



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**NOVÁ KONCEPCE VELKOPLOŠNÝCH ZÁVLAHOVÝCH
SYSTÉMŮ**

NEW CONCEPT OF LARGE-AREA IRRIGATION SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marcela Pírková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Simona Fialová, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Bc. Marcela Pírková**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Fluidní inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Simona Fialová, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Nová koncepce velkoplošných závlahových systémů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem diplomové práce bude studium velkoplošných závlahových systémů, popis jejich funkce a zhodnocení jednotlivých variant. Jedna z vybraných variant bude podrobněji zpracována pro zvolenou lokalitu.

Cíle diplomové práce:

Diplomant provede analýzu územního plánu vybrané lokality, navrhne možná místa pro umístění sběrných míst dešťové vody, její skladování a rozvod k vybraným plochám zeleně. Navrhne síť rozvodů vody s co nejmenšími ztrátami a doplní o rozvahu, kde lze zeleň rozšířit a snadno spravovat. Součástí práce bude výběr vhodných materiálů pro vedení vody a skladovací prostory s ohledem na historickou hodnotu vybraných míst pro vodojem. Vyhodnotí nejlepší variantu závlahového systému pro danou lokalitu.

Seznam doporučené literatury:

BRDIČKA, M., SAMEK, L. a SOPKO, B. Mechanika kontinua, AVČR, ISBN 80-200-0772-5, 2000.

PEJOVIC, S., BOLDLY, A. P. Guidelines to hydraulic transient analysis of pumping systems, P&B Press, ISBN 86-901327-1-7, 1992.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřená na velkoplošnou závlahu vsazenou do městské krajiny. Hlavním cílem se stává nalezení nové koncepce velkoplošné závlahy s využitím minimem přidané elektrické energie. Systém je cílen na zpracování dešťové vody, která se v osídlených oblastech odvádí do veřejného kanalizačního řadu. Součástí práce je analýza územního plánu zvolené lokality, návrh celého systému od akumulace sesbírané vody po distribuci zálivky do kořenové zóny rostlin. V praktické části je navržená rozvodná síť vypočtena dle současných využívaných vztahů s upřesněním vhodného průměru potrubní. Navíc práce navrhuje případné lokality pro novou výsadbu zeleně.

Klíčová slova

Velkoplošná závlaha, hospodaření s dešťovou vodou, městská závlaha, potrubní síť

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on a large-scale irrigation embedded in the urban landscape. The main goal is to find a new concept of the large-scale irrigation system using a minimum of added electrical energy. The system is aimed at rainwater harvesting and distribution in populated areas. Part of the work is the analysis of the zoning plan of the selected locality, the design of the entire system from the accumulation of collected water to the distribution of watering to the root zone of plants. In the practical part, the proposed distribution network is calculated according to the current known equations, and the calculation is finished with the choice of a suitable diameter of the pipeline network. In addition, the work suggests possible sites for new planting of plants.

Key words

Large-scale irrigation, rainwater harvesting system, urban irrigation, pipeline network

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PÍRKOVÁ, Marcela. Nová koncepce velkoplošných závlahových systémů. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132499>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce doc. Ing. Simona Fialová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Nová koncepce velkoplošných závlahových systémů Energetického ústavu vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

21.5.2021

.....
Datum

Marcela Pírková

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří především doc. Ing. Simoně Fialové, Ph.D. za cenné připomínky, rady a nápady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD	11
1 KRAJINNÉ INŽENÝŘSTVÍ.....	12
1.1 ZÁVLAHY	12
1.2 VÝZNAM A FUNKCE ZÁVLAHOVÝCH STAVEB	12
1.3 ZÁVLAHOVÁ SOUSTAVA.....	12
1.3.1 Čerpadla	12
2 VODNÍ ZDROJE.....	13
2.1 PODPOVRCHOVÁ VODA	13
2.1.1 <i>Způsoby doplnění podzemních vod</i>	13
Využití povrchové infiltrace	13
Využití podpovrchové infiltrace.....	13
2.2 DEŠŤOVÁ VODA	14
2.2.1 <i>Kvalita vody</i>	14
2.2.2 <i>Znečištění dešťové vody</i>	14
Kontaminace ze střechy	16
Kontaminace smyvem zpevněných ploch	16
2.2.3 <i>Čištění dešťové vody</i>	17
Mechanická filtrace	17
2.2.4 <i>Infiltrace srážkových vod v urbanizované krajině</i>	19
Městský rybník.....	19
Vsakovací bloky.....	19
Podpovrchové vsakovací nádrže.....	20
Retenční nádrž	20
Komunikace s propustným povrchem	20
2.3 VODNÍ ZDROJE MĚSTA BRNA A OKOLÍ.....	20
2.3.1 <i>Hospodaření s vodou</i>	21
Zrealizované a plánované projekty v Brně	21
3 BRNĚNSKÁ PODZEMNÍ SÍŤ A STAVBY.....	23
3.1 POTRUBNÍ SYSTÉMY KANALIZACÍ.....	23
3.2 BRNĚNSKÉ PODZEMÍ	23
3.2.1 <i>Kolektory</i>	24
3.2.2 <i>Petrov</i>	25
3.2.3 <i>Zelný trh – Parnas</i>	26
3.2.4 <i>Špilberk</i>	26
3.2.5 <i>Moravské náměstí</i>	27
3.2.6 <i>Oblast Pekařské ulice</i>	28
4 DETAILNÍ ROZBOR PRO NÁVRH ZAVLAŽOVACÍHO SYSTÉMU.....	29
4.1 TEPLOTA VZDUCHU	29
4.2 SRÁŽKY	30
4.3 ZÁSOBNÍKY PRO DEŠŤOVOU VODU	32
4.3.1 <i>Nafukovací vodní nádrže</i>	32
4.3.2 <i>Obklad stávajících zásobníků</i>	33
4.4 DISTRIBUCE VODY DO KOŘENOVÉ ZÓNY ROSTLIN	34
4.4.1 <i>Systém k usměrnění růstu kořenů</i>	34
4.4.2 <i>Systémy využívající kapilárních jevů</i>	34
4.4.3 <i>Aplikace využívající ochrany zavlažovacího potrubí</i>	35
4.5 LOKALITY VHODNÉ K ZÁVLAZE	36
4.5.1 <i>Městské stromy</i>	39
4.6 VARIANTA ZAVLAŽOVACÍHO SYSTÉMU	40
4.6.1 <i>Stanovení hydraulických ztrát</i>	41
Třecí ztráty v potrubí.....	41
Místní energetické ztráty v potrubí	42
Místní energetické ztráty v armaturách	44
4.6.2 <i>Tlaková a průtoková analýza sítě</i>	45
4.6.3 <i>Výsledky výpočtů</i>	46

4.6.4	<i>Automatizace provozu závlahy</i>	50
	Dešťový senzor	50
	Senzor půdní vlhkosti	50
	Senzor evapotranspirace	50
5	EKONOMICKÉ POSOUZENÍ	51
5.1	VARIANTA I.	52
5.2	VARIANTA II.	54
5.3	POSOUZENÍ VARIANT	55
6	ZÁVĚR	56
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	58
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	62
9	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	63
9.1	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
9.2	SEZNAM TABULEK	63
9.3	SEZNAM GRAFŮ	64

Mnoho zemí po celém světě čelí nedostatku vody, který stále více roste v důsledku pokračující přibývajících poptávek po vodě od různých konkurenčních uživatelů, domácností, ze zemědělského a průmyslového sektoru, také rostou požadavky z důvodu urbanizace, změně klimatu, znečištění vody atd. Všechny tyto faktory vyvíjejí tlak na stávající vodní zdroje. Jedna z největších výzev 21. století je překonání rostoucího nedostatku vody. Hledání alternativních vodních zdrojů (šedá voda, odsolování a sběr dešťové vody) přitahují celosvětový zájem.

V průběhu vývoje měst dochází k nahrazování zemních ploch nepropustnými povrchy, proto vzniká myšlenka využívat dešťovou vodu splavenou ze střech domů pro jiné účely než pro doplňování kanalizační sítě. Jedna z možností zužitkování sesbírané vody existuje v podobě velkoplošného zavlažovacího systému pro městskou zeleň, která je zatížena nedostatkem závlivky. Systém určený ke sběru dešťové vody neboli HDV je považován za slibnější alternativní nebo doplňkový vodní zdroj vzhledem k jeho minimálnímu dopadu na životní prostředí, malé potřebě úpravy vody ve srovnání s jinými alternativními zdroji, zmírňujícím účinky povodní apod. HDV je velmi stará tradiční a udržitelná metoda sběru dešťové vody, která byla přijata v mnoha starověkých zemích jako metoda určená k zásobování pitnou vodou, tak i pro potravinářskou výrobu. Nicméně HDV byla za posledních 150 let opomíjena kvůli novým technologiím, které umožňují ukládat, čerpat z hluboké podzemní vody a přepravovat obrovské objemy vody. Zájem o využívání systémů HDV v celosvětovém měřítku přibližně od začátku druhé poloviny minulého století neustále roste. Existuje trend k oživení tradičních technologií, které se kombinují s moderními metodami ke splnění požadovaných potřeb vody v současnosti i budoucnosti. Je potřeba poznamenat, že hlavní proměnnou pro návrh systému HDV v konkrétní lokalitě jsou srážky (intenzita, frekvence a časová variabilita). Spolehlivost dešťových srážek z hlediska prostorového i časového rozložení představuje kritický faktor výkonu systému. Čerpáno ze zdroje [45].

Proto cílem této diplomové práce je nalézt vhodnou lokalitu pro sběr dešťové vody. Následně vyhledat a navrhnout systém určený pro akumulaci. Jelikož se celá práce soustředí na hustě osídlenou a zastavěnou oblast, je nutné zvážit i historický charakter města a nevhodně nezasáhnout do jeho struktury. Tudíž se posoudí volba vodojemu v městské krajině, případně využití existujících již z provozu vyřazených. Dalším úkolem se stává výpočet vyprojektované potrubní sítě k distribuci závlivky. Konečná místa jsou vybrána podle nedostatkových ploch zeleně a plánovaných úprav města.

1 KRAJINNÉ INŽENÝŘSTVÍ

V posledních letech lze vyzorovat, že je na území České republiky větší sucho. Avšak tento pojem není naprosto jednoznačný. Zřejmě všichni si pod pojmem sucho představíme nedostatečné množství vody, ale rozdílný pohled na něj mají klimatologové, hydrologové či zemědělci. Například pro zemědělce je nalezeno logické řešení v podobě závlah. Informace k této kapitole získány z [24] a [46].

1.1 Závlahy

Mezi faktory stabilizující zemědělskou výrobu patří závlahy. V České republice jsou vybudovány velkoplošné závlahy na ploše přes 130 000 ha, kde je potřeba zavlažovat polní plodiny, zeleninu či jiné speciální plodiny (vinice, chmel, bobuloviny). Na až 99 % celkové výměry všech závlahových staveb ČR se využívá způsob závlahy tzv. postřikem. Na zbylém procentu výměry jsou vybudovány mikrozávlažní systémy, popř. jiné. Naše doposud vybudované závlahové stavby by bylo vhodné modernizovat a zlepšit jejich efektivnost.

1.2 Význam a funkce závlahových staveb

Prvním úkolem závlah je zajištění lepšího vláhového stavu půdy, tím následně zabezpečit správný růst pěstovaných plodin a kvalitní výnos či produkci. Pomocí těchto systémů lze i vhodně rostliny hnojit, aklimatizovat na změny, půdu oteplovat apod.

1.3 Závlahová soustava

Závlahová soustava neboli regulační soustava se člení na:

- hlavní závlahová zařízení
- zdroj a odběr vody, přívod a následný rozvod, měření a regulace závlahové vody, nádrže a vodojemy, čerpací stanice
- podrobná závlahová zařízení (tzv. závlahový detail, kterými jsou technické způsoby závlah)

1.3.1 Čerpadla

Čerpadla využívána pro zavlažování lze rozdělit dle přeměny mechanické energie na:

1. hydrodynamické
 - Energie, která je potřebná pro přepravu kapaliny, je dodávána oběžným kolem, které vykonává rotační pohyb.
 - Tyto čerpadla nemají zvláštní požadavek na výtlačnou výšku.

2. hydrostatická

- Energie, která je nezbytná pro přepravu kapaliny, je dodávána přímo tlakem činné části buď rotací či kmitavým pohybem.
- Patří sem čerpadla vhodná pro velké výtlačné výšky a vysoké tlaky.

2 VODNÍ ZDROJE

Pro zavlažování se využívá převážně vody povrchové, ve výjimečných případech voda podzemní. Mezi hlavní zdroje povrchové vody patří vodní toky, vodní a závlahové nádrže, závlahové kanály a vodojemy. Dalším zdrojem vody pro závlahy je možno využít vyčištěné odpadní vody.

2.1 Podpovrchová voda

Existence podpovrchové vody je vázána k výskytu volných míst v horninách. Tato místa se nazývají průliny nebo pukliny, název záleží na typu hornině, ve které se nachází. Zcela vodou nenasycená část půdy se nazývá tzv. zóna aerace, v níž se voda vyskytující nazývá půdní vláha. Plně nasyčená část půdy (zóna saturace) je vyplněna podzemní vodou.

2.1.1 Způsoby doplnění podzemních vod

V současnosti je většina městských silnic asfaltová a betonová. Cesta vytvořená z tohoto materiálu zrychlila stupeň odtoku dešťové vody a nepříznivě ovlivnila odtokové prostředí celého vodní cyklu, čímž se zhoršuje dostatek podzemní vody ve městě. Pro doplňování podzemních vod se využívá povrchové, popř. podzemní infiltrace. Zahajují se výstavby různých typů nádrží, příkopů, brázd, často mající písčité dno. V dalších podkapitolách je bližší seznámení s metodami infiltrace vody do nižších podloží půdy. Čerpáno ze zdroje [25] a [27].

Využití povrchové infiltrace

V některých případech může v rámci doplňování podzemních vod pomocí zavlažování docházet k nadměrnému vymývání živin z kořenové zóny. Proto není metoda povrchové infiltrace příliš účinná pro zlepšování stavu podzemní vody.

Využití podpovrchové infiltrace

Využití podpovrchové infiltrace nachází své velké zastoupení mezi infiltračními způsoby. Povrchové úpravy lze docílit výstavbou:

- infiltračních jam a vrtů
- injekčních studen (dotování kolektorů využitím tlakových studen)
- indukované infiltrace (zejména břehová)

Z konstrukčního hlediska se jedná o řadu studní (s vertikálním nebo s horizontálním sběračem) umístěných podél jezera, přehrad nebo povrchových toků v údolních terasách. Ideální podmínky představují zvodnělá tělesa (písků nebo štěrkopísků, případně štěrků), která jsou hydraulicky propojena s povrchovým tokem.

2.2 Dešťová voda

Sběr dešťové vody, její zachycení, je jednou ze strategií vedoucí k přizpůsobení na změny klimatu, které lze pozorovat i hluboko v historii. Systémy se vyskytují zejména během období dlouhého sucha. Sběr dešťové vody opět získává po celém světě svůj zájem, a to nejen pro skladování vody v suchém období, ale také jako opatření pro zvládnutí extrémních srážek. Při návrhu systému pro využití dešťové vody je důraz kladen na principy návrhu, rozsahu použití, kvality vody a přijetí ze strany veřejnosti.

Sběr dešťové vody může mít významný vliv na hospodaření s vodou během extrémních srážek. Mezi jeden z projektů patří hospodaření se srážkovými vodami v osídlených oblastech a jejich další využití namísto jejich urychleného odvádění kanalizací do toků. V rámci podporovaného projektu je výstavba plošných vsakovacích a retenčních nádrží, podzemních vsakovacích a retenčních nádrží, vsakovacích šachet.

Obecně je kvalita sbírané dešťové vody dobrá, i když může být přítomna určitá mikrobiologická kontaminace. Tu eliminujeme například využitím UV lamp. Informace k této podkapitole získány ze zdroje [16].

2.2.1 Kvalita vody

Kvalita vody je důležitým tématem při zvažování využití dešťové vody. V závislosti na aplikaci se požadavky na jakost vody liší, ale také je rozdílná kvalita nashromážděné vody v prostoru a čase.

Kvalita sbírané dešťové vody závisí na mnoha faktorech. Lze rozlišit tři typy znečišťujících látek: a) chemické, b) mikrobiologické a c) fyzikální. K absorpci kontaminantů dochází od okamžiku, kdy dešťové kapky opouštějí mraky, buď jako částice nebo rozpustné látky. Druhým důležitým zdrojem znečišťujících látek je povrch střechy. Voda nashromážděná na střeše může být ovlivněna materiálem střechy a usazeninami na střeše. Nakonec se může změnit kvalita vody i během skladování. Pro hodnocení kvality musí být rozlišena chemická a mikrobiologická kvalita vody. Chemická kvalita je obecně velmi dobrá a přibližuje se kvalitě pitné vody, ale ve většině případů lze pozorovat fekální kontaminaci a opětovný růst bakterií. V závislosti na aplikaci sklizené vody je dalším krokem dezinfekce (např. s filtrací) anebo UV dezinfekce.

2.2.2 Znečištění dešťové vody

Dešťová voda může být znečišťována již vzduchem, střechou a popř. ulicí. V tab. 2.1 se uvádí typické znečišťující látky na jednotlivých typech ploch a očekávané znečištění srážkových vod. Důležitým opatřením k zabránění kontaminace je zorganizování prvního proplachu a použití správně navržené akumulární nádrže. Informace k podkapitole o kontaminantech dešťové vody čerpány z [16], [30], [1] a [17].

Tab. 2.1 Typické znečišťující látky na jednotlivých typech ploch a očekávané znečištění srážkových vod [17]

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

Kontaminace ze střechy

Znečišťující látky ze střechy jsou obvykle koncentrovány v prvním odtoku. Po tomto odtoku a promytí střechy je voda značně méně závadná. Hlavní příčinou tohoto jevu je ukládání a akumulace znečišťujících látek na střeše během suchých období. Vystavení ultrafialovému záření, teple a vysoušení na střeše se inaktivuje mnoho bakterií, zatímco vítr odstraňuje některé těžké kovy nahromaděné z atmosféry. Kontaminanty v odtoku ze střechy zahrnují organickou hmotu, inertní pevné látky, fekální usazeniny od zvířat a ptáků, stopová množství kovů, a dokonce i komplexní organické sloučeniny.

Několik autorů zveřejnilo své výsledky týkající se kvality první splachovací vody a porovnálo ji s vodou získanou po prvním odtoku. Dle Amin en Hana (2011) vzorky zachycené na běžné střeše, zelené střeše a na terase byly vysoce kontaminovány. V případě vzorků střechy se kvalita výrazně zvyšuje po prvním proplachování pomocí srážek. Vzorek zachycený střechou byl po prvním proplachování dešťovou vodou (asi 0,05 mm srážek) téměř bez kontaminace z hlediska *E. coli* a měl přijatelný zákal s neutrálním pH. Čím delší je období sucha, tím větší je pravděpodobnost vyššího zatížení škodlivinami při prvním proplachu. Gikas en Tsihrintzis (2012) dochází k závěru, že odklonění prvního odtoku z akumulární nádrže může zlepšit kvalitu akumulované vody. Dochází se k závěru, že instalace a použití prvního splachovacího systému zlepšuje fyzikálně-chemickou kvalitu sebrané dešťové vody, ale nemůže zabránit mikrobiální kontaminaci uložené dešťové vody z důvodu opětovného růstu během skladování. Bylo zaznamenáno, že správná údržba a instalace prvního splachovacího zařízení by zlepšila kvalitu vody v nádrži na sběr dešťové vody a snížila potenciální související zdravotní rizika pro uživatele. Získáno z [2] a [13].

Kontaminace smyvem zpevněných ploch

Z odvodňovaných povrchů proniká do dešťových vod např.:

- a) z betonových ploch vápník, hliník a křemík
- b) z povrchů kovových zinek, měď a kadmium
- c) z asfaltových ploch, plastických hmot a barevných nátěrů organické látky

Využívání a následná péče odvodňovaných povrchů způsobuje znečištění mnoha různými látkami, mezi které patří exkrementy, listí, hrubé a jemné rozpuštěné látky, organická hmota, minerální oleje apod.

Do dešťové vody odtékající z komunikací pro chodce a cyklisty se dostávají hrubé a jemné nerozpuštěné látky (hlína, písek, štěrk, ohrus). Znečištění je též odpady, listím či zbytky rostlin a exkrementy. V zimě, kdy jsou městské povrchy udržovány, se používají posypové materiály a soli (chloridy). Proto je nutno předpokládat mírně vyšší koncentrace hrubých a jemných nerozpuštěných látek, organické znečištění (BSK_5^1), dusíku, fosforu a patogenních mikroorganismů než v případě odtoku ze střech domů.

Kontaminace srážkových vod při kontaktu s dopravními plochami a pozemními komunikacemi pro motorová vozidla vzniká emisemi ze spalování pohonných hmot, opotřebením vozovky, pneumatikami a brzdami vozidel, korozí vozidel, únikem řadou

¹ Biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5) je definována jako množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy při biochemických pochodech při aerobních podmínkách za 5 dní. Stanovení hodnoty BSK_5 se využívá k nepřímému určení množství organických látek, které lze pomocí biochemických dějů při aerobních podmínkách dále rozložit.

kapalin jako jsou pohonné hmoty, oleje, brzdové kapaliny, rozmrazovací prostředky apod.

„Nejzávažnějšími znečišťujícími látkami srážkových vod odtékajících ze silnic jsou vzhledem k vysokým koncentracím nerozpuštěné látky, chloridy, těžké kovy zinek a měď a uhlovodíky (minerální oleje, benzín a nafta). Ostatní těžké kovy (Cr, Cd, Ni, Pb) se vyskytují v nižších koncentracích, a proto jsou ekologicky méně významné. Značný podíl znečištění (např. PAU, AOX, těžké kovy) je adsorbován na jemných částicích (<20 µm), a to zejména organického původu. Míra znečištění srážkové vody závisí na intenzitě dopravy, na podílu nákladní dopravy a na četnost čištění ulic a silnic. Její předpověditelnost však ztěžuje řada dalších faktorů, např. pozadové znečištění z atmosférických depozic, odnos větrem, ztráty rozstřikem či výška obrubníku.“ (TNV 75 9011, 2013, str. 30)

2.2.3 Čištění dešťové vody

Dešťová voda, využívaná především na zalévání rostlin, nevyžaduje žádné speciální filtrace. Zabezpečují se v první řadě akumulární nádrže před hrubými nečistotami jako např. splavované listí. Při čištění se využívá dvou procesů

- filtrace
- sedimentace

Sedimentace probíhá v akumulární nádrži samotné, popřípadě je této nádrži předřazená usazovací nádrž. Čerpáno z [11].

Mechanická filtrace

Nejúčinnějším způsobem, jak udržet dešťovou vodu čistou, je zabránit vnikání nečistot do akumulární nádrže. K tomu většina systémů používá filtr umístěný před nebo v nádrži. Obvykle se skládají z prvku z nerezové oceli umístěného v plastovém těle, avšak existují některé modely zcela z plastu. Prvkem je obvykle nerezová mřížka, jejíž jemnost sítě se měří v µm. Například filtry Wisy® Vortex (viz obr. 2.1) mají velikost ok 280 µm.



Obr. 2.1 Filtry Wisy® Vortex [44]

Filtr Wisy® Vortex funguje na principu vírového jemného filtru, kde se oddělí všechny částice větší než 0,28 mm. Filtrovaná dešťová voda je obohacena kyslíkem, takže zabrání i vzniku anaerobních organismů. Pouze svislé filtrační textilie jsou schopné odstranit listy a nečistoty z dešťové vody, aniž by se staly samy sobě překážkou. To umožňuje adhezní vrstva, která nasměruje tok vody na stranu bez ovlivnění směru padajících částic nečistot. Listy a jiné nečistoty prochází kolem filtrační textilie a dále se splachují do kanalizace. Díky extrémně malé údržbě udržují filtr trvale funkční. Přibližně 90 % vody je poté uloženo v nádrži, zatímco zbylá voda vždy čistí vertikální síť.

Filtry před nádrží nebo v nádržích vyžadují čištění, některé častěji než jiné, v závislosti na konstrukci. Je pravděpodobné, že filtry s vodorovnou sítí vyžadují čištění častěji než s vertikální. Existuje několik pokročilejších modelů, které mají zabudovanou funkci čištění pomocí trysek s vodou. Hlavní nevýhoda umístění filtru v nádrži, oproti před nádrží, se shledává v nutnosti otevírání nádrže z důvodů čištění filtru.

Akumulovaná dešťová voda je odebírána z nejčistší oblasti nádrže, asi 10 až 20 cm pod hladinou vody. Zde lze nalézt nejlepší kvalitu vody, bez mastných částic (např. pyl), který se vznáší na povrchu a bez těžších sedimentů, které se usazují na dně. Plovoucí sací filtr se sestává z jemné nebo hrubé nerezové sítě. Poskytuje dodatečnou ochranu pro podvodní tlakové čerpadlo nebo sací čerpadlo. Využívají se i samonasávací čerpadla, která jsou umístěna přímo v nádrži dešťové vody. Větší

systémy v komerčním nebo veřejném sektoru se často provozují se systémy se dvěma čerpadly z důvodu zvýšení účinnosti a spolehlivosti.

Protože dešťová voda je přirozeně měkká, nevytváří usazeniny vodního kamene v hadicích, ventilech nebo tryskách. Nežádoucí inkrustace, které lze odstranit jen s velkou námahou, se jinak často vytváří např. v postřikovačích. Pro většinu účelů, mezi které patří splachování toalet, praní prádla a zavlažování rostlin, dostačuje pouze kvalitní filtr před nebo v nádrži. Avšak v některých situacích je nutná další filtrace nebo úprava. Například průmyslové procesy vyžadují filtrování vody na mikroskopické úrovni, nebo některá použití vyžadují dokonce sterilizaci vody. Informace získány z [36], [44].

2.2.4 Infiltrace srážkových vod v urbanizované krajině

V mnoha oblastech lze přebytek vody snadno skladovat v písčitých půdách, které jsou nenasyčené vodou. Za tímto účelem je vyvíjen tzv. „wadi systém“. V systému wadi je přebytek dešťové vody shromažďován v podpovrchovém infiltračním zdroji a gravitačně dopravován přes porézní vrstvu (např. štěrk) do podzemní vody. Výhodou takových systémů je zabránění záplavám, méně zředěná voda do čistírny odpadních vod a zvýšení zásob podzemní vody.

Další relativně novou možností je infiltrovat přebytek dešťové vody přímo do hlubší zvodnělé vrstvy vertikální infiltrací. Výhodou vertikální infiltrace je potřeba menšího prostoru, a že je systém relativně jednoduchý a levný. Princip vertikální infiltrace nebo hluboké infiltrace je jednoduchý. Infiltraci vede přetlak infiltrační vody a dochází k proudění vody ve zvodnělé vrstvě. Voda ve vodonosné vrstvě je tlačena stranou převážně v laterálním (bočním) směru. Při hluboké infiltraci se mohou projevit účinky prosakování vody na povrchu, ale tyto účinky jsou pravděpodobně relativně malé ve srovnání s problémy s nadbytkem vody a projeví se se zpožděním.

Voda na Zemi je velmi cenný a potřebný zdroj. Odtoku dešťové vody do řek a dále do moří zamezí řada technických řešení. V urbanizovaných oblastech se nachází velké množství specifických technických řešení. Informace byly získány z [25] a [16].

Městský rybník

Pro městský rybník musí být zaopatřeno napájení, aby nedocházelo k jeho následnému vysychání. V případě bezesrážkových dnů se využívá zatrubnění odtoku (recipient) nebo i vodovodního hydrantu. Pokud není možné zaručit napájení rybníka, dno nádrže se vytvoří z nepropustné fólie.

Vsakovací bloky

U velkých objektů, nejčastěji u obchodních center, se využívají vsakovací bloky. Jsou umístěny pod povrchem terénu, kde se akumuluje voda, která se pomalu vsakuje do nižších vrstev. Doplňují se zásoby podzemní vody. Celý systém se neskládá pouze z vsakovacích bloků. Voda nejprve vtéká do revizní šachty, následně do odlučovače ropných látek, sedimentační nádrže a až poté do bloků. Ze sedimentační nádrže je nutné rovnoměrné rozdělení přítoku.

Podpovrchové vsakovací nádrže

Toto zařízení je vytvořeno za účelem přímého vsakování, avšak předchází předčištění (hydroseparace). Podpovrchové vsakovací nádrže jsou tvořeny plastovými vsakovacími bloky, vsakovacími tunely, vsakovací šachtou nebo podzemními prostory vyplněnými štěrkem.

Retenční nádrž

Účelem retenční nádrže je dočasná retence, popřípadě dlouhodobá akumulace. V urbanizovaných oblastech se voda z retenční nádrže využívá k závlahám, čímž se podporuje řízená infiltrace do půdy.

Komunikace s propustným povrchem

Opatření komunikací s propustným povrchem je vhodné na komunikacích nižších tříd, stezek pro cyklisty, parkoviště a pro pěší stezky.

2.3 Vodní zdroje města Brna a okolí

Zbytek diplomové práce je zaměřen na zvolenou lokalitu, Brno. Město, nacházející se v Jihomoravském kraji, je rodným městem autora, proto je zaměřena pozornost právě na toto město s cílem podílet se jeho rozvoji.

Brno leží na soutoku dvou řek Svatavy a Svitavy, dále se zde nachází menší říčka Ponávka, Líšeňská říčka (protéká Mariánským údolím, kde naplňuje tři nádrže) a hlubinné artéské vody. Artéské vody se vyskytují v korytu, které vstupuje do Brna od severu kuřimsko-řečkovickou depresí, protékanou Ponávkou, pokračuje k jihu přes Královo Pole na Lužánky a do prostoru černovických pískoven. Tektonické zóny podmínily vznik hlubokých bočních kaňonů, které např. v oblasti sídliště Lesná pronikají hluboko do soběšické elevace až k rozvodnici se Svitavou. Informace k artéským vodám získány z [8].

Na území Brno-venkov a Brno-město se nachází řada vodojemů. Mezi využívané patří zemní vodojem v Mokré Horákov (u městské části Líšeň) a v Rajhradě, další vodojem se nachází v Ochozu u Brna, v Oslavanech, na území Brna je věžový vodojem (v Kohoutovicích, celkový objem 700 m³) a vodojem v Novém Lískovci. Mezi nově zrenovované náleží pozemní vodojem na Kraví a na Bílé hoře. Zatím nevyužívané jsou historické vodojem na Petrově.

Také jsou v Brně vybudované retenční nádrže, jejich částečný výčet se nalézá v tabulce 2.2. Retenční nádrž je velký zachytňný rezervoár. Slouží k uchování dešťové a zředěné splaškové vody na určitý časový úsek, poté dochází k vypuštění do kanalizační sítě či vodního toku.

Tab. 2.2 Přehled retenčních nádrží [38] (upraveno autorem)

Název	Umístění – kmenová stoka	Objem [m ³]
Zázmolí	Obřany – E	280
ČOV Modřice	Modřice – E	10 500
Jeneweinova	Komárov – B	8 600
Přízřenický jez	Přízřenice – A	5 000
Sokolova	Horní Heršpice – A	5 500
Hamry	Maloměřice – E	800
Ráječek	Brněnské Ivanovice – E	2 000
Královka	Dolní Heršpice – D	30 000
Celiny	Brněnské Ivanovice – E	4 000

2.3.1 Hospodaření s vodou

Současným cílem řady měst je zlepšení modrozelené infrastruktury. Přeměny se provádí za účelem zmírnění nastávajících změn klimatu, které jsou způsobeny urbanizací. Správně vytvořená modrozelená infrastruktura se využívá jako prevence proti povodním, proti suchu, zlepšení mikroklimatu a jiné.

Brněnské domácnosti, administrativní budovy, wellness centra apod. jsou zásobovány pitnou vodou díky existenci Brněnských vodáren a kanalizací, a.s. Upravená pitná voda je používána na splachování, koupání, praní atd. Pro maximální využití vodních zdrojů se v domácnostech instalují zařízení pro opětovné použití vody, v tomto případě použití šedé vody. Je to splašková voda, která neobsahuje moč ani fekálie. Např. se opětovně využívá upravená šedá voda po koupání na splachování toalet či zalévání zahrad. Malé znečištění šedé vody je hlavním důvodem jejího opětovného zužitkování. Šedá voda se odvádí samostatným potrubím do nádrže, která se na vstupu vyčistí mechanicky a přefiltruje na jemném filtru. Přefiltrovaná voda se akumuluje v jiné nádrži, odkud se dále spotřebovává na zálivku, mytí auta či je potrubím odváděna zpět do domácností, kde se využije např. na splachování toalet. Zde je vhodné využít také akumulované dešťové vody. Zdroj k této podkapitole [4].

Zrealizované a plánované projekty v Brně

V Brně se za účelem lepšího hospodaření s dešťovou vodou vyvíjejí určité úpravy.

- Univerzitní kampus Masarykovy univerzity v Brně má vybudované systémy sloužící k zadržení dešťové vody v místě úhrnu srážek. Decentralizovaný systém odvodnění se skládá ze zelených střeš, retenčních příkopů apod.
- Areál na adrese Svatopetrská 7 v Brně – Komárově také využívá dešťové vody. Srážky zachytávají do retenční nádrže, ze které je poté zalévána okolní zeleň. Na části budovy mají taktéž vytvořenou zelenou střechu.

Přebytečnou vodu z nádrží vsakují za pomoci vsakovacích košů, zelených průlehmů [3].

- Nové čtvrt' Trnitá je vytvořena s oddílnou kanalizací. Výsadba stromů do volné půdy je navržena do míst, kde se vyskytuje minimum inženýrských sítí.
- Očekávaná je regenerace líšeňského parku Trnkova. V rámci revitalizace se vysadí nové stromy, které se budou zavlažovat z akumulční nádrže. Zde bude sbíraná dešťová voda z přilehlé střechy ZUŠ Antonína Doležala. Informace k líšeňskému parku získány z [28].
- Na ulici Vodova probíhá rekonstrukce starého vodovodu a kanalizace, aby se zachovala místní nejdelší brněnská lipová alej, povede se řada nových úprav. Pro odvodnění se plánuje využít např. zasakovací rošty pro zpevněné propustné povrchy.

3 BRNĚNSKÁ PODZEMNÍ SÍŤ A STAVBY

V této kapitole jsou zahrnuty vědomosti o potrubní kanalizační síti Brna, o jejím umístění a formou odvádění srážkových vod. V dalších podkapitolách je pojednáváno o brněnském podzemí, jeho historických vodojemech spolu s historickou vodovodní a kanalizační sítí.

3.1 Potrubní systémy kanalizací

Veřejné kanalizace lze rozdělit na tzv. jednotné anebo oddílné. Ve většině případech se budují kanalizace jednotné, kdy je splašková a dešťová voda odváděna společně. V druhém případě, který není zcela rozšířený, je kanalizace oddílná. V tomto případě je dešťová voda odváděna potrubím do toku a splašková voda do čistíren vod. Informace k této kapitole získávány z [21].

Město Brno a jeho blízké okolní obce se nachází na značně členitém terénu, kdy výškový rozdíl je až přibližně 200 m. Proto v brněnských kanalizačních systémech dominuje gravitační způsob odvádění vod. Stoková síť brněnské kanalizace je tvořena ze tří systémů pro odvodňování.

V několika malých oblastech Brna funguje stále zastaralý systém odvodnění srážkových vod do recipientů (nádrž nebo vodní tok odvádějící povrchovou vodu, vodu z přítoků a odpadní vody).

Přibližně 2/3 celkové rozlohy města Brna jsou tvořeny jednotným kanalizačním systémem, kdy odpadní voda odtéká pomocí kmenových stok na ČOV Brno–Modřice. Jedním z prvků tohoto systému jsou také tzv. odlehčovací komory (dešťové oddělovače), ve kterých je dešťová voda odváděna do recipientů, kterými jsou v Brně dvě významné řeky Svatka a Svitava.

Při budování rozsáhlých sídlištních satelitů se započala výstavba oddílné kanalizace. Jedna z brněnských oddílných kanalizací se nazývá „slatinská“. Splašková část vede z líšeňského sídliště přes areál Zetoru a Slatinu k tzv. Švédským valům a dále do ČOV Brno–Modřice. Dešťová část vyústí do Ivanovického potoka. Další oddílná kanalizace je vybudována v severní části Brna tzv. kuřimský sběrač. Začíná čerpací stanicí v Kuřimi, kde dále vede do obce Česká a spádem do údolí Ponávky do Řečkovic.

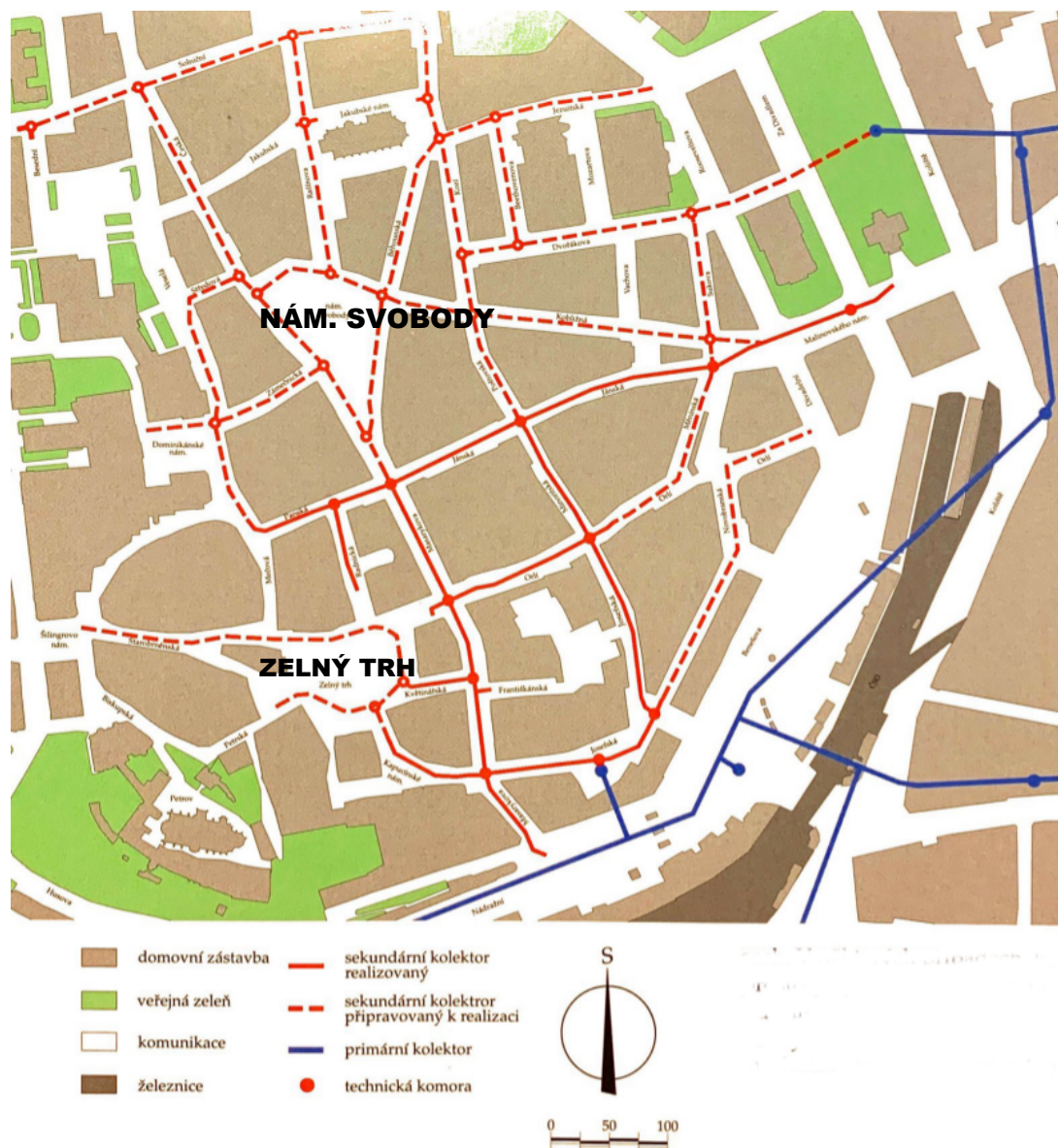
3.2 Brněnské podzemí

Brněnské podzemí je tvořeno historickými stavbami, které vznikaly za různými účely. Stavby byly charakteru vojenského či ochranného, mezi ně patřily různé sklepy, chodby kasemat a vojenské kryty pod Petrovem a Špilberkem. Dále v podzemí byly budovány technické stavby, zahrnují je studny, jímky, kanalizační stoky, historické vodovody a kolektory. Avšak mezi nejrozsáhlejší skupinu staveb, které se nachází pod Brnem, jsou komerčně využívané prostory: původní sklepy, domovní sklepy a rozsáhlá skladiště. Informace k celé kapitole čerpány ze zdroje [40].

3.2.1 Kolektory

Kolektory patří mezi podzemní objekty, které jsou vybudované za účelem uložení různých inženýrských sítí a rozvodů. Nachází se zde kanalizace, vodovody, centrální zásobování teplem, plynovody, elektrické rozvody. Kolektorové systémy poskytují řadu výhod, např. snadný přístup při údržbě a oprav, kumulace více druhů medií v podzemním prostoru, která proudí v rozvodech uložených v suchých a větraných prostorách. Proto materiály využívané na rozvody dosahují větší životnosti.

Brněnské kolektory jsou budovány pomocí dvou metod. Mezi první způsob patří hloubení kolektorů ve výkopech tzv. hloubené, které jsou finančně méně nákladné, avšak mají větší negativní dopad na životní prostředí. Dalšími kolektory jsou tzv. ražené, které jsou prováděné hornickými technikami pod povrchem terénu. Umístění kolektorového systému je zobrazeno na obr. 3.2.

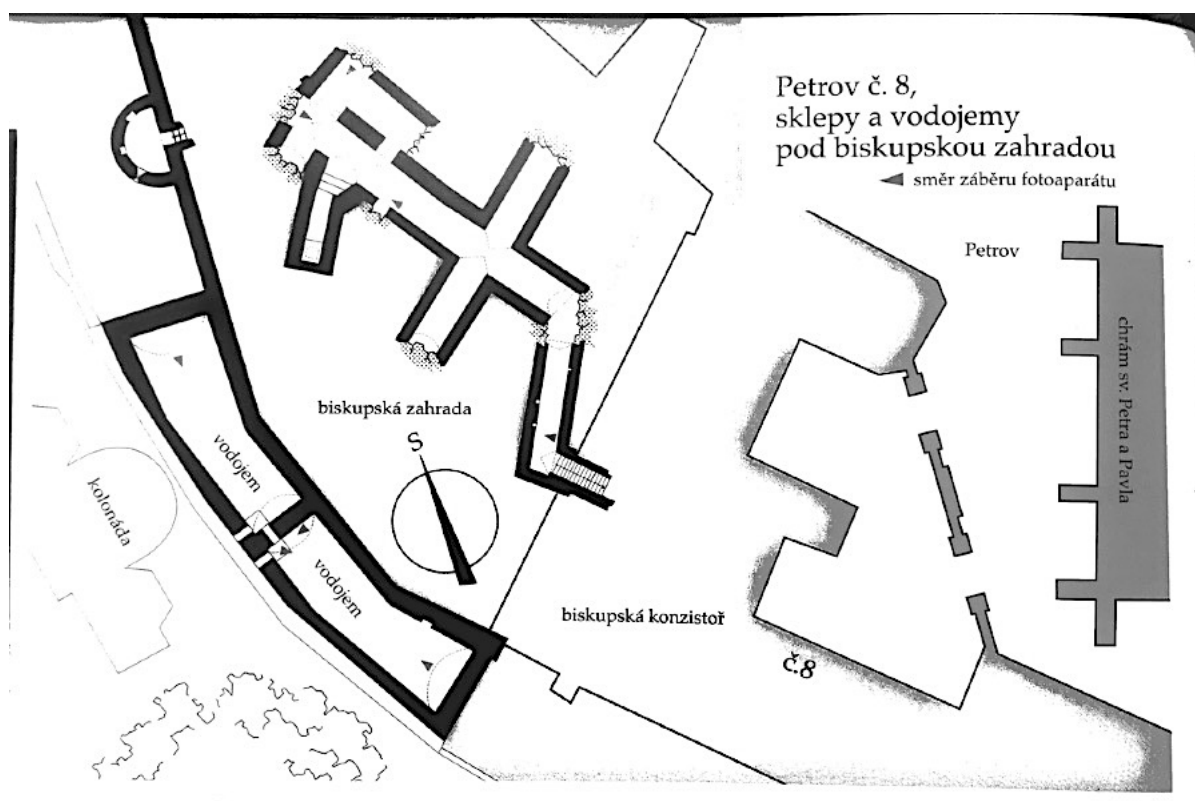


Obr. 3.2 Mapa umístění kolektorů [40]

3.2.2 Petrov

Název „Petrov“ získala oblast, na jižním okraji historické části města Brna, podle chrámu sv. Petra, jež spolu se Špilberkem tvoří významnou dominantu. Sklepní prostor pod Biskupskou ulicí (viz obrázek 3.3) je zčásti vytesán ve skalním masivu a dozděn cihelnou vyzdívkou. Velkou zvláštností tohoto místa jsou 2 studny, vyznačují se svojí vydatností, která je podmíněna výskytem tzv. puklinových pramenů z podzemních vod. Mezi nevyřešený problém patří stále stoupající hladina vody ve studních, která je obvykle každý týden odčerpávána.

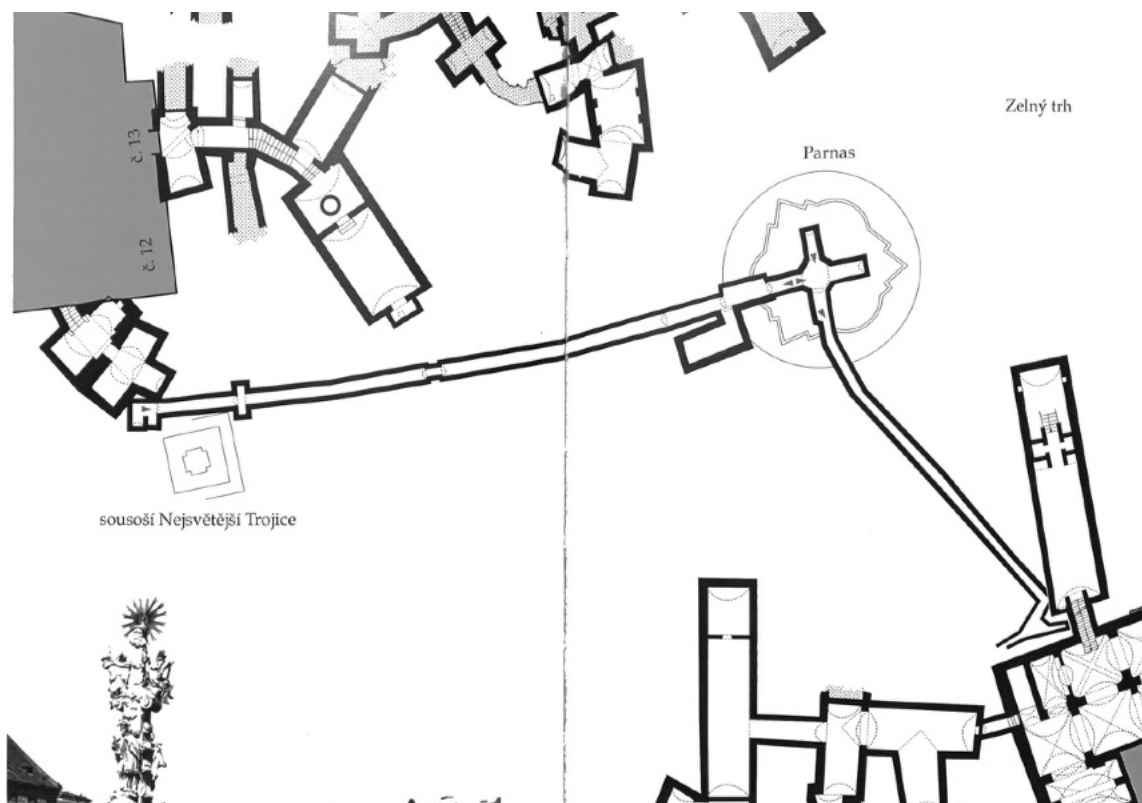
Jihozápadní svah Petrova, který se také nazývá Puhlík, je tvořen dvěma podzemními komorami. Na obrázku 3.3 je znázorněno jejich umístění. Tyto komory jsou dlouhé 15,8 m a 16,5 m, široké 3,7 až 6,3 m a jejich výška je přibližně 8 m. Od roku 1873 se tyto prostory nevyužívají jako vodojemy, neboť docházelo k přebudování vodovodní sítě.



Obr. 3.3 Vodojemy na Petrově [40]

3.2.3 Zelný trh – Parnas

Na Zelném trhu se nachází další brněnská dominanta nazývaná Parnas (znázorněn na obr. 3.4). Jedná se o kašnu s výzdobou ze skalního masivu. Základy kašny i dvou původních štól pod Parnasem jsou z cihel. Z vodojemů na Petrově byla odváděna voda pomocí západní štoly pozvolným spádem pod dno kašny. V současnosti jsou chodby a ostatní podzemní prostory v okolí kašny v kvalitním stavu, avšak bývají znečištěné, a to zabraňuje přirozenému odtoku vody do odpadní chodby.



Obr. 3.4 Štoly pod kašnou Parnas [40]

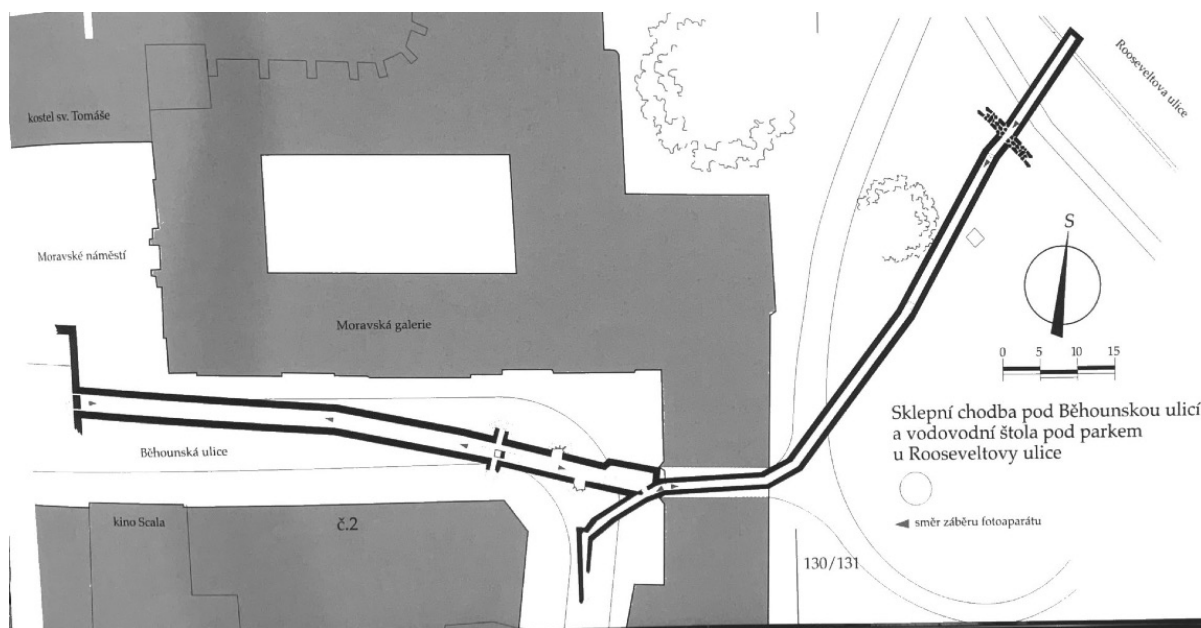
3.2.4 Špilberk

Pod pevností Špilberk se nalézají odpadní štoly. Tento skalní prostor je přístupný z jižního svahu a je stále provozuschopný. Odpadní voda proudí upraveným korytem, dále je štola nahrazena kanalizačním potrubím, které je již neprůlezné. V horním úseku je štola opatřena cementovou úpravou a některé úseky i cihlovou vyzdívkou. Spád není zcela plynulý, objevuje se zde řada kaskádovitých přerušení.

V podzemí Špilberku se také nachází jedna z nejhlubších historických studen v České republice, která je hluboká skoro 112 m. Ústí do skalního masivu, kde se vyskytují až čtyři vydatné prameny.

3.2.5 Moravské náměstí

V blízkosti Moravského náměstí, pod parkem u Rooseveltovy ulice (viz obr. 3.5), se nachází vodovodní štola, která se dále napojuje na sklepní chodbu pod Běhounskou ulicí. Obě stavby vznikly s velkou precizností. Stěny jsou tvořeny z brněnských vyvřelých kamenů a cihelných úlomků. Vodovodní štola dosahuje různých výšek v rozmezí 1,2 až 2 m a vyskytuje se v hloubce 6 m pod terénem. Štola dosahuje větších výšek, až 2,4 m.



Obr. 3.5 Vodovodní štola a sklepní chodba Moravské nám. [40]

3.2.6 Oblast Pekařské ulice

V místě propojení ulice Anenské do Pekařské byly po odbourání starých objektů objeveny dva skalní sklepy, které jsou umístěny ve dvou úrovních nad sebou (viz obrázek 3.6). Jeden ze sklepů, menší, je vytesán do skalního masivu Provaznického vršku.



Obr. 3.6 Sklepy pod Provaznických vrškem [40]

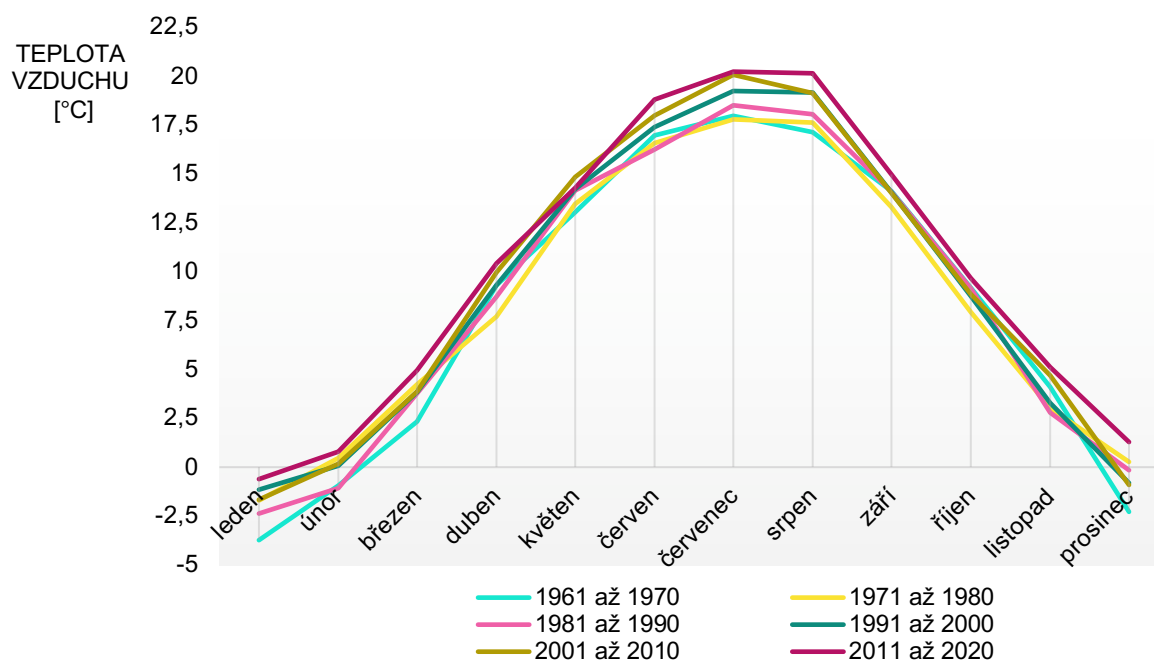
4 DETAILNÍ ROZBOR PRO NÁVRH ZAVLAŽOVACÍHO SYSTÉMU

Tato kapitola se zaměřuje na rozbor vybrané oblasti, kterou je Brno-město. Celkový objem vody, který se během roku sklídí, se odvíjí od úhrnu srážek v dané lokalitě, dále významného činitele činí plochy střech, které budou pro sběr dešťové vody vhodné. V prvotním návrhu se předpokládá zdrojem dešťová voda a gravitační způsob dopravy, k tomu je nezbytné znát nadmořské výšky vybraných bodů, dále rozsah a umístění zelených ploch a v poslední řadě umístění brněnské kanalizační sítě.

4.1 Teplota vzduchu

Analyzovány jsou teploty vzduchu z meteostanice Brno – Tuřany (Jihomoravský kraj, 241 m n. m.) a dále jihomoravské meteostanice, které provozuje ČHMÚ. Data se archivují od roku 1961 do současnosti. Průběhu let se pozoruje nárůst průměrných měsíčních teplot. V grafu 4.1 jsou zaznamenány průměrné hodnoty teplot vzduchu jednotlivých měsíců za 10leté dekády. Data získána z [32].

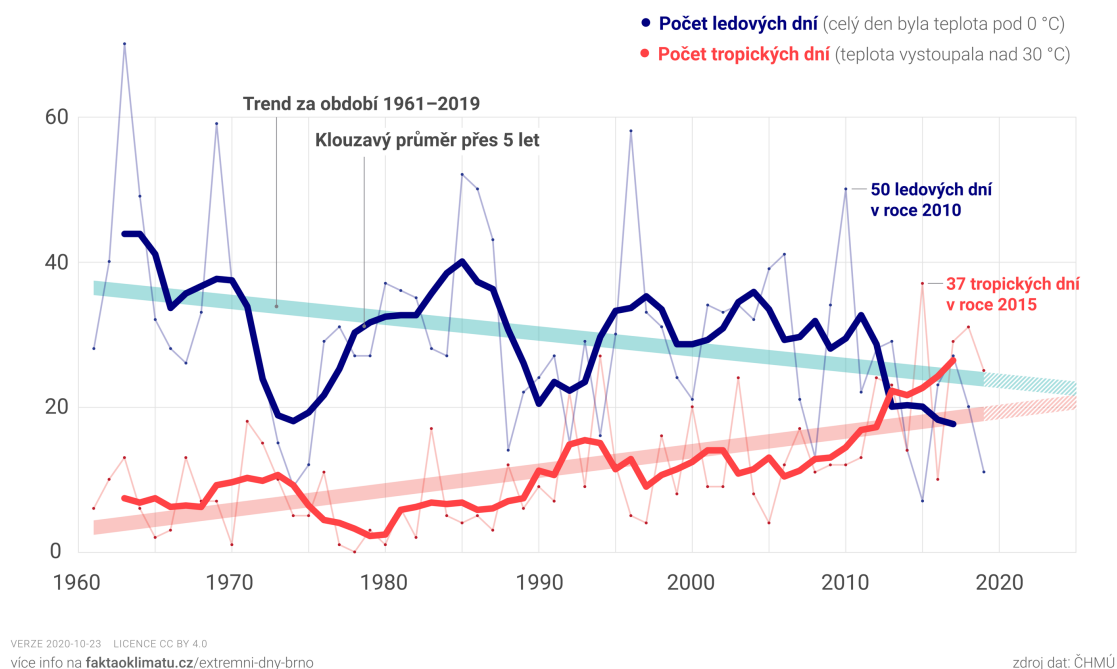
Graf 4.1 Vývoj průměrných teplot vzduchu v Jihomoravském kraji



Oteplení se v různých měsících liší, například v červenci se teplota od roku 1961 do 2020 zvýšila o 2 °C. Největší změny v teplotě se udály v prosinci, lednu a srpnu, měsíce jsou seřazeny sestupně podle změny teplot vzduchu. Vlny veder se vyznačují vyššími teplotami v letních měsících, čím se zvýší počet tropických dnů (dny, kdy v noci nedochází k poklesu teploty vzduchu po 20 °C). Na obr. 4.7 je patrné grafické znázornění vývoje počtu ledových dnů a tropických v Brně – Tuřanech.

TROPICKÉ A LEDOVÉ DNY V BRNĚ-TUŘANECH

Klimatická změna se v Brně projevuje růstem počtu tropických dní a úbytkem ledových dní.



Obr. 4.7 Tropické a ledové dny v Brně – Tuřanech [41]

Současné vyšší teploty v letních měsících zapříčiní zvýšený odpar, tudíž se zesiluje i sucho. Při nárůstu teplot v zimních měsících vzniká menší sněhová pokrývka. Rychlejší tání sněhu nebo déšť v zimě má částečný dopad na doplňování spodních vod. Pomalu tající sníh oproti stékajícímu dešti prodlužuje dobu vsakování do země.

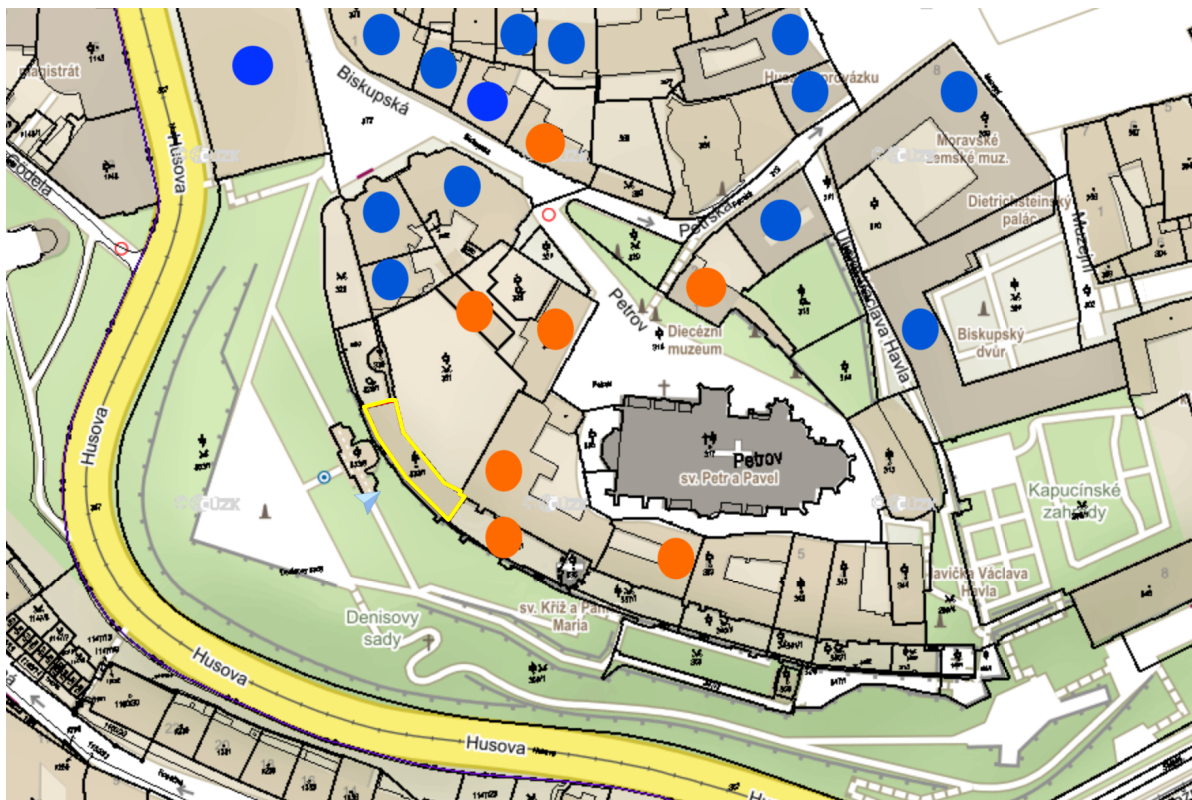
4.2 Srážky

Základním pozorovaným hlediskem je zjištěná průměrná hodnota od sebe vzdálených úhrnů srážek. Jedná se o průměrnou hodnotu od měsíce října roku 2018 do roku 2020. V průměru každý 3,5tý den prší. V tabulce 4.3 jsou uvedené průměrné hodnoty srážek seřazené podle měsíce od ledna do prosince. Informace získány ze zdroje [32].

Tab. 4.3 Měsíční průměry úhrnů srážek [32]

	měsíční průměr srážek [mm]
leden	25
únor	22
březen	29
duben	29
květen	59
červen	70
červenec	67
srpen	58
září	43
říjen	34
listopad	35
prosinec	33

K výpočtu objemu sesbírané dešťové vody je důležité znát také plochu střech, ze kterých je voda sbírána. Zajímavé využití se nalézají pro dva historické vodojemy v centru města Brna v blízkosti katedrály sv. Petra a Pavla. Po určitých úpravách těchto vodojemů by zde byla akumulována dešťová voda z blízkých střech. Na obr. 4.8 je pohled na domy v oblasti nazývané Petrov. Stavby mají barevné značky (tečky) podle vlastnického práva. Modře vyznačené jsou stavby v osobních vlastnictvích, vlastnictvích Městského dvoru s.r.o., ve vlastnictvích České republiky či statutárního města Brna. Oranžově se vyznačují stavby, které vlastní Římskokatolická farnost u katedrály sv. Petra a Pavla, nebo Biskupství brněnské.



Obr. 4.8 Mapa z katastru nemovitostí, oblast Petřov [19]

Celková plocha modře označených střech činí přibližně 8000 m² a oranžově označených 2260 m². Informace čerpány ze zdroje [19].

4.3 Zásobníky pro dešťovou vodu

V případě hledání nového využití pro zastaralé stavby, kdy není zcela vhodná jejich rekonstrukce, je možnost z nich vytvořit zásobníky např. pro dešťovou vodu, která dále bude určena pro závlahy. Aby nedošlo k porušení vnitřních prostor staveb existuje řešení v podobě flexibilních zásobníků, tzv. polštářů, které fungují jako vaky.

Dále je důležité, aby nadzemní skladovací nádrže byly konstruovány z neprůhledného materiálu a pokud možno chráněny před přímým slunečním zářením, protože teplo a světlo podporuje růst řas a dalších organismů. Možné varianty se s popisem nachází v dalších podkapitolách.

4.3.1 Nafukovací vodní nádrže

Nafukovací vodní nádrže mají širokou škálu malých a velkých kapacit, přibližně se udává 100 l až 500 000 l. Většina výrobců nabízí i individuální domluvu na volbě vhodných rozměrů. Flexibilní nádrže jsou schopné uchovávat kapaliny, které se vyskytují kdekoli, od pitné vody, dešťové vody, šedé vody, paliva až po uhlovodíky. Využitými materiály těchto zásobníků jsou nejčastěji vysokopevnostní PVC, TPU (vyrobena ze silného syntetického materiálu potaženého na obou stranách PVC/TPU). Tyto víceúčelové zásobníky fungují jako variabilní alternativa pro

krátkodobé a dlouhodobé stacionární skladování kapalin. Nezbytnou součástí nafukovacích nádrží vytváří 1 vstup, 1 výstup a 1 odvzdušňovací ventil. Teplotní odolnost se pohybuje v rozmezí od -30 až do + 70 °C.

Flexibilní nádrže na vodu jsou konstruovány např. ve tvaru kostky, aby se vešly do oblastí s omezeným podlahovým prostorem (viz obr.4.9). Na rozdíl od standardních nafukovacích nádrží mají tyto jednotky vyšší stěny. Nádrže Flexi Cube vydrží naplněné rok až 7 let bez poškození. K umístění palivových hadic se používají spojky CAMLOCK nebo se závitem. Mohou být vyrobeny z hliníku, nerezové oceli a polypropylenu. Informace k této podkapitole čerpány z [7], [39].



Obr. 4.9 Flexi Cube od ©GEI Works [7]

4.3.2 Obklad stávajících zásobníků

Dalším řešením pro skladování a sběr dešťové vody jsou nádrže vyrobeny z pružných tkanin za účelem lemování stávajících nádrží. Po připevnění na vnitřní stranu zásobníků se vytvoří nepropustná stěna, která zabrání úniku kapalin netěsnostmi z malých trhlin již stávajících zásobníků. Její nepropustnost zajišťuje páskování podél horní části nádrže pomocí těsnění (plastové nebo ocelové). Mezi stěnu nádrže a obložení se přidává geotextilie, která pomáhá dále zadržovat vodu a chránit vložku proti jakémukoli oděru. Běžné použití pro tuto technologii se nalézá pro staré, netěsněné nebo stávající nádrže. Obklady jsou vyrobeny ze stejných pružných tkanin jako nafukovací nádrže viz výše. Mohou být vyplněny pitnou vodou, šedou vodou, chemikáliemi, a dokonce i různými palivy. Čerpáno z [6].

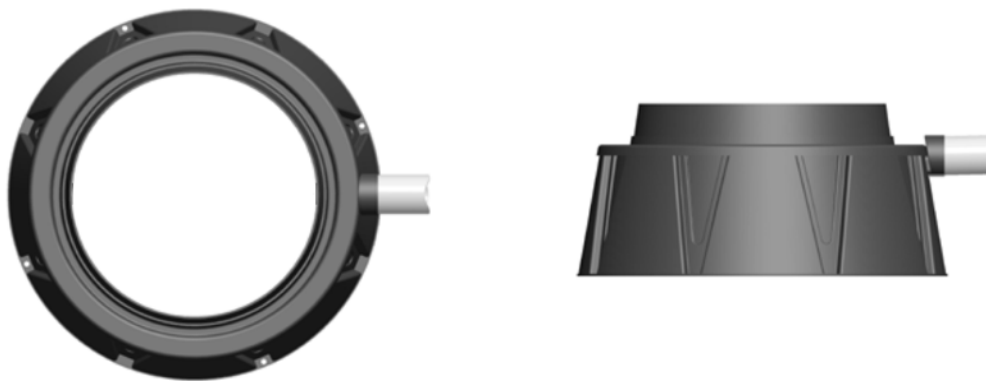
4.4 Distribuce vody do kořenové zóny rostlin

Cílem závlahy se předpokládají mladé dřeviny. Po výsadbové péči se provádí v jisté míře vždy. U vysazených keřů běžně trvá 3 až 5 let, u stromů déle (5 až 10 let). Správné stanovení vyžadovaného množství závlahy závisí na mnoha okolnostech. Obecně lze říct, že strom vysazený do průměrně propustné půdy vyžaduje přibližně 80 l vody na 14 dnů. Informace získány z [48].

Existuje řada metod k minimalizaci stresu vytvořeného z nedostatku vody, který zažívají městské stromy. Zvyšování půdní vlhkosti v kořenové zóně po celý rok je důležitým nástrojem pro udržení zdravých stromů během období sucha a pro dosažení výhod, které jsou získány transpiračním chlazením.

4.4.1 Systém k usměrnění růstu kořenů

Mezi tyto systémy patří např. patentovaný RootDirector Water Harvesting. Je to mimořádně efektivní způsob, jak snížit zátěž dešťové vody na infrastrukturu a zároveň zvýšit růst stromů v městském prostředí. Toto jednoduché zařízení podporuje hlubší zakořenění, chrání chodníky před poškozením kořeny stromů. Na obr. 4.10 je patrná jeho konstrukce, včetně zúžených bežeškových stran je zde i řada žeber. K distribučnímu kanálu vody lze přistupovat při údržbě a čištění, aniž by došlo k narušení kořenového systému stromu, protože je vně systému. Informace k tomuto patentu získány ze zdroje [14].



Obr. 4.10 RootDirector [14]

4.4.2 Systémy využívající kapilárních jevů

Na principu kapilárních jevů funguje švédský systém, který se používá v Evropě již více než 30 let. Všestranný systém je vhodný pro vnitřní i venkovní rostliny, který má tu výhodu, že všechny jeho součásti jsou 100% recyklovatelné. Flexibilní spojení mezi malými zásobníky umožňuje více konfigurací, které se mohou přizpůsobit zakřiveným zónám a nepravidelným tvarům, proto vhodných lokalit pro umístění je mnoho, lze umístit do květináčů, schodů i střešních zahrad. Systém se využívá také u druhů s mělkými kořenovými systémy, např. plochy pro sezónní výsadbu, kruhové objezdy, parky atd.

Skládá se ze systému zásobníků, které jsou viditelné na obr. 4.11, určených na skladování vody, které lze plnit z povrchu nebo pomocí automatizovaného zavlažovacího potrubí. Kořeny absorbují vodu, když ji potřebují, a kapilárou je voda získává ze zásobníků. Kořenový systém se proto vyvíjí zdravěji než při občasném zalévání z povrchu. Konfigurace prstenců se speciálně doporučují pro zalévání velkých nádob, ať už venku či uvnitř. Pomáhají k rychlému zakládání rostlin a zdravému vývoji kořenového systému, protože zajišťují nepřetržitý přísun vlhkosti kolem kořenů, což je klíčový faktor v počáteční fázi po výsadbě. K této podkapitole čerpáno z [33].



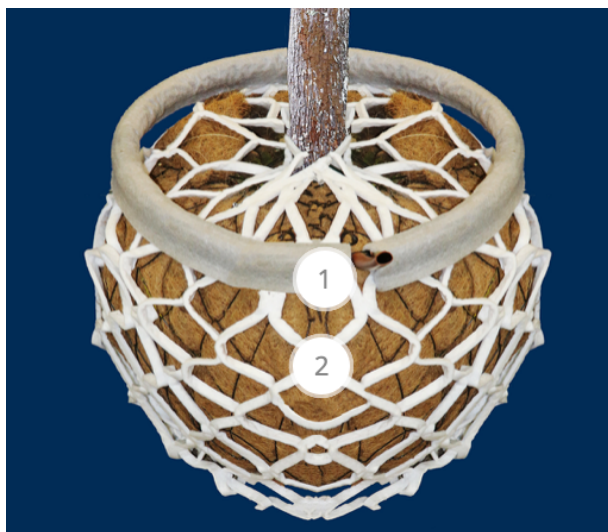
Obr. 4.11 Mona Plant System [33]

4.4.3 Aplikace využívající ochrany zavlažovacího potrubí

V blízkosti závlahy je potřeba chránit potrubní síť před rostoucími kořeny, které mají na něj až zničující dopad. Nutností je ochrana otvorů zavlažovacího potrubí před zarůstáním kořenů rostlin a před ucpáním jemnými částicemi půdy. Nevýhodou konvenčních kapkových zavlažovacích trubek, pokud jsou uloženy v podzemí, je riziko ucpání trysek a nerovnoměrné rozložení vody v půdě. Proto se tyto trubky obvykle pokládají nad zem, avšak zde podléhají poškození.

Za tímto účelem vytvořila firma LITE–SOIL systém BLUELITE–RING s využitím LITE–NETu. Řešení s BLUELITE–RING se využívá především u stromů. Zavlažovací trubka (na obr. 4.12 označena číslem 1.) potažená rounem se vede kolem kmene ve tvaru prstence v hloubce cca 5 až 10 cm. U nových výsadeb stromů je BLUELITE–RING umístěn na růstovou síť LITE–NET, viz obr. 4.12 číslo 2. Tímto způsobem je voda účinně a rovnoměrně směřována ke kořenům. Další výhody tohoto systému zavlažování jsou: žádné ucpávání zavlažovacích otvorů kořeny nebo jemnými částicemi, unikající voda je kapilárně distribuována v plášti a rovnoměrně zavlažuje prostředí na velmi velké kontaktní ploše, ochrana zavlažovacích trubek proti vandalismu a UV záření. Pokud dojde k poškození závlahové trubky, lze ji snadno vyměnit na místě za novou. Strukturu LITE–NET lze využít i na velkoplošnou závlahu, zobrazeno na obr. 4.13, kdy se tato síť pokládá do podzemní vrstvy, do jakékoliv hloubky. Zavlažování je možné kdykoli a nepřetržitě, i když se na trávníku hraje nebo

seká. Díky otevřenému a pružnému tvaru sítě zde není vůbec žádná bariéra, skrz ni mohou snadno růst kořeny rostlin, ukotvit se kolem sítě, a tak extrahovat 100 % vody uložené v případě potřeby. Ve srovnání se zavlažováním postřikem se ušetří až 70 % vody. Zdrojem této podkapitoly je [29].



Obr. 4.12 BLUELITE-RING (č.1
závlahová trubka s rounem, č.2 LITE-
NET) [29]



Obr. 4.13 BLUELITE-NET[29]

4.5 Lokality vhodné k závlaze

V současnosti Brno-město plánuje řadu projektů, které zahrnují výsadbu nových městských rostlin. Mezi nejrozsáhlejší rekonstrukce patří chystaná přestavba Mendlova náměstí, která se vytvořila především za účelem výměny parovodů [31]. Další obnovy proběhnou na Moravském náměstí a v okolí Janáčkova kulturního centra.

V centru města Brna se nalézají i spousta jiných míst, která jsou vhodná pro další výsadbu městské zeleně. Návrhy se nachází na obrázcích (obr. 4.14, 4.15, 4.16, 4.17), které byly vytvořeny pomocí fotoaparátu a v Adobe Photoshop upraveny přidáním obrázků vhodných dřevin. Stromová výsadba je graficky doplněna na náměstí Svobody, Jakubském, Dominikánském náměstí a na rohu dvou ulic Anenská a Pekařská.



Obr. 4.14 Pohled na náměstí Svobody



Obr. 4.15 Zeleň na Jakubském náměstí



Obr. 4.16 Náhled na Dominikánské náměstí



Obr. 4.17 Stromy na rohu ulice Anenské a Pekařské

Zmíněné oblasti v této podkapitole se stávají cílem zájmu pro vytvoření zavlažovacího systému. Jelikož se jedná o zálivku dřevin na náměstích, rozvody se umístí do země i spolu s distribučními trubkami ke kořenům rostlin.

4.5.1 Městské stromy

Při volbě vhodných stromů pro městskou výsadbu se zohledňuje především schopnost růst v daném místě. Každé stanoviště je ovlivněno různými faktory, mezi které patří klimatické a půdní. Lze je detailněji pozorovat vlastnost půdy, hladinu spodní vody, teplotní poměry, vystavení sluneční expozicí, vítr, reliéf a klima. Výběr je ovlivněn:

- prostorovým omezením
- vzdáleností mezi vysázenými stromy stromořadí či alejí (odpovídá alespoň velikosti cílové koruny)
- vzdáleností okolních objektů a nadzemních technických sítí pro rozvoj koruny
- riziky jedovatých, alergenních a trnitých druhů stromů
- zvyšující se teplotou a změny klimatu
- dynamikou rozvoje a vizuálním působením během let
- prostorem v podzemní části.

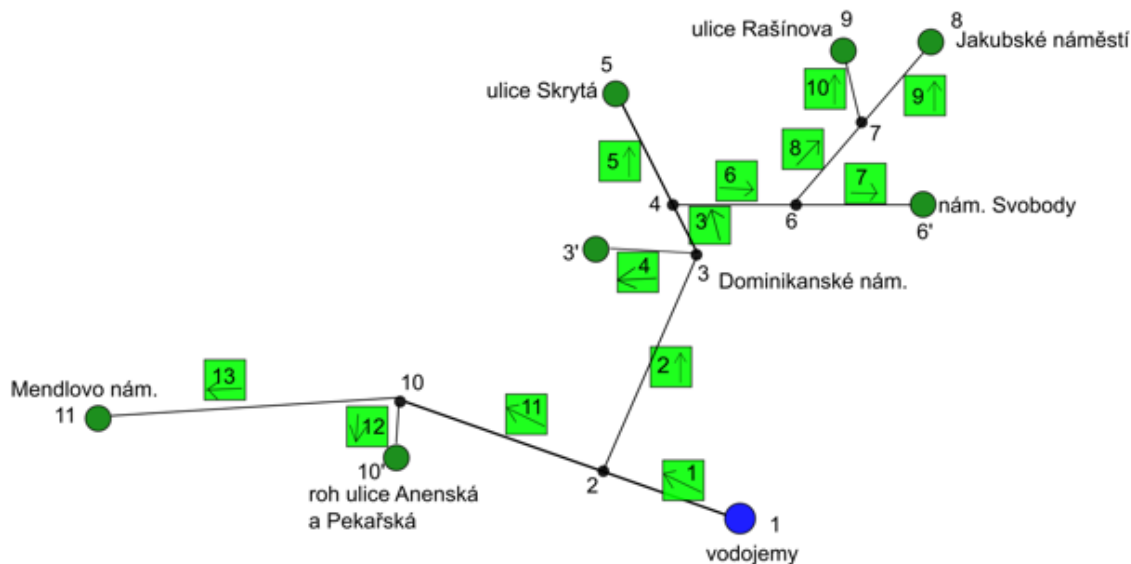
V urbanistické krajině dochází k volbě specificky odolnějších stromů. Existují dřeviny, které lépe odolávají různým nepříznivým podmínkám např. zatláždění, suchu, stinnému místu, posypové soli a znečištěnému ovzduší. Avšak je nutné vzít v úvahu, že neexistuje strom, který by v těchto extrémních podmínkách prosperoval, spíše se jedná o živoření. Proto nastává řešení prvotních příčin a omezování negativních vlivů. Druhovou skladbu pro dané místo a následující úpravy plánuje architekt zabývající se krajinářstvím. Mezi potenciálně vhodné druhy se zařazují:

- Olše Spaethova, která je křížená mezi *a. japonica* a *a. subcordata*, patří mezi druh známé v Nizozemí. Stává se stromem vhodným do městských ulic. Roste i v neúrodných půdách, dobře odolný vůči působení větru a není citlivý na zasolení. Je považován za mrazuvzdornou dřevinu a díky dynamice růstu rychle zarůstají i mrazové trhliny.
- Jasan zimnář (*Fraxinus ornus*) se označuje jako mrazu odolný druh. Rychle zvládá škody na výhonech po pozdních jarních mrazech. Jelikož dobře snáší sucha i horka, je vhodný do městských ulic. Přirození stanoviště nalézají v krasových svazích. Zatím nevykazuje náchylnost na nekrózu jasanu. Patří mezi kvetoucí stromy.
- Habrovec habrolistý (*Ostrya carpinifolia*) roste na suchých a slunných svazích jihovýchodní Evropy. Je mrazuvzdorný a všeobecně znám jako nenáročný, avšak se vyznačuje delší dobou růstu.
- Lípa stříbrná (*Tilia tomentosa* 'Brabant') je velmi odolná vůči suchu. Nemá sklon k odumírání výhonů při napadení houbou *Stigmina*. Díky stříbřité plstnaté spodní straně listů tento strom nenapadají mšice. Patří mezi mrazuvzdorné dřeviny.

Vyskytují se i další taxony, které jsou typické odolností vůči různým podmínkám. Dřeviny zaměřené na rezistenci před posypovými solemi jsou např.: javor babyka (*Acer campestre*), pajasan žláznatý (*Ailanthus altissima*), bříza bělokorá (*Betula pendula*), hrušeň obecná (*Pyrus communis*), vrba bílá (*Salix alba*), jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*). Stromy, u kterých se provádí výsadba se zatlážděním: javor babyka, javor mléč (*Acer platanoides*) a javor klen (*Acer pseudoplatanus*), habr obecný (*Carpinus*), hloh obecný (*Crataegus*), jabloň (*Malus*), hrušeň, trnovník akát (*Robinia*), jeřáb (*Sorbus*). Informace k této podkapitole získány z [34] a [43].

4.6 Varianta zavlažovacího systému

Tato podkapitola je věnována výpočtu navržené vodovodní sítě vedoucí z vodojemů na Petrově až k uzlovým bodům končících na: náměstí Svobody, Dominikánském náměstí, ulici Skrytá, Jakubském náměstí, ulici Rašínova, rohu ulice Anenské a Pekařské a Mendlově náměstí. Trubky jsou označeny čísly ve čtverečcích (od 1 po 13), směry toku šipkou a jednotlivé uzly tečkou s číslem, viz níže obr. 4.18.



Obr. 4.18 Vodovodní síť – závlahový systém

Významné parametry vyplývají z tab. 4.4, kdy $h_p - h_k$ je rozdíl nadmořské výšky v počátečním a koncovém uzlu. Využívaným médiem je voda a její vlastnosti jsou uvedeny v tab. 4.5.

Tab. 4.4 Parametry potrubí z územní analýzy Brna

Trubka	$h_p - h_k$ [m]	Délka [m]
1	7	220
2	9	210
3	2	55
4	2	60
5	3	200
6	5	120
7	1	70
8	1	160
9	-2	200
10	-3	100
11	18	400
12	3	50
13	10	650

Tab. 4.5 Vlastnosti média

Médium	voda
hustota	998 kg/m ³
kin. viskozita	1,00E-06 m ² /s

Ve výpočtech se uvažuje hodnota tíhového zrychlení $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ a za atmosférický tlak dosazena hodnota 101325 Pa.

4.6.1 Stanovení hydraulických ztrát

Hydraulické ztráty, neboli odpory, se dále dělí na místní a třecí ztráty. Třecí se charakterizují tím, že záleží na délce kanálu, potrubí... Proto se třecí ztráty nazývají i ztrátami délkovými. Místní odpory vznikají v oblastech, kde dochází ke změně velikosti rychlosti, směr rychlosti nebo také v případech, kdy nastává změna velikosti i směru rychlosti. Informace čerpány z [5] a [9].

Třecí ztráty v potrubí

Pro výpočet ztrát se definuje ztrátový součinitel ζ , který v případě třecích ztrát potrubí je závislý na délce potrubí L , třecímu součiniteli λ a průměru D . Měrná ztrátová energie stanovena rovnicí, která se označuje jako tzv. Darcy-Weisbachova rovnice

$$Y_{z,L} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v|v|}{2} \quad [\text{J/kg}] \quad (4.1)$$

kde L ... délka potrubí [m]
 D ... průměr potrubí [m]
 λ ... třecí součinitel [-]
 v ... střední průtočná rychlost [ms^{-1}]

Třecí součinitel λ je u **laminárního** proudění ($Re < 2320$) pouze funkcí Reynoldsova čísla Re

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad [-] \quad (4.2)$$

Kde Reynoldsovo číslo vychází ze vztahu

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad [-] \quad (4.3)$$

kde ν ... kinematická viskozita [m^2/s]

U **turbulentního** proudění, které se v dalším řešení předpokládá, se třecí součinitel λ závisí nejen na Re , ale i relativní drsnosti. V tomto případě se rovnice pro součinitel tření neřeší analyticky, ale stanoveny jsou experimentálně. Existují vztahy empirické, explicitní a implicitní. Implicitní rovnice odvozená Colebrook – Whitem pro vyjádření součinitele tření se převádí na explicitní vzorce, aby se λ neřešila iterativně. Je zvolen výpočet podle Churchilla (viz obr. 4.19).

² kinematická viskozita je poměrem dynamické viskozity a hustoty

Výpočet λ dle Churchilla

$$\lambda = 8 \cdot \left[\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{(A+B)^2} \right]^{\frac{1}{12}}$$

$$A = \left[2,457 \cdot \ln \left(\frac{1}{\left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} + 0,27 \cdot \frac{k}{d}} \right) \right]^{16}$$

$$B = \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

Obr. 4.19 Výpočet ztrátového součinitele λ podle Churchilla [5]

V dalším kroku se zvolí materiál potrubí, uvedeno plastové potrubí, pro které se stanoví drsnost $k = 10^{-5}$ m z tab. 4.6.

Tab. 4.6 Absolutní drsnost materiálů potrubí [5] – upraveno autorem

Materiál potrubí	Původní stav k [mm]	Korodovaný stav k [mm]
Tažené trubky mosazné, měděné, hliníkové	0,0015 až 0,003	0,03 až 0,1
Bezešvé trubky ocelové	0,04 až 0,1	0,1 až 0,9
Tažené trubky ocelové	0,03 až 0,12	0,12 až 0,9
Svařované trubky ocelové	0,05 až 0,1	0,1 až 0,9
Pozinkované trubky ocelové	0,15 až 0,5	0,5 až 3,5
Skleněné trubky, trubky z plastů	0,0015 až 0,01	
Přezové hadice	0,01 až 0,03	
Betonové potrubí	0,3 až 6,0	

Místní energetické ztráty v potrubí

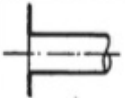
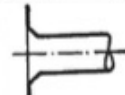
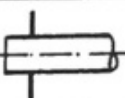
Potrubní síť se netvoří jen z rovných úseků, ale nachází se zde kolena, rozdělení proudu, odbočky a jiné. V těchto oblastech dochází k víření, eventuálně i k odtržení proudu kapaliny. Velikost ztrátové měrné energie místních ztrát se vyjadřuje ze vztahu

$$Y_{Z,m} = \zeta_m \frac{v|v|}{2} \quad [\text{J/kg}] \quad (4.4)$$

kde ζ_m ... ztrátový součinitel [-]

Ztrátový součinitel ζ_m je závislý např. na drsnosti stěn potrubí, typu místní ztráty, konstrukčních veličinách, na režimu proudění. Reynoldsovo číslo má vliv především u jeho nízkých hodnot, pokud nabývá hodnot $Re \geq 10^5$, je jeho vliv zanedbatelný. Na obr.4.20 (a, b, c) jsou vybrány druhy místních odporů, které se využívají pro výpočet dané varianty potrubní sítě.

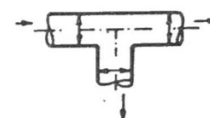
TAB. 1.3.2 MÍSTNÍ TLAKOVÉ ZTRÁTY PŘI VTOKU DO POTRUBÍ [13]

Vtok	Úprava vtoku	ζ				$B \cdot 10^{-2}$					
	ostrá vstupní hrana	0,50				2,55					
	vstupní hrana seříznutá 1 : 1	0,25				1,27					
	zaoblená vstupní hrana	0,20				1,02					
	zaoblený vstup	$\frac{r}{d}$	0,02	0,08	0,16	0,20					
		ζ	0,37	0,15	0,06	0,03					
		B	1,89	0,765	0,306	0,153					
	zaoblení ve tvaru strofoidy (podle Lískovce)	0,043				0,219 2					
	ostrohranné odbočení pod úhlem α $\zeta = 0,5 +$ $+ 0,3 \cos \alpha +$ $+ 0,2 \cos^2 \alpha$	α°	85	80	75	70	65	60	55	50	45
		ζ	0,53	0,56	0,59	0,63	0,66	0,70	0,74	0,78	0,81
		B	2,701	2,854	3,007	3,211	3,364	3,568	3,772	3,976	4,128
	potrubí zasahuje do nádrže	1,0				5,097					

Obr. 4.20a Místní ztráty – vtok do potrubí [15]

TAB. 1.3.8 MÍSTNÍ TLAKOVÉ ZTRÁTY PŘI PRAVOÚHLÉM SPOJENÍ POTRUBÍ (PRO $d = d_a$)

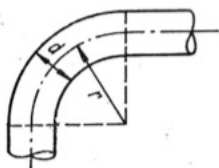
Q_a/Q	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
ζ_a	-1,20	-0,40	0,10	0,47	0,72	0,92
ζ_b	0,06	0,18	0,30	0,40	0,50	0,60



Obr. 4.20b Místní ztráty – pravoúhlé spojení [15]

OBLOUK V POTRUBÍ (obr. 1/6)

$$\zeta' = \left[0,131 + 0,163 \left(\frac{d}{r} \right)^{3,5} \right] \frac{\alpha}{90} = \zeta \frac{\alpha}{90} \quad (10d)$$



Pro oblouk o úhlu α jiném než 90° , který je v tab. 1.3.7, se ζ násobí poměrem $\frac{\alpha}{90}$.

**TAB. 1.3.7 SOUČinitele MÍSTNÍ TLAKOVÉ ZTRÁTY
 ζ PRO OBLOUKY 90°**

$\frac{d}{r}$	ζ	$\frac{d}{r}$	ζ	$\frac{d}{r}$	ζ	$\frac{d}{r}$	ζ
0,1	0,13	0,6	0,16	1,1	0,36	1,6	0,98
0,2	0,13	0,7	0,18	1,2	0,44	1,7	1,18
0,3	0,13	0,8	0,21	1,3	0,54	1,8	1,41
0,4	0,14	0,9	0,24	1,4	0,66	1,9	1,67
0,5	0,15	1,0	0,29	1,5	0,81	2,0	1,98

Obr. 4.20c Místní ztráty – oblouk [15]

Místní energetické ztráty v armaturách

Kromě výše zmíněných tvarovek jsou v systému použity i uzavírací armatury. Postup výpočtu místních tlakových ztrát zůstává beze změny od předchozího řešení. Od výrobců se získávají hodnoty průtokových součinitelů K_V nebo jmenovitých průtokových součinitelů armatury K_{VS} , které se přepočítají na ztrátový součinitel ζ_m . Mnoho evropských výrobců stanovuje pro armatury hodnoty K_{VS} . Z důvodů tolerance výrobce doporučuje volit hodnoty K_{VS} větší než maximální hodnoty průtokového součinitele K_V . Proto lze využít doporučeného vztahu $K_{VS} = 1,1 \div 1,3 K_V$ [37]. Součinitel K_V se definuje vztahem

$$K_V = Q \sqrt{\frac{\rho/\rho_0}{\Delta p/\Delta p_b}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.5)$$

kde Q ... objemový průtok $[\text{m}^3/\text{h}]$
 ρ_0 ... hustota referenčního média $[\text{kg}/\text{m}^3]$
 ρ ... hustota média $[\text{kg}/\text{m}^3]$
 Δp_b ... tlaková ztráta ($10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$) $[\text{Pa}]$
 Δp ... tlaková ztráta armatury $[\text{Pa}]$.

Po dosazení referenčních podmínek, kdy hustota vody dosahuje 1000 kg/m³ a tlaková ztráta Δp_b 1 bar, se získá vztah

$$K_V = 3600 \cdot Q \sqrt{\frac{10^5 \rho}{10^3 \Delta p}} = \frac{1}{N} Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4.6)$$

kde $Q \dots$ objemový průtok $[\text{m}^3/\text{s}]$
 $N = 1/36000$ $[-]$.

Pro výpočet ztrátového součinitele se využívá vztahu

$$Y_{z,m} = \frac{\Delta p}{\rho} = \zeta_m \frac{v|v|}{2} \quad [\text{J/kg}], \quad (4.7)$$

kde po úpravě

$$\Delta p = \rho \cdot \zeta_m \frac{Q|Q|}{2 \cdot S^2} \quad [\text{Pa}]. \quad (4.8)$$

Za předpokladu kruhového průřezu je získán vztah

$$K_V = \frac{1}{N} Q \sqrt{\frac{\rho}{\rho \cdot \zeta_m \frac{Q|Q|}{2 \cdot (\pi D^2/4)^2}}} \quad [\text{Pa}] \quad (4.9)$$

a po následných úpravách se stanoví výpočetní vztah pro ztrátový součinitel armatury

$$\zeta_m = \frac{2 \cdot DN^2}{\left(K_V \frac{1}{36000}\right)^2} \quad [-] \quad (4.10)$$

kde $DN \dots$ jmenovitá světlost potrubí $[\text{m}]$
 $K_V \dots$ průtokový součinitel $[\text{m}^3/\text{h}]$.

4.6.2 Tlaková a průtoková analýza sítě

Tato podkapitola pojednává o určení hodnot tlaků a průtoků v místech potrubního systému, přesněji v uzlech sítě. Hodnoty jsou stanoveny pro vybraný provozní režim. Větvená trubní síť se modeluje jako systém potrubních úseků, které jsou orientované ve směru předpokládané orientace proudění. Tyto úseky jsou popsány konstantními vlastnostmi a v uzly doplněny o podmínky. Informace k této podkapitole čerpány z [9].

Každý uzel v simulaci představuje prvek s nulovým rozměrem a výhradně zastupuje podmínku spojitosti, podmínka kontinuity v uzlech

$$\Sigma Q = 0 \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.11)$$

kde $Q \dots$ objemový průtok $[\text{m}^3/\text{s}]$

Pro výpočet celkové měrné energie trubní sítě je využito upraveného vztahu ve tvaru

$$Y_Z = \left(\frac{\lambda L}{D} + \Sigma \zeta_m \right) \frac{Q|Q|8}{\pi^2 D^4} \quad [\text{J/kg}] \quad (4.12)$$

Následně z Bernoulliho rovnice při zanedbání rychlostí je zjištěno residuum, chyba. Pro jednotlivé části potrubní sítě, jsou zapsány rovnice

$$\frac{p_z - p_k}{\rho} + g(h_z - h_k) - Y_Z = \text{residuum} \quad [\text{J/kg}] \quad (4.13)$$

kde index z ... začátek dané části trubky
 index k ... konec dané části trubky
 p ... tlak [Pa]
 h ... výška uzlu od nulové hladiny [m]

Hodnoty residua jsou vypočteny pomocí funkce v MS Excel s názvem Řešitel. Čtverec chyb neboli součet druhých mocnin residuí, viz vztah 4.5, je nejmenší hodnota, která je Řešitelem vypočtena.

$$\sum \text{residuum}^2 = \text{kvadrát chyb} \quad (4.14)$$

4.6.3 Výsledky výpočtů

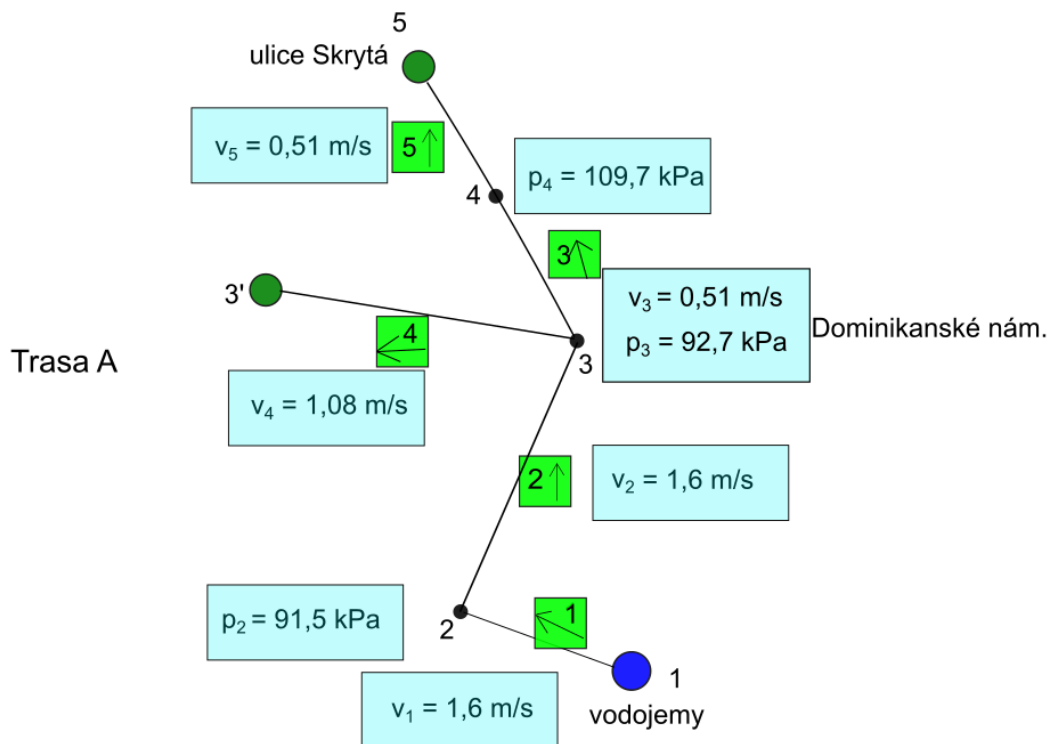
Celá síť je rozdělena na 4 trasy, které se zaměřují na závlahu menších oblastí, aby nedocházelo k přesycení půdy vodou v místech lokalizovaných blíže k nádrži. V prvotních řešeních se nezahrnuje přidaná měrná energie čerpadlem a snahou je získat fungující systém bez jeho využití. Výpočet je proveden pro hodnoty získaných místních ztrát pro průměry potrubí DN32, DN50 a DN65 (viz tabulka 4.7).

Tab. 4.7 Místní ztráty podzemního zavlažovacího systému

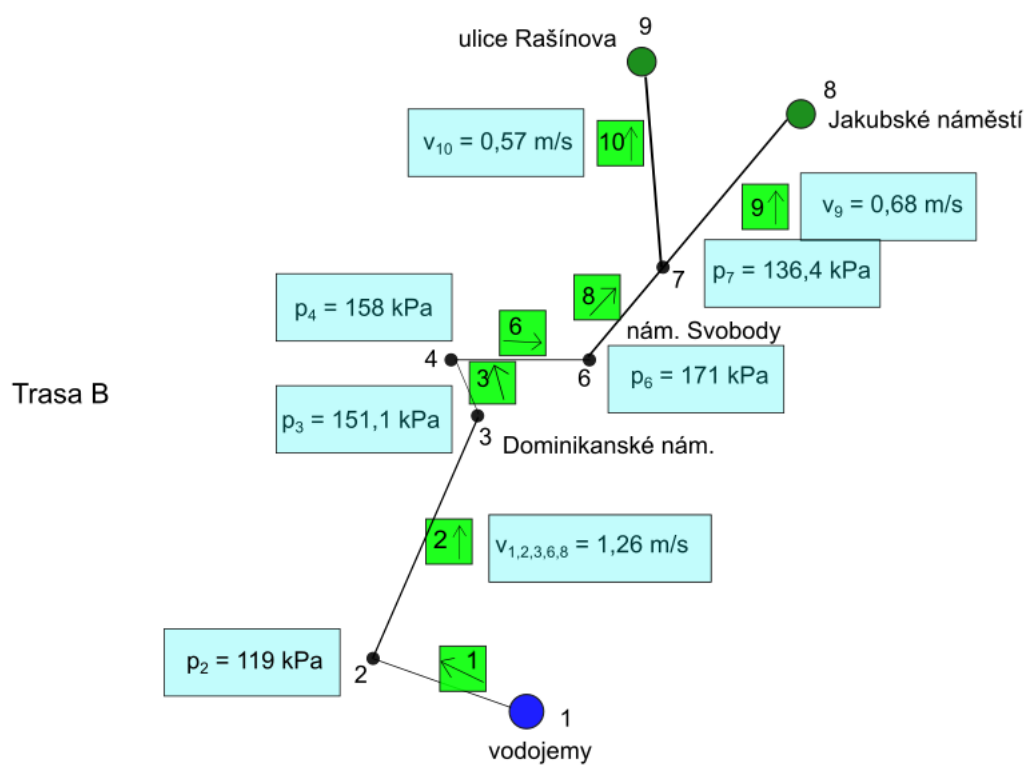
č.	armatura/tvarovka	počet	$\Sigma \zeta_m$ [-]		
			DN32	DN50	DN65
1	vodojem-kulový kohout	1			
	ostrá vstupní hrana vtok	1	1,4	1,4	1,5
	obloukové koleno 90°	2			
	obloukové koleno 45°	1			
2	obloukové koleno 90°	2			
	trojcestný regulační ventil	1	10,0	9,6	10,9
3	T-kus	1	0,5	0,5	0,5
4	kulový ventil	1			
	obloukové koleno 90°	1			
	T-kus	1	1,2	1,1	0,9
5	trojcestný regulační ventil	1	9,4	9,0	10,4

6	trojcestný regulační ventil	1			
	obloukové koleno 90°	1	9,7	9,3	10,6
7	obloukové koleno 90°	1			
	trojcestný regulační ventil	1	9,7	9,3	10,6
8	trojcestný regulační ventil	1			
	obloukové koleno 90°	1	9,7	9,3	10,6
9	T-kus	1			
	obloukové koleno 90°	1	0,8	0,8	0,8
10	T-kus	1	0,5	0,5	0,5
11	obloukové koleno 90°	1			
	trojcestný regulační ventil	1	9,7	9,3	10,6
12	T-kus	2			
	kulový ventil	1			
	obloukové koleno 90°	1	1,7	1,6	1,4
13	T-kus	1			
	obloukové koleno 90°	2			
	obloukové koleno 45°	1	1,2	1,2	1,2

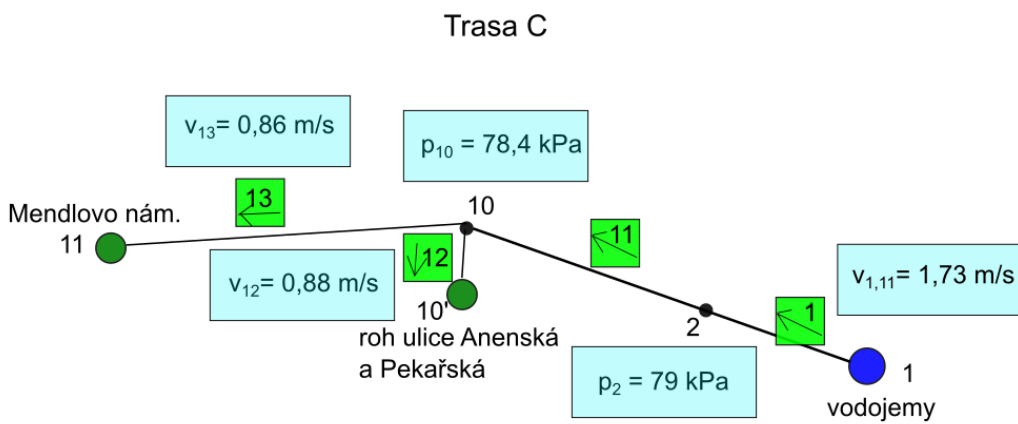
Na obrázcích 4.21 a) až d) se vyskytují zakreslené trasy s popisky vypočtených veličin v uzlech a trubních úsecích pro zvolený průměr DN65. V uzlech se dopočítává hodnota tlaku a v úsecích střední průtočná rychlost.



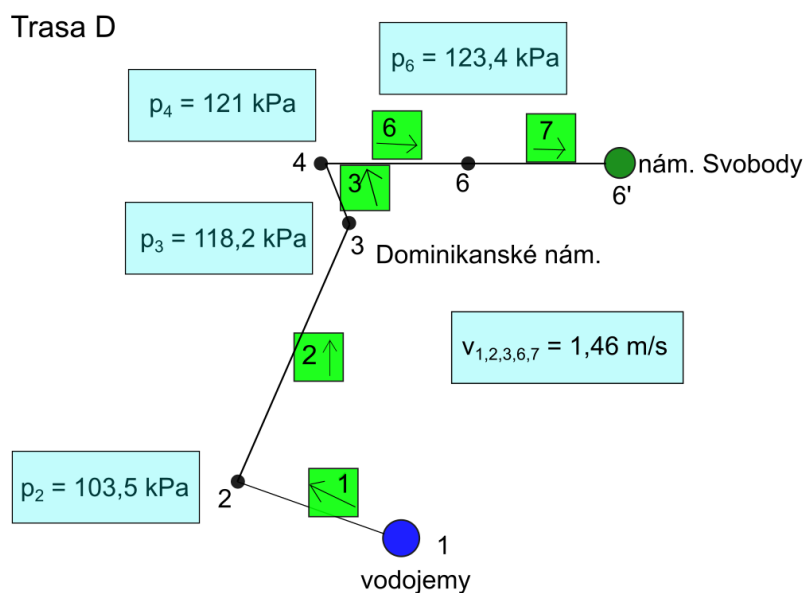
Obr. 4.21a Trasa A



Obr. 4.21b Trasa B



Obr. 4.21c Trasa C



Obr. 4.21d Trasa D

Pro srovnání jsou dopočteny hodnoty absolutních tlaků a objemových průtoků pro průměr DN50, které se nachází v tab. 4.8.

Tab. 4.8 Výsledky pro průměr DN50

DN50 veličina	Trasa			
	A	B	C	D
p1				
p2	89459 Pa	116730 Pa	77570 Pa	100471 Pa
p3	93268 Pa	149320 Pa		115546 Pa
p4	110261 Pa	155532 Pa		117269 Pa
p5				
p6		170535 Pa		121118 Pa
p7		136866 Pa		
p10			78698 Pa	
Q1	2,67E-03 m ³ /s	2,12E-03 m ³ /s	2,89E-03 m ³ /s	2,46E-03 m ³ /s
Q2	2,67E-03 m ³ /s	2,12E-03 m ³ /s		2,46E-03 m ³ /s
Q3	8,38E-04 m ³ /s	2,12E-03 m ³ /s		2,46E-03 m ³ /s
Q4	1,84E-03 m ³ /s			
Q5	8,38E-04 m ³ /s			
Q6		2,12E-03 m ³ /s		2,46E-03 m ³ /s
Q7		8,00E-04 m ³ /s		2,46E-03 m ³ /s
Q8		2,12E-03 m ³ /s		
Q9		1,14E-03 m ³ /s		
Q10		9,82E-04 m ³ /s		
Q11			2,89E-03 m ³ /s	
Q12			1,48E-03 m ³ /s	
Q13			1,41E-03 m ³ /s	

V tomto případě se prvně sleduje hodnota nejmenší dosažené průtočné rychlosti v systému. Z výpočtů je zřejmé, že kritické hodnoty nabývají u průměrů menších jak DN50, kde se průtočná rychlost v trubních úsecích pohybuje pod 0,5 m/s. Mohlo by tudíž docházet ke tvorbě usazenin. Nejlepší volba průměru se pohybuje mezi DN50 a DN65. Ve zbytku diplomové práce se počítá s variantou s větším průměrem (DN65). Maxima průtočné rychlosti se pohybují v obou případech pod 1,8 m/s, tudíž není ani předpokládán hlučný provoz.

Další pozornost získávají hodnoty tlaků v jednotlivých uzlech. Jak je již zmíněno, přepravovaným médiem se stává dešťová voda. Při teplotě 20 °C nabývá tlak nasycených par 2340 Pa, s nižší teplotou tento tlak klesá a při 100 °C dosahuje 1 atm. Při úvaze se počítá s průměrnou teplotou pro letní měsíce v Jihomoravském kraji a v systému se předpokládá proudění vody o teplotě 20 °C. Jelikož vypočtený absolutní tlak v uzlech neklesá pod tlak sytých par, neuvažuje se působení kavitace a jejích důsledků. Minimální tlak dosahuje hodnoty 78 kPa a maximální 171 kPa.

4.6.4 Automatizace provozu závlahy

Způsoby automatické závlahy se dělí na povrchovou a podzemní. Cílem návrhu se stává pouze způsob automatické podzemní závlahy. Vhodná automatizace s sebou přináší řadu výhod: nedochází k rozplavování a přemokření půdy nebo naopak k uschnutí rostlin z nedostatečného množství zálivky, nadbytečný růst plevelů, mechů či houbových chorob. Automatizace provozu závlah se stává nedílnou součástí velkoplošných systému, avšak nachází své uplatnění také při závlaze domácích zahrad či balkónů.

Mezi základní prvky pro vhodnou automatizaci patří čidla, která snímají různé veličiny např. půdní vlhkost, směr a rychlost vzduchu, množství srážek, intenzitu slunečního záření a tlak vody v potrubí. Dalším nejdůležitějším členem je elektromagnetický ventil, kdy elektromagnetická cívka zajišťuje jeho otevření a uzavření. Pracují na spouštění jednotlivých tras A až D, uloženy jsou do podzemních šachtic. Celý systém je propojen elektrorozvody a řízen ovládací jednotkou, která funguje podle nastaveného závlahového kalendáře a získaných dat ze senzorů. Ovládací jednotka je ve variantě bateriového provedení se solárním akumulátorem. Údaje o automatizaci získány z [23], [18].

Dešťový senzor

Mezi základní a také nejpoužívanější senzor se řadí dešťové čidlo. Na snímači se nastavuje množství úhrnu srážek, při kterém je blokováno zahájení závlahy. Další nastavení je možno pomocí vysychání senzoru podle typu zavlažované půdy.

Senzor půdní vlhkosti

Čidlo půdní vlhkosti slouží k určení stavu vlhkosti v kořenové zóně rostlin. Snímání se navrhuje na principu měření elektrického odporu půdy. Jednotka zpracovává určený vláhový deficit zeleně, vypočte vhodnou dávku zálivky a určí pořadí zavlažování.

Senzor evapotranspirace

Jedná se o kombinovaný senzor, který měří teplotu vzduchu, množství srážek a intenzitu slunečního záření. Z těchto uvedených veličin vyhodnocuje

evapotranspiraci ze zavlažované plochy. Ze získaných dat každý den modifikuje množství závlivky. Zvládne uspořít až 30 % vody v průběhu vegetačního období.

5 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ

Součástí každého projektu existuje finanční rozvaha, která komentuje kapitálové prostředky současných fungujících projektů a nového navrženého. V této diplomové práci se vyskytuje porovnání městské závlahy uskutečněné pomocí:

- I. mobilní jednotky využívající vodu z vodovodního řádu
- II. podzemního závlahového systému s využitím akumulované dešťové vody.

Závěrem je také nutno zhodnotit dopad výše zmíněných možností na ekologii přírody. Mezi finanční náklady stávající formy městské závlahy patří:

- a) mzda pro zaměstnance vykonávající manuální podobu zavlažování rostlin
- b) sazba za množství odebrané vody z vodovodního řádu
- c) vhodný dopravní prostředek určený k přejiždění
- d) spotřebované množství pohonného paliva
- e) pořízení cisterny.

Do výše zmíněného výčtu jsou často přidány i jiné prvky. Mezi ně patří např. vaky, ve kterých jsou umístěny stromy a pomocí kapkové závlivky zavlažovány.

Ve druhém případě existují zcela odlišné náklady, snahou je dospět k systému bez využití elektrické energie, popř. minimální možné. Existence prostor vhodných k akumulaci sníží závěrečné náklady pro zbudování a provoz zavlažovacího velkoplošného systému. Do již zmíněných prostor se umístí vodní vak (viz podkapitola 4.3.1), pokud nastává nutnost místnost zabezpečit před možným únikem vody, lze využít obkladu, který je zmíněn v podkapitole 4.3.2. Vodní vaky, mohou nacházet i označení jako měchýřovité nebo polštářové vaky, vyrábí na míru řada zahraničních firem i s různou volbou materiálu, který zaručuje odlišnou dobu pro setrvání náplně ve vaku. Obvyklá doba životnosti naplněného vaku se pohybuje od 5 do 10 let, méně častým jevem je životnost naplněných vaků přes 20 let. V tomto případě by docházelo k vypouštění a vyčištění vaku každý rok, aktivně využívaný přibližně 6 až 7 měsíců. Dalším finančně náročným členem se stává vybudování potrubní sítě s nezbytnými elementy (armatury, distribuční síť ke kořenům a jiné).

V rámci porovnání se uvažuje zavlažování 100 stromů rozmístěných v blízkosti koncových uzlových bodů, které se vyskytují na: náměstí Svobody, Dominikánském náměstí, ulici Skryté, Jakubském náměstí, ulici Rašínova, rohu ulice Anenské a Pekařské a Mendlově náměstí. Délka jedné trasy pro pojiždění vozidla je 2 km a celková délka potrubí 2,5 km. Za předpokladu výsadby mladých stromů je vhodné zásobovat každé dva týdny jeden strom 80 l vody [48].

5.1 Varianta I.

Pokud se využije mobilní jednotka s vozidlem, které se zařazuje mezi vozidla do 3,5 t, nevyžaduje se vyšší řidičské oprávnění než skupiny B. Proto bylo zvoleno vozidlo Multicar typ M26, na které se umístí cisterna o objemu 2000 l. Větší cisternu není možné instalovat z důvodů přesahu šířky korby. Pro zaměstnance je v tomto případě uvažována minimální mzda na 4 hod/týdně. V tabulce 5.9 jsou detailněji rozepsané náklady s předpokládanou cenou.

Tab. 5.9 Vybrané položky nezbytné k závlaze: varianta I.

vodné v Brně	44,39 Kč/m ³ [42]
průměrná cena pohonné hmoty	27 Kč/L
minimální mzda	87,3 Kč/hod
doba směny	8 hod
zálivka stromu	80 L 1x za 2 týdny
spotřeba	15 L/100 km
stromů	100 ks
vzdálenost potřebná k pojiždění	2 km
Multicar M26 – použitý vůz	1050000 Kč
cisterna plastová 2000L	15000 Kč

Odhadovaná celková cena jednoho výjezdu každý druhý týden se nachází v tab. 5.10.

Tab. 5.10 Varianta I., sazba za jeden výjezd vozidla

voda	355,12 Kč
zaměstnanec	698,4 Kč
spotřebované pohonné hmoty	32,4 Kč
cisterna	15000 Kč
celkem	16086 Kč

V další krocích se zvažuje 6 měsíců aktivní závlivy. V těchto případech není započtena cena za celé vozidlo. Předpokládá se, že se využívá i při jiných činnostech, např. čištění vozovek či ošetřování před námrazou apod. Proto je rozdělena celoroční činnost vozidla na 4 rozdílné úkony, které se liší podle ročních období na jaro/léto, podzim/zima. Demonstrativně jsou zvoleny úkony: pro zálivku, pro úklid, ošetřování vozovky před námrazou, úklid sněhu. Pokud se zváží využití pouze pro zvolený projekt bez nákladných oprav, stanoví se odhad na 5leté užívání vozidla na 300 tis. Kč. Sazba zahrnuje i 1/4 část hodnoty každoroční výměny pneumatik, povinného ručení a havarijního pojištění. V tab. 5.11 se vyskytuje shrnutí této varianty podle let v provozu.

Tab. 5.11 Shrnutí varianty I.

za rok (6 měsíců)	28100 Kč
5 let	368000 Kč
10 let	696000 Kč
20 let	1392000 Kč

Po 5 letech se předpokládá výměna vozidla, protože následné opravy nejsou zcela rentabilní. Tudíž 20letý provoz se pohybuje těsně pod 2 mil. Kč, avšak není zde zahrnut růst ceny za vodné³ z tab. 5.12 je zřejmé, že sazby narůstají, ale nemožné předvídat sazby v horizontu 20 let.

Tab. 5.12 Vodné pro Brno město (všechny ceny jsou uvedeny včetně DPH) [42]

	celkem (vodné i stočné) [Kč/m ³]	vodné [Kč/m ³]	nárůst ceny [%]
2003	44,68	20,9	–
2004	46,91	21,88	4,69
2005	48,79	22,77	4,26
2006	49,98	23,32	2,63
2007	49,98	23,32	0,00
2008	53,97	25,18	8,90
2009	56,68	26,45	6,08
2010	57,2	26,7	1,20
2011	60,17	28,06	6,51
2012	64,3	29,99	9,23
2013	67,61	31,4	6,75
2014	70,94	33,73	11,15
2015	74,46	36,1	11,34
2016	75,14	36,78	3,25
2017	75,74	37,08	1,44
2018	75,74	37,08	0,00
2019	79,53	38,8	8,23
2020 - do 30. 4. 2020	84,3	43,47	22,34
2020 - od 1. 5. 2020	80,63	41,58	-9,04
2021	85,21	44,39	13,44

³ Vodné je úhrada za vodu dodávanou z veřejného vodovodu, tj. zahrnuje výrobu a distribuci pitné vody.

5.2 Varianta II.

Cílem této diplomové práce je navržení varianty II. (podzemní závlahový systém s využitím akumulace dešťové vody). Prvotní náklady obsahují především vybudování celého systému. Rozvodná síť je vedena v blízkosti kanalizačního potrubí a je z PE⁴, bližší informace k sazbám za jednotlivé části v tabulce 5.13.

Tab. 5.13 Jednotlivé prvky varianty II.

armatury	76660 Kč	
cena potrubí	61 Kč/m	
kapkovací potrubí	51 Kč/m	
LITE–NET PP pro 1 strom	25 euro	
flexibilní vodní vak od © FT vaky, s.r.o.	170 Kč	150 m ³

LITE–NET Bio5 je vyráběn z přírodních materiálů, proto se jeho životnost nachází v rozmezí 5 až 10 let. Po uplynutí 5 let se zahajuje jeho postupný přírodní rozklad. Alternativní volba se nalézá v podobě LITE–NET z PP (polypropylen), který dosahuje vyšší životnosti a je i znovu použitelný. Ve výpočtech se vychází z aktuálního kurzu pro euro (1 € = 26 Kč) [26]. Odhad sazby za flexibilní vak od firmy © FT vaky obsahuje i cenu za přídatné příslušenství. Zvolený vak se vyrábí z materiálu, který má deklarovanou životnost 20 let, avšak dosahují i vyšší [12]. V tabulce 5.14 je shrnutí varianty II. s předpokladem neuskutečnění žádných nákladných oprav a nejsou zahrnuty ani zemní a výkopové práce na realizaci stavby.

Tab. 5.14 Shrnutí varianty II.

5 let	481000 Kč
10 let	481000 Kč
20 let	481000 Kč

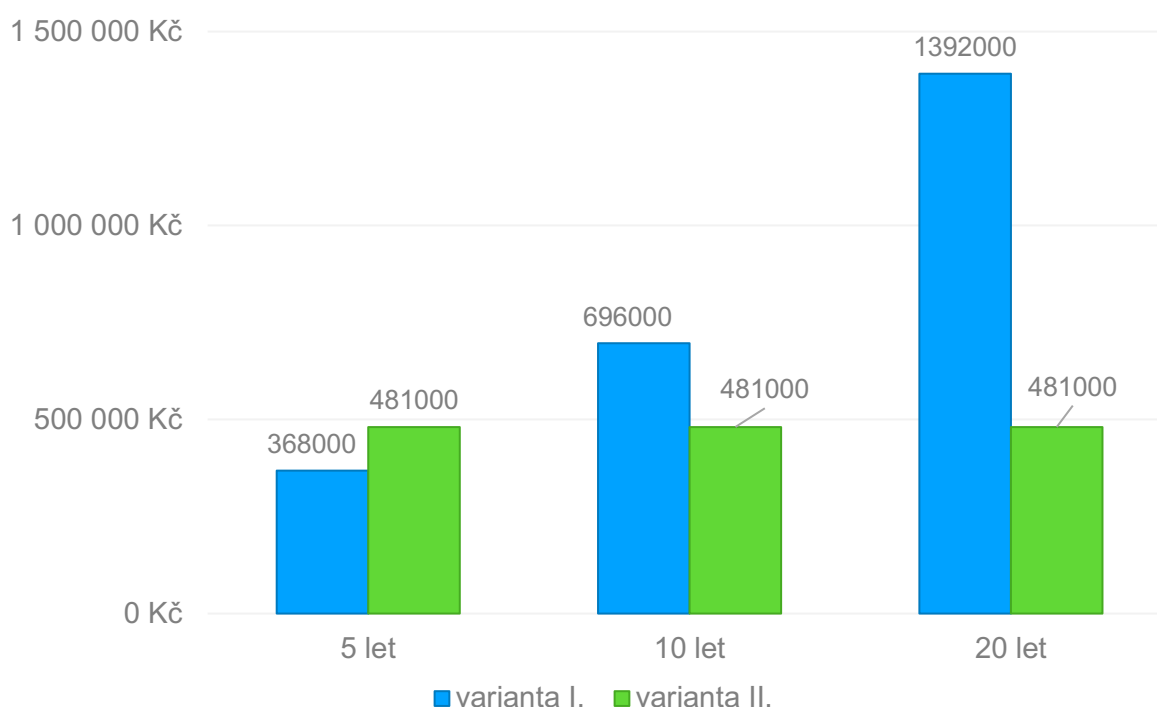
⁴ PE neboli polyethylen, je termoplast vzniklý z polymerací ethenu.

5.3 Posouzení variant

Při porovnání varianty I. a II. se dospělo k závěru, že původní pořizovací náklady jsou vysoké v případě varianty II., avšak je nutno připomenout, že v případě varianty I. se nevyužívá vozidlo pouze pro zálivku, proto je jeho finanční rozpočet ponížen o počet činností, které během roku vykonává. Také byl výpočet nákladů varianty I. ověřen ze zdrojů statutárního města Brna. Z roku 2017 dostupný dokument, Koncepce správy, údržby a rozvoje veřejné zeleně na území statutárního města Brna, shrnuje rozpočet na nezbytně nutné zásahy na údržbu jednoho nově vysazeného stromu po dobu 3 let. Při vztažení dat na navržený projekt, kdy je přepokládána výsadba 100 stromů, činí sazba na zálivku 83 tis. Kč na 3 roky, dle zdroje [22]. Při porovnání s vypočtenými náklady na variantu I. je zřejmý velký cenový rozdíl. Bohužel z výše zmíněného zdroje není patrný detailní rozbor skutečných nákladů, proto se jeho ekonomické posouzení stává pouze orientační. Každý rok roste i cena vodného, která v úvaze zdroje taktéž není zahrnuta.

Finanční návratnost varianty II., v porovnání s I., se shledává již po 10 letech a téměř 3× více finančních prostředků (viz graf 5.2) je ušetřeno po 20 letech, kdy v tomto případě odolnější vodní vaky dosahují deklarované životnosti. Je nutno znovu připomenout, že varianta dvě ve výpočtu finanční návratnosti nezahrnuje rozpočet pro zemní a výkopové práce, které z důvodu obtížnosti uložení ke kanalizační síti nejsou definované.

Graf 5.2 Vývoj finančních nákladů u vybraných variant v horizontu 20 let



Při zvážení efektivnosti zálivky, je varianta II. úspěšnější, jelikož zajišťuje kontinuální formu zálivky. Pro dosažení stejného efektu se u varianty I. využívá vaků, do kterých se umísťují dřeviny. S tím se navýší investice přibližně o 50 tis. Kč, avšak životnost závisí na poškození vnějšími vlivy, jelikož je vak umístěn nad zemí. Informace k tomuto odstavci získány z [47].

6 ZÁVĚR

Motivace vytvoření této práce se koncentruje na zlepšení hospodaření s atmosférickými srážkami dopadající na střechy. V České republice se pozorují narůstající průměrné teploty, přibývá počet tropických dní a ubývá počet ledových dní. Ve velkých městech vznikají v letních měsících tepelné ostrovy, které jsou pro místní obyvatele až neúnosné. Tomuto efektu dobře zabraňují zelené rostliny, především dospělé stromy. Jejich baldachýn vytváří stín, také je pod nimi nižší intenzita slunečního záření než na osluněném chodníku. Dále stromy pro své ochlazení využívají transpirace, výpar vody. Úskalí vzniká při zálivce vysázených stromů. Než každý strom dospěje, trvá to pár let. Během tohoto období jsou závislé na přísunu vody z jejich okolí. Zastavěné plochy brání průsaku vody do země, získávají též splavenou vodu z chodníků a vozovek. Ty se během nedeštivých dnů značně znečistí, pro stromy se voda z nich stečená stává nebezpečnou.

Teoretická část se zabývá rešerší zaměřenou na vodní zdroje, metody doplnění podzemních vod, kvalitu a sběr dešťové vody. Také je teoretický základ doplněn o detaily brněnských podzemních staveb a sítí. Následně se zmiňují prvky nezbytné pro závlahu s upřednostněním dešťové vody. Součástí takového závlahového systému jsou mechanické filtry pro odstranění hrubých nečistot, akumulární nádrže či vodojemy, potrubní síť a v poslední řadě elementy vhodné pro distribuci vody ke kořenovému systému rostlin. Orientace je soustředěna na dopravu akumulované vody z nádrží, které mají nízké požadavky na volbu umístění, obsluhu a čištění. Tyto vlastnosti splňují např. vaky od © FT vaky, s.r.o., jež se v době atmosférických srážek naplní a v období zimy může dojít k jejich vypuštění.

Hlavním praktickým úkolem diplomové práce je návrh velkoplošného zavlažovacího systému na zvolenou lokalitu, Brno město. Dešťová voda se svádí ze střech přiléhajících domů do starých brněnských vodojemů na Petrově. Nedojde k jejich poškození ani není nezbytně nutná jejich rekonstrukce, protože se do nich umístí flexibilní vak. Závlaha je cílena na náměstí Svobody, Jakubské, Dominikánské a Mendlovo náměstí a na roh dvou ulic Anenská a Pekařská, kde se nachází Fakultní nemocnice u sv. Anny. Práce je doplněna o ilustrační obrázky, jak se mohou výše zmíněné plochy osázet dřevinami. V blízkosti závlahy stromů se chrání potrubní síť před rostoucími kořeny, které mají na něj až zničující dopad. K ochraně kapkové zavlažovací trubky se vyvíjí řada systémů. Jeden využitý celek je od firmy LITE–SOIL, jedná se o síť z rouna, kterou se potahuje kapková trubka a kořenový svazek. Tím se docílí rovnoměrné distribuce vody do potřebných hloubek zeminy a dokonce se vytvoří vodní rezerva obsažená v rounu pro další zavlažování rostlin. Celá rozvodná síť je propočítána pomocí tabulkového procesoru MS Excel, vstupní údaje jsou zjištěny z map, Google Earth, vodních a kanalizačních tabulek, katalogových listů od výrobců apod. Doprava vody se zaměřuje na gravitační způsob. Dle zjištěných průtočných rychlostí se zvolí průměr potrubí, úsilí se soustředí na zamezení usazování při pomalých průtočných rychlostech. Příliš velkých průtočných rychlostí se nedosahuje, jelikož není systém navržen na velký spád, maximální rozdíl nadmořských výšek nejníže a nejvýše položeného bodu je 36 m. Snaha se soustředí na fungující soustavu bez dodávky elektrické energie, popřípadě získané z obnovitelných zdrojů. Závlaha se koná automatizovaně pomocí dat ze senzorů, které se umísťují v blízkosti zálivky. Jedná se o snímač dešťový, půdní vlhkosti a evapotranspirace. Z důvodů ochrany dřevin před kontaktem s kontaminovanou vodou z pevných povrchů se stává vhodným

řešením zakrytování nadzemní oblasti, přidaná externí trubka vsunutá ke kořenům napomůže při poruše celého závlahového systému. Při zakrytování taktéž vzniká další problém, a to nadměrná zátěž zvířecími obyvateli měst, kteří se uchylují ke svým jediným možnostem a přetěžují dřeviny. Stačí volba prvku v blízkém okolí stromů, který esteticky nenaruší krajinu a funkčně poskytne veškeré služby psím mazlíčkům.

V závěru práce se vyskytuje ekonomické posouzení celého projektu. Porovnány jsou dvě varianty závlahy. První varianta se soustředí na současné metody městské závlahy rostlin, je vybrána forma mobilní jednotky, která provádí zavlažování pomocí vody z vodovodního řadu. Druhou porovnávanou variantou se stává navržený systém s akumulací dešťové vody ze střech domů. Vstupní náklady dosahují vyšších hodnot v druhém případě, avšak v horizontu 20 let lze očekávat úsporu prostředků. Výhodu získává varianta II., jelikož se na využití dešťových vod vypisují dotační fondy (fondy Evropské unie) za cílem zlepšení životního prostředí. Proto se předpokládá větší finanční úspora navrženého zavlažovacího systému. Bohužel velká nevýhoda se shledává v montáži ke stávající kanalizační síti, jelikož ta je uložena ve velké hloubce, je nezbytné zvolit jiný materiál potrubí, který se pomocí naváděných robotů umístí na svoji pozici.

V této fázi je projekt využitelný pro další rozšíření, popřípadě úpravy na jiné oblasti. Příhodná modifikace se shledává v podobě lokálních zavlažovacích systémů pro ulice, zahrady apod., kdy lze využít dešťové vody ze střech přiléhajících domů, akumulace by se uskutečňovala ve vacích umístěných v suterénech, sklepech a jiné. Se suchem bojuje celý svět, jak fauna, tak i flora. Nedostatek vody způsobuje oslabení organismů, a tudíž i silné zdravé dřeviny likvidují škůdci. Vhodným aparátem se stává hospodaření s dešťovou vodou a minimalizace zátěže kanalizací při odtoku vody.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ABBASI, T. en Abbasi, S.A. (2011) Sources of Pollution in Rooftop Rainwater Harvesting Systems and Their Control. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 41(23), 10.1080/10643389.2010.497438, 2097-2167
- [2] AMIN, T. en Han, M.Y. (2011) Microbial quality variation within a rainwater storage tank and effects of first flush in Rainwater Harvesting (RWH) System. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5(9), 1804-1813.
- [3] AREÁL SVATOPETRSKA: O projektu SVATOPETRSKA [online]. Top-in.cz [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.svatopetrska.cz/o-projektu-svatopetrska>
- [4] ASIO: Čištění a úprava vod [online]. Brno: Asio, spol., c2011-2019 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.asio.cz>
- [5] BOJKO, Marian, Milada KOZUBKOVÁ a Jana RAUTOVÁ. Základy hydromechaniky a zásobování hasiv. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. SPBI Spektrum. Červená řada. ISBN 978-80-7385-033-3. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:97f540f0-bfe7-11e3-aec3-005056827e52>
- [6] COLLAPSIBLE PILLOW TANK: Cistern Tank Liners [online]. Sebastian, Florida: GEI Works, 2020 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z: <http://www.collapsiblepillowtank.com/cisternliner.html>
- [7] COLLAPSIBLE PILLOW TANK: Flexible Water Tanks [online]. Sebastian, Florida: GEI Works, 2020 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z: <http://www.collapsiblepillowtank.com/flexiblewatertanks.html>
- [8] ČÁSLAVSKÝ, Milan. Hlubinné artéské vody v brněnské kotlině: Potenciální náhradní zdroj vody. Urbanismus a územní rozvoj. XI(Číslo 2/2008), 52-56.
- [9] DEBRECZENI, Ondřej. 2005. Potrubní technika. Brno. Provizorní učební text. Vysoké učení technické.
- [10] DRSNOST POTRUBÍ [online], Vodovod.info [cit. 2018-04-01], ISSN 1804-7157. Dostupné z WWW: <<http://vodovod.info/index.php/extra/tabulky/196-drsnost-potrubi#.WsCpg4hubDc>>.
- [11] DVOŘÁKOVÁ, Denisa. Využívání dešťové vody (I) - kvalita a čištění: Možnosti využívání dešťové vody a k tomu potřebná technická zařízení [online]. 2007. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz>
- [12] FTVAKY [online]. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.ftvaky.cz>
- [13] GIKAS, G.D. en TSIHRINTZIS, V.A. (2012) Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. Journal of Hydrology 466-467, 115-126.
- [14] GREEN BUILDING REFERENCE MANUAL: Tree root management system. GreenBlue Urban [online]. (3), 1-27 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z:

<https://www.greenblue.com/wp-content/uploads/2016/05/Book-3-Tree-Root-Management.pdf>

- [15] HERLE, Jaromír. Vodovodní a kanalizační tabulky. Praha: SNTL, 1983. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:39d42db0-f181-11e5-8d5f-005056827e51>
- [16] HOFMAN, Jan a M PAALMAN. Rainwater harvesting, a sustainable solution for urban climate adaptation? KWR Watercycle Research Institute. 2014.
- [17] HOSPODAŘENÍ SE SRÁŽKOVÝMI VODAMI. TNV 75 9011. Praha: Sweco Hydroprojekt, březen 2013.
- [18] HRUDOVÁ, Helena. Závlahové systémy s využíváním dešťové vody. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT, Stavební fakulta. Vedoucí práce Ing. Stanislav Frolík, Ph.D.
- [19] IKATASTR: mapa a informace z KN. IKatastr [online]. Praha: ČÚZK, c2020 [cit. 2020-10-11]. Dostupné z: <https://www.ikatastr.cz/>
- [20] KANALIZAČNÍ ŘÁD: pro statutární město Brno, město Kuřim, město Modřice, obce Česká a Želešice. V. dodatek. Brno: Brněnské vodárny a kanalizace, 2010.
- [21] KAŠPAR, Jan. Projektování oddílné kanalizace. Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o. [online]. Chrudim: OMEGA plus Chrudim, 16.03.2009 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <http://eshop.ekomonitor.cz/publikace/clanky/projektovani-oddilne-kanalizace>
- [22] KONCEPCE SPRÁVY, ÚDRŽBY A ROZVOJE VEŘEJNÉ ZELENĚ NA ÚZEMÍ STATUTÁRNÍHO MĚSTA BRNA [online]. 146/2017. Atregia, 2017 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://novy-liskovec.cz/assets/File.ashx?id_org=80910&id_dokumenty=2548
- [23] KORNER, Marian. Inteligentní závlahové systémy v objektech zahradní architektury. Brno, 2020. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta. Vedoucí práce Ing. Vladimír Mašán, Ph.D.
- [24] KOZLOVSKY DUFKOVÁ, Jana. Krajinné inženýrství. Vydání druhé, přepracované. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-354-7
- [25] KULHAVÝ, Zbyněk, Jakub ŠTIBINGER, František KŘOVÁK, et al. Opatření k posílení infiltračních procesů v krajině: metodika. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2015. ISBN 978-80-87361-52-8.
- [26] KURZYCZ [online]. Praha, c2000 - 2021 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/>
- [27] LI, Pingju. Reflections on the Construction of Water Supply and Drainage in Integrated Pipe Corridor of Sponge City. Journal of Architectural Research and Development [online]. 2018. ISSN 2208-3529. Dostupné z: [doi:10.26689/jard.v2i4.419](https://doi.org/10.26689/jard.v2i4.419)
- [28] LÍŠEŇSKÉ NOVINY. XXXI. Brno, 2021.

- [29] LITE–SOIL [online]. LITE-SOIL, c2020 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <https://lite-soil.com/en/products/>
- [30] MARTINSON, D.B. (2007) Improving the viability of roofwater harvesting in low-income countries, University of Warwick.
- [31] MENDLOVO NÁMĚSTÍ OŽIVÍ VÍCE STROMŮ I NOVÁ SOCHA, DOPRAVA SE VŠAK NEŘEŠÍ. In: IDnes.cz [online]. c1999–2021, 14. 5. 2020 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/brno/zpravy/oprava-mendlovo-namesti-brno-stromy-socha-problem-doprava.A200509_546567_brno-zpravy_mos1
- [32] METEOROLOGIE A KLIMATOLOGIE [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2020 [cit. 2020-10-11]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz>
- [33] MONA PLANT SYSTEM. SWAN WATER SOLUTIONS [online]. 2017 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <http://en.swanwatersolutions.com/mona-plant-system/>
- [34] PRINCIPY TVORBY VEŘEJNÝCH PROSTRANSTVÍ: Zelená infrastruktura [online], s. 100-135 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: https://kambrno.cz/wp-content/uploads/2019/10/PTVP_zelena_infrastruktura_a_vetsi.pdf
- [35] PYTL, Vladimír a Dagmar BRONCOVÁ. Podzemní vody České republiky. Praha: Milpo media, 2012. Z historie průmyslu. ISBN 978-80-87040-24-9. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:d5f2c3a0-b905-11e5-b5dc-005056827e51>
- [36] RAINHARVESTING SYSTEM [online]. 2018 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.rainharvesting.co.uk/what-are-the-different-types-of-filters-that-may-be-used-in-rainwater-harvesting-systems/>
- [37] REGULAČNÍ VENTILY [online]. In: . LDM, spol. s r.o., s. 1-15 [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <http://www.top-eko.cz/dokum/ldm/025CZ0403.pdf>
- [38] SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací. Praha: Mgr. Pavel Fučík, 2012, 21(5). ISSN 1210–3039, dostupné na: https://www.sovak.cz/sites/default/files/HnLjAc35s5ZzWxsaQ/Sovak0512_72.pdf.
- [39] SPACEBLADDER: 20000Liter Recyclable Underground Irrigation Water Bladder Tank [online], c2008-2018 [cit. 2020-10-31]. Dostupné z: <https://bladder.space/product/20000liter-recyclable-underground-irrigation-water-bladder-tank/>
- [40] SVOBODA, Aleš. Brněnské podzemí. Brno: R-atelier, 2001-. ISBN 80-902985-0-8.
- [41] TROPICKÉ A LEDOVÉ DNY V BRNĚ-TUŘANECH. Fakta o klimatu [online]. c2021 [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/tropicke-dny-brno>
- [42] VODNÉ A STOČNÉ. BRNĚNSKÉ VODÁRNY A KANALIZACE, a.s. [online]. c2005-2019 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.bvk.cz/zakaznikum/cenik/vodne-a-stocne>

- [43] VYUŽITÍ ROSTLIN / PÉČE: Městské stromy pod drobnohledem [online], s. 1-6 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.zelenypoklad.org/UserFiles/File/03.pdf>
- [44] WISY [online]. Germany [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://wisy.de/en>
- [45] YANNOPOULOS, Stavros, Ioanna GIANNOPOULOU a Mina KAIIFA-SAROPOULOU. Investigation of the current situation and prospects for the development of rainwater harvesting as a tool to confront water scarcity worldwide [online]. 2019. ISSN 20734441. Dostupné z: doi:10.3390/w11102168
- [46] ZÁVLAHY A JEJICH PERSPEKTIVA: sborník abstraktů z mezinárodní konference: Mikulov 18.-19. března 2015. Praha: Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, 2015. ISBN 978-80-87577-46-2.
- [47] ZAVLAŽOVACÍ VAKY: Zavlažovací vaky pro zálivku stromů a keřů [online]. Roztoky [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.zavlazovacivaky.cz>
- [48] ZELENĚ - SYMBOL MODERNÍ OBCE. Péče o nově vysazené dřeviny. Enviweb [online]. Brno, c1999-2021, 2011 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/87440>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ζ_m	ztrátový součinitel	[-]
D	průměr potrubí	[m]
DN	jmenovitá světlost	
DPH	daň z přidané hodnoty	
g	tíhové zrychlení	[m/s ²]
h	vertikální vzdálenost, výška	[m]
HDV	hospodaření s dešťovou vodou	
$index\ k$	konec dané části trubky	
$index\ z$	začátek dané části trubky	
k	absolutní drsnost materiálu potrubí	[m]
K_v	průtokový součinitel	[m ³ /h]
L	délka potrubí	[m]
MS	Microsoft	
p	tlak	[Pa]
PE	polyetylen	
PVC	polyvinylchlorid	
Q	objemový průtok	[m ³ /s]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
TPU	termoplastický polyuretan	
v	střední průtočná rychlost	[m/s]
Y_z	ztrátová měrná energie	[J/kg]
λ	třecí součinitel	[-]
ν	kinematická viskozita	[m ² /s]
π	Ludolfovo číslo ($\pi = 3,141592\dots$)	
ρ	hustota	[kg/m ³]

9 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

9.1 Seznam obrázků

OBR. 2.1 FILTRY WISY® VORTEX [44]	18
OBR. 3.2 MAPA UMÍSTĚNÍ KOLEKTORŮ [40]	24
OBR. 3.3 VODOJEMY NA PETROVĚ [40]	25
OBR. 3.4 ŠTÓLY POD KAŠNOU PARNAS [40]	26
OBR. 3.5 VODOVODNÍ ŠTÓLA A SKLEPNÍ CHODBA MORAVSKÉ NÁM. [40]	27
OBR. 3.6 SKLEPY POD PROVAZNICKÝCH VRŠKEM [40]	28
OBR. 4.7 TROPICKÉ A LEDOVÉ DNY V BRNĚ – TUŘANECH [41]	30
OBR. 4.8 MAPA Z KATASTRU NEMOVITOSTÍ, OBLAST PETROV [19]	32
OBR. 4.9 FLEXI CUBE OD ©GEI WORKS [7]	33
OBR. 4.10 ROOTDIRECTOR [14]	34
OBR. 4.11 MONA PLANT SYSTEM [33]	35
OBR. 4.12 BLUELITE–RING (Č.1 ZÁVLAHOVÁ TRUBKA S ROUNEM, Č.2 LITE–NET) [29]	36
OBR. 4.13 BLUELITE–NET[29]	36
OBR. 4.14 POHLED NA NÁMĚSTÍ SVOBODY	37
OBR. 4.15 ZELENĚ NA JAKUBSKÉM NÁMĚSTÍ	37
OBR. 4.16 NÁHLED NA DOMINIKÁNSKÉ NÁMĚSTÍ	38
OBR. 4.17 STROMY NA ROHU ULICE ANENSKÉ A PEKAŘSKÉ	38
OBR. 4.18 VODOVODNÍ SÍŤ – ZÁVLAHOVÝ SYSTÉM	40
OBR. 4.19 VÝPOČET ZTRÁTOVÉHO SOUČinitele λ PODLE CHURCHILLA [5]	42
OBR. 4.20A MÍSTNÍ ZTRÁTY – VTOK DO POTRUBÍ [15]	43
OBR. 4.20B MÍSTNÍ ZTRÁTY – PRAVOÚHLÉ SPOJENÍ [15]	43
OBR. 4.20C MÍSTNÍ ZTRÁTY – OBLOUK [15]	44
OBR. 4.21A TRASA A	47
OBR. 4.21B TRASA B	48
OBR. 4.21C TRASA C	48
OBR. 4.21D TRASA D	49

9.2 Seznam tabulek

TAB. 2.1 TYPICKÉ ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY NA JEDNOTLIVÝCH TYPECH PLOCH A OČEKÁVANÉ ZNEČIŠTĚNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD [17]	15
TAB. 2.2 PŘEHLED RETENČNÍCH NÁDRŽÍ [38] (UPRAVENO AUTOREM)	21
TAB. 4.3 MĚSÍČNÍ PRŮMĚRY ÚHRNŮ SRÁŽEK [32]	31
TAB. 4.4 PARAMETRY POTRUBÍ Z ÚZEMNÍ ANALÝZY BRNA	40
TAB. 4.5 VLASTNOSTI MÉDIA	40
TAB. 4.6 ABSOLUTNÍ DRSNOST MATERIÁLŮ POTRUBÍ [5] – UPRAVENO AUTOREM	42
TAB. 4.7 MÍSTNÍ ZTRÁTY PODZEMNÍHO ZAVLAŽOVACÍHO SYSTÉMU	46
TAB. 4.8 VÝSLEDKY PRO PRŮMĚR DN50	49
TAB. 5.9 VYBRANÉ POLOŽKY NEZBYTNÉ K ZÁVLAZE: VARIANTA I.	52
TAB. 5.10 VARIANTA I., SAZBA ZA JEDEN VÝJEZD VOZIDLA	52
TAB. 5.11 SHRnutí VARIANTY I.	53
TAB. 5.12 VODNÉ PRO BRNO MĚSTO (VŠECHNY CENY JSOU UVEDENY VČETNĚ DPH) [42]	53
TAB. 5.13 JEDNOTLIVÉ PRVKY VARIANTY II.	54
TAB. 5.14 SHRnutí VARIANTY II.	54

9.3 Seznam grafů

GRAF 4.1 VÝVOJ PRŮMĚRNÝCH TEPLŮ VZDUCHU V JIHMORAVSKÉM KRAJI.....	29
GRAF 5.2 VÝVOJ FINANČNÍCH NÁKLADŮ U VYBRANÝCH VARIANT V HORIZONTU 20 LET.....	55