VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

OPTIMALIZACE NAKLÁDÁNÍ SE SRÁŽKOVÝMI VODAMI U VYBRANÝCH OBJEKTŮ V BRNĚ - KOMÍNĚ

OPTIMIZATION OF RAINWATER MANAGEMENT AT SELECTED BUILDINGS IN BRNO - KOMÍN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Jan Školař
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. JAN RUČKA, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2020

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jan Školař
Název	Optimalizace nakládání se srážkovými vodami u vybraných objektů v Brně - Komíně
Vedoucí práce	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

[1] Stránský, D. a kol.: Srážkové vody a urbanizace krajiny, ČKAIT, Praha, 2012, ISBN 978-80-87438-28-2

[2] TNV 75 9011: Hospodaření se srážkovými vodami, Sweco Hydroprojekt, a.s., Praha, 3/2013

[3] Žabička, Z., Vrána, K.: Hospodaření se srážkovou vodou v nemovitostech, ČKAIT, Praha, 2011, ISBN 978-80-87438-14-5

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V úvodní části diplomové práce bude vytvořen optimalizační model pro návrh velikosti dešťové nádrže. V úvahu bude brána dlouhodobá řada historických dešťů, investiční a provozní náklady a potřebné objemy vody pro zálivku zelených ploch. Vytvořený optimalizační model umožní simulaci plnění a prázdnění nádrže s ohledem na srážkové úhrny a potřebu vody a bude aplikován na několika vybraných objektech, které jsou v majetku MČ Brno - Komín. Práce bude obsahovat část rešeršní, výpočtovou a praktickou.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato práce hovoří o decentrálním nakládání srážkových vod. Popisuje způsoby decentrálního nakládání a nahlíží do problematiky ve směru legislativy. V praktické části byl vytvořen výpočetní nástroj, který má ulehčit rozhodování, jak velký objem nádrže zvolit v závislosti na rozměru sběrné plochy a zavlažovaného území.

KLÍČOVÁ SLOVA

Decentrální způsob nakládání srážkových vod, objem dešťové nádrže, závlaha

ABSTRAKT

This work talks about decentralized rainwater management. It describes the ways of decentralized management and looks into the issue from the legislation point of view. In the practical part, a computational tool was created to make it easier to decide how much tank to choose depending on the size of the collecting area and the irrigated area.

KEYWORDS

Decentral method of rainwater management, rainwater volume, irrigation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jan Školař *Optimalizace nakládání se srážkovými vodami u vybraných objektů v Brně - Komíně.* Brno, 2019. 98 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Optimalizace nakládání se srážkovými vodami u vybraných objektů v Brně - Komíně* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2020

Bc. Jan Školař
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Optimalizace nakládání se srážkovými vodami u vybraných objektů v Brně - Komíně* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2020

Bc. Jan Školař
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval především Ing. Janu Ručkovi, PhD. a Ing. Milanu Uhrovi, kteří mi byli nápomocní a dokázali mě směřovat cestou, která byla přínosná pro výpočty a pro výsledek práce. Nadále bych chtěl poděkovat přátelům, bez kterých by studium nebylo tolik zábavné. A v neposlední řadě patří mé díky rodině a přítelkyni, kteří mi umožnili studovat a podporovali mě v situacích a dávali mi sílu, abych studium dokončil.

OBSAH

1 ÚVOD 3

1.1 Termíny a definice 3

1.2 Stávající stav 6

1.3 Motivace 7

1.4 Cíl práce 9

2 PROBLEMATIKA HOSPODAŘENÍ SE SRÁŽKOVÝMI VODAMI 10

2.1 Sucho 10

2.2 Hospodaření se srážkovými vodami 13
2.2.1 Konvekční způsob odvodnění v urbanizovaném území 13
2.2.2 Decentrální způsob odvodnění v urbanizovaném území 14
2.2.3 Jakost srážkových vod 15
2.2.4 Zařízení a objekty pro hospodaření se srážkovými vodami 19

2.3 Legislativa v České Republice 31
2.3.1 Plán hlavních povodí 32
2.3.2 Politika územního rozvoje 32
2.3.3 Podmínka pro nakládání se srážkovými vodami 33
2.3.4 Technické předpisy pro hospodaření se srážkovými vodami 37

2.4 Trendy budoucího vývoje 38

3 NÁSTROJ PRO VÝPOČET VELIKOSTI NÁDRŽE PRO AKUMULACI SRÁŽKOVÉ VODY 46

3.1 Simulátor plnění nádrže 46

3.2 Stanovení závlahové dávky 48
3.2.1 Experiment pro stanovení závlahové dávky 48

3.3 Počáteční a okrajové podmínky 51
3.3.1 Počáteční podmínky 51
3.3.2 Okrajové podmínky a pravidla simulace 53

3.4 Optimalizace a omezující podmínky 53
3.4.1 Optimalizace 53
3.4.2 Omezující podmínka 55

4 PŘÍPADOVÉ STUDIE 59

4.1 Optimalizace objemu nádrže u Městské knihovny Brno-Komín 59
4.1.1 Vstupní data 59
4.1.2 Optimalizace 61

4.2 Optimalizace objemu nádrže pro Městský úřad brno-komín 64
4.2.1 Vstupní data 64
4.2.2 Optimalizace 66

4.3 Optimalizace objemu nádrže pro základní a mateřskou školu Brno-Pastviny 69
4.3.1 Vstupní údaje v povodí 1.1 69
4.3.2 Optimalizace 71
4.3.3 Vstupní údaje v povodí 1.2. 74
4.3.4 Optimalizace v povodí 1.2. 76
4.3.5 Vstupní údaje v povodí 1.3 79
4.3.6 Optimalizace v povodí 1.3. 81

5 DISKUZE A ZÁVĚR 85

6 POUŽITÁ LITERATURA 87

SEZNAM TABULEK 90

SEZNAM OBRÁZKŮ 91

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ 94

SUMMARY 96

1 ÚVOD

Srážkové vody jsou stále častěji omílaným tématem, a proto jsem se snažil vytvořit produkt, který bude nápomocný při rozhodování, jak velkou nádrž pro srážkové vody si pořídit uvažujeme-li, že srážkovou vodu budeme využívat jen pro zálivku a nádrž nebude dopouštěna jinými zdroji než srážkovým úhrnem. Jelikož jsou srážkové vody pod dlouhodobým normálem je důležité přemýšlet jak a kde srážkové vody využívat, abychom je vraceli zpět do přirozeného koloběhu vody. Důležité je nejen se zamýšlet nad touto problematikou, která zasahuje každého z nás, ale také konat. Díky veřejným projektům se daří zvětšovat zájem obyvatel k hospodaření se srážkovými vodami. Lidé si postupně uvědomují, že voda je základ života a že voda, která padá z hůry není nepřítel, nýbrž užitečný pomocník v boji proti suchu. Tato práce myšlenkově navazuje na moji dlouhodobou práci v oblasti hospodaření se srážkovými vodami. Podstatně rozšiřuje oblast vědění, jak se srážkovými vodami hospodařit a poukazuje na principy hospodaření srážkových vod v městských aglomeracích. [5, 6]

1.1 TERMÍNY A DEFINICE

V této kapitole jsou vyjmenované termíny a jejich definice, které se v této práci vyskytují.

Akumulační domovní nádrž

Nádrž k zadržení srážkové vody za účelem jejího využití k provozu nemovitosti (závlaha, WC, úklid atd.) [3].

Bezpečnostní přeliv

Součást vsakovacího zařízení nebo retenčního objektu, která umožňuje bezpečně převést vodu při větší než návrhové srážce nebo při poruše objektu. [3, 11]

Centrální způsob odvodnění

Způsob odvodnění, který se zabývá nakládáním se srážkovými vodami společně pro více staveb. V systému hospodaření se srážkovými vodami jsou centrální opatření aplikována na konci řetězce odvodnění, tj. jsou zapojena za opatření decentrální. Při samostatném použití centrální opatření se nejedná o hospodaření se srážkovými vodami. [3, 11]

Decentrální způsob odvodnění

Způsob odvodnění, který se zabývá hospodařením se srážkovými vodami v místě jejich vzniku (tj. zpravidla na pozemku stavby, z níž jsou srážkové vody odváděny či v těsné blízkosti sousedních pozemních komunikací, z níž jsou srážkové vody odváděny) a vrací srážkové vody do přirozeného koloběhu vody. [3, 11]

Dešťová oddílná kanalizace

Podzemní trubní vedení sloužící k odvádění srážkových vod do příslušného vodního recipientu. [3, 11]

Dešťový oddělovač (dříve odlehčovací komora)

Objekt na jednotné stokové síti, který slouží k oddělení naředěných splaškových vod (nadměrných průtoků) do vodního recipientu [3].

Evapotranspirace

Celkový výpar, který se vztahuje k určitému území/ploše. Tento celkový výpar se skládá z fyzikálního a fyziologického výparu. Velikost evapotranspirace se určuje experimentálně pomocí lyzimetru nebo výpočtem na základě hodnoty výparu a druhu vegetačního pokryvu [3].

Hospodaření s dešťovými vodami (HDV)

Způsob nakládání se srážkovými (převážně dešťovými) vodami, který klade důraz na zachování přirozené bilance vody v území po jeho urbanizaci. Základním přístupem HDV je decentrální způsob odvodnění. [3, 11]

Hydraulická vodivost (K)

Vlastnost nasycené půdy vést vodu, charakterizována součinitelem K v Darcyho rovnici, závislým na hustotě a viskozitě vody a na půdních poměrech; rovná se makroskopické rychlosti při jednotkovém spádu I. Má rozměr rychlosti a vyjadřuje se v $m \cdot s^{-1}$.Nejvyšší hodnoty dosahuje hydraulická vodivost při plné saturaci půdy vodou. [3, 11]

Hydraulické přetížení

Stav, při kterém odpadní a/nebo srážkové povrchové vody v gravitačním systému odtékají stokovým systémem pod tlakem, ale nevytékají na povrch, a nezpůsobují tak povodňový stav [3].

Hydraulické zatížení vsakovacích zařízení

Množství přitékající srážkové vody vztažené na vsakovací plochu vsakovacího zařízení, orientačně vyjádřené poměrem mezi redukovanou odvodňovanou plochou a vsakovací plochou vsakovacího zařízení. [3, 11]

Hydrogeologický průzkum

Ve vztahu k hospodaření se srážkovými vodami se jedná o posouzení půdního a horninového prostředí z hlediska možností realizace zařízení a objektů HDV (zhodnocení možností vsakování srážkových vod). Průzkum slouží jako podklad pro tvorbu projektu, výpočet objemu

vsakovacích systémů a jako doklad vyžadovaný pro povolování objektů HDV vodohospodářským úřadem a stavebním úřadem. V ČSN 75 9010 a TNV 75 9011 je toto posouzení označováno jako geologický průzkum. [3]

Infiltrace

Vnikání srážkových povrchových vod nebo vyčištěného odtoku do půdního nebo horninového prostředí – též vsakování nebo zasakování [3].

Jednotný stokový systém

Soustava sloužící ke společnému odvádění znečištěných a srážkových povrchových vod jednou sběrnou soustavou [3].

Koeficient vsaku

Koeficient charakterizující rychlost vsakování vody do horninového prostředí ve vsakovacím zařízení za atmosférického tlaku při hydraulickém sklonu I=1. Koeficient vsaku se stanoví způsobem popsaným v ČSN 75 9010 a nelze ho nahradit koeficientem hydraulické vodivosti ani součinitelem infiltrace. [3, 11]

Koncentrace povrchového odtoku

Proces transformace efektivního deště na povrchový odtok [3].

Konvenční způsob odvodnění

Metoda odvodnění urbanizovaného území, při níž je srážková voda odváděna nejkratší cestou z povodí, na které dopadne prostřednictvím kanalizace nebo otevřeného koryta do povrchového vodního toku nebo ČOV [3].

Míra urbanizace

Stupeň zastavěnosti území nepropustnými povrchy [3].

Návrhová srážka

Srážkový úhrn vyjádřený v mm vodního sloupce, který v případě HDV slouží jako jeden ze vstupních údajů pro dimenzování vsakovacích zařízení nebo retenčních objektů. Srážkový úhrn se liší podle návrhové periodicity srážky, doby jejího trvání a lokality [3].

Odtokový koeficient

Součinitel vyjadřující podíl (%) odtoku dešťové vody z celkového množství, které na povrch dopadne. Hodnotu ovlivňuje zejména propustnost a drsnost povrchu, ale i jeho sklon. Zcela nepropustný povrch má hodnotu 1. [3]

Předčištění srážkových vod

Opatření pro ochranu objektu a/nebo příjemce srážkových vod s důrazem na zadržení hrubých nečistot (splavenin) a nerozpuštěných látek, snížení koncentrace těžkých kovů, zadržení ropných látek, rozklad organických látek spotřebovávajících kyslík, snížení koncentrace živin a snížení koncentrace patogenních organismů. Může probíhat v přírodě blízkých nebo v technických zařízení. [3]

Redukovaná odvodňovaná plocha

Odvodňovaná plocha povodí násobená součinitelem odtoku. [3, 11]

Retence

Přirozené nebo umělé dočasné zadržení vody v krajině. Retence vody je důležitým faktorem pro zachycení srážek a transformaci průtokových vln. [3]

1.2 STÁVAJÍCÍ STAV

Základním dokumentem, který stanovuje rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky, je směrnice 2000/60/ES z 23.října 2000. Tato směrnice představuje nejvýznamnější a prozatím nejucelenější právní úpravu pro oblast vodního hospodářství v zemích Evropské unie. V odstavci 11 úvodního textu směrnice se píše:

„Politika pro životní prostředí má přispět k prosazování cílů zachování ochrany a zvýšení kvality životního prostředí, při uváženém a rozumném využívání přírodních zdrojů a má být založena na principu předběžné opatrnosti, na principech přijímání preventivních opatření, nápravy škod na životním prostředí prvotně u zdroje a na principu, že znečišťovatel platí.“

Z této definice lze soudit, že zavádění rámcové směrnice do života neznamená pouhou aplikaci nových technických norem, ale vyžaduje zásadní změnu přístupu ke správě vod a vodních zdrojů. [3, 4]

Praxe v České republice s nakládáním se srážkovými vodami v urbanizovaných územích odpovídá jen částečně těmto kritériím. Srážková voda je v některých končinách stále vnímána jako problém, který je potřeba odvést z centra měst a obcí. Dnes se stále aplikují technická opatření, která dopad srážkových vod zmírní nebo negativní dopady odsune místo toho, aby řešila příčiny. Důsledkem jsou pak lokální záplavy a povodně vlivem nedostatečné kapacity stokových sítí a vodotečí, kterým napomáhá i globální změna klimatu. Nevhodně zvolený přístup k odvodnění se promítá i na snižování hladiny podzemní vody, zejména v suchým ročním období. Další negativní dopady se odráží například v městském mikroklimatu a znečištění vodních toků přítokem dešťové vody během přívalových srážek. [1, 2, 3]

Dešťovou vodou bychom se vážně měli zabývat i proto, že přibývá urbanizace krajiny, kde už i na malých vesnicích bývá zastavěná plocha větší než zelená. Toto tempo zastavování vede k závažnému narušení přirozeného hydrologického cyklu. Tohoto aspektu si všímají nejen u nás, ale v mnoha státech po celém světě. Proto ve většině vyspělých zemích byl odstartován

celospolečenský transformační proces s jasným cílem. Tento cíl je zásadně změnit přístup k dešťové vodě a má za úkol vybudovat nové koncepty městského odvodnění pro zmírnění urbanizace na hydrologický režim krajiny a na vodní ekosystémy. Tyto koncepty vycházejí z dosavadních poznatků a zkušeností. V podstatě se jedná o to, aby se vytvořil způsob odvodnění v urbanizovaném území, který přibližuje srážkoodtokové poměry v nezastavěném povodí a zároveň přispívá svou funkcí ke zkvalitnění životního prostředí ve městech. [3]

Koncepty však v mnoha směrech narážejí na různé bariéry, neboť jejich zapojení vyžaduje komplexní mezioborový přístup. Tyto změny se netýkají pouze technického přístupu, ale také nabývají rozměrů legislativních, ekonomických a instituciálních. V České republice se v nedávnu uskutečnila celá řada zajímavých projektů, které napomáhají k implementaci hospodaření s dešťovou vodou do návodů pro územně plánovacích dokumentací, do koncepcí odvodnění měst a dalších strategických dokumentů. Existují i města s generely odvodnění, které již mají principy hospodaření s dešťovou vodou začleněné na úrovni systémového opatření. Avšak obecná povědomost, která se rok od roku zlepšuje, je stále nízká i přes jasná ustanovení v naší legislativě je toto hospodaření vnímáno jako pouhá alternativa k běžnému způsobu odvodnění. [3]

1.3 MOTIVACE

Většina měst má dnes jednotný systém odvádění dešťové a splaškové vody. Schopnost těchto systémů fungovat je zajištěna dešťovými oddělovači nebo odlehčovacími komorami, ze kterých je při jisté koncentraci odváděna část dešťových a splaškových vod do přilehlého vodního toku. Aby se snížil nepříznivý dopad na tyto vodoteče, začaly se na odlehčovací stoce osazovat retenční nádrže, mezi recipientem a kanalizační sítí. Jejich výhodou je snížení počtu výustí do recipientu. Nevýhodou však vysoké investiční a provozní náklady. V městském prostředí také nedostatek volných ploch a drahý výkup pozemků. Tento centrální způsob odvodnění však neřeší problém v místě vzniku, ale pouze ho oddaluje. [3]

Jako jediná vhodná vyhodnocená cesta, jak nakládat s dešťovými vodami, je decentrální hospodaření s nimi. Hospodaření se srážkovými vodami je způsob odvodnění urbanizovaných území, který napodobuje přirozený hydrologický režim povodí zejména pomocí decentrálních objektů, které srážkovou vodu zadržují, vsakují, vypařují nebo čistí v blízkosti jejího dopadu na zemský povrch. Ve stávající zástavbě se tento přístup snaží o návrat, nebo alespoň o přiblížení se k přirozeným odtokovým podmínkám, jaké byly před urbanizací. [1, 3]

Odvádění srážkových vod již není pouze řešeno na veřejných prostranstvích, jak jsme byli u centrálního odvodnění zvyklí, ale řeší se také jednotlivé stavby, které se odvodňují. Naučili jsme se hospodařit s vodou v řekách či rybnících a nyní je nutné se nadále naučit hospodařit se srážkovými vodami na jednotlivých stavbách. [3]

Naučíme-li se hospodařit se srážkovými vodami blízké přírodě, můžeme očekávat řadu přínosů po stránce ekologické, ekonomické, zdravotní či sociální. [1]

Ekologické přínosy

- *Zadržováním a vsakováním srážkových vod se snižuje objem i maxima povrchového odtoku, čímž se snižuje hydraulické a látkové zatížení toků* [1].
- *Zadržováním a vsakováním srážkových vod se snižuje objem i maxima odváděná stokovou sítí, což působí jako prevence zatopení povrchu intravilánu anebo zatopení sklepů* [1].
- *Vsakováním do podzemí se obnovuje zásoba podzemních vod a zásobování recipientů v době sucha* [1].
- *Využíváním akumulované dešťové vody v nemovitostech, jako vody užitkové, představuje prevenci dopadů sucha (snižuje se potřeba pitné vody)* [1].
- *Zelená infrastruktura pohlcuje při fotosyntéze CO_2 a váže uhlík do organických sloučenin. Přispívá tak ke koloběhu látek v přírodě i ke zpomalení globálních změn klimatu. Pasivně pak snižuje emise z výroby elektrické energie, neboť redukuje její potřebu* [1].

Ekonomické přínosy

- *Snížené množství srážkových vod umožňuje navrhovat menší profily stok a objemy dešťových nádrží a zatěžuje méně ČOV, čímž se zvyšuje účinnost čištění odpadní vody* [1].
- *Stín vytvořený vysokou zelení má vliv na životnost povrchů komunikací, zejména z živičných materiálů* [1].
- *Dřeviny snižují rychlost větru a snižují tak tepelné ztráty budov v zimním období* [1].
- *Pro extenzivní zelené střechy se snižuje energie potřebná pro klimatizaci interiéru budovy v letním období až o 95 % a v zimním období při vytápění jsou o 26 % nižší ztráty při porovnání s konvenčními střechami* [1].
- *Řada studií dokazuje navýšení cen nemovitostí, pokud jsou situovány v zeleném prostředí* [1].
- *Pokud je požadována klimatizace budov, lze pomocí speciálního systému rozprašovat vodu po ploše střechy, kde dochází k odpařování a zároveň ke spotřebě latentní energie potřebné na výpar; voda, která se nevypaří, je zachycována, akumulována a znovu využita v chladícím systému* [1].

Zdravotní přínosy

- *Zelené rostliny svou evapotranspirací významně zvyšují vlhkost vzduchu.* [1]
- *Listy stromů, keřů i trávníků absorbují plynné polutanty (např. CO, NO_2, SO_2, O_3) a zachycují jemné prachové částice obsažené v ovzduší, čímž potlačují vznik smogu.* [1]
- *Při probíhající fotosyntéze v zelených rostlinách je do ovzduší uvolňován kyslík. Zároveň je při tomto procesu spotřebována energie a tím ochlazována okolní atmosféra.* [1]

- *Pokles teploty zapříčiňuje také stín vytvářený vzrostlou zelení, jenž rovněž zabraňuje průniku zdraví škodlivému UV záření* [1].
- *Zelené prvky snižují hladinu hluku; efekt zelených střech na potlačení hluku je daleko výraznější díky vrstvě zeminy* [1].
- *Vegetační plocha nedokáže absorbovat tolik energie jako ostatní zpevněné plochy; vlivem rozdílných teplot povrchů je vyvoláno proudění vzduchu, jež napomáhá k ochlazování; v letních měsících zelené plochy významně napomáhají vyrovnávat extrémní denní a noční teploty* [1].
- *Zelené plochy mají pozitivní vliv na psychologický vývoj dítěte* [1].
- *V případě vytvoření vhodných prostranství pro sportovní aktivity, lze očekávat zmírnění některých civilizačních chorob, včetně depresí a obezity)* [1].
- *Pozitivním zdravotním přínosem zelených střech je taktéž eliminace pronikání elektromagnetického záření tzv. elektrosmogu, do budov, což může být zajímavým opatřením zejména u staveb s telekomunikačními vysílači na střeše* [1].

Sociální přínosy

- *Vegetace a zelené plochy mají vliv na psychosociální chování jedince. Stromy, keře a veškeré zelené plochy snižují podle výzkumů kriminalitu a násilí v městském prostředí* [1].
- *Zelené prostředí podporuje rekreační aktivity obyvatel, jejich vzájemný kontakt a komunikaci, což je v důsledku důležité pro plnění funkcí občanské společnosti* [1].

Tento výčet přínosů je měřítkem k tomu, jak můžeme přispět k obnově malého hydrologického cyklu a napomoct tak dalším generacím žít v souladu s přírodou. [1]

1.4 CÍL PRÁCE

Úkolem této diplomové práce, je vytvoření produktu, který má být nápomocný při volbě objemu dešťové nádrže s využitím dešťové vody pro zálivku, bez využívání jiných vodních zdrojů k dopouštění nádrže. Akumulace dešťových vod s následnou zálivkou se řadí do směru decentralizovaného nakládání srážkových vod. Napomáhá tak ke zpomalení povrchového odtoku a při vybudování vsakovacího zařízení při přetečení akumulační nádrže, pak vytváří jednoduchou koncepci decentralizovaného nakládání se srážkovými vodami pro parcelní stavby.

2 PROBLEMATIKA HOSPODAŘENÍ SE SRÁŽKOVÝMI VODAMI

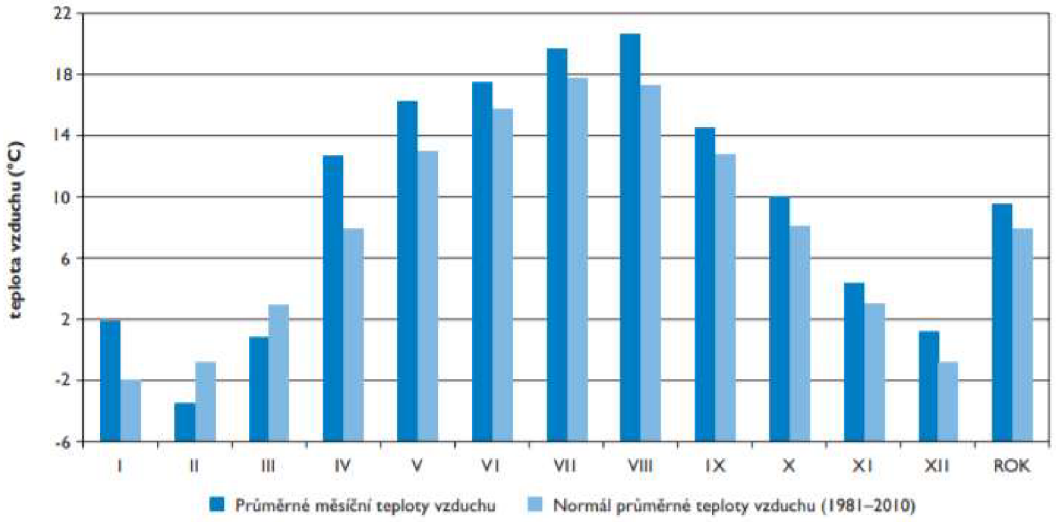
2.1 SUCHO

Je několik druhů sucha. Máme sucho meteorologické, hydrologické, zemědělské, socioekonomické a sucho podzemní vody. Meteorologické sucho lze určit jako zápornou odchylku vodní bilance od klimatického normálu v určité oblasti během daného časového intervalu. Z toho můžeme soudit, že příčinou sucha je nedostatek srážek za určitou dobu, kde mimo to, vyšší teplota vzduchu, intenzivnější sluneční záření, nízká relativní vlhkost vzduchu nebo intenzivní proudění zvyšují ztráty vody evapotranspirací a mohou tak významně přispět k větším důsledkům takového jevu. Sucho se však podle výzkumů dělí do pěti kategorií v závislosti na časovém horizontu a dopadech, neboť dochází k závěru, že obecná definice sucha neexistuje. [7, 8]

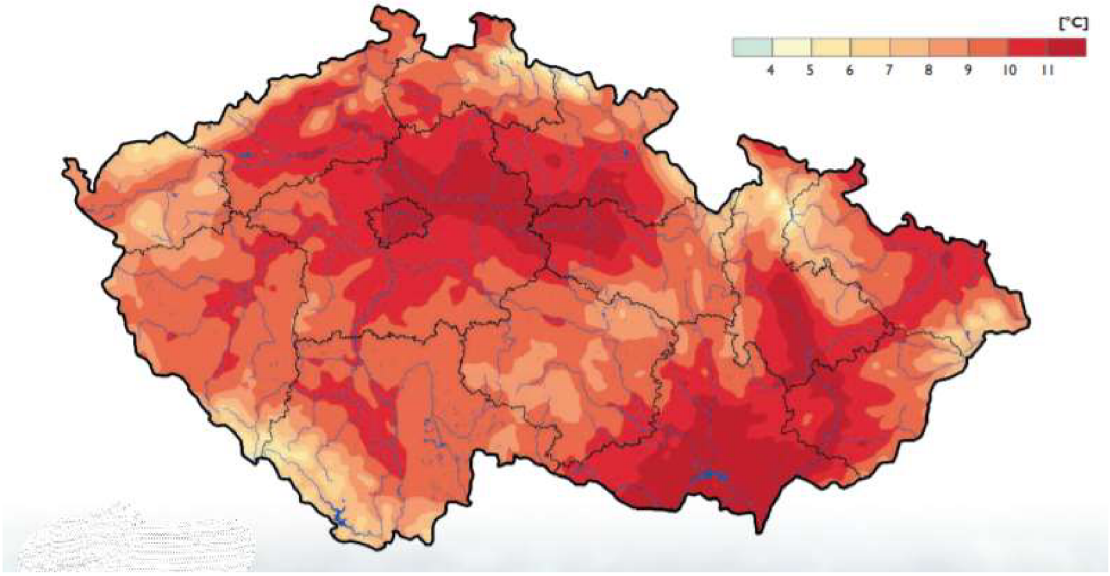
Meteorologickému suchu naznačují indikátory založené na meteorologických veličinách a identifikace sucha předchází nástupu určitých dopadů, tj. dalších druhů sucha. Zemědělské sucho trvá několik týdnů až 6–9 měsíců a je charakterizováno nedostatkem vody pro růst plodin. Hydrologické sucho se projevuje nedostatkem vody ve vodních tocích, nádržích nebo zvodnělých vrstvách. Dopady se projevují, stejně jako u sucha podzemních vod nebo socioekonomického sucha, až po delší době. Socioekonomické sucho nastává tehdy, je-li negativně ovlivněná celá společnost. Nedostatek vody se může zasahovat do různých odvětví, např. turistický ruch, průmysl, výroba elektrické energie nebo do života obyvatel, jež nemají dostatek pitné vody. Důsledky se mohou promítnout také do celé ekonomiky a fungování společnosti. [7, 8]

Sucho má velké dopady na mnoho stránek lidské společnosti a ovlivňuje mnohé z jejich aktivit. V zemědělství, může nastat menší produkce plodin ve srovnání s předešlými roky. V lesnictví, vedou sucha k usychání stromů a napadání dřevin škůdci. Lesníci jsou pak nuceni k těžbě těchto dřevin dříve, než jsou jejich ideální velikosti ke kácení. Ve vodním hospodářství, sucho způsobuje problémy s nízkými hladinami řek a zároveň klesání hladiny podzemní vody. To má za následek snížení zásob ve vodních zdrojích na dlouhou dobu. Sucha nejen, že ovlivňují lidskou společnost, ale hlavně funkci přírodního ekosystému. [7]

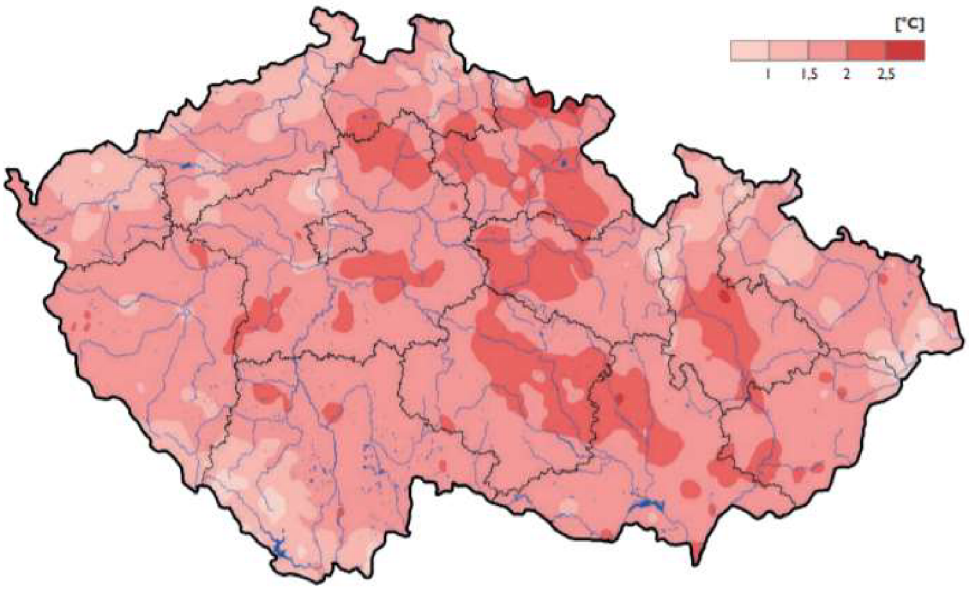
Srážkový deficit porovnáváme vůči referenčnímu období 1981–2010. U nás jsme srážkový deficit začali vnímat od roku 2014. V roce 2018 byl roční úhrn srážek pouze 522 mm, na rozdíl od průměrného ročního úhrnu v ČR, který činí 684 mm. Úhrny srážek za rok 2018 lze také vidět na Obrázcích 2.4–2.5. Rok 2018 se tedy zapsal jako druhý nejsušší rok od roku 1961. Tomuto faktu napomohlo i to, že rok 2018 byl teplotně mimořádně nadnormální, jak napovídá Obrázek 2.1–2.3. Pro předpověď hydrologické situace byl vyvinut systémový nástroj HAMR. Jde o spolupráci mezi Českým hydrometeorologickým ústavem, Výzkumným ústavem vodohospodářským T.G. Masaryka, v.v.i. a CzechGlobem. Tento nástroj se bude postupně zdokonalovat a měl by být schopen prezentace a vývoje situace sucha v nejbližších dnech. Tím by měl umožnit kvalitnější průpravu na možné dopady s předstihem. [6]



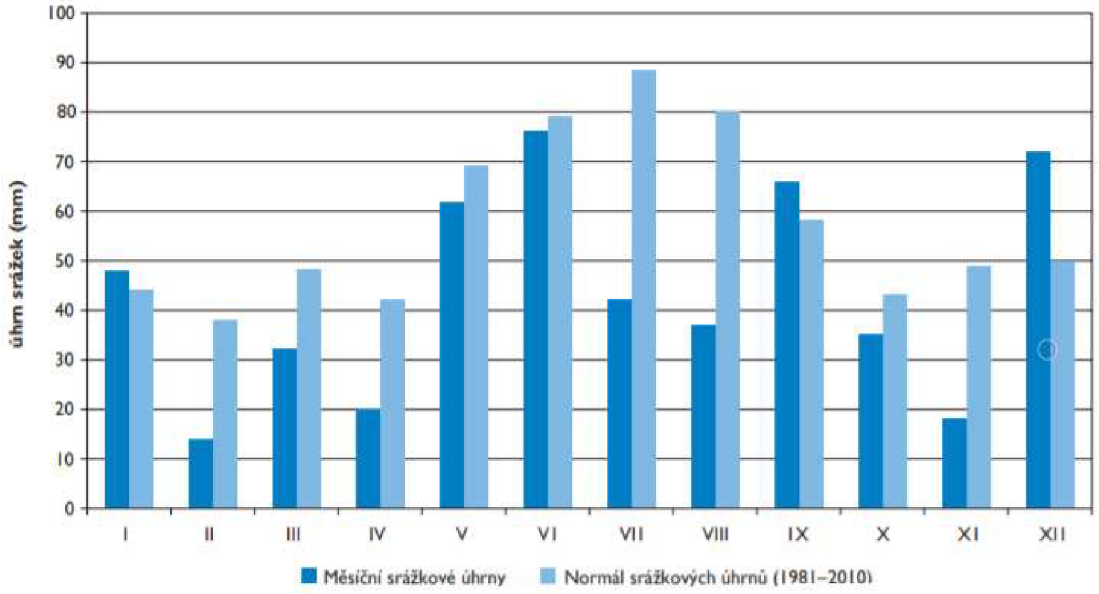
Obrázek 2.1: Průměrné měsíční teploty vzduchu na území ČR v roce 2018 ve srovnání s normálem 1981—2010 [6].



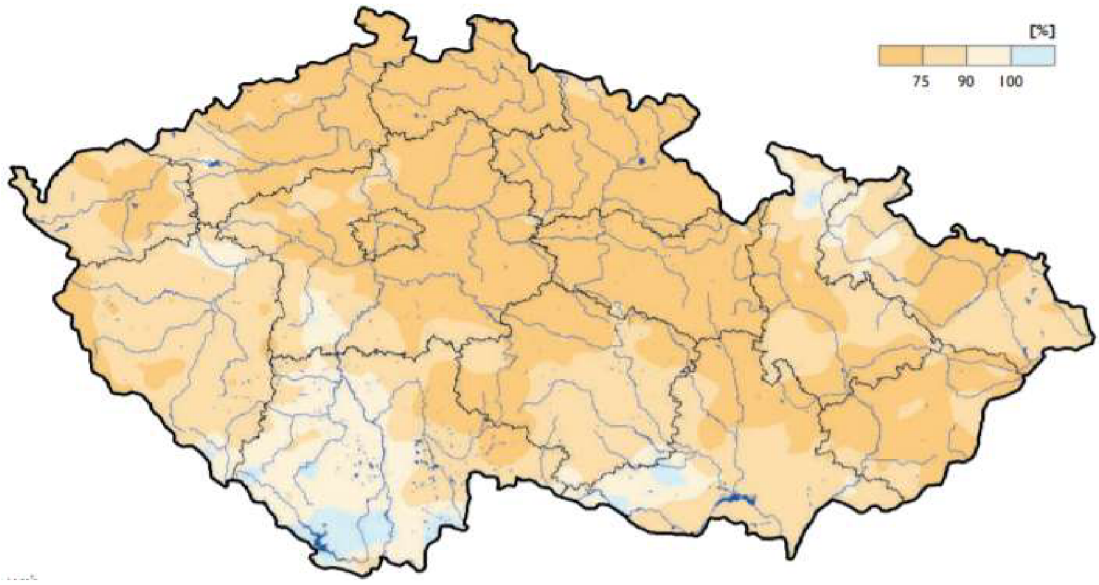
Obrázek 2.2: Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2018 [6].



Obrázek 2.3: Odchylka průměrné roční teploty vzduchu v roce 2018 od normálu 1981–2010 [6].



Obrázek 2.4: Průměrné měsíční srážky na území ČR v roce 2018 ve srovnání s normálem 1981–2010 [6].



Obrázek 2.5: Úhrn srážek v procentech normálu 1981–2010 v roce 2018 [6].

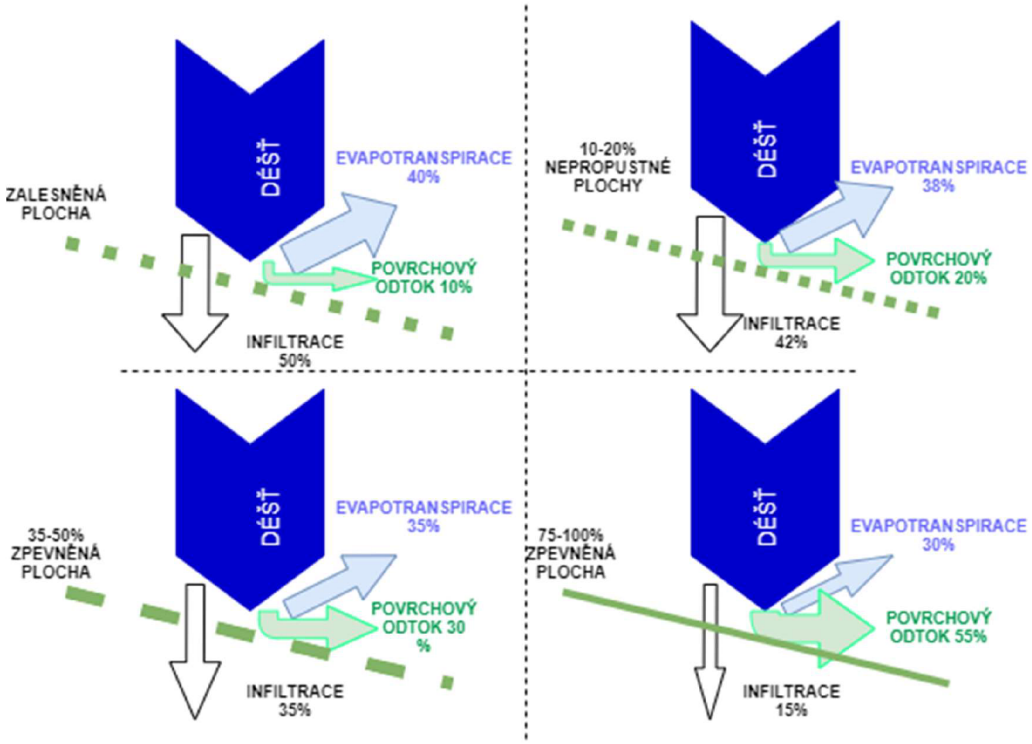
2.2 HOSPODAŘENÍ SE SRÁŽKOVÝMI VODAMI

2.2.1 Konvekční způsob odvodnění v urbanizovaném území

Základem k vytvoření stokových sítí byla rychle se rozvíjející městská aglomerace, která v 19. století trpěla opakujícími se epidemiemi, neboť splašková voda tekla po ulicích a při dešti se pak mísila se srážkovými vodami. Tyto vody se pak dostávaly do městského prostoru a ke zdrojům pitné vody. Prioritou tedy bylo, tyto vody svést v jednotném systému odvodnění co nejrychleji mimo město. Později došlo k úpravě jednotného systému na systém oddílný. Avšak srážková voda, byla stále vnímána jako problém, který musíme zachytit a rychle odvést pryč. Tím se ale problém nevyřešil, ale pouze odsunul dál. [3,9]

Splach ze zpevněných ploch, který zachytává kanalizace a odvádí do povrchových vod, zapříčiňuje zanášení koryt a vzniká riziko akutní a chronické toxicity pro žijící organismy ve vodním toku, které se mohou šířit v potravním řetězci dále. Tento splach ze zpevněných ploch může obsahovat znečišťující látky z různých zdrojů znečištění (např. atmosférická depozice, zvířecí trus, doprava apod.). Při velkém objemu povrchového odtoku může docházet k překročení kapacity stokové sítě a následně k přechodu do tlakového režimu proudění. Zde hrozí riziko vyplavení sklepních prostorů nebo přímý výtok z pouličních revizních šachet nebo vpustí do volného terénu. Jak lze vidět na Obrázku 2.6 povrchový odtok se výrazně liší procentuálním zastoupením zpevněných ploch. [3,9]

Mimo jiné tento konvekční způsob odvodnění ve spolupráci s klimatickými změnami a s urbanizací krajiny má za následek, kromě lokálních povodní i snižování hladiny podzemní vody. Tento dopad má negativní vliv v suchých částech roku. [1, 3]



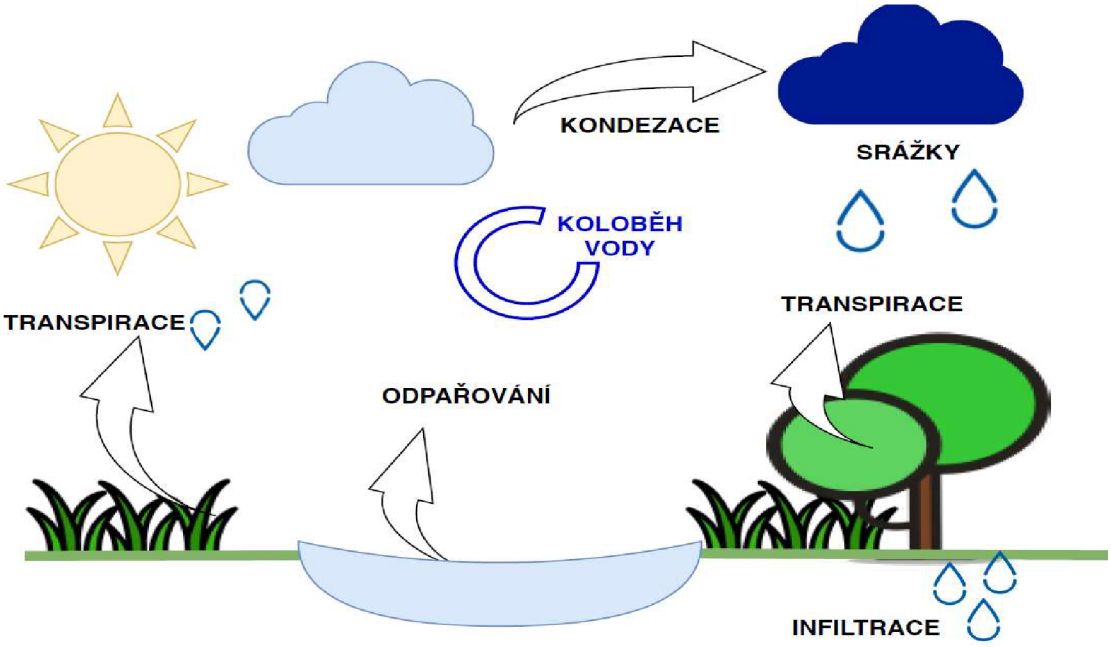
Obrázek 2.6: Procentuální zastoupení odtoků podle procenta nepropustné plochy [1].

2.2.2 Decentrální způsob odvodnění v urbanizovaném území

Decentrální způsob odvodnění je takový způsob odvodnění, který se zabývá srážkou v místě jejího dopadu a snaží se ji vracet do přirozeného koloběhu vody. Odvádění srážkové vody do kanalizace je jen tehdy, pokud nelze způsob odvodnění vymyslet jinak. Ve své podstatě je odvádění do kanalizace, až na posledním místě možných řešení. Decentrální způsob odvodnění využívá přírodě blízká opatření a zařízení, která podporují vsakování, výpar a pomalý odtok do lokálního koloběhu vody. Patří sem i zařízení, která daným způsobem přispívají k udržení přirozeného koloběhu vody, který lze vidět na Obrázku 2.7 a k ochraně vodních toků. Taková zařízení jsou například akumulace s využitím srážkové vody nebo retence a regulovaný odtok do stokové sítě. [1,3]

Vhodně zvoleným způsobem hospodařením se srážkovými vodami, můžeme napodobit přirozený proces koloběhu vody. V přírodě se vyskytují místa typu mokřadů, listnatých lesů či rákosových polích, která pracují na principu přírodní houby. Tyto místa nasávají srážkovou vodu, svou schopností ji filtrují a čistí. V urbanizovaném prostředí lze napodobit tyto místa s podobným přínosem, jako jsou například vegetační střechy, bioretenční systémy, vsakovací průlehy, mokřady či jezírka, která pracují na stejných přirozených principech jako zmíněná místa v přírodě. [10]

Je velmi důležité při decentrálním nakládání srážkových vod rozeznávat mírně znečištěné a silně znečištěné srážkové vody. Míra znečištění se musí posoudit a následně na něj navrhnout potřebná opatření pro vyčištění nebo předčištění vody. [1]



Obrázek 2.7: Koloběh vody.

2.2.3 Jakost srážkových vod

Srážkové vody jsou znečišťovány látkami zahrnutými v atmosféře a látkami pocházející z materiálů odvodňovaných ploch a jejich užíváním. Znečištění ovzduší v lokálním měřítku se odvíjí zejména na typu a množství emisních zdrojů, na reliéfu a na meteorologických podmínkách lokality. Často vykazuje značné roční kolísání, podle intenzity zimního vytápění. Pro nakládání se srážkovými vodami má nejvýznamnější znečištění atmosférická depozice. Ta má suchou a mokrou složku. Suchá, představuje depozici tuhých látek a plynů. Značná míra je v blízkosti emisních zdrojů (ve městech, v průmyslových aglomeracích a v okolí dopravních tepen). Mokrá složka je spjata s atmosférickými srážkami. Atmosférické srážky mohou být vertikální (déšť, sníh, kroupy) nebo horizontální (jinovatka, mlha, námraza) a je významnější v oblastech s vysokými ročními srážkovými úhrny. [1, 9, 10]

Z atmosférických depozic jsou nejvýznamnější znečištění jemné částice, těžké kovy a perzistentní organické sloučeniny, avšak také živiny (dusík a fosfor). Intenzita kyselosti deště pak hraje významnou roli pro rozpuštění těžkých kovů. Látky, které znečišťují srážkovou vodu z odvodňovaných ploch, jsou vápník, hliník a křemík z betonových ploch, zinek, měď a kadmium z kovových povrchů a organické látky z asfaltových povrchů, umělých hmot či z barevných nátěrů. Také užívání odvodňovaných ploch přináší značnou škálu znečišťujících látek (např. exkrementy, listí, hrubé a jemné nerozpuštěné látky, minerální oleje a ropné uhlovodíky atd.). [1, 9, 10]

Negativní a často nebezpečný vliv těchto látek, obsažených v odvodňovaných vodách, nás nutí klást důraz na vybírání vhodného typu zařízení pro hospodaření se srážkovými vodami a prověření, zda-li je nutné předčištění nebo čištění srážkových vod. Dle typu recipientu se posuzuje, jestli srážková voda má dostatečnou kvalitu pro vsakování do podzemní vody nebo vypouštění do povrchových vod. Nevyhovující kvalita může vést k rozhodnutí, že srážková voda není vhodná pro užití žádného typu hospodaření se srážkovými vodami a je nutné je svést do jednotné kanalizace. [1, 12]

Tabulka 2.1: Typické znečištění na různých typech ploch [1, 11].

Typ plochy		hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné částice	Těžké kovy	Uhlovodíky	Organické znečištění BSK_5	Živiny N, P	Patogení mikroorganismy
střechy	zelené	-	-	-	-	-/+	-/+	-
	inertní	+	+	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+
	s kovovými částmi do 50 m^2	+	+	+	-/+	-/+	-/+	-/+
	s kovovými částmi 50–500 m^2	+	+	++	-/+	-/+	-/+	-/+
	s kovovými částmi nad 500 m^2	+	+	+++	-/+	-/+	-/+	-/+
Parkoviště	málo frekventovaná (os. auta)	++	+	+	+	+	+	+
	(vysoce) frekventovaná (os. a bus.)	++	++	++	++	+	+	+
	nákladní auta	+++	+++	+++	+++	+	+	+
Silnice, dopr. Komun.	málo frekventované (příjezdy k domům) a)	++	+	+	+	+	+	+
	středně frekventované b)	++	++	++	++	+	+	+
	vysoce frekventované c)	++	+++	+++	+++	+	+	+
Komunikace pro pěší a cyklisty		++	+	-/+	-/+	+	+	+
plochy u skladišť, manipul. Plochy		+++	+++	+++	+++	+	+	+
komunikace zeměděl. Areálů		+++	+++	++	++	+++	+++	+++
-/+	dle znečištění ovzduší							
-	neznečitěné							
+	mírně znečištěné							
++	středně znečištěné							
+++	vysoce znečištěné							
a)	< 300 automobilů za 24 h, např. příjezdy k domům a místní komunikace v obyt.							
b)	300 až 15 000 automobilů za 24 h							
c)	>15 000 automobilů za 24 h, obvykle dálnice a rychlostní silnice							

Tabulka 2.2: Klasifikace znečištění srážkového odtoku [1, 11].

Typ plochy	Míra znečištění srážkového odtoku
zelené střechy (bez hnojení a postřiků) střechy z inertních materiálů střechy z kovovými částmi do 50 m^2 komunikace pro pěší a cyklisty málo frekventované parkoviště os. Aut málo frekventované dopravní komunikace	nízká
střechy s kovovými částmi 50 - 500 m^2 středně frekventované dopravní komunikace (vysoce) frekventované parkoviště (osobní auta	střední
střechy s kovovými částmi nad 500 m^2 vysoce frekventované dopravní komunikace plochy u skladišť, manipulační plochy komunikace zemědělských areálů parkoviště nákladních aut	vysoká

Tabulka 2.1 vyjadřuje typické znečištění vyskytující se na různých typech odvodňovaných plochách a dává nám indicie k výběru ploch, které jsou vhodné pro využití k nakládání se srážkovými vodami. Obecně lze také srážkové vody rozdělit podle míry znečištění, jak vyjadřuje Tabulka 2.2. Jako opatření k čištění srážkových vod se používá podle míry znečištění přírodě blízké nebo technické opatření. Cíl čištění srážkového odtoku je:

- *Zadržení hrubých nečistot (splavenin) a nerozpuštěných látek* [1]
- *Snížení koncentrace těžkých kovů (doprava, střecha)* [1]
- *Zadržení ropných látek* [1]
- *Rozklad organických látek spotřebovávajících kyslík* [1]
- *Snížení koncentrace živin* [1]
- *Snížení koncentrace patogenních organismů* [1]

Následující Tabulky 2.3 a 2.4 znázorňují čistící zařízení pro způsoby čištění srážkových vod při vsakování/vypouštění do vod povrchových. Tyto tabulky také znázorňují účinnost pro různé druhy znečištění.

Pro zachycení hrubých nečistot slouží vtokové mřížky, lapače listí, česle a síta [1].

Čistící proces, jako vsakování přes zatravněnou humusovou vrstvu, se rozumí půdní prostředí se zvýšeným obsahem humusu s udržovaným travním vegetačním pokryvem. Při vsakování dochází k filtraci nerozpuštěných látek, iontové výměně a adsorpci těžkých kovů a uhlovodíků a k biologickému rozkladu rozložitelného znečištění. [1, 11]

U gravitační separace látek dochází k usazování usaditelných látek (kal, hlína, písek) v kalových jímkách nebo v sedimentačních nádržích. Eliminuje se riziko kolmatace nebo ucpání vsakovacího objektu. [1, 11]

Filtrační zařízení slouží k zachycení partikulárních látek mechanickou filtrací (pískové a štěrkové filtry, geotextilie), nebo také k odstranění rozpuštěných látek adsorpcí a biologickými procesy (prosté filtry, zemní filtry). [1, 11]

Filtrace přes adsorpční materiál umožňuje velmi účinné odstranění znečišťujících látek, v závislosti na použitý adsorpční materiál. Používají se aktivní uhlí, zeolity, granulované hydroxidy železa a hliníku, olejové adsorbenty. [1, 11]

Nadále se mohou používat kombinace těchto zařízení. [1, 11]

Jestli že se jedná o čistící zařízení při zaústění do povrchových vod, procesy čištění pracují na stejných principech, avšak navíc jsou řešena, aby plnila i funkci retence. [1, 11]

Tabulka 2.3: Způsob čištění srážkových vod při vsakování a účinnost pro různé druhy znečištění [1, 11].

Způsob čištění	Zařízení	hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné částice	Těžké kovy a jejich nerozp. sloučeniny	Uhlovodíky (minerální oleje, ropné látky)	Organické látky (nepatřící k jemným či hrubým částicím)	Živiny
Zachycení hrubých nečistot	vtokové mřížky	++	- -	- -	- -	- -	- -
	lapače listí	++	- -	- -	- -	- -	- -
	česle	++	- -	- -	- -	- -	- -
	síta	+, o	- -	- -	- -	- -	- -
Vsakování přes vegetační vrstvu (filtrace, adsorpce, biologické čištění)	průlehy, průlehy-rýhy, vsakovací nádrže	++	++	++	++	++	++
Gravitační separace látek (sedimentace pevných částic a vyplavání lehkých látek)	kalové jímky, usazovací dešťové nádrže	++	++	++	++	-	-
	odlučovače lehkých kapalin s kalovou jímkou	++	++	+	++	- -	- -
Filtrace mechanická	pískové a štěrkové filtry	++	++	+	-	- -	- -
	geotextilie	++	++	+	-	- -	- -
Filtrace přes adsorpční materiál	aktivní uhlí	o	o	++	++	++	-
	zeolity	o	o	++	++	+	-
	hydroxidy železa a hliníku	o	o	++	-	-	-
	olejové adsorbenty	- -	- -	- -	++	- -	- -
++	vhodné						
+	podmínečně vhodné						
o	ve spojení s dalšími opatřeními						
-	spíše nevhodné						
- -	nevhodné						

Tabulka 2.4: Způsoby čištění srážkových vod při zaústění do povrchových vod a účinnost pro různé druhy znečištění [1, 11].

Způsob čištění	Zařízení	hrubé nečistoty, splaveniny	Jemné částice	Těžké kovy a jejich nerozp. sloučeniny	Uhlovodíky (minerální oleje, ropné látky)	Organické látky (nepatřící k jemným či hrubým částicím)	Živiny
Gravitační separace látek (sedimentace pevných částic a vyplavání lehkých látek)	kalové jímky, usazovací nádrže	++	++	++	++	-	-
	odlučovače lehkých kapalin	++	++	+	++	- -	- -
	dešťové nádrže	++	++	++	++	-	-
	hydrodynamické odlučovače	++	+	+	- -	- -	-
Sedimentace a biologické čištění	nádrže s biotopem, mokřady	+, o	++	++	-	++	++
Filtrace mechanická	pískové a štěrkové filtry	++	++	+	-	-	+
	geotextilie	++	++	+	-	- -	- -
Filtrace a biologické čištění (event. přes půdní vrstvu)	Pískové a štěrkové filtry porostlé vegetací, průlehy-rýhy, retenční půdní filtry	+, o	++	++	-	++	++
Filtrace přes adsorpční materiál	aktivní uhlí	o	o	++	++	++	- -
	zeolity	o	o	++	++	+	-
	hydroxidy železa a hliníku	o	o	++	-	-	-
	olejové adsorbenty	- -	- -	- -	++	- -	-
++	vhodné						
+	podmínečně vhodné						
o	ve spojení s dalšími opatřeními						
-	spíše nevhodné						
- -	nevhodné						

2.2.4 Zařízení a objekty pro hospodaření se srážkovými vodami

Hospodaření se srážkovými vodami nám oproti konvenčnímu způsobu odvodnění nabízí řadu příjemců srážkových vod a tím nám umožňuje větší škálu možností, jak srážkovou vodu využít. Příjemcem srážkové vody může být půdní nebo horninové prostředí, ovzduší, povrchová voda, anebo v nejzazším případě jednotná kanalizace. Příjemce je tedy typ prostředí, kam se srážková voda odvádí. Pro rozhodnutí, jaký typ příjemce zvolit, nám zákon stanovuje

postup dle priorit a studuje se jejich proveditelnost a přípustnost. Z této studie pak vychází technické řešení, které v případě nutnosti navrhuje předčištění srážkových vod. Vždy je nutné se zaměřit na to, jestli je technicky realizovatelné zaústění srážkových vod do příjemce a zdali toto zaústění neohrožuje kvalitu vody v příjemci. V prvé řadě je snaha srážkové vody nechat zasakovat, až po zjištění, že srážková voda nelze zasakovat, přistupuje se k posouzení na možnost odvedení srážkových vod do povrchových. Jestliže, ani jeden z případů nevyhovuje, navrhuje se regulovaný odtok do jednotné kanalizace. [1, 10, 11]

Hlavními podmínkami pro k hospodaření se srážkovými vodami jsou aspekty jako ochrana podzemní a povrchové vody a půdy. Jak už bylo zmíněno v kapitole Čistota srážkových vod, se srážkovými vodami se hospodaří podle míry znečistění. Vztah mezi typem plochy a znečištěním odtoku a vhodným opatřením uvádí norma TNV 75 9011. [1, 3, 11]

Dle primární funkce pro hospodaření se srážkovými vodami rozdělujeme opatření následovně:

1. Nezpevněné povrchy
2. Propustné zpevněné povrchy
3. Vegetační střechy
4. Akumulace a využití srážkových vod
5. Vsakování bez regulovaného odtoku
6. Vsakování s regulovaným odtokem
7. Retence s regulovaným odtokem

Povrchové objekty by měli být upřednostňovány před podzemními, tak jako přívody srážkových vod do nich, neboť přispívají k výparu vody do ovzduší a k lepšímu předčištění srážkových vod filtrující se přes zatravněnou humusovou vrstvu. [3, 11]

1. Nezpevněné plochy

Jsou využívány, hlavně tam kde zpevněné plochy nejsou nutností anebo jsou nevyužívané. Při návrhu je snaha zachovat co nejvíce propustné nezpevněné plochy, ideálně s vegetací ve sníženém terénu s přirozeným vsakováním, například jak lze vidět na Obrázku 2.8. [3, 11]

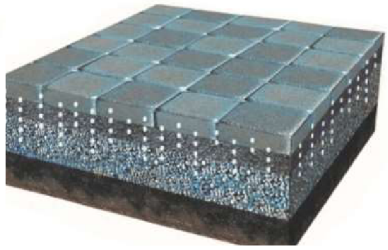
Obrázek 2.8: Nezpevněný povrch s enviromentálním a společenským využitím [10].

2. *Propustné zpevněné povrchy*

Tyto plochy znázorněné na Obrázcích 2.9–2.11 jsou vhodné pro snížení srážkového odtoku. Navrhují se na málo frekventovaných komunikacích, parkovištích či na dalších plochách, které vyžadují zpevnění, ale využití těchto ploch je malé nebo statické (podle ČSN 73 6110 funkční podskupiny D1 a D2). Tyto plochy se posléze navrhují zejména z propustných a polopropustných materiálů. Lze využít kamennou nebo betonovou dlažbu s pískovými spárami, zatravňovací rošty a dlažby, porézní asfalt či zatravněné štěrkové vrstvy. [3, 11, 13]

Obrázek 2.10: Schéma porézního asfaltu [13].

Obrázek 2.9: Schéma propustného betonu [13].

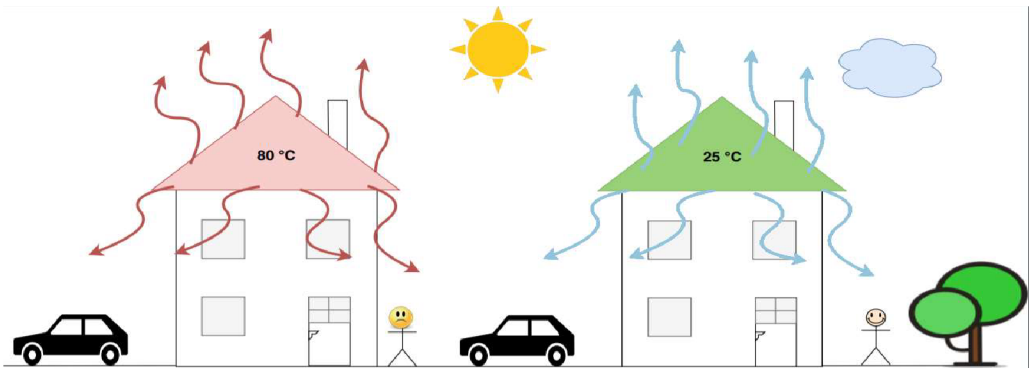


Obrázek 2.11: Schéma propustné dlažby [13].

3. *Vegetační střechy*

Dříve u nás byly zelené střechy vnímány spíše esteticky než funkčně. Avšak současné problémy měst jako například: nedostatečná kapacita kanalizace v době přívalových dešťů, znečištění ovzduší, ztráta biodiverzity, hlučnost. Těmto problémům zelené střechy nabízejí řešení. Pozitivní vliv zelených střech na okolí znázorňuje Obrázek 2.12. [10, 14]

Vegetační střechy jsou vícevrstvé systémy zahrnující konstrukci střechy, filtrační vrstvu a vegetační pokryv. Norma TNV 75 9011 rozděluje vegetační střechy na extenzivní (celoplošná střešní vegetace s nízkou mírou růstu a nízkými nároky na údržbu lze vidět na Obrázku 2.13) a intenzivní vegetační střechy (tzv. střešní zahrady). Vegetační střechy se navrhují za účelem snížení srážkového odtoku, snížení kulminačních průtoků a zvýšení evapotranspirace. Dalšími přínosy, které však nesouvisí s hydrologickou bilancí, jsou estetická funkce, ochlazování budovy apod. [3, 10, 11, 14]



Obrázek 2.12: Schéma ochlazení vegetační střechy v letních měsících.

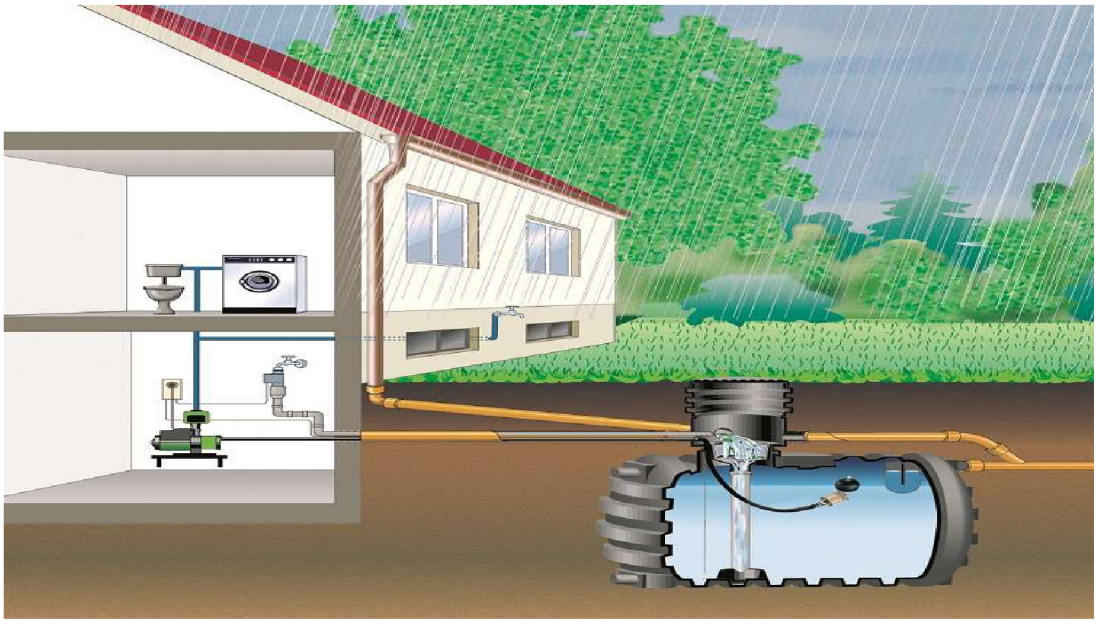
Obrázek 2.13: Zelená střecha na škole Sharrow v Sheffieldu [10].

4. Akumulace a využití srážkových vod

Akumulované srážkové vody mohou být využitelné jako zdroj pro závlahu městských parků či zelené infrastruktury. Mohou být v letních měsících použity pro chlazení městských povrchů kropením nebo pro čištění a oplach těchto povrchů. Další diskutabilním využitím může být zdroj užitkové vody pro splachování toalet nebo pro úklid. Avšak pro tyto účely je nutné vybudovat samostatný rozvod užitkové vody. Tento způsob lze vidět na Obrázku 2.14. Akumulaci srážkové vody lze prakticky použít všude, kde je prostor pro akumulaci. Při použití na zálivku se tak šetří spotřeba pitné vody. Systém akumulace a využívání umožňuje snížit objem povrchového odtoku a kulminační průtoky. Pro určení objemu akumulované vody ze zpevněných ploch se používá přepočtový koeficient zpevněných ploch, který lze vidět v Tabulce 2.5. Pro snížení vnosu znečištění je nejvhodnější používat srážkové vody, které jsou odváděny ze střech budov. [3, 10, 11, 12]

Tabulka 2.5: Součinitele odtoku srážkových povrchových vod (Ψ) [12].

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 zálivkou 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 zatravňovacích tvárnic	0,2	0,3	0,4
Komunikace ze vsakovacích tvárnic	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 vrstvy (s rostoucí tloušťkou propustné vrstvy se součinitel odtoku srážkových povrchových vod snižuje až na uvedenou dolní mezní hodnotu)			



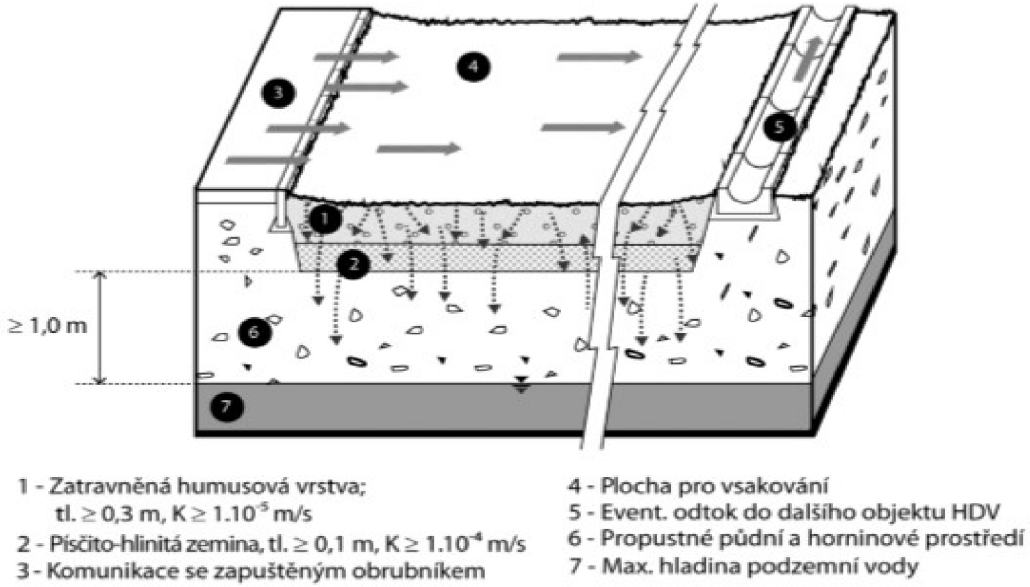
Obrázek 2.14: Schéma využití srážkových vod v domácnosti [15].

5. *Vsakování bez regulovaného odtoku*

Tato zařízení jsou využitelná pro všechny typy běžných ploch. Individuálně se však musí posoudit manipulační plochy, plochy u autobazarů a autovrakovišť nebo u zemědělských areálu apod. a to kvůli riziku nepřípustného znečištění srážkových vod. Tato zařízení se dělí na:

Plošné vsakování

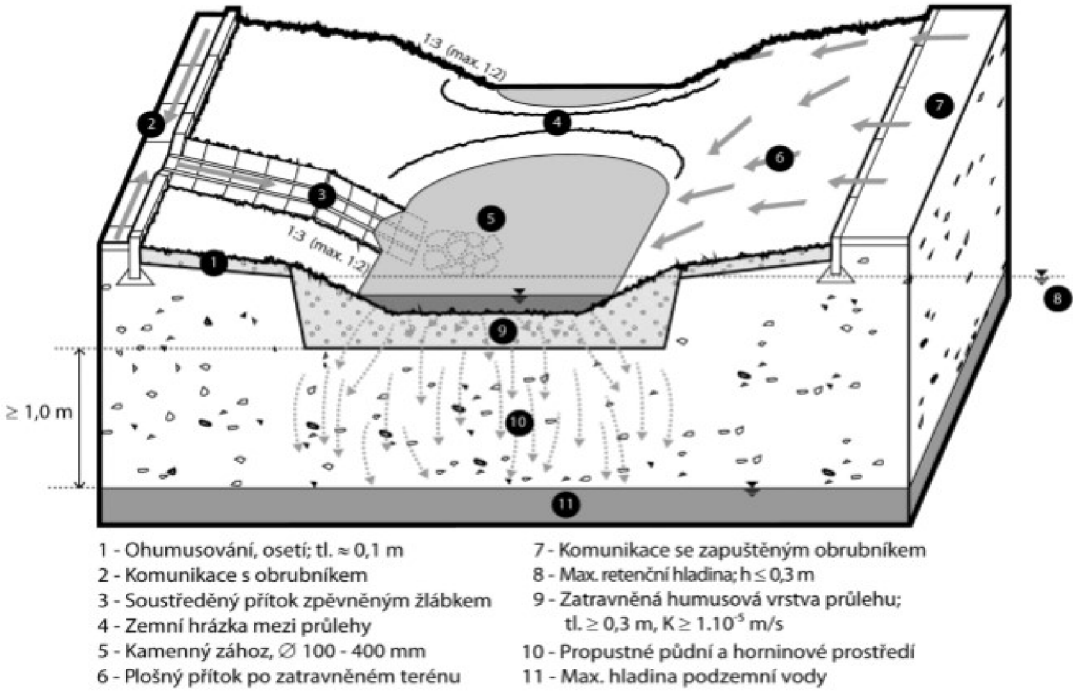
Je to povrchové vsakování bez retence. Vsak probíhá pomalým tokem vody po povrchu vsakovacího zařízení. Toto zařízení je náročnější na plochu a schéma tohoto zařízení lze vidět na Obrázku 2.15. [3, 11]



Obrázek 2.15: Schéma plošného vsakování [11].

Vsakovací průleh

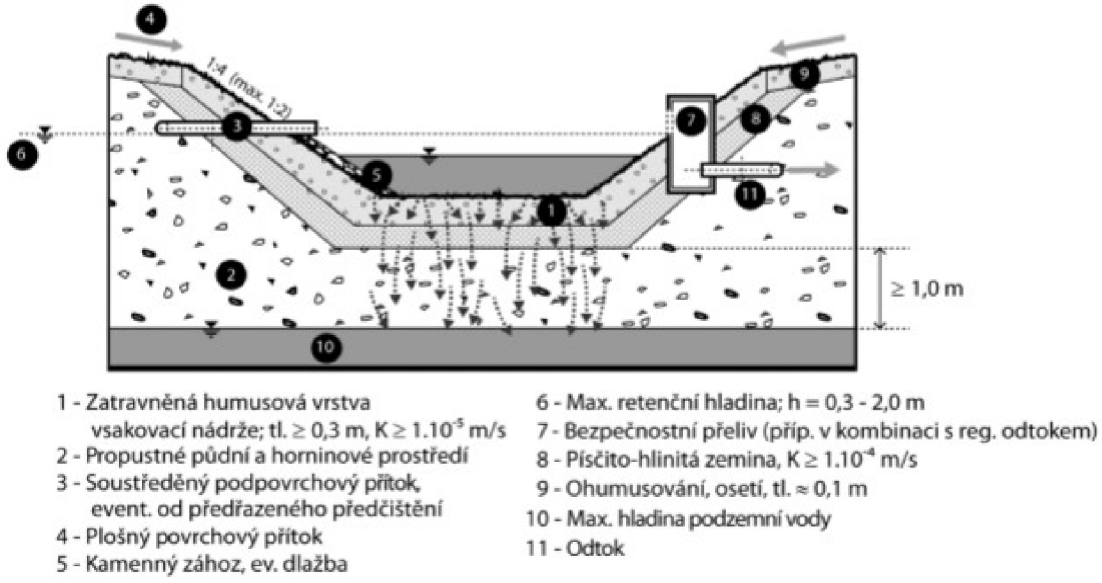
Mělké povrchové vsakovací zařízení s retencí a se zatravněnou humusovou vrstvou viz Obrázek 2.16. Voda je přiváděna přes plošný přítok nebo soustředěným opevněným přítokem. Krátkodobě se zadržuje voda v prohlubni, než dojde k vsáknutí do spodních vrstev. Toto zařízení vyžaduje dobré vsakovací podmínky a je vhodné pro všechny typy zpevněných povrchů. [3, 11]



Obrázek 2.16: Schéma vsakovacího průlehu [11].

Vsakovací nádrž

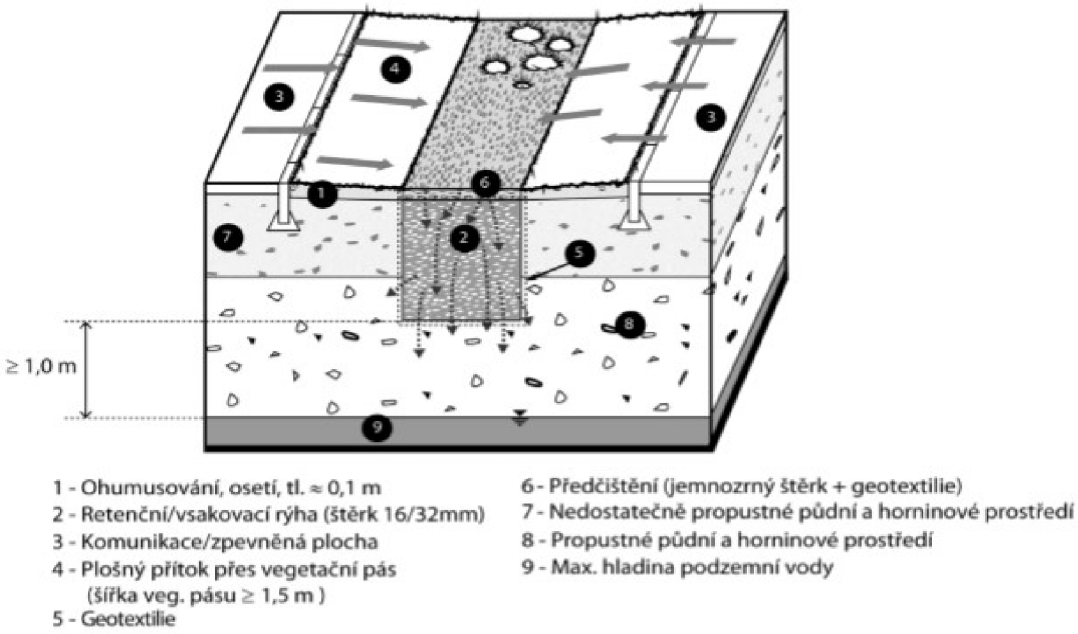
Výrazná retenční funkce, proto nemá velké nároky na místo. Toto zařízení se používá pro větší odvodňované plochy nebo jako zařízení pro více odvodňovaných pozemků. Bezpečnostní přeliv může být i sdružený objekt s regulovaným odtokem. Předpokladem pro toto zařízení jsou dobré vsakovací podmínky. Schéma řezu tímto zařízením lze vidět na Obrázku 2.17. [3, 11]



Obrázek 2.17: Schéma vsakovací nádrže [11]

Vsakovací rýha

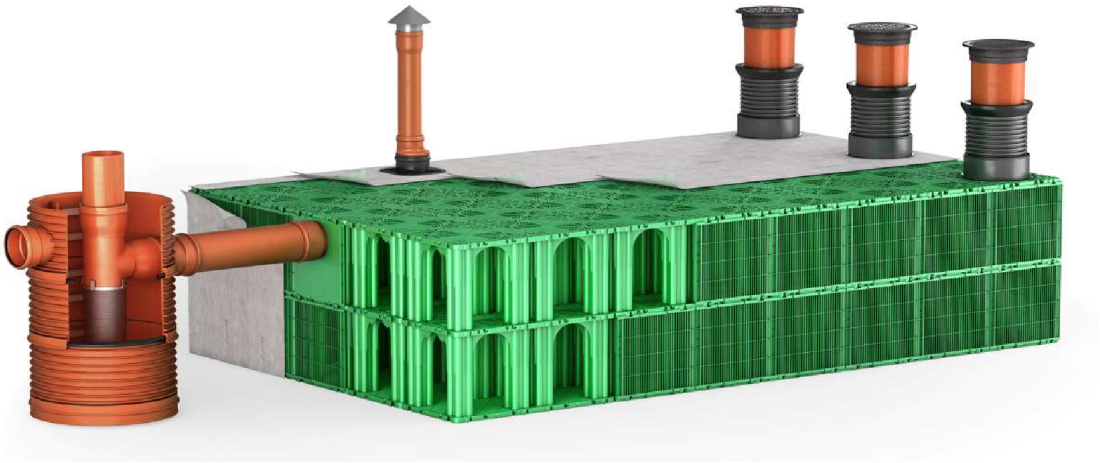
Liniová vsakovací stavba viz Obrázek 2.18, která musí být řešena plošným přítokem přes vegetační pás z důvodu předčištění. Rýha je vyplněná štěrkovým materiálem. Pro ochranu je vhodná vrchní filtrační vrstva a geotextilie. [3, 11]



Obrázek 2.18: Schéma vsakovací rýhy s povrchovým plošným přítokem [11].

Podzemní prostor vyplněný štěrkem nebo bloky

Zařízení, do kterého se přivádí voda do podzemního prostoru přes vstupní šachtu nebo otvor. Objekt je pak tvořen propustným štěrkovým materiálem nebo prefabrikovanými propustnými dílci, který lze vidět na Obrázku 2.19. Před objekt se doporučuje předřadit filtrační šachta, kalová jímka nebo jiný objekt podle míry znečištění srážkové vody. [3, 11]



Obrázek 2.19: Vsakovací boxy Stormbox II [16].

Vsakovací šachta

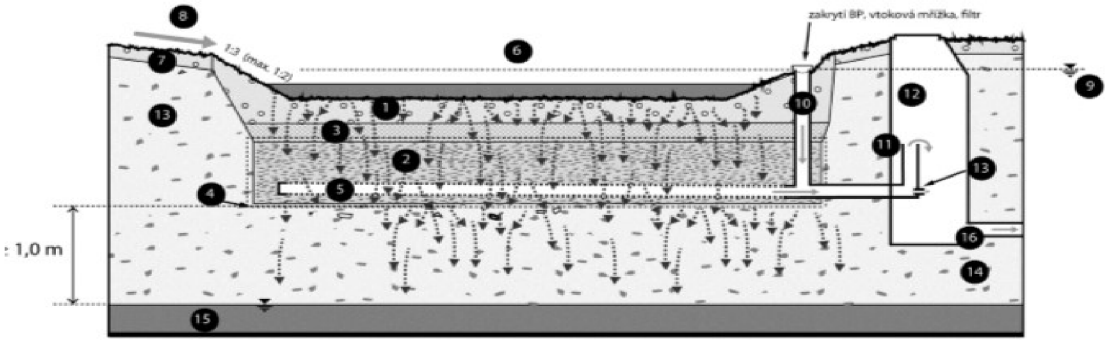
Toto zařízení slouží k bodovému vsakování a lze odvodňovat pouze určité plochy. Zařízení se navrhuje, pokud je vyhovující posouzení geologického průzkumu z hlediska neohrožení jímacích zdrojů a kvality podzemních vod. Doporučuje se předřadit prvek, který předčistí srážkové vody dle znečištění srážkové vody. Jeden z mnoha typů tohoto zařízení lze vidět na Obrázku 2.20. [3, 11]

Obrázek 2.20: Betonová vsakovací šachta [13].

6. *Vsakování s regulovaným odtokem*

Vsakovací průleh-rýhy s regulovaným odtokem

Zařízení s nedostatečným vsakovacím výkonem, které vyžaduje regulátor odtoku viz Obrázek 2.21 [11].

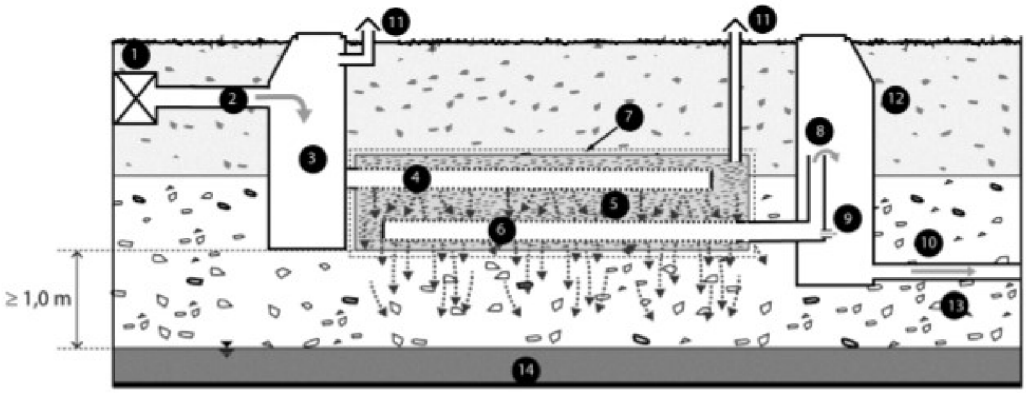


1 - Zatravněná humusová vrstva průlehu; tl. ≥ 0,3 m, K ≥ 1.10^{-5} m/s
2 - Retenční/vsakovací rýha (štěrk 16/32mm / prefabrikované bloky)
3 - Písčito-hlinitá vrstva; tl. ≥ 0,1 m, K ≥ 1.10^{-4} m/s
4 - Geotextilie
5 - Drenážní odtokové potrubí
6 - Průleh
7 - Ohumusování, osetí, tl. ≈ 0,1 m
8 - Plošný povrchový přítok
9 - Max. reteční hladina; h ≤ 0,3 m
10 - Bezpečnostní přeliv průlehu s filtrem
11 - Bezpečnostní přeliv rýhy
12 - Šachta
13 - Regulátor odtoku
14 - Nedostatečně propustné půdní a horninové prostředí
15 - Max. hladina podzemní vody
16 - Odtok

Obrázek 2.21: Schéma vsakovacího průlehu-rýhy s regulovaným odtokem [11].

Vsakovací rýhy s podpovrchovým přítokem a regulovaným odtokem

U tohoto zařízení je nutné předřadit před vstupní šachtu předčistící zařízení, abychom zachytili hrubé a jemné nerozpuštěné látky s ohledem na kolmatace objektu. Regulovaný odtok a bezpečnostní přeliv je napojený na samostatné drenážní potrubí. Zařízení viz Obrázek 2.22 se používá u málo znečištěných zpevněných ploch. [11]



1 - Předčištění - vtoková mřížka, síta, filtr, kalová jímka
2 - Podpovrchový přívod vody
3 - Vstupní šachta
4 - Přívodní drenážní potrubí
5 - Retenční/vsakovací rýha (štěrk 16/32mm / prefabrikované bloky)
6 - Odtokové drenážní potrubí
7 - Geotextilie
8 - Bezpečnostní přeliv
9 - Regulátor průtoku
10 - Odtok
11 - Odvzdušnění
12 - Nedostatečně propustné půdní a horninové prostředí
13 - Propustné půdní a horninové prostředí
14 - Max. hladina podzemní vody

Obrázek 2.22: Schéma vsakovací rýhy s podpovrchovým přítokem a regulovaným odtokem [11].

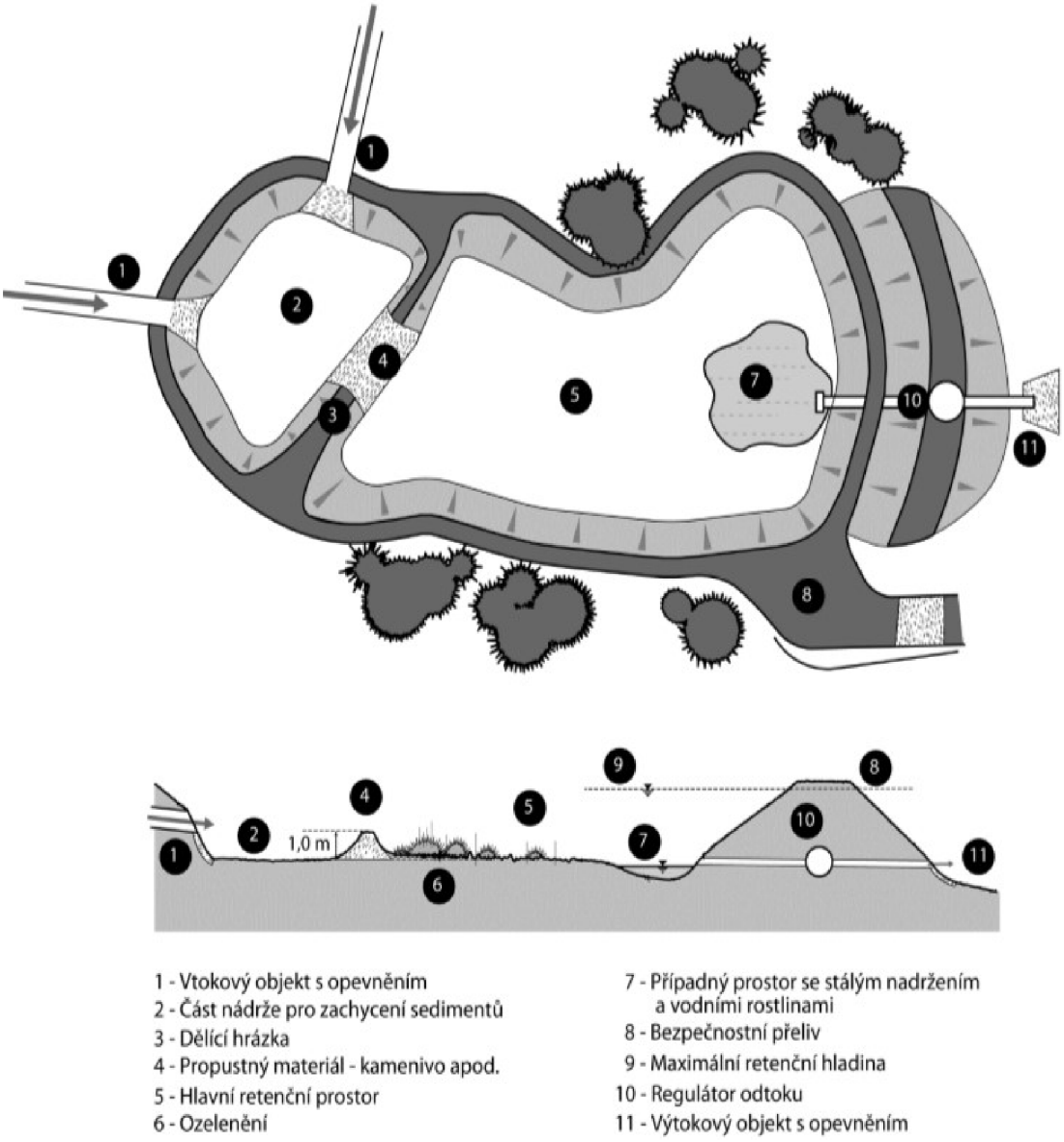
7. Retence s regulovaným odtokem

Každý objekt v této podskupině musí mít regulátor odtoku, bezpečnostní přeliv a je navržen, jak hydraulicky, tak konstrukčně, aby převedl průtok vyšší než návrhovou srážku. [3]

Suché retenční nádrže (poldry)

Povrchová nádrž, která se při srážce plní a snižuje tak kulminační průtok a prázdní se pomocí regulovaného odtoku. Většinou jsou to suché zatravněné nádrže, schéma tohoto zařízení lze vidět na Obrázku 2.23. [11]

Lze také najít podzemní retenční nádrže s regulovaným odtokem. Navrhují se tam kde je málo místa a jsou vyrobeny z betonu nebo plastu. Retence je tvořena potrubím o velkém průměru nebo vodotěsnou jímkou umístěnou pod úrovní terénu. [3,11]



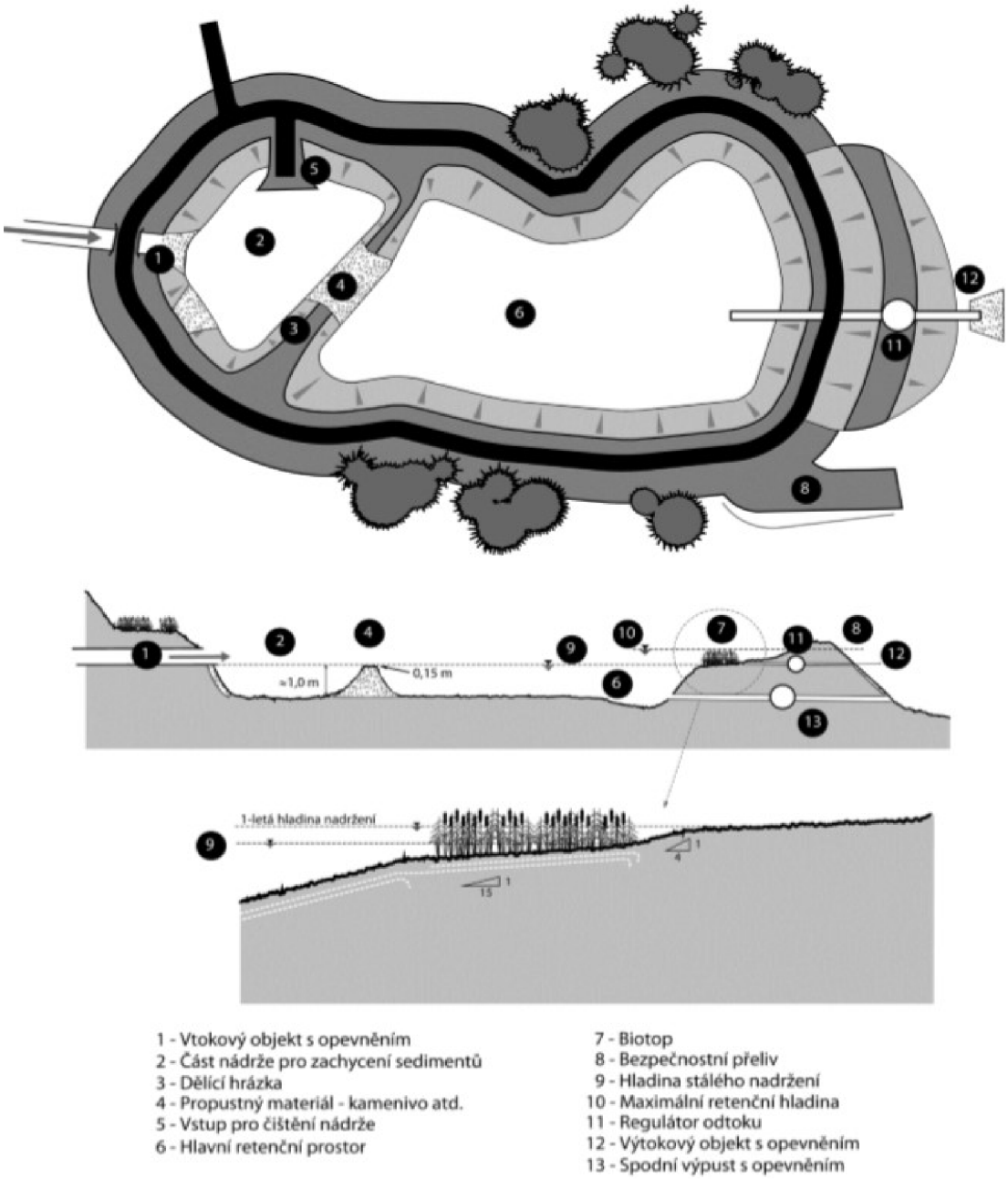
Obrázek 2.23: Schéma poldru [11].

Retenční dešťová nádrž se zásobním prostorem

Tato nádrž vypadá jako biotop a tvoří i funkci estetickou. Transformuje povodňovou vlnu vzniklou srážkovým odtokem mezi hladinou stálého nadržení a úrovní bezpečnostního přelivu. Schéma lze vidět na Obrázku 2.24. [3,11]

Umělé mokřady

Mělké nádrže se stálým nadržením a s vodními rostlinami, které tvoří biologické čištění srážkových vod. Navrhují se tam, kde může být odtok znečištěn živinami, neboť se kombinují s funkcí okrasnou, čistící a snižují kulminační průtok. Příklad mokřadu lze vidět na Obrázku 2.25.[3,11]



Obrázek 2.24: Schéma retenční dešťové nádrže se zásobním prostorem [11].

Obrázek 2.25: Model uměle vytvořeného mokřadu Wetland Park v jižním Los Angeles [17].

2.3 LEGISLATIVA V ČESKÉ REPUBLICE

V oblasti hospodaření se srážkovými vodami, jsou prostřednictvím ministerstev, vypracovány strategické plány rozvoje, a to v plánech hlavních povodí České republiky, které jsou v působnosti Ministerstva zemědělství ČR ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí ČR, a politikou územního rozvoje České republiky, která je v působnosti Ministerstva pro místní rozvoj ČR. [3]

Dalším prvkem, který dohlíží na hospodaření se srážkovými vodami, je česká legislativa. Bohužel, z hlediska použití odvodnění v urbanizovaném území, podle principů udržitelného rozvoje, má česká legislativa veliký nedostatek. Do zákonů a prováděcích vyhlášek, jsou pravidla nového způsobu odvodnění, zapsány nesystémově a neuspořádaně. Na těchto zákonech a vyhláškách lze vidět, že byly zpracovány bez hlubší teze a znalosti problematiky. Neodpovídají tomu, co bychom čekali při tak významné změně ve stavebnictví. Jednotlivá nařízení jsou v konečném důsledku chaotická a neumožňují tak jednotvárné rozhodování, která by zajistila stejnou vymahatelnost napříč územím státu. Stát totiž vypadl z role organizátora vlastní vodohospodářské politiky, a tak nechává veřejnou správu dostatečně neproškolenou, aby danou problematiku odpovědně řešila. Tím, že neexistuje jednotný výklad platné legislativy, se dostáváme do problémů převážně v developerském měřítku. Má to za následek vznikání staveb s nevhodně řešeným odvodněním, které může ohrožovat majitele ale i širší okolí. [3]

2.3.1 Plán hlavních povodí

Plán hlavních povodí České republiky byl schválen 23.5.2007 usnesením vlády č. 562/2007. Plán hlavních povodí ČR je významnou složkou pro podporu plánování v oblasti vod. Tento dokument udává rámcové cíle v ochraně vod jako složky životního prostředí, v ochraně vod před povodněmi, v ochraně vod před dalšími škodlivými účinky vod a ve vodohospodářských službách. [18]

Plán hlavních povodí ČR v rámcovém cíli v ochraně vod před škodlivými účinky vod, také uvádí ve vztahu hospodaření se srážkovými vodami níže zmíněné:

„Uplatňovat v generelech odvodnění urbanizovaných území koncepci nakládání s dešťovými vodami, umožňující jejich zadržování, vsakování i přímé využívání.“ [18]

V Plánu hlavních povodí ČR jsou ve směrné části programy opatření, které mají vést k těmto cílům:

- *„Snižovat množství srážkových vod odváděných kanalizací a zlepšit podmínky pro jejich přímé vsakování do půdního prostředí.“* [18]
- *„Snížit znečištění vodních toků při přímém vypouštění srážkových vod z městských a průmyslových kanalizací, zejména z jednotných kanalizací zavedením povinnosti oddělené likvidace srážkových a odpadních vod.* [18]
- *„Posílit výzkum vlivu přírodě blízkých opatření na zvyšování retenční kapacity krajiny včetně kvantifikace jejich vlivu na vodní režim.“* [18]

Lze tedy předpokládat, rámec pro způsob se srážkovou vodou je v Plánu hlavních povodí ČR obsažen. [3]

2.3.2 Politika územního rozvoje

Vláda ČR svým usnesením č. 596 ze dne 9.8.2013 aktualizovala Plán územního rozvoje České republiky. Tento plán byl pořízen Ministerstvem pro místní rozvoj. Politika územního rozvoje ČR by měla být nástrojem územního plánování, který určuje požadavky a rámce pro konkretizaci ve stavebním zákoně, obecně uváděných úkolů územního plánování s ohledem na udržitelný rozvoj území. [19]

V kapitole 2 Republikové priority územního plánování pro zajištění udržitelného rozvoje území, je v podkapitole 2.2 Republikové priority, uvedeno v odstavci 25 následující:

„Vytvářet podmínky pro preventivní ochranu území a obyvatelstva před potenciálními riziky a přírodními katastrofami v území (záplavy, sesuvy půdy, eroze, sucho atd.) s cílem minimalizovat rozsah případných škod. Zejména zajistit územní ochranu ploch potřebných pro umísťování staveb a opatření na ochranu před povodněmi a pro vymezení území určených k řízeným rozlivům povodní. Vytvářet podmínky pro zvýšení přirozené retence srážkových vod v území s ohledem na strukturu osídlení a kulturní krajinu jako alternativy k umělé akumulaci vod. V zastavěných územích a zastavitelných plochách vytvářet podmínky pro zadržování, vsakování i využívání dešťových vod jako zdroje vody a s cílem zmírňování účinků povodní.“ [19]

Pak, je tedy vytvořen základní právní rámec pro využívání hospodaření se srážkovými vodami v České republice, neboť politika územního rozvoje navazuje na požadavky Plánu hlavních povodí v České republice.

2.3.3 Podmínka pro nakládání se srážkovými vodami

Podmínka pro nakládání se srážkovými vodami vychází z předpisů, které na sebe navazují.

A. Stavební zákon č.183/2006 Sb., v platném znění (stavební zákon):

„Podle § 110 odst. 5 stavebního zákona obsahové náležitosti žádosti o stavební povolení a rozsah a obsah projektové dokumentace stanoví prováděcí předpis, kterým je vyhláška o dokumentaci staveb č. 499/2006 Sb., v platném znění.“ [20]

B. Vyhláška o dokumentaci staveb č. 499/2006 Sb., v platném znění říká:

„Podle § 2 vyhlášky o dokumentaci staveb rozsah a obsah projektové dokumentace pro ohlášení stavby uvedené v § 104 odst. 1 písm. a) až e) stavebního zákona nebo pro vydání stavebního povolení je stanoven v příloze č. 12 k této vyhlášce.“ [21]

V příloze č.12 k vyhlášce o dokumentaci staveb se musí uvést charakteristika území stavby v souladu s dodržením obecných požadavků na využití území, které je řešeno ve vyhlášce č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využití území, v platném znění. [22, 23]

***C.* Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území**

Vyhláška stanovuje jednoznačné priority, kam a jak srážkovou vodu odvádět. Před vsakováním upřednostňuje využití, například jako užitkovou vodu v budově nebo jako vodu pro závlahu. Pokud však vsakování není možné, musí alespoň vybudovat retenční objekt s regulovaným odtokem podle ustanovení *§ 20, odst. 5* [3]*:*

Odst. 5 Stavební pozemek se vždy vymezuje tak, aby na něm bylo vyřešeno:

c) *vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití; přitom musí být řešeno* [23]:

1. *přednostně jejich vsakování, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, není-li možné vsakování,*

2. *jejich zadržování a regulované odvádění oddílnou kanalizací k odvádění srážkových vod do vod povrchových, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, nebo*

3. *není-li možné oddělené odvádění do vod povrchových, pak jejich regulované vypouštění do jednotné kanalizace.* [23]

Nadále vyhláška č. 501/2006 Sb., *§ 21 Pozemky staveb pro bydlení a pro rodinnou rekreaci* upravuje vsakování srážkových vod následovně:

Odst. 3 Vsakování dešťových vod na pozemcích staveb pro bydlení je splněno [§ 20 odst. 5 písm. c)], jestliže poměr výměry části pozemku schopné vsakování dešťové vody k celkové výměře pozemku činí v případě [23]:

a) *samostatně stojícího rodinného domu a stavby pro rodinnou rekreaci nejméně 0,4.* [23]

b) *řadového rodinného domu a bytového domu 0,3.* [23]

Nadále se pak v projektových dokumentacích řeší technické požadavky na stavbu. Toto řeší vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby.

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

Tato vyhláška je ochranou, proti zavádění takzvaných bezodtokových území. Takové území může vzniknout v případě, pokud nedojde k povolení napojení bezpečnostního přelivu, ev. retenčního objektu s regulačním zařízením, stavby nebo stavebních pozemků na vodní tok nebo jednotnou kanalizaci. [3]

§ 6 Připojení staveb na sítě technického vybavení

Odst. 4 „Stavby, z nichž odtékají povrchové vody, vzniklé dopadem atmosférických srážek (dále jen „srážkové vody“), musí mít zajištěno jejich odvádění, pokud nejsou srážkové vody zadržovány pro další využití. Znečištění těchto vod závadnými látkami nebo jejich nadměrné množství se řeší vhodnými technickými opatřeními. Odvádění srážkových vod se zajišťuje přednostně zasakováním. Není-li možné zasakování, zajišťuje se jejich odvádění do povrchových vod; pokud nelze srážkové vody odvádět samostatně, odvádí se jednotnou kanalizací.“ [24]

K této vyhlášce se váže i zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích.

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

V souvislosti s předchozí vyhláškou č. 268/2009 má vlastník stokové sítě povinnost umožnit připojení srážkových vod na kanalizaci. Toto znění je vyjádřeno v následujícím paragrafu.

§ 8 Práva a povinnosti vlastníka vodovodu nebo kanalizace

Odst. 3 „Vlastníci vodovodů nebo kanalizací provozně souvisejících, popřípadě jejich částí provozně souvisejících, upraví svá vzájemná práva a povinnosti písemnou dohodou tak, aby bylo zajištěno kvalitní a plynulé provozování vodovodu nebo kanalizace. Tato dohoda je podmínkou kolaudačního souhlasu podle stavebního zákona.“ [25]

Odst. 4 „Vlastníci vodovodů nebo kanalizací, jakož i vlastníci vodovodních řadů, vodárenských objektů, kanalizačních stok a kanalizačních objektů provozně souvisejících, jsou povinni umožnit napojení vodovodu nebo kanalizace jiného vlastníka, pokud to umožňují kapacitní a technické možnosti. Současně uzavřou vlastníci těchto vodovodů a kanalizací

písemnou dohodu podle odstavce 3. Možnost napojení k zabezpečení dodávek pitné vody nebo odvádění odpadních vod nesmí být podmiňována vyžadováním finančních nebo jiných plnění. Náklady na realizaci napojení vodovodu nebo kanalizace hradí vlastník, jemuž je umožněno napojení vodovodu nebo kanalizace.“ [25]

Zákon dále definuje:

§ 4 Plán rozvoje vodovodů a kanalizací kraje a území státu

Odst. 3 „Při zpracování návrhu plánu rozvoje pro území kraje a při zpracování jeho aktualizací se vychází z politiky územního rozvoje a ze zásad územního rozvoje příslušného kraje podle zvláštního právního předpisu a z národních plánů povodí zpracovaných podle zákona o vodách, pokud jsou pro dané území zpracovány a schváleny.“ [25]

§ 12 Kanalizace

Odst. 1 „Kanalizace musí být navrženy a provedeny tak, aby negativně neovlivnily životní prostředí, aby byla zabezpečena dostatečná kapacita pro odvádění a čištění odpadních vod z odkanalizovávaného území a aby bylo zabezpečeno nepřetržité odvádění odpadních vod od odběratelů této služby. Současně musí být zajištěno, aby bylo omezováno znečišťování recipientů způsobované dešťovými přívaly. Kanalizace musí být provedeny jako vodotěsné konstrukce, musí být chráněny proti zamrznutí a proti poškození vnějšími vlivy. Další požadavky na čištění odpadních vod včetně požadavků na projektovou dokumentaci, výstavbu a provoz kanalizací a čistíren odpadních vod stanoví prováděcí právní předpis.“ [25]

Tato ustanovení znamenají, že plán rozvoje kanalizace musí vycházet ze zásad plánu povodí, které stanovuje konkrétní cíle pro dané oblasti povodí na základě rámce stanoveného Plánem hlavních povodí České republiky. Zákon o vodovodech a kanalizacích se však nevztahuje na oddílné kanalizace, které slouží k odvádění povrchových vod vzniklých srážkovým odtokem. [3]

V zákoně o vodovodech a kanalizacích jsou další ustanovení o srážkových vodách, které se zabývají zpoplatněním jejich odvádění. Pro novou zástavbu, toto ustanovení však není problém. Týká se to stávající zástavby, neboť zpoplatněním srážkového odtoku ustanovení vytváří ekonomickou motivaci k přechodu z konvenčního odvodnění pozemku na decentrální způsob odvodnění. [3]

§ 8 Práva a povinnosti vlastníka vodovodu nebo kanalizace

Odst. 14 „Vlastník kanalizace má právo na úplatu za odvádění odpadních vod (dále jen "stočné"), pokud ze smlouvy uzavřené podle odstavce 2 nevyplývá, že stočné se platí provozovateli kanalizace (§ 20). Právo na stočné vzniká okamžikem vtoku odpadních vod do kanalizace. Stočné je úplatou za službu spojenou s odváděním, čištěním, nebo jiným zneškodňováním odpadních vod. Právo na úplatu pevné složky stočného vzniká podle podmínek stanovených ve smlouvě uzavřené podle odstavce 6, v níž je sjednána dvousložková forma stočného. Takové sjednání je možné ode dne účinnosti obecně závazné vyhlášky obce vydané v samostatné působnosti obce nebo rozhodnutím nejvyššího orgánu právnické osoby, která je vlastníkem vodovodů a kanalizací podle § 20 odst. 4.“ [25]

Zákon rozlišuje odpadní a srážkovou vodu, ale podle § 8 odst. 14 se zpoplatnění týká pouze srážkových vod, které jsou odváděny do jednotné kanalizace. Stočné je počítáno dle množství odpadních srážkových vod. V případě formy dvousložkové se započítává pevná složka (např. dle profilu přípojky) do stočného. Pokud však není měřeno množství odváděných srážkových vod, vypočítává se množství způsobem, který stanovuje vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích. Takto vzniklý výpočet musí být uveden ve smlouvě o odvádění odpadních vod. Existují však plochy, které jsou osvobozené od placení za odvádění srážkových vod do kanalizace. [3]

Tyto plochy jsou popsány:

§ 20 Vodné a stočné

Odst. 6 „Povinnost platit za odvádění srážkových vod do kanalizace pro veřejnou potřebu se nevztahuje na plochy dálnic, silnic, místních komunikací a účelových komunikací veřejně přístupných, plochy drah celostátních a regionálních včetně pevných zařízení potřebných pro přímé zajištění bezpečnosti a plynulosti drážní dopravy s výjimkou staveb, pozemků nebo jejich částí využívaných pro služby, které nesouvisí s činností provozovatele dráhy nebo drážního dopravce, zoologické zahrady, veřejná a neveřejná pohřebiště a plochy nemovitostí určených k trvalému bydlení a na domácnosti.“ [25]

Vzniká tak velká demotivace v aplikaci s hospodařením se srážkovými vodami na velké většině pozemků. [3]

F. Vyhláška č. 428/2001 Sb., Vyhláška Ministerstva zemědělství, 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)

Tato prováděcí vyhláška předepisuje návrh stokových sítí podle ČSN EN 752 Odvodňovací systémy vně budov. Avšak tato evropská norma vzešla v platnost v době, kdy česká legislativa nevyžadovala aplikaci hospodaření se srážkovými vodami na novostavbách. Proto tato norma nezohledňuje dimenzování uličních stok, s přihlédnutím na regulované množství návrhového deště z objektů a zařízení pro hospodaření se srážkovými vodami. České normy a legislativa v dnešní době nařizují vybudování objektů nebo zařízení k hospodaření se srážkovými vodami, aby došlo k omezení odtoku ze staveb nebo stavebních pozemků na konkrétní hodnotu. Tento odtok, však není zohledněn v postupech pro návrh uličních stok, a tak se tyto objekty zaúsťují do zbytečně naddimenzované stoky. Tento fakt, nám vyvrací myšlenku ekonomického efektu, který by doprovázel decentrální nakládání a umožňoval srovnat výhodnosti s konvenčním stylem odvodnění. Budování naddimenzovaných stok, vytváří dojem převedení nadlimitních srážkových průtoků z bezpečnostních přelivů, avšak takovýto přístup je v rozporu s hlavní myšlenkou hospodaření se srážkovými vodami. A to tak, že by se měl problém řešit na daném místě, kde vznikl, za prostředky majitelů odvodňovaných staveb a nejlépe neohrožovat a nezatěžovat jiná území, která nejsou dotčená nadlimitní srážkou. [3]

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

Tento zákon je základním legislativním předpisem ve vodním hospodářství, který v souvislosti s dešťovými vodami podle *§ 5* každému stavebníkovi ukládá povinnost hospodařit se srážkovými vodami přímo na svém pozemku. [26]

§ 5 Základní povinnosti

Odst. 3 „Při provádění staveb nebo jejich změn nebo změn jejich užívání jsou stavebníci povinni podle charakteru a účelu užívání těchto staveb je zabezpečit zásobováním vodou a odváděním, akumulací nebo čištěním odpadních vod s následným vypouštěním do vod povrchových nebo podzemních odpadních vod z nich v souladu s tímto zákonem a zajistit vsakování nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážkové vody“) v souladu se stavebním zákonem. Bez splnění těchto podmínek nesmí být povolena stavba, změna stavby před jejím dokončením, užívání stavby ani vydáno rozhodnutí o dodatečném povolení stavby nebo rozhodnutí o změně v užívání stavby.“ [26]

Mimo pozemek lze podle tohoto výkladu vypouštět pouze srážkovou vodu z regulovaných odtoků a vodu bezpečnostních přelivů. [3]

2.3.4 Technické předpisy pro hospodaření se srážkovými vodami

Pro hospodaření se srážkovými vodami platí dva technické předpisy, které umožňují navrhovat, schvalovat, povolovat, stavět, kolaudovat, přebírat do provozu, provozovat a spravovat objekty a zařízení pro hospodaření se srážkovými vodami. [3]

ČSN 75 9010 – Vsakovací zařízení srážkových vod

Tento technický předpis vzešel v platnost v únoru roku 2012 a zabývá se vsakováním srážkových povrchových vod. Stanovuje hlavní zásady pro návrh, výstavbu a následný provoz povrchových a podzemních vsakovacích zařízení. Pokud nelze srážkové vody vsakovat podle podmínek, které jsou uvedené v této normě, odkazuje se dále postupovat v souladu s předpisy podle ČSN EN 752, ČSN 75 6101 a požadavků provozovatele kanalizace pro veřejnou potřebu, správce povodí a případně správce vodního toku. Tento technický předpis řeší hospodaření se srážkovými vodami jen částečně, neboť se zabývá pouze vsakováním srážkové vody. [12]

TNV 75 9011 – Hospodaření se srážkovými vodami

Tento technický předpis vyšel po vydání technického předpisu ČSN 75 9010 a to v březnu roku 2013. Tato oborová norma se zabývá problematikou hospodaření srážkových vod komplexně. Zabývá se způsoby nakládání se srážkovými vodami, které odtékají z urbanizovaného území. Podle tohoto technického předpisu lze navrhovat, schvalovat, povolovat, stavět, kolaudovat, přebírat do provozu, provozovat a spravovat decentrální systém odvodnění způsobem blízkým přírodě. Tato norma obsahuje návod pro správné určení příjemce srážkových vod a ke správnému technickému řešení. Zabývá se i kvalitou srážkových vod a předkládá typy zařízení či opatření, které jsou vhodné pro dané typy znečištění. [11]

2.4 TRENDY BUDOUCÍHO VÝVOJE

Jelikož nás postihuje měnící se klima, je zapotřebí přemýšlet dál, jak řešit odvodnění urbanizovaného území. Decentrální způsob odvodnění srážkových vod se jeví jako jediný přípustný způsob, jak se srážkovými vodami nakládat. Koncepční přístupy by měly být zakotveny v generelech, městských standardech pro vznik pozemních a dopravních staveb a měl by být sjednocen přístup krajské a místní státní správy. Prosazováním vodohospodářské koncepce může dojít k napravení hydrologického cyklu a k celkovému životnímu standardu. Voda by měla přejít ze současného pojetí, kdy je vnímána jako problém, k pojetí, kdy ji budeme vnímat, jako přínos pro naše každodenní žití. [3]

Je jisté, že urbanizace krajiny nepřestane a je tedy zapotřebí, se stále více přibližovat k přírodnímu pojetí nakládání se srážkovými vodami. To, že způsoby nakládání se srážkovými vodami, mají ověřené výsledky je zřejmé a je zapotřebí stále větší osvěta, proč bychom se touto problematikou měli zabývat, neboť nám může přinést řadu ekonomických, ekologický, sociálních a zdravotních přínosů.

Ve světe vznikají příručky jako například *Green City, Clean Water; City of Philadelphia Green Streets Design Manual; The SuDS Manual; Stormwater control measures* a mnoho dalších, které napomáhají vytvářet koncepci, jak by měla vypadat urbanizovaná území, aby byla šetrná k přírodě a napodobovala tak přírodní procesy. [3]

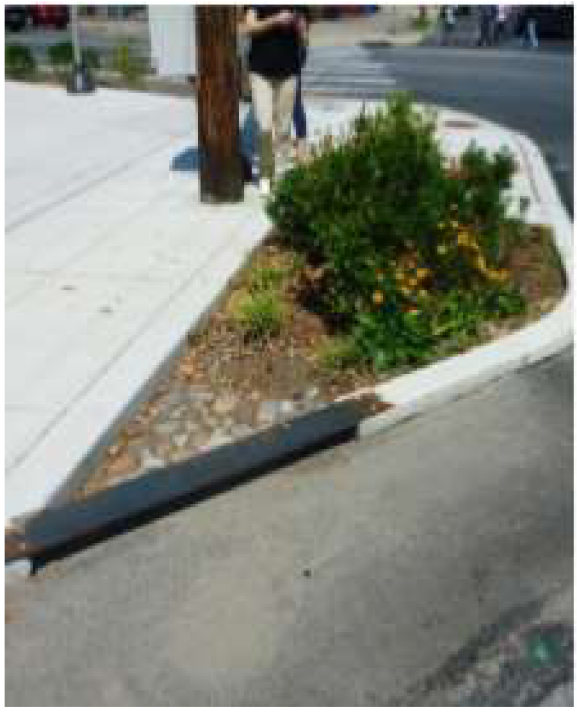
Ulice mohou například vypadat jako z Philadeplské příručky Green Streets Design Manual a využívat tak různé způsoby, jak lze hospodařit se dešťovou vodou, které lze vidět na Obrázcích 2.26–2.32:

„Vodní květináč“

Obrázek 2.26: Stormwater planter [13].

„Srážkoodtokový kanálek“

Obrázek 2.27: Stormwater Bump-out [13].



Obrázek 2.28: Stormwater Bump-out v praxi [13].

„Pouliční zálivka stromů“

Obrázek 2.29: Stormwater Tree Trench [13].

Obrázek 2.30: Stormwater Tree Trench na Ben Franklin Parkway ve Philadelphii v praxi [13].

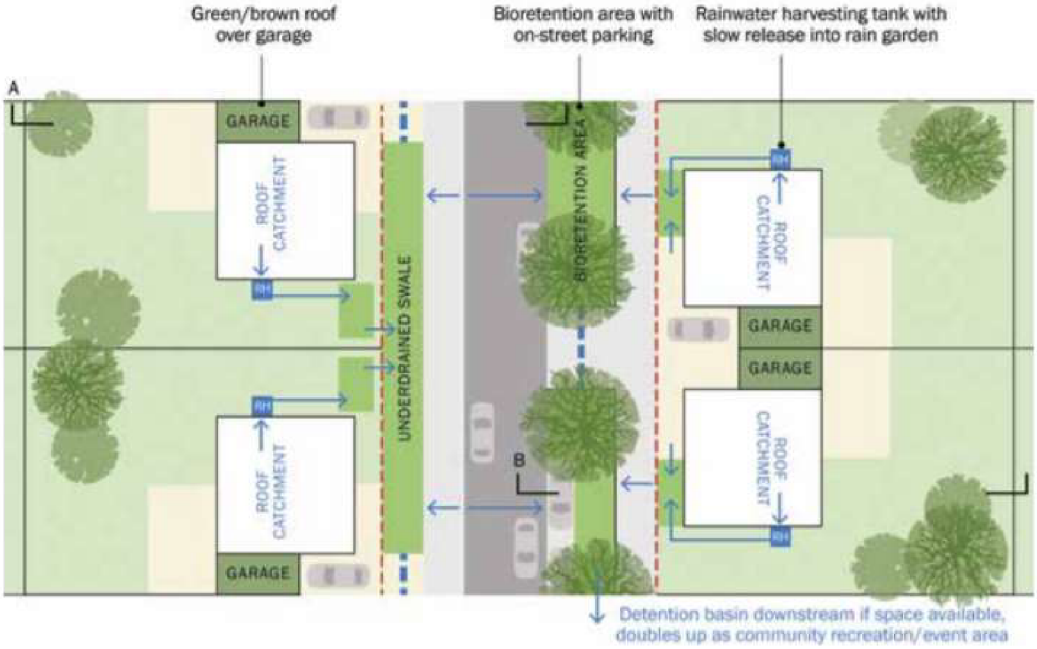
„Vsakovací příkopy“

Obrázek 2.31: Green Gutter [13].

Obrázek 2.32: Green Gutter v praxi [13].

Toto jsou prvky, které by šli snadno implementovat při rekonstrukcích ulic. Docházelo by k obnově a navýšení zeleně, která by městským částem dodávala život nejen po estetické stránce, ale i po mnoha dalších. [3, 13]

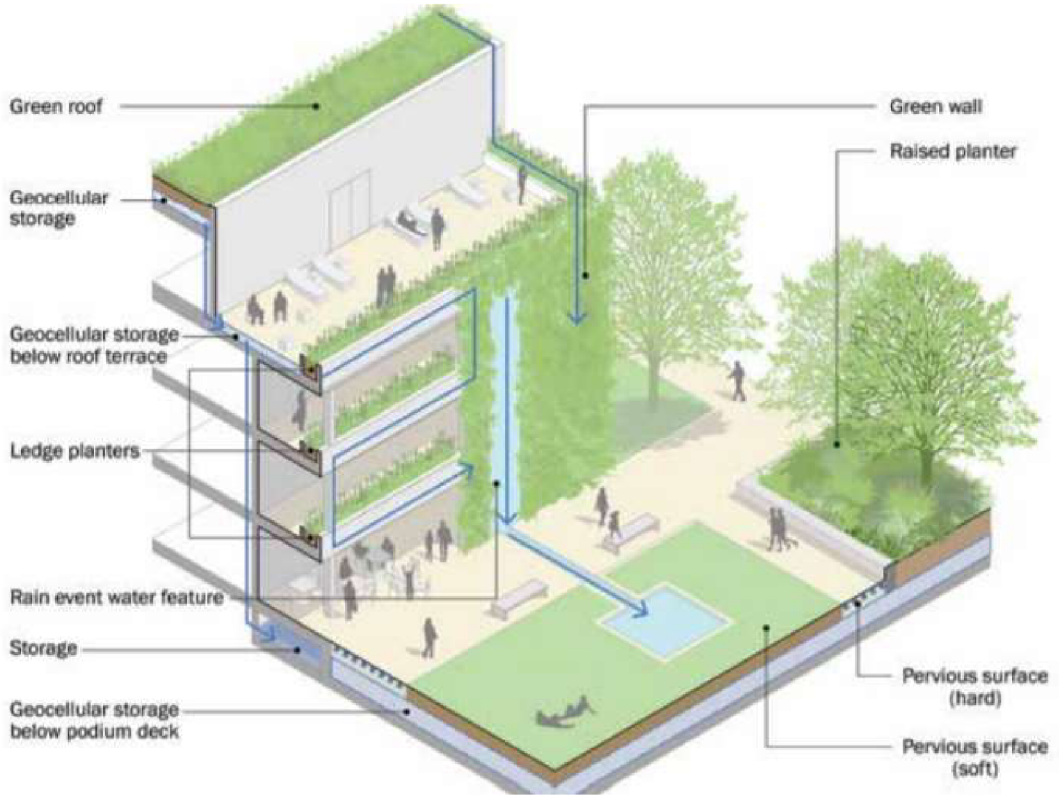
Při vznikáních nových rezidentních míst k bydlení, by se mohli například implementovat prvky z anglické příručky The SuDS Manual, které lze vidět na Obrázcích 2.33 a 2.34.



Obrázek 2.33: Příklad topologie malé rezidentní výstavby s prvky hospodaření se srážkovými vodami [10].

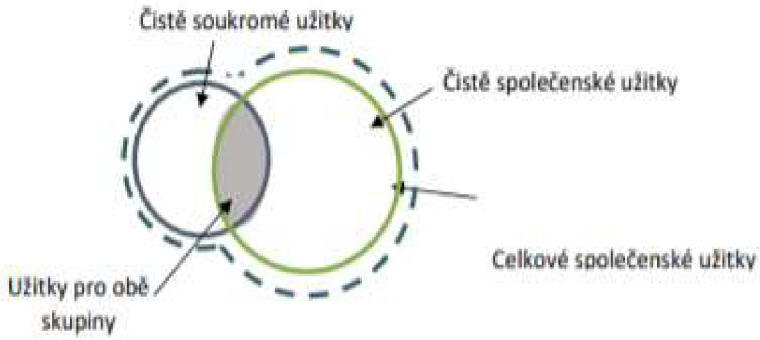
Tento příklad topologie malé rezidentní výstavby, spolupracuje s prvky zelených střech, akumulace srážkové vody a podzemním vsakovacím zařízením.

Způsobů, jak prvky využít a kombinovat je mnoho. Záleží jen na nás, jestli chceme změnit budoucnost k lepšímu, či nikoliv. [10]

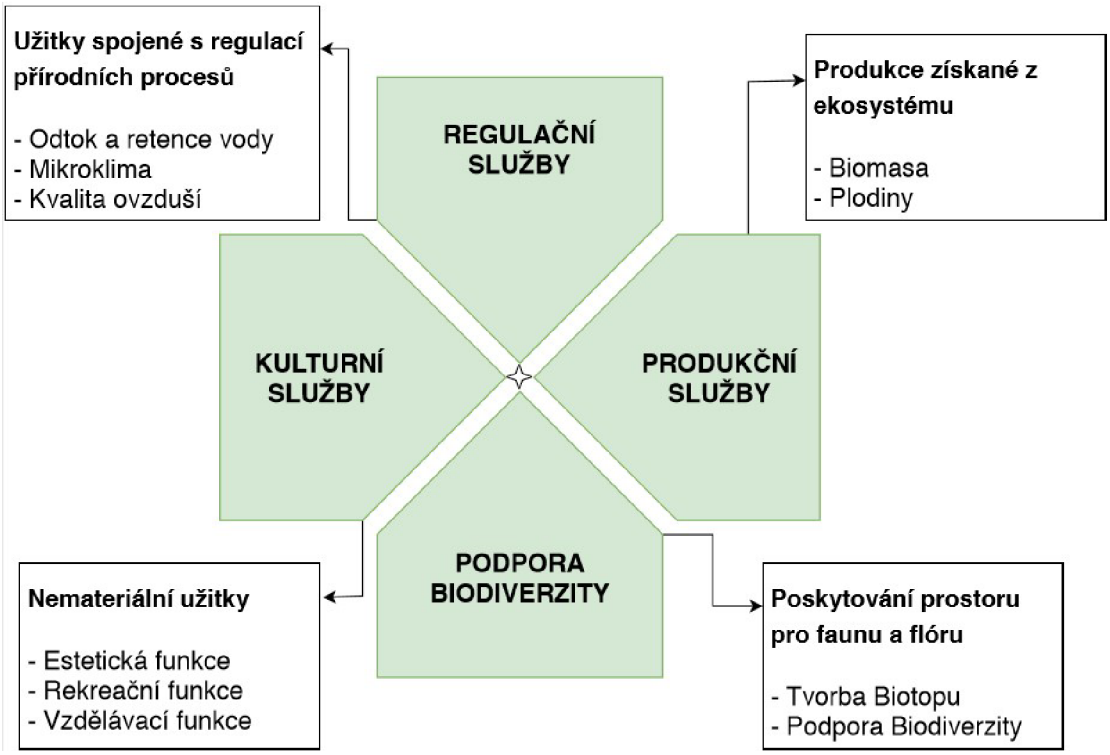


Obrázek 2.34: Příklad kombinace prvků pro hospodaření se srážkovými vodami [10].

Velikou kapitolou v dnešní době tvoří vegetační střechy. Budoucnost tento prvek má a ukazuje se jako vhodným řešením pro omezení hlučnosti, ztráty biodiverzity, problém městských tepelných ostrovů či zlepšení kvality ovzduší v urbanizovaném území. Vegetační střechy totiž zadržují vodu, mají tepelně izolační funkci, čímž snižují náklady na chlazení budov a v omezené míře také na jejich vytápění, ukládá CO_2 a dále zachycuje škodlivé látky z ovzduší. Zeleň pak plní i estetickou funkci. Užitky a výhody znázorňují Obrázky 2.35 a 2.36. [14]



Obrázek 2.35: Rozdělení užitků mezi investora a celou společnost [14].



Obrázek 2.36: Členění užitků do 4 základních kategorií [14].

Česká republika sdílí stejné klimatické výzvy jako ostatní evropská města a jejich blízkost umožňuje českým městům inspiraci a vytvářet zelené střechy podle vyzkoušených postupů. Příkladem může jít například německý Hannover viz Obrázek 2.37, rakouský Linz, Kodaň v Dánsku, Basilej ve Švýcarsku nebo Londýn ve Velké Británii viz Obrázek 2.38 a 2.39. V těchto městech již politiku zelených střech zavedenou mají a lze se od nich také inspirovat. [14]

Obrázek 2.37: čtvrť Bothfelder v německém Hannoveru [14].

Obrázek 2.38: Úschovna kol v Londýně [10].

Obrázek 2.39: Autobusová zastávka v Londýně.

3 NÁSTROJ PRO VÝPOČET VELIKOSTI NÁDRŽE PRO AKUMULACI SRÁŽKOVÉ VODY

V této diplomové práci byl vytvořit nástroj pro podporu rozhodování při volbě objemu dešťové nádrže, která by sloužila jako akumulační zdroj pro závlahu. Následně byl porovnán výpočet v řešené lokalitě Brno-Pastviny, který se řešil v předešlé bakalářské práci.

3.1 SIMULÁTOR PLNĚNÍ NÁDRŽE

Pro výpočet objemu nádrže pro dešťovou vodu byla využita data poskytnutá hydrometeorologickým ústavem. Jedná se o denní měření teplot a srážek v historické řadě let. Pro výpočet byla použita historická řada dešťů 21 let od roku 1998 až po rok 2018. Simulátor byl nastaven tak, aby nenačítal srážky, které spadly pod stupněm mrazu. Tyto srážky nadále nebyly použité ve výpočtu. Podle vzorečku 3.1.1, byl vypočítán průměrný roční načítaný objem vody, který dopadl na námi řešenou sběrnou plochu.

$$V_s = (\sum \frac{S \cdot Ar}{1000})/N \qquad (3.1.1.)$$

Kde V_s … Průměrný roční objem vody ze zpevněných ploch [m^3]

S … Velikost denní srážky [mm]

A_r … Redukovaná plocha zpevněných ploch [m^2]

N … Počet zkoumaných let [-]

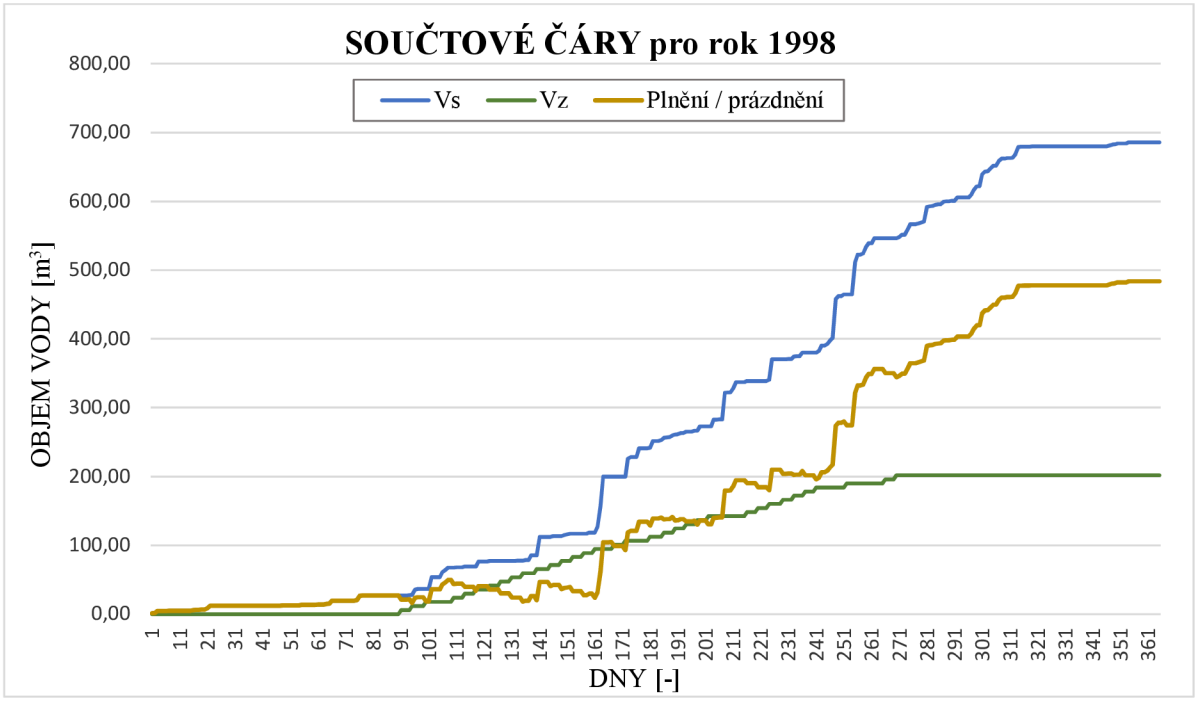
Redukovaná plocha zpevněných ploch se vypočte jako:

$$A_r = \sum_{i=1}^{n} A_i \cdot \psi_i \qquad (3.1.2)$$

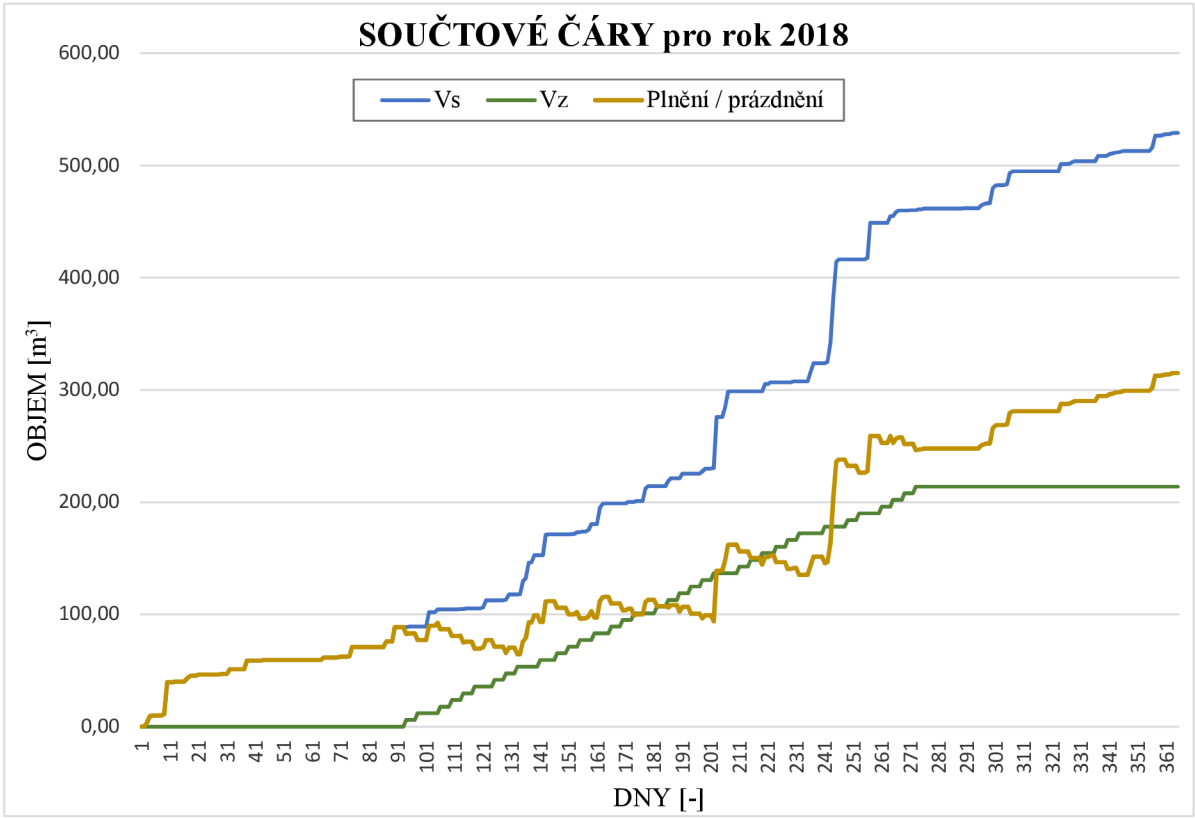
Kde A_i … Skutečná zpevněná plocha [m^2]

ψ_i … Odtokový součinitel srážkových vod [-]

Pro představu jsou níže znázorněné grafy součtových čar sběru srážkových vod, potřeby závlahové vody a jsou zde vyobrazeny čáry plnění a prázdnění v letech 1998 a 2018, které lze vidět na Obrázcích 3.1 a 3.2. Čáry plnění a prázdnění vyobrazují souvislost mezi součtovými čarami sběru srážkové vody a potřeby závlahové vody.



Obrázek 3.1: Graf součtových čar pro rok 1998.



Obrázek 3.2: Graf součtových čar pro rok 2018.

3.2 STANOVENÍ ZÁVLAHOVÉ DÁVKY

Pro výpočet potřeby závlahové dávky, bylo nutné zvolit objem závlahové dávky. Vezmeme-li v potaz informace od firem, které závlahy projektují a montují, dostáváme se na doporučení 10–40 $l \cdot m^{-2}$ ve 2–3 cyklech za týden. Z toho vyplývá, že nejnižší dávka pro závlahu v přepočtu činí 3–20 $l \cdot m^{-2}$ pro jednu dávku. Závlahová dávka může být závislá také na teplotě. Při vysoké teplotě a intenzitě slunečního záření může docházet až k 50% odparu závlahové dávky. Proto je vhodné zavlažovat v brzkých ranních hodinách, kde se vyhneme neproduktivnímu výparu. V této době jsou totiž nejnižší rozdíly teplot mezi závlahovou vodou a rostlinou a nehrozí tak teplotní šok. V Tabulce 3.1 lze vidět potřebu vody a interval závlahy dle denní teploty pro vzrostlý trávník. [27]

Tabulka 3.1: Potřeba vody a interval závlahy dle denní teploty pro vzrostlý trávník [27].

Nejvyšší denní teplota °C	Potřeba vody mm/m^2	Interval závlah Dny
>30	>5	1–2
25–30	3–4	2–3
20–25	2–3	2–4
<20	<2	1x týdně

3.2.1 Experiment pro stanovení závlahové dávky

Pro určení závlahové dávky byl proveden malý experiment. V červenci roku 2019, bylo na parcele s číslem 358/2 v katastrálním území Radslavice u Vyškova [738794] poryto a zatravněno cca 15 m^2. Zatravnění bylo provedeno rožnovskou hřišťovou travní směsí. Směs byla ve složení lipnice luční, kostřava červená a jílek vytrvalý. Tato travní směs je vhodná například do zahrad rodinných domků, kde je využívána dětmi pro sportovní aktivity. Velice dobře snáší sešlapávání, má stálou barvu, je odolná proti vymrzávání a vyžaduje středně intenzivní údržbu. [28]

Dle české geologické služby se na území, které bylo zatravněno vyskytuje kambizem modální. Kambizem je typ půdy, který je na území České republiky nejrozšířenější. Tento typ půdy býval nazýván hnědou lesní půdou. Vyskytuje se u silně členitých reliéfů. Nachází se tedy ve svažitých podmínkách v hlavních souvrstvích svahovin magmatitů a metamorfitů a zpevněných sedimentárních hornin. Modální kambizem tvoří středně těžké a lehčí střední substráty. [29]

Pro začátek experimentu bylo zvoleno, že po dobu dvou týdnů bylo místo přikryté textilní fólií na záhony a zalévalo se každé ráno a večer konví o objemu 10 l celkem 4,5x**.** Toto množství odpovídá 3 $mm \cdot m^{-2}$. Po vzrůstu trávy, byla odkryta textilní fólie a místo zůstalo odkryté. Zalévání nadále probíhalo maximálně 2x týdně a závlahová dávka činila opět 3 $mm \cdot m^{-2}$. Tráva se sekala na vysoký pojezd sekačky a po skončení experimentu, v polovině října, byla tráva pěkně zelená. I přes sucho, které panovalo a vysoké denní teploty stačila závlahová dávka 3 $mm \cdot m^{-2}$ ve 2 cyklech za týden. Když vydatně pršelo, závlahová dávka byla volena po 3 dnech od napršení. Tento experiment, měl co nejblíže napodobit konfiguraci simulátoru a napověděl, že toto malé závlahové množství pro nepříliš náročnou travní směs, lze využít i přes teplé

období, které panovalo. Jak lze vidět na Obrázcích 3.3 a 3.4, tráva, která byla vyseta a probíhala na ní závlaha je pěkně zelená. Naopak tráva (Obrázek 3.5), která sousedí s místem experimentu je na konci vegetačního období spálená a chybí ji závlahové množství.

Obrázek 3.3: Začátek experimentu.

Obrázek 3.4: Výsledek experimentu.

Obrázek 3.5: Nezavlažované a neupravené okolí experimentální plochy na konci experimentu.

Po tomto experimentu byla do výpočtů zvolena závlahová dávka 2–3 mm·m^{-2}, která se rozlišovala podle toho, kolik vody napršelo ve třech předešlých dnech. Roční závlahová dávka se pak vypočítá jako:

$$V_{z_i} = A_z \cdot \sum Zi \qquad (3.2.1)$$

Kde V_{zi} … Objem závlahové dávky za rok [l]

A_z … Plocha k zavlažování [m^2]

$\sum Zi$ … Nasčítané závlahové dávky za rok [l·m^{-2}]

Průměrná roční závlahová dávka se pak vypočítá jako podíl součtu objemu závlahových dávek za rok a počtu zkoumaných let.

$$V_z = \left(\sum \frac{V_{z_i}}{1000}\right) / N \qquad (3.2.2)$$

Kde Vz … Průměrná potřebná roční závlahová dávka [m^3]

N … Počet zkoumaných let [-]

3.3 POČÁTEČNÍ A OKRAJOVÉ PODMÍNKY

3.3.1 Počáteční podmínky

Vstupní podmínky pro výpočet objemu nádrže pro dešťovou vodu jsou základními parametry, které musíme znát pro tento výpočet v čase T=0. Nejdříve musíme určit velikost odvodňovaných ploch, pro výpočet objemu srážkových vod.

1. Skutečná plocha pro odvodnění „A“

Pro výpočet je potřeba znát skutečnou plochu odvodnění. Ta se zjistí vlastním měřením odvodňované plochy nebo z mapových podkladů. Plocha se do výpočtu udává v m^2. Plochy pro odvodnění mohou být různé. Dle ČSN 75 9010 to mohou být střechy různého typu, asfaltové a betonové plochy, dlažby, různé typy komunikace či sady a hřiště. Tyto plochy jsou uvedeny v pomocné Tabulce 3.2**.** [12]

2. Odtokový součinitel srážkových povrchových vod „ψ“

Pro odvodňovanou plochu určujeme odtokový součinitel, který nám plochu redukuje. Součinitel je bezrozměrné číslo a dle Tabulky 3.2 lze vyčíst hodnoty které koresponduji s ČSN 75 9010.

3. Množství srážek „S“

Pro výpočet je potřeba znát denní množství srážek, které dopadli v dané lokalitě. Srážky se udávají v mm vodního sloupce. Jejich převod je prostý 1 mm odpovídá 1 $l \cdot m^{-2}$. Ve výpočtu jsou přednastavené denní srážky z měřící stanice Brno-Tuřany (B2BTUR01).

Tabulka 3.2: Součinitele odtoku srážkových povrchových vod (Ψ) [12].

OZN	Druh odvodňované plochy; druh úpravy povrchu	Sklon povrchu		
		do 1 %	1 % až 5 %	nad 5 %
		Součinitel odtoku srážkových povrchových vod Ψ		
1)	Střechy s propustnou horní vrstvou (vegetační střechy)	0,4 až 0,7[1)]	0,4 až 0,7[1)]	0,4 až 0,7[1)]
2)	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)]
3)	Střechy s nepropustnou horní vrstvou	1,0	1,0	1,0
4)	Střechy s nepropustnou horní vrstvou o ploše větší než 10 000 m^2	0,9	0,9	0,9
		0,7	0,8	0,9
5)	Asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár	0,5	0,6	0,7
6)	Dlažby s pískovými spárami	0,3	0,4	0,5
7)	Upravené štěrkové plochy	0,2	0,25	0,3
8)	Neupravené a nezastavěné plochy	0,2	0,3	0,4
9)	Komunikace ze zatravňovacích tvárnic	0,2	0,3	0,4
10)	Sady, hřiště	0,1	0,15	0,2
11)	Zatravněné plochy	0,05	0,1	0,15

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

Zadávací Tabulka 3.3 pro výpočet množství spadených srážek. Do žlutých políček se zadávají hodnoty, které odpovídají skutečným rozměrům ploch a jejich odtokový součinitel. Výpočet redukované plochy je pak automatický a celková redukovaná plocha je nasčítána podle vzorečku 3.1.2. V tabulce se objevuje i průměrný roční objem vody ze zpevněných ploch, který se vypočítá ze vzorečku 3.1.1. Pokud by došlo k překročení hodnoty průměrného potřebného objemu závlahové vody za rok, upozorní nás červená ikona v políčku průměrného ročního objemu vody ze zpevněných ploch. Znamená to, že zavlažované plochy jsou natolik veliké, že nejsme schopni z dané plochy střech srážkovou vodu dotovat.

Tabulka 3.3: Vstupní měněné hodnoty pro výpočet objemu dešťové vody.

Sběr dešťové vody				
Plocha A [m^2]	3)	-	-	-
	490			
Odtokový součinitel Ψ	0,9			
Redukované plochy		A_r	441	[m^2]
Průměrný **roční** objem vody ze zpevněných ploch		V_s	206,63	[m^3]

Nadále musíme znát vstupní parametry pro určení objemu závlahové vody.

4. Plocha k zavlažování „A_Z“

Abychom mohli spočítat potřebu závlahové vody, potřebuje znát plochu, kterou budeme zavlažovat. Plocha se se určí vlastním měřením nebo z mapových podkladů. Plochu do výpočtu zadáváme v m^2.

5. Závlahová dávka

Závlahová dávka je důležitým vstupním parametrem, na kterém závisí výpočet velikosti nádrže pro dešťovou vodu. Udává se v mm vodního sloupce. Převod je stejný jako množství srážek: 1 mm odpovídá 1 $l \cdot m^{-2}$.

Do Tabulky 3.4 pro potřebu závlahové vody se zadávají hodnoty do políček, které jsou označeny žlutou barvou. Zadává se tedy plocha k zavlažování, ze které se vypočítá automaticky průměrný potřebný objem závlahové vody za rok dle vzorečku 3.2.2. V tabulce závlahové dávky se do žlutých políček zadávají hodnoty závlahové dávky. Jelikož simulátor počítá s tím, že pokud v předešlých třech dnech naprší od 0 mm do 0,5 mm zvolí závlahovou dávku 3 mm vodního sloupce. Naprší-li od 0,6 mm do 5 mm zvolí závlahovou dávku 2 mm vodního sloupce. Pokud však naprší v předešlých třech dnech více jak 5 mm vodního sloupce, tak simulátor vyhodnotí, že není potřeba závlahová dávka a předpokládá, že déšť závlahovou dávku nahradil.

Tabulka 3.4: Vstupní měněné hodnoty pro výpočet potřeby objemu závlahové vody.

Potřeba závlahové vody			
Plocha k zavlažováni	A_z	864	[m^2]
Průměrný potřebný objem závlahové vody za **rok**	V_z	71,05	[m^3]

Závlahová dávka

když naprší [mm]				Závlahová dávka		
Od	0,0	Do	0,5	potom	3	mm
Od	0,6	Do	5,0	potom	2	mm
Od	5,0	a více		potom	0	mm

3.3.2 Okrajové podmínky a pravidla simulace

Okrajové podmínky jsou dodatečné omezení, které udávají oblast hledané neznámé.

Počáteční stav v nádrži

Ve výpočtu uvažujeme s tím, že na začátku každého roku máme prázdnou nádrž. Tato úvaha je z hlediska údržby na konci vegetačního období a aby voda nestagnovala přes zimní období.

Okrajovými podmínkami jsou pak v počátečním stavu nádrže následující proměnné:

1. Velikost závlahové dávky

Velikost závlahové dávky je okrajová podmínka pro určení velikosti dešťové nádrže. Budeme-li uvažovat závlahovou dávku vyšší, budeme se potýkat s potřebou větší dešťové nádrže pro zajištění dešťové vody pro závlahové dávky.

2. Rozmezí množství srážky

Podle tohoto parametru, se určuje, kolik vody má závlahový systém použít na závlahu, spadne-li určité množství srážek. Toto rozmezí je spjaté s rozložením závlahových dávek ve vegetačním období.

3. Dny mezi závlahou

Další okrajovou podmínkou jsou dny mezi závlahou, které určují rozložení závlahových dávek ve vegetačním období. Simulátor je nastavený tak, že mezi závlahami je prodleva minimálně tři dny, což odpovídá dvou cyklům za týden. Spadne-li větší množství srážek než 5 mm vodního sloupce během tří dnů, kdy závlahový systém odpočívá, pak systém toto považuje za vydatný déšť, který závlahovou dávku nahrazuje. Závlaha je posunuta opět na den, kdy tři dny před závlahou nenaprší určité množství srážek.

3.4 OPTIMALIZACE A OMEZUJÍCÍ PODMÍNKY

3.4.1 Optimalizace

Jelikož se v tomto výpočtu neuvažovalo dopouštění nádrže pitnou ani užitkovou vodou v průběhu vegetačního období, nádrž se navrhovala na základě předpokladu dostatečného

množství srážkové vody v akumulaci. Jestliže by uživatel navrhl závlahové dávky zbytečně veliké, projeví se to na objemu nádrže.

Optimalizací velikosti nádrže se rozumí vyhodnocení, jak velkou nádrž nastavit, aby vyhovovala podmínkám uživatele. Tento výpočetní nástroj má pomoci při rozhodování, právě tak, že ukazuje maximální objemy nádrží v historické 21leté denní řadě dešťů. Uživatel nadále vyhodnotí, jak velkou nádrž potřebuje. Velikost zvolené nádrže zapíše do kolonky uživatelské volby velikosti nádrže a sleduje následující informace, které simulátor automaticky vypočítá. Uživatel se zajímá o to, kolik dní v průběhu vegetačního období bude mít suchou nádrž a s jakou spolehlivostí bude zvolená nádrž fungovat. V Tabulce 3.5 lze vidět několik sloupců, které jsou zásadní pro rozhodování uživatele.

Sloupec Objem nádrže „$V_{100\%}$“ ukazuje uživateli takovou velikost nádrže v každém roce, aby se dosáhlo vždy zabezpečení dodávky závlahové vody. To znamená, aby bylo nula suchých dnů v nádrži, což nám vypovídá sloupec Počet dní s nedostatkem vody v nádrži pro zálivku „$D_{100\%}$“.

Jakmile uživatel zvolí velikost nádrže a zapíše tuto hodnotu do příslušného pole pro uživatelskou volbu nádrže, sleduje dané tři sloupce.

1. Počet dní s nedostatkem vody v nádrži pro zálivku „$D_{už}$“

V tomto sloupci uživatel nachází údaje, kolik dní ve vegetačním období nebude nádrž schopná dotovat vodu pro závlahu. Uživatel, však musí počítat s tím, že suché dny v tabulce neznamenají, suché dny jdoucí po sobě, avšak celkový počet suchých dnů v nádrži za celé vegetační období, které činí 183 dnů. Jelikož v 21leté řadě byly cca tři nadprůměrně suché roky, tak v těchto letech se suché dny v nádrži zvyšují, snižujeme-li velikost nádrže.

2. Pravděpodobnost nedostatku vody pro zálivku

Abychom měli představu, co znamenají suché dny v nádrži pro systém závlahy. Vyjádřili jsme suché dny v nádrži v podobě pravděpodobnosti nedostatku vody pro zálivku v procentech. Tato pravděpodobnost se vypočítává pro každý rok podle vzorce:

$$P_i = \frac{Duži}{183} \times 100 \qquad (3.4.1.1)$$

Kde P_i … Pravděpodobnost nedostatku vody pro zálivku v každém roce [%]

$D_{uži}$ … Počet suchých dnů v nádrži v každém roce [-]

3. Spolehlivost zajištění vody pro zálivku ve vegetačním období v nejsušším roce

Tento ukazatel navazuje na pravděpodobnost nedostatku vody pro zálivku. Vyjadřuje procentuální spolehlivost dodávky vody pro zálivku v nejsušším roce. Tento ukazatel poukazuje uživateli nádrže, jak účinná bude zvolená velikost nádrže v nejsušším roce v 21leté řadě. Tato spolehlivost se vypočítá dle následujícího vzorce:

$$R_{min} = 100 - P_{max} \qquad (3.4.1.2)$$

Kde R_{min} … Spolehlivost zajištění vody v nejsušším roce [%]

P_{max} … Pravděpodobnost nedostatku vody v nejsušším roce [%]

4. Souhrnná spolehlivost zajištění vody pro zálivku ve vegetačním období

Souhrnná spolehlivost vyjadřuje průměrnou spolehlivost zajištění dodávky vody pro závlahu ve vegetačním období. Vypočte se jako:

$$R_{prům} = \frac{\sum R_i}{N} \qquad (3.4.1.3)$$

Kde $R_{prům}$ … Průměrná spolehlivost zajištění vody pro zálivku [%]

R_i … Spolehlivost zajištění vody pro zálivku v daném roce [%]

N … Počet zkoumaných let [-]

5. Přetečení nádrže „$Q_{UžVsak}$“

Dalším sloupcem je přetečení zvolené uživatelské nádrže v každém roce. Tato hodnota vychází z plnění a prázdnění nádrže v každém počítaném roce. Maximální hodnota je pak návrhová hodnota pro návrh vsakovacího zařízení.

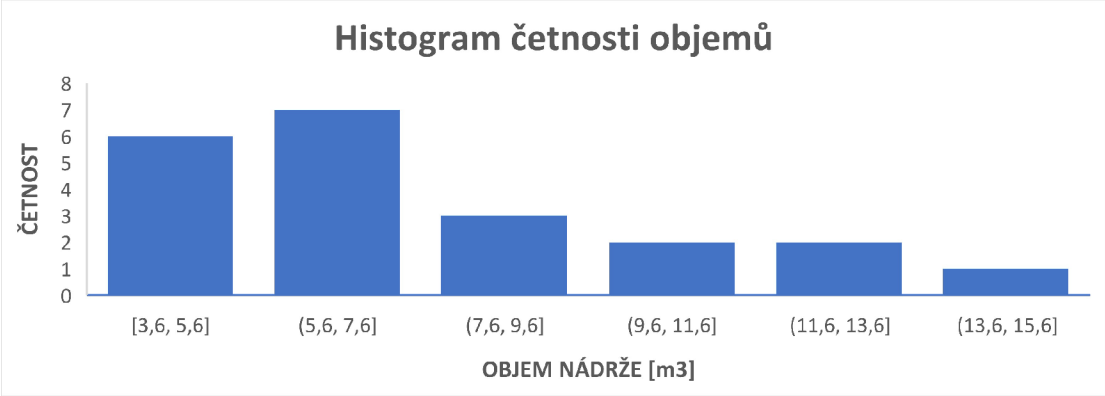
Simulátor tedy nalezne prostor přípustných řešení a účelovou funkcí je nalézt optimální velikost nádrže, aby cena byla co nejmenší v závislosti na požadavcích užívání nádrže.

Je tedy na uživateli, jak náročný je na provoz závlahového systému a kolik dní by byl schopen unést, že v nádrži nebude voda. Uživatel také může přihlédnout k histogramu četnosti velikosti nádrže, který lze vidět na Obrázku 3.6. Tento histogram poukazuje na to, že zvolí-li uživatel nádrž určitého objemu, který je zastoupený větší četností, bude tuto nádrž využívat v průměrných rocích. Avšak může nastat období jednou za x-let, kdy bude objem nádrže nedostatečný pro zálivku.

3.4.2 Omezující podmínka

OP 1: Spolehlivost zajištění vody na zálivku

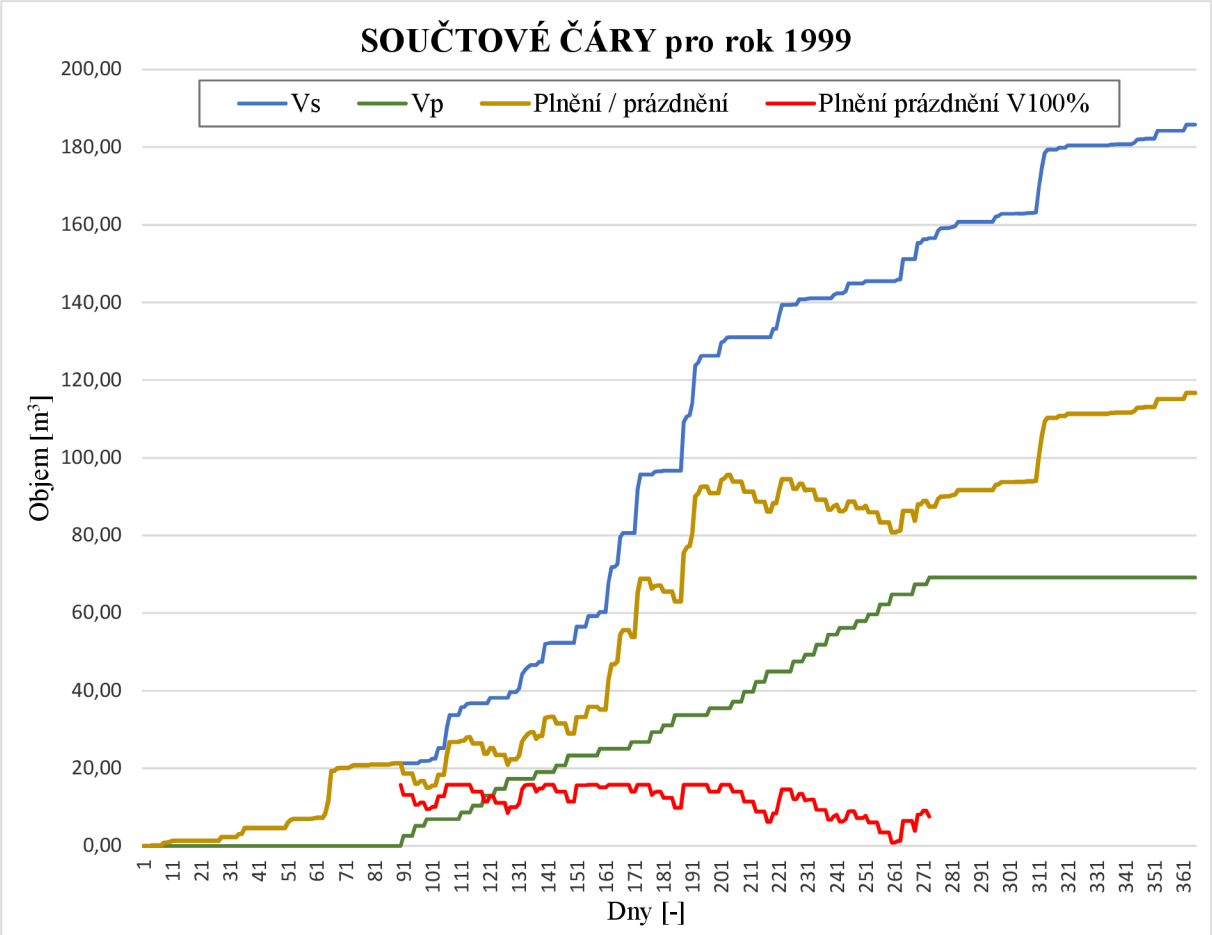
Ze simulace lze vypočítat, kolik dní bude v nádrži nedostatek vody pro zálivku. Lze tedy předpokládat, že největší nádrž v 21leté řadě bude mít 100 % zabezpečení závlahové dávky s nulovými suchými dny v nádrži. Je však na uživateli nádrže, jakou omezující podmínku si v tomto bodě zvolí. Nebude-li uživateli vadit, že v nádrži nemusí být 14 dní voda, lze 14 suchých dní považovat, jako omezující podmínka pro volbu menší nádrže. V tomto případě je tedy spolehlivost zajištění vody pro zálivku 92,3 %.



Obrázek 3.6: Histogram četnosti objemů v nádrži.

Tabulka 3.5: Konečná tabulka s výsledky optimalizace.

	Objem nádrže					Max denní přetečení nádrže
	$V_{100\%}$	$D_{100\%}$		$D_{už}$	P	R	$Q_{UžVsak}$
Roky	[m^3]	[dnů]	Roky	[dnů]	[%]	[%]	[$l \cdot s^{-1}$]
1998	13,2	0	1998	0	0,0	100,0	0,2
1999	15,7	0	1999	1	0,5	99,5	0,1
2000	25,9	0	2000	17	9,3	90,7	0,1
2001	10,3	0	2001	0	0,0	100,0	0,2
2002	8,6	0	2002	0	0,0	100,0	0,1
2003	11,1	0	2003	0	0,0	100,0	0,2
2004	20,4	0	2004	7	3,8	96,2	0,1
2005	16,9	0	2005	2	1,1	98,9	0,2
2006	11,9	0	2006	0	0,0	100,0	0,3
2007	23,6	0	2007	7	3,8	96,2	0,1
2008	14,1	0	2008	0	0,0	100,0	0,2
2009	21,2	0	2009	11	6,0	94,0	0,1
2010	9,7	0	2010	0	0,0	100,0	0,3
2011	8,0	0	2011	0	0,0	100,0	0,2
2012	14,9	0	2012	0	0,0	100,0	0,1
2013	23,0	0	2013	4	2,2	97,8	0,2
2014	12,5	0	2014	0	0,0	100,0	0,2
2015	15,0	0	2015	1	0,5	99,5	0,2
2016	16,1	0	2016	1	0,5	99,5	0,2
2017	12,4	0	2017	0	0,0	100,0	0,1
2018	12,7	0	2018	0	0,0	100,0	0,1
Max	**25,9**	0,0	Max	17,0	$R_{prům}$	98,7	Max	0,3
					R_{min}	90,7	

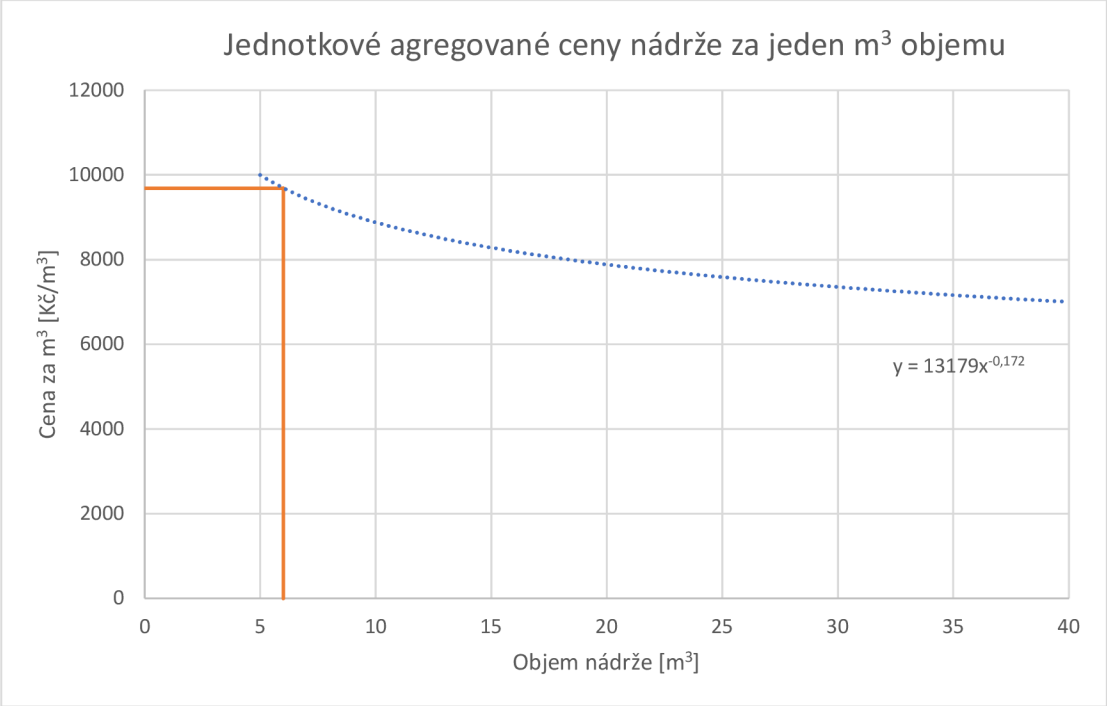


Obrázek 3.7: Graf součtových čar pro rok 1999.

V tomto grafu (Obrázek 3.7) je přidaná součtová čára plnění a prázdnění nádrže $V_{100\%}$. Zde lze vidět, že objem, je vypočítaný, tak aby v nádrži nebyly suché dny. Tudíž by velikost nádrže v roce 1999 měla vyhovět pro celé vegetační období bez suchých dnů.

Otázkou tedy je, jestli se uživatel spokojí s tím, že v průběhu vegetačního období (183 dnů) může mít suchou nádrž 7–14 dní nebo více ve vegetačním období, nebo jestli nelze připustit dny se suchou nádrží. Tato úvaha výrazně ovlivňuje objem nádrže.

Jelikož hledáme takovou velikost nádrže, aby vyhovovala podmínkám pro zálivku, musíme také přihlížet na cenu nádrže. Menší nádrže budou mít vždy jednotkové agregované ceny větší než nádrže většího objemu. Byl sestrojen graf jednotkové agregované ceny (Obrázek 3.8) na základě odhadované ceny vycházejí ze skutečných, již provedených nádrží, která vyhotovila stavební firma Dafra s.r.o. [30]



Obrázek 3.8: Graf jednotkové agregované ceny nádrže

4 PŘÍPADOVÉ STUDIE

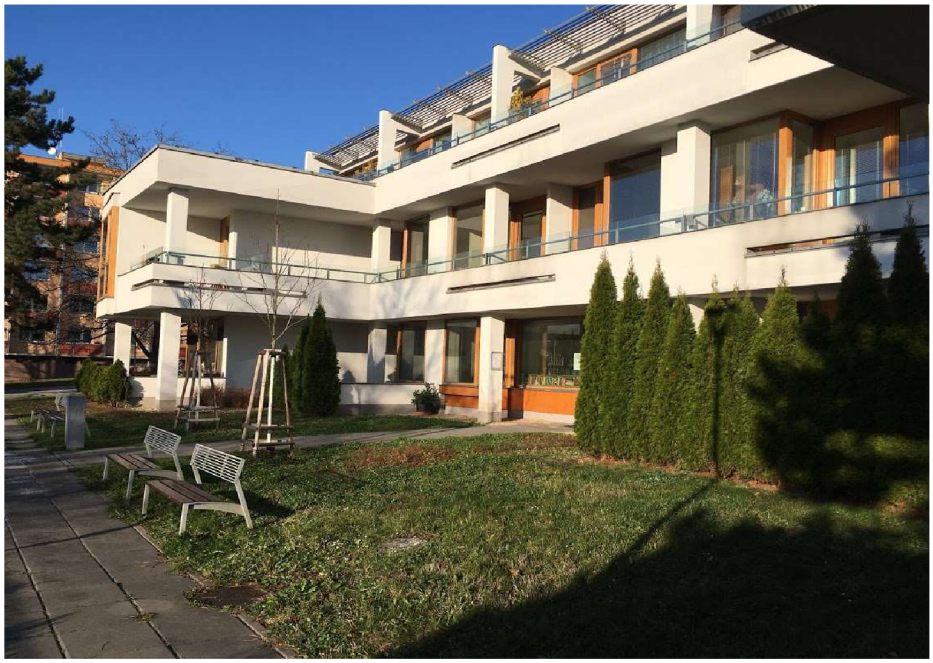
Tato případová studie byla zpracována na třech budovách ve vlastnictví městské části Brno-Komín. Ve studii byl využit výpočtový simulátor plnění nádrže, ze kterého vyšly potřebné velikosti nádrží pro dané objekty.

4.1 OPTIMALIZACE OBJEMU NÁDRŽE U MĚSTSKÉ KNIHOVNY BRNO-KOMÍN

Knihovna Jiřího Mahena se nachází v městské části Brno – Komín v ulici Vavřinecká 732/13.

4.1.1 Vstupní data

Obrázek 4.1: MK Brno-Komín.



Obrázek 4.2: MK Brno-Komín terénní průzkum.

Obrázek 4.3: Pohled na potenciální plochu k zavlažení MK Brno-Komín.

Tabulka 4.1: Zadávací údaje pro optimalizaci MK Brno-Komín.

Akce: Optimalizace objemu nádrže
Objekt: Městská knihovna Brno-Komín Vavřinecká 732/13
Objednatel:
Vypracoval, datum: Bc Jan Školař, 12/2019

Sběr dešťové vody				
Plocha A [m^2]	3)	-	-	-
	490			
Odtokový součinitel Ψ	**0,9**			
Redukované plochy		A_r	441	[m^2]
Průměrný **roční** objem vody ze zpevněných ploch		V_s	206,63	[m^3]

Potřeba závlahové vody			
Plocha k zavlažování	A_z	**864**	[m^2]
Průměrný potřebný objem závlahové vody za **rok**	V_z	71,05	[m^3]

Závlahová dávka

když naprší [mm]				Závlahová dávka		
Od	0,0	Do	0,5	potom	**3**	mm
Od	0,6	Do	5,0	potom	**2**	mm
Od	5,0	a více		potom	**0**	mm

4.1.2 Optimalizace

Tabulka 4.2: Výsledná optimalizace pro MK Brno-Komín.

Uživatelská volba objemu nádrže

Vuž **13** m^3

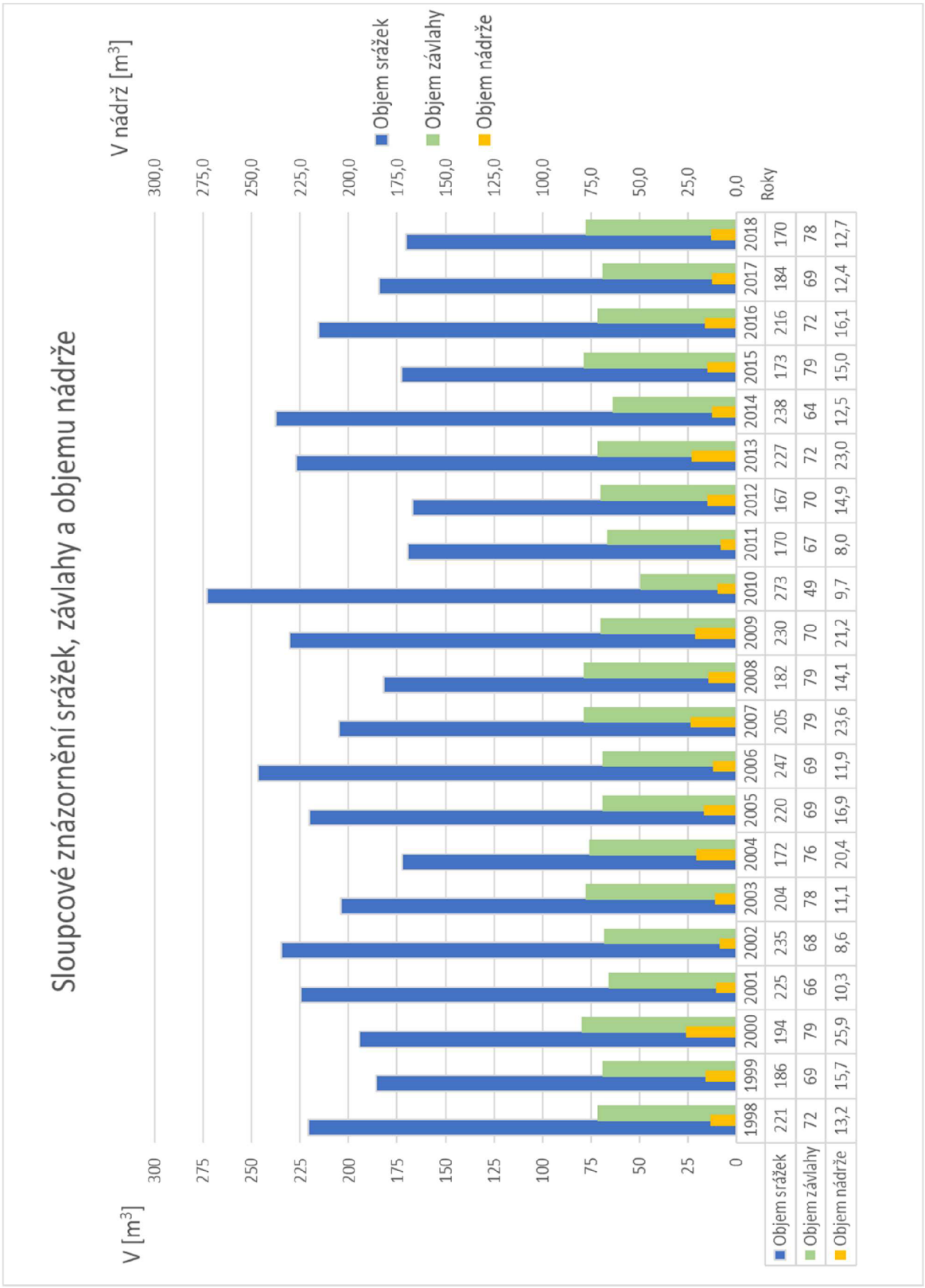
Objem nádrže pro max 7 dní bez vody

V_7 19 m^3

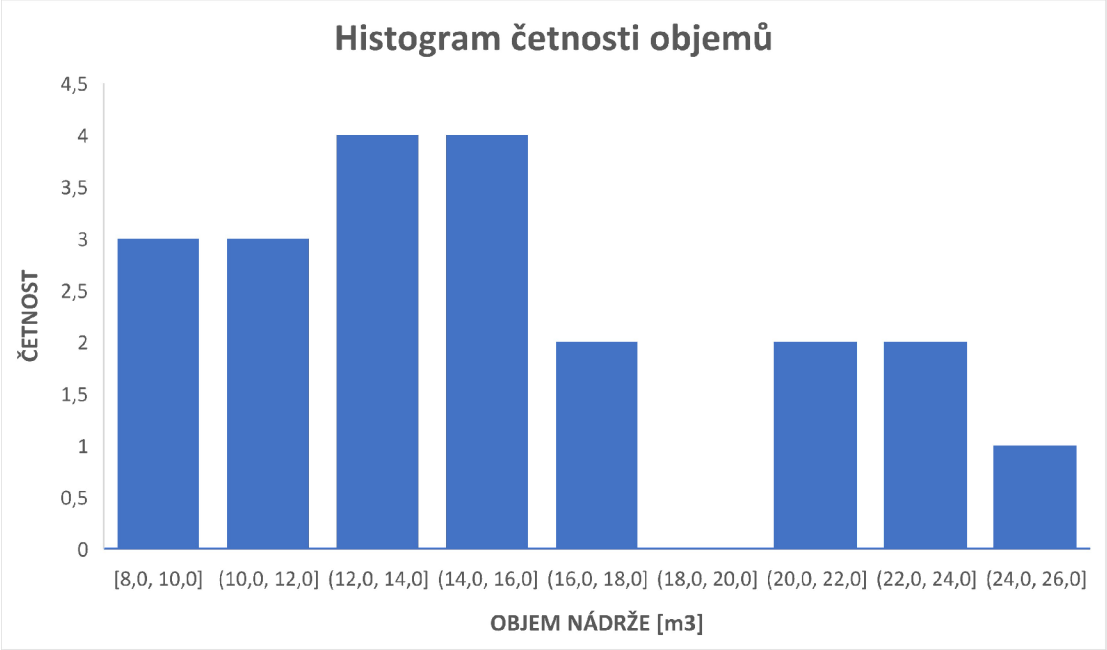
Objem nádrže pro max 14 dní bez vody

V_{14} 13,4 m^3

	Objem nádrže						Max denní přetečení nádrže
	$V_{100\%}$	$D_{100\%}$		$D_{už}$	P	R	$Q_{UžVsak}$
Roky	[m^3]	[dnů]	Roky	[dnů]	[%]	[%]	[$l \cdot s^{-1}$]
1998	13,2	0	1998	0	0,0	100,0	0,2
1999	15,7	0	1999	1	0,5	99,5	0,1
2000	25,9	0	2000	17	9,3	90,7	0,1
2001	10,3	0	2001	0	0,0	100,0	0,2
2002	8,6	0	2002	0	0,0	100,0	0,1
2003	11,1	0	2003	0	0,0	100,0	0,2
2004	20,4	0	2004	7	3,8	96,2	0,1
2005	16,9	0	2005	2	1,1	98,9	0,2
2006	11,9	0	2006	0	0,0	100,0	0,3
2007	23,6	0	2007	7	3,8	96,2	0,1
2008	14,1	0	2008	0	0,0	100,0	0,2
2009	21,2	0	2009	11	6,0	94,0	0,1
2010	9,7	0	2010	0	0,0	100,0	0,3
2011	8,0	0	2011	0	0,0	100,0	0,2
2012	14,9	0	2012	0	0,0	100,0	0,1
2013	23,0	0	2013	4	2,2	97,8	0,2
2014	12,5	0	2014	0	0,0	100,0	0,2
2015	15,0	0	2015	1	0,5	99,5	0,2
2016	16,1	0	2016	1	0,5	99,5	0,2
2017	12,4	0	2017	0	0,0	100,0	0,1
2018	12,7	0	2018	0	0,0	100,0	0,1
Max	**25,9 m^3**	0,0	Max	17,0	$R_{prům}$	98,7 %	Max 0,3
					R_{min}	90,7 %	

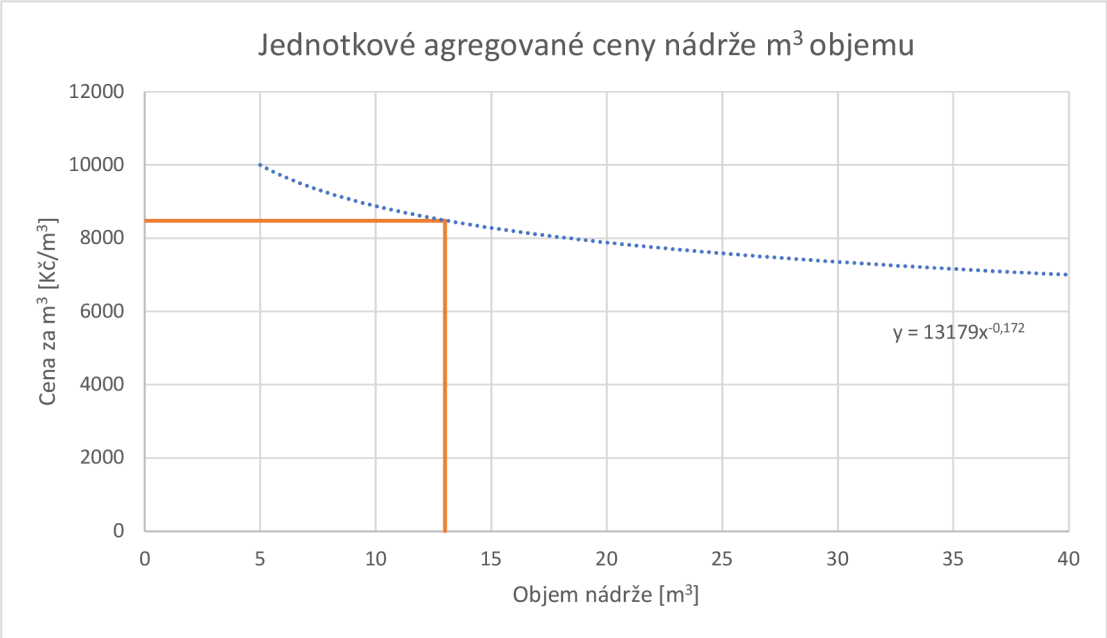


Obrázek 4.4: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže u městské knihovny.



Obrázek 4.5: Histogram četnosti objemu nádrží u městské knihovny.

ÚF = min
OP = max 14 dní suchá nádrž



Obrázek 4.6: Graf jednotkové agregované ceny nádrže u městské knihovny.

Rovnice	cena za m^3 uživatelské volby objemu nádrže [Kč/m^3]	Celková cena za uživatelský objem nádrže [Kč]
$y=13179*x^{-0,172}$	8 478	110 212

Po zvážení všech aspektů bylo vyhodnoceno, že ideální nádrž pro sběr dešťové vody a následné použití pro závlahu, je objem 13 m^3. Zavlažované území není natolik významné, aby byla nutnost navrhnout maximální nádrž o objemu cca 26 m^3. Z histogramu četností vyplívá, že nádrž o objemu 13 m^3 by postačovala minimálně v 10 letech z 21leté řady. Po shlédnutí tabulky suchých dnů lze vidět, že pouze v roce 2000 by bylo v nádrži 17 dní suchých. Následně se objevuje pár roků, které však nemají vícero suchých dnů jak 14 dní. Z tohoto kritéria vyplívá, že nádrž o 13 m^3 by byla vhodnou nádrží i přes jeden suchý rok z 21leté řady. Pro návrh vsakovacího objektu lze brát hodnotu 0,3 l/s jako návrhový průtok. Z finančního hlediska lze odhadnout, že kubík této nádrže bude stát 8 478,- Kč. Celková cena této nádrže pak vychází na 110 212,- Kč. Tato cena je odhad za stavební práce, usazení nádrže, pořízení nádrže a technologie pro provoz. V ceně není zahrnuta cena závlahového systému a příslušenství potřebná k závlahovému systému.

4.2 OPTIMALIZACE OBJEMU NÁDRŽE PRO MĚSTSKÝ ÚŘAD BRNO-KOMÍN

Městský úřad se nachází na adrese Vavřinecká 733/15, Brno-Komín.

4.2.1 Vstupní data

Obrázek 4.7: MÚ Brno-Komín.

Obrázek 4.8: MÚ Brno-Komín osobní průzkum.

Tabulka 4.3: Zadávací údaje pro optimalizaci MÚ Brno-Komín.

Akce: Optimalizace objemu nádrže
Objekt: Městský úřad Brno-Komín Vavřinecká 733/15
Objednatel:
Vypracoval, datum: Bc. Jan Školař, 12/2019

Sběr dešťové vody				
Plocha A [m^2]	2)	-	-	-
	501			
Odtokový součinitel Ψ	**0,9**			
Redukované plochy		A_r	450,9	[m^2]
Průměrný **roční** objem vody ze zpevněných ploch		V_s	211,26	[m^3]

Potřeba závlahové vody			
Plocha k zavlažování	A_z	**515**	[m^2]
Průměrný potřebný objem závlahové vody za **rok**	V_z	42,35	[m^3]

Závlahová dávka

když naprší [mm]				Závlahová dávka		
Od	0,0	Do	0,5	potom	**3**	mm
Od	0,6	Do	5,0	potom	**2**	mm
Od	5,0	a více		potom	**0**	mm

4.2.2 Optimalizace

Tabulka 4.4: Výsledná optimalizace pro MÚ Brno-Komín.

Uživatelská volba objemu nádrže

Vuž **6** m^3

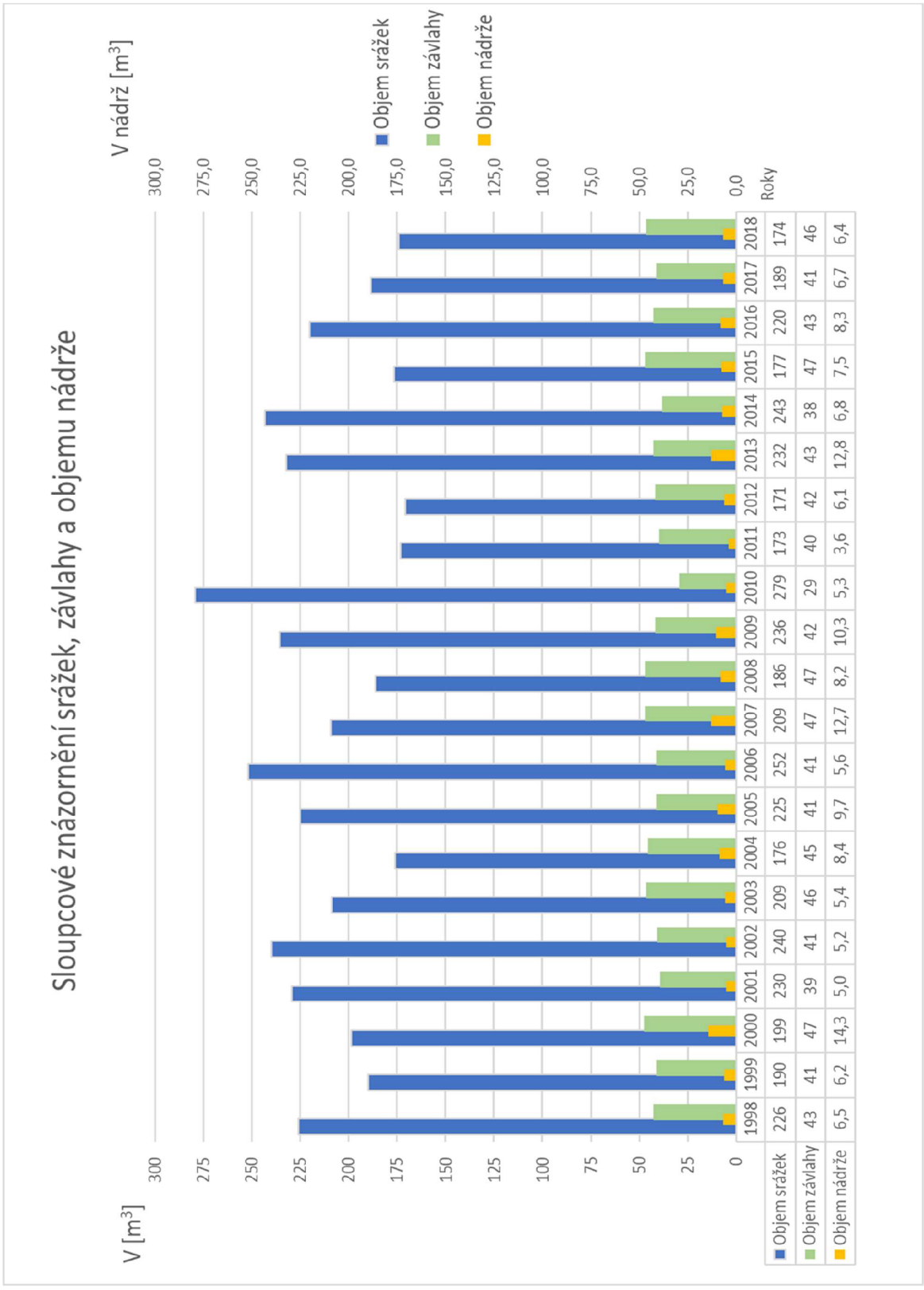
Objem nárže pro max 7 dní bez vody

V_7 7 m^3

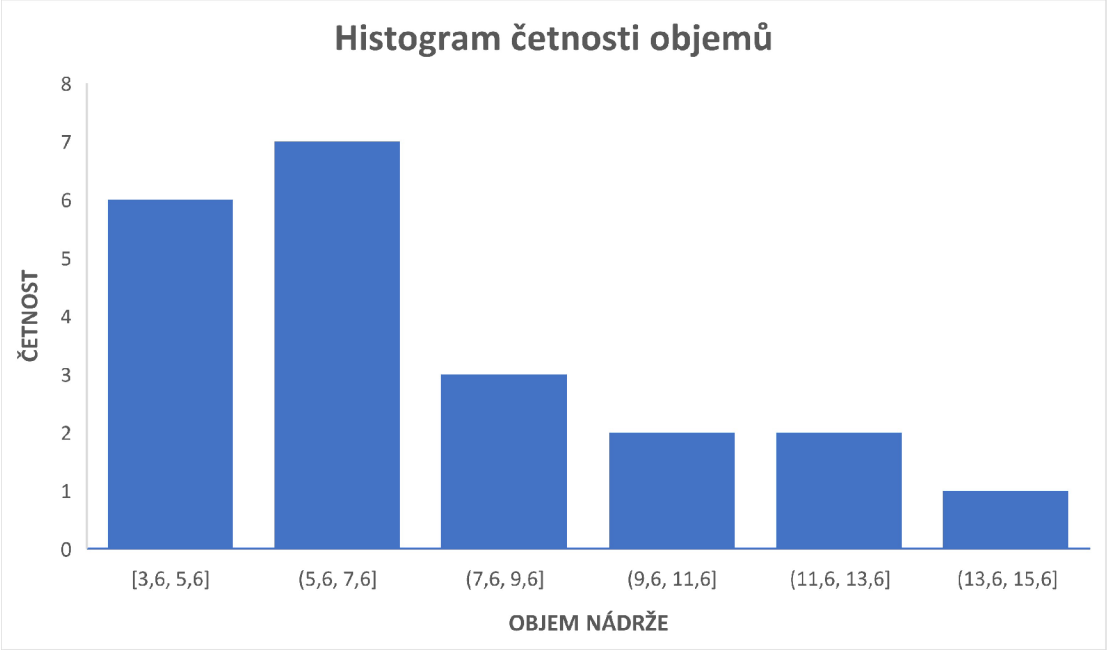
Objem nárže pro max 14 dní bez vody

V_{14} 4,5 m^3

	Objem nádrže						Max denní přetečení nádrže
	$V_{100\%}$	$D_{100\%}$		$D_{už}$	P	R	$Q_{UžVsak}$
Roky	[m^3]	[dnů]	Roky	[dnů]	[%]	[%]	[$l \cdot s^{-1}$]
1998	6,5	0	1998	0	0,0	100,0	0,2
1999	6,2	0	1999	0	0,0	100,0	0,1
2000	14,3	0	2000	9	4,9	95,1	0,1
2001	5,0	0	2001	0	0,0	100,0	0,2
2002	5,2	0	2002	0	0,0	100,0	0,2
2003	5,4	0	2003	0	0,0	100,0	0,2
2004	8,4	0	2004	1	0,5	99,5	0,1
2005	9,7	0	2005	4	2,2	97,8	0,2
2006	5,6	0	2006	0	0,0	100,0	0,3
2007	12,7	0	2007	9	4,9	95,1	0,2
2008	8,2	0	2008	2	1,1	98,9	0,2
2009	10,3	0	2009	10	5,5	94,5	0,1
2010	5,3	0	2010	0	0,0	100,0	0,3
2011	3,6	0	2011	0	0,0	100,0	0,2
2012	6,1	0	2012	0	0,0	100,0	0,1
2013	12,8	0	2013	5	2,7	97,3	0,2
2014	6,8	0	2014	0	0,0	100,0	0,2
2015	7,5	0	2015	3	1,6	98,4	0,2
2016	8,3	0	2016	1	0,5	99,5	0,2
2017	6,7	0	2017	0	0,0	100,0	0,1
2018	6,4	0	2018	0	0,0	100,0	0,2
Max	**14,3 m^3**	0,0	Max	10,0	$R_{prům}$	98,9 %	Max 0,3
					R_{min}	94,5 %	

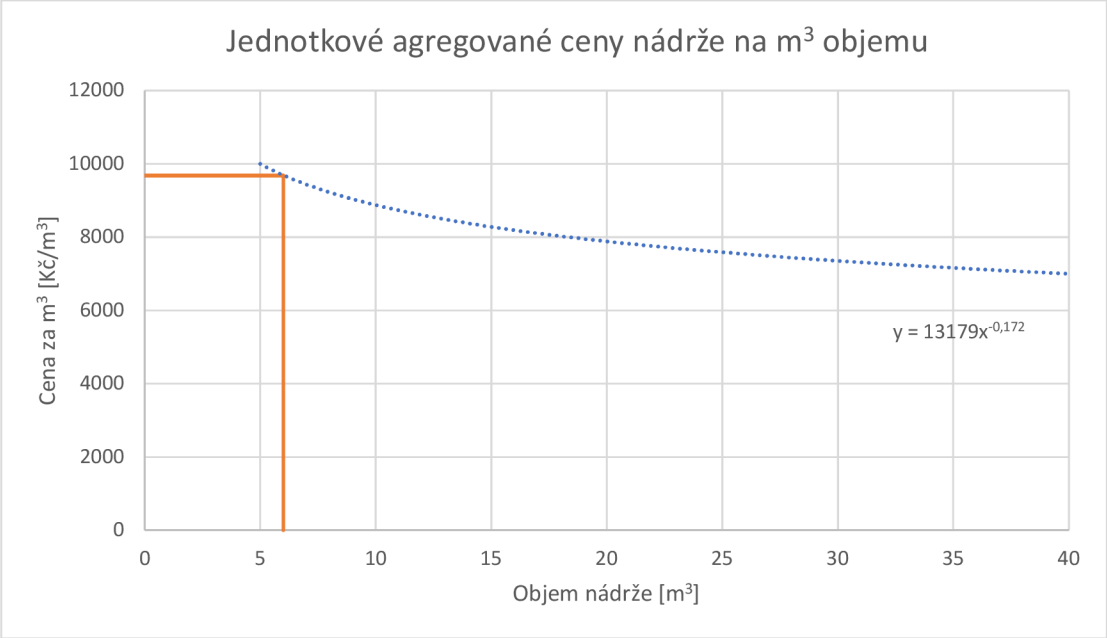


Obrázek 4.9: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže pro MÚ Brno-Komín.



Obrázek 4.10: Histogram četnosti objemů pro MÚ Brno-Komín.

ÚF = min
OP = max 14 dní suchá nádrž



Obrázek 4.11 - Graf jednotkové agregované ceny nádrže pro MÚ Brno – Komín

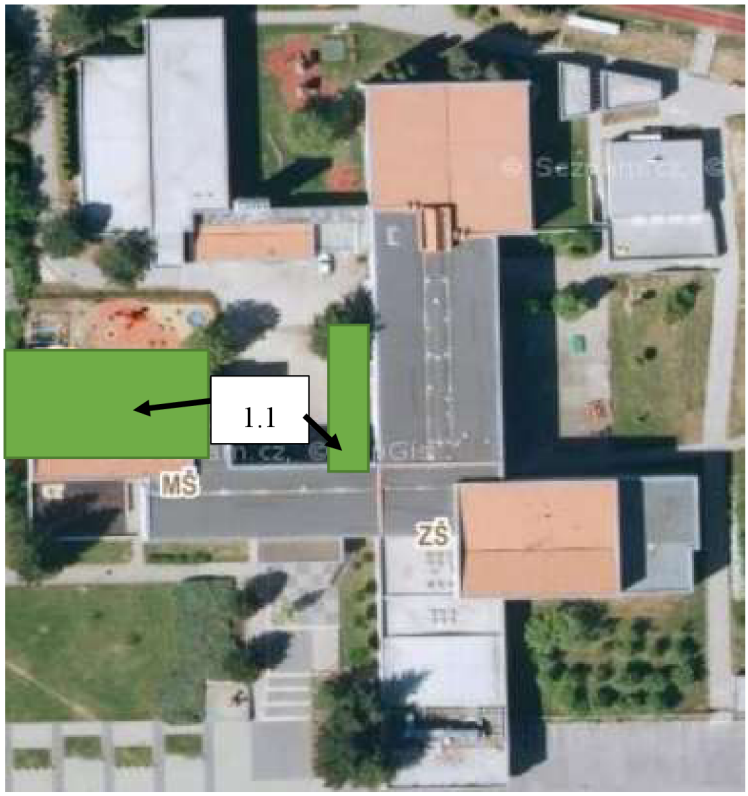
Rovnice	cena za m^3 uživatelské volby objemu nádrže [Kč/m^3]	Celková cena za uživatelský objem nádrže [Kč]
$y=13179*x^{-0,172}$	9 684	58 102

Po rozvaze bylo vyhodnoceno, že ideální velikost nádrže pro sběr dešťové vody a následné použití pro závlahu, je objem 6 m^3. Zavlažované území není natolik významné, aby byla nutnost navrhnout maximální nádrž o objemu 14,3 m^3. Z histogramu četností vyplívá, že nádrž o objemu 6 m^3 by postačovala minimálně v 13 letech z 21leté řady. Po shlédnutí tabulky suchých dnů lze vidět, že pouze v roce 2009 by bylo v nádrži 10 dní suchých. Následně se objevuje pár roků, které však nemají vícero suchých dnů jak 14 dní. Z tohoto kritéria vyplívá, že nádrž o 6 m^3 by byla vhodnou nádrží i přes pár sušších roků z 21leté řady. Pro návrh vsakovacího objektu lze brát hodnotu 0,3 l/s jako návrhový průtok. Z finančního hlediska lze odhadnout, že kubík této nádrže bude stát 9 684,- Kč. Celková cena této nádrže pak vychází na 58 102,- Kč. Tato cena je odhad za stavební práce, usazení nádrže, pořízení nádrže a technologie pro provoz. V ceně není zahrnuta cena závlahového systému a příslušenství potřebná k závlahovému systému.

4.3 OPTIMALIZACE OBJEMU NÁDRŽE PRO ZÁKLADNÍ A MATEŘSKOU ŠKOLU BRNO-PASTVINY

Tato případová studie srovnává výsledky z výpočtového simulátoru plnění nádrže a výsledky z předchozí bakalářské práce. Do výpočtu jsou použity stejné vstupní údaje jako v bakalářské práci. Nadále pak tato případová studie popisuje srovnání výsledků se vstupními údaji, které byly použity pro budovu městského úřadu a městské knihovny.

4.3.1 Vstupní údaje v povodí 1.1



Obrázek 4.12: ZŠ a MŠ Brno-Pastviny povodí 1.1.

Tabulka 4.5: Zadávací údaje pro optimalizaci v povodí 1.1.

Akce: Optimalizace objemu nádrže
Objekt: ZŠ a MŠ Brno-Pastviny Povodí 1.1
Objednatel:
Vypracoval, datum: Bc. Jan Školař, 12/2019

Sběr dešťové vody				
Plocha A [m^2]	2)	-	-	-
	1959			
Odtokový součinitel Ψ	**0,9**			
Redukované plochy		A_r	1763,1	[m^2]
Průměrný **roční** objem vody ze zpevněných ploch		V_s	826,08	[m^3]

Potřeba závlahové vody			
Plocha k zavlažování	A_z	**427**	[m^2]
Průměrný potřebný objem závlahové vody za **rok**	V_z	141,11	[m^3]

Závlahová dávka

když naprší [mm]				Závlahová dávka		
Od	0,0	Do	0,5	potom	**10**	mm
Od	0,6	Do	5,0	potom	**10**	mm
Od	5,0	a více		potom	**0**	mm

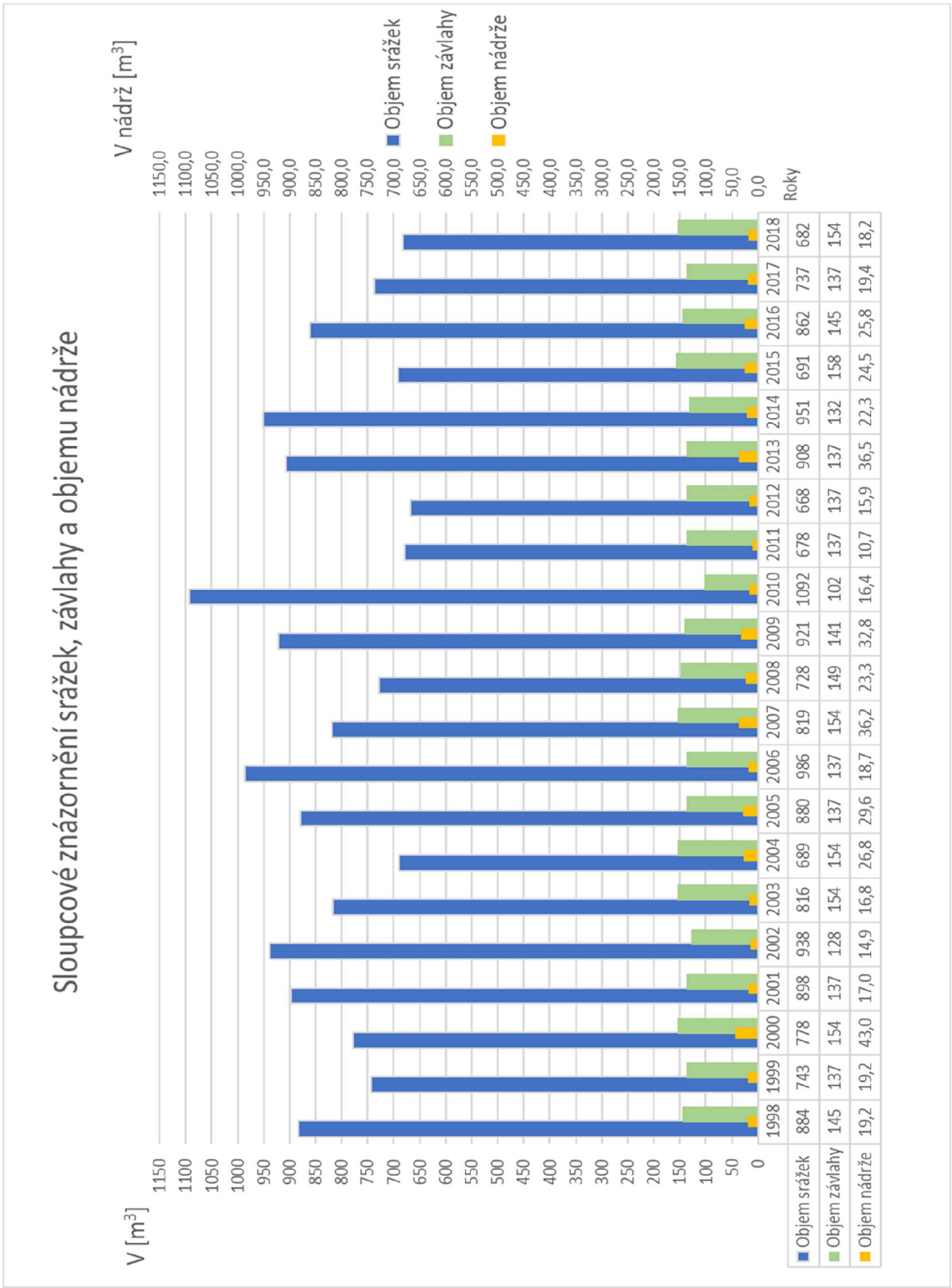
4.3.2 Optimalizace

Tabulka 4.6: Výsledná optimalizace pro povodí 1.1.

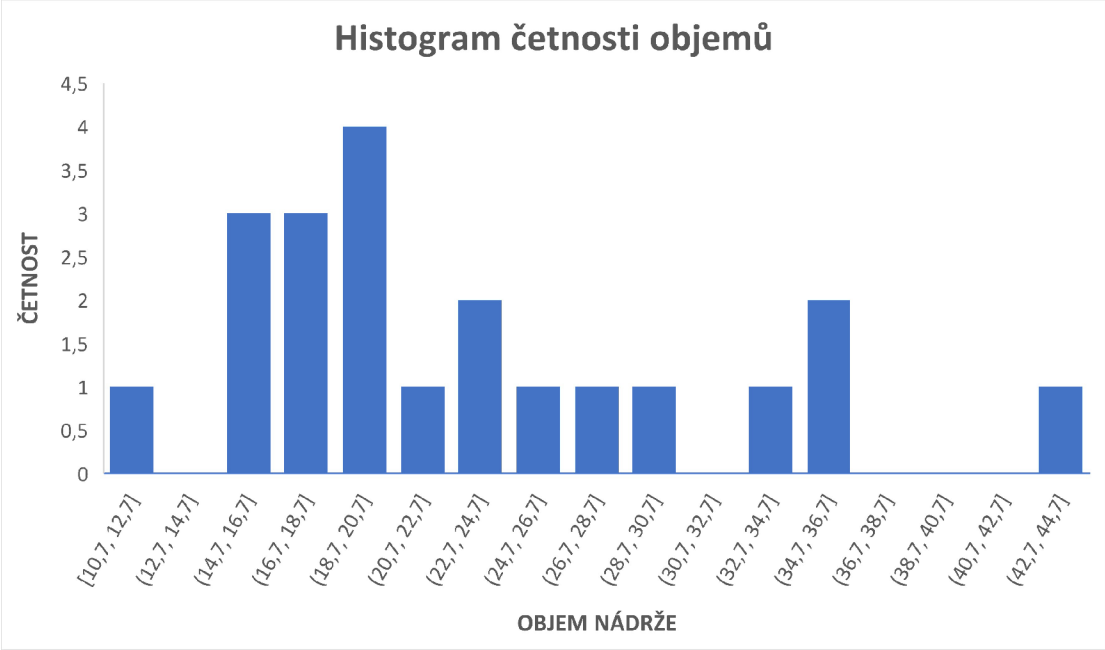
Uživatelská volba objemu nádrže
Vuž **15** m^3

Objem nárže pro max 7 dní bez vody
V_7 22,5 m^3
Objem nárže pro max 14 dní bez vody
V_{14} 13 m^3

	Objem nádrže					Max denní přetečení nádrže
	$V_{100\%}$	$D_{100\%}$		$D_{už}$	P	R	$Q_{UžVsak}$
Roky	[m^3]	[dnů]	Roky	[dnů]	[%]	[%]	[l/s]
1998	19,2	0	1998	0	0,0	100,0	0,8
1999	19,2	0	1999	0	0,0	100,0	0,5
2000	43,0	0	2000	10	5,5	94,5	0,5
2001	17,0	0	2001	0	0,0	100,0	0,8
2002	14,9	0	2002	0	0,0	100,0	0,6
2003	16,8	0	2003	0	0,0	100,0	0,8
2004	26,8	0	2004	3	1,6	98,4	0,3
2005	29,6	1	2005	4	2,2	97,8	0,7
2006	18,7	0	2006	1	0,5	99,5	1,0
2007	36,2	0	2007	7	3,8	96,2	0,6
2008	23,3	0	2008	2	1,1	98,9	0,9
2009	32,8	0	2009	10	5,5	94,5	0,5
2010	16,4	0	2010	0	0,0	100,0	1,4
2011	10,7	1	2011	0	0,0	100,0	0,7
2012	15,9	0	2012	0	0,0	100,0	0,4
2013	36,5	0	2013	5	2,7	97,3	0,9
2014	22,3	0	2014	2	1,1	98,9	0,9
2015	24,5	0	2015	5	2,7	97,3	0,7
2016	25,8	0	2016	2	1,1	98,9	0,8
2017	19,4	0	2017	1	0,5	99,5	0,4
2018	18,2	0	2018	0	0,0	100,0	0,6
Max	**43,0 m^3**	1,0	Max	10,0	$R_{prům}$	98,6 %	Max	1,4
					R_{min}	94,5 %	

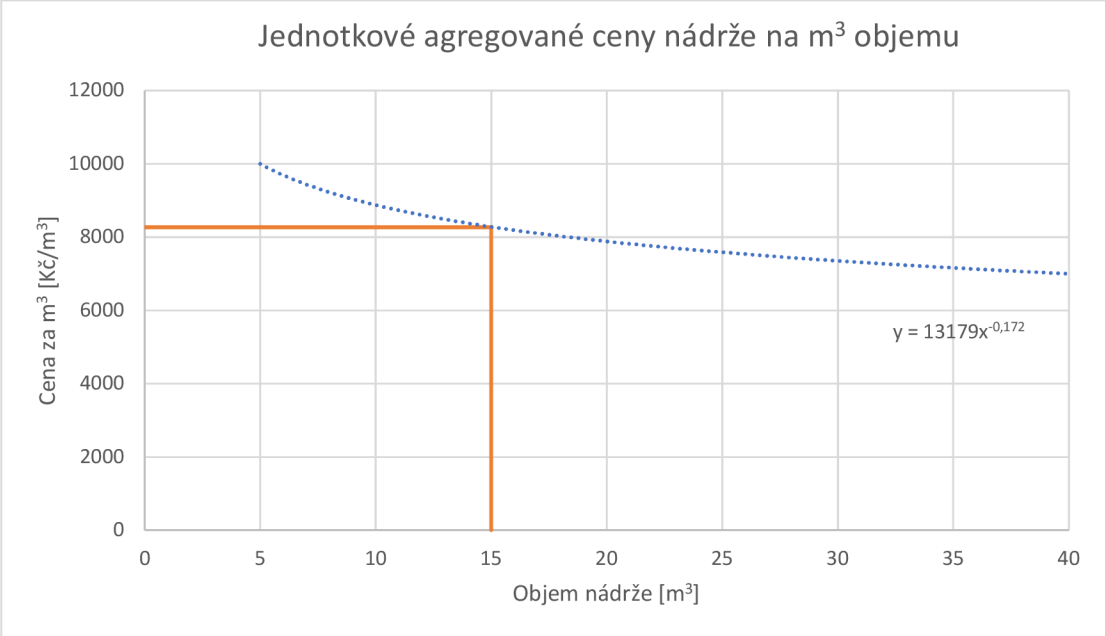


Obrázek 4.13: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže pro povodí 1.1 ZŠ a MŠ Brno-Pastviny.



Obrázek 4.14: Histogram četnosti objemů pro povodí 1.1. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny.

ÚF = min
OP = max 14 dní suchá nádrž



Obrázek 4.15: Graf jednotkové agregované ceny nádrže pro povodí 1.1. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny.

Rovnice	cena za m^3 uživatelské volby objemu nádrže	Celková cena za uživatelský objem nádrže
$y=13179*x^{-0,172}$	[Kč/m^3]	[Kč]
	8 272	124 075

Za použití simulátoru plnění dešťové nádrže, podle údajů z bakalářské práce, se v rozvaze dostáváme na 15 m^3. V bakalářské práci byl vypočítán objem o 20 m^3. Tento objem byl vypočítaný pouze z roku 2017. Všimneme-li si roku 2017 ve výpočtech v diplomové práci, tak se dostáváme na hodnotu 19,4 m^3. Což odpovídá hodnotě z bakalářské práce. Se stejnými vstupními daty si však můžeme dovolit nádrž o objemu 15 m^3, protože z hlediska suchých dnů v nádrži se pouze v rocích 2000 a 2009 dostáváme na 10 suchých dnů, které nepřekračují mezní hodnotu 14 dní. U ostatních let není tak mnoho suchých dnů. Po finanční stránce se dostáváme na 8 272,- Kč za m^3 objemu. Celková cena této nádrže pak vychází na 124 075,- Kč. Tato cena je odhad za stavební práce, usazení nádrže, pořízení nádrže a technologie pro provoz. V ceně není zahrnuta cena závlahového systému a příslušenství potřebná k závlahovému systému.

Pokud však porovnáme tento výpočet se stejnými vstupními daty pro závlahové množství, jako pro městský úřad nebo knihovnu, dostaneme se na hodnotu objemu 4 m^3. Ve stejných rocích 2000 a 2009 se dostáváme na 10 suchých dní v nádrži. Zbylé roky nejsou na suché dny tolik vytížené. Taková výrazná změna objemu nádrže je zapříčiněna převážně snížením velikosti závlahových dávek. Cena této 4 m^3 nádrže vychází na 10 383,- Kč na m^3 objemu. Celková cena nadále vychází 41 533,- Kč. Tato cena je odhad za stavební práce, usazení nádrže, pořízení nádrže a technologie pro provoz. V ceně není zahrnuta cena závlahového systému a příslušenství potřebná k závlahovému systému.

4.3.3 Vstupní údaje v povodí 1.2.

Obrázek 4.16 - ZŠ a MŠ Brno-Pastviny povodí 1.2.

Tabulka 4.7: Zadávací údaje pro optimalizaci v povodí 1.2.

Akce: Optimalizace objemu nádrže
Objekt: ZŠ a MŠ Brno-Pastviny Povodí 1.2.
Objednatel:
Vypracoval, datum: Bc. Jan Školař, 12/2019

Sběr dešťové vody				
Plocha A [m^2]	2)	-	-	-
	1889			
Odtokový součinitel Ψ	**0,9**			
Redukované plochy		A_r	1700,1	[m^2]
Průměrný **roční** objem vody ze zpevněných ploch		V_s	796,56	[m^3]

Potřeba závlahové vody			
Plocha k zavlažování	A_z	**468**	[m^2]
Průměrný potřebný objem závlahové vody za **rok**	V_z	154,66	[m^3]

Závlahová dávka

když naprší [mm]				Závlahová dávka		
Od	0,0	Do	0,5	potom	**10**	mm
Od	0,6	Do	5,0	potom	**10**	mm
Od	5,0	a více		potom	**0**	mm

4.3.4 Optimalizace v povodí 1.2.

Tabulka 4.8: Výsledná optimalizace pro povodí 1.2.

Uživatelská volba objemu nádrže

$V_{už}$ **19** m^3

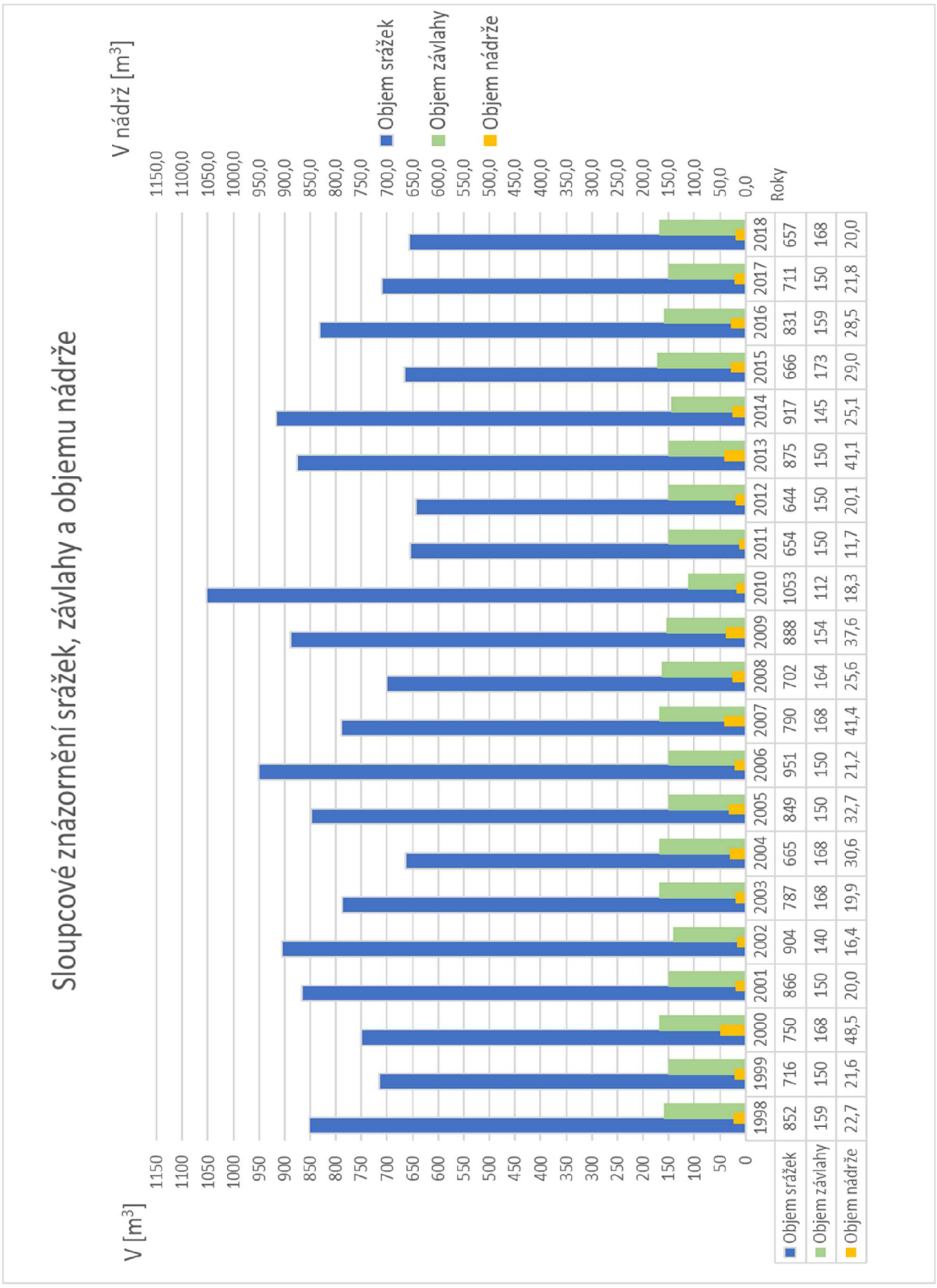
Objem nárže pro max 7 dní bez vody

V_7 25 m^3

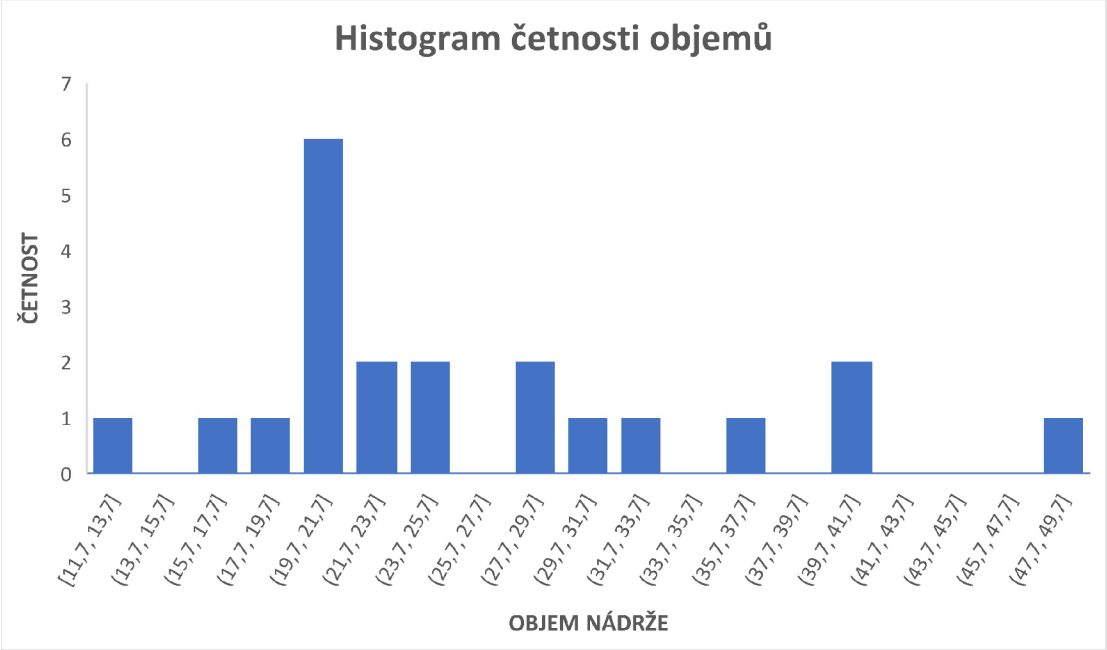
Objem nárže pro max 14 dní bez vody

V_{14} 16 m^3

	Objem nádrže						Max denní přetečení nádrže
	$V_{100\%}$	$D_{100\%}$		$D_{už}$	P	R	$Q_{UžVsak}$
Roky	[m^3]	[dnů]	Roky	[dnů]	[%]	[%]	[l/s]
1998	22,7	0	1998	0	0,0	100,0	0,8
1999	21,6	0	1999	0	0,0	100,0	0,4
2000	48,5	0	2000	10	5,5	94,5	0,5
2001	20,0	0	2001	0	0,0	100,0	0,8
2002	16,4	0	2002	0	0,0	100,0	0,6
2003	19,9	0	2003	0	0,0	100,0	0,8
2004	30,6	0	2004	3	1,6	98,4	0,3
2005	32,7	0	2005	4	2,2	97,8	0,7
2006	21,2	0	2006	1	0,5	99,5	1,0
2007	41,4	0	2007	8	4,4	95,6	0,6
2008	25,6	0	2008	2	1,1	98,9	0,9
2009	37,6	0	2009	10	5,5	94,5	0,5
2010	18,3	0	2010	0	0,0	100,0	1,3
2011	11,7	0	2011	0	0,0	100,0	0,7
2012	20,1	0	2012	0	0,0	100,0	0,4
2013	41,1	0	2013	5	2,7	97,3	0,8
2014	25,1	0	2014	1	0,5	99,5	0,9
2015	29,0	0	2015	5	2,7	97,3	0,7
2016	28,5	0	2016	2	1,1	98,9	0,8
2017	21,8	0	2017	0	0,0	100,0	0,4
2018	20,0	0	2018	0	0,0	100,0	0,6
Max	**48,5 m^3**	0,0	Max	10,0	$R_{prům}$	98,7 %	Max 1,3
					R_{min}	94,5 %	

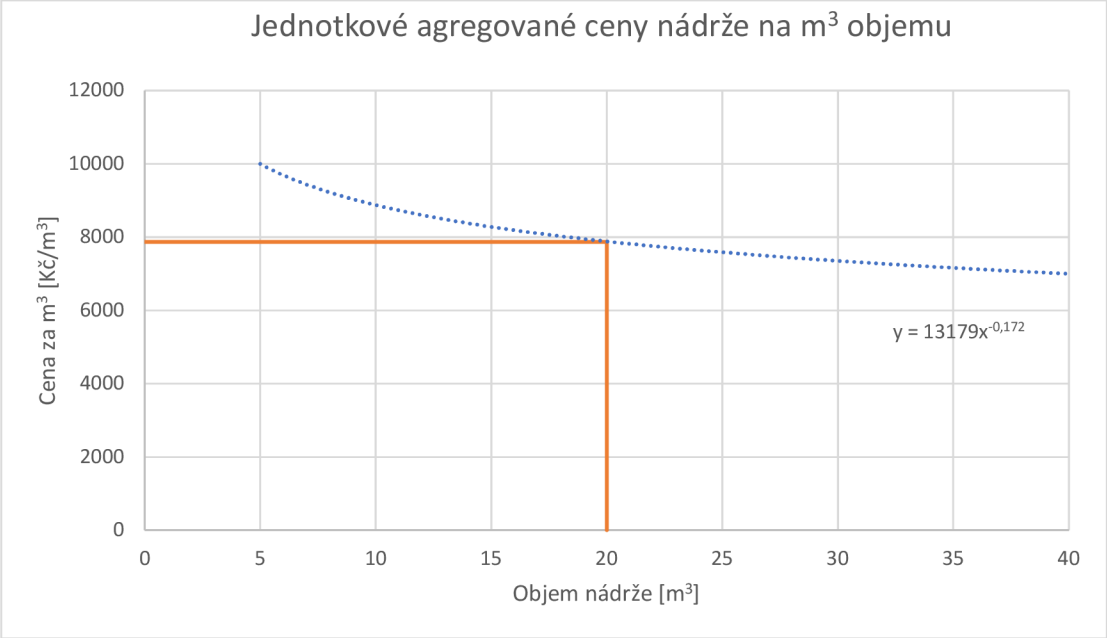


Obrázek 4.17: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže pro povodí 1.2. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny.



Obrázek 4.18: Histogram četnosti objemů pro povodí 1.2. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny.

ÚF = min
OP = max 14 dní suchá nádrž



Obrázek 4.19: Graf jednotkové agregované ceny nádrže pro povodí 1.2.

Rovnice	cena za m^3 uživatelské volby objemu nádrže [Kč/m^3]	Celková cena za uživatelský objem nádrže [Kč]
$y=13179*x^{-0,172}$	7 942	150 900

V povodí 1.2 nám v simulátoru plnění nádrže vychází objem 19 m^3. V bakalářské práci byl vypočítán objem o 22 m^3. Tento objem byl vypočítaný pouze z roku 2017. Všimneme-li si roku 2017 ve výpočtech diplomové práce, tak se dostáváme na hodnotu 21,8 m^3. Což odpovídá hodnotě z bakalářské práce. Se stejnými vstupními daty si však můžeme dovolit nádrž o objemu 19 m^3, protože z hlediska suchých dnů v nádrži se pouze v rocích 2000 a 2009 dostáváme na 10 suchých dnů, které nepřekračují mezní hodnotu 14 dní. U ostatních let není tak mnoho suchých dnů. Po finanční stránce se dostáváme na 7 942,- Kč na m^3 objemu. Celková cena této nádrže pak vychází na 150 900,- Kč. Tato cena je odhad za stavební práce kolem nádrže, usazení nádrže, pořízení nádrže a technologie pro provoz. V ceně není zahrnuta cena závlahového systému a příslušenství potřebná k závlahovému systému.

Pokud však porovnáme tento výpočet se stejnými vstupními daty pro závlahové množství, jako pro městský úřad nebo knihovnu, dostaneme se na hodnotu objemu 4 m^3. Ve stejných rocích 2000 a 2009 a navíc v roce 2005 se dostáváme na 5 suchých dní v nádrži. Zbylé roky nejsou na suché dny tolik vytížené. Taková výrazná změna objemu nádrže je zapříčiněna převážně snížením velikosti závlahových dávek. Cena této 4 m^3 nádrže vychází na 10 383,- Kč na m^3. Celková cena nadále vychází 41 533,- Kč. Tato cena je odhad za stavební práce, usazení nádrže, pořízení nádrže a technologie pro provoz. V ceně není zahrnuta cena závlahového systému a příslušenství potřebná k závlahovému systému.

4.3.5 Vstupní údaje v povodí 1.3

Obrázek 4.20: ZŠ a MŠ Brno-Pastviny povodí 1.3.

Tabulka 4.9: Zadávací údaje pro optimalizaci v povodí 1.3.

Akce: Optimalizace objemu nádrže
Objekt: ZŠ a MŠ Brno-Pastviny Povodí 1.3.
Objednatel:
Vypracoval, datum: Bc. Jan Školař, 12/2019

Sběr dešťové vody				
Plocha A [m^2]	2)	-	-	-
	1520			
Odtokový součinitel Ψ	**0,9**			
Redukované plochy		A_r	1368	[m^2]
Průměrný **roční** objem vody ze zpevněných ploch		V_s	640,96	[m^3]

Potřeba závlahové vody			
Plocha k zavlažování	A_z	**594**	[m^2]
Průměrný potřebný objem závlahové vody za **rok**	V_z	196,30	[m^3]

Závlahová dávka

když naprší [mm]				Závlahová dávka		
Od	0,0	Do	0,5	potom	**10**	mm
Od	0,6	Do	5,0	potom	**10**	mm
Od	5,0	a více		potom	**0**	mm

4.3.6 Optimalizace v povodí 1.3.

Tabulka 4.10: Výsledná optimalizace pro povodí 1.3.

Uživatelská volba objemu nádrže

Vuž **30** m^3

Objem nárže pro max 7 dní bez vody

V_7 42 m^3

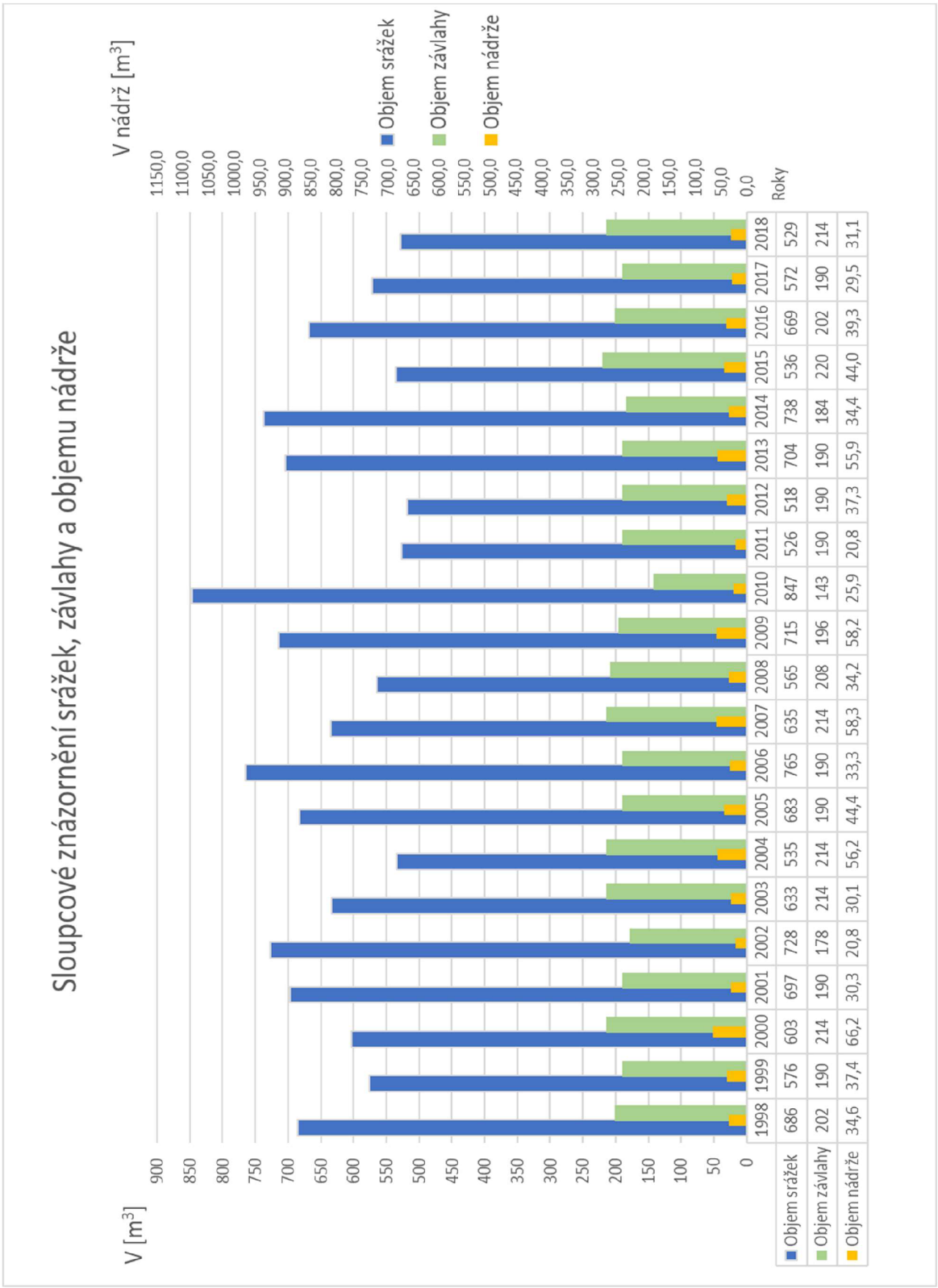
Objem nárže pro max 14 dní bez vody

V_{14} 33 m^3

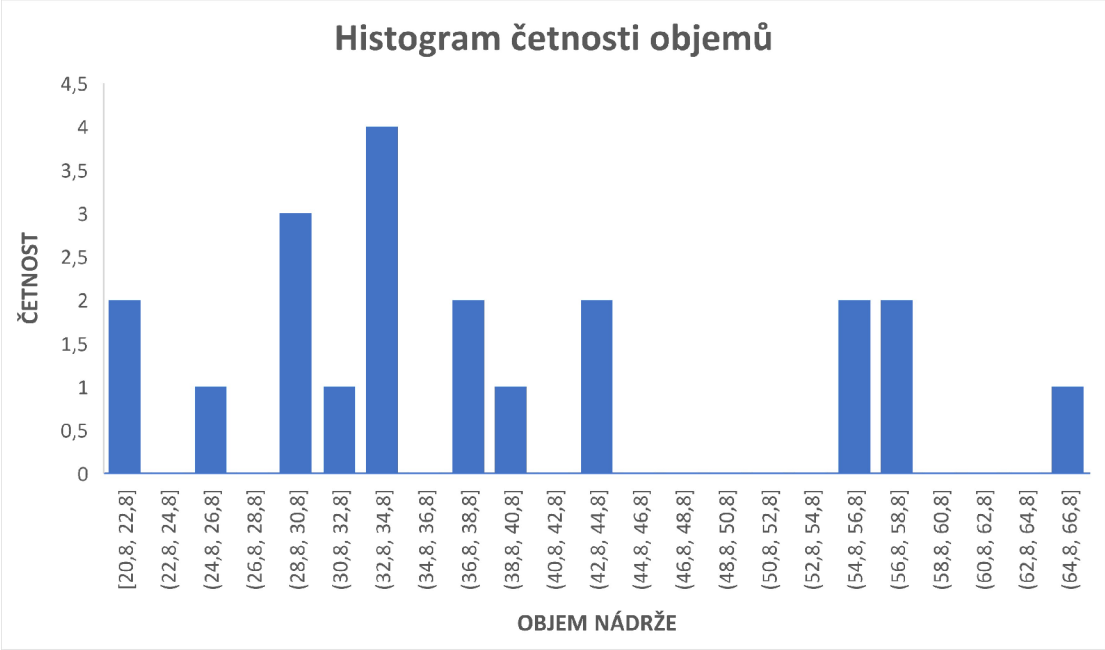
Roky	Objem nádrže $V_{100\%}$ [m^3]	$D_{100\%}$ [dnů]
1998	34,6	0
1999	37,4	0
2000	66,2	0
2001	30,3	0
2002	20,8	0
2003	30,1	0
2004	56,2	0
2005	44,4	0
2006	33,3	0
2007	58,3	0
2008	34,2	0
2009	58,2	0
2010	25,9	0
2011	20,8	0
2012	37,3	0
2013	55,9	0
2014	34,4	0
2015	44,0	0
2016	39,3	0
2017	29,5	0
2018	31,1	0
Max	**66,2 m^3**	0,0

Roky	$D_{už}$ [dnů]	P [%]	R [%]
1998	0	0,0	100,0
1999	1	0,5	99,5
2000	17	9,3	90,7
2001	0	0,0	100,0
2002	0	0,0	100,0
2003	0	0,0	100,0
2004	10	5,5	94,5
2005	3	1,6	98,4
2006	1	0,5	99,5
2007	7	3,8	96,2
2008	0	0,0	100,0
2009	14	7,7	92,3
2010	0	0,0	100,0
2011	0	0,0	100,0
2012	1	0,5	99,5
2013	4	2,2	97,8
2014	0	0,0	100,0
2015	6	3,3	96,7
2016	1	0,5	99,5
2017	0	0,0	100,0
2018	0	0,0	100,0
Max	17,0	$R_{prům}$	98,3 %
		R_{min}	90,7 %

Max denní přetečení nádrže $Q_{UžVsak}$ [l/s]
0,7
0,3
0,4
0,5
0,5
0,6
0,2
0,5
0,8
0,5
0,7
0,4
1,0
0,5
0,3
0,7
0,7
0,5
0,7
0,3
0,5
Max 1,0

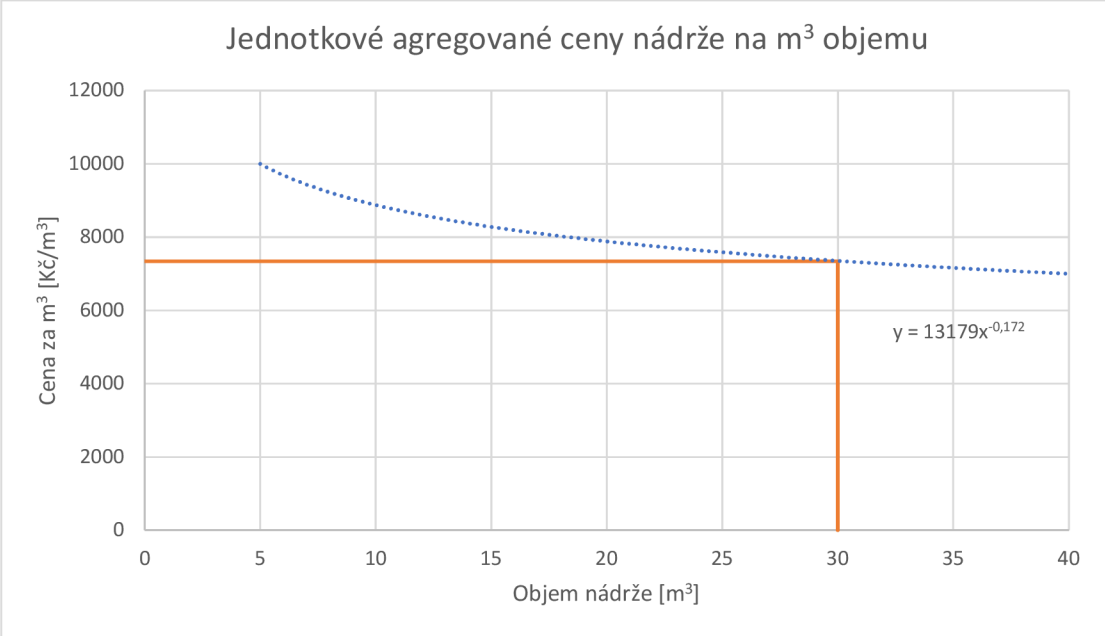


Obrázek 4.21: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže pro povodí 1.3. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny.



Obrázek 4.22: Histogram četnosti objemů pro povodí 1.3. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny.

ÚF = min
OP = max 14 dní suchá nádrž



Obrázek 4.23: Graf jednotkové agregované ceny nádrže pro povodí 1.3.

Rovnice	cena za m^3 uživatelské volby objemu nádrže	Celková cena za uživatelský objem nádrže
$y=13179*x^{-0,172}$	[Kč/m^3]	[Kč]
	7 342	220 262

V povodí 1.3 nám v simulátoru plnění nádrže vychází objem 30 m^3. V bakalářské práci jsem vypočítal objem 30 m^3. Tento objem byl vypočítaný pouze z roku 2017. Všimneme-li si roku 2017 ve výpočtech diplomové práce, tak se dostáváme na hodnotu 29,5 m^3. Což odpovídá hodnotě z bakalářské práce. Se stejnými vstupními daty je potřeba navrhnout tedy 30 m^3 objemu, protože z hlediska suchých dnů v nádrži se pouze v roce 2000 dostáváme nad hodnotu 14 suchých dnů, avšak pozemek na zavlažování není natolik významný, proto si můžeme dovolit 14. denní hranici překročit. V roce 2009 se dostáváme na hranici 14 suchých dnů což ale nepřekračuje mezní hodnotu a zbylé roky nejsou tolik zatížené tolika suchými dny. Po finanční stránce se dostáváme na 7 342,- Kč na m^3. Celková cena této nádrže pak vychází na 220 262,- Kč. Tato cena je odhad za stavební práce, usazení nádrže, pořízení nádrže a technologie pro provoz. V ceně není zahrnuta cena závlahového systému a příslušenství potřebná k závlahovému systému.

Pokud však porovnáme tento výpočet se stejnými vstupními daty pro závlahové množství, jako pro městský úřad nebo knihovnu, dostaneme se na hodnotu objemu 5 m^3. Ve roce 2000 se dostávám na 10 suchých dnů v nádrži a v roce 2007 se dostáváme jen na 8 suchých dní v nádrži. Zbylé roky nejsou na suché dny tolik vytížené. Taková výrazná změna objemu nádrže je zapříčiněna převážně snížením velikosti závlahových dávek. Cena této 5 m^3 nádrže vychází na 9 992,- Kč na m^3. Celková cena nadále vychází 49 961,- Kč. Tato cena je odhad za stavební práce, usazení nádrže, pořízení nádrže a technologie pro provoz. V ceně není zahrnuta cena závlahového systému a příslušenství potřebná k závlahovému systému.

5 DISKUZE A ZÁVĚR

Jsme obklopeni zprávami, které hovoří o současném stavu sucha a následcích, které mohou nastat. Jedinou možností, jak se suchem bojovat, je navrátit přirozený režim přírodě v urbanizovaném území a žít v souladu s přírodou. Musíme si uvědomit, že přírodě se nedá poručit, a i když si myslíme, že jsme nejchytřejší bytosti na planetě, řadíme se přeci jen mezi další druhy obývající tuto planetu. Je mnoho věcí, které by bez lidské inteligence nebylo vymyšleno, ale příroda tu byla dříve než člověk a tohle bychom si měli uvědomit vždy, když budeme tvořit další nesmyslné zákony a stavby, které budou ničit přírodní zvyklosti. Můžeme být moderní a na vysokém technologickém levelu, ale musíme si uvědomit, že žádný robot ani betonová zeď, nenahradí přírodu jako takovou. Dle mého soudu můžeme býti na vysoké životní úrovni, právě tehdy, uvědomíme-li si, že příroda je tu pro nás, a ne my pro ni. Když se naučíme budovat společnost, která bude využívat přírodní zvyklosti, vrátí nám to příroda mnohem větším darem, než kterými mohou být ekonomické přínosy. Dar života je přeci ten nejlepší dar, který nám byl dán. Měli bychom se poučit ze zapomenuté historie, když lidé žili v souladu s přírodou a přírodními zákony. Rekonstruovat a revitalizovat urbanizované území tak, aby urbanizace byla blízká přírodě, čemuž právě může napomoct i zmiňované decentralizované nakládání se srážkovými vodami.

Tato práce popisuje decentralizované nakládání se srážkovými vodami a bere v potaz, jak přírodě blízká koncepce může napomoct lidské společnosti. Výpočetní nástroj pro rozhodování, jak velký objem nádrže zvolit, byl sestrojen pro potřebu závlahy zelených ploch. Díky předešlé bakalářské práci se ukázalo, že není smysluplné navrhovat objem nádrže pro zálivku na jeden rok. Tento výpočetní nástroj využívá 21. letou řadu denních srážek z měřící stanice Brno – Tuřany. Bylo také vysledováno, že v této řadě se projevily tři roky jako nadprůměrně suché. Tyto roky pak ovlivňují výsledek většími nádržemi, než jsou v průměrných letech. Proto lze uvažovat, že nádrž vydrží 7 až 14 dní bez vody za vegetační období (183 dní). Otázkou je, jestli by nešlo uvažovat s menší spolehlivostí, než je 7 až 14 dní bez vody. Jaký by to mělo vliv na zavlažované území? Je zde potřeba opět podotknout, že 14 dní bez vody ve výpočtech neznamená po sobě jdoucích 14 dní, ale 14 dní za 183 dní vegetačního období. Je tedy otázkou, jestli by bylo stále únosné, kdyby systém neměl vodu například 21 dní nebo 28 dní. Co by to znamenalo pro zavlažované území?

Je nutné vykomunikovat s investorem (uživatelem) co je schopný akceptovat. Kolik dní může být bez vody, kolik je schopný investovat do nádrže a jakou závlahovou dávkou bude chtít zavlažovat. Tyto parametry ovlivňují volbu nádrže a je na zvážení, jak k těmto parametrům přistupovat.

Také musíme připomenout stanovení závlahové dávky experimentem, který jsem v roce 2019 absolvoval. Pro obyčejného uživatele trávníku, mi totiž přišlo zbytečné, čerpat větší množství vody, jak jsem se dočítal u firem, které dělají závlahové systémy. Experimentem jsem dokázal, že tráva se ujala i v extrémně teplém měsíci srpen. I Když byla zalévána menším množstvím vody, než je uvedeno v různých článcích zabývajícími se zavlažováním trávníků. Tímto problémem se zabývám dlouhodobě a všímám si, že obyčejní uživatelé závlahového

systému, často nerespektují pokyny závlahových firem a jejich trávník nevykazuje známky nereprezentativní plochy u jejich nemovitostí.

Praktická část této diplomové práce zahrnovala studie optimalizace nádrže pro tři budovy ve vlastnictví městské části Brno – Komín. Jednalo se o objekty Městská knihovna Brno – Komín, Městský úřad Brno – Komín a ZŠ a MŠ Brno Pastviny. Jelikož na základní škole byla vypracována bakalářská práce na stejné téma, bylo provedeno srovnání velikosti nádrží jak z bakalářské práce, tak z diplomové práce. V diplomové práci byla základní škola počítána se stejnými vstupními daty jako v bakalářské práci a následně s daty, které byly využity pro výpočet objemu nádrže u městské knihovny a městského úřadu.

Na závěr této práce bych chtěl poděkovat především Ing. Janu Ručkovi, PhD. a Ing. Milanu Uhrovi, kteří mi byli nápomocní a ve slepých výpočtových bodech mi pomohli dostat se na správnou cestu.

6 POUŽITÁ LITERATURA

[1] STRÁNSKÝ, David. *Srážkové vody a urbanizace krajiny: TP 1.20.1 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2012. Metodické a technické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. ISBN 978-80-87438-28-2.

[2] ŽABIČKA, Zdeněk a Karel VRÁNA. *Hospodaření se srážkovou vodou v nemovitostech: TP 1.20 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2011. Metodické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. ISBN 978-80-87438-14-5.

[3] *Hospodaření s dešťovou vodou v ČR*. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2015. ISBN 978-80-260-7815-9.

[4] Evropský parlament, Rada Evropské unie. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. *EUR LEX Access to European Union law* [online]. 2000, 23.10.2000 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32000L0060&from=CS

[5] Jan Školař *Nakládání se srážkovými vodami v areálu ZŠ a MŠ Brno-Pastviny.* Brno, 2018. 61 s., 17 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

[6] *Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR v roce 2018*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2019, 142 s. ISBN 978-80-7434-523-4. Dostupné také z: http://eagri.cz/public/web/file/640731/Modra_zprava_2018_web.pdf

[7] BRÁZDIL, Rudolf a Miroslav TRNKA. *Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost*. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, 2015. ISBN 978-80-87902-11-0.

[8] Monitoring sucha: Sucho. *Český hydrometeorologický Ústav* [online]. [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#

[9] DUFKA, Jaroslav a Zdeňka DŘEVOJÁNKOVÁ. Srážkové vody - 2. část. *TOPIN* [online]. Praha: Topin Media, 2017, 14.12.2017, **2017**(7) [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: http://www.topin.cz/clanky/srazkove-vody-2-cast-detail-3106

[10] WOODS BALLARD, Bridget, Steve WILSON, Helen UDALE-CLARKE, Sue ILLMAN, Tamasine SCOTT a ASHLEY ASHLEY. *The SuDS manual* [online]. London, UK: CIRIA, 2015 [cit. 2019-12-09]. ISBN 978-0-86017-760-9. Dostupné z: http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf

[11] TNV 75 9011 HOSPODAŘENÍ SE SRÁŽKOVÝMI VODAMI: ODVĚTVOVÁ TECHNICKÁ NORMA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ. 2013.

[12] *ČSN 75 9010: Vsakovací zařízení srážkových vod*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

[13] City of Philadelphia Green Streets Design Manual. Philadelphia, 2014.

[14] DOSTAL, Pavel, Jan MACHÁČ, Lenka DUBOVÁ a Jiří LOUDA. *ZELENÉ STŘECHY: ZPŮSOBY SYSTÉMOVÉ PODPORY VÝSTAVBY ZELENÝCH STŘECH*. Brno: Svaz zakládání a údržby zeleně, 2017.

[15] Využití dešťovky: Jak ekonomicky hospodařit v domácnosti s vodou. *Týden.cz* [online]. 2019, 12.07.2019 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: https://www.tyden.cz/rubriky/domaci/jak-ekonomicky-hospodarit-v-domacnosti-s-vodou_527130.html?showTab=diskutovane

[16] JONÁŠEK, Josef. Vsakovací systém dešťové vody Stormbox od Pipelife Czech. *IMaterialy* [online]. 2019, 2. 10. 2019 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/informace-vyrobcu/vsakovaci-system-destove-vody-stormbox-od-pipelife-czech_47318.html

[17] Nine Acre L.A. Parking Lot Transformed into Pollution-Reducing Wetlands. *Inhabitat* [online]. 2012, 23.02.2012 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: https://inhabitat.com/nine-acre-l-a-parking-lot-transformed-into-a-pollution-reducing-wetland/

[18] *Plán hlavních povodí České republiky*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2007. ISBN 978-80-7084-632-2.

[19] *Politika územního rozvoje České republiky, ve znění Aktualizace č. 1*. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2015. ISBN 978-80-7538-006-7.

[20] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 183/2006 Sb.: Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Správní právo*. 2006, 63/2006, č.183. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183

[21] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 499/2006 Sb.: Vyhláška o dokumentaci staveb. In: *Správní právo*. 2006, 163/2006, č.499. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-499

[22] Podle jakého zákona je povinnost hospodaření s dešťovou vodou definována pro stavebníky? *Počítáme s vodou* [online]. ©2019 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: https://www.pocitamesvodou.cz/otazky-a-odpovedi/13-podle-jakeho-zakona-je-povinnost-hospodareni-s-destovou-vodou-definovana-pro-stavebniky/

[23] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 501/2006 Sb.: Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území. In: *Správní právo*. 2006, 163/2006, číslo 501. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-501

[24] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 268/2009 Sb.: Vyhláška o technických požadavcích na stavby. In: *Správní právo*. 2009, 81/2009, číslo 268. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268

[25] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 274/2001 Sb.: Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Správní právo*. 2001, 104/2001, číslo 274. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274

[26] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Správní právo*. 2001, 98/2001, číslo 254. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254

[27] O závlahových systémech: Kolik vody na závlahu. *Hunter Závlahové systémy* [online]. IRIMON, spol. s r.o., 2019 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: https://zavlahy.irimon.cz/clanek_kolik_vody_na_zavlahu

[28] Garden Servis. *Garden Servis* [online]. Opava: Zajícová Garden servis, 2020 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: https://www.gardenservis-zajicova.cz/obchod/okrasne-travni-smesi/hristni-smes-roznovska-25-kg/

[29] Kambizem. *Wikipedie* [online]. 8. 4. 2019 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kambizem

[30] Osobní předání informací s Ing. Milanem Uhrem, majitelem firmy Dafra s.r.o.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1: Typické znečištění na různých typech ploch [1, 11]. 16
Tabulka 2.2: Klasifikace znečištění srážkového odtoku [1, 11]. 17
Tabulka 2.3: Způsob čištění srážkových vod při vsakování a účinnost pro různé druhy znečištění [1, 11]. 18
Tabulka 2.4: Způsoby čištění srážkových vod při zaústění do povrchových vod a účinnost pro různé druhy znečištění [1, 11]. 19
Tabulka 2.5: Součinitele odtoku srážkových povrchových vod (Ψ) [12]. 23
Tabulka 3.1: Potřeba vody a interval závlahy dle denní teploty pro vzrostlý trávník [27]. 48
Tabulka 3.2: Součinitele odtoku srážkových povrchových vod (Ψ) [12]. 51
Tabulka 3.3: Vstupní měněné hodnoty pro výpočet objemu dešťové vody. 52
Tabulka 3.4: Vstupní měněné hodnoty pro výpočet potřeby objemu závlahové vody. 53
Tabulka 3.5: Konečná tabulka s výsledky optimalizace. 56
Tabulka 4.1: Zadávací údaje pro optimalizaci MK Brno-Komín. 60
Tabulka 4.2: Výsledná optimalizace pro MK Brno-Komín. 61
Tabulka 4.3: Zadávací údaje pro optimalizaci MÚ Brno-Komín. 65
Tabulka 4.4: Výsledná optimalizace pro MÚ Brno-Komín. 66
Tabulka 4.5: Zadávací údaje pro optimalizaci v povodí 1.1. 70
Tabulka 4.6: Výsledná optimalizace pro povodí 1.1. 71
Tabulka 4.7: Zadávací údaje pro optimalizaci v povodí 1.2. 75
Tabulka 4.8: Výsledná optimalizace pro povodí 1.2. 76
Tabulka 4.9: Zadávací údaje pro optimalizaci v povodí 1.3. 80
Tabulka 4.10: Výsledná optimalizace pro povodí 1.3. 81

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1: Průměrné měsíční teploty vzduchu na území ČR v roce 2018 ve srovnání s normálem 1981—2010 [6]. 11

Obrázek 2.2: Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2018 [6]. 11

Obrázek 2.3: Odchylka průměrné roční teploty vzduchu v roce 2018 od normálu 1981–2010 [6]. 12

Obrázek 2.4: Průměrné měsíční srážky na území ČR v roce 2018 ve srovnání s normálem 1981–2010 [6]. 12

Obrázek 2.5: Úhrn srážek v procentech normálu 1981–2010 v roce 2018 [6]. 13

Obrázek 2.6: Procentuální zastoupení odtoků podle procenta nepropustné plochy [1]. 14

Obrázek 2.7: Koloběh vody. 15

Obrázek 2.8: Nezpevněný povrch s enviromentálním a společenským využitím [10]. 20

Obrázek 2.9: Schéma propustného betonu [13]. 21

Obrázek 2.10: Schéma porézního asfaltu [13]. 21

Obrázek 2.11: Schéma propustné dlažby [13]. 21

Obrázek 2.12: Schéma ochlazení vegetační střechy v letních měsících. 21

Obrázek 2.13: Zelená střecha na škole Sharrow v Sheffieldu [10]. 22

Obrázek 2.14: Schéma využití srážkových vod v domácnosti [15]. 23

Obrázek 2.15: Schéma plošného vsakování [11]. 24

Obrázek 2.16: Schéma vsakovacího průlehu [11]. 25

Obrázek 2.17: Schéma vsakovací nádrže [11] 25

Obrázek 2.18: Schéma vsakovací rýhy s povrchovým plošným přítokem [11]. 26

Obrázek 2.19: Vsakovací boxy Stormbox II [16]. 26

Obrázek 2.20: Betonová vsakovací šachta [13]. 27

Obrázek 2.21: Schéma vsakovacího průlehu-rýhy s regulovaným odtokem [11]. 27

Obrázek 2.22: Schéma vsakovací rýhy s podpovrchovým přítokem a regulovaným odtokem [11]. 28

Obrázek 2.23: Schéma poldru [11]. 29

Obrázek 2.24: Schéma retenční dešťové nádrže se zásobním prostorem [11]. 30

Obrázek 2.25: Model uměle vytvořeného mokřadu Wetland Park v jižním Los Angeles [17]. 31

Obrázek 2.26: Stormwater planter [13]. 38

Obrázek 2.27: Stormwater Bump-out [13]. 39

Obrázek 2.28: Stormwater Bump-out v praxi [13]. 39

Obrázek 2.29: Stormwater Tree Trench [13]. 40

Obrázek 2.30: Stormwater Tree Trench na Ben Franklin Parkway ve Philadelphii v praxi [13]. 40
Obrázek 2.31: Green Gutter [13]..... 41
Obrázek 2.32: Green Gutter v praxi [13]. 41
Obrázek 2.33: Příklad topologie malé rezidentní výstavby s prvky hospodaření se srážkovými vodami [10]. 42
Obrázek 2.34: Příklad kombinace prvků pro hospodaření se srážkovými vodami [10]. 43
Obrázek 2.35: Rozdělení užitků mezi investora a celou společnost [14]..... 43
Obrázek 2.36: Členění užitků do 4 základních kategorií [14]..... 44
Obrázek 2.37: čtvrť Bothfelder v německém Hannoveru [14]. 44
Obrázek 2.38: Úschovna kol v Londýně [10]. 45
Obrázek 2.39: Autobusová zastávka v Londýně. 45
Obrázek 3.1: Graf součtových čar pro rok 1998. 47
Obrázek 3.2: Graf součtových čar pro rok 2018. 47
Obrázek 3.3: Začátek experimentu..... 49
Obrázek 3.4: Výsledek experimentu. 49
Obrázek 3.5: Nezavlažované a neupravené okolí experimentální plochy na konci experimentu. 50
Obrázek 3.6: Histogram četnosti objemů v nádrži. 56
Obrázek 3.7: Graf součtových čar pro rok 1999. 57
Obrázek 3.8: Graf jednotkové agregované ceny nádrže 58
Obrázek 4.1: MK Brno-Komín. 59
Obrázek 4.2: MK Brno-Komín terénní průzkum. 59
Obrázek 4.3: Pohled na potenciální plochu k zavlažení MK Brno-Komín. 60
Obrázek 4.4: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže u městské knihovny... 62
Obrázek 4.5: Histogram četnosti objemu nádrží u městské knihovny. 63
Obrázek 4.6: Graf jednotkové agregované ceny nádrže u městské knihovny. 63
Obrázek 4.7: MÚ Brno-Komín. 64
Obrázek 4.8: MÚ Brno-Komín osobní průzkum. 65
Obrázek 4.9: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže pro MÚ Brno-Komín. 67
Obrázek 4.10: Histogram četnosti objemů pro MÚ Brno-Komín..... 68
Obrázek 4.11 - Graf jednotkové agregované ceny nádrže pro MÚ Brno – Komín 68
Obrázek 4.12: ZŠ a MŠ Brno-Pastviny povodí 1.1..... 69
Obrázek 4.13: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže pro povodí 1.1 ZŠ a MŠ Brno-Pastviny..... 72
Obrázek 4.14: Histogram četnosti objemů pro povodí 1.1. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny. 73

Obrázek 4.15: Graf jednotkové agregované ceny nádrže pro povodí 1.1. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny. 73

Obrázek 4.16 - ZŠ a MŠ Brno-Pastviny povodí 1.2..... 74

Obrázek 4.17: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže pro povodí 1.2. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny..... 77

Obrázek 4.18: Histogram četnosti objemů pro povodí 1.2. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny. 78

Obrázek 4.19: Graf jednotkové agregované ceny nádrže pro povodí 1.2. 78

Obrázek 4.20: ZŠ a MŠ Brno-Pastviny povodí 1.3..... 79

Obrázek 4.21: Sloupcové znázornění srážek, závlahy a objemu nádrže pro povodí 1.3. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny..... 82

Obrázek 4.22: Histogram četnosti objemů pro povodí 1.3. ZŠ a MŠ Brno-Pastviny. 83

Obrázek 4.23: Graf jednotkové agregované ceny nádrže pro povodí 1.3. 83

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

V_s .....Průměrný roční objem vody ze zpevněných ploch [m^3]

S.....Velikost denní srážky [mm]

A_i .....Skutečná zpevněná plocha [m^2]

ψ_i .....Odtokový součinitel srážkových vod [-]

A_r .....Redukovaná plocha zpevněných ploch [m^2]

N .....Počet zkoumaných let [-]

A_z.....Plocha k zavlažování [m^2]

Vz .....Průměrná potřebná roční závlahová dávka [m^3]

V_{zi} .....Objem závlahové dávky za rok [l]

$\sum Zi$.....Nasčítané závlahové dávky za rok [$l \cdot m^{-2}$]

$V_{100\%}$ .....Roční objem nádrže pro nulový počet suchých dnů [m^3]

$V_{100\%max}$ .....Maximální objem nádrže pro nulový počet suchých dnů [m^3]

$D_{100\%}$.....Počet suchých dnů v nádrži v každém roce [-]

$V_{už}$ .....Zvolený objem nádrže uživatelem [m^3]

$D_{uži}$.....Počet suchých dnů v uživatelské nádrži v každém roce [-]

P_i.....Pravděpodobnost nedostatku vody pro zálivku v každém roce [%]

P_{max} .....Pravděpodobnost nedostatku vody v nejsušším roce [%]

R_i .....Spolehlivost zajištění vody pro zálivku v daném roce [%]

R_{min} .....Spolehlivost zajištění vody v nejsušším roce [%]

$R_{prům}$.....Průměrná spolehlivost zajištění vody pro zálivku [%]

$Q_{UžVsak}$ .....Návrhový vsakovací průtok [$l \cdot s^{-1}$]

ZŠ .....Základní škola

MŠ .....Mateřská škola

MK .....Městská knihovna

MÚ .....Městský úřad

ČSN .....označení pro českoou technickou normu

ČSN EN .....označení pro převzatou evropskou normu

TNV.....označení pro českou odvětvovou normu

Cca .....přibližně

m^3 .....jednotka objemu – metr krachlový

m^2 ..... jednotka plochy – metr čtvereční

m..... jednotka délky – metr

l..... jednotka objemu – litr

$l \cdot s^{-1}$ ..... jednotka průtoku – litr za sekundu

%..... procento

SUMMARY

We are surrounded by reports that talk about the current state of drought and the consequences that may occur. The only way to fight drought is to return the natural regime to nature in an urbanized area and live in harmony with nature. We have to realize that nature cannot be commanded, and although we think we are the smartest beings on the planet, we are still only one of species inhabiting the planet. There are many things that would not have been invented without human intelligence, but nature was there before man, and we should realize this whenever we create other nonsensical laws and buildings that will destroy natural habits. We can be modern and at a high technology level, but we have to realize that no robot or concrete wall will replace nature itself. In my judgment, we can be at a high standard of living, only when we realize that nature is here for us, not the other way around. If we learn to build a society that uses natural habits, nature will give us a much greater gift than the economic benefits. After all, the gift of life is the best gift we have been given. We should learn from forgotten history when people lived in harmony with nature and the laws of nature. We should learn from forgotten history when people lived in harmony with nature and its laws. Reconstruct and revitalize the urbanized area so that urbanization is close to nature, which can also be aided by the above-mentioned decentralized rainwater management.

This work describes the decentralized management of rainwater and it takes into acount how a nature-friendly concept can help human society. The calculation tool for deciding how voluminous tank to choose was constructed for the irrigation of green areas. Thanks to the previous bachelor thesis, it turned out that it is not meaningful to design the reservoir volume for one year. This calculation tool uses the 21-year series of daily rainfall from the Brno-Tuřany measuring station. It was also observed that in this series three years appeared above-average dry. These years affect the result by larger tanks than in average years. Therefore, it can be assumed that the tank will last 7 to 14 days without water for the growing season (183 days). The question is whether it would be possible to consider the reliability of a tank less than 7 to 14 days without water. How would this affect the irrigated area? It should be noted again that 14 days without water in calculations does not mean consecutive 14 days, but 14 days in 183 days of the growing season.Ttherefore it is a question whether it would be acceptable if the system did not have water, for example, for 21 days or 28 days. What would this mean for irrigated area?

It is necessary to communicate with the investor (user) what he is able to accept. How many days he can be without water, how much is he able to invest in a tank and what irrigation dose he will want to irrigate. These parameters affect the choice of the tank and it is up to you to consider how to access these parameters.

We must also recall the determination of the irrigation dose by the experiment that I took in 2019. For an ordinary lawn user, I found it unnecessary to draw as much water, as I read in documentation of companies that create irrigation systems. By experiment, I proved that the grass took hold in the extremely warm month August even whenit was watered with less amount ot water than it is mentioned in the various articles dealing with lawn irrigation. I have been dealing with this problem for a long time and note that ordinary users of irrigation systems often

do not respect the instructions of irrigation companies and yet their lawn does not show signs of unrepresentative area in their properties.

The practical part of this thesis included a study of the optimization of the tank for three buildings owned by the city district Brno-Komín. These were the objects of the Municipal Library of Brno-Komín, the Municipal Office of Brno-Komín and the elementary school and kindergarten Brno Pastviny. Since the bachelor thesis on the same topic was elaborated at the elementary school, the tank size comparison was made from both the bachelor thesis and the diploma thesis. In the diploma thesis, the elementary school counted with the same input data as in the bachelor thesis and subsequently with the data that were used to calculate the tank volume at the municipal library and the municipal authority.

In conclusion, I would like to thank Ing. Jan Ručka, PhD. and Ing. Milan Uher, who helped me get the right track at blind calculation points.