS (autor).

Tabulka 9: Bilanční potřeba dešťové vody na závlahu dětského hřiště a zatravněných ploch (autor).