

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA HYDROMELIORACÍ A KRAJINNÉHO INŽENÝRSTVÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Aspekty návrhu akumulčních jímek na dešťovou vodu pro
automatické závlahové systémy**

Aspects of design of rainwater storage tanks for automatic
irrigation system

Autor:

Bc. Anna Ratzenbeková

Vedoucí práce:

Ing. Pavla Schwarzová, Ph.D.

Praha 2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Ratzenbeková Jméno: Anna Osobní číslo: 468349
Zadávací katedra: Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Aspekty návrhu akumulčních jímek na dešťovou vodu pro automatické závlahové systémy.

Název diplomové práce anglicky: Aspects of design of rainwater storage tanks for automatic irrigation systems.

Pokyny pro vypracování:

V diplomové práci zpracujte literární rešerši zaměřenou na využívání dešťové vody pro závlahy a navrhování akumulčních nádrží na dešťovou vodu.

Popište zvolené experimentální plochy. Diskutujte hodnoty evapotranspirace trávníku, respektive hodnocení vláhové bilance, jako podklad pro stanovení závlahových množství.

Vymenujte aspekty návrhu optimální velikosti dešťových jímek pro vybrané experimentální plochy.

Pro získaná data z vegetačního období navrhnete bilancování změny zásoby (přítok, odtok, dopouštění) vody v dešťové jínce, využívané pro závlahový systém (pokud možno v denním kroku).

Posuďte standardní metody řízení závlahy a využití aktuálních možností inteligentního ovládání automatizovaných závlahových systémů (včetně jeho nadstavbových prvků) pro optimální dodávání závlahové vody.

Diskutujte potenciál využívání šedé vody z RD pro závlahu přilehlých ploch jako možnost nadlepení zdrojů závlahové vody.

Seznam doporučené literatury:

Jiří Vítek a kol. Hospodaření s dešťovou vodou v ČR, 2015

Technologický předpis Hunter.

Legislativní podklady ČSN 75 0434, FAO 56 a TNV 75 9011

Školení instalačních firem Irimon s.r.o.

Diplomová práce Bc. Šárka Adensamová: Využívání dešťové vody pro automatické závlahové systémy.

Konzultant diplomové práce: Ing. Petr Antoch

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Pavla Schwarzová, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 29.9.2021

Termín odevzdání diplomové práce: 2.1.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

29.9.2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pouze za odborné asistence vedoucí práce Ing. Pavly Schwarzové, Ph. D. a konzultanta Ing. Petra Antocha.

Dále prohlašuji, že veškeré informační zdroje, ze kterých jsem k vypracování této práce čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....
Bc. Anna Ratzenbeková

Poděkování

Ráda bych poděkovala především vedoucí mé diplomové práce, Ing. Pavle Schwarzové, Ph. D., za odborné vedení, poskytnuté rady, ochotu a pomoc v nelehkých situacích, kterými jsem v rámci psaní práce prošla.

Dále děkuji všem zaměstnancům firmy IRIMON, spol. s r. o., zvláště pak panu Ing. Petrovi Antochovi, za odborné rady a poskytnutí dat při řešení problematiky této práce.

V neposlední řadě děkuji své rodině a blízkým, kteří mi po celou dobu psaní této práce věřili a podporovali mě.

Anotace

Diplomová práce je věnována problematice akumulčních dešťových nádrží pro automatické závlahové systémy. Teoretická část zahrnuje rešerši využívání srážkové vody pro automatické závlahové systémy, dosavadní známé a využívané přístupy k navrhování akumulčních nádrží na srážkovou vodu včetně legislativního podložení. V neposlední řadě se tato část práce věnuje také dotačním titulům spojeným s touto problematikou a konkrétnímu příkladu hospodaření se srážkovou vodou. Praktická část je zaměřena na výpočet velikostí akumulčních dešťových nádrží ve třech klimaticky odlišných lokalitách, a to dle známých přístupů i vlastní simulací bilance vody v nádrži v denním kroku. Tato část současně zahrnuje výpočet evapotranspirace, stanovení půdních charakteristik na základě terénního průzkumu a potřeby vody pro závlahu v řešených lokalitách. Konec této části se věnuje potenciálu šedé a vycištěné odpadní vody z domácnosti jako doplňkového zdroje závlahové vody.

Klíčová slova: srážková voda, akumulční nádrž, automatický závlahový systém, úspora vody

Abstract

The diploma thesis is devoted to the issue of rainwater storage tanks for automatic irrigation systems. The theoretical part includes a search for the use of rainwater for automatic irrigation systems, existing and used approaches to the design of rainwater storage tanks including the legislative basis. Finally, this part of the work also deals with subsidy titles associated with this issue and a specific example of rainwater management. The practical part is focused on the calculation of the sizes of rainwater storage tanks in three climatically different localities, according to known approaches and own simulation of the water balance in the tank in a daily step. This part also includes the calculation of evapotranspiration, determination of soil characteristics based on field research and the need of water for irrigation in specified localities. The end of this part deals with the potential of grey and treated domestic wastewater as an additional source of irrigation water.

Keywords: rainwater, storage tank, automatic irrigation system, water saving

Obsah:

1	Úvod.....	8
2	Teorie akumulace srážkových vod.....	10
2.1	Úvod.....	10
2.2	Pojem srážková (dešťová) voda	10
2.3	Jímání srážkové vody.....	10
2.4	Akumulační dešťové nádrže.....	11
2.4.1	Nadzemní a podzemní nádrže	11
2.4.2	Materiály nádrží	11
2.5	System využití srážkových vod.....	12
2.6	Navrhování akumulčních nádrží	15
2.7	Dotační tituly.....	24
3	Využití srážkové vody.....	26
3.1	Drn	26
4	Praktická část	29
4.1	Popis experimentálních ploch	29
4.2	Charakteristika klimatu	33
4.2.1	Lokalita č. 1 – Praha-Kyje (intravilán).....	36
4.2.2	Lokalita č. 2 – Žatecko (suchá oblast).....	37
4.2.3	Lokalita č. 3 – Vysočina (chladná oblast).....	38
4.3	Půdní charakteristiky.....	41
4.4	Vstupní data a aspekty návrhu akumulční nádrže	47
4.5	Evapotranspirace	49
4.5.1	Definice pojmu.....	49
4.5.2	Potřeba vody pro trávník dle specialistů	49
4.5.3	Výpočet ETP dle Ivanovova	51
4.6	Metodika	53
4.6.1	Specifikace závlahového systému.....	53
4.6.2	Řízení automatického závlahového systému.....	55



4.6.3	Závlahový kalendář.....	57
4.6.4	Závlahový interval	58
4.7	Dostupné metody výpočtu akumulční nádrže	60
4.7.1	Výpočet objemu akumulční nádrže dle legislativních dokumentů.....	60
4.7.2	Nástroje kalkulátorů.....	62
4.7.3	Empirické vzorce	65
4.8	Vlastní simulace objemu akumulční nádrže.....	66
4.9	Výsledky simulace – lokalita č. 1 - Praha-Kyje (intravilán).....	68
4.10	Výsledky simulace – lokalita č. 2 - Žatecko (suchá oblast).....	78
4.11	Výsledky simulace – lokalita č. 3 - Vysočina (chladná oblast).....	88
4.12	Vyčištěné odpadní a šedé vody jako doplňkový zdroj vody.....	98
4.13	Diskuse výsledků	100
5	Závěr	104
6	Bibliografie	107
7	Seznam obrázků	111
8	Seznam tabulek	114
9	Seznam příloh	115

1 Úvod

Žijeme v době, kdy je stále více samozřejmé, že základní věci pro potřeby našeho bytí jsou pro nás snadno a bez větších obtíží dosažitelné. Tato skutečnost však dělá lidi sobečtější a přestávají si uvědomovat, že planeta Země, na které žijeme, není nekonečný zdroj všeho, co člověk zrovna v danou chvíli potřebuje a jako na lusknutí prstu bude mít vše na zlatém podnosu. Bylo by velmi hezké, kdyby vše tak jednoduše fungovalo, ale realita je bohužel jiná.

Tím se dostáváme ke komoditě, která je pro nás pro všechny samozřejmostí. Používáme ji každý den, lidská těla jsou jí z velké míry tvořena a bez její existence by nikdy nevznikl život. Je to voda. Voda ve své přirozené podobě jako základ lidské existence.

Myslím, že přesně toto si mnoho lidí neuvědomuje, ale z tohoto důvodu je potřeba na vodu pohlížet jako na dar života a vážit si toho, že ji stále máme k dispozici. Nevíme však, jak dlouho tomu tak bude, proto bychom se měli zamýšlet nad možnostmi, jak ji na Zemi udržet co nejdéle, a hlavně ji v žádném případě neznehodnocovat.

Nebudu lhát, považuji se též za člověka, který si zvykl, že má skoro vše pod nosem a nemusí pro to ani hnout prstem. Avšak díky vzdělání, které mi bylo poskytnuto nejen díky povinné školní docházce, ale i díky mému vychování, mi není lhostejné, jak je s komoditami, které nám planeta Země „zdarma“ nabízí, nakládáno.

Vezmu-li to kolem a kolem, zašli jsme, jakožto lidská civilizace, poměrně daleko a planeta nám naše chování začíná poměrně nepěknými a extrémními způsoby vracet. Změny klimatu jsou zdárným příkladem jednání lidské populace směrem k planetě Zemi, což mě, studentku poměrně prestižní technické školy, přivedlo k tématu mé závěrečné práce.

Když už si bez servítek bereme, kolik vody chceme, i když ji všechnu třeba ani nevyužijeme, jak bychom ji co nejefektivněji mohli vracet zpět do koloběhu vody na Zemi? Případně když už jsme ji odebrali, jak bychom ji mohli uchovat a použít znovu? A proč nevyužít vodu, kterou nám planeta nabízí přirozenou cestou? Proč se nenaučit co nejlépe hospodařit se srážkovou vodou? Čísla ukazují, že ročně naprší přibližně 55 až 60 miliard metrů krychlových vody, přičemž roční spotřeba vody na osobu činí přibližně 1,5 miliardy metrů krychlových. [1] Proč tedy nevyužít tuto vodu, které je dostatek, místo odebrání vody z podzemních zdrojů, které jsou potřebné pro udržení správné funkce naší krajiny?

Otázek je mnoho a muselo by vzniknout mnoho prací, než by se na ně dalo v dostatečné míře odpovědět. Avšak v této práci bych se ráda věnovala hospodaření s vodou, kterou nám planeta dodává přirozeně, ve formě srážek. Srážková voda není pouze vodou odpadní, ale její potenciál je vysoký a nemusíme tak zbytečně plýtvat a vynakládat energii na dodávku vody upravené, která vlastně i v některých případech není tím nejvhodnějším řešením. Pojdme se



podívat, jakým způsobem co nejefektivněji tuto vodu zachytávat, abychom ji využili přesně tam, kde je potřeba a zároveň tak podpořili planetu, na které žijeme.

Práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. V části teoretické je zpracována rešerše věnující se s problematice hospodaření se srážkovou vodou a jejím využitím v praxi. V praktické části je pak podrobně řešen návrh akumulční nádrže na srážkovou vodu na třech experimentálních plochách s různými srážkovými podmínkami pro efektivní využití zachycené vody.

2 Teorie akumulace srážkových vod

2.1 Úvod

V této kapitole si blíže představíme, co jsou to vlastně srážkové vody, proč je tak důležité je zadržovat a nenechat je rychle odtéct do stokové sítě. Jak z nich naopak vytěžit maximum, které bude přínosem nejen pro nás, z hlediska ekonomického, ale hlavně pro zachování důležitých přírodních cyklů a pochodů vody v krajině.

2.2 Pojem srážková (dešťová) voda

Doposud nebyl ukotven pojem, který by se při definici tohoto typu vod používal. Pojem dešťová a srážková voda se tudíž ve významu neliší a oba se vyskytují a používají.

Srážková (dešťová) voda je definována jako voda, která doposud nepřišla do styku se zemským povrchem. Jedná se o vodu z atmosférických srážek, která není kontaminována materiály ploch a staveb, se kterými přijde do kontaktu při jejím dopadu na zemský povrch. [2] Pokud by atmosféra neobsahovala žádné chemické látky, dalo by se konstatovat, že srážková voda je voda destilovaná, avšak již v atmosféře dochází k reakci s chemickými látkami a znečištění vody, tudíž nelze brát srážkovou vodu jako neznečištěnou. [3] Ročně spadne na zemský povrch přibližně 55-60 metrů krychlových srážkové vody. [1]

2.3 Jímání srážkové vody

Srážková voda je často jímána do akumulčních nádrží, jejichž velikost je volena na základě požadavků na využití této vody. Před samotným popisem možností jímání srážkové vody je však potřeba upřesnit, jaký je rozdíl mezi akumulací a retencí.

Retence se zpravidla využívá v místech, kde není potenciál pro využití srážkové vody a zároveň není možné vodu z různých důvodů vsakovat. Retenční nádrž je velmi často instalována v rámci dešťové kanalizace pro eliminaci důsledků přívalových srážek. Voda je z přívalové srážky zachycena v retenční nádrži a regulovaným odtokem pak odváděna do kanalizace případně recipientu. V případě retence nedochází k akumulaci, ale pouze ke zpoždění odtoku zachycené vody. Její odvod je kontinuální a nádrž může být velmi často zcela prázdná. Tento typ nádrže musí být dle normy ČSN 75 6162 vyprázdněn do 8 hodin po skončení odtoku ze srážkové události v příslušném povodí. [4]

V případě akumulace již nedochází k regulovanému kontinuálnímu odtoku zachycené vody do kanalizace nebo recipientu, avšak k jejímu skladování a pozdějšímu využití pro různé účely. Srážková voda je tak plně využita a toto řešení je jak ekologické, tak ekonomické. Zároveň je

důležité snažit se zachytit tuto vodu ještě předtím, než je znečištěna (chodníky, střechy, silnice apod.) tj, v co nejčistší a nejsurovější podobě [5] [6]

2.4 Akumulační dešťové nádrže

V dnešní době existuje velké množství typů akumulčních nádrží. Volba pak závisí na požadavcích na velikost nádrže, plošných možnostech v rámci místa realizace nádrže, na charakteristikách podloží a také na velikostní sběrné plochy (střechy).

2.4.1 Nadzemní a podzemní nádrže

Není-li z jakéhokoliv důvodu možné zajistit osazení podzemní nádrže, volí se nádrž nadzemní. Je to v zásadě nádoba, případně větší nádrž z nepropustného materiálu, kterou lze snadno postavit pod okapový vývod a akumulovat tak srážkovou vodu. Jedná se o velmi jednoduché řešení, avšak zároveň je voda skladovaná v nadzemních podmínkách náchylnější ke kontaminaci od vnějších vlivů, případně pak rozvoji živých organismů z důvodu působení slunečního záření. Použití nadzemní akumulční nádrže je zároveň pouze sezónní záležitostí. Na zimu je potřeba vodu z nádrže vypustit pomocí ventilu ve spodní části zařízení nebo vyčerpat pomocí čerpadla, aby v ní nezamrzala. [6] [7]

Nádrže podzemní, jak již název napovídá, se umísťují pod zemský povrch a vyžadují tudíž výkopové práce v místě jejich realizace. Mají mnohem širší využití než nádrže nadzemní, a kromě zavlažování lze zachycenou srážkovou vodu využít jako zdroj vody pro domácnost (splachování, praní). Zachycená srážková voda je díky její akumulaci pod zemským povrchem zcela chráněna před působením vnějších vlivů. Je skladována ve tmě, při nižší a stálější teplotě, což zajišťuje menší kazivost zachycených srážkových vod a zamezení množení bakterií a mikroorganismů. Zároveň ale vyžaduje náročnější technické zásady např. realizace základové desky, bezpečnostního přepadu do vsakovacího objektu nebo kanalizace apod. [7]

2.4.2 Materiály nádrží

Kromě volby uložení nádrže je možnost zvolit i její materiál. Mezi bezesporu nejrozšířenější nádrže v závlahových systémech patří nádrže plastové (rodinné domy) a také betonové (zemědělské plochy). Velkou výhodou plastových nádrží je cena, dostupnost, hmotnost a snadná manipulace.

Konstrukčně se pak můžeme setkat se samonosnými válcovými nádržemi, které mohou být i rozložitelné, plochými nebo obdélníkovými a kruhovými nádržemi.

Válcové samonosné plastové nádrže patří mezi nejpoužívanější. Jejich rozložitelné provedení má velkou výhodu ve snadné manipulaci při dopravě a instalaci, a navíc spojením dvou vhodně velkých nádrží může vzniknout větší akumulční objem. Ploché nádrže se využívají

v případech, kdy je hladina podzemní vody na vysoké úrovni a při použití klasické nádrže by mohlo dojít k jejímu nadzvednutí. Nádrže obdélníkové a kruhové jsou vyráběny z polypropylenu a musí být usazeny na železobetonovou desku. Někdy je potřeba je i obetonovat a používají se převážně pro velké objemy.

Další možností jsou nádrže betonové. Ty mohou být buď monolitické nebo se dodávají jako prefabrikáty. Monolitické betonové nádrže jsou betonovány na místě a budují se v dnešní době v případě rodinných domů pouze výjimečně. Důvodem jsou vysoké finanční náklady a pracnost. Mnohem častěji se používají prefabrikované betonové akumulční dešťové nádrže, které jsou do místa realizace dováženy již kompletně zhotovené. Hlavní výhodou tohoto typu nádrží je jejich vysoká statická únosnost a odolnost vůči spodní vodě. Proto je výhodné zvolit tento typ nádrže právě v případě nevhodného podloží nebo vysoké hladiny podzemní vody. Nejčastěji mají tvary obdélníkové nebo kruhové a jsou vyráběny bez tříkomorového systému. Opět obecně platí, že jejich velkou nevýhodou jsou vysoké finanční náklady na dopravu a osazení. Oproti monolitickým nádržím však probíhá jejich výstavba i osazení na místě realizace velmi rychle. [8]

Kromě koupě nové betonové nádrže lze za určitých podmínek využít k akumulaci srážkové vody i stávající septik nebo žumpu. Tato transformace vyžaduje důkladné vyčištění původní nádrže, aplikaci trojí vrstvy hydroizolačního nátěru (doba vyžrání hydroizolace je cca. 7 dní). Po provedení těchto úkonů je možné využít původní septik či žumpu jako akumulční dešťovou nádrž. [9]

Materiálem využívajícím se pro akumulční nádrže je také ocel. Tyto nádrže se, spíše než na menších pozemcích, využívají na plochách větších (veřejných, sportovních apod.). Instalují se zpravidla jako nadzemní nádrže a slouží převážně jako rezervoáry vody, právě kvůli vysoké potřebě vody na velkých plochách. Z toho vychází i jejich výrobní velikost, která je spíše větší. (cca 20–30 m³). [10]

2.5 Systém využití srážkových vod

Samotná akumulční nádrž pro hospodaření se srážkovými vodami nestačí. Je zapotřebí ji doplnit o prvky, které zajistí funkční sestavu pro zachycení a následné využití srážkové vody.

Prvotní je zajistit svod srážkových vod ze všech potenciálních sběrných ploch. Ten je obvykle řešen pomocí okapů, které ústí do jedné okapové trouby. Tato trouba je v případě jímání srážkové vody zaústěna nikoliv do dešťové kanalizace, nebo jen k patě daného objektu, ale do zemního filtru, kde dojde k separaci čisté vody a nečistot, které jsou odvedeny potrubím do kanalizace. Čistá voda poté přepadá přes nerezové síto filtru a je přiváděna do akumulční nádrže. Na přítoku je opatřena uklidňujícím prvkem, který zajišťuje, že přítokem nové vody nedochází k víření sedimentovaných částic na dně nádrže. V případě přeplnění nádrže odtéká voda



přepadovým potrubím do vsakovacího objektu, je-li zřízení, nebo dešťové kanalizace. Dle § 5 zákona č. 254/2001 Sb. vodní zákon se jedná o povinný bezpečnostní prvek pro případ deštivých období, kdy nelze veškerou zachycenou vodu využít viz výňatek:

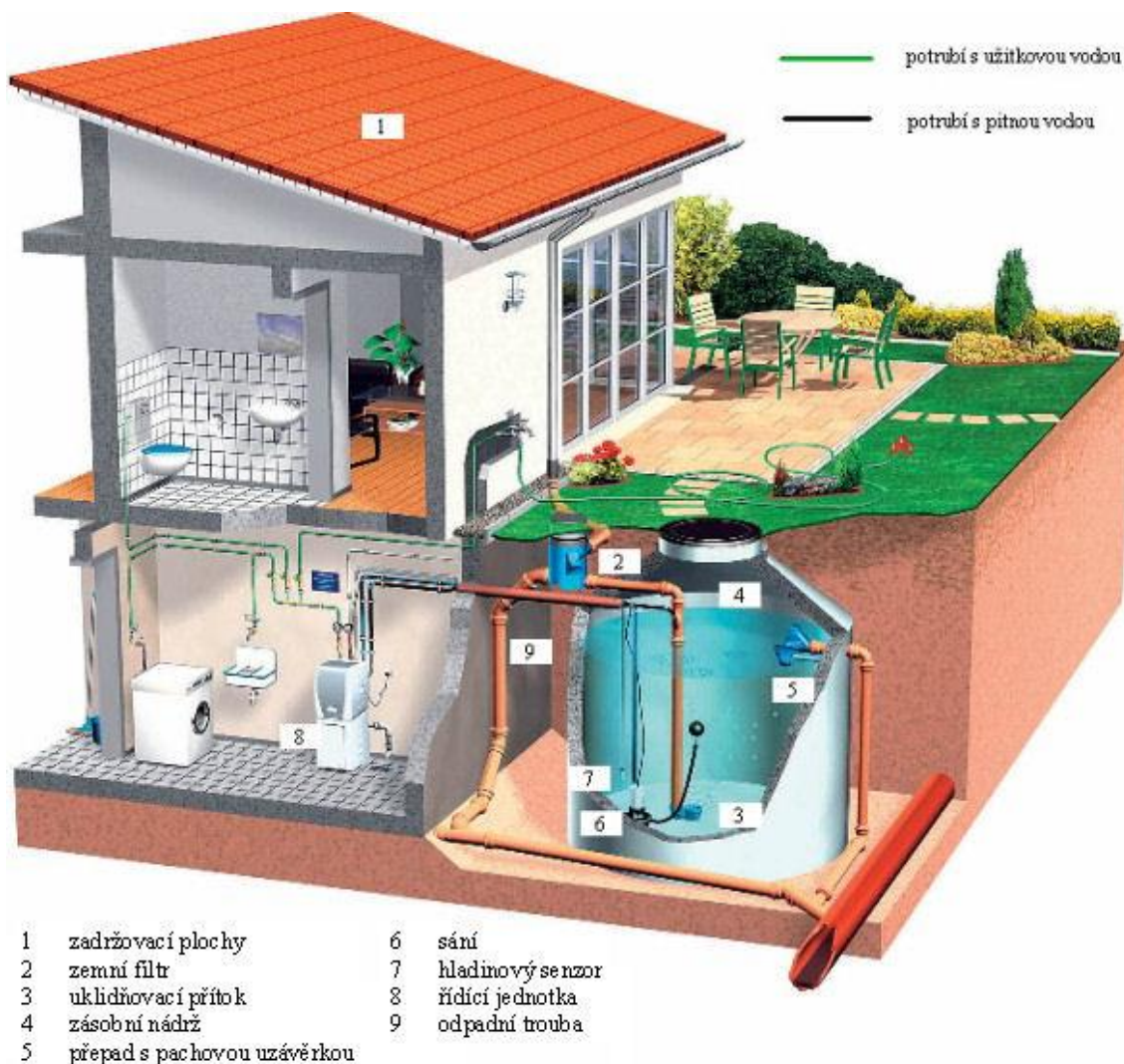
„§ 5

(1) Každý, kdo nakládá s povrchovými nebo podzemními vodami, je povinen dbát o jejich ochranu a zabezpečovat jejich hospodárné a účelné užívání podle podmínek tohoto zákona a dále dbát o to, aby nedocházelo k znehodnocování jejich energetického potenciálu a k porušování jiných veřejných zájmů chráněných zvláštními právními předpisy.³⁾

(2) Každý, kdo nakládá s povrchovými nebo podzemními vodami k výrobním účelům, je povinen za účelem splnění povinností podle odstavce 1 provádět ve výrobě účinné úpravy vedoucí k hospodárnému využívání vodních zdrojů a zohledňující nejlepší dostupné technologie.

(3) Při provádění staveb⁴⁾ nebo jejich změn nebo změn jejich užívání je stavebník povinen podle charakteru a účelu užívání těchto staveb je zabezpečit zásobováním vodou a odváděním odpadních vod kanalizací k tomu určenou. Není-li kanalizace v místě k dispozici, odpadní vody se zneškodňují přímým čištěním s následným vypouštěním do vod povrchových nebo podzemních. V případě technické neproveditelnosti způsobů podle vět první a druhé lze odpadní vody akumulovat v nepropustné jímce (žumpě)⁴⁾ s následným vyvážením akumulovaných vod na zařízení schválené pro jejich zneškodnění. Dále je stavebník povinen zabezpečit omezení odtoku povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážková voda“) akumulací a následným využitím, popřípadě vsakováním na pozemku, výparem, anebo, není-li žádný z těchto způsobů omezení odtoku srážkových vod možný nebo dostatečný, jejich zadržováním a řízeným odváděním nebo kombinací těchto způsobů. Bez splnění těchto podmínek nesmí být povolena stavba, změna stavby před jejím dokončením, užívání stavby ani vydáno rozhodnutí o dodatečném povolení stavby nebo rozhodnutí o změně v užívání stavby.“ [11]

V případě využití akumulace je voda z nádrže čerpána sací soupravou pomocí sacího a rozvodného potrubí do místa jejího využití. Čerpání vody z nádrže zajišťuje čerpací stanice, případně vodárna, která je propojena se spínacím a řídicím prvkem, který v případě nedostatku vody v akumulční nádrži, zaznamenaným hladinovým hlídáním, přepíná mezi využitím vody z vodovodu nebo vody srážkové. Toto řešení je však možné realizovat pouze je-li splněna norma ČSN EN 1717, která toto umožňuje pouze tehdy, nedochází-li k přímému mísení a rozvodu pitné vody a užitkové srážkové vody. Z řídicí stanice je poté voda distribuována k místu jejího využití. Celé schéma systému je zobrazeno na obr. č. 1. [12]



Obr. č. 1: Schéma systému využití dešťové vody [12]

Význam dešťových nádrží ve formě akumulace je ideálním řešením i z důvodu častějšího výskytu přívalových srážek v posledních letech. Díky zachycení vody do akumulční nádrže je možná další redistribuce vody, která by v opačném případě bez užitku otekla v podobě povrchového odtoku, protože při extrémních srážkových událostech nedochází z důvodu velkého množství vody v krátkém časovém horizontu ke vsaku.

Pro lepší představu pak může posloužit obecné schéma převzaté z evropské normy ČSN EN 16941-1 Zařízení pro využití nepitné vody na místě – Část 1: Zařízení pro využití srážkových vod viz obr. č. 2. [13]



Obr. č. 2: Zjednodušené schéma hospodaření se srážkovými vodami převzaté z evropské normy ČSN EN 16941-1 [13]

2.6 Navrhování akumulčních nádrží

I když je řešení akumulace srážkových vod v dnešní době poměrně aktuální téma, v legislativě nelze dohledat žádný unifikovaný, legislativně uznaný způsob návrhu velikosti objemu akumulční nádrže na srážkovou vodu. V této kapitole nastíním možnosti, které jsou aktuálně k dispozici pro výpočet velikosti objemu akumulční nádrže.

Jeden ze způsobů dimenzování akumulčních nádrží lze převzít z technická normy TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. [14] Obecně tato norma reaguje na současné trendy změny klimatu a řeší, jakým způsobem nakládat se srážkovými vodami v rámci pozemku stavby, tj. decentrální způsob odvodnění. V rámci této normy je podrobně popsáno, jak jednotlivé prvky hospodaření se srážkovou vodou dimenzovat. Klasická akumulční nádrž však v tomto řešení zahrnuta není, lze však alespoň pro představu vycházet z výpočtu pro dimenzování retenční nádrže, který spolu s ostatními prvky hospodaření se srážkovými vodami shrnuje následující tabulka (tab. č. 1) vyňatá z této normy. Je však nutno brát v potaz, že se primárně jedná o dimenzování retence, a proto výsledky z této metody nemusí být správné. Jedná se o jednoduché metody návrhu, které vychází z bilančního vztahu mezi přítokem a odtokem. [14]



č.	Typ objektu	Přítok ¹⁾		Odtok ³⁾				
		Objem přivedené srážkové vody ²⁾	=	Vsakování	+	Retenční objem	+	Regulovaný odtok
1	Plošné vsakování bez retence	$i \cdot (A_{red} + A_{vsak}) \cdot t / 1000$	=	$3\,600 \cdot Q_{vsak} \cdot t$	+	0	+	0
2	Povrchová vsakovací zařízení s retencí	$i \cdot (A_{red} + A_{vsak}) \cdot t / 1000$	=	$3\,600 \cdot Q_{vsak} \cdot t$	+	$V^{4)}$	+	0
3	Povrchová vsakovací zařízení s retencí a odtokem	$i \cdot (A_{red} + A_{vsak}) \cdot t / 1000$	=	$3\,600 \cdot Q_{vsak} \cdot t$	+	$V^{4)}$	+	$3\,600 \cdot Q_o \cdot t$
4	Podzemní vsakovací zařízení s retencí	$i \cdot A_{red} \cdot t / 1000$	=	$3\,600 \cdot Q_{vsak} \cdot t$	+	$V^{4,5)}$	+	0
5	Podzemní vsakovací zařízení s retencí a odtokem	$i \cdot A_{red} \cdot t / 1000$	=	$3\,600 \cdot Q_{vsak} \cdot t$	+	$V^{4,5)}$	+	$3\,600 \cdot Q_o \cdot t$
6	Retenční objekty	$i \cdot (A_{red} + A_{ret}) \cdot t / 1000$	=	$0^{6)}$	+	$V^{4)}$	+	$3\,600 \cdot Q_o \cdot t$
<i>i</i>	Intenzita srážky, v mm/h							
<i>t</i>	Doba trvání srážky, v h							
<i>A_{red}</i>	Průmět redukované odvodňované plochy povodí, v m ²							
<i>A_{vsak}</i>	Vsakovací plocha vsakovacího zařízení v m ² ; pokud se jedná o vsakovací objekt se sklonitými svahy, lze hodnotu <i>A_{vsak}</i> uvažovat jako střední hodnotu zatopené plochy objektu							
<i>A_{ret}</i>	Plocha nadzemního retenčního objektu, v m ² ; pokud se jedná o retenční objekt se sklonitými svahy, lze hodnotu <i>A_{ret}</i> uvažovat jako střední zatopenou plochu objektu. V případě podzemního retenčního objektu se plocha neuvažuje.							
<i>Q_{vsak}</i>	Vsakování odtok podle ČSN 75 9010, v m ³ /s							
<i>Q_o</i>	Regulovaný odtok z retenčního prostoru do povrchových vod nebo do jednotné kanalizace, v m ³ /s. Platí $Q_o \leq Q_c$, kde Q_c je přípustný odtok podle 5.2, popřípadě podle 5.3							
<i>V</i>	Retenční objem $V = A_{vsak} \cdot H$ resp. $V = A_{ret} \cdot H$, v m ³ , kde <i>H</i> je střední hloubka vody v m							
¹⁾	Pokud se mezi odvodňovanou plochou a objektem HDV nachází další decentrální objekt s retenčním objemem, je nutné jeho objem odečíst na levé straně bilanční rovnice od objemu srážkové vody.							
²⁾	Výpočet objemu povrchového odtoku podle ČSN EN 752. Alternativně lze objem povrchového odtoku vypočítat podle ČSN 75 9010 na základě celkového úhrnu srážky s periodicitou <i>p</i> a dobou trvání <i>t</i> .							
³⁾	V hydrologické bilanci pro návrh vsakovacích a retenčních objektů a zařízení se neuvažuje evapotranspirace. Evapotranspiraci je nutno zohlednit při dlouhodobé hydrologické bilanci (např. roční).							
⁴⁾	Pro povodí, kde hraje roli doba dotoku <i>t_d</i> do retenčního zařízení, je vhodné ji při výpočtu retenčního objemu zohlednit (ČSN 75 6261).							
⁵⁾	Retenční objem podzemních vsakovacích zařízení vyplněných šterkem nebo prefabrikovanými bloky je dán objemem pórů nebo retenčního prostoru v blocích (viz ČSN 75 9010).							
⁶⁾	V hydrologické bilanci pro návrh retenčních objektů, které nejsou navrženy jako kombinované objekty se vsakovacím zařízením, se nezohledňuje případný průsak vody nádrží do horninového prostředí.							

Tab. č. 1: Hydrologická bilance přítoku a odtoku do vsakovacích či retenčních nádrží [14]

Další normou věnující se problematice srážkových vod je ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod [15], která detailně popisuje možnosti řešení vsakovacích zařízení, včetně jejich dimenzování a postupu při jejich návrhu, posouzení a výstavby. Akumulační dešťové nádrže však v této normě své místo pro jejich dimenzování nemají. Jako záchytné lano by se mohla jevit norma ČSN 75 6162 Dešťové nádrže [4], avšak již z popisu účelu dešťové nádrže dle této normy je patrné, že se jedná o nádrže využívané na transformaci povodňové vlny, jako nádrže retenční, sedimentační a záchytné pro eliminaci nečistot nebo pro regulaci průtoku s transformačním účinkem.

„4.1 Účelem dešťových nádrží je:

- a) snížení nebo zamezení odnosu znečištění dešťovými vodami nebo zředěnými odpadními vodami do vodních recipientů využitím procesů sedimentace;
- b) transformace přívalové vlny zředěných odpadních vod retencí s možností vyrovnaného odtoku do čistírny;
- c) zachycení přívalové vlny dešťových vod retencí před jejich kontinuálním vypouštěním do vodního recipientu.“ [4]

Nádrže řeší mimo jiné i norma ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže [16], ze které je však již v jejím úvodu patrné, že ani v tomto případě ji nelze využít jako podklad pro návrh akumulční dešťové nádrže.

„Tato norma platí pro navrhování, výstavbu, rekonstrukce a provoz vodních nádrží se sypanými hrázdami, u kterých jsou splněny současně tyto podmínky:

- a) objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) není větší než 2 mil. m³;
- b) největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m.

Norma neplatí pro nádrže přečerpávacích vodních elektráren, pro odkaliště a pro nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím dna a svahů nádrže (např. štěrkoviště).

Norma se doporučuje i pro rekonstrukce historických rybníků, jejichž parametry překračují podmínky a) a b).

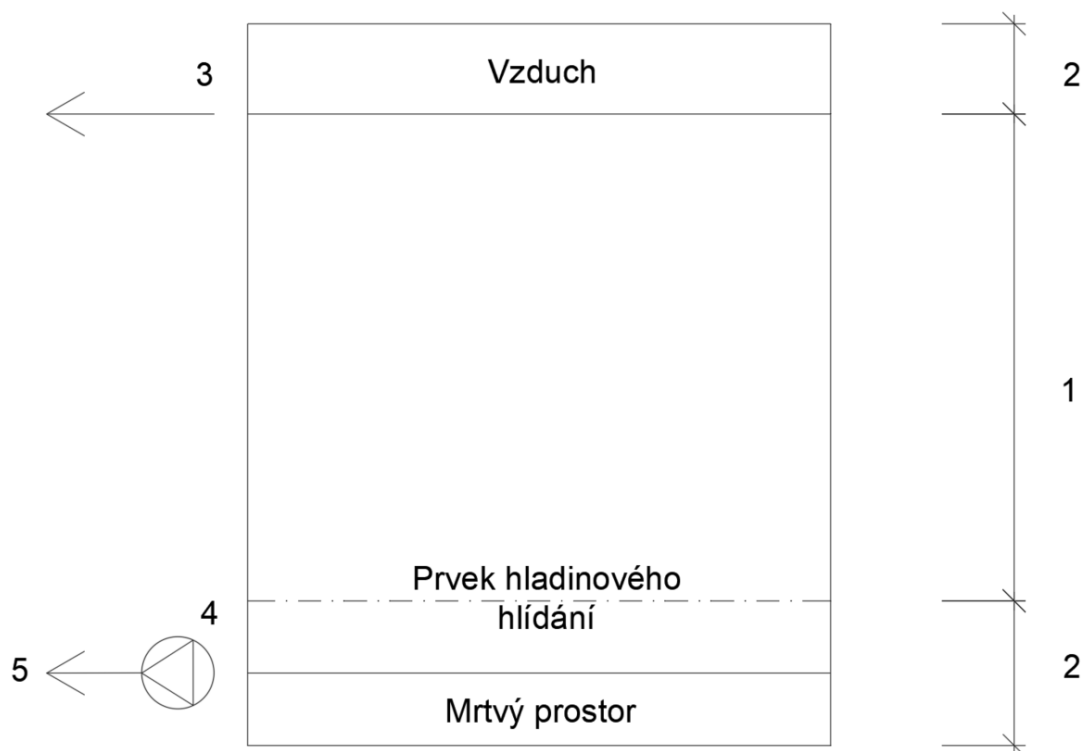
Pro nádrže s celkovým objemem menším než 5 tisíc m³ se doporučuje normu použít přiměřeně podle místních podmínek.“ [16]

Legislativní dokument, který se konečně věnuje problematice akumulace srážkových vod a jejich dimenzování, je evropská norma EN 16941-1:2018, která byla přeložena do českého jazyka a nese označení ČSN EN 16941-1 Zařízení pro využití nepitné vody na místě – Část 1: Zařízení pro využití srážkových vod. V této normě je popsáno, jakým způsobem je možno přistupovat k návrhu akumulční dešťové nádrže a všech ovlivňujících aspektů.

Důležitými faktory pro návrh velikosti akumulční nádrže jsou údaje o srážkách, velikost a typ sběrné plochy, počet a druh používání včetně budoucích plánů, hydraulické účinnosti použitého vybavení, úroveň hladiny podzemní vody a další.

Při volbě objemu akumulční nádrže je třeba si uvědomit, že celkový objem najímané vody není 100% využitelný. To je způsobeno umístěním bezpečnostního přelivu, kterým musí být každá taková nádrž vybavena, a osazením a ochranou čerpadla, které taktéž nečerpá vodu přímo

ze dna akumulční nádrže. Objem akumulční nádrže je tak rozdělen na objem využitelný a nevyužitelný (viz obr. č. 3). Nádrž by se vždy měla navrhovat na její využitelný objem.



- 1 - využitelný objem
- 2 - nevyužitelný objem
- 3 - bezpečnostní přepad
- 4 - čerpadlo
- 5 - rozvod vody k místu využití

Obr. č. 3: Zjednodušené schéma rozdělení objemového prostoru v nádrži

Norma uvádí dvě výpočetní metody, a to zjednodušený přístup a podrobný přístup. Zjednodušený přístup lze využít u jednodušších projektů, kdy je potřeba srážkových vod pravidelná a výpočetní krok se uvažuje roční. Podrobný přístup se používá u komplexnějších projektů, kdy je potřeba srážkové vody nepravidelná a časový výpočetní krok je denní.

Pro zjednodušený výpočet objemu akumulční nádrže na srážkovou vodu je v prvním kroku potřeba spočítat průměrný roční nátok srážkových vod podle následující rovnice (2.6.1).

$$Y_R = A \times h \times e \times \eta \quad (2.6.1)$$

kde je

- Y_R průměrný roční nátok srážkových vod, vyjádřený v litrech (l);
 A půdorysný průmět sběrné plochy, vyjádřený v metrech čtverečných (m²);
 h roční úhrn srážek, vyjádřený v milimetrech (mm);
 e součinitel výtěžnosti sběrné plochy (viz Tab. č. 2);
 η hydraulická účinnost. [13]

Druh povrchu	Součinitel sběrné plochy (e)
Šikmá střecha s hladkým povrchem (např. kov, sklo, břidlice, glazované tašky, solární panely)	0.9
Šikmá střecha s drsným povrchem (např. betonové tašky)	0.8
Plochá střecha, bez štěrku (kačířku)	0.8
Plochá střecha, se štěrkem (kačířkem)	0.7
Zelená (vegetační) střecha, intenzivní (např. střešní zahrada)	0.3
Zelená (vegetační) střecha, extenzivní	0.5
Nepropustné plochy (např. asfalt)	0.8
Propustné plochy (např. dlažební kostky)	0.5
Součinitel výtěžnosti sběrné plochy pro jiné povrchy musí být upraven.	
POZNÁMKA: Tyto součinitele se používají, pokud nejsou k dispozici jiné hodnoty.	

Tab. č. 2: Součinitel sběrné plochy e [13]

Součinitel výtěžnosti sběrné plochy je stanoven na základě přiložené tabulky, případně je-li specificky určen, použije se stanovená hodnota. Hydraulická účinnost je brána jako podíl průtoku upravené vody a průtoku přitékajících srážkových vod. Není-li tato hodnota stanovena, využívá se dle normy hodnota 0,9.

Vztah (2.6.2) vyjadřuje roční potřebu nepitné vody souvisící s osobami.

$$D_{p,a} = D_{p,d} \times n \times 365 \quad (2.6.2)$$

kde je

- $D_{p,a}$ roční potřeba nepitné vody, vyjádřena v litrech za rok (l/rok);
 $D_{p,d}$ denní potřeba nepitné vody souvisící s osobami, v litrech na osobu a den (l/(os. × d));
 n počet osob v připojené budově (budovách). [13]



Konečný objem akumulční nádrže se pak stanoví dosažením klíčových veličin do jednoduchých rovnic (2.6.3) a (2.6.4).

$$D_{N,d} = D_{p,d} + D_{f,d} \quad (2.6.3)$$

$$V = D_{N,d} \times d_d \quad (2.6.4)$$

kde je

$D_{N,d}$ celková denní potřeba nepitné vody, vyjádřená v litrech za den (l/d);

$D_{p,d}$ denní potřeba nepitné vody související s osobami, vyjádřená v litrech za den (l/d);

$D_{f,d}$ max. denní potřeba nepitné vody pro použití nesouvisející s osobami, vyjádřená v litrech za den (l/d);

V objem akumulční nádrže, vyjádřený v litrech (l);

d_d zvolené suché období (zvolený počet dnů do možných dalších srážek, liší se na základě polohy navrhované nádrže, např. 15 dnů pro Nizozemsko), vyjádřené ve dnech (d). [13]

Podrobný přístup je komplexnější a zahrnuje přesnější výpočet objemu akumulční nádrže. Je potřeba jej využít v případech, kdy do výpočtu vstupuje nepravidelnost a nejistota v oblasti využití a přísunu nepitné vody nebo jedná-li se o velké projekty vyžadující vyšší nároky na přesnost návrhu akumulční nádrže. Podrobný postup zahrnuje modelování přítoku a odtoku (využití) nepitné vody, kdy je potřeba nashromáždit data srážek minimálně za 5 let, a to v denním kroku. Pro vyšší přesnost výpočtu je doporučeno zvolit i delší časové období. Metoda dále umožňuje stanovit četnost přetékání, což umožňuje občasné přetékání, při kterém lze odstranit plovoucí nečistoty a zajistit tak lepší kvality vody. Kromě toho lze hodnotit i roční bilanci potřeby vody, kolik se jí ušetří a kolik je dní bez srážek.

Principem je tedy simulace vstupů a výstupů do akumulční nádrže v denním kroku, pro nejlepší optimalizaci velikosti jejího objemu. Vstupními hodnotami jsou přívod srážkových vod a v každém případě, je-li to možné, i doplňkový přívod vody do nádrže v případě nedostatku srážek (např. studniční voda). Výstupními hodnotami jsou poté denní potřeba vody a případně množství vody přeapadlé přes bezpečnostní přeliv.

Objem srážkových vod je i při tomto přístupu stanoven z rovnice (2.6.1) pouze s rozdílem hodnoty srážek, kdy je potřeba roční úhrn srážek z předchozího přístupu nahradit denním úhrnem srážek h_D , vyjádřeným v milimetrech za den (mm/d) nebo v litrech na metr čtverečný za den ($l/(m^2 \times d)$).

V denním kroku se pro stanovení využití akumulční nádrže používá následujících vztahů.

$$S_{N,d} = \min \left\{ \frac{D_d}{V_{r(d-1)}} \right\} \quad (2.6.3)$$

$$V_{rd} = \min \left\{ \frac{V_{r(d-1)} + Y_{r,d} - S_{N,d}}{V - S_{N,d}} \right\} \quad (2.6.4)$$

kde je

$S_{N,d}$ denní odběr srážkových vod z akumulční nádrže, vyjádřený v litrech za den (l/d);

D_d potřeba nepitné vody za den d, vyjádřená v litrech za den (l/d);

V_{rd} objem srážkových vod v akumulční nádrži na konci dne d, vyjádřený v litrech (l);

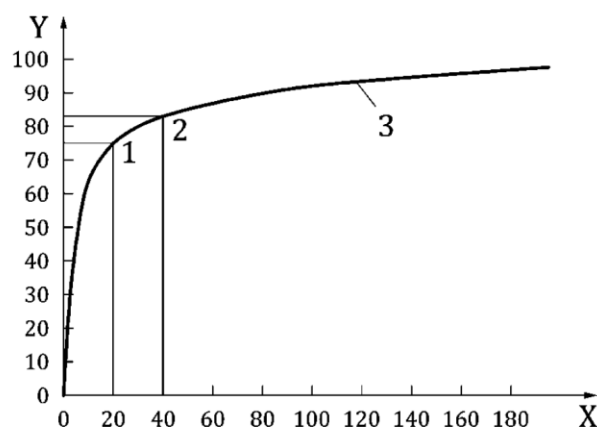
$V_{r(d-1)}$ objem srážkových vod v akumulční nádrži na konci dne d-1, vyjádřený v litrech (l);

V jmenovitý objem akumulční nádrže, vyjádřený v litrech (l). [13]

V dalším kroku se dle vztahu (2.6.5) stanoví stupeň pokrytí potřeby $C_r(V)$.

$$C_r(V) = \frac{\sum \frac{S_{N,d}}{d}}{\sum \frac{D_d}{d}} \quad (2.6.5)$$

Počáteční hodnota objemu vody na začátku simulace je rovna 0. Pokud v průběhu modelování nastane situace, že V_{rd} dosáhne záporných hodnot, je potřeba doplňkový zdroj vody, protože voda srážková nepokryje stanovené potřeby vody a hodnota V_{rd} se v tomto kroku pokládá rovna 0. Stanovením stupně pokrytí se získá křivka ($C_r = f(V)$) pro různé hodnoty objemu (V). Křivka stanoví využitelný objem akumulční nádrže a z tohoto výstupu pak projektant stanoví, na základě dalších ovlivňujících aspektů, konečný návrh objemu akumulční nádrže. Příklad křivky stupně pokrytí pro různé objemy je znázorněn na obr. č. 4.



Legenda

X využitelný objem akumulčního zařízení, vyjádřený v metrech krychlových (m^3)

Y stupeň pokrytí potřeby nepitné vody, vyjádřený v procentech (%)

1 pro získání stupně pokrytí potřeby nepitné vody 75 % je potřebné akumulční zařízení s využitelným objemem $20 m^3$

2 pro získání stupně pokrytí potřeby nepitné vody 83 % je potřebné akumulční zařízení s využitelným objemem $40 m^3$

3 křivka $C_r = f(V)$

Obr. č. 4: Příklad stanovení využitelného objemu akumulční nádrže, převzato z [13]

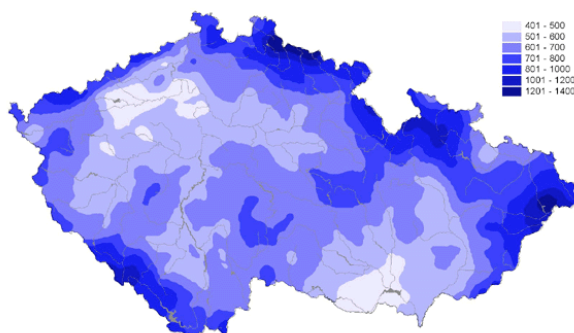
Kromě oficiálních legislativních dokumentů existují i jiné, uživatelsky zjednodušené, nástroje pro výpočet velikosti akumulční nádrže. Na internetu jich lze vyhledat velké množství. Jedná se o zjednodušené kalkulátory, do kterých uživatel zadá potřebné vstupní údaje, které nástroj vyhodnotí a na základě algoritmu vypočítá a doporučí uživateli vhodnou velikost akumulční nádrže.

Mezi takové nástroje patří kalkulátor na internetových stránkách společnosti Dešťovka (viz obr. č. 5), která zajišťuje nejen prodej akumulčních nádrží a podporu v této problematice, ale i dotační program na využívání srážkové vody. [17]

Kalkulačka velikosti nádrže slouží k orientačnímu výpočtu dostupného množství dešťové vody, vhodnou velikost nádrže na dešťovou vodu a spotřebu vody na zalévání a případně i na splachování WC. Následně jsou uvedeny doporučené produkty pro výsledek výpočtu.

Výpočet velikosti nádrže na dešťovou vodu

Při výběru produktů a objemu nádrže na vodu zvažte aktuální klimatický trend.



V mapě jsou uvedeny hodnoty průměrného srážkového úhrnu dle dat ČHMÚ (mm/rok). Pro zadání srážkového úhrnu odečtěte hodnotu z této hydrometeorologické mapy

nebo

Vyberte oblast podle barvy nebo vložte úhrn srážek ručně



Srážkový úhrn dle mapy (mm) *

401 až 1400 mm

Plocha střechy, půdorysný průmět (m²)

Plocha střechy v metrech čtverečních...

Počet obyvatel (pokud chcete využívat vodu i na splachování WC), není nutné zadávat

Vyplňte počet trvale žijících osob...

Plocha zahrady pro zálivku (m²)

Vyplňte plochu zahrady...

Kalkulačka provádí výpočty návrhu objemu retenčních nádrží dle metodiky SFŽP a dílče dle ČSN 75 9010. Vypočtený objem z této kalkulačky je orientačním výsledkem. Pro přesnější výpočet doporučujeme kontaktovat odborníka, který ve výpočtech zohlední další faktory ovlivňující výpočet velikosti nádrže.

Po zadání hodnot se vám zobrazí doporučené produkty (nádrže a sestavy)

Obr. č. 5: Kalkulačka velikosti dešťové nádrže dostupná na internetových stránkách společnosti dešťovka.eu [17]

Podobný kalkulátor nabízí i internetové obchody společností Nicoll [18], Perfectfactory [19] a Aquanix [20], jejichž parametry a vzhled se přibližují kalkulátoru výše (viz obr. č. 5).

Tyto nástroje pomohou odhadnout velikost nádrže na základě mezivýpočtů, které vychází z legislativních dokumentů. I když jde o uživatelsky přívětivé nástroje, jedná se stále pouze

o orientační hodnotu, která nemusí zahrnovat všechny aspekty ovlivňující návrh velikosti akumulční nádrže na srážkovou vodu a vždy je lepší zvolit odborné posouzení od specializované osoby v tomto oboru.

V rámci mé práce vyzkouším výše uvedené nástroje a výsledky z jednotlivých kalkulátorů pro zvolené experimentální plochy budou zpracovány v praktické části této práce včetně jejich porovnání a zhodnocení přesnosti výsledných hodnot.

Lidé, kteří chtějí na svém pozemku realizovat akumulční nádrž, však z velké části nerozumí empirickým výpočtům, vzorcům a všem dostupným kalkulátorům. Z tohoto důvodu existuje na internetových stránkách mnoho doporučení, která jsou stanovena na základě praxe nebo se také opírají o legislativní podklady, avšak jiný člověk (někdy i odborník) již došel ke konkrétnímu číselnému výsledku. Jedno takové doporučení nabízí projekt Počítáme s vodou, který se v rámci své činnosti zabývá hospodařením se srážkovou vodou a jejím udržením v přírodě. Odborníci z tohoto projektu hned v první řadě uvádějí, že se nádrž dimenzuje a optimalizuje, a to na nejdelší dobu bez dešťových srážek, která počítá se 3 týdny. V dnešní době s extrémním klimatem si však dovoluji tvrdit, že se tato doba mohla prodloužit až na 4 týdny. Následně uvádějí zkušenosti z praxe, ze kterých je doporučován objem nádrže na 1 osobu a 3 týdny ve velikosti 1 m^3 (pro čtyřčlennou rodinu jsou to 4 m^3). Bude-li srážková voda využita i na zavlažování zahrady, je potřeba navýšit objem nádrže na každých 125 m^2 střechy o 1 m^3 . Odborníci z projektu dále radí, že se nesmí opomenout velikost plochy, ze které je voda jímána. Zde jako kontrolní výpočet uvádějí, že na 25 m^2 střechy lze počítat maximálně 1 m^3 objemu nádrže. Máme-li tedy střechu s výměrou 125 m^2 , nemá smysl na ni napojovat akumulční nádrž o velikosti větší než 5 m^3 , uvádějí odborníci z projektu. [21] Podobná čísla uvádí i firma PUMPA a.s., která pro základní představu uvádí hodnoty do 100 m^2 plochy střechy (pro využití srážkové vody na zavlažování zahrady) volit nádrž o objemu 3 m^3 . Pokud se jedná o plochu do 150 m^2 , vhodná je nádrž o objemu 5 m^3 .

Jedná se o nejjednodušší formu získání konkrétních čísel, avšak je nutné uvědomit si, že není jasné, na základě jakých podkladů byla tato čísla zjištěna a nemusí tak být vhodným doporučením pro pozemek konkrétní osoby, jejíž lokalita může být v rámci jednoho ze vstupních aspektů pro výpočet velikosti nádrže specifická.

Další přístup empirického stanovení nabízí publikace „Volba zdroje vody“ společnosti IRIMON, věnující se automatickým závlahovým systémům. Ta nabízí dva různé přístupy k výpočtu objemu akumulční dešťové nádrže.

1. Výpočet objemu akumulční dešťové nádrže na základě srážkových úhrnů a rozměrů sběrné plochy



Pro výpočet objemu touto metodou je nutno znát roční srážkové úhrny, velikost sběrné plochy, typ střechy pro určení koeficientu odtoku a délku období bez srážek. Ze vstupních hodnot pak dle rovnice (2.6.6) vyjde hodnota objemu akumulční dešťové nádrže.

$$V = \frac{j \times P \times f}{a} \quad (2.6.6)$$

kde je

V	objem akumulční dešťové nádrže (l)
j	úhrn srážek (mm/rok) (mm/vegetační období)
P	velikost sběrné plochy (m ²)
f	koeficient odtoku (viz tab. č. 2)
a	délka období bez srážek (pro ČR 21 dní) [22]

2. Výpočet objemu akumulční dešťové nádrže na základě požadavku závlahy

Při využití této metody vychází objem dešťové akumulční nádrže z denní potřeby závlahy dle rovnice (2.6.7). Publikace zároveň upozorňuje na uvážení rezervy v případě přívalových dešťů.

$$V = 2 \times (P \times PR) \quad (2.6.7)$$

kde je

V	objem akumulční dešťové nádrže (l)
P	zavlažovaná plocha (m ²)
PR	srážková výška (mm/den) [22]

2.7 Dotační tituly

S vývojem a změnou klimatu roste čím dál tím větší důraz na hospodaření se srážkovou vodou a vodou obecně. Z tohoto důvodu státy motivují a podporují svoje občany v realizaci jakéhokoliv opatření pro hospodaření se srážkovou vodou, a to pomocí dotačních titulů. V dnešní době jich u nás existuje hned několik, jejichž volba pak závisí na velikosti rozsahu využití srážkové vody v rámci pozemku (využití srážkové vody pouze na zálivku, pro splachování, pořízení domácí ČOV apod.).

V oblasti akumulčních dešťových nádrží je nejznámější formou dotace tzv. program „Dešťovka“. Tento dotační titul byl však v říjnu letošního roku (2021) spojen s novou etapou v rámci programu „Nová zelená úsporám“. Jedná se program zahrnující širší spektrum dotací v rámci realizací rodinných i bytových domů a je určený na energetické úspory při realizaci

a rekonstrukci rodinných a bytových domů. Podkategorií tohoto programu je pak právě výše zmiňovaný dotační titul „Dešťovka – dešťová a odpadní voda“. Jedná se o dotaci, která zahrnuje efektivní zachytávání srážkové vody a její následné využití v rámci pozemku nebo daného rodinného či bytového domu. Výše dotace se pohybuje v rozmezí 27 – 105 000 Kč v závislosti na míře zachycení a využití najímané srážkové vody. Při využití srážkové vody pouze pro závlivku zahrady je výše dotace až 55 000 Kč. Tato forma dotace lze v současné době využít pouze u stávajících rodinných domů, nikoliv u novostaveb. Pokud je voda využívána jako užitková (pro splachování) i pro závlivku, je výše dotace až 65 000 Kč. Je-li zkombinovaná odpadní šedá voda a srážková voda ve dvou nádržích, pohybuje se výše dotace až kolem 105 000 Kč (viz. tab. č. 3). O finální výši částky rozhoduje typ opatření a velikost zvolené nádrže. Všechny aspekty jsou hodnoceny na základě projektu předloženého společně s žádostí o dotaci. Žádost o dotaci může podat vlastník stávajícího domu nebo stavebník nového domu. V rámci nového programu spuštěného v prosinci letošního roku probíhá podání žádosti elektronicky přes e-identitu. [23]

Označení podporovaných opatření	Podporovaná opatření	Výše podpory [Kč]
Závlivka	System pro využití akumulované srážkové vody pro závlivku zahrady.	$20\,000 + 3\,500 * x$ Maximální výše dotace na jednu žádost je omezena na 55 000 Kč.
Závlivka + WC	System pro využití akumulované srážkové vody jako vody užitkové a případně také pro závlivku.	$30\,000 + 3\,500 * x$ Maximální výše dotace na jednu žádost je omezena na 65 000 Kč.
Šedá voda	System pro využití vyčištěné odpadní vody jako vody užitkové, případně také pro závlivku zahrady	60 000
Šedá voda+	System se dvěma akumulčními nádržemi pro využití vyčištěné a dočištěné odpadní vody a pro srážkové vody jako vody užitkové a případně pro závlivku.	$70\,000 + 3\,500 * x$ Maximální výše dotace na jednu žádost je omezena na 105 000 Kč.

Tab. č. 3: Výše podpory v rámci oblasti podpory "Dešťovka" (převzato z [23])

3 Využití srážkové vody

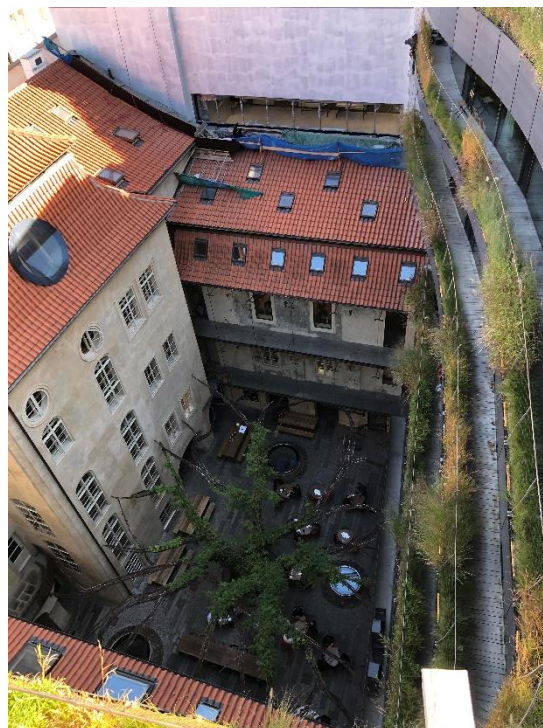
Velký rozmach využívání srážkové vody, nejen v rámci změn klimatu a čím dál tím častějších extrémních situací, ale i díky větší medializaci tohoto problému a samozřejmě rozvoji techniky a způsobů financování, nabízí v dnešní době již mnoho zajímavých projektů a realizací. V ČR i ve světě se jedná o velmi aktuální téma a každým rokem přichází novější a sofistikovanější řešení využívání srážkové vody. V následujících odstavcích bude popsán příklad tohoto využití v budově Drn v Praze, která získala mnoho ocenění ve spojitosti s architektonickým zpracováním, šetrným přístupem k životnímu prostředí a estetikou v rámci intravilánu města.

3.1 Drn

Budova DRN se nachází v centru Prahy, poblíž Nové scény Národního divadla, na nároží Národní třídy a Mikulandské ulice. Jedná se o dílo Ing. arch. Stanislava Fialy, který velmi vkusně zkombinoval prvky moderní architektury s původními historickými budovami. Novostavba v podstatě spojuje dva původní paláce, Schönkirchovský a palác Dunaj. Jedná se o administrativní budovu nabízející sdílené kanceláře, kde primárním prvkem je bezesporu zeleň. Byla vybudována mezi lety 2016–2018 a pyšní se několika významnými oceněními jak v oblasti architektonické, tak v oblasti modrozelené infrastruktury. [24]

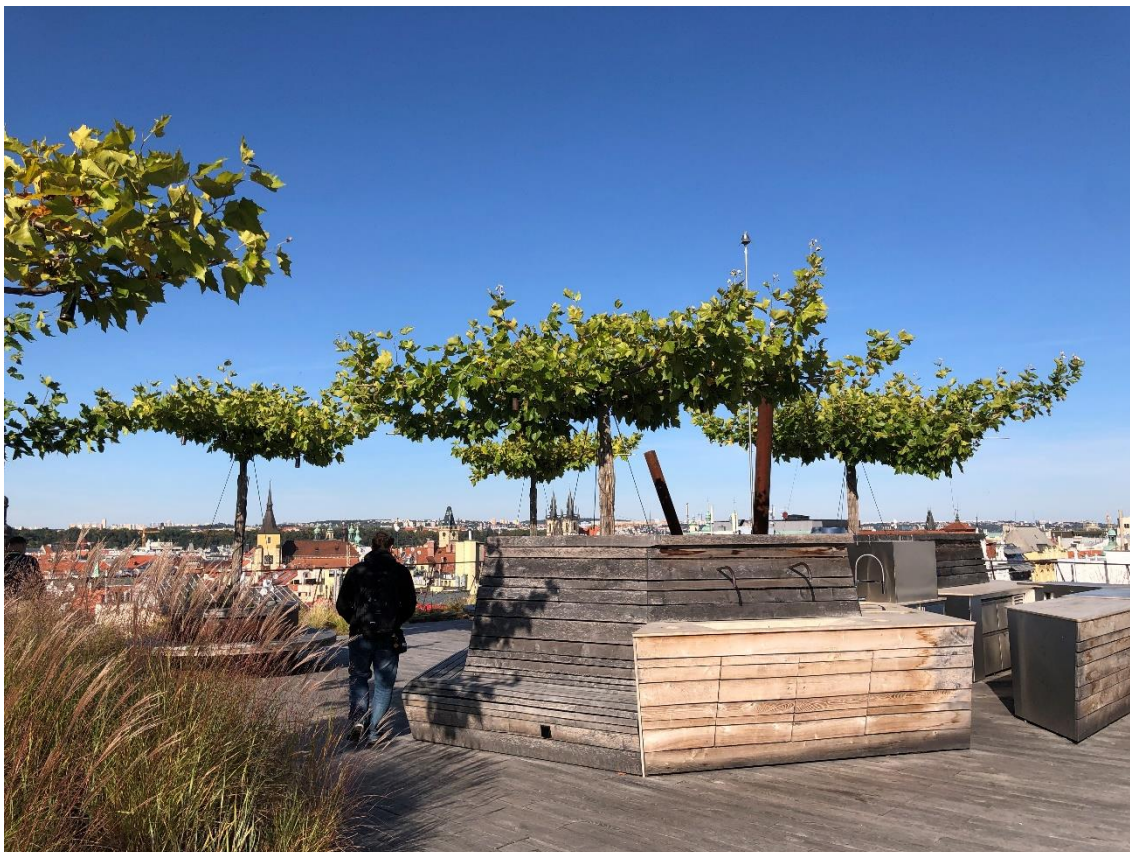


Obr. č. 6: Budova Drn-pohled z Mikulandské ulice



Obr. č. 7: Pohled ze střechy budovy do vnitrobloku

Fasádu budovy tvoří lemy s truhlíky se zelenou výsadbou, které jsou přizpůsobeny okolní výstavbě a vytvářejí tak dynamickou atmosféru celé stavby, díky čemuž budova lépe zapadá do okolí. Skladba výsadbové zeleně v truhlících je upravována dle ročního období. Kromě fasády disponuje budova i zelenou střechou. Jedná se o kombinaci intenzivní a extenzivní zelené střechy včetně terénních modelací. Ochranná vrstva souvrství je tvořena geotextilií 300 g/m², drenážní vrstvu tvoří nopová fólie Optigrün FKD 40 a filtrační vrstvu pak filtrační fólie Optigrün 105. Substrát byl zvolen od společnosti ACRE. Z důvodu různorodosti střešní výsadby je zde použito vícero substrátů. Pro trávníky je využit trávníkový substrát, pro vyšší mocnosti pak substrát intenzivní a pro zbylou výsadbu substrát extenzivní. Specializovaná zahradnice, která se o výsadbu stará, konstatuje, že je vidět markantní rozdíl v jednotlivých substrátech. Obzvlášť viditelné je to u korun tamějších stromů, které jsou vysázeny v různých substrátech v závislosti na jejich umístění v rámci střechy. U substrátů určených pro výsadby se stromům daří hůře než těm, které jsou vysázeny v substrátech vzniklých kombinací travního a výsadbového substrátu. [25]



Obr. č. 8: Střecha budovy Drn, která získala ocenění Zelená střecha roku 2018

Všechny plochy na střešní zahradě jsou zavlažovány. Pod trávníkovými plochami je instalováno podzemní kapkovací potrubí, u výsadeb pak nadzemní kapkovací potrubí. Stromy jsou zavlažovány ručně, cca 100 litry vody 1x za 3 týdny. Truhlíky na fasádě nemají instalovanou automatickou závlahu a jsou zavlažovány pouze ručně. Zdrojem vody pro závlahu je primárně srážková voda, která je jímána do akumulční nádrže o velikosti 25-30 m³ realizované v podzemní

části objektu. V případě nedostatku srážkové vody je nádrž dopouštěna vodou z vodovodu. Z hlediska závlah je škoda, že není známé konkrétní množství vody pro zavlažování zeleně, neboť po 5 letech (2016-2021) je stav této vegetace v extrémních podmínkách díky soustavné specializované zahradnické péči stále reprezentativní. Přebytečná závlahová voda, kterou výsadba na střeše nedokáže využít, neodtéká do kanalizace, ale zpět do akumulční nádrže a je opět využita při dalším cyklu závlahy. Jedná se tak o velkou úsporu vody, protože nádrž nemusí být tak často dopouštěna vodou z vodovodu a budova se tak může pyšnit jejím šetrným přístupem k hospodaření se srážkovými vodami a životnímu prostředí obecně.

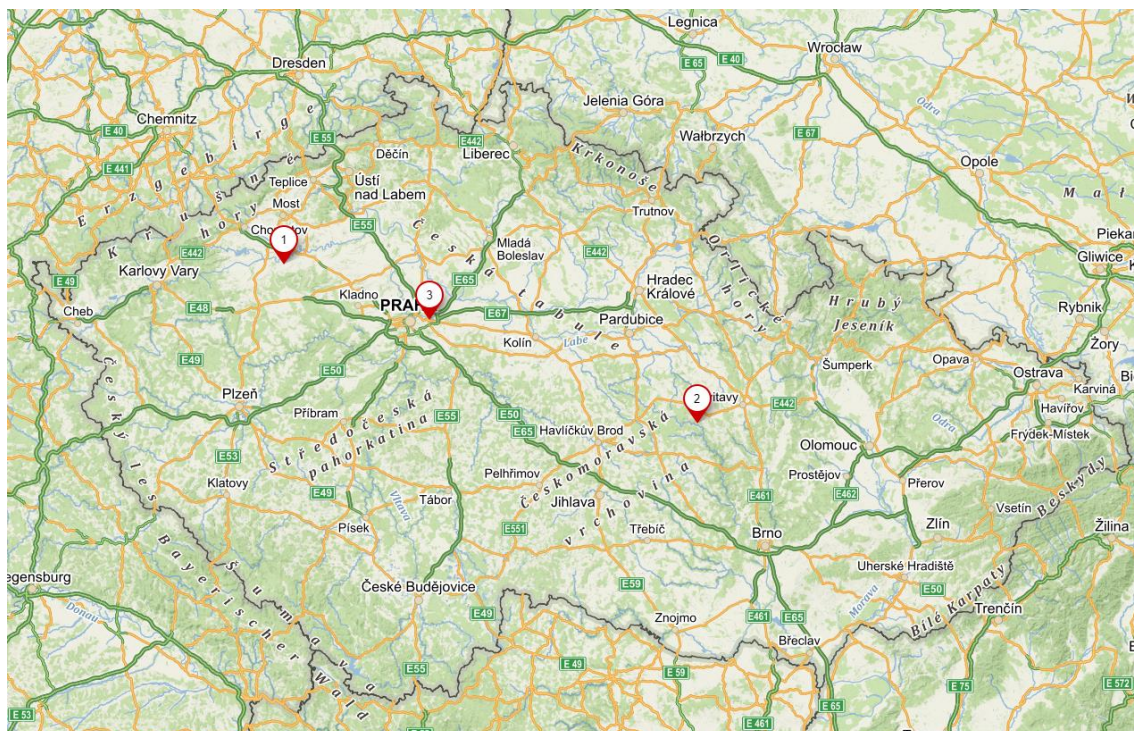
Celková cena za realizaci budovy a všech prvků s ní spojených vyšla přibližně na 1,5 miliardy korun. Cena za roční údržbu spojenou se závlahou a zelení na budově pak vychází na přibližně 225 tisíc korun. [zdroj: exkurze]

4 Praktická část

V praktické části práce budou vyhodnoceny aktuálně dostupné metody výpočtů a stanovení velikostí akumulčních dešťových nádrží na srážkovou vodu. Budou vyhodnoceny celkem 3 lokality, které se od sebe liší primárně množstvím a rozložením srážek v rámci řešeného období. Rozloha jednotlivých pozemků byla pro reprezentativnost výsledků volena stejná, a to 460 m². Sběrná plocha je uvažována také stejně, ve velikosti 100 m². Kromě jednoduchých metod, přístupných na internetových stránkách výrobců těchto nádrží, pak bude praktická část zahrnovat i metodu podrobnou, ve které bude namodelována optimální velikost nádrže pro dané lokality na základě zahrnutí co možná nejvíce aspektů rozhodujících o velikosti akumulční dešťové nádrže. V závěru pak budou získané hodnoty porovnány a vyhodnoceny.

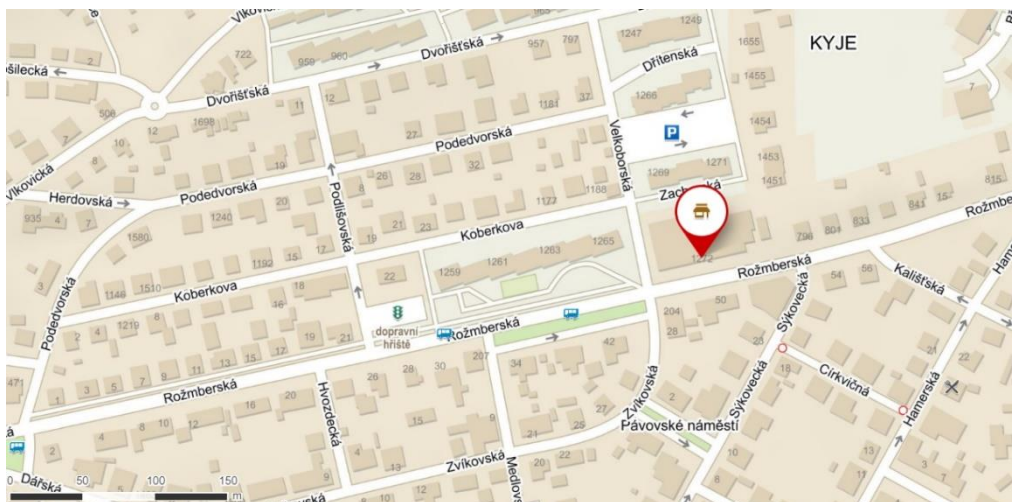
4.1 Popis experimentálních ploch

Pro řešení optimální velikosti akumulční dešťové nádrže s ohledem na způsob ovládnání automatického závlahového systému byly vybrány 3 lokality. První se nachází v intravilánu města (Praha-Kyje) druhá v suché oblasti, tj. s nízkými srážkovými úhrny (Žatecko) a třetí se nachází naopak v oblasti chladné, s vysokými srážkovými úhrny (Vysočina). Rozmístění experimentálních ploch v rámci České republiky je znázorněno na obr. č. 9.



Obr. č. 9: Rozmístění experimentálních ploch v rámci ČR [43]

První lokalita se nachází v Praze 9 – Kyjích, na pozemku společnosti IRIMON, spol. s r. o., v ulici Rožmberská (viz obr. č. 10).



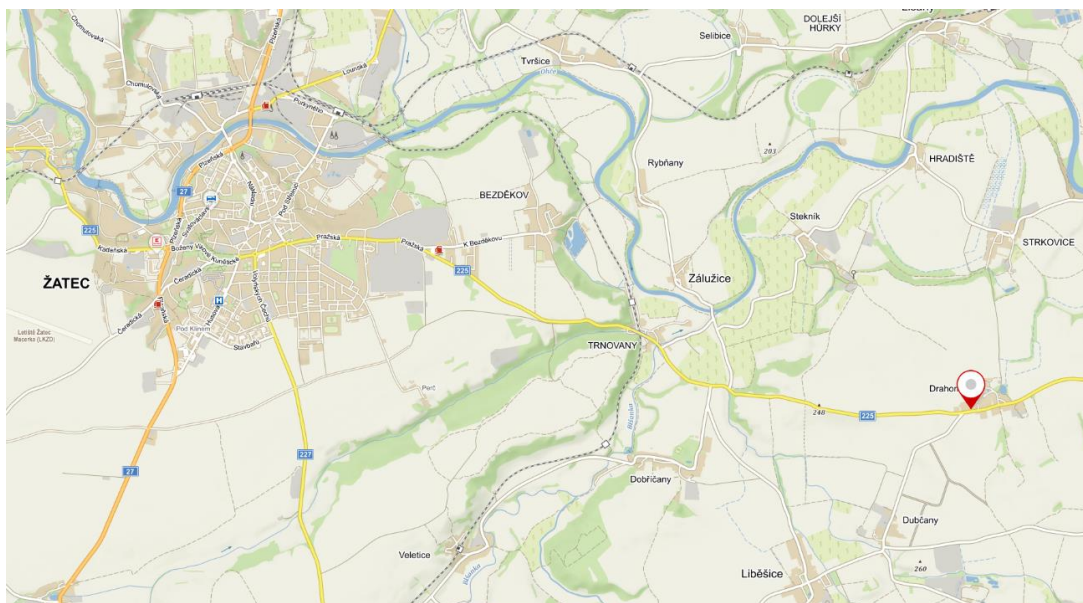
Obr. č. 10: Poloha experimentální plochy Praha-Kyje [43]

Jedná se o plochu nacházející se v městském intravilánu, která bude sloužit jako srovnávací plocha při vyhodnocení výsledných hodnot pro suchou a chladnou (deštivou) oblast. Přesné souřadnice objektu společnosti jsou: 50.0936356N, 14.5427400E. Plocha se nachází v nadmořské výšce 245 m. n. m. a je mírně svažité od severozápadu k jihovýchodu. Plocha je ve správě společnosti IRIMON, spol. s r.o. a je pokryta trávnikem a zčásti výsadbou v podobě okrasných záhonů. V současné době je na ní instalován automatický závlahový systém, který bude sloužit jako návrhový pro všechny 3 řešené plochy (viz kap. 4.6.1). Velikost zavlažované plochy je přibližně 460 m². Akumulační dešťová nádrž pro tuto plochu byla navržena a optimalizována v rámci diplomové práce Ing. Šárky Adensamové a bude použita pro porovnání výsledků v rámci této práce. Sběrná plocha pro návrh akumulční dešťové nádrže byla v tomto případě uvažována přibližně 100 m². Sběrná a zavlažovaná plocha jsou znázorněny na obr. č. 11.



Obr. č. 11: Vyznačené řešené plochy na experimentální ploše Praha-Kyje [43]

Druhá lokalita pro návrh akumulční dešťové nádrže se nachází v obci Drahomýšl, jihovýchodně od města Žatec (viz obr. č. 12).



Obr. č. 12: Poloha experimentální plochy Žatecko [43]

Jedná se o suchou oblast s nízkými průměrnými ročními srážkami (cca 460 mm). Přesné souřadnice pozemku jsou: 50.3095647N, 13.6455133E. Plocha se nachází v nadmořské výšce cca. 230 m. n. m. a je rovinného charakteru bez výškových rozdílů. Jedná se o budoucí zahradu u nově vybudovaného rodinného domu. Pokryv plochy bude tvořen primárně trávnikem, společně se zeleninovými a okrasnými záhony. Velikost řešeného území z hlediska ozeleněné a zavlažované plochy je zhruba 460 m², sběrná plocha pro návrh akumulční dešťové nádrže disponuje 100 m². Obě plochy jsou vyznačeny na obr. č. 13.



Obr. č. 13: Vyznačené řešené plochy na experimentální ploše Žatec

Poslední zvolená lokalita pro účely diskuse spektra návrhu akumulční dešťové nádrže se nachází v obci Telecí, která je situována v kraji Vysočina, jihozápadně od města Polička (viz obr. č. 14).



Obr. č. 14: Poloha experimentální plochy Vysočina [43]

Jedná se o chladnou oblast s vysokými průměrnými ročními úhrny srážek (cca 775 mm). Přesné souřadnice pozemku jsou: 49.6827658N, 16.1874669E. Leží v nadmořské výšce 542 m. n. m. a je mírně svažité směrem od západu k východu. Jedná se o pozemek náležící k jedné polovině staršího dvojdomu, aktuálně sloužící jako rekreační víkendová chalupa. Velikost řešeného území pro účely této práce činí cca 460 m². Pro sběr vody do akumulční nádrže bude uvažována plocha poloviny střechy objektu, která činí přibližně 100 m². Uvažované plochy jsou vyznačeny na obr. č. 15.



Obr. č. 15: Vyznačené řešené plochy na experimentální ploše Vysočina

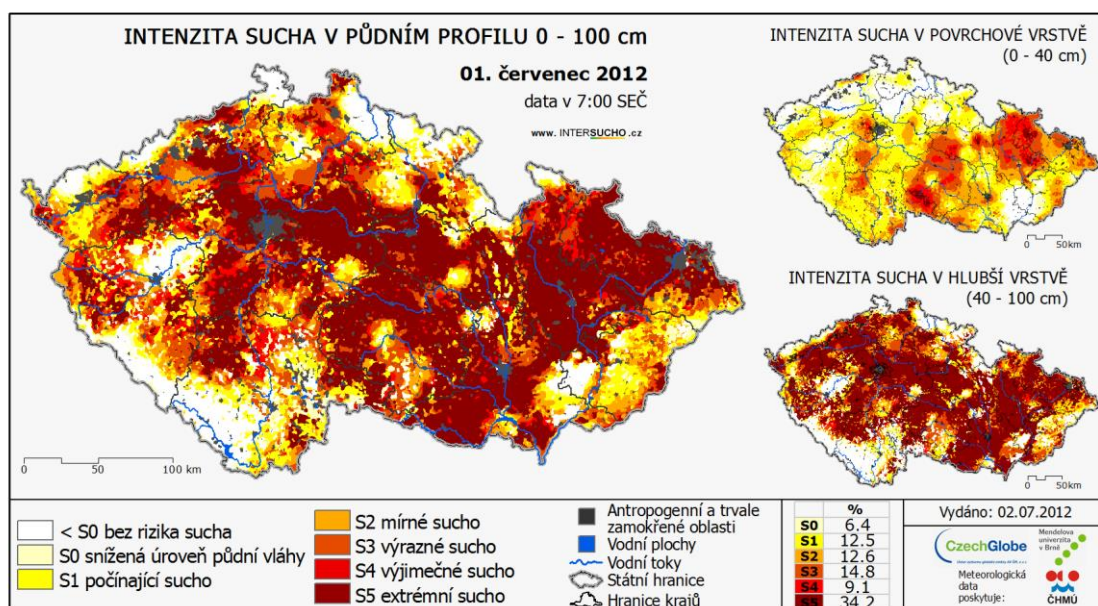
4.2 Charakteristika klimatu

Jednotlivé experimentální plochy byly voleny primárně na základě rozdílných charakteristik klimatu v rámci České republiky, zejména pak na základě celkových ročních úhrnů srážek a nadmořské výšky. Rozdíly v celkových ročních úhrnech srážek a nadmořské výšky jednotlivých lokalit přehledně shrnuje následující tabulka č 4.

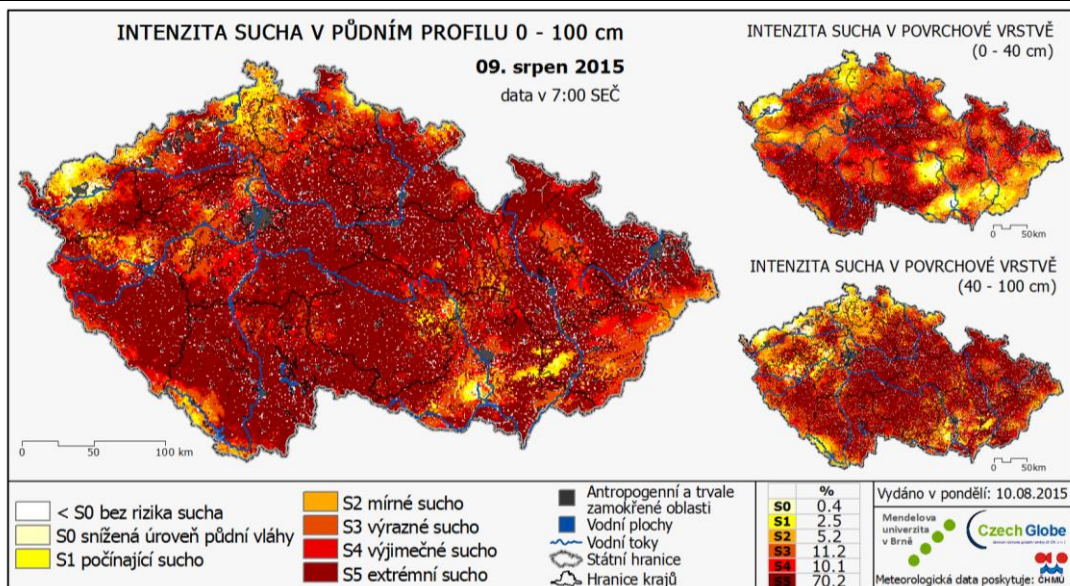
	Praha_Kyje	Žatecko	Vysočina
Průměrné roční srážkové úhrny	541 mm	461 mm	773 mm
Nadmořská výška	245 m. n.m.	228 m. n. m.	542 m. n. m.

Tab. č. 4: Roční srážkové úhrny a nadmořská výška řešených oblastí

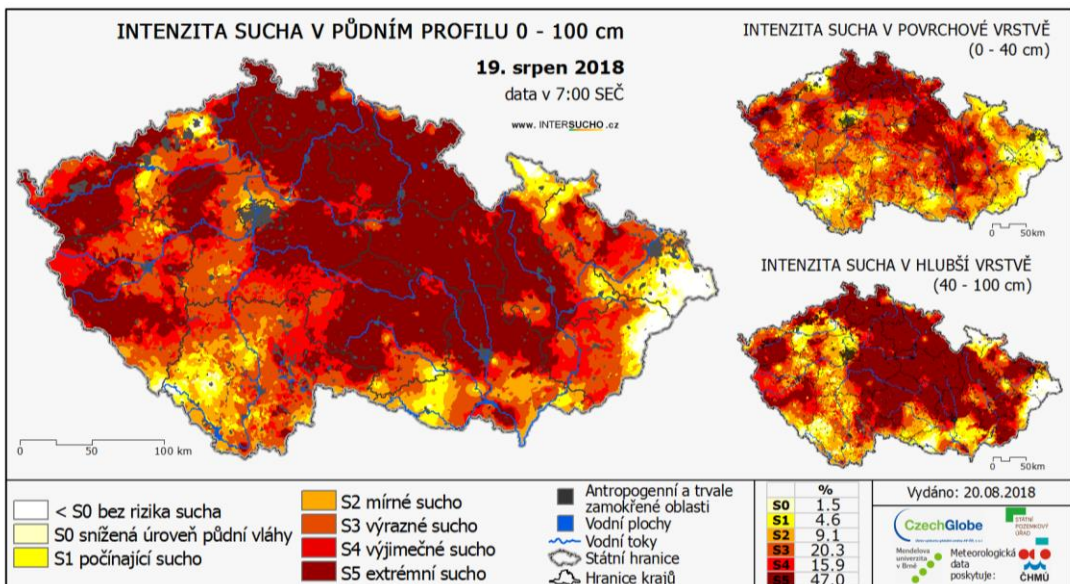
Obecně můžeme konstatovat, že od počátku sledování klimatologických údajů a charakteristik dochází ke změně klimatu. Je patrné, že se tomu tak děje primárně v důsledku lidské činnosti na Zemi. Veškerá klimatologická data ukazují, že v průběhu vývoje lidstva se atmosféra Země pomalu otepluje. Co se srážek týče, jejich množství se nijak radikálně nemění. [26] Dochází však ke změně jejich rozložení v rámci roku a pozorujeme čím dál tím více extrémních událostí z hlediska různých klimatologických charakteristik (teplota, srážky, vítr apod.). Tato fakta patřičně reflektuje projekt Intersucho, který se zabývá monitoringem sucha na území nejen České republiky. Porovnáme-li data z počátků tohoto projektu (2012. viz obr. č. 16), je patrné, že sucho v nejkritičtějších měsících nebylo tak intenzivní, jako se tomu stává v posledních letech. Je samozřejmě potřeba brát v potaz, že klima není každý rok stejné, proto mezi extrémně suchými roky (viz obr. č. 17, 18) najdeme i roky s poměrně dostatečnou dotací srážek, např. rok 2020 (viz obr. č. 19). [27]



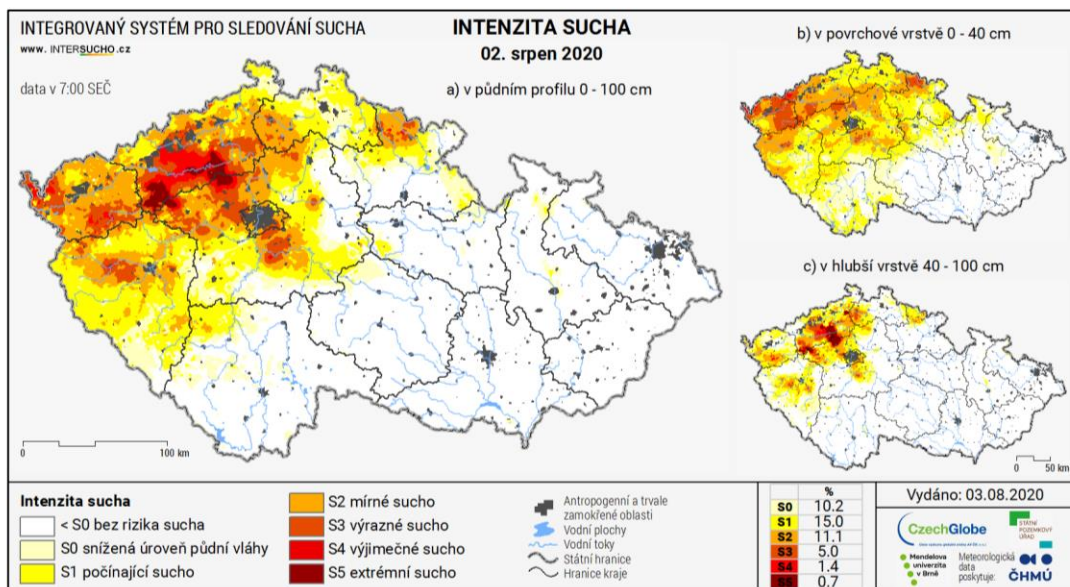
Obr. č. 16: Intenzita sucha – rok 2012 [27]



Obr. č. 17: Intenzita sucha – rok 2015 [27]



Obr. č. 18: Intenzita sucha – rok 2018 [27]

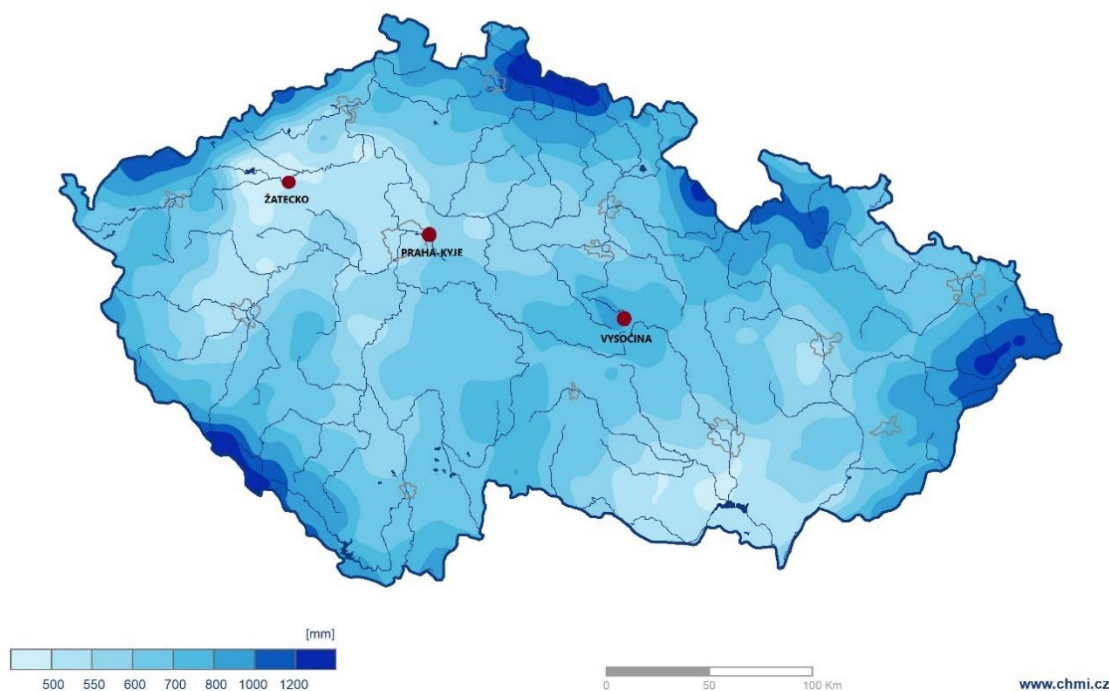


Obr. č. 19: Intenzita sucha – rok 2020 [27]

Množství srážek a průměrná roční teplota jsou viditelné na mapkách charakteristik klimatu (viz obr. č. 20 a 21), které jsou převzaty z naměřených dat stanic ČHMÚ. [28] Jedná se o vývoj množství srážek (obr. č. 20) a průměrné teploty (obr. č. 21) mezi lety 1981-2010. Na mapkách je zároveň znázorněna poloha jednotlivých experimentálních ploch, pro představu různorodosti jejich klimatických charakteristik v rámci ČR.

Průměrný roční úhrn srážek za období 1981–2010

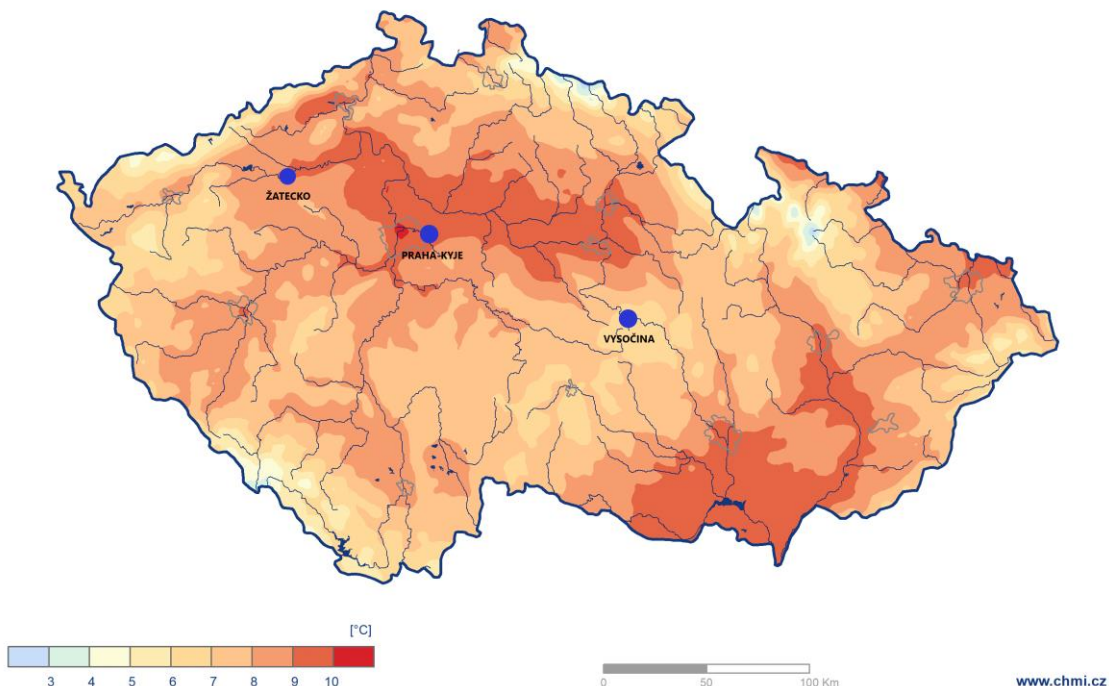
Český
hydrometeorologický
ústav



Obr. č. 20: Průměrný roční úhrn srážek za období 1981-2010 [28]

Průměrná roční teplota vzduchu za období 1981–2010

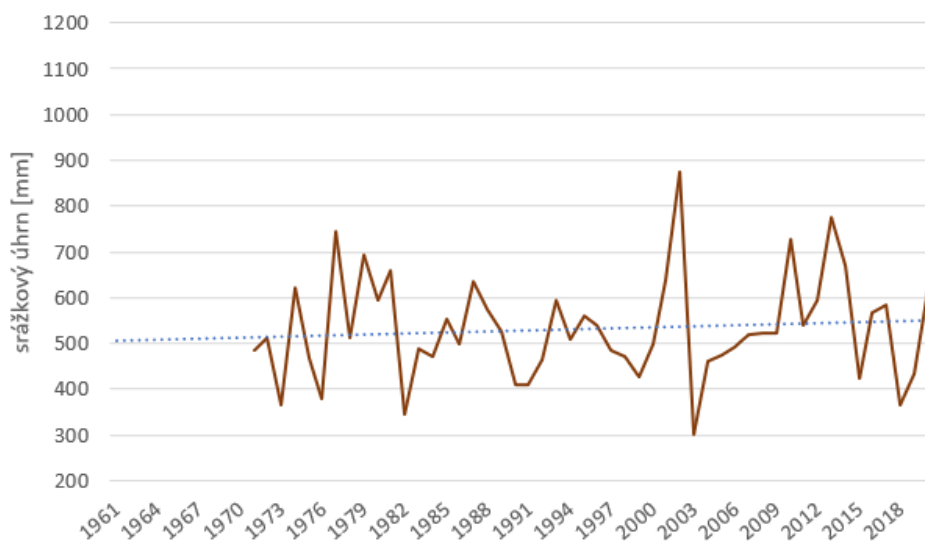
Český
hydrometeorologický
ústav



Obr. č. 21: Průměrná roční teplota za období 1981-2010 [28]

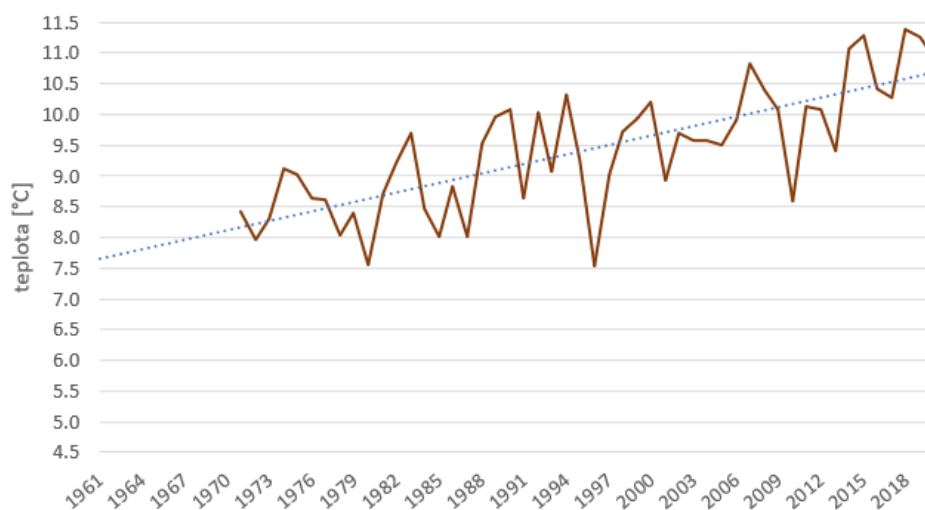
4.2.1 Lokalita č. 1 – Praha-Kyje (intravilán)

První lokalita se nachází v intravilánu v Praze-Kyjích a jediná z řešených lokalit je ovlivněna zástavbou. Tento fakt ovlivňuje nejen teplotu, ale i množství srážek. Průměrné roční úhrny z dlouhodobého hlediska (1971-2020) nabývají hodnot přibližně 540 mm/rok. Zjednodušeně lze říct, že se jedná o oblast průměrnou vzhledem k ročním úhrnům srážek v rámci ČR. Trend vývojové křivky množství srážek (viz obr. č. 22) zároveň ukazuje mírný nárůst ve sledovaném období. Data pro vyhodnocení klimatických poměrů v této lokalitě byla převzata ze stanice ČHMÚ – Libuš, nacházející se zhruba 10 km od zájmové lokality. Tato stanice byla volena z důvodu podobných polohových a klimatických charakteristik jako má řešená lokalita.



Obr. č. 22: Dlouhodobé roční srážkové úhrny ve stanici Praha-Libuš

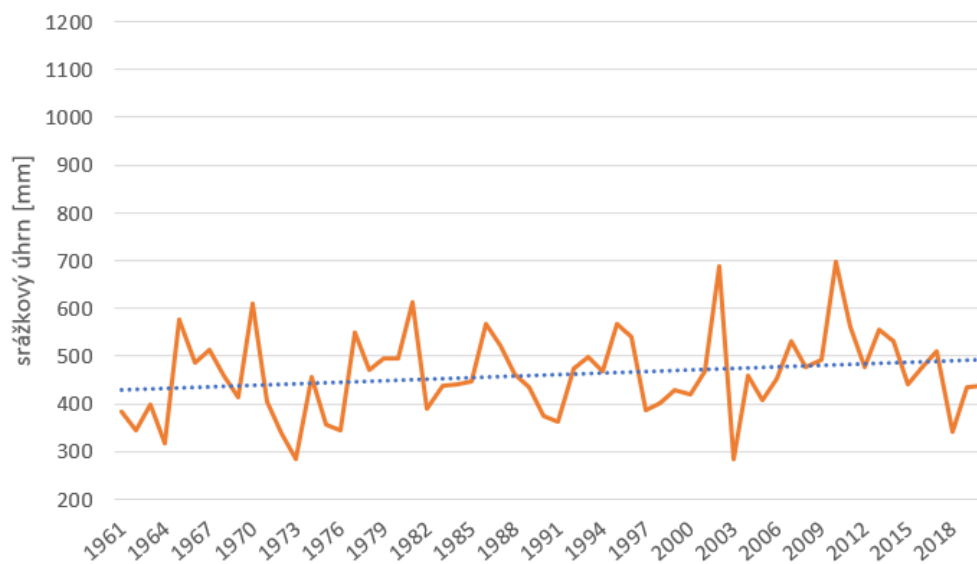
Teplotní vývoj v této lokalitě je velmi podobný vývoji v suché oblasti – Žatecko (č. 2). Zde je to však dáno velkou mírou zástavby, kde vzniká tepelný ostrov, který způsobuje nárůst teploty. Hodnota průměrné denní teploty je cca. 9,4 °C. Trend vývojové křivky zároveň ukazuje poměrně velký nárůst průměrné roční teploty v rámci sledovaného dlouhodobého měřítka (viz obr. č. 23).



Obr. č. 23: Dlouhodobé roční průměrné teploty ve stanici Praha-Libuš

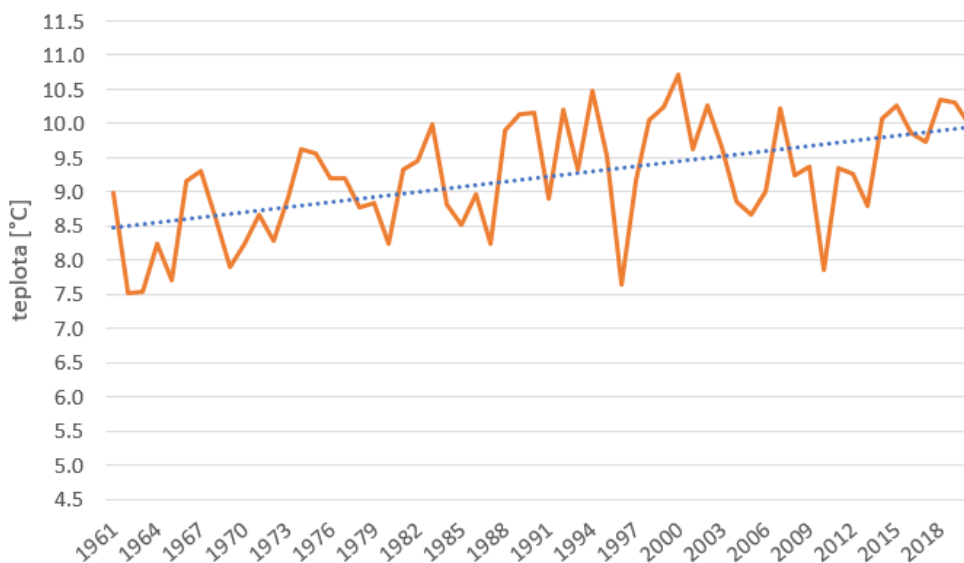
4.2.2 Lokalita č. 2 – Žatecko (suchá oblast)

Druhá lokalita leží z hlediska srážek v tzv. srážkovém stínu Krušných hor. Tento jev způsobuje nižší úhrny srážek v rámci oblasti. Roční srážkové úhrny se z dlouhodobého hlediska (1961-2020) pohybují kolem 460 mm/rok s trendem mírného nárůstu (viz obr. č. 24). Data byla zpracována na základě měření ve stanicích ČHMÚ. Pro tuto lokalitu byla zvolena stanice ve městě Žatec, která je od zájmové oblasti vzdálená do 10 km. [29]



Obr. č. 24: Dlouhodobé roční srážkové úhrny ve stanici Žatec

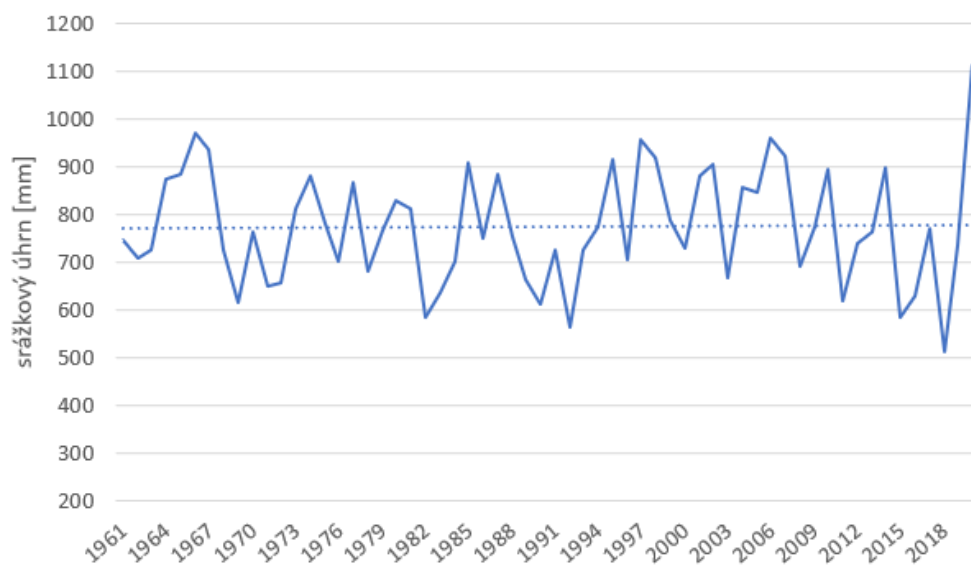
Z hlediska teploty patří Žatecko spíše do oblasti teplejší, což je možné vidět na grafu (viz obr. č. 25) dlouhodobého vývoje teplot. Průměrná roční teplota (1961-2020) se pohybuje kolem 9,2 °C Rostoucí trend teploty zároveň potvrzuje fakt, že dochází k postupnému oteplování klimatu.



Obr. č. 25: Dlouhodobé roční průměrné teploty ve stanici Žatec

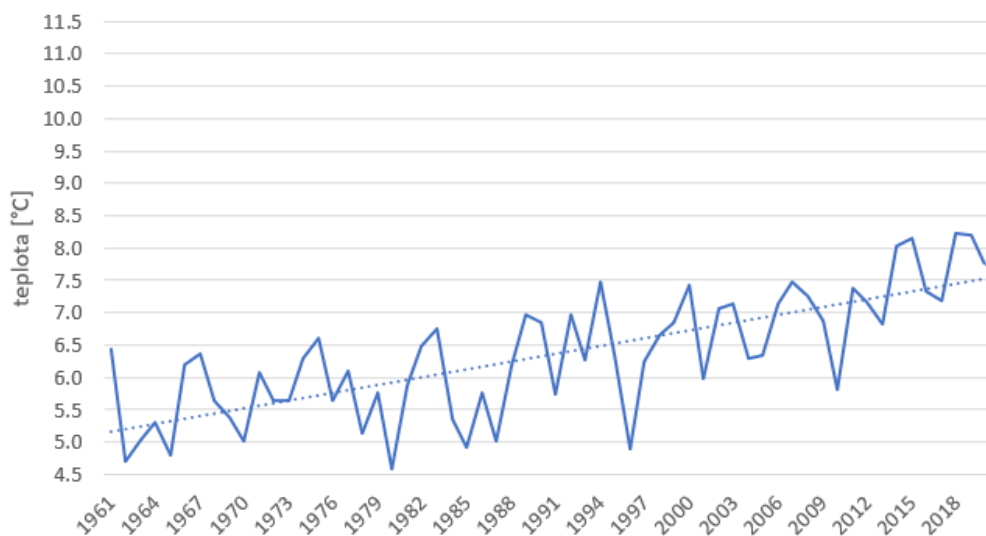
4.2.3 Lokalita č. 3 – Vysočina (chladná oblast)

Druhá lokalita se nachází na Vysočině, v oblasti Žďárských vrchů. Jedná se o místo s poměrně vysokými úhrny srážek, zvláště z důvodu jeho umístění na návětrných svazích Vysočiny. Průměrné roční úhrny z dlouhodobého hlediska (1961-2020) se zde pohybují kolem 770 mm/rok, přičemž trend ukazuje prakticky neměnné množství srážek v průběhu sledovaného období (viz obr. č. 26). Data pro zpracování grafů byla převzata ze stanice ČHMÚ – Svatouch, nacházející se přibližně 10 km od zájmové lokality. [29]



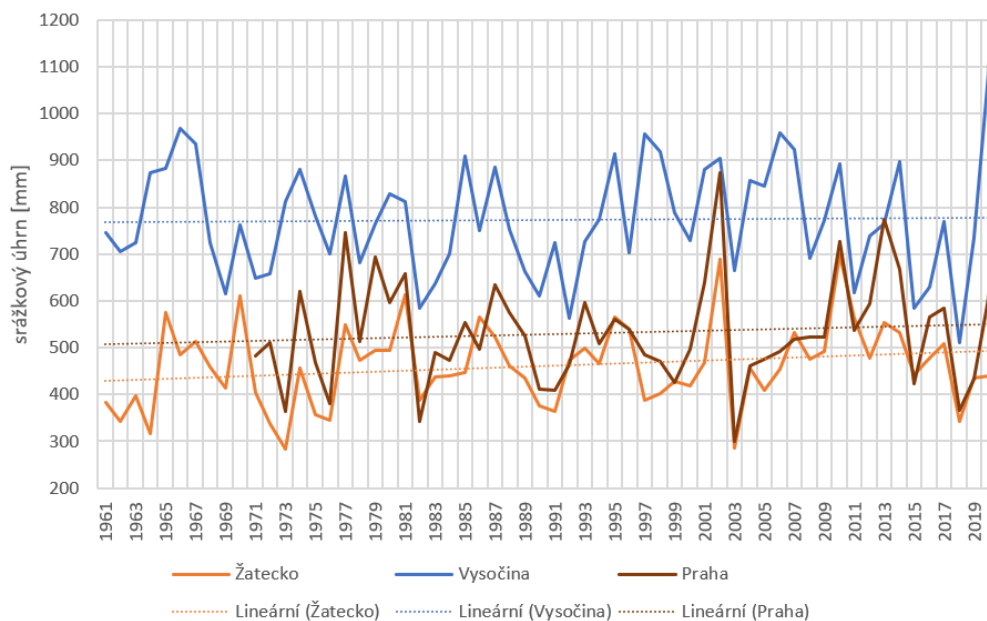
Obr. č. 26: Dlouhodobé roční srážkové úhrny ve stanici Svatouch

Z hlediska teplotní charakteristiky patří tato oblast do mírně chladného a vlhkého regionu. Tuto skutečnost dokazují data dlouhodobého měření průměrné denní teploty vzduchu (1961-2020), která ukazují hodnotu průměrné denní teploty v tomto období přibližně 6,3 °C. V případě teploty je trend vývojové křivky poměrně zdatelně rostoucí, což opět potvrzuje fakt oteplování klimatu (viz obr. č. 27).



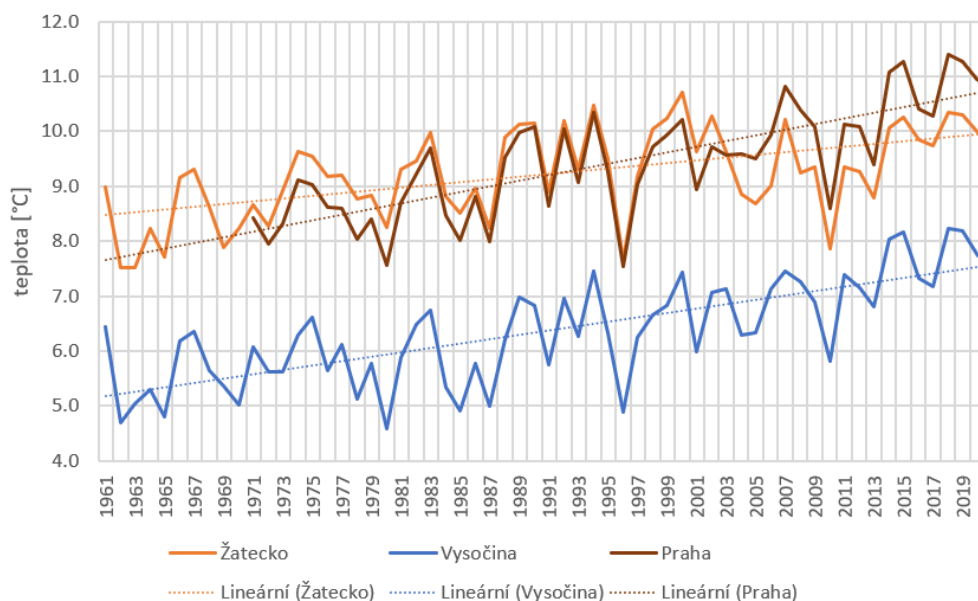
Obr. č. 27: Dlouhodobé roční průměrné teploty ve stanici Svatouch

Dojde-li k porovnání jednotlivých experimentálních ploch z hlediska klimatu – množství srážek a teploty – je zde patrný rozdíl přibližně 200 mm/rok. Srážky v oblasti Vysočina znatelně převyšují množství srážek ve zbylých dvou oblastech. Lokalita pražského intravilánu a suché oblasti Žatecka vykazují podobné hodnoty, v Praze mírně vyšší, což je evidentní z grafického zpracování na obr. č. 28.



Obr. č. 28: Dlouhodobé roční srážkové úhrny-porovnání

Průměrné roční teploty se také v řešených lokalitách mírně liší, pro oblast Vysočina vykazují o 3 °C méně, než je tomu v lokalitě Žatecka a Prahy. Tyto hodnoty podtrhují umístění lokalit vzhledem k přírodním a klimatickým podmínkám České republiky a v případě Prahy i vzhledem k umístění v blízkosti intravilánu, který ovlivňuje tuto charakteristiku (viz obr. č. 29).



Obr. č. 29: Dlouhodobé roční průměrné teploty-porovnání



Vývojové trendy v případě srážek vykazují z dlouhodobého hlediska žádný nebo velmi malý přírůstek. V rámci teplot jde pak o poměrně znatelný nárůst ve všech zkoumaných lokalitách. Očekávat lze tedy zvýšenou míru evapotranspirace, a tudíž i potřebu vody pro závlivku, která s touto hodnotou souvisí. Kromě toho bude potřeba navýšit také velikosti akumulčních nádrží, ve kterých bude potřeba větší množství vody pro potřebné zásobení zavlažovaných ploch.

4.3 Půdní charakteristiky

Dne 9. 10. 2021 (lokalita č. 2 – Žatecko-suchá oblast) a 29. 10. 2021 (lokalita č. 3 – Vysočina-chladná oblast) byl v řešených lokalitách proveden terénní průzkum a byly odebrány porušené půdní vzorky, ze kterých byla následně v laboratoři stanovena čára zrnitosti a jejich zařídění dle trojúhelníkového diagramu.

Pro lokalitu Praha-Kyje (intravilán) byly dne 8. 11. 2018 odebrány neporušené půdní vzorky pomocí Kopeckého válečku a vyhodnoceny půdní podmínky v rámci diplomové práce Šárky Adensamové. [30]

Vzorky č. 2 a 3 byly získány sejmutím drnu, odběrem zeminy z hloubky přibližně 10 cm pomocí zahradnické lopatky a jejich následným vložením do uzavíratelného sáčku.

Vyhodnocení půdních vzorků (lokalita Žatecko a Vysočina) proběhlo 4. 11. 2021 v pedologické laboratoři na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze. V prvním kroku byl oddělen skelet a půdní částice, jejichž vymežujícím kritériem je hodnota 2 mm. Tzn. proběhlo prosátí obou vzorků na sítu velikosti 2 mm. Propadlé částice, tzn. půdní částice, menší než 2 mm, byly dále použity ke stanovení čáry zrnitosti a druhu půdy. Skelet byl pro další výsledky v rámci práce nevyužit. Ke stanovení čáry zrnitosti byl použit přístroj Mastersize 3000 (viz obr. č. 30). Jedná se o přístroj pro stanovení distribuce velikosti částic v sypkých materiálech, ale i emulzích, pracující na základě laserové difrakce. [31]



Obr. č. 30: Přístroj Mastersize 3000 na ČVUT Fakultě stavební

Vzorky půdních částic o hmotnosti přibližně 1-2 gramy (viz obr. č 31), byly po kalibraci přístroje vloženy do nerezové nádoby s vodou (viz obr. č. 32).



Obr. č. 31: Připravený půdní vzorek



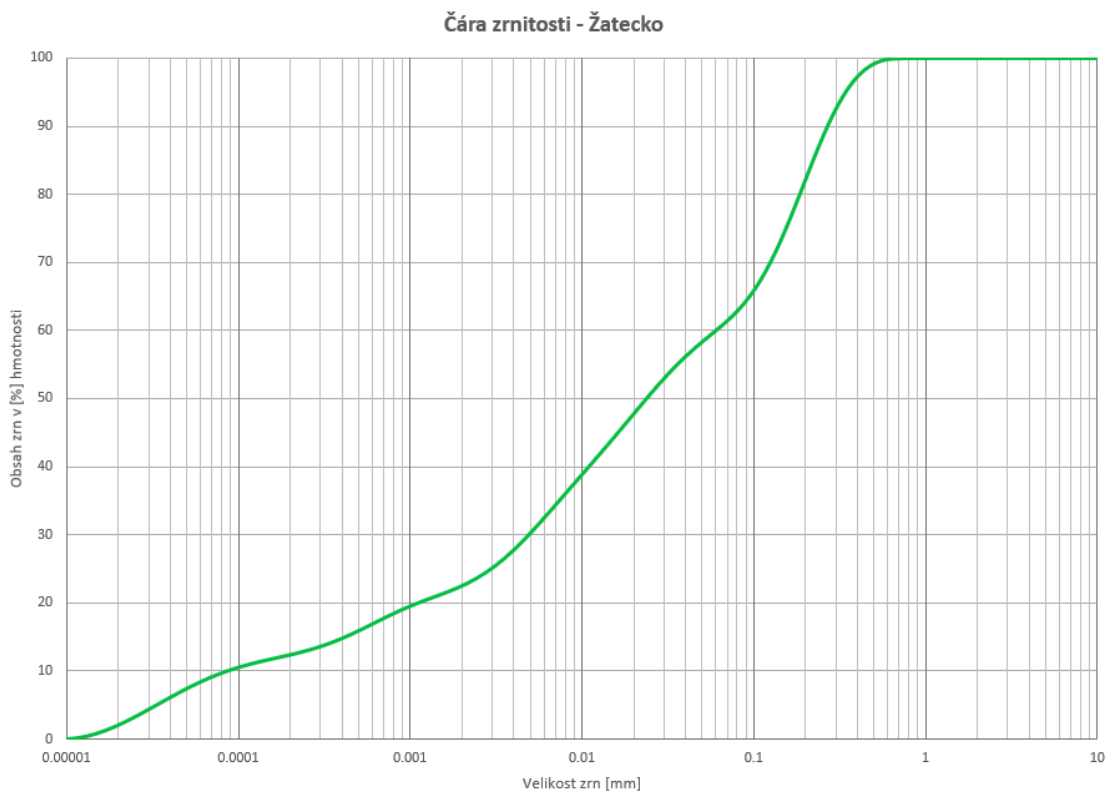
Obr. č. 32: Přidání vzorku do nádoby s vodou

V této nádobě s vodou (tzv. mokrá disperze) dochází k rozptýlení půdních částí a následnému měření v optické jednotce (viz obr. 22- větší část přístroje) za pomoci červeného laseru a modrého světla. Výsledné hodnoty jsou promítány do software instalovaného na PC umístěného vedle přístroje (viz obr. č. 33). Měření jednoho vzorku probíhalo přibližně 15-20 minut.

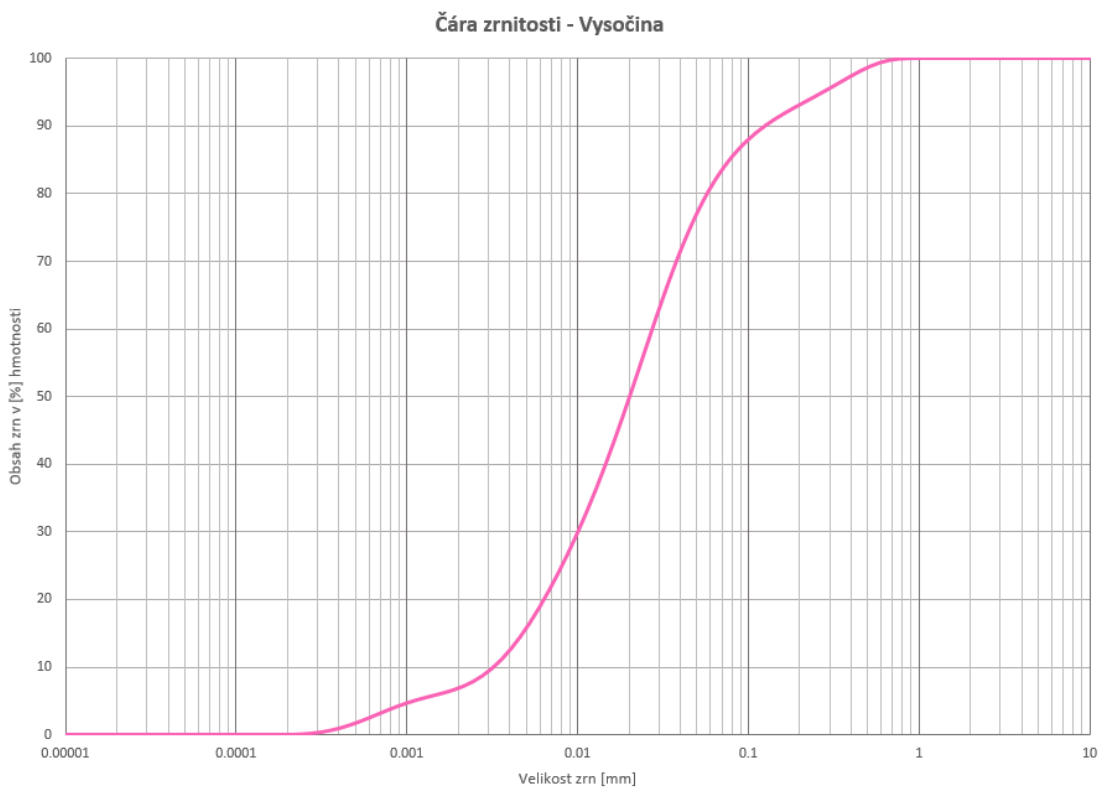


Obr. č. 33: Software s naměřenými daty

Výstupem z přístroje byla data, která byla následně zpracována v tabulkovém kalkulátoru. Vyhodnocením procentuálního zastoupení jednotlivých velikostí částic v celkové masě vzorku pak byla vykreslena čára zrnitosti pro obě výše zmíněné lokality (viz obr. č. 34 a 35).

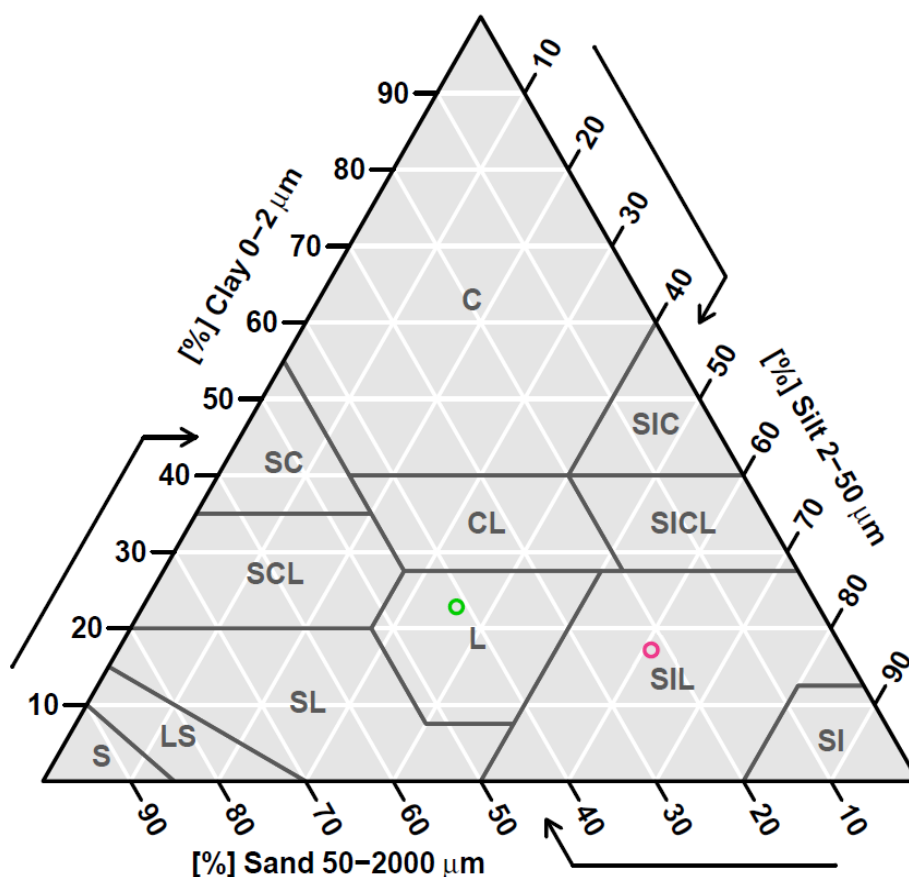


Obr. č. 34: Čára zrnitosti pro oblast Žatecko



Obr. č. 35: Čára zrnitosti pro oblast Vysočina

Z grafického zpracování je patrné, že půdní vzorek v oblasti Vysočina disponuje vyšším obsahem prachovitých a písčítých částic, na rozdíl od vzorku z oblasti Žatecka. Obsah těchto částic zde činí přibližně 93 %, zatímco na Žatecku je jejich obsah přibližně o 15 % nižší. Žatecký půdní vzorek je tedy tvořen jemnějšími částicemi s jejich zastoupením skoro 23 %. Z výše uvedených hodnot a grafů je patrné, že se bude v případě lokalit č. 2 a 3 jednat o druhy hlinité půdy (viz obr. č.36).

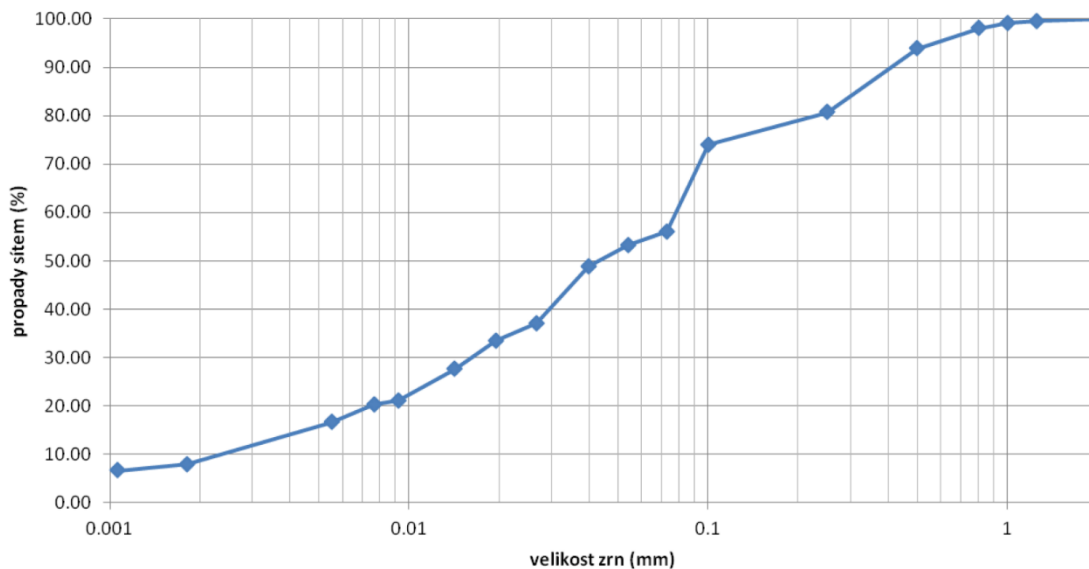


Obr. č. 36: Trojúhelníkový diagram s vyznačenými druhy půd v lokalitách Žatecko a Vysočina

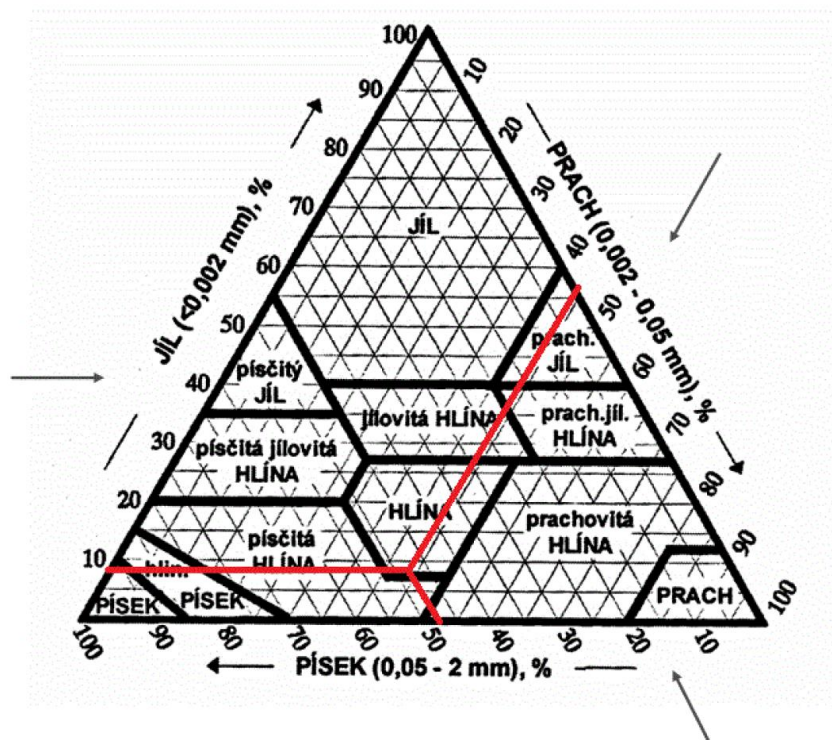
Shrnutí výsledných hodnot a parametrů půd v řešených oblastech zobrazuje tabulka č. 5 na konci této kapitoly.

Půdní charakteristiky v lokalitě č. 1 - Praha-Kyje zpracovala v rámci své práce Šárka Adensamová v roce 2018. Pro účely této práce budou použity hodnoty a výsledky dle jejího zpracování. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 5 současně se zbylými dvěma řešenými lokalitami.

Na následujícím grafu (viz obr. č. 37) je vyobrazena čára zrnitosti z diplomové práce Šárky Adensamové, která byla získána metodou prosévání na sítích a v případě jemnozrnných částic pak Casagrandeho hustoměrnou metodou. Z procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí byl na základě trojúhelníkového diagramu stanoven půdní druh (viz obr. č. 38).



Obr. č. 37: Čára zrnitosti pro lokalitu Praha-Kyje (převzato z [30])



Obr. č. 38: Trojúhelníkový diagram s vyznačeným půdním druhem pro lokalitu Praha-Kyje (převzato z [30])

Půda byla i v tomto případě shledána jako hlinitá, na hranici s hlínou písčitou, která je vhodná pro pěstování trávníku a nízkých dřevin a rostlin.

Pro účely práce jsou tedy k dispozici 3 oblasti s půdami odpovídajícími půdě hlinité, či jejím druhům s příměsí prachovitých či písčitých částic. Dle obdělávatelnosti půd spadají všechny 3 vzorky mezi půdy středně těžké, jelikož obsah jemných částic menších než 0,01 mm nepřekračuje kritérium vyšší třídy, což je 45% obsahu hmotnosti vzorku. [32]

Přehledná tabulka č 5 shrnuje všechny zjištěné půdní charakteristiky pro řešené oblasti.

	Obsah jílovitých částic (%)	Obsah prachovitých částic (%)	Obsah písčitých částic (%)	Stanovený půdní druh
Praha - Kyje	8.83	47.64	43.53	hlinitá půda
Žatecko	22.82	35.81	41.37	hlinitá půda
Vysočina	7.15	78.87	21.98	prachovitá hlína

Tab. č. 5: Půdní charakteristiky řešených lokalitách

4.4 Vstupní data a aspekty návrhu akumulční nádrže

Při optimalizaci výpočtu akumulční dešťové nádrže výhradně pro závlivku zahrad rodinných domů je nutno brát v potaz velké množství faktorů nehledě na jejich významu.

1. Faktory klimatu

- Roční úhrn srážek v dané lokalitě
- Rozložení srážek v rámci roku
- Počet extrémních srážkových událostí v rámci roku
- Rozložení extrémních srážkových událostí v rámci roku
- Relativní vlhkost vzduchu (míra nasycení vodních par)
- Celková krátkovlnná a dlouhovlnná radiace
- Délka slunečního svitu
- Nejvyšší průměrné teploty v dané lokalitě
- Rozložení teplot v rámci roku

2. Faktory rostlinného krytu a povrchu

- Aktuální evapotranspirace okolního i zavlažovaného povrchu
- Expozice a svažítost terénu
- Charakteristika půdy (půdní typ, propustnost apod.)

3. Faktory závlahové

- Potřeba vody pro danou zavlažovanou oblast
- Způsob zavlažování
- Způsob ovládání závlahového systému

4. Faktory ekonomické

- Ekonomická návratnost
- Využití dostupných dotačních titulů
- Cena vodného v dané lokalitě (v případě instalace podružného vodoměru pro závlahu zahrady RD zaniká povinnost úhrady stočného, cena vody je tak o tuto část celkové ceny vody ponížena)
- Cena akumulční dešťové nádrže
- Životnost akumulční dešťové nádrže

Z výše uvedeného seznamu je patrné, že aspektů, které jsou nutno brát v potaz při návrhu akumulční dešťové nádrže je opravdu velké množství. Při výpočtu je tedy nutné některé z nich patřičným způsobem potlačit, avšak v zájmu zachování co nejpřesnějších výsledků.

V rámci této práce budou jednotlivé akumulční nádrže v řešených oblastech navrhovány primárně na základě denních úhrnů srážek, nejvyšších denních teplot, rozložení srážek v rámci roku, které bude respektováno právě díky přesnému nastavení automatického závlahového

systemu, který bude na všech plochách uvažován, charakteru podloží, potřeby a spotřeby vody a ekonomické návratnosti se započítáním ceny vodného a možnosti zisku dotace za určitých podmínek. Jelikož se jedná o návrh nádrže výhradně pro zálivku zahrady rodinných domů, bude objem nádrže vyhodnocován pouze ve vegetačním období roku od dubna do října.

Veškerá srážková a teplotní data byla převzata z denních naměřených hodnot profesionálních stanic ČHMÚ. [29] Jednotlivé stanice byly voleny tak, aby se nacházely v co nejbližší možné vzdálenosti od řešené lokality.

Půdní charakteristiky byly odebrány osobně v daných lokalitách a vyhodnoceny v pedologické laboratoři ČVUT Fakulty stavební viz kapitola 4.3 Charakteristika podloží.

4.5 Evapotranspirace

V následující kapitole bude popsána evapotranspirace a jakým způsobem byla využita pro stanovení vláhové potřeby vody pro trávník uvažovaný na řešených plochách v rámci této práce.

4.5.1 Definice pojmu

Evapotranspirace (ET, mm) je podle FAO 56 definována jako celkový výpar ze zemského povrchu do atmosféry (jednotky nejčastěji mm) vztažený k určitému území za určitý časový úsek. Skládá se z evaporace (fyzikální výpar z půdy) a transpirace (fyziologický výpar z rostlin).

Rozlišujeme:

- Referenční evapotranspiraci ET_0
- Aktuální evapotranspiraci ET_a .
- Evapotranspiraci ze standardních podmínek ET_c

Referenční (ET_0) je evapotranspirace z referenčního povrchu, dostatečně zásobovaného vodou (TTP s přesně danými parametry). Často značena též jako potenciální evapotranspirace (ETP) (platí ale nejen pro TTP) a výpočet je nejčastěji rovnicí Penman-Monteith. ET_0 se následně přenásobuje tzv. plodinovými koeficienty. Plodinové koeficienty vyjadřují proměnlivost evapotranspirace pro různé plodiny, jejich různé odrůdy a různé vývojové fáze.

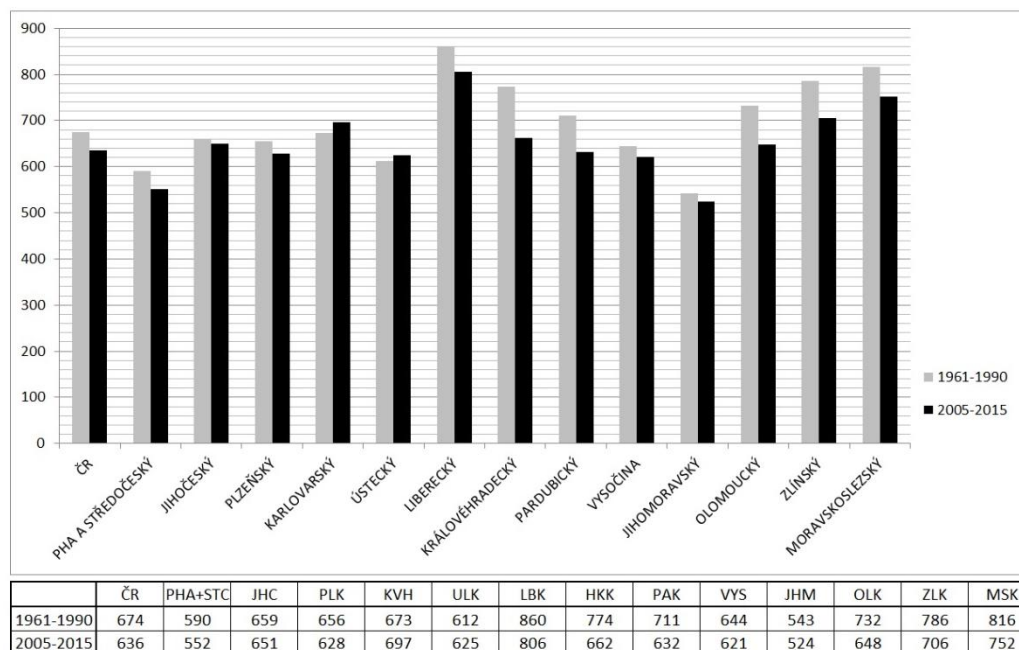
Aktuální evapotranspirace (ET_a) představuje skutečné odpařené a transpirované množství vody v reálných přírodních podmínkách, podle skutečného množství dostupné vody v půdě. Určujeme z lyzimetrů nebo výpočtem.

Evapotranspirace ze standardních podmínek (ET_c) označuje evapotranspiraci ze zdravé, optimálně hnojené plodiny, která roste v půdě s dostatkem vody a je tak možno dosáhnout maximální výnos v daných klimatických podmínkách. [33]

4.5.2 Potřeba vody pro trávník dle specialistů

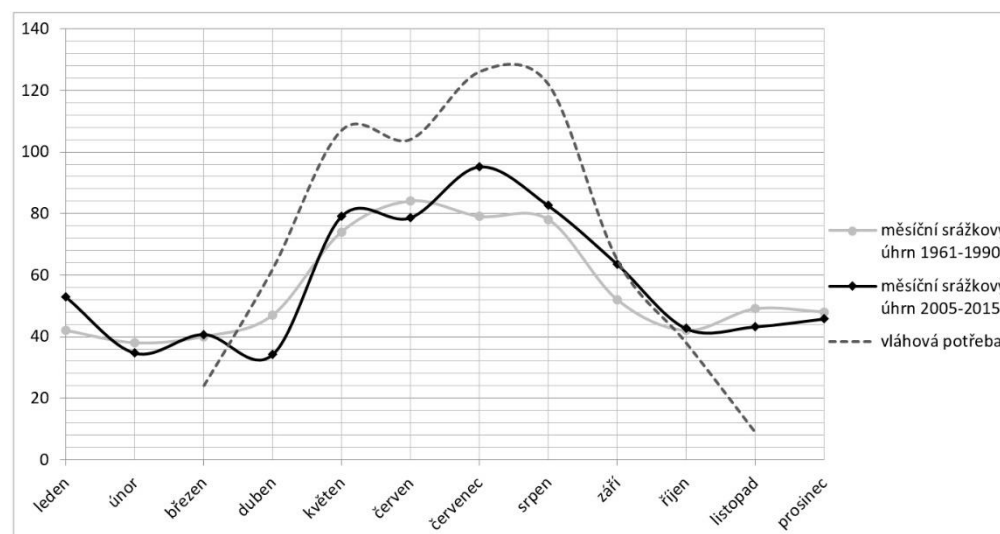
V klimatických podmínkách České republiky představuje roční úhrn srážek pouze část potřebného množství vláhy pro optimální růst kvalitního trávníku. Většina trávníků potřebuje během vegetačního období od jara do podzimu 600–800 mm srážek. [22] V ČR však během celého roku spadne průměrně pouze 674 mm (viz obr. č. 39). Tato hodnota v průběhu let zatím neklesá, ale mění se rozložení srážek v průběhu roku (viz obr. č. 40). Některé druhy trav, založené na velmi propustném písčitém podloží (např. greeny na golfovém hřišti), potřebují vody ještě více. Tomuto požadavku odpovídá týdenní závlahové množství 25–40 litrů na 1 metr čtvereční v teplých letních měsících. Souvisí to však výrazně s teplotou a větrem, ovlivňujícím také evapotranspiraci, a s tím spojenou rostoucí potřebou vody. Protože poslední roky jsou stále teplejší, zvyšuje se i potřebné závlahové množství. Toto množství vody bývá často významově

spojováno s pojmem „srážková výška PR“, udávaná v mm/hod (1 mm/hod = 1 litr/m².hod), vztažená vždy na jednotku času. Pro trávnik však není důležité jen celkové množství vody, ale především rovnoměrnost a pravidelnost závlivy. U přirozených srážek nelze s rovnoměrností a pravidelností příliš počítat, neboť deštivé dny jsou často koncentrovány do několika, na srážky bohatších období, kdy je srážkové vody až nadbytek a není tak plně využita a z části odtéká. Po většinu roku zase naopak potřebné srážky chybí. V tomto období se tak ke slovu dostává doplňková závlaha automatickým závlahovým systémem. [22]



Obr. č. 39: Roční srážkové úhrny v jednotlivých krajích [22]

Vláhová potřeba pro intenzivně pěstované trávniky se v našem klimatickém pásmu pohybuje na jaře a na podzim od 2 do 4 mm/den, v létě pak cca od 3 do 5 mm/den. Některé typy trávniků však mohou vyžadovat až 7 mm/den. [22]



Obr. č. 40: Průměrná měsíční vláhová potřeba a srážkové úhrny [22]

4.5.3 Výpočet ETP dle Ivanovova

Pro účely výpočtu hodnoty evapotranspirace z travních ploch byl použit vzorec Ivanovova (4.5.3.1), který je navržen právě pro tento typ porostu. Jedná se o jednoduchou rovnici, která se v rámci výpočtu hodnoty pro travnatý povrch jeví jako velmi vhodná. [34]

$$E_0 = 0,0018 \times (25 + T_m)^2 \times (100 - r) \quad (4.5.3.1)$$

kde je

E_0 úhrn potenciální evapotranspirace za měsíc (mm),

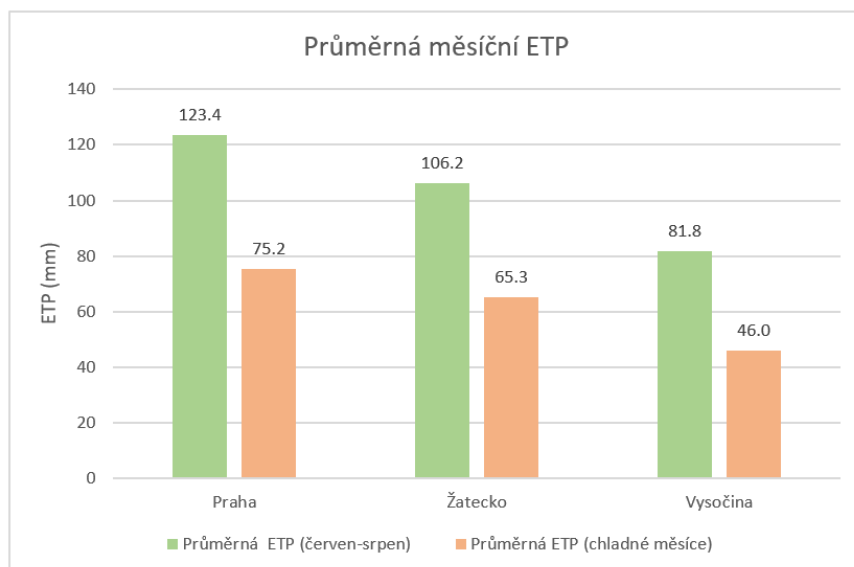
T_m průměrná měsíční teplota vzduchu (°C),

r průměrná měsíční relativní vlhkost vzduchu (%).

Dle tohoto vztahu byla z dat ČHMÚ [29] vypočítána hodnota evapotranspirace v řešených lokalitách ve vegetačním období (VO) za 25 let (1996-2020), viz příloha č. 16. Výsledná hodnota vznikla zprůměrováním 25letých hodnot evapotranspirace v nejteplejších měsících (červen-srpen). Výsledné hodnoty ETP v jednotlivých obdobích VO, tj. teplé měsíce (červen-srpen) a chladné měsíce (duben-květen, září-říjen) zobrazuje tabulka č. 6 a obr. č. 41.

Průměrná měsíční evapotranspirace v daných měsících				
	Praha	Žatecko	Vysočina	
Průměrná měsíční ETP (červen-srpen)	123.4	106.2	81.8	mm
Max. měsíční ETP (červen-srpen)	129.3	114.6	87.6	mm
Min. měsíční ETP (červen-srpen)	119.1	36.2	24.0	mm
Průměrná měsíční ETP (chladné měsíce)	75.2	65.3	46.0	mm

Tab. č. 6: Výsledné hodnoty ETP dle Ivanovova pro řešené lokality v teplých a chladných měsících za 25 let



Obr. č. 41: Grafické zobrazení hodnot ETP v teplých a chladných měsících VO za 25 let



Výsledná hodnota potřeby závlahové vody se principiálně stanoví na základě vláhové bilance travního porostu, která je dána rozdílem srážkového úhrnu a úhrnu ETP v řešené lokalitě. [35] Rozdíl těchto hodnot, tj. vláhová bilance, tedy ukazuje množství potřebné doplňkové vody v řešené lokalitě.

Dle vypočítaných hodnot vychází průměrná týdenní potřeba vody v nejteplejších obdobích na cca. **30 mm/týden**. Norma ČSN 75 0434 [36] udává hodnotu ETP v těchto měsících v rozmezí **20-25 mm/týden**. Specialisté na zavlažování pak průměrně stanovují **25-40 mm/týden**.

Je patrné, že dle normy se jedná o hodnotu podhodnocenou z hlediska aktuálního vývoje klimatu a specialisté naopak doporučují poměrně široký interval hodnot. Je to z toho důvodu, že pro potřebu návrhu ovládání závlahového systému je i nižší hodnota směrodatná. Nastavuje-li se inteligentní řízení automatického závlahového systému, je potřeba počítat s takovým množstvím vody, které je naopak potřebné v obdobích na počátku a konci VO, což jsou většinou nejchladnější měsíce VO. Inteligentní ovládání se však v rámci teplých měsíců adaptuje na aktuální stav počasí a dokáže dodat potřebnou nejvyšší uváděnou i vypočítanou hodnotu 30 mm/týden.

Práce řeší optimalizaci velikosti akumulční dešťové nádrže na základě standardního a inteligentního způsobu ovládání automatického závlahového systému. Z tohoto důvodu byla zvolena hodnota nižšího množství vody pro závlahový systém, a to **20 mm/týden**, při průměrné frekvenci závlahy 4 dny v týdnu.

4.6 Metodika

V následující kapitole bude detailně popsán postup řešení problematiky návrhu akumulční nádrže pro akumulaci závlahové vody pro automatické závlahové systémy a také vstupní údaje a předpoklady, které je nutno před vizualizací výsledných hodnot znát.

4.6.1 Specifikace závlahového systému

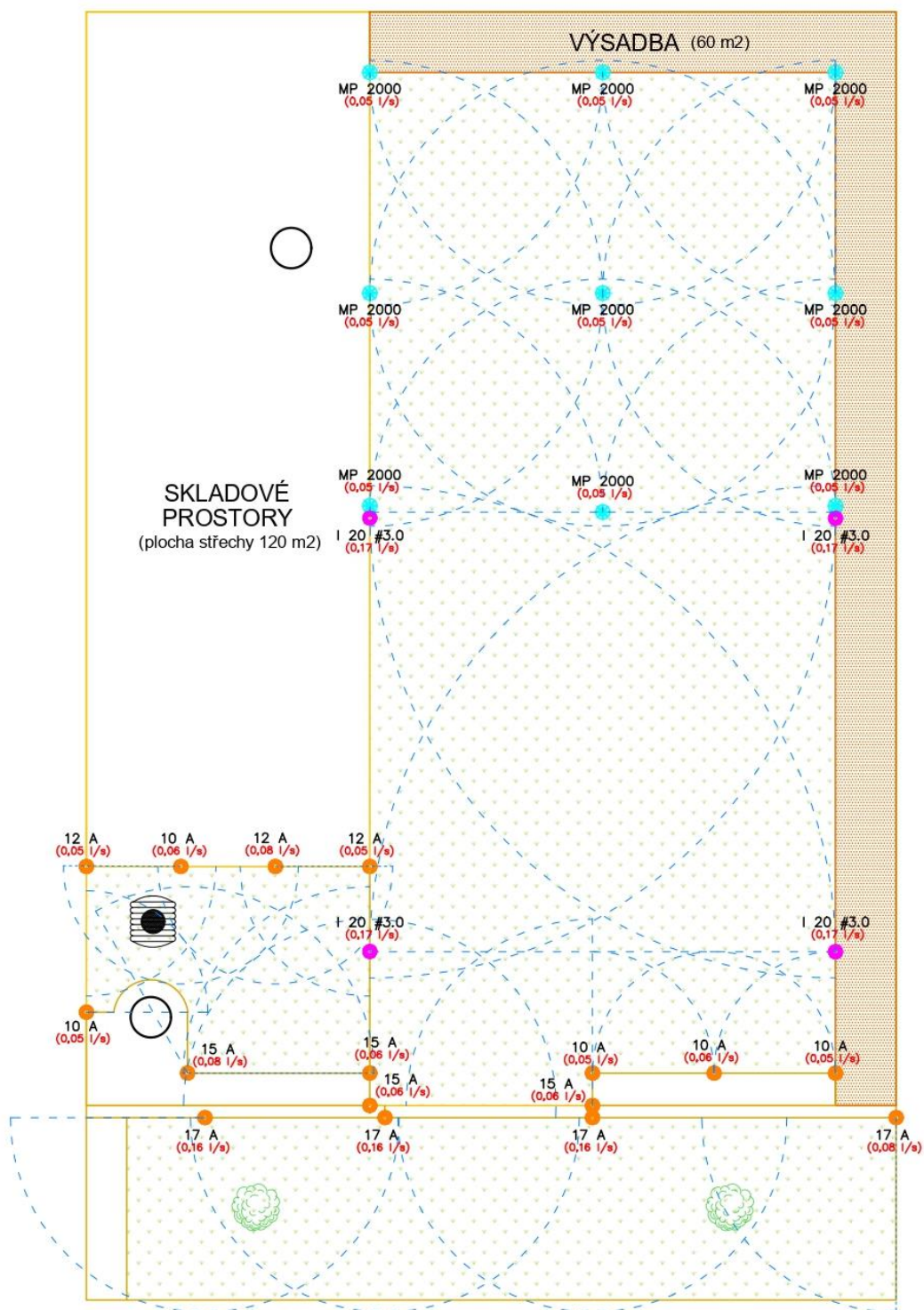
V rámci návrhu optimálního objemu dešťové akumulční nádrže bude počítáno s automatickým závlahovým systémem ve všech 3 lokalitách. Z hlediska volby charakteristicky stejných ploch, s obdobnou zavlažovanou plochou, bylo pro návrh vycházeno z již realizovaného automatického závlahového systému, jehož parametry budou u všech ploch obdobné.

Vychází se ze závlahy postřikem, tzn. na pozemku jsou v dostatečných vzdálenostech a s vhodným tzv. sponem rozmístěny postřikovače, které jsou opatřeny tryskami s potřebným poloměrem dostřiku a srážkovou výškou (viz obr. č. 42). Jednotlivé postřikovače jsou rozděleny do sekcí, které musí splňovat podmínky zdroje vody, což znamená dostatečný hydrodynamický tlak, aby došlo k vysunutí postřikovačů a pokrytí celého požadovaného poloměru dostřiku a dostatečný průtok, který zdroj vody poskytuje, aby byl zajištěn dostatečný přísun vody pro zavlažovanou plochu.

Na řešené ploše jsou jednotlivé postřikovače rozmístěny v tzv. obdélníkovém sponu (viz obr. č. 42). Rozmístění také ctí požadavek na vzájemný dosah výsečí dvou sousedních postřikovačů. Ze schematického plánu je patrné, že pro plochu v Praze – Kyjích byly použity celkem tři různé typy postřikovačů, respektive trysek. Je to z toho důvodu, že se jedná o experimentální plochu, na které dochází k testování různých komponentů automatických závlahových systémů a je potřeba docílit co největší variability i na malé ploše. Z hlediska nároků na zdroj vody se však nic nemění.

Pro správnou funkci automatického závlahového systému je potřeba zmínit prvotní článek závlahového systému a tím je hlavní sestava. Tento prvek je složen z více komponentů a zajišťuje bezpečný vstup vody do systému automatické závlahy. Kromě toho zde dochází k úpravě parametrů, které jsou požadovány závlahovým systémem. Volba komponentů součástí hlavní sestavy je závislá od primárního zdroje vody pro závlahu. Pro řešená území bude uvažován jako primární zdroj vody srážková voda z akumulční nádrže, v případě nedostatku této vody pak musí být zajištěn i sekundární zdroj vody, pro zajištění dostatečného množství vody pro správnou funkci závlahového systému dle požadavků dané zavlažované plochy. Z hlediska environmentálního je rozhodně nejlepší volbou sekundárního zdroje vody voda z kopané či vrtané studny. V tomto případě jsou komponenty hlavní sestavy následující:

- Kulový ventil – slouží jako hlavní uzávěr vody, pro manuální uzavření vstupu vody do systému v případě jeho jakékoliv odstávky (např. údržba, zimní období atd.)



LEGENDA:

Rozlišení postřikovačů dle typu:

- Postřikovač PRO-SPRAY s rozprašovací tr. A
- Postřikovač PRO-SPRAY s rotační tr. MP ROTATOR
- Postřikovač rotační I-20

HRANICE DOSTŘIKU POSTŘIKOVAČE

VÝSEČ POSTŘIKOVAČE
POSTŘIKOVAČ



Obr. č. 42: Schéma rozmístění postřikovačů na řešené ploše Praha-Kyje [30]

- Filtr nečistot – k oddělení mechanických nečistot a zajištění požadované čistoty vody pro její použití v systému (pro postřik minimálně 75-100 mesh, pro kapkovou závlahu pak 120-155 mesh)
- Hlavní elektromagnetický ventil – není nutným prvkem, avšak jedná se významnou pojistku. Díky tomuto komponentu proudí voda do systému pouze po dobu zálivky, poté dochází k jeho uzavření a systém není pod tlakem. Ventil je napojen na ovládací jednotku, díky které je otevírán vždy jen v době potřeby.
- Přípojka pro kompresor (vypouštěcí ventil) – využívá se při zazimování systému, kdy je na ventil připojen kompresor a pomocí stlačeného vzduchu dojde k profouknutí systému a vypuzení zbylé vody z trubního vedení, která by mohla v zimním období zmrznout

Z hlavní sestavy proudí voda potrubím dané dimenze přes ventilové šachtice se sekčními ventily k jednotlivým postřikovačům. [10]

V případě zájmových ploch a návrhu akumulční dešťové nádrže jsou všechny komponenty automatického zavlažovacího systému v dimenzi 1“. Potrubí je použito jednovrstvé nízkohustotní v dimenzi DN 32 mm.

4.6.2 Řízení automatického závlahového systému

Automatický závlahový systém je řízen ovládací jednotkou, která může být buď manuální nebo internetová. Manuální ovládací jednotka je nastavována uživatelem přímo v místě její instalace a není možné provádět jakékoliv změny na dálku. Internetová ovládací jednotka umožňuje dálkové nastavení systému a jeho vzdálenou správu. Jediným požadavkem je dostatečně silný Wi-Fi signál.

Pro řízení řešeného automatického závlahového systému bude uvažována internetová ovládací jednotka Hunter PRO-HC (viz obr. č. 43 a 44), podporující software Hydrawise, který umožňuje velmi variabilní nastavení ovládání závlahového systému.

Jednotka může ovládat až 24 sekcí, v případě řešených lokalit bude využit její typ s možností ovládání 12 sekcí.

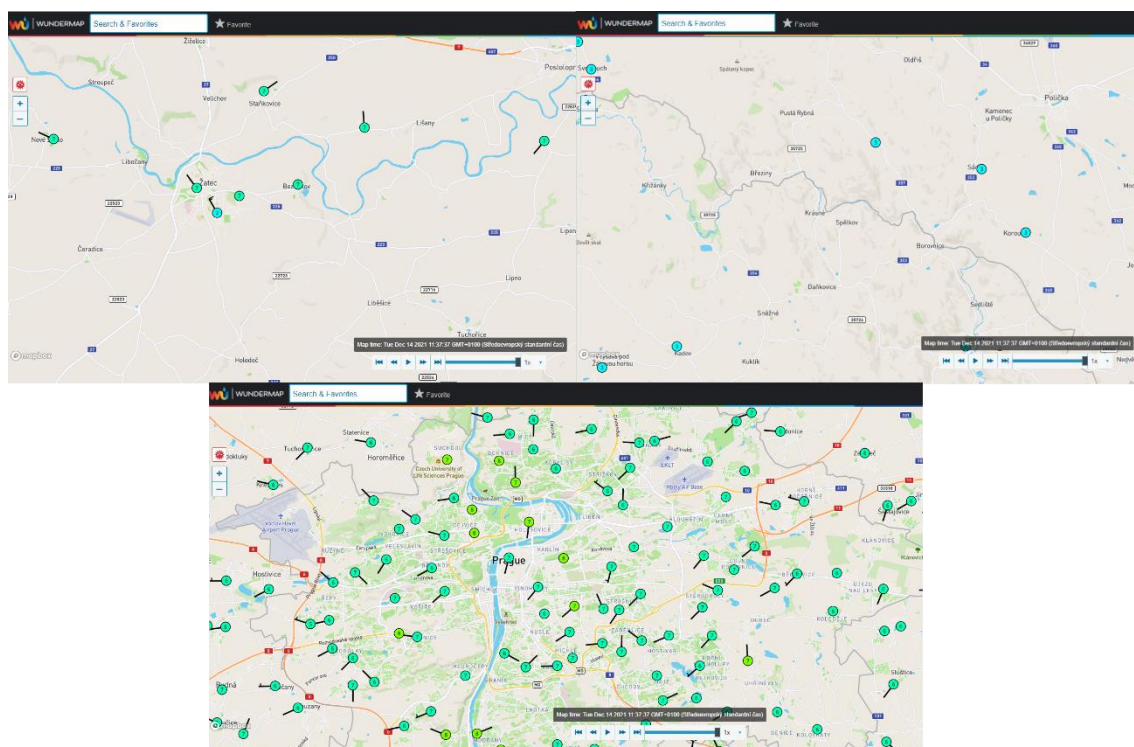


Obr. č. 43: Ovládací jednotka Hunter PRO-HC



Obr. č. 44: Vnitřní prostředí se svorkovnicí a trafostanicí

Velkou předností tohoto typu jednotky je její napojení na síť Weather Underground. [37] Jedná se o globální komunitu, která shromažďuje informace o počasí z osobních stanic uživatelů po celém světě. Každý, kdo si na svém pozemku pořídí vlastní meteostanici, ji může zaregistrovat do této komunity a přispět tak k přesnějšímu propojení celé sítě a získávání informací o počasí. Umožňuje tak korektně stanovit chování a předpověď počasí v rámci nastavení ovládaní automatického závlahového systému. [37] Hustota této sítě se samozřejmě mění v závislosti na lokalitě, ve které se zavlažovaná plocha nachází. V případě velkoměst je síť mnohem hustší než v případě periferií (viz obr. č. 45). V tomto případě je vhodnější poříditi si meteostanici vlastní.



Obr. č. 45: Hustota sítě meteostanic v periferních oblastech (Žatecko, Vysočina) – horní mapky a hustota sítě meteostanic v Praze – dolní mapka [37]

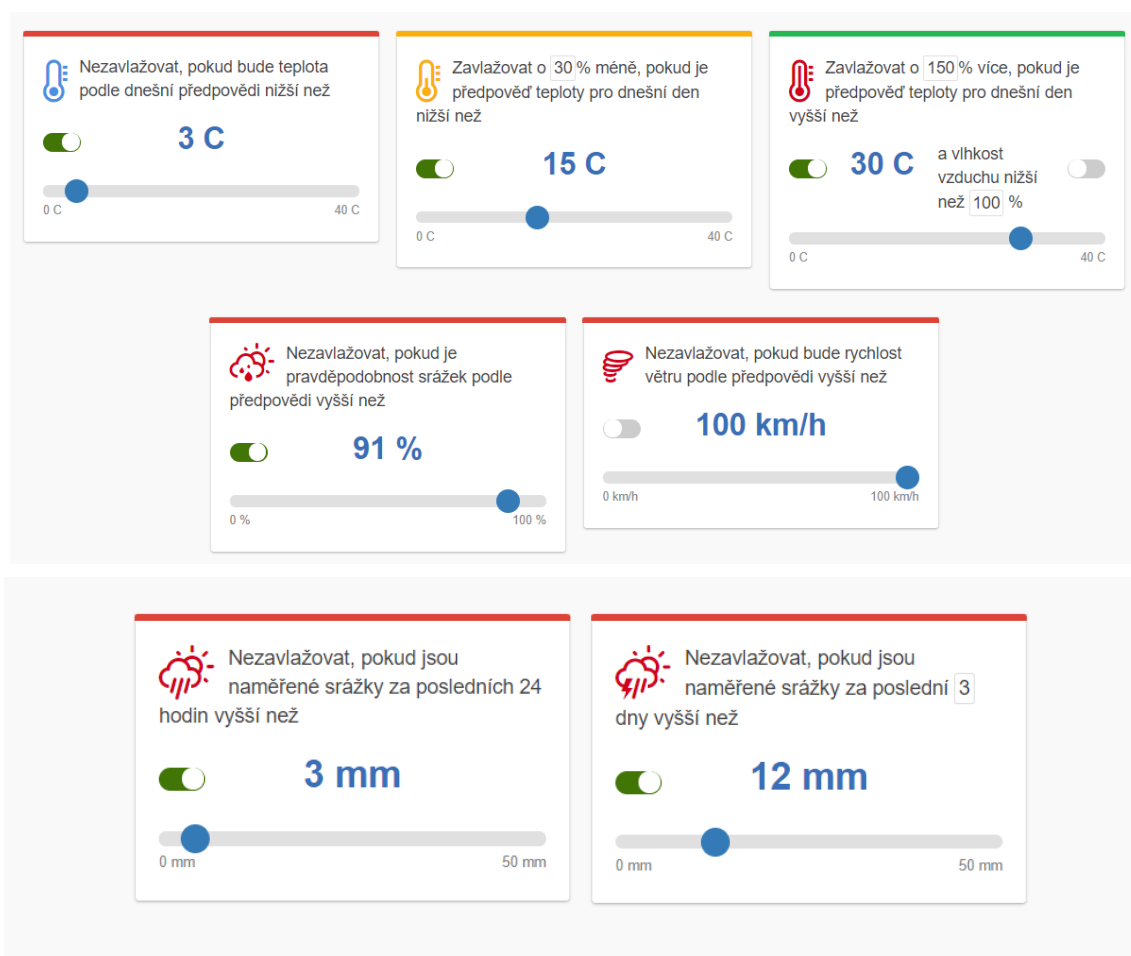
Hlavní myšlenkou inteligentního ovládaní závlahy je úspora vody. Software Hydrowise toto umožňuje právě díky získávání informací o počasí a jeho předpovědi z výše zmíněné sítě meteostanic. V rámci software je několik možností, jak závlahu nastavit. Existují 2 módy, standartní a rozšířený, které nabízejí různé funkce při optimalizaci nastavení ovládaní systému. Dalším specifickým nastavením jsou automatické korekce, které si uživatel/odborný správce nastavuje dle jeho dosavadních zkušeností a preferencí zavlažování.

Pro řešení lokality bude jednotka nastavena dvěma různými způsoby, a to časově, pomocí závlahového kalendáře a závlahového intervalu. Řízení je nastaveno podle experimentální plochy situované v Praze – Kyjích.

4.6.3 Závlahový kalendář

Nastavení touto metodou je srovnatelné, jako u manuálních ovládacích jednotek. Uživatel si nastaví závlahový kalendář, tj. dny, kdy bude probíhat závlaha, na základě startovacích časů a dnů, které si v aplikaci nadefinuje.

Na rozdíl od manuálních ovládacích jednotek je u ovládacích jednotek se softwarem Hydrawise navíc možnost prediktivního zavlažování. Tato funkce zajišťuje lepší distribuci závlahy v závislosti na historii srážek, aktuálním počasí i na předpovědi počasí na další dny, tudíž vyšší úsporu vody. Nastavení tzv. alertů prediktivního zavlažování pro metodu závlahového kalendáře v řešených lokalitách, je viditelné na obr. č 46.



Obr. č. 46: Nastavení automatických korekcí na experimentálních plochách při využití metody závlahového kalendáře

V rámci závlahového kalendáře bylo zvoleno zavlažování 4x týdně, které však díky nastaveným automatickým korekcím může nebo nemusí proběhnout, nebo bude upraveno množství dodané vody na zavlažovanou plochu. Při této metodě nastavení dochází vždy jen k úpravě dní, které jsou nastaveny v závlahovém kalendáři. Pokud tedy bude vysoká teplota v den, který není uveden v kalendáři, závlaha v žádném případě neproběhne.

4.6.4 Závlahový interval

Metoda závlahového intervalu je ještě sofistikovanější než v případě závlahového kalendáře. Metoda také využívá prediktivního zavlažování, stejně jako metoda předchozí, frekvence zavlažování je však rozdílná. Zatímco u závlahového kalendáře jsou pevně stanoveny dny, ve kterých závlaha probíhá, při využití této metody intervalu se nastavuje frekvence stanovením kolikrát za den/týden nebo kolikátý den/týden se má zavlažovat. Nastavení alertů prediktivního zavlažování pro metodu závlahového intervalu v řešených lokalitách, je viditelné na obr. č. 47.



Obr. č. 47: Nastavení automatických korekcí na experimentálních plochách při využití metody závlahového intervalu

V rámci závlahového intervalu je zavlažování na řešených lokalitách obecně nastaveno na zavlažování každý třetí den. Díky automatickým korekcím však v tomto případě může dojít i k takové situaci, kdy v daný týden neproběhne závlaha vůbec (je chladno) nebo naopak proběhne každý den (přidá se den z důvodu vysokých teplot). V tomto případě, je-li vysoká teplota i v den, kdy nemá probíhat závlaha (tzn. např. den po posledním spuštění závlahy), dojde ke spuštění systému a dotaci nastavené denní dávky vody.

Pro zjednodušení a snazšímu porozumění nastavení ovládní automatického závlahového systému je hlavní rozdíl v použitých metodách/módech shrnut v následující tabulce č. 7.

	Závlahový kalendář	Závlahový interval
Frekvence zavlažování	4 pevně stanovené dny v týdnu	každý 3. den bez ohledu na den v týdnu
Úprava délky závlahy v závislosti na předpovědi počasí	prodloužení/zkrácení délky závlahy, vynechání závlahového dne	přidání/vynechání závlahového dne
Způsob reakce v případě vysokých teplot	prodloužení délky závlahy o 30%, pouze v pevně přednastavených dnech	den řádné závlahy - neproběhne úprava, přidán den - závlaha ve stejné délce jako standartní (3.) závlahové dny
Způsob reakce v případě nízkých teplot	zkrácení délky závlahy	zkrácení délky závlahy

Tab. č. 7: Přehledná tabulka rozlišení použitých metod zavlažování

Při návrhu týdenní potřeby závlahové vody ($20 \text{ mm/m}^2/\text{týden}$) při letních teplotách vzduchu, vychází celkové týdenní potřebné množství závlahové vody na řešených plochách (460 m^2) na 9200 l. Při rozdělení do 4 závlahových dávek, tj. do 4 dnů, činí denní spotřeba vody 2300 l na plochu 460 m^2 .

Dle zkušenosti z provozu automatického závlahového systému se metoda ovládní pomocí závlahového intervalu jeví jako výhodnější nejen z hlediska úspory závlahové vody, ale i z hlediska optimalizace velikosti akumulční dešťové nádrže. Je to primárně z toho důvodu, že v případě závlahového kalendáře se při návrhu akumulční dešťové nádrže musí počítat s tím, že v případě teplých dnů bude potřeba vody vyšší. V nádrži tak vzniká prostor, který je využit pouze v těchto teplých dnech, v ostatních tak zůstává nevyužit. V případě závlahového intervalu není potřeba s tímto prostorem počítat, protože množství vody dodané na zavlažovanou plochu je v každém případě, tj. v teplých dnech i chladných dnech, stejné.

4.7 Dostupné metody výpočtu akumulční nádrže

V teoretické části práce bylo avizováno zpracování výsledků návrhu akumulční dešťové nádrže pro zvolené 3 lokality pomocí běžně užívatelsky dostupných metod a jejich srovnání s vlastním simulovaným návrhem. V následující kapitole budou zpracovány jednotlivé výsledky různých metod.

4.7.1 Výpočet objemu akumulční nádrže dle legislativních dokumentů

V rámci legislativních dokumentů byl použit výpočet uvedený v normě ČSN EN 16941-1 Zařízení pro využití nepitné vody na místě – Část 1: Zařízení pro využití srážkových vod.

Pro výpočet bylo uvažováno pouze vegetační období (VO), tj od 1.4. do 31.10. (celkem 214 dní). Průměrné srážkové úhrny (ve VO) pro jednotlivé plochy jsou vyhodnoceny ze stanic ČHMÚ za období 1996-2020. Průměrná potřeba závlahového vody (ve VO) byla stanovena na základě simulace v denním kroku ve stejném období (1996-2020). Pro účely výpočtů budou využity simulované potřeby závlahové vody v rámci jednotlivých lokalit a na základě způsobu ovládnání automatického závlahového systému. Průměrné hodnoty potřeby závlahové vody a srážkových úhrnů ve vegetačním období v letech 1996-2020 jsou pro jednotlivé lokality zaznamenány v tab. č. 8 a byly stanoveny vlastní simulací. Koeficient výtěžnosti sběrné plochy střechy je uvažován 0,8 a koeficient hydraulické účinnosti 0,9. Koeficienty byly použity ve vztahu (4.6.2.1), blíže viz kapitola 2.6 Navrhování akumulční nádrže.

Průměrné srážkové úhrny a simulovaná potřeba vody pro zálivku ve VO za období 1996-2020						
	Praha		Žatecko		Vysočina	
Průměrné srážkové úhrny za VO (mm)	404		358		559	
	Závlahový kalendář	Závlahový interval	Závlahový kalendář	Závlahový interval	Závlahový kalendář	Závlahový interval
Průměrná potřeba vody pro zálivku (m ³)	209	189	212	196	180	127

Pozn.: VO = vegetační období

Tab. č. 8: Tabulka průměrných úhrnů srážek a simulované potřeby vody pro zálivku ve vegetačním období v letech 1996-2020

V prvním kroku legislativního výpočtu byl vypočítán dostupný objem srážkových vod za VO dosazením do rovnice (4.6.2.1). Jednotlivé členy rovnice jsou popsány v kapitole 2.6 Navrhování akumulčních nádrží.

$$Y_R = A \times h \times e \times \eta \quad (4.6.2.1)$$

1. Lokalita Praha-Kyje

$$Y_{R1} = A \times h \times e \times \eta = 100 \times 404 \times 0,8 \times 0,9 = 29\,088 \text{ l}$$

2. Lokalita Žatecko

$$Y_{R2} = A \times h \times e \times \eta = 100 \times 358 \times 0,8 \times 0,9 = 25\,776 \text{ l}$$

3. Lokalita Vysočina

$$Y_{R3} = A \times h \times e \times \eta = 100 \times 559 \times 0,8 \times 0,9 = 40\,248 \text{ l}$$

V dalším kroku se stanoví potřeby závlahové vody v závislosti na požadavku využití dešťové akumulční nádrže. V tomto případě se jedná pouze o potřebu vody pro zavlažování zahrady, která byla stanovena na základě kapitoly 4.5 Evapotranspirace na 2300 l/den. Výpočet je proveden dle jednoduché rovnice (4.6.2.2), jejíž členy jsou taktéž blíže popsány v kapitole 2.6 Navrhování akumulčních nádrží. Výsledný objem vychází pouze z potřeby nepitné vody (tzn. vody pro závlahu) a nejdelšího možného období bez srážek, které je pro ČR stanoveno na 21 dní.

$$V = D_{N,d} \times d_a \quad (4.6.2.2)$$

V1 = objem akumulční nádrže při uvažování standardní metody ovládnání závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře** (viz. kapitola 4.6.3 Závlahový kalendář)

V2 = objem akumulční nádrže při uvažování inteligentní metody ovládnání závlahového systému pomocí **závlahového intervalu** (viz. kapitola 4.6.4 Závlahový interval)

1. Lokalita Praha-Kyje

$$V1 = D_{N,d} \times d_a = \frac{209\,314}{214} \times 21 = 20\,540 \text{ l} = 20,5 \text{ m}^3$$

$$V2 = D_{N,d} \times d_a = \frac{189\,129}{214} \times 21 = 18\,560 \text{ l} = 18,6 \text{ m}^3$$

2. Lokalita Žatecko

$$V1 = D_{N,d} \times d_a = \frac{212\,052}{214} \times 21 = 20\,809 \text{ l} = 20,8 \text{ m}^3$$

$$V2 = D_{N,d} \times d_a = \frac{196\,280}{214} \times 21 = 19\,261 \text{ l} = 19,3 \text{ m}^3$$

3. Lokalita Vysočina

$$V1 = D_{N,d} \times d_a = \frac{179\,694}{214} \times 21 = 17\,634 \text{ l} = 17,6 \text{ m}^3$$

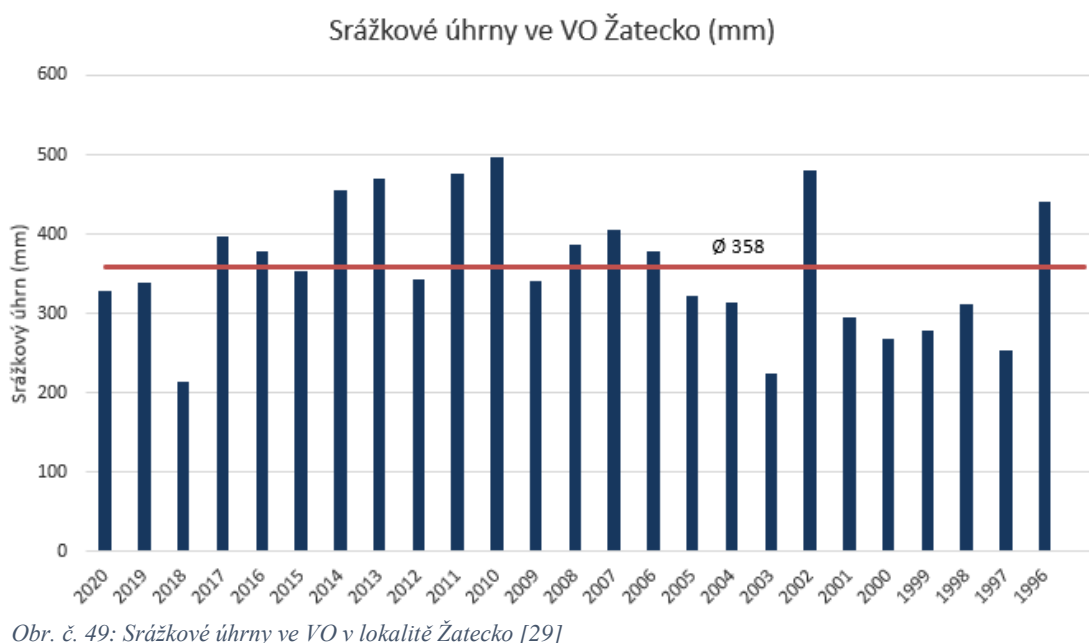
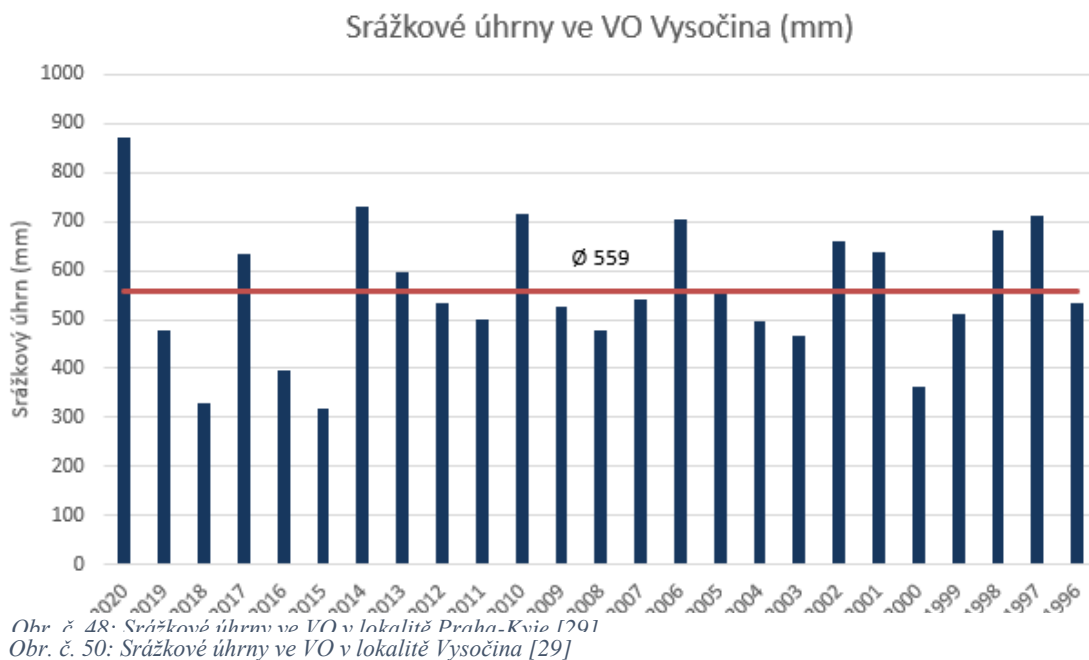
$$V2 = D_{N,d} \times d_a = \frac{127\,282}{214} \times 21 = 12\,490 \text{ l} = 12,5 \text{ m}^3$$

Dle ČSN EN 19 941-1 je třeba porovnat roční nátok srážkové vody a potřebu vody pro závlahu. V případě vyšší hodnoty potřeby vody je potřeba zajistit dopouštění nádrže (studniční vodou, eventuálně vodou z řadu). V případě řešených lokalit vychází hodnoty potřeby závlahové vody pro všechny případy vyšší, než jaké je množství zachycené srážkové vody, tudíž je zde potřeba zajistit dopouštění ve všech uvažovaných případech.

4.7.2 Nástroje kalkulátorů

V rámci práce byly získány výsledky z celkem 4 nástrojů kalkulátoru pro návrh objemu dešťové akumulční nádrže. Získané výsledky (viz. tab. č. 9, 10, 11 a 12) pro jednotlivé lokality jsou zpracovány na následujících stránkách.

Pro výpočet je uvažováno pouze vegetační období (VO), tj od 1.4. do 31.10. (celkem 214 dní). Průměrné srážkové úhrny (ve VO) pro jednotlivé lokality jsou vyhodnoceny ze stanic ČHMÚ za období 1996-2020 (viz obr. č. 48, 49 a 50).



Sběrná a zavlažovaná plocha korespondují s popisem lokalit v úvodní kapitole této práce (4.1 Popis experimentálních ploch). Ve všech třech lokalitách se tak jedná o sběrnou plochu střechy RD o velikosti cca 100 m² a zavlažovanou plochu zahrady RD 460 m².

Všechny kalkulátory vesměs fungují na velmi podobném principu. Uživatel orientačně (nebo přesně, má-li tuto hodnotu) zadá do připraveného formuláře roční úhrny srážek (v tomto případě pouze za VO) v řešené lokalitě, kdy mu může napomoci mapa průměrných ročních úhrnů, kterou jednotliví poskytovatelé těchto nástrojů zobrazují jako pomůcku pro stanovení této hodnoty. Následně je potřeba zadat plochu střechy, odkud bude srážková voda jímána, a dále počet trvale žijících osob v domě a plochu zahrady pro zálivku. Kromě toho některé z kalkulátorů nabízí i zahrnutí omezující podmínky týkající se polohy podzemní vody pod terénem. Je-li hloubka menší než 3 m, je potřeba tuto skutečnost řešit (např. je zvolena plochá nádrž). Posledním krokem k získání výsledků je pouze potvrzení zadaných údajů a tím jsou následně generovány výsledné hodnoty.

Prvním testovaným kalkulátorem byl kalkulátor společnosti **Nicoll**. [18] Po zadání vstupních hodnot nástroj nabídne hodnotu dostupného objemu vody ze sběrné plochy, potřebu vody pro zálivku a doporučenou velikost nádrže. Výsledné hodnoty pro jednotlivé lokality shrnuje následující tabulka č. 9.

	Praha-Kyje	Žatecko	Vysočina
Dostupný objem vody (m ³)	2.32	2.06	3.22
Potřeba na zálivku (m ³)	3.97	3.97	3.97
Doporučená velikost nádrže (m ³)	2.32	2.06	3.22

	Praha-Kyje	Žatecko	Vysočina
Dostupný objem vody (m ³)	1.9	1.9	2.6
Potřeba na zálivku (m ³)	4.6	4.6	4.6
Doporučená velikost nádrže (m ³)	1.9 ≤	1.9 ≤	2.6 ≤

Pozn.: veškeré výsledky jsou vztaženy k VO

Tab. č. 10: Tabulka výsledných hodnot při využití kalkulátoru na e-shopu *Dešťovka.eu* [17]

Dalším testovaným nástrojem byl kalkulátor na stránkách internetovém obchodu s dešťovými akumulčními nádržemi „**Dešťovka.eu**“, který provozuje společnost **Climate CZ**. [17] Hodnoty získané touto metodou jsou opět shrnuty v tab. č. 10.

V případě výpočtu hodnot pro lokalitu Žatecko nebylo možné získat přesné, porovnatelné výsledky. Důvodem je omezení pole zápisu srážkových úhrnů v intervalu 401-1400 mm. Pro Žatecko je tato hodnota 358 mm čili nedostatek srážek v této oblasti. Získané hodnoty jsou tak vypočteny pro nejnižší možnou hodnotu, která šla do nástroje zapsat, což je 401 mm.

V pořadí třetím testovaným kalkulátorem byl kalkulátor provozovaný společností **Aquanix** s.r.o. [20]. Po zadání všech parametrů byly získány následující číselné hodnoty shrnuté v tab. č.11.

	Praha-Kyje	Žatecko	Vysočina
Dostupný objem vody (m ³)	3.1	2.75	4.29
Potřeba na zálivku (m ³)	5.29	5.29	5.29
Doporučená velikost nádrže (m ³)	3.6	3	4.5

Pozn.: veškeré výsledky jsou vztaženy k VO

Tab. č. 11: Tabulka výsledných hodnot při využití kalkulátoru společnosti Aquanix [20]

Posledním testovaným nástrojem byl kalkulátor společnosti **Perfectfactory**. [19] Ani v případě posledního testovaného nástroje kalkulátoru nebylo možné zadat průměrné srážkové úhrny ve VO pro lokalitu Žatecka, a to ze stejného důvodu, jako v případě kalkulátoru na e-shopu společnosti „Dešťovka.eu“.

	Praha-Kyje	Žatecko	Vysočina
Dostupný objem vody (m ³)	2.32	2.3	3.22
Potřeba na zálivku (m ³)	4.6	4.6	4.6
Doporučená velikost nádrže (m ³)	-	-	-

Pozn.: veškeré výsledky jsou vztaženy k VO

Tab. č. 12: Tabulka výsledných hodnot při využití kalkulátoru společnosti Perfectfactory [19]

Výsledné hodnoty (viz tab. č. 12) jsou proto opět vztaženy k nejmenší možné hodnotě, kterou bylo možné do nástroje zadat, což je 401 mm. Tento kalkulátor zároveň nedoporučuje žádné konkrétní číslo pro volbu vhodného objemu akumulční nádrže. Nabídne pouze výpis dostupných velikostí nádrží, z nichž si má uživatel vybrat vhodnou velikost na základě výsledných hodnot dostupného objemu vody a potřeby vody pro zálivku.

K těmto postupům výpočtů a návrhů dešťových akumulčních nádrží podle kalkulátorů je nutno podotknout, že se jedná pouze o orientační hodnoty a nikde není uveden algoritmus, na základě kterého výše uvedené nástroje pracují.

Zároveň je patrné, že některé nástroje (konkrétně od společnosti Perfectfactory) nenavrhují konkrétní hodnoty objemu akumulčních nádrží, ale jen ukazují hodnoty dostupné srážkové vody a potřebné vody pro závlivku. Na základě těchto hodnot se poté má každý individuálně rozhodnout pro optimální objem dešťové akumulční nádrže např. i vzhledem k ekonomické stránce věci. Je však možné zaslat dotaz specializovaným firmám (ASIO s. r. o., IRIMON s. r. o., projekt Počítáme s vodou apod.), které na základě vstupních hodnot odborně poradí a doporučí optimální velikost akumulční dešťové nádrže.

4.7.3 Empirické vzorce

Jednoduchou empirickou metodu stanovení objemu akumulční nádrže nabízí brožura „Volba zdroje vody“, vytvořená technikou a projektanty ze společnosti IRIMON, spol. s r. o., specializující se na automatické závlahové systémy. [22]

První vzorec (4.6.3.1) počítá velikost nádrže na základě srážkových úhrnů a plochy střechy. Druhý vzorec (4.6.3.2) pak vychází z požadavku frekvence závlahy viz kapitola 2.6 Navrhování akumulčních nádrží.

$$V = \frac{j \times P \times f}{a} \quad (4.6.3.1)$$

$$V = 2 \times (P \times PR) \quad (4.6.3.2)$$

Výpočty jsou opět uvažovány pouze v rámci vegetačního období (VO). Budou použity průměrné hodnoty dešťových úhrnů, které jsou zachyceny na obr. č. 48, 49 a 50 a v tabulce č. 6. Velikost sběrných ploch bude uvažována 100 m², součinitel výtěžnosti sběrné plochy v hodnotě 0,8 (hodnota pro ploché a šikmé střechy) a nejdelší možné období bez srážek 21 dní jako u výpočtu dle normy ČSN EN 16 941-1. Závlahové množství je uvažováno 20 mm/týden. První číslo indexu značí číslo lokality, druhé použitý vzorec (č. 1 pro rovnici 4.6.3.1 a č. 2 pro rovnici 4.6.3.2)

1. Lokalita Praha-Kyje

$$V_{1,1} = \frac{j \times P \times f}{a} = \frac{404 \times 100 \times 0,8}{21} = 1\,539 \text{ l} = 1,5 \text{ m}^3$$

$$V_{1,2} = 2 \times (P \times PR) = 2 \times \left(460 \times \frac{20}{7} \times 1,3\right) = 3\,417 \text{ l} = 3,4 \text{ m}^3$$

2. Lokalita Žatecko

$$V_{2,1} = \frac{j \times P \times f}{a} = \frac{358 \times 100 \times 0,8}{21} = 1\,364 \text{ l} = 1,4 \text{ m}^3$$

$$V_{2,2} = 2 \times (P \times PR) = 2 \times \left(460 \times \frac{20}{7} \times 1,3\right) = 3\,417 \text{ l} = 3,4 \text{ m}^3$$

3. Lokalita Vysočina

$$V_{3,1} = \frac{j \times P \times f}{a} = \frac{559 \times 100 \times 0,8}{21} = 2\,129 \text{ l} = 2,1 \text{ m}^3$$

$$V_{3,2} = 2 \times (P \times PR) = 2 \times \left(460 \times \frac{20}{7} \times 1,3\right) = 3\,417 \text{ l} = 3,4 \text{ m}^3$$

Publikace „Volba zdroje vody“ avizuje, že hodnoty vypočítané na základě požadavku závlivky (4.6.3.2) jsou zpravidla vyšší. Je to hlavně z toho důvodu, že je zde počítáno i s rezervou na období bez dešťů a také nevyčerpatelné minimum (viz obr. č. 3). Z výpočtu dle požadavku na závlivku je patrné, že výsledné hodnoty objemu akumulční nádrže budou stejné pro všechny 3 řešené lokality, a to z toho důvodu, že požadavky na závlivku srovnatelných ploch byly voleny ve všech lokalitách stejné.

4.8 Vlastní simulace objemu akumulční nádrže

Následující kapitola bude věnována popisu postupu při řešení vlastní simulace objemů akumulčních dešťových nádrží v lokalitách popsanych v kapitole 4.1 Popis experimentálních ploch.

Modelování objemů akumulčních nádrží probíhalo v programu Microsoft Office Excel a principiálně se jedná o bilanci vody v nádrži. Byly bilancovány vstupy v podobě srážek, případně dopouštění ze sekundárního zdroje vody a výstupy jakožto závlahová dávka na zavlažovanou plochu, případně přepad vody přes bezpečnostní přeliv. Modelování probíhalo v denním kroku pouze ve vegetačním období (duben-říjen) v letech 1996-2020. Je to z důvodu optimalizace akumulční nádrže výhradně pro závlahový systém, který je v provozu pouze v tomto období. V přílohách č. 1-14 jsou uvedeny ukázky tabulek a výstupů z průběhu simulace akumulčních nádrží v řešených lokalitách.

Model byl nastaven pro všechny 3 lokality stejným způsobem. Hlavním rozdílem byly pouze vstupní hodnoty denních úhrnů srážek a maximálních denních teplot. Veškerá data byla získána z měření profesionálních stanic ČHMÚ viz kapitola 4.4 Vstupní data a aspekty návrhu akumulční nádrže.

Vlastní simulace vychází z modelu Šárky Adensamové [30], která ve své práci simulovala objem vody v intravilánové oblasti Praha-Kyje a vyhodnocovala výsledky na základě nastavení závlahového systému standartní metodou závlahového kalendáře. V rámci této práce došlo

k rozšíření modelu o další dvě lokality, které se nacházejí z hlediska vstupních hodnot (srážkové úhrny, maximální denní teploty) v typicky odlišných lokalitách. Zároveň byly všechny 3 lokality vyhodnoceny nejen standartní metodou pomocí závlahové kalendáře, ale byla uvážena i metoda inteligentního nastavení ovládaní automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu.

Klíčovým bodem při rozšiřování bilančního modelu optimalizace objemu akumulční nádrže bylo správné nastavení ovládaní automatického závlahového systému, který se v tomto případě adaptuje na aktuální počasí dle nastavení a ve velké míře tak ovlivňuje průběh a četnost zavlažování.

Jak již bylo uvedeno v kapitolách 4.6.2-4.6.4 o řízení a typech zavlažování, byly použity dvě metody řízení automatického závlahového systému, a to pomocí závlahového kalendáře a pomocí závlahového intervalu. Nastavení jejich chování (tj. tzv. alertů) v rámci počasí, což je stěžejní při optimalizaci objemu akumulční dešťové nádrže, bylo následující:

Závlahový kalendář:

- Nezavlažovat, pokud jsou naměřené srážky za posledních 24 hodin vyšší než 3 mm.
- Nezavlažovat, pokud jsou naměřené srážky za poslední 3 dny vyšší než 13 mm.
- Nezavlažovat, pokud bude teplota podle dnešní předpovědi nižší než 10 °C
- Zavlažovat o 35 % méně, pokud je předpověď teploty pro dnešní den nižší než 15 °C.
- Zavlažovat o 30 % více, pokud je předpověď teploty pro dnešní den vyšší než 30 °C.

Závlahový interval:

- Nezavlažovat, pokud jsou naměřené srážky za posledních 24 hodin vyšší než 4 mm.
- Nezavlažovat, pokud jsou naměřené srážky za poslední 3 dny vyšší než 20 mm.
- Nezavlažovat, pokud bude teplota podle dnešní předpovědi nižší než 10 °C
- Zavlažovat o 35 % méně, pokud je předpověď teploty pro dnešní den nižší než 15 °C.
- Zavlažovat o 200 % více, pokud je předpověď teploty pro dnešní den vyšší než 25 °C.
(tímto alertem se rozumí přidání závlahového cyklu následující den, nikoliv zdvojnásobení dávky závlahové vody v aktuálním cyklu)

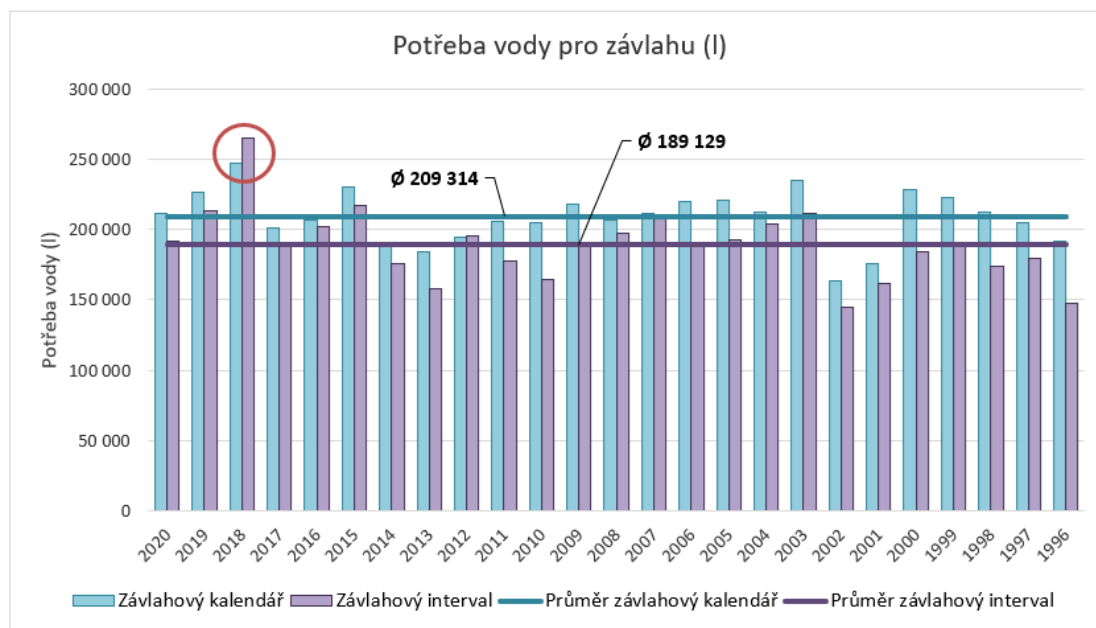
Na základě nastavení těchto alertů a potřeby vody 2 300 l/den proběhla simulace. Výsledkem simulace bylo procentuální množství zachycené srážkové vody pro různé velikosti akumulčních nádrží. Na základě těchto hodnot byly stanoveny optimální velikosti akumulčních dešťových nádrží pro řešené lokality Praha-Kyje, Žatecko a Vysočina. Jednotlivé plochy jsou blíže popsány v kapitole 4.1 Popis experimentálních ploch. Pro přehlednost se jedná převážně o plochy s trvalým travním porostem o velikosti cca 460 m² (400 m² trávník, 60 m² výsadbové plochy), které slouží jako zahrady rodinných domů. V případě Prahy a Vysočiny se jedná o plochy mírně sklonité (1 %), na Žatecku je převýšení prakticky nulové.

Simulace akumulční nádrže proběhla na základě dat o počasí za uplynulých 25 let, a to vždy pouze ve vegetačním období (1.4. – 31.10.). Bod „0“, tedy počátek simulace a nulová hladina vody v akumulční nádrži (pro nejhorší podmínky), byl v každém roce vždy 1.4. Logičtější by bylo vycházet z plně nádrže, ale vzhledem k prognózám rostoucích teplot a klesajících srážek v zimním období však bylo vycházeno ze vstupních parametrů prázdné nádrže.

4.9 Výsledky simulace – lokalita č. 1 - Praha-Kyje (intravilán)

Jak již bylo dříve zmíněno, práce navazuje na úspěšnou práci Šárky Adensamové, která prováděla podobnou simulaci na ploše v Praze–Kyjích, ze které jsem v rámci této práce vycházela a použila ji v rámci mé simulace.

Ve vlastní simulaci byly do grafu vykresleny hodnoty potřeby závlahové vody za vegetační období při využití řízení automatického závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře** a pomocí **závlahového intervalu** (viz obr. č. 51 a tab. č. 13).



Obr. č. 51: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Praha-Kyje v letech 1996-2020

Z grafické podoby získaných hodnot je patrný přehled let, kdy byla vyšší potřeba závlahové vody (roky suché, s nízkými srážkovými úhrny) a kdy tomu bylo naopak. Průměrně tedy vychází použití závlahového kalendáře, co se potřeby závlahové vody týče, jako méně vhodné řešení. V roce 2018 tomu bylo mimořádně naopak. Je to dáno hlavně dlouhými suchými obdobími s vysokými teplotami, kdy nastavení pomocí závlahového intervalu zajistí na zavlažovaných plochách dostatek vláhy i v těchto periodách.

Z tabulky hodnot (tab. č. 13) je patrné, že při použití metody závlahového intervalu dojde k úspoře vody cca 10 % na rozdíl od metody závlahového kalendáře.

Rok	Potřeba vody pro závlahu (l)	
	Závlahový kalendář	Závlahový interval
2020	211 485	192 050
2019	226 550	213 095
2018	247 135	264 730
2017	201 480	190 670
2016	207 115	202 285
2015	230 460	216 890
2014	191 360	175 950
2013	184 575	157 780
2012	194 695	195 500
2011	206 195	177 560
2010	204 700	165 025
2009	218 385	191 245
2008	206 655	197 110
2007	211 830	207 690
2006	220 340	190 670
2005	221 260	192 855
2004	212 060	204 125
2003	235 175	211 140
2002	163 185	144 900
2001	176 295	161 690
2000	228 965	183 885
1999	222 870	190 670
1998	212 865	173 880
1997	205 045	179 400
1996	192 165	147 430
Průměr	209 314	189 129
Úspora	9.64%	

Rozdíl (l)	20 185
-------------------	--------

Tab. č. 13: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Praha-Kyje v letech 1996-2020

Následující tabulka (tab. č. 14) simulace naznačuje, jakým způsobem se jednotlivé metody ovládání zavlažování potýkají s vysokými teplotami a nízkými srážkovými úhrny. Jedná se o opravdu extrémní periodu, která v suchém roce 2018 nastala (předpokládá se, viz konference Třeboň (Rožnovský, Pokorný), že v budoucnu budou zejména takové roky). V případě metody závlahového intervalu probíhalo zavlažování prakticky každý den po dobu měsíce a půl, neboť při vysokých teplotách je přidán další zavlažovací cyklus. Metoda závlahového kalendáře pak závlahu v těchto dnech o 30 % navýšila, nikoli však přidala další závlahovou dávku následující den (viz tabulka č. 14).

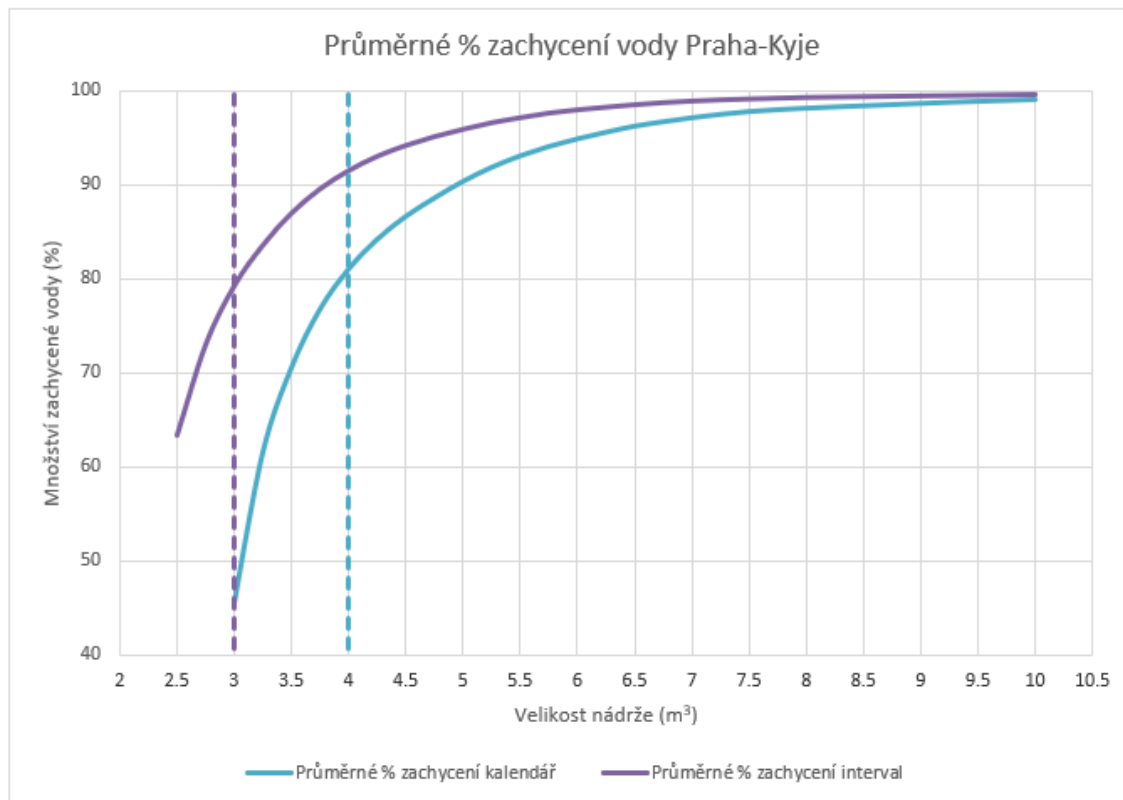


Ukázka tabulky bilancování s intervalovou variantou (sloupec E) a kalendářní variantou (sloupec F).

B	C	D	E	F
Datum	Max teplota (°C)	Srážka (mm)	Interval potřeba (l)	Kalendář potřeba (l)
12.07.2018	19.6	0.3	2300	
13.07.2018	27.2	0	2300	2300
14.07.2018	28.2	0	2300	
15.07.2018	29.4	0.2	2300	2300
16.07.2018	28.1	14.3	2300	2300
17.07.2018	28.2	0	0	
18.07.2018	27.3	0	2300	0
19.07.2018	27.9	0	2300	
20.07.2018	29.2	0	2300	2300
21.07.2018	31	1.5	2300	
22.07.2018	27.7	0	2300	2300
23.07.2018	29	0.1	2300	2300
24.07.2018	31.1	0	2300	
25.07.2018	31.5	0	2300	2990
26.07.2018	31	0	2300	
27.07.2018	31.5	0	2300	2990
28.07.2018	33.8	0.1	2300	
29.07.2018	32.1	0	2300	2990
30.07.2018	33.4	0	2300	2990
31.07.2018	34.6	0	2300	
01.08.2018	35.2	0	2300	2990
02.08.2018	35.3	0.7	2300	
03.08.2018	34.4	0	2300	2990
04.08.2018	35.3	2.2	2300	
05.08.2018	28.7	2.1	2300	2300
06.08.2018	29.5	0	2300	2300
07.08.2018	34.8	0	2300	
08.08.2018	34.4	10.4	2300	2990
09.08.2018	35.5	0.9	0	
10.08.2018	28.6	0.9	2300	2300
11.08.2018	27.2	0	2300	
12.08.2018	28.7	0	2300	2300
13.08.2018	35.1	1.7	2300	2990
14.08.2018	27.4	0	2300	
15.08.2018	25.7	0	0	2300
16.08.2018	29.2	0	2300	
17.08.2018	30.8	0	2300	2990
18.08.2018	29.7	0	2300	
19.08.2018	32.7	0	2300	2990
20.08.2018	33.2	0	2300	2990
21.08.2018	28	0	2300	
22.08.2018	32	0	2300	2990
23.08.2018	33.6	2.1	2300	
24.08.2018	26.7	2.2	2300	2300
25.08.2018	19.9	0	0	
26.08.2018	20	0	2300	2300
27.08.2018	26.1	0	2300	2300
28.08.2018	24.3	0	0	
29.08.2018	29.8	0	2300	2300
30.08.2018	24.2	0.1	0	
31.08.2018	20	7.1	0	2300

Tab. č. 14: Průběh zavlažování v extrémním období roku 2018 v lokalitě Praha-Kyje

Za zkoumané simulované období 25 let (1996-2020) bylo vypočítáno procentuální naplnění nádrží různých velikostí (viz příloha č. 1 a 2), které bylo následně vyneseno do grafu. Vznikly celkem 2 křivky zobrazující průběh průměrného procenta zachycené vody, a to pro ovládání závlahového systému metodou **závlahového kalendáře** a pro metodu **závlahového intervalu** (viz obr. č. 52).



Obr. č. 52: Průměrné % zachycení srážkové vody pro lokalitu Praha-Kyje

K určení optimální velikosti akumulční nádrže je potřeba posoudit, při jakém procentu zachycení se již jedná o množství srážkové vody, které se jeví jako výhodné z hlediska environmentální stránky dané problematiky. Pro účely této práce byla stanovena hodnota **80% zachycené srážkové vody** jako zajímavé množství pro pořízení akumulční nádrže na jímání srážkové vody.

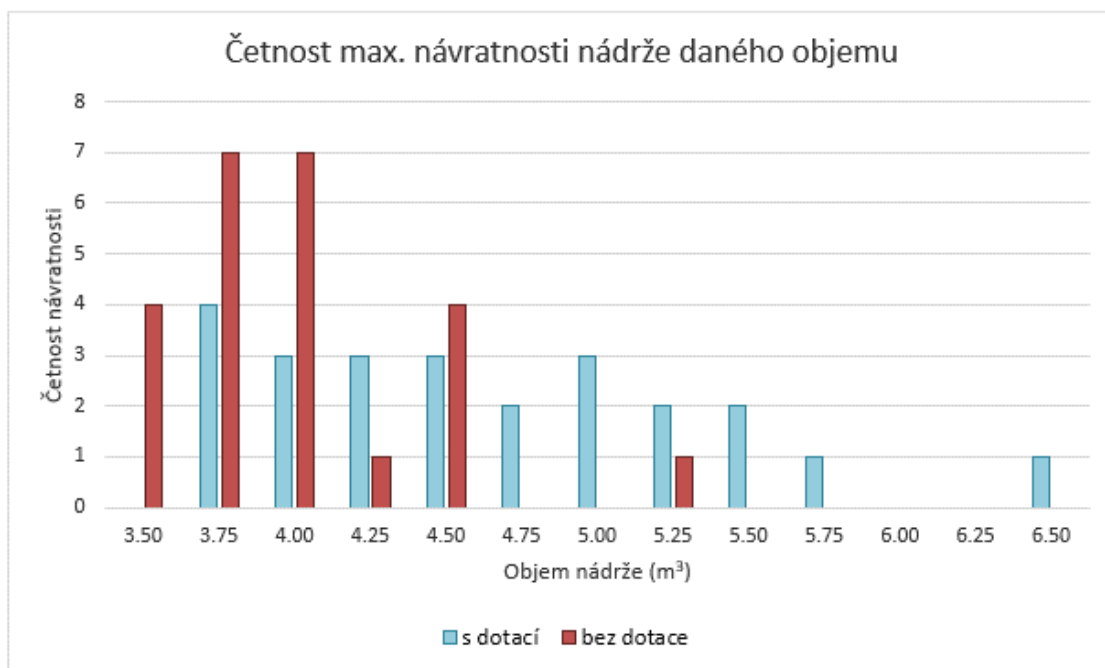
Z grafu je patrné, že toto kritérium je pro každou metodu ovládání automatického závlahového systému rozdílné. Zatímco při použití metody závlahového kalendáře odpovídá kritériu 80 % nádrž objemu 4 m³, pro metodu závlahového intervalu je to jen nádrž o velikosti 3 m³. Půjdeme-li s procentuálním množstvím zachycení směrem „nahoru“, tzn. zachytíme-li více než 80% dešťové vody, začnou se obě křivky pomalu přibližovat, až jejich rozdíl úplně vymizí. To se stane však až v případech pro nádrže, které jsou značných velikostí 8 m³ a více. V tomto případě je potřebné zahrnout i ekonomickou stránku věci a stanovit průnik těchto dvou požadavků, které jsou při výběru a pořizování dešťové akumulční nádrže relevantní.

Z tohoto důvodu byla vynesena četnost výnosnosti jednotlivých velikostí akumulčních nádrží za zkoumané období 25 let. Od celkové ceny akumulční nádrže dané velikosti (simulace probíhala pro nádrže od 3 m³ do 10 m³) byly odečteny hodnoty výše dotace (maximálně ½ nákladů za akumulční nádrž) a množství ušetřené vody za 25letou životnost akumulční nádrže. Tento postup byl opakován pro celé období 25 let, kdy v každém roce byla nalezena nejvyšší možná úspora, která pro každý rok odpovídala jiné velikosti nádrže. Z těchto nejvýhodnějších velikostí byla stanovena průměrná hodnota, na základě které byla vyčíslena velikost ekonomicky nejvýhodnější akumulční nádrže. Pro situaci bez dotace byl použit stejný postup, avšak z výpočtu byla vynechána výše dotace. Ceny akumulčních nádrží byly převzaty z internetového obchodu společnosti IRIMON. [38]

Výsledné hodnoty zobrazuje tabulka č. 15 a obr. č. 53 a jsou pro způsob ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře**.

ZÁVLAHOVÝ KALENDÁŘ					
Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti		Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti	
	s dotací	bez dotace		s dotací	bez dotace
3.00	0	0	6.75	0	0
3.25	0	0	7.00	0	0
3.50	0	4	7.25	0	0
3.75	4	7	7.50	0	0
4.00	3	7	7.75	0	0
4.25	3	1	8.00	0	0
4.50	3	4	8.25	0	0
4.75	2	0	8.50	0	0
5.00	3	0	8.75	0	0
5.25	2	1	9.00	0	0
5.50	2	0	9.25	0	0
5.75	1	0	9.50	0	0
6.00	0	0	9.75	0	0
6.25	0	0	10.00	0	0
6.50	1	0			
Průměr (m³)				4.65	3.99

Tab. č. 15: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládní automatického závlahového systému pomocí metody závlahového kalendáře v lokalitě Praha-Kyje



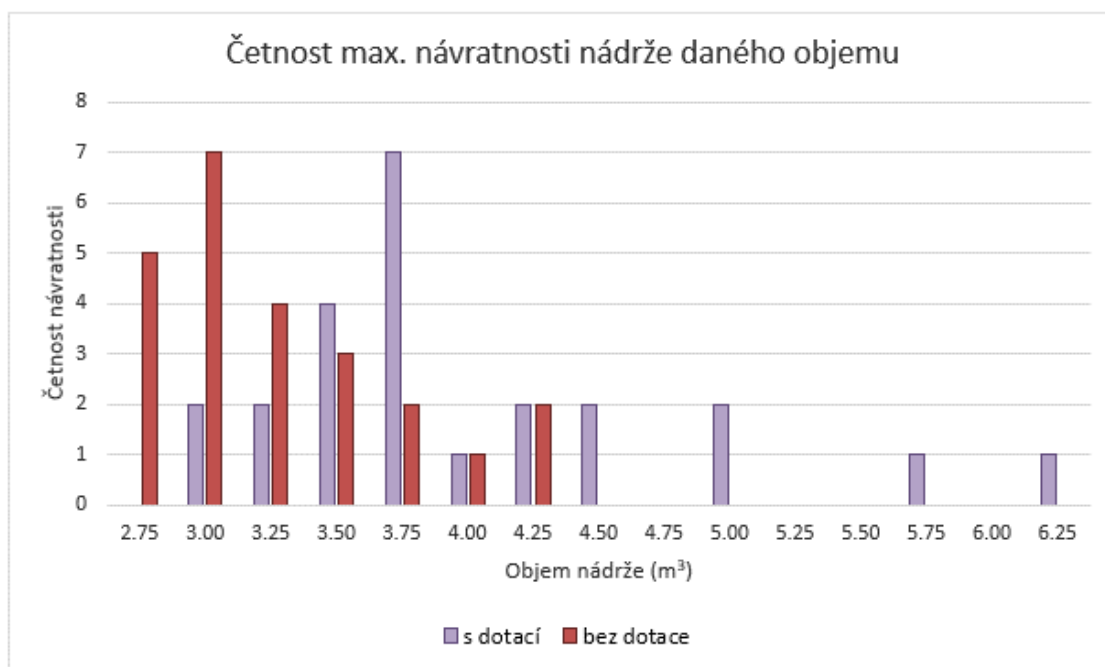
Obr. č. 53: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového kalendáře v lokalitě Praha-Kyje

Z tabelárního a grafického zobrazení dat je patrné, že v případě uvážení dotačního titulu je vyšší návratnost nádrží s vyššími objemy, než je tomu v případě pořízení nádrže bez dotace. Důležité je uvědomit si, že uvedené grafické a tabelární hodnoty neukazují výši návratnosti v peněžní hodnotě. Srovnám-li maximální výnos při uvážení dotace a bez dotace, pohybuje se rozdíl v řádu desetitisíců korun. Maximální ušetřená částka za 25 let v případě využití dotace činí cca. 38 500 Kč, v opačném případě pak pouze cca 15 750 Kč. [39] [38]

Rozdílná situace pak nastane i v případě ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového intervalu**. I pro tento případ byly výsledné hodnoty zpracovány tabelárně a graficky (viz tab. č. 16 a obr. č. 54) pro lepší přehlednost.

ZÁVLAHOVÝ INTERVAL					
Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti		Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti	
	s dotací	bez dotace		s dotací	bez dotace
2.50	0	0	6.50	0	0
2.75	0	5	6.75	0	0
3.00	2	7	7.00	0	0
3.25	2	4	7.25	0	0
3.50	4	3	7.50	0	0
3.75	7	2	7.75	0	0
4.00	1	1	8.00	0	0
4.25	2	2	8.25	0	0
4.50	2	0	8.50	0	0
4.75	0	0	8.75	0	0
5.00	2	0	9.00	0	0
5.25	0	0	9.25	0	0
5.50	0	0	9.50	0	0
5.75	1	0	9.75	0	0
6.00	0	0	10.00	0	0
6.25	1	0			
Průměr (m³)				4.06	3.26

Tab. č. 16: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládní automatického závlahového systému pomocí metody závlahového intervalu v lokalitě Praha-Kyje



Obr. č. 54: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového intervalu v lokalitě Praha-Kyje

I v případě ovládní pomocí závlahového intervalu je patrný rozdíl ve velikosti nádrže pro případ s uvážení dotace a pro situaci opačnou. S dotací se dostáváme na vyšší četnost návratnosti nádrží s větším objemem (3,75 m³), a naopak při situaci bez dotace zůstávají četnosti návratnosti největší kolem hodnoty 2,75-3 m³. Posoudíme-li opět návratnost z hlediska peněžní hodnoty, dostáváme se v případě získání dotace na maximální částku za 25 let cca 42 200 Kč,

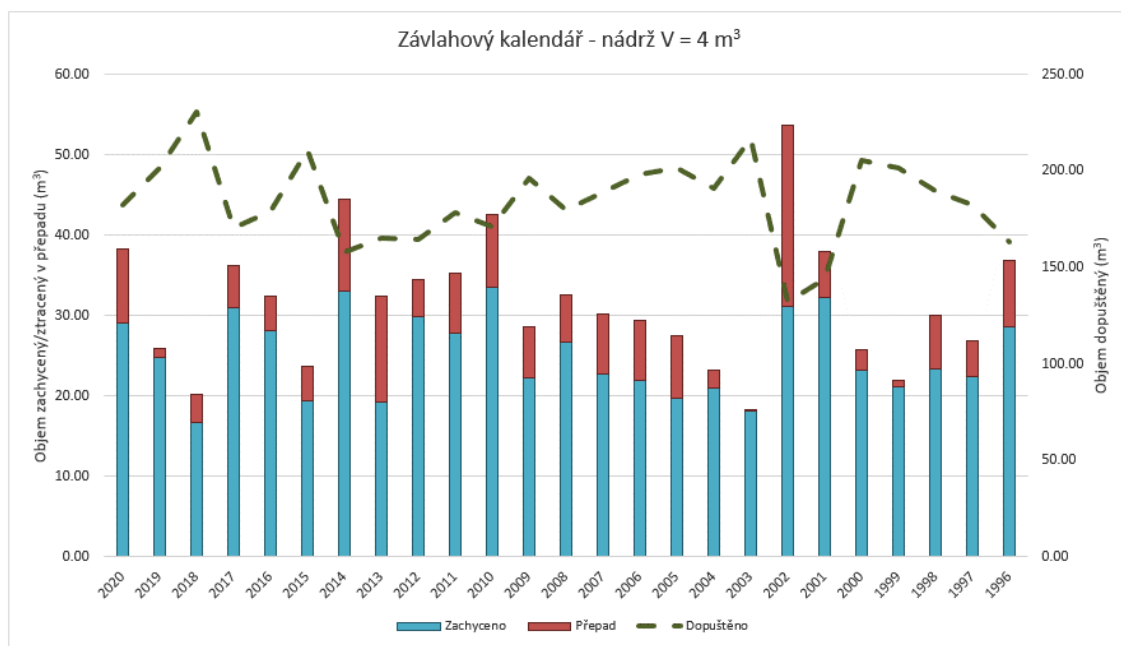
v opačném případě pak na necelých 27 000 Kč. [38] [39] Kompletní křivky ekonomické návratnosti jsou součástí příloh č. 4. a 5.

Pro stanovení výsledné hodnoty s uvažováním environmentálního i ekonomického hlediska bychom se v případě ovládní pomocí **závlahového kalendáře** a získání **dotace** dostali na nádrž velikosti **4,5 m³**, **bez** získání **dotace** pak vychází nádrž o trochu menší o velikosti **4 m³**.

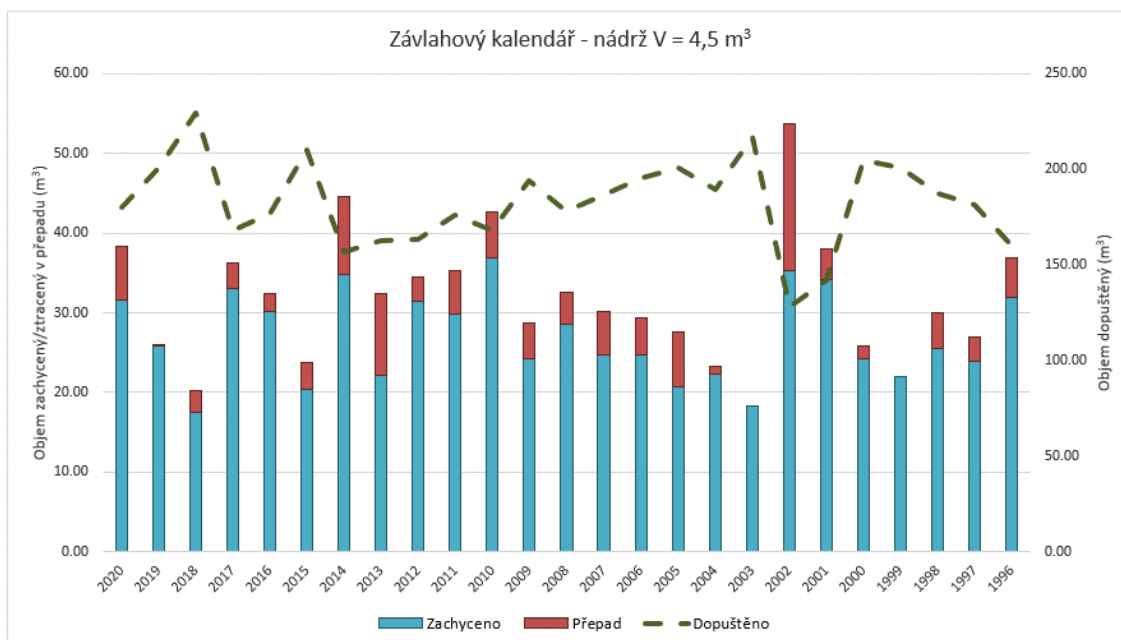
Pro případ ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového intervalu** pak vychází v případě získání **dotace** optimální nádrž velikosti **3,75-4 m³**, v situaci **bez dotace** pak vychází opět menší nádrž o velikosti **3 m³**.

Je nutno podotknout, že v určitých případech bude mít vyšší hodnotu stránka environmentální, v jiných zase ekonomická. Na základě individuálních situací je poté třeba přiklonit se k určité velikosti akumulční dešťové nádrže.

Grafy na obr. č. 55 a 56 zobrazují roční bilanci vody ve vegetačním období v navržených akumulčních nádržích pro ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře**

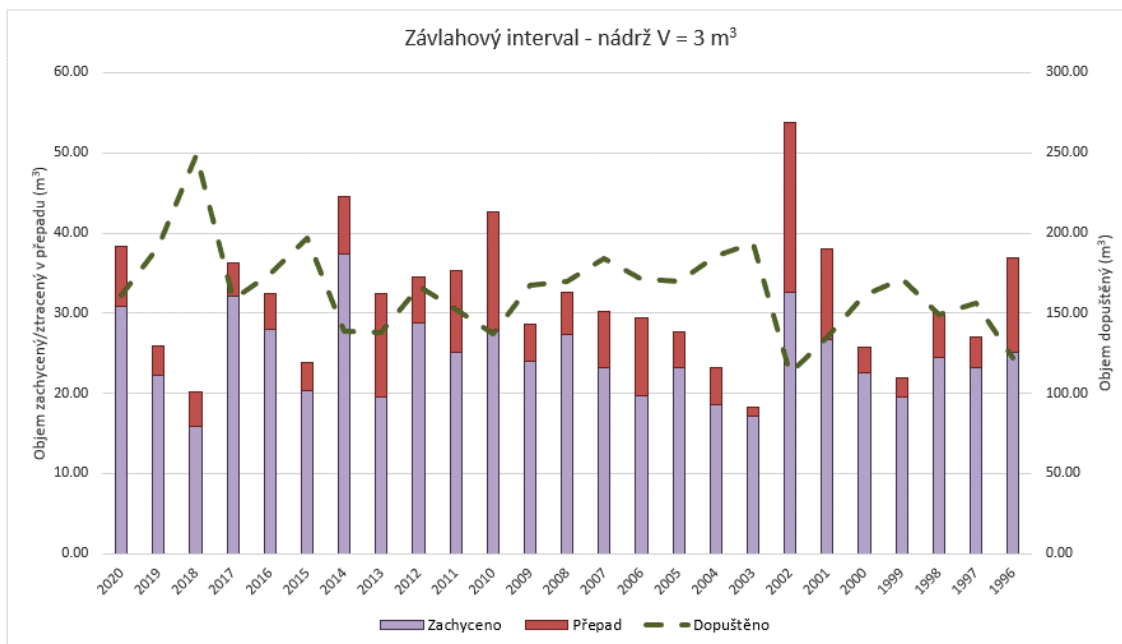


Obr. č. 55: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Praha-Kyje

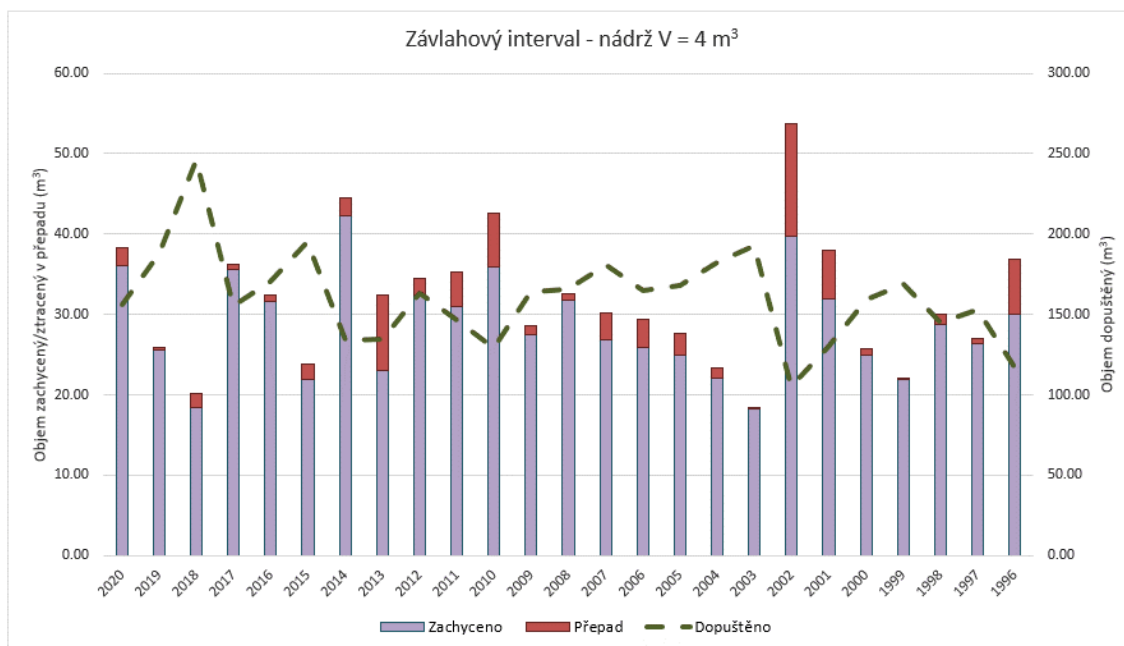


Obr. č. 56: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,5 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Praha-Kyje

Grafy na obr. č. 56 a 57 zobrazují roční bilanci vody ve vegetačním období v navržených akumulčních nádržích pro ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového intervalu**.



Obr. č. 57: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 3 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Praha-Kyje



Obr. č. 58: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Praha-Kyje

Suma vody zachycené a ztracené v přepadu je celkové množství dostupné srážkové vody ve vegetačním období daného roku, které je možné zachytit z dostupné sběrné plochy. Množství dopuštěné vody doplňuje potřebu vody pro zavlažení řešené plochy.

Na grafickém zobrazení dat (viz obr. č. 55-58) je vidět podíl vody zachycené dešťovou nádrží a vody přepadlé přes bezpečnostní přeliv v jednotlivých letech pro simulaci provozu automatického závlahového systému na reálném klimatu. Je prokazatelné, že pro daných 25 let vychází jednoznačně menší objem nádrží (vyšší efektivita hospodaření s vodou) pro intervalovou variantu. Z hlediska ekonomické návratnosti pak záleží, zda je na realizaci dešťové akumulční nádrže využita dotace, nebo nikoliv. V každém případě vychází z hlediska ekonomického větší objemy akumulčních nádrží než z hlediska environmentálního (při dodržení stanoveného kritéria zachycení 80% srážkové vody). Je to způsobeno primárně vysokou cenou za vodné (54,77 Kč/m³) [39] v řešené lokalitě Praha-Kyje.

4.10 Výsledky simulace – lokalita č. 2 - Žatecko (suchá oblast)

Následující kapitola popisuje a zobrazuje výsledné hodnoty vlastní simulace velikosti akumulční dešťové nádrže pro automatický závlahový systém v suché oblasti Žatecka.

Ve vlastní simulaci byly vykresleny hodnoty potřeby závlahové vody za vegetační období při využití řízení automatického závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře** a pomocí **závlahového intervalu** (viz tabulka č 17. a obr. č 59).

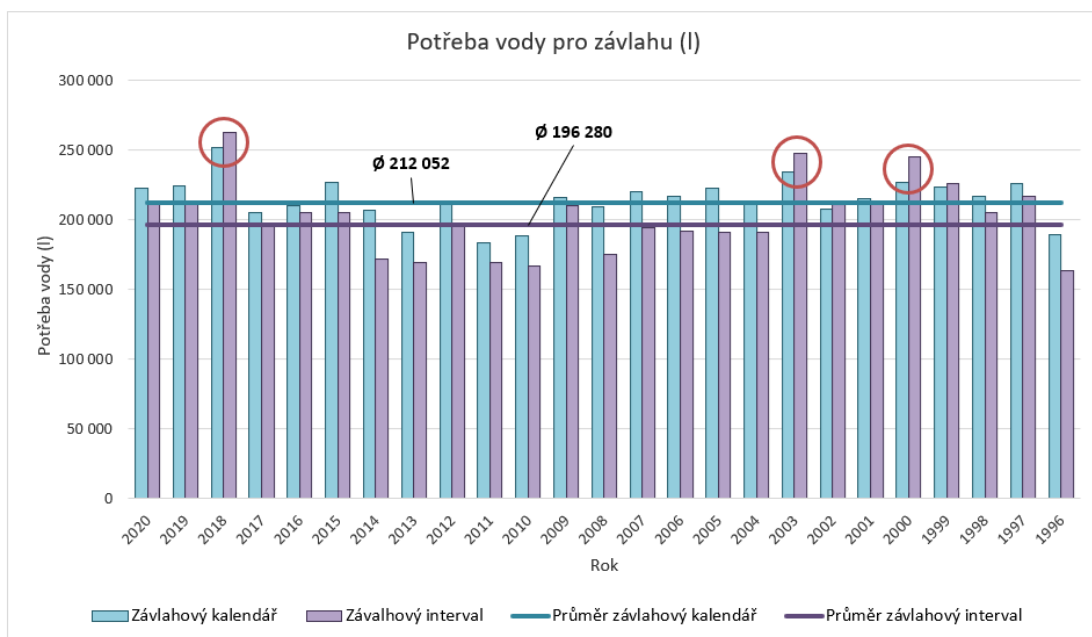
Z tabulky hodnot (tab. č. 17) je patrné, že při použití metody závlahového kalendáře dojde k úspoře vody cca 7,5 % na rozdíl od metody závlahového intervalu.

Rok	Potřeba vody pro závlahu (l)	
	Závlahový kalendář	Závlahový interval
2020	222 985	211 485
2019	224 480	212 175
2018	251 735	262 545
2017	205 045	197 800
2016	210 220	205 505
2015	226 895	205 390
2014	206 655	171 580
2013	191 360	169 510
2012	211 830	196 995
2011	183 195	169 280
2010	188 600	166 635
2009	216 315	210 335
2008	209 070	174 800
2007	220 340	193 890
2006	217 120	192 165
2005	222 870	190 555
2004	213 670	191 015
2003	234 025	247 250
2002	207 575	210 680
2001	215 050	211 370
2000	226 435	245 295
1999	223 560	225 860
1998	216 660	205 390
1997	226 205	216 890
1996	189 290	163 300
Průměr	212 052	196 280
Úspora	7.44%	

Rozdíl	15 771
---------------	---------------

Tab. č. 17: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Žatecko v letech 1996-2020

Pro větší přehlednost byly jednotlivé hodnoty převedeny do grafické podoby (viz graf č. 23), ze které je patrný přehled let, kdy byla vyšší potřeba vody (roky suché, s nízkými srážkovými úhrny) a kdy tomu bylo naopak. Průměrně tedy vychází použití závlahového kalendáře, co se potřeby závlahové vody týče, jako méně vhodné řešení. V roce 2018, 2003 a 2000 tomu je však mimořádně naopak. Je to dáno hlavně dlouhými suchými obdobími s vysokými teplotami a nízkými srážkovými úhrny, kdy nastavení pomocí závlahového intervalu zajistí na zavlažovaných plochách dostatek vláhy i v těchto periodách.



Obr. č. 59: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Žatecko v letech 1996-2020

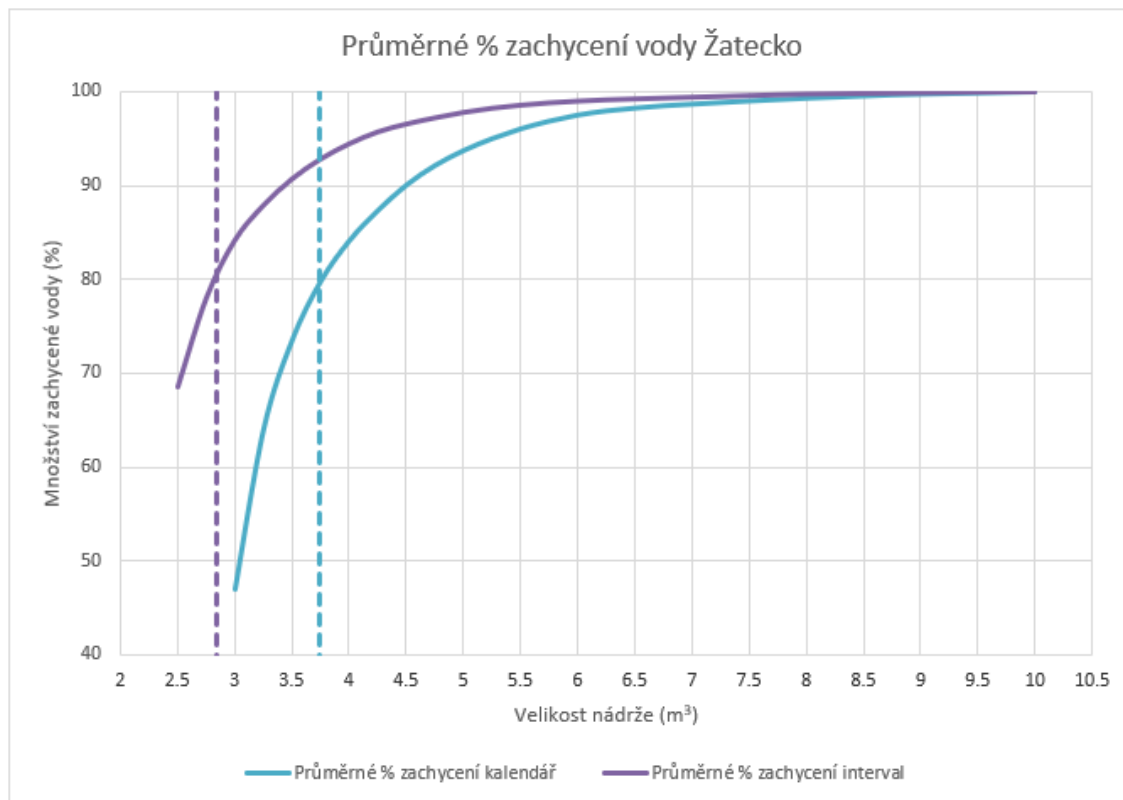
Následující tabulka simulace (tab. č. 18) naznačuje, jakým způsobem se jednotlivé metody ovládání zavlažování potýkají s vysokými teplotami a nízkými srážkovými úhrny. Jedná se o opravdu extrémní periodu, která v suchém roce 2018 nastala (předpokládá se, viz konference Třeboň (Rožnovský, Pokorný), že v budoucnu budou zejména takové roky). V případě metody závlahového intervalu probíhalo zavlažování prakticky každý den po dobu měsíce a půl, neboť při vysokých teplotách je přidán další zavlažovací cyklus. Metoda závlahového kalendáře pak závlahu v těchto dnech o 30 % navýšila, nikoli však přidala další závlahovou dávku následující den (viz tabulka č. 18).

Ukázka tabulky bilancování s intervalovou variantou (sloupec E) a kalendářní variantou (sloupec F).

B	C	D	E	F
Datum	Max. teplota (°C)	Srážka (mm)	Interval potřeba (l)	Kalendář potřeba (l)
12.07.2018	21.6	1.1	2300	
13.07.2018	27.4	0.6	2300	2300
14.07.2018	28	0	2300	
15.07.2018	29.1	0	2300	2300
16.07.2018	28.4	0.5	2300	2300
17.07.2018	29.9	0	2300	
18.07.2018	28	0	2300	2300
19.07.2018	28	0	2300	
20.07.2018	29.7	0	2300	2300
21.07.2018	30.6	0.8	2300	
22.07.2018	28.1	0	2300	2300
23.07.2018	29.8	0	2300	2300
24.07.2018	31.9	0	2300	
25.07.2018	32	0.3	2300	2990
26.07.2018	31.9	0	2300	
27.07.2018	32.4	0	2300	2990
28.07.2018	32.7	0.9	2300	
29.07.2018	31.7	0.2	2300	2990
30.07.2018	34.6	0	2300	2990
31.07.2018	35.4	0	2300	
01.08.2018	36	0.2	2300	2990
02.08.2018	33.5	1	2300	
03.08.2018	33	0	2300	2990
04.08.2018	33.7	2	2300	
05.08.2018	29.2	0	2300	2300
06.08.2018	30.2	0	2300	2990
07.08.2018	33.8	0.4	2300	
08.08.2018	34.8	0.2	2300	2990
09.08.2018	35.3	0.1	2300	
10.08.2018	27.4	1.9	2300	2300
11.08.2018	26	0	2300	
12.08.2018	28.6	0	2300	2300
13.08.2018	32.7	9.3	2300	2990
14.08.2018	26.4	0	0	
15.08.2018	26.5	0	2300	2300
16.08.2018	30	0	2300	
17.08.2018	31.8	0	2300	2990
18.08.2018	29	0	2300	
19.08.2018	32.5	0	2300	2990
20.08.2018	31.4	0	2300	2990
21.08.2018	27.4	0	2300	
22.08.2018	31	0	2300	2990
23.08.2018	33.4	0.2	2300	
24.08.2018	27.9	0.2	2300	2300
25.08.2018	19.6	0	0	
26.08.2018	20.5	0	2300	2300
27.08.2018	26.1	0	2300	2300
28.08.2018	24.7	0	0	
29.08.2018	29.2	1.3	2300	2300

Tab. č. 18: Průběh zavlažování v extrémním období roku 2018 v lokalitě Žatecko

Za zkoumané simulované období 25 let (1996-2020) bylo vypočítáno procentuální naplnění nádrží různých velikostí (viz příloha č. 6 a 7), které bylo následně vyneseno do grafu. Vznikly celkem 2 křivky zobrazující průběh průměrného procenta zachycené vody, a to pro ovládání závlahového systému metodou **závlahového kalendáře** a pro metodu **závlahového intervalu**. (viz obr. č. 60).



Obr. č. 60: Průměrné % zachycení srážkové vody pro lokalitu Žatecko

K určení optimální velikosti akumulční nádrže je potřeba posoudit, při jakém procentu zachycení se již jedná o množství srážkové vody, které se jeví jako lukrativní a výhodné z hlediska environmentální stránky dané problematiky. Pro účely této práce byla stanovena hodnota **80% zachycené srážkové vody** jako zajímavé množství pro pořízení akumulční nádrže na jímání srážkové vody.

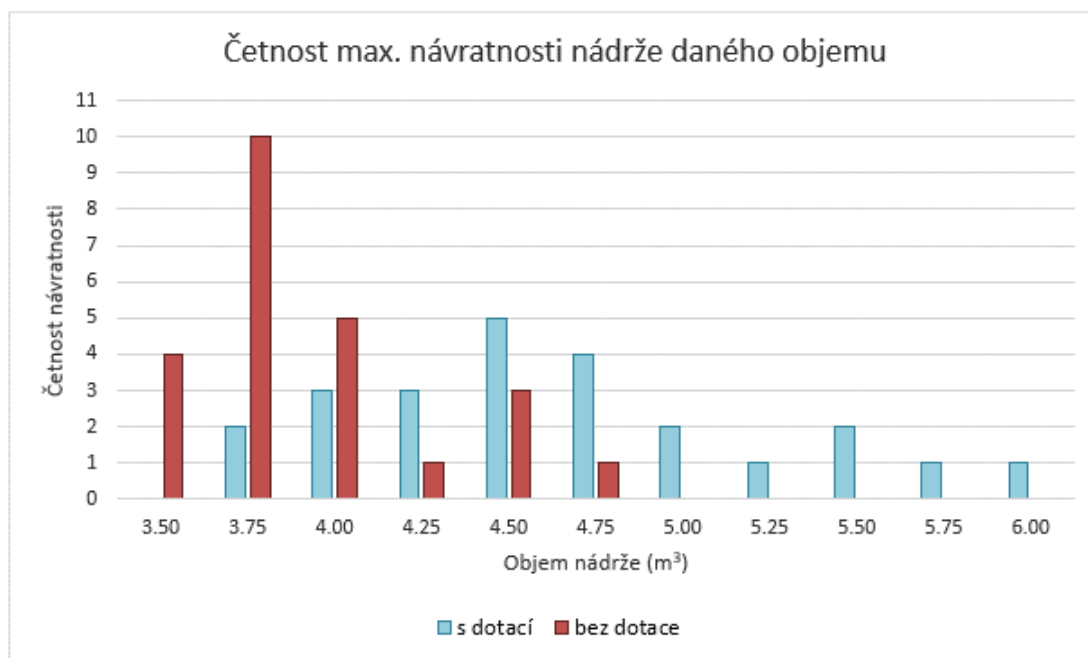
Z grafu je patrné, že toto kritérium je pro každou metodu ovládání automatického závlahového systému rozdílné. Zatímco při použití metody závlahového kalendáře odpovídá kritériu 80 % nádrž objemu 3,75 m³, pro metodu závlahového intervalu je to jen nádrž o velikosti cca 2,85 m³. Půjdeme-li s procentuálním množstvím zachycení směrem „nahoru“, tzn. zachytíme-li více než 80% srážkové vody, začnou se obě křivky pomalu přibližovat, až jejich rozdíl úplně vymizí. To se stane však až v případech pro nádrže, které jsou značných velikostí 8 m³ a více. V tomto případě je potřebné zahrnout i ekonomickou stránku věci a stanovit průnik těchto dvou požadavků, které jsou při výběru a pořizování dešťové akumulční nádrže relevantní.

Z tohoto důvodu byla vynesena četnost výnosnosti jednotlivých velikostí akumulčních nádrží za zkoumané období 25 let. Od celkové ceny akumulční nádrže dané velikosti (simulace probíhala pro nádrže od 3 m³ do 10 m³) byly odečteny hodnoty výše dotace (maximálně ½ nákladů za akumulční nádrž) a množství ušetřené vody za 25letou životnost akumulční nádrže. Tento postup byl opakován pro celé období 25 let, kdy v každém roce byla nalezena nejvyšší možná úspora, která pro každý rok odpovídala jiné velikosti nádrže. Z těchto nejvýhodnějších velikostí byla stanovena průměrná hodnota, na základě které byla vyčíslena velikost ekonomicky nejvýhodnější akumulční nádrže. Pro situaci bez dotace byl použit stejný postup, avšak z výpočtu byla vynechána výše dotace. Ceny akumulčních nádrží byly převzaty z internetového obchodu společnosti IRIMON. [38]

Výsledné hodnoty zobrazuje tabulka č. 19 a obr. č. 61 a jsou pro způsob ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře**

ZÁVLAHOVÝ KALENDÁŘ					
Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti		Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti	
	s dotací	bez dotace		s dotací	bez dotace
3.00	0	0	6.75	0	0
3.25	0	0	7.00	0	0
3.50	0	4	7.25	0	0
3.75	2	10	7.50	0	0
4.00	3	5	7.75	0	0
4.25	3	1	8.00	0	0
4.50	5	3	8.25	0	0
4.75	4	1	8.50	0	0
5.00	2	0	8.75	0	0
5.25	1	0	9.00	0	0
5.50	2	0	9.25	0	0
5.75	1	0	9.50	0	0
6.00	1	0	9.75	0	0
6.25	0	0	10.00	0	0
6.50	0	0			
Průměr (m³)				4.66	3.92

Tab. č. 19: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládní automatického závlahového systému pomocí metody závlahového kalendáře v lokalitě Žatecko



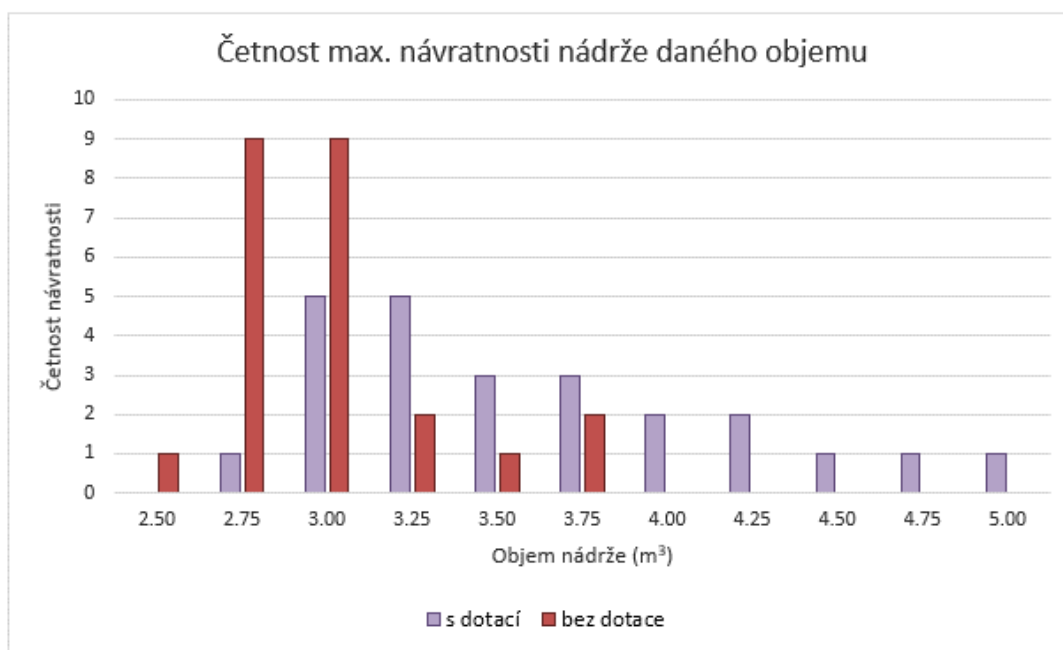
Obr. č. 61: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového kalendáře v lokalitě Žatecko

Z tabelárního a grafického zobrazení dat je patrné, že v případě uvážení dotačního titulu je vyšší návratnost nádrží s vyššími objemy, než je tomu v případě pořízení nádrže bez dotace. Důležité je si uvědomit, že uvedené grafické a tabelární hodnoty neukazují výši návratnosti v peněžní hodnotě. Srovnám-li maximální výnos při uvážení dotace a bez dotace, pohybuje se rozdíl v řádu desetitisíců korun. Maximální ušetřená částka za 25 let v případě uvážení dotace činí cca. 28 700 Kč, v opačném případě pak pouze cca 10 250 Kč. [38] [39]

Rozdílná situace pak nastane i v případě ovládání automatického závlahového systému pomocí **závlahového intervalu**. I pro tento případ byly výsledné hodnoty zpracovány tabelárně a graficky (viz tab. č. 20 a obr. č. 62) pro lepší přehlednost.

ZÁVLAHOVÝ INTERVAL					
Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti		Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti	
	s dotací	bez dotace		s dotací	bez dotace
2.50	0	1	6.50	0	0
2.75	1	9	6.75	0	0
3.00	5	9	7.00	0	0
3.25	5	2	7.25	0	0
3.50	3	1	7.50	0	0
3.75	3	2	7.75	0	0
4.00	2	0	8.00	0	0
4.25	2	0	8.25	0	0
4.50	1	0	8.50	0	0
4.75	1	0	8.75	0	0
5.00	1	0	9.00	0	0
5.25	0	0	9.25	0	0
5.50	0	0	9.50	0	0
5.75	0	0	9.75	0	0
6.00	0	0	10.00	0	0
6.25	0	0			
Průměr (m³)				3.64	3.02

Tab. č. 20: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládání automatického závlahového systému pomocí metody závlahového intervalu v lokalitě Žatecko



Obr. č. 62: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového intervalu v lokalitě Žatecko

I v případě ovládání pomocí závlahového intervalu je patrný rozdíl ve velikosti nádrže pro případ s uvážením dotace a pro situaci opačnou. S dotací se dostáváme na vyšší četnost návratnosti nádrží s větším objemem (3-3,75 m³), a naopak při situaci bez dotace zůstávají četnosti návratnosti největší kolem hodnoty 2,75-3 m³. Rozdíl ve velikostech však v tomto případě není tak markantní. Posoudíme-li opět návratnost z hlediska peněžní hodnoty, dostáváme

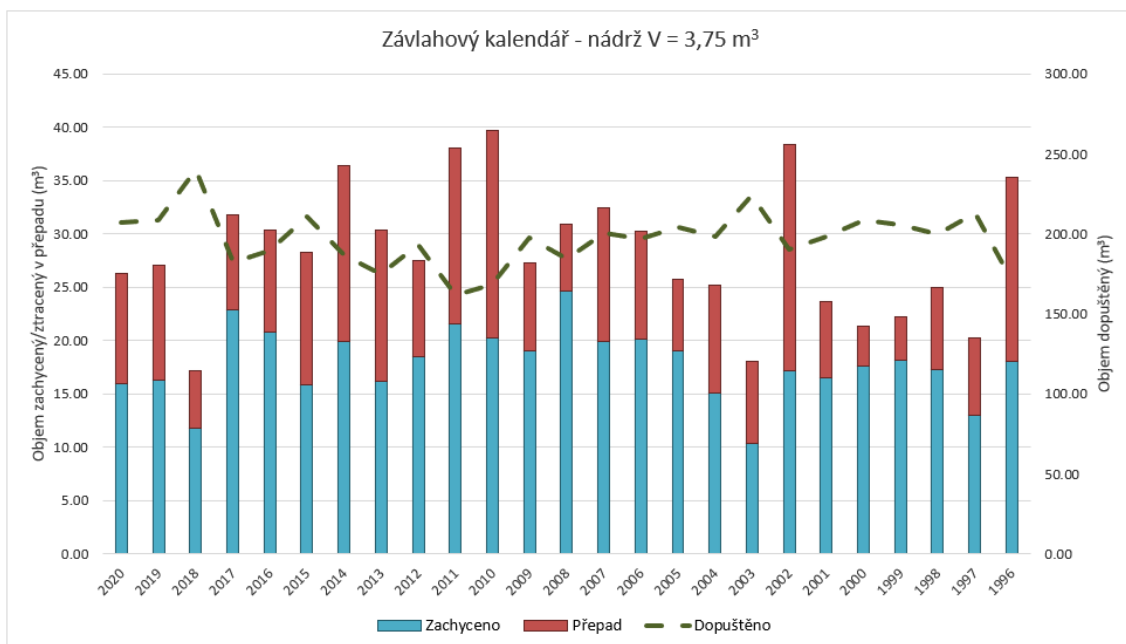
se v případě získání dotace na maximální částku za 25 let cca 35 000 Kč, v opačném případě pak na cca 21 000 Kč. [38] [39] Kompletní křivky ekonomické návratnosti jsou součástí příloh č. 9. a 10.

Pro stanovení výsledné hodnoty s uvážením enviromentálního i ekonomického hlediska bychom se v případě ovládní pomocí **závlahového kalendáře** a získání **dotace** dostali na nádrž velikosti **4,25 m³**, **bez** získání **dotace** pak vychází nádrž o trochu menší o velikosti **3,75 m³**. Ekonomicky by se nám vrátila i menší nádrž, avšak z hlediska enviromentálního bychom zachytili méně než požadovaných 80 % dešťové vody.

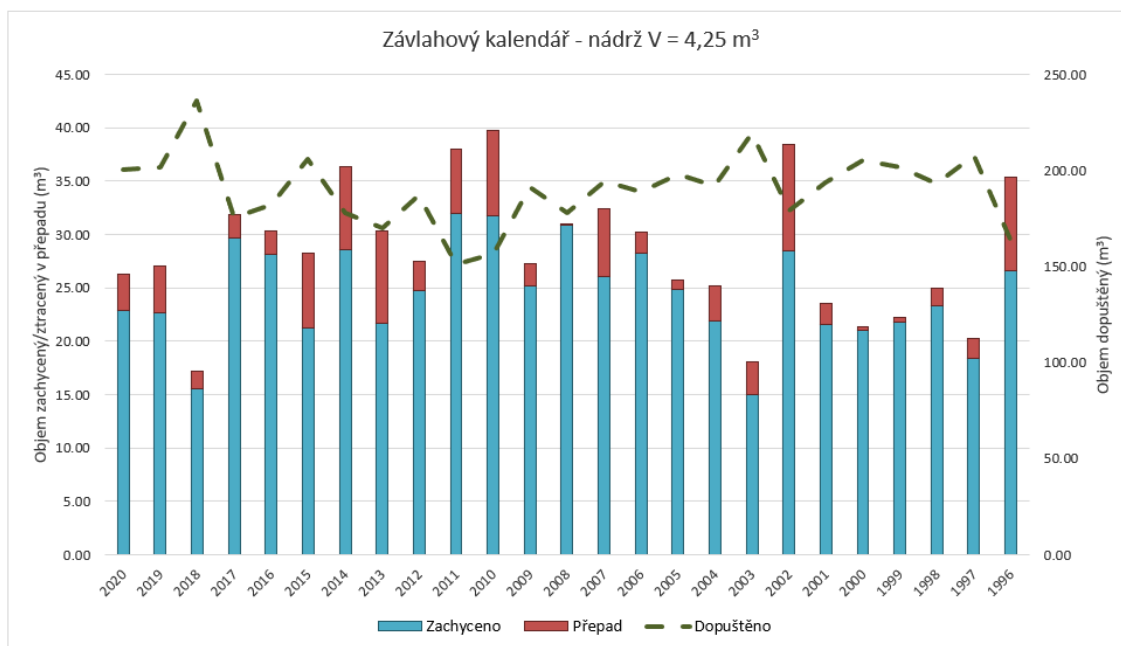
Pro případ ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového intervalu** pak vychází v případě získání **dotace** optimální nádrž velikosti **3,5 m³**, v situaci **bez dotace** pak vychází opět menší nádrž o velikosti **3 m³**.

Je nutno podotknout, že v určitých případech bude mít vyšší hodnotu stránka enviromentální, v jiných zase ekonomická. Na základě individuálních situací je poté třeba přiklonit se k určité velikosti akumulční dešťové nádrže.

Grafy na obr. č. 63 a 64 zobrazují roční bilanci vody ve vegetačním období v navržených akumulčních nádržích pro ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře**.

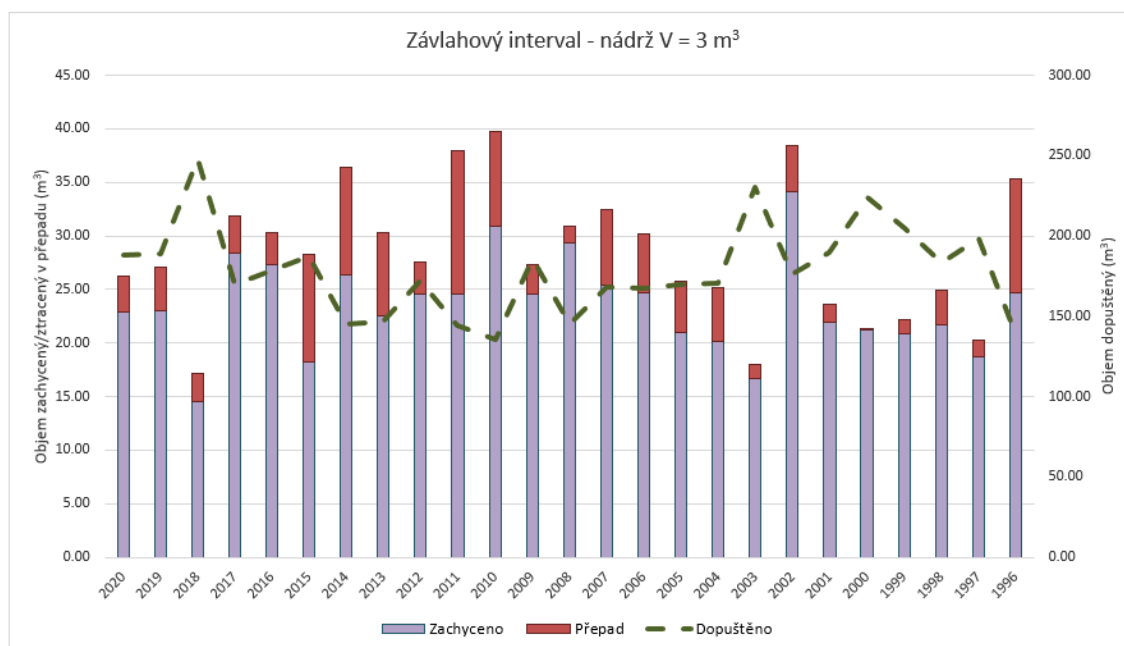


Obr. č. 63: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 3,75 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Žatecko

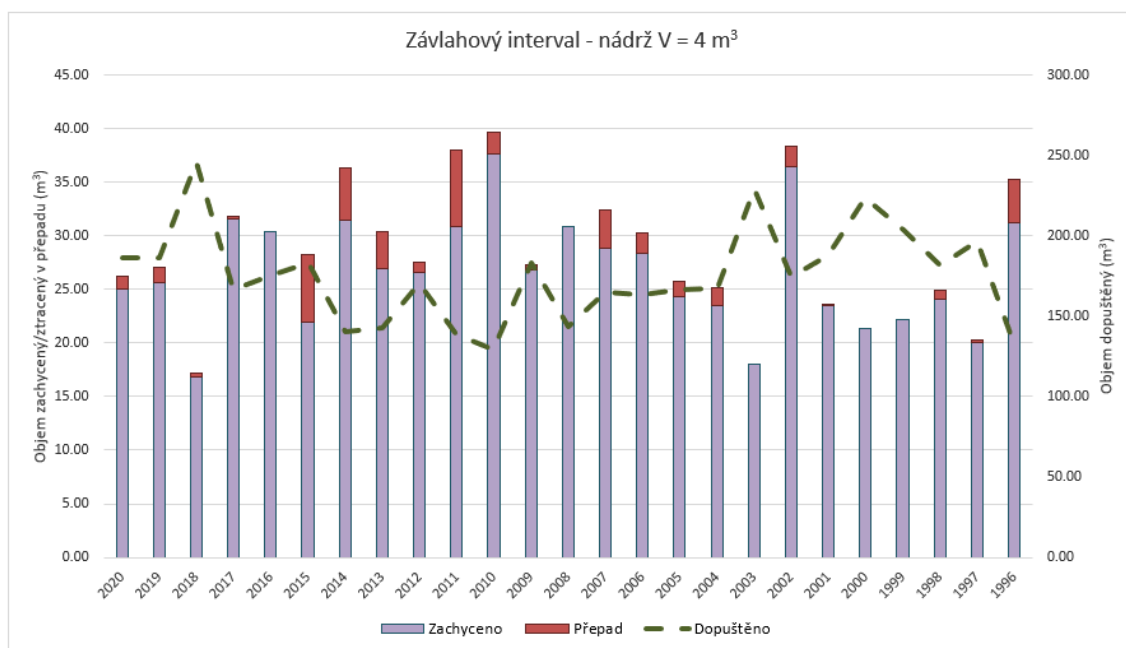


Obr. č. 65: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,25 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Žatecko

Grafy na obr. č. 65 a 66 zobrazují roční bilanci vody ve vegetačním období v navržených akumulčních nádržích pro ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového intervalu**.



Obr. č. 64: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 3 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Žatecko



Obr. č. 66: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Žatecko

Suma vody zachycené a ztracené v přepadu je celkové množství dostupné srážkové vody ve vegetačním období daného roku, které je možné zachytit z dostupné sběrné plochy. Množství dopuštěné vody doplňuje potřebu vody pro zavlažení řešené plochy.

Na grafickém zobrazení dat (viz obr. č. 63-66) je vidět podíl vody zachycené dešťovou nádrží a vody přepadlé přes bezpečnostní přeliv v jednotlivých letech pro simulaci provozu automatického závlahového systému na reálném klimatu. Je prokazatelné, že v suché oblasti pro daných 25 let vychází jednoznačně menší objem nádrží (větší efektivita hospodaření s vodou) pro intervalovou variantu. Z hlediska ekonomické návratnosti pak záleží, zda je na realizaci dešťové akumulční nádrže využita dotace, nebo nikoliv. V každém případě vychází z hlediska ekonomického větší objemy akumulčních nádrží než z hlediska environmentálního (při dodržení stanoveného kritéria zachycení 80% srážkové vody). Je to způsobeno primárně vysokou cenou za vodné (53,77 Kč/m³) [39] v řešené lokalitě Žatecko. Výsledné hodnoty jsou tudíž srovnatelné s lokalitou Praha-Kyje, kde je cena vodného (54,77 Kč/m³) [39] prakticky totožná.

4.11 Výsledky simulace – lokalita č.3 - Vysočina (chladná oblast)

Následující kapitola popisuje a zobrazuje výsledné hodnoty vlastní simulace velikosti akumulční dešťové nádrže pro automatický závlahový systém v chladné oblasti Vysočiny.

Ve vlastní simulaci byly do grafu vykresleny hodnoty potřeby závlahové vody za vegetační období při využití řízení automatického závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře** a pomocí **závlahového intervalu** viz tab. č. 21 a obr. č. 67.

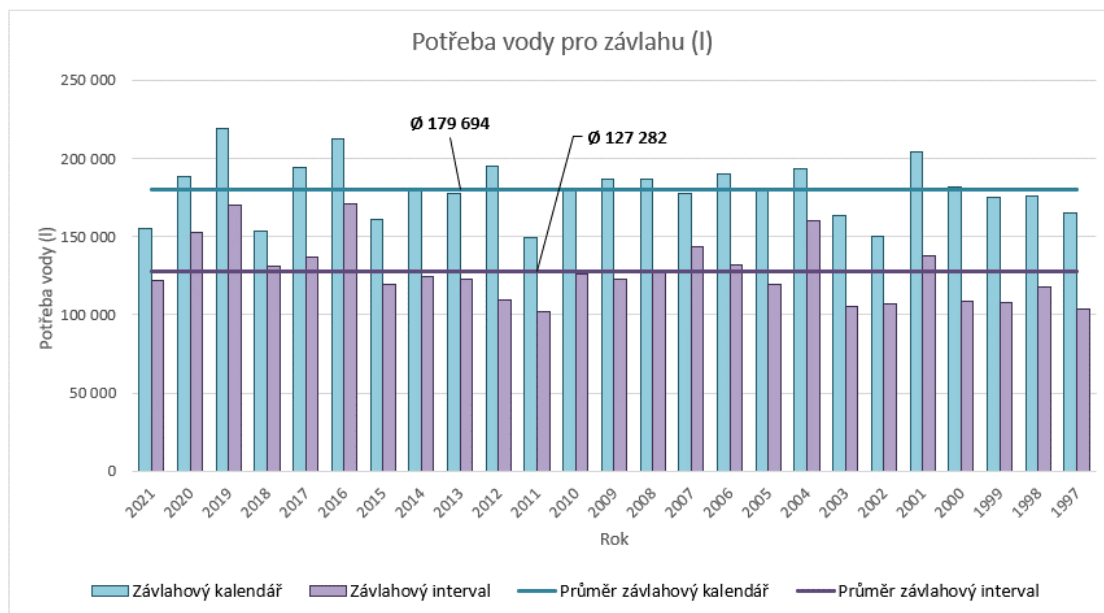
Z tabulky hodnot (tab. č. 21) je patrné, že při použití metody závlahového kalendáře dojde k úspoře vody o necelých 30 % na rozdíl od metody závlahového kalendáře.

Rok	Potřeba vody pro závlahu (l)	
	Závlahový kalendář	Závlahový interval
2020	154 905	122 130
2019	188 600	152 720
2018	218 615	169 970
2017	153 295	131 330
2016	193 775	136 965
2015	212 175	171 120
2014	161 000	119 255
2013	179 055	124 430
2012	177 675	122 360
2011	194 695	109 595
2010	149 270	101 545
2009	179 285	125 810
2008	186 530	122 935
2007	186 875	128 685
2006	177 905	143 865
2005	189 980	132 020
2004	179 860	119 025
2003	193 430	160 080
2002	163 185	105 455
2001	150 075	107 065
2000	204 355	137 540
1999	181 470	108 905
1998	175 145	107 410
1997	176 065	118 105
1996	165 140	103 730
Průměr	179 694	127 282
Úspora	29.17%	

Rozdíl	52 412
---------------	---------------

Tab. č. 21: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Vysočina v letech 1996-2020

Pro větší přehlednost byly jednotlivé hodnoty převedeny do grafické podoby (viz obr. č. 67), ze které je patrný přehled let, kdy byla vyšší potřeba vody (roky suché, s nízkými srážkovými úhrny) a kdy tomu bylo naopak. Průměrně tedy vychází použití závlahového kalendáře, co se potřeby závlahové vody týče, jako méně vhodné řešení. V případě lokality Vysočina, kde jsou poměrně vysoké roční úhrny srážek, a hlavně nižší maximální denní teploty, vychází metoda závlahového intervalu z hlediska potřeby vody výhodněji i pro směrodatně suchý rok 2018.



Obr. č. 67: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Vysočina v letech 1996-2020

Následující tabulka (tab. č. 22) simulace naznačuje, jakým způsobem se jednotlivé metody ovládání zavlažování potýkají s vysokými teplotami a nízkými srážkovými úhrny v roce 2018 v chladné a deštivé oblasti Vysočina. Zavlažování probíhalo prakticky každý den pouze po dobu cca 16 dní v případě metody závlahového intervalu, který při vysokých teplotách přidá další zavlažovací cyklus. Metoda závlahového kalendáře pak závlahu v těchto tropických dnech navýšila o 30 % pouze v poměrně malém množství případů v rámci nejteplejšího období roku 2018 (viz tab. č. 22).

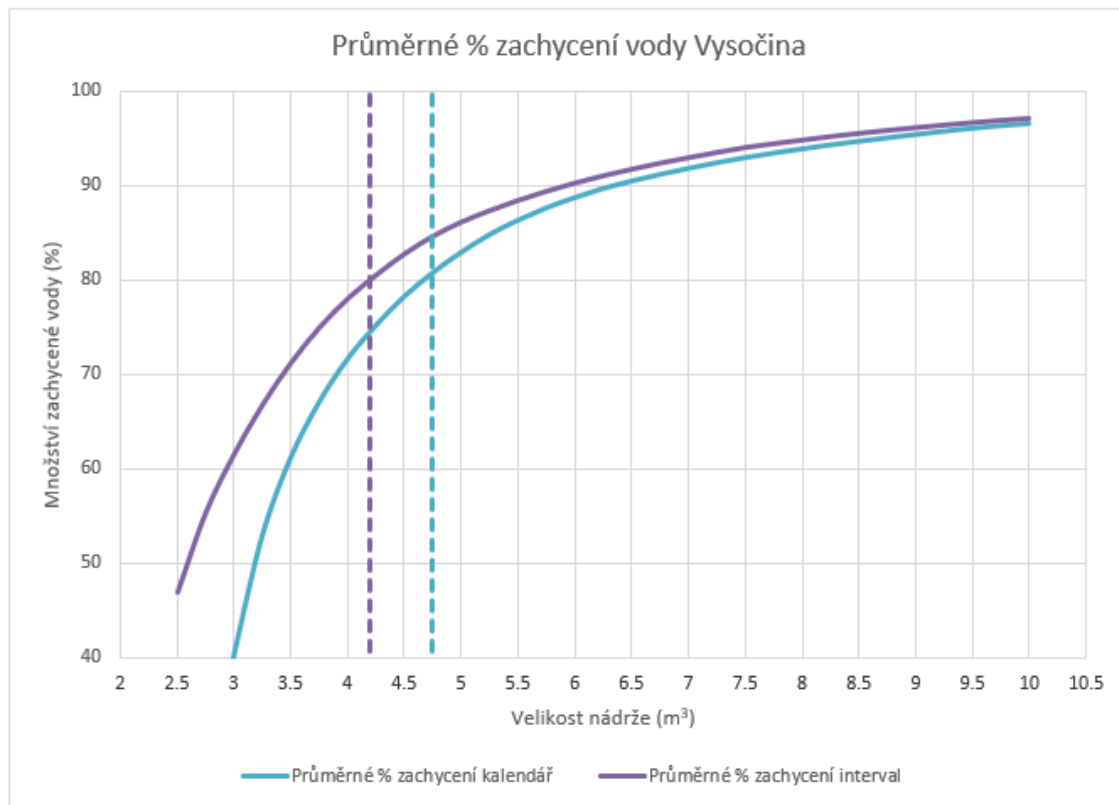


Ukázka tabulky bilancování s intervalovou variantou (sloupec E) a kalendářní variantou (sloupec F)

B	C	D	E	F
Datum	Max. teplota (°C)	Děšť (mm)	Interval potřeba (l)	Kalendář potřeba (l)
12.07.2018	16.7	1.6	2300	
13.07.2018	21.9	1.4	0	2300
14.07.2018	23.8	0	0	
15.07.2018	25.2	0	2300	2300
16.07.2018	24	0	0	2300
17.07.2018	21.2	1.8	0	
18.07.2018	17.2	5.6	2300	2300
19.07.2018	23	0	0	
20.07.2018	24.6	0	0	2300
21.07.2018	27.1	4.8	2300	
22.07.2018	25	0.4	0	0
23.07.2018	25.8	0	0	2300
24.07.2018	27.3	0	2300	
25.07.2018	27	1.1	2300	2300
26.07.2018	26.9	1.3	2300	
27.07.2018	27	1.7	2300	2300
28.07.2018	27.6	1.3	2300	
29.07.2018	28.3	0	2300	2300
30.07.2018	29.6	0	2300	2300
31.07.2018	30.5	0	2300	
01.08.2018	29.9	0.8	2300	2300
02.08.2018	31.1	0	2300	
03.08.2018	30.9	0	2300	2990
04.08.2018	30.9	0	2300	
05.08.2018	26.3	0.7	2300	2300
06.08.2018	26.5	0	2300	2300
07.08.2018	30.6	0	2300	
08.08.2018	31	0	2300	2990
09.08.2018	31.8	0	2300	
10.08.2018	25.2	3.7	0	2300
11.08.2018	24.5	0	2300	
12.08.2018	25.7	0	0	2300
13.08.2018	30.3	6.5	2300	2990
14.08.2018	22.9	0	0	
15.08.2018	23.3	0	0	2300
16.08.2018	25.5	0	0	
17.08.2018	28.2	0	2300	2300
18.08.2018	28.6	0	2300	
19.08.2018	28.9	0	2300	2300
20.08.2018	30.1	0	2300	2990
21.08.2018	25.4	0	0	
22.08.2018	28.8	0	2300	2300
23.08.2018	30.3	2.4	2300	
24.08.2018	23.9	18	0	2300
25.08.2018	16.9	1.6	0	
26.08.2018	16.2	0	0	0
27.08.2018	21.1	0	0	0
28.08.2018	21	0	0	
29.08.2018	24.4	0	2300	2300
30.08.2018	21.9	0.3	0	

Tab. č. 22: Průběh zavlažování v extrémním období roku 2018 v lokalitě Vysočina

Za zkoumané simulované období 25 let (1996-2020) bylo vypočítáno procentuální naplnění nádrží různých velikostí (viz příloha č. 11 a 12), které bylo následně vyneseno do grafu. Vznikly celkem 2 křivky zobrazující průběh průměrného procenta zachycené vody, a to pro ovládání závlahového systému metodou **závlahového kalendáře** a pro metodu **závlahového intervalu** (viz obr. č. 68).



Obr. č. 68: Průměrné % zachycení dešťové vody pro lokalitu Vysočina

K určení optimální velikosti akumulční nádrže je potřeba posoudit, při jakém procentu zachycení se již jedná o množství srážkové vody, které se jeví jako výhodné z hlediska enviromentální stránky dané problematiky. Pro účely této práce byla stanovena hodnota **80% zachycené srážkové vody** jako zajímavé množství pro pořízení akumulční nádrže na jímání srážkové vody.

Z grafu je patrné, že toto kritérium je pro každou metodu ovládání automatického závlahového systému rozdílné. Zatímco při použití metody závlahového kalendáře odpovídá kritériu 80 % nádrž objemu 4,75 m³, pro metodu závlahového intervalu je to jen nádrž o velikosti 4,2 m³. Půjdeme-li s procentuálním množstvím zachycení směrem „nahoru“, tzn. zachytíme-li více než 80% srážkové vody, začnou se obě křivky pomalu přibližovat, až jejich rozdíl úplně vymizí. V deštivé a chladné lokalitě je nárůst ztlačně mírnější než při optimalizaci nádrže v sušších a teplejších lokalitách. Vymizení rozdílu mezi jednotlivými metodami ovládání závlahového systému tak nastane až u nádrží velkých velikostí 10 m³ a více. Nyní je potřebné zahrnout i ekonomickou stránku věci a stanovit průnik těchto dvou požadavků, které jsou při výběru a pořizování dešťové akumulční nádrže relevantní.

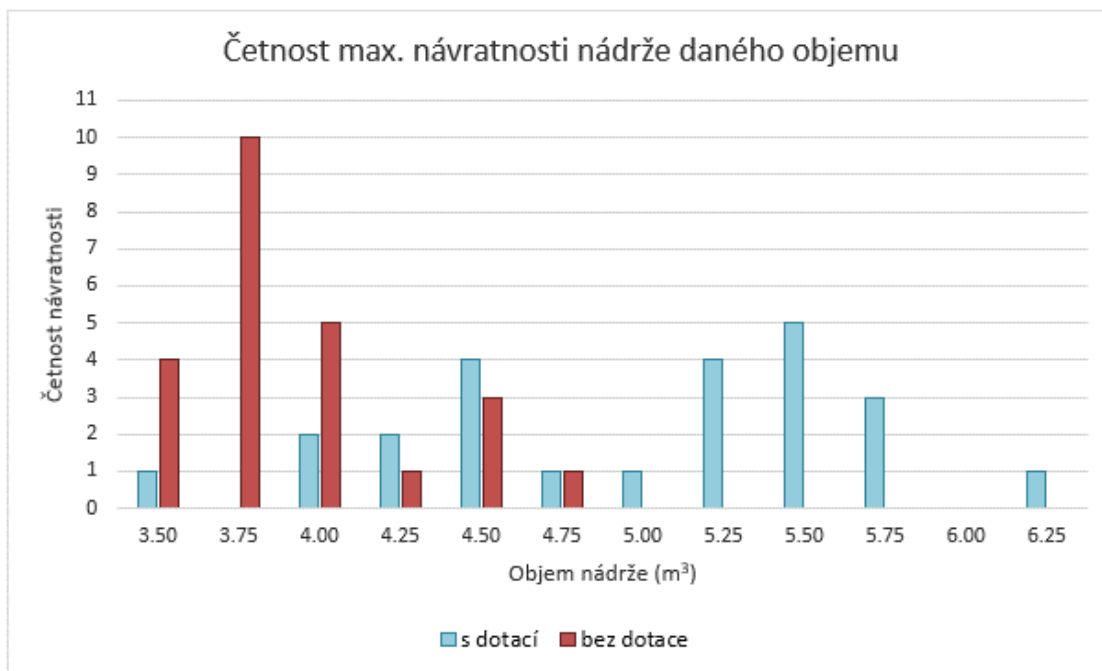


Z tohoto důvodu byla vynesena četnost výnosnosti jednotlivých velikostí akumulčních nádrží za zkoumané období 25 let. Od celkové ceny akumulční nádrže dané velikosti (simulace probíhala pro nádrže od 3 m³ do 10 m³) byly odečteny hodnoty výše dotace (maximálně ½ nákladů za akumulční nádrž) a množství ušetřené vody za 25letou životnost akumulční nádrže. Tento postup byl opakován pro celé období 25 let, kdy v každém roce byla nalezena nejvyšší možná úspora, která pro každý rok odpovídala jiné velikosti nádrže. Z těchto nejvýhodnějších velikostí byla stanovena průměrná hodnota, na základě které byla vyčíslena velikost ekonomicky nejvýhodnější akumulční nádrže. Pro situaci bez dotace byl použit stejný postup, avšak z výpočtu byla vynechána výše dotace. Ceny akumulčních nádrží byly převzaty z internetového obchodu společnosti Irimon. [38]

Výsledné hodnoty zobrazuje tabulka č. 23 a obr. č. 69 a jsou pro způsob ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře**.

ZÁVLAHOVÝ KALENDÁŘ					
Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti		Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti	
	s dotací	bez dotace		s dotací	bez dotace
3.00	0	0	6.75	0	0
3.25	0	0	7.00	0	0
3.50	1	4	7.25	0	0
3.75	0	10	7.50	0	0
4.00	2	5	7.75	0	0
4.25	2	1	8.00	0	0
4.50	4	3	8.25	0	0
4.75	1	1	8.50	0	0
5.00	1	0	8.75	0	0
5.25	4	0	9.00	0	0
5.50	5	0	9.25	0	0
5.75	3	0	9.50	0	0
6.00	0	0	9.75	0	0
6.25	1	0	10.00	0	0
6.50	0	0			
Průměr (m³)				4.99	4.17

Tab. č. 23: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládní automatického závlahového systému pomocí metody závlahového kalendáře v lokalitě Vysočina



Obr. č. 69: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového kalendáře v lokalitě Vysočina

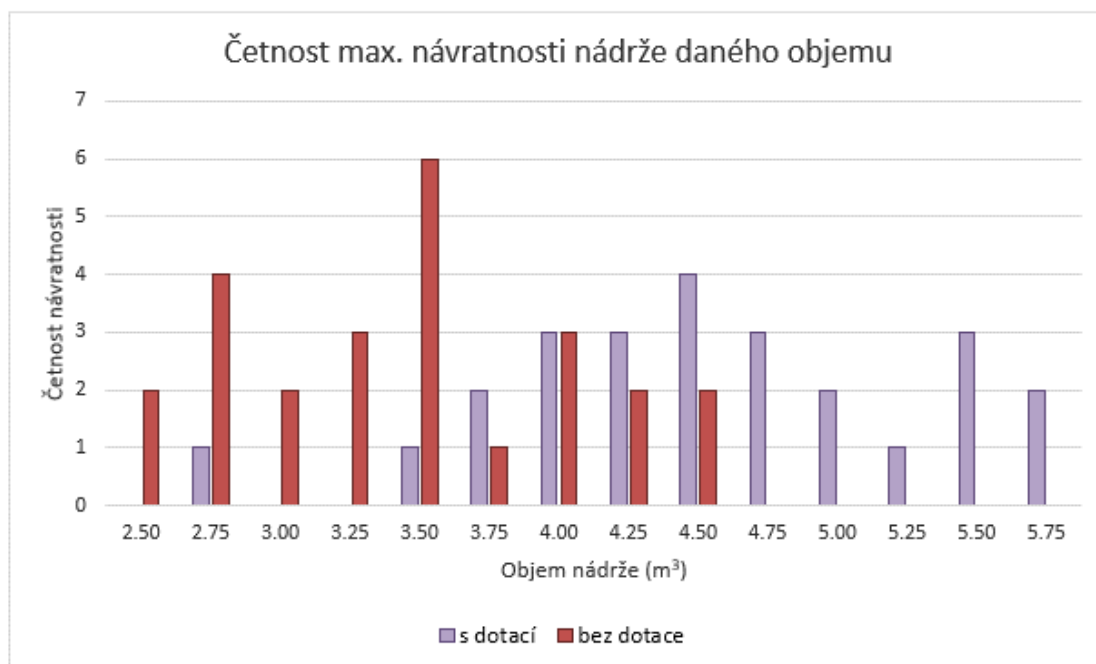
Z tabelárního a grafického zobrazení dat je patrné, že v případě uvážení dotačního titulu je vyšší návratnost nádrží s vyššími objemy, než je tomu v případě pořízení nádrže bez dotace. Pro oblast chladnou a deštivou je tento fakt nejvíce znatelný. Důležité je si uvědomit, že uvedené grafické a tabelární hodnoty neukazují výši návratnosti v peněžní hodnotě. Srovnám-li maximální výnos při uvážení dotace a bez dotace, pohybuje se rozdíl v řádu desetitisíců korun. Maximální ušetřená částka za 25 let v případě uvážení dotace činí cca. 26 500 Kč, v opačném případě pak pouze cca 7 000 Kč. Částky jsou nižší primárně z důvodu znatelně nižší ceny vodného v řešené oblasti Vysočina. Rozdíly oproti Praze a Žatecku činí cca 20 Kč/m³. [39]

Rozdílná situace pak nastane i v případě ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového intervalu**. I pro tento případ byly výsledné hodnoty zpracovány tabelárně a graficky (viz tab. č. 24 a obr. č. 70) pro lepší přehlednost.

ZÁVLAHOVÝ INTERVAL					
Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti		Objem nádrže (m ³)	Četnost max. návratnosti	
	s dotací	bez dotace		s dotací	bez dotace
2.50	0	2	6.50	0	0
2.75	1	4	6.75	0	0
3.00	0	2	7.00	0	0
3.25	0	3	7.25	0	0
3.50	1	6	7.50	0	0
3.75	2	1	7.75	0	0
4.00	3	3	8.00	0	0
4.25	3	2	8.25	0	0
4.50	4	2	8.50	0	0
4.75	3	0	8.75	0	0
5.00	2	0	9.00	0	0
5.25	1	0	9.25	0	0
5.50	3	0	9.50	0	0
5.75	2	0	9.75	0	0
6.00	0	0	10.00	0	0
6.25	0	0			
Průměr (m³)				4.56	3.44

Tab. č. 24: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládní automatického závlahového systému pomocí metody závlahového intervalu v lokalitě Vysočina

I v případě ovládní pomocí závlahového kalendáře je patrný rozdíl ve velikosti nádrže pro případ s uvážením dotace a pro situaci opačnou. S dotací se dostáváme na vyšší četnost návratnosti nádrží s větším objemem (4 m³ a výše), a naopak při situaci bez dotace zůstávají četnosti návratnosti největší kolem hodnoty 3,5 m³. Posoudíme-li opět návratnost z hlediska



Obr. č. 70: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového intervalu v lokalitě Vysočina

peněžní hodnoty, dostáváme se v případě získání dotace na maximální částku za 25 let cca 36 600

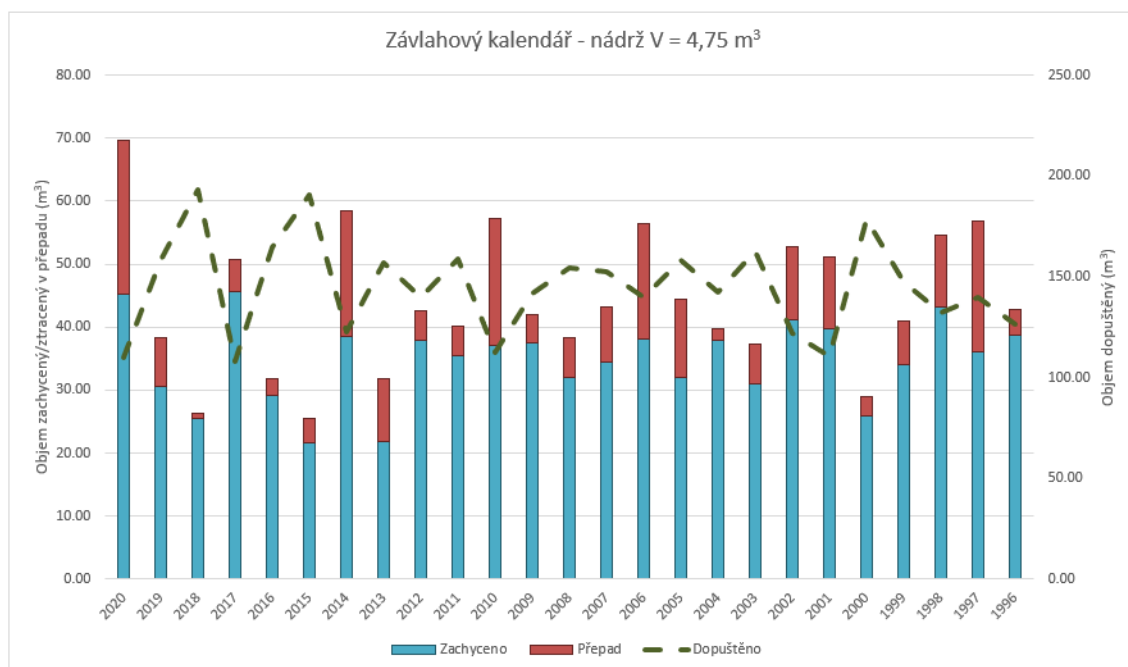
Kč, v opačném případě pak na necelých 18 400 Kč. [38] [39] Kompletní křivky ekonomické návratnosti jsou součástí příloh č. 14 a 15.

Pro stanovení výsledné hodnoty s uvážením environmentálního i ekonomického hlediska bychom se v případě ovládní pomocí **závlahového kalendáře** a získání **dotace** dostali na nádrž velikosti **5 m³**, **bez** získání **dotace** pak vychází nádrž o trochu menší o velikosti **4,75 m³**. V tomto případě se jedná o nejnižší možnou hodnotu, aby bylo splněno kritérium 80% naplnění nádrže, i když z hlediska ekonomického by byla výhodnější nádrž menší.

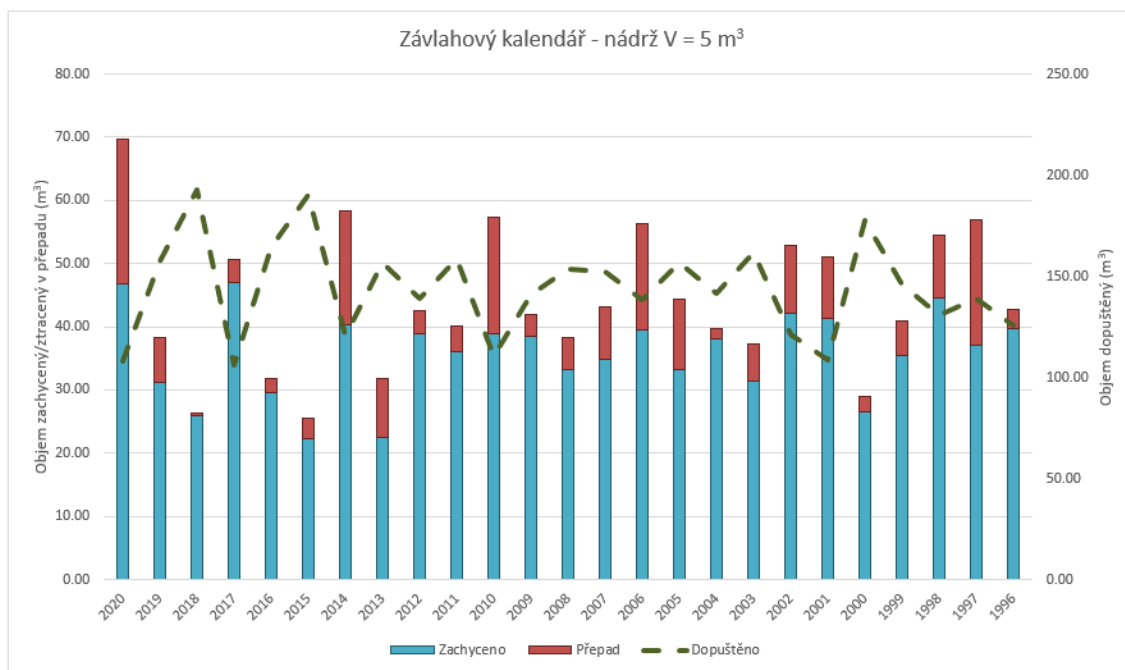
Pro případ ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového intervalu** pak vychází v případě získání **dotace** optimální nádrž velikosti **4,5 m³**, v situaci **bez dotace** pak vychází opět menší nádrž o velikosti **4,25 m³**, což je i v tomto případě ovládní automatického závlahového systému nejmenší možná velikost nádrže pro dodržení kritéria % naplnění, i přesto, že ekonomicky by se vyplatila více nádrž ještě menší.

Je nutno podotknout, že v určitých případech bude mít vyšší hodnotu stránka environmentální, v jiných zase ekonomická. Na základě individuálních situací je poté třeba přiklonit se k určité velikosti akumulční dešťové nádrže.

Grafy na obr. č. 71 a 72 zobrazují roční bilanci vody ve vegetačním období v navržených akumulčních nádržích pro ovládní automatického závlahového systému pomocí **závlahového kalendáře**.

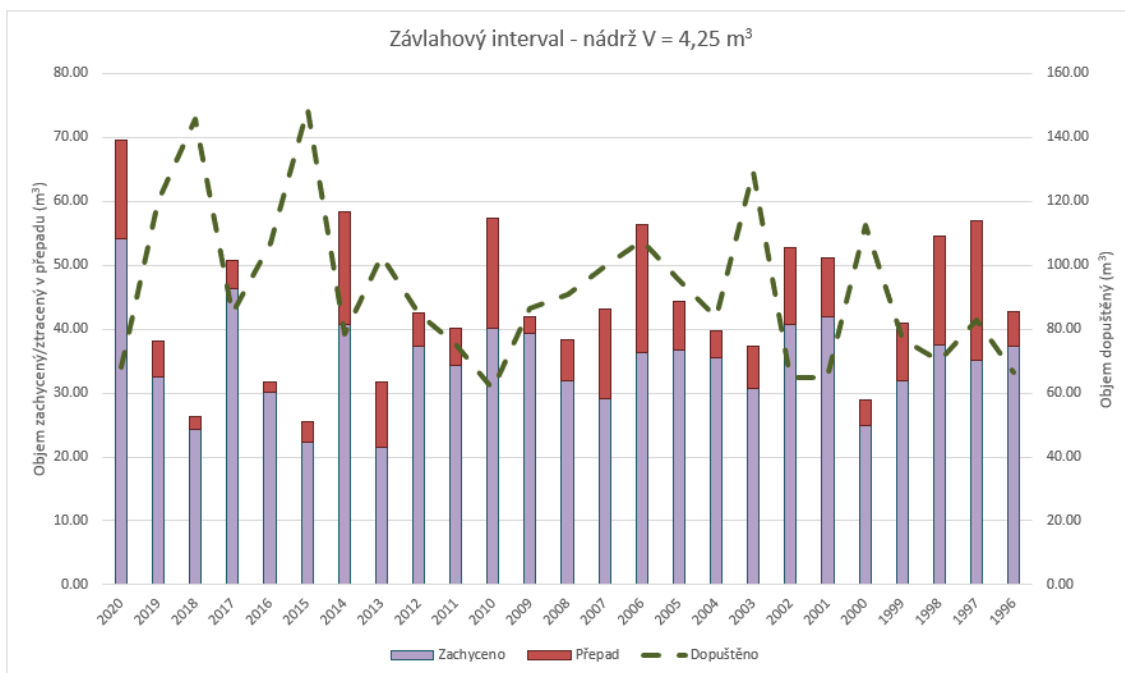


Obr. č. 71: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,75 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Vysočina

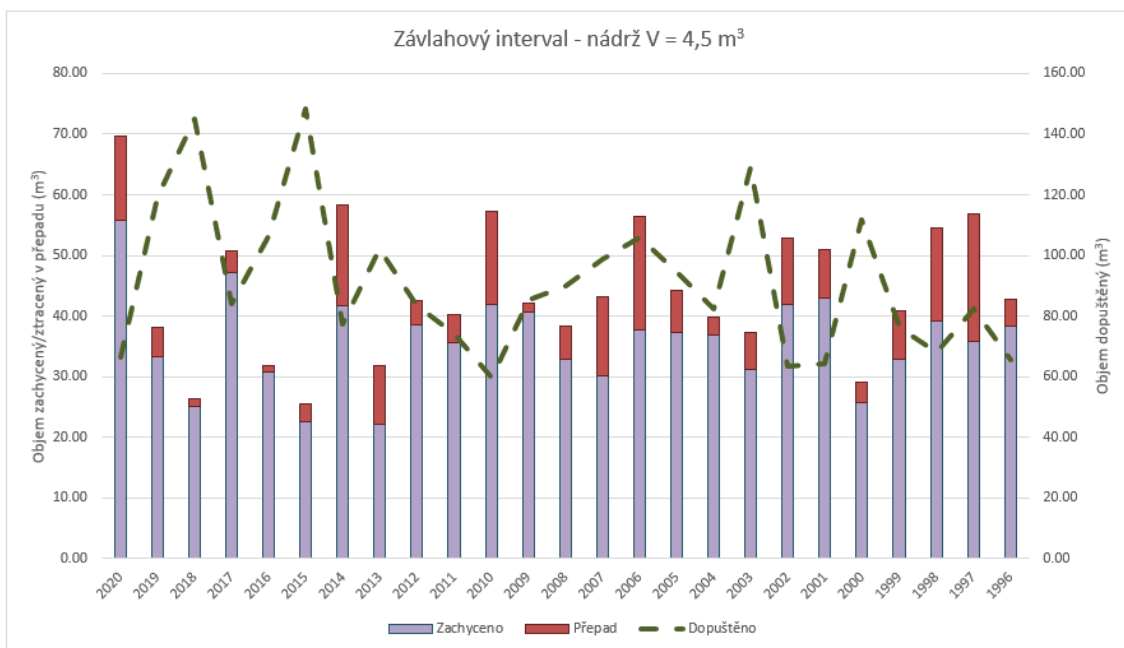


Obr. č. 73: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 5 m³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Vysočina

Grafy na obr. č. 73 a 74 zobrazují roční bilanci vody ve vegetačním období v navržených akumulčních nádržích pro ovládnání automatického závlahového systému pomocí **závlahového intervalu**.



Obr. č. 72: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,25 m³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Vysočina



Obr. č. 74: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,5 m³ při ovládní automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Vysočina

Suma vody zachycené a ztracené v přepadu je celkové množství dostupné srážkové vody ve vegetačním období daného roku, které je možné zachytit z dostupné sběrné plochy. Množství dopuštěné vody doplňuje potřebu vody pro zavlažení řešené plochy.

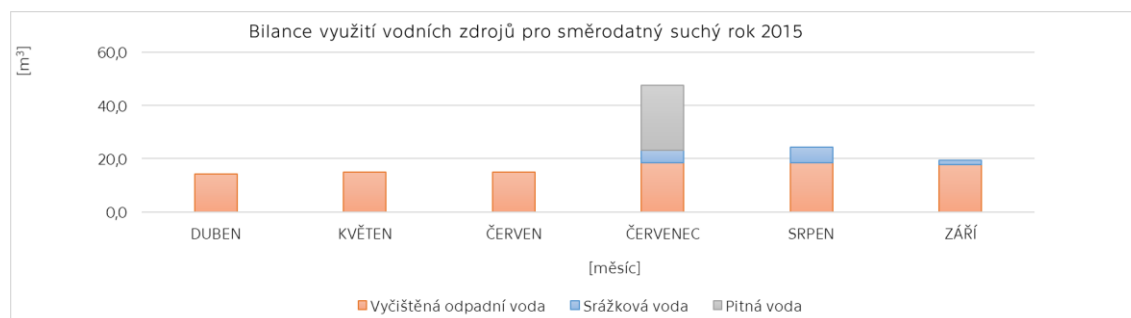
Na grafickém zobrazení dat (viz obr. č. 71-74) je vidět podíl vody zachycené dešťovou nádrží a vody přepadlé přes bezpečnostní přeliv v jednotlivých letech pro simulaci provozu automatického závlahového systému na reálném klimatu. Je prokazatelné, že i v deštivé oblasti pro daných 25 let vychází jednoznačně menší objem nádrží (větší efektivita hospodaření s vodou) pro intervalovou variantu. Z hlediska ekonomické návratnosti pak záleží, zda je na realizaci dešťové akumulční nádrže využita dotace, nebo nikoliv. V každém případě vychází z hlediska ekonomického větší objemy akumulčních nádrží než z hlediska environmentálního (při dodržení stanoveného kritéria zachycení 80% srážkové vody). V deštivé a chladné oblasti to však není tak znatelný rozdíl jako v lokalitách Praha-Kyje a Žatecko. Je to způsobeno nižší cenou za vodné (36,20 Kč/m³) [39] v řešené lokalitě na Vysočině. Výsledné hodnoty jsou tudíž v rámci environmentálního i ekonomického hlediska srovnatelnější, než tomu je v ostatních dvou řešených lokalitách.

4.12 Vyčištěné odpadní a šedé vody jako doplňkový zdroj vody

V následující kapitole bude diskutována možnost využití vyčištěné odpadní vody jako doplňkového zdroje vody pro zavlažování.

V dnešní době je cílem státu motivovat občany k zahrnutí co nejširšího spektra zařízení úsporného a ekologického fungování realizovaných novostaveb. Z tohoto důvodu vznikl ke konci roku 2021 nový program „Nová zelená úsporám“ viz kapitola 2.7 Dotační tituly. V rámci tohoto programu již nelze u novostaveb získat dotaci na akumulční dešťovou nádrž, je-li záměr jejího využití pouze pro závlahu přilehlého pozemku. Z tohoto důvodu přichází v úvahu kombinace srážkové a vyčištěné šedé vody jakožto zdroje závlahové vody.

Problematikou kombinace srážkových a vyčištěných odpadních vod se ve své bakalářské práci věnoval Jaroslav Oršuliak (2021). [40] Na základě jeho výpočtů bylo stanoveno, že v případě směrodatně suchého roku 2015 bude dispozici takové množství srážkové a vyčištěné odpadní vody, aby z velké části dokázala pokrýt potřebu vody pro závlahu přilehlé zahrady. (viz obr. č. 75) Hodnoty pro stanovení množství šedé vody jsou uvažovány pro 6 osob (potřeba vody 99 l/os/den), velikost sběrné plochy činí cca 170 m² a velikost zavlažované plochy odpovídá cca 450 m².



Obr. č. 75: Bilance využití vodních zdrojů pro směrodatně suchý rok 2015 (převzato z [40])

Tabulka č. 25 zobrazuje číselné hodnoty potřeby dopouštění akumulční dešťové nádrže pro různé roky, volené z hlediska rozdílnosti klimatických charakteristik, a zároveň pro různé metody výpočtu.

Doplnění šetrných vodních zdrojů (dočerpání ze studně)				
Závlahový provoz	normál 1981-2010	2015	2020	emp. hodnoty
Kapka [m ³]	0,0	0,0	0,0	0,0
Postřik [m ³]	0,0	18,3	3,9	28,0
Kapka+postřik [m ³]	0,0	24,4	10,1	39,0

Tab. č. 25: Potřeba doplňkové vody (studniční) pro různé metody výpočtu (převzato z [40])

Na základě zmíněných hodnot je patrné, že potenciál vyčištěné odpadní vody je veliký a vhodný pro uvážení při realizaci a návrhu hospodaření s vodami v rámci novostaveb RD. Motivaci navíc umocňuje možnost využití dotace na akumulční nádrž pouze v případě, je-li nádrž uvažována pro závlahu jak srážkovými, tak vyčištěnými odpadními vodami.

Odhaduji, že z vyčištěné odpadní vody (cca 100 l/os/den) je přibližně 50 % na splach toalety, 25 % na myčku, pračku a ruční mytí nádobí a zbylých 25 % by byl potenciál šedých vod z mytí těla (sprcha, koupací vana, umyvadlo), který by po hygienizaci mohl pokrýt nedostatek srážkové vody pro závlahu. Uvážím-li 4 osoby v domácnosti, činí denní produkce lehké šedé vody cca 100 l/den, což by mohl být v rámci hospodaření s vodou významný příspěvek k zachycené srážkové vodě a zároveň podpora úspory pitné vody. V současné době však toto řešení není podpořeno žádným vhodným legislativním dokumentem. Jak říká Ing. Plotěný, ASIO [41], v každém případě u veřejných objektů může dojít ke kontaminaci těchto lehkých šedých vod nalitím toxických a nebezpečných látek (Savo, čisticí prostředky) do umyvadla nebo vany. V tomto případě mohou být lehké šedé vody nevhodné a nedá se legislativně zabezpečit jejich bezproblémové použití. V případě soukromého domu se však lze těmto skutečnostem bez problémů vyhnout a považovat lehké šedé vody z mytí těla jako potenciální doplňkový zdroj vody pro zavlažování přilehlé zahrady RD.

4.13 Diskuse výsledků

Následující tabulka č. 26 zobrazuje hodnoty velikostí akumulčních nádrží získané všemi metodami návrhu akumulčních nádrží zahrnutých v rámci této práce.

Lokalita →	Praha-Kyje (m ³)		Žatecko (m ³)		Vysočina (m ³)	
	Závlah. kalendář	Závlah. interval	Závlah. kalendář	Závlah. interval	Závlah. kalendář	Závlah. interval
Způsob návrhu ↓						
ČSN EN 16 941-1	20.5	12.5	20.8	19.3	17.6	12.5
Nicoll	2.32		2.06		3.22	
Dešťovka	1.9		1.9		2.6	
Aquanix	3.6		3		4.5	
Perfectfactory	-		-		-	
Tech. předpis IRIMON s. r. o., (1)	1.5		1.4		2.1	
Tech. předpis IRIMON s. r. o., (2)	3.4		3.4		3.4	
Vlastní simulace (bez dotace)	4	3	3.75	3	4.75	4.25

Tab. č. 26: Tabulka hodnot velikostí akumulčních nádrží získaných všemi testovanými metodami

Posoudím-li návrh akumulční dešťové nádrže podle normy ČSN EN 16 941-1, vychází v porovnání s ostatními dostupnými metodami mnohonásobně vyšší hodnoty. Primárně je to způsobeno tím, že norma pro návrh nádrže uvažuje celkovou potřebu vody za posuzované období (v tomto případě vegetační období) s tím, že neuvažuje doplňkový zdroj vody pro dopouštění akumulční nádrže. Touto metodou tak byla zjištěna potřebná velikost nádrže pro případ, kdy by byla nádrž dotována pouze srážkovou vodou, nikoliv vodou z doplňkového zdroje (kopaná/vrtaná studna, vodovodní řad).

V rámci kalkulátorů vychází nejrealnější hodnoty při výpočtu pomocí nástroje od společnosti Aquanix, který zřejmě jako jediný nedoporučí velikost akumulční dešťové nádrže pouze na základě velikosti sběrné plochy, ale bere v potaz i velikost zavlažované plochy a potřebu vody pro její zavlažení. Algoritmus, na kterém nástroj pracuje, je však skryt a nelze s jistotou říct, jakým postupem byly získané hodnoty zjištěny.

Kalkulátory na stránkách společnosti Nicoll a Dešťovka nabízí velmi podobné výsledné hodnoty. Podle mého názoru oba vychází z potenciálu sběrné plochy, tzn. jaké množství vody lze pro z dané plochy střechy maximálně najímat, přičemž každý z nich používá svou vlastní hodnotu opravného koeficientu, která však není nikde zjištělná. V případě kalkulátoru od společnosti Dešťovka je nutno zmínit, že uvedená doporučená hodnota je nejmenší možná, tudíž dle tohoto nástroje by bylo lepší zvolit nádrž o trochu větší z hlediska klimatických podmínek. Není však již řečeno, jaké procento zvětšení je adekvátní, tzn. široká veřejnost nedokáže s takovým číslem dle mého názoru pracovat. Společnost zároveň počítá s celoročním provozem akumulční nádrže a při návrhu pro automatické závlahy, které jsou obvykle v provozu pouze po dobu vegetačního období, tak nelze zadat hodnoty srážkových úhrnů za toto kratší období a získat tak přesné



výsledky pro návrh akumulční nádrže pouze pro zálivku zahrady. V obou případech se však jedná z hlediska potřeby vody pro zálivku o hodnoty dle mého názoru poddimenzované.

Kalkulátor od společnosti Perfectfactory dokonce pouze nabídl množství vody, které lze ze zadané sběrné plochy najímat, potřebu vody pro zálivku dané plochy a výčet nabídky akumulčních dešťových nádrží malých i velkých objemů. Nedoporučil tudíž žádnou směrodatnou hodnotu objemu akumulční dešťové nádrže, pouze člověku ukázal, kolik má asi k dispozici srážkové vody a kolik potřebuje.

Hodnoty získané výpočtem dle brožury „Volba zdroje vody“ vychází v případě neuvážení frekvence zálivky, tzn. dle postupu na základě sběrné plochy, velmi poddimenzované, protože výpočet vychází pouze z velikosti sběrné plochy, nikoliv potřeby vody pro zálivku. V druhém případě, kdy výpočet akumulční nádrže vychází z frekvence a množství zálivky pro danou zavlažovanou plochu, vychází hodnoty dvojnásobně velké a v případě intravilánové a suché oblasti i blízké s podrobnou metodou simulace.

Na základě vlastní simulace, která byla postavena na základě bilance vody v nádrži tak, aby docházelo k jejímu co největšímu využití, vychází hodnoty velikosti akumulční dešťové nádrže velmi podobné pro oblast v intravilánu města (Praha-Kyje) i pro oblast suchou (Žatecko). Je to dáno podobnými charakteristikami počasí v obou lokalitách. V Praze jsou sice o trochu vyšší úhrny srážek, ale toto vykompenzuje vysoká teplota, která je podpořena díky tepelnému ostrovu, který ve velkoměstech vzniká. Naopak v oblasti chladné a deštivé (Vysočina) vychází objemy akumulčních nádrží vyšší, i přes stejné velikosti sběrných a zavlažovaných ploch jako v oblastech Žatecko a Praha. Je to dáno větším potenciálem k zachytávání srážkové vody z důvodu vyšších srážkových úhrnů a díky tomu nižší potřebě závlahové vody. V malých nádržích by tak v tom případě nebylo možné optimálně hospodařit se srážkovou vodou a její velké množství by se ztrácelo v podobě vody přepadlé přes bezpečnostní přeliv.

Jak již ve své práci uvedla Šárka Adensamová [30], návrh akumulčních dešťových nádrží je velice komplexní problematikou a nelze zcela jednoznačně stanovit empirický vzorec, ze kterého by vyšla přesná hodnota objemu akumulční nádrže. Pro optimální návrh velikosti akumulční nádrže by bylo potřebné sestavit model, který by zahrnoval vícero vstupních dat, než které mohly být zahrnuty v rámci této práce.

Posunem v rámci této práce však vidím v rozdílech vypočítaných objemů akumulčních nádrží na základě různého ovládní závlahového systému. Z těchto výsledků je patrné, že nastavení ovládní závlahového systému je v případě hospodaření se srážkovou vodou v rámci akumulční nádrže stěžejní. I přes jakékoliv nastavení je však nutno podotknout, že je potřeba využít doplňkový zdroj vody pro dopouštění nádrže, a to ve všech testovaných oblastech, ať už se jedná o suchou nebo deštivou oblast. Počasí je velice nestálé a ani u něj nelze jednoznačně

popsat jeho „chování“ na základě jednoduchého vzorce. Proto někdy dochází k extrémním situacím v podobě přivalových srážek nebo dlouhých suchých období. Z tohoto důvodu je vždy potřeba počítat s dopouštěním nádrže z doplňkového zdroje, protože by se mohlo stát, že bude nádrž prázdná a nebude moci být dodána potřebná dávka vody pro požadovanou zálivku přilehlé plochy.

Dalo by se namítat, že v případě využívání doplňkového zdroje vody nebude využit veškerý potenciál sběrné plochy a srážková voda se nebude využívat. Tomuto se dá vyvarovat opět správnou konfigurací závlahového systému, kdy dopouštění proběhne bezprostředně před zálivkou, tudíž po zbylý čas (mezi jednotlivými závlahovými cykly) je nádrž dostupná pro srážkovou vodu. S touto myšlenkou bylo v rámci této práce počítáno.

Šárka Adensamová [30] končila svou práci s tím, že testovala pouze metodu zavlažování pomocí závlahové kalendáře (viz kapitola 4.6.3 Závlahový kalendář) a v závěru uvedla, že možnost ovládání pomocí závlahového intervalu (viz kapitola 4.6.4 Závlahový interval) by mohla být zajímavější. Na toto jsem v rámci práce navázala, a kromě zahrnutí tohoto způsobu ovládání závlahového systému jsem zároveň zpracovala dvě zcela klimaticky odlišné lokality.

Jak již bylo uvedeno výše, vidím hlavní přínos ve způsobu ovládání závlahového systému, který díky možnosti adaptovat se na aktuální i výhledový stav počasí dokáže velice adekvátně využít vodu určenou pro zálivku, ať už se jedná o vodu srážkovou nebo z jiného vodního zdroje. Přínos je velký z hlediska environmentálního, protože nedochází k plýtvání vodou v podobě zbytečné zálivky v případě, kdy ovládací systém nedokáže komunikovat s osobní nebo virtuální meteostanicí a stahovat si tak historická data o počasí nebo předpovědi na další dny a adaptovat se na ně. (blíže viz kapitola 4.6.2 Řízení automatického závlahového systému). Zhodnotím-li z tohoto pohledu všechny tři testované oblasti, dochází k úspoře vody 7-30 % pouze na základě nastavení závlahového systému. Přičemž v sušších oblastech (Žatecko, Praha), je úspora nižší, v chladné a deštivé oblasti (Vysočina) vyšší. Z těchto výsledků je patrné, že metoda závlahového kalendáře lépe reaguje na vysoké teploty a nedostatek srážek než v případě opačném. V chladné a deštivé oblasti je tak při realizaci automatického závlahového systému velmi rozhodující jeho nastavení.

Toto však bylo zkoumáno pro stejně velké sběrné plochy a stejně velké zavlažované plochy, kdy poměr těchto ploch vůči sobě je cca 4,5:1. (zavlažovaná plocha ku sběrné). Další přínosné hodnoty by jistě přinesla možnost testování různých poměrů zavlažované plochy ku ploše sběrné, kdy by byly vyhodnoceny oba způsoby zavlažování i různé oblasti výskytu těchto ploch. Tato problematika však v rámci práce není zahrnuta a může tak sloužit jako východisko práce pro další možné testování v budoucích letech, co se problematiky dešťových nádrží týče.

V dnešní době se navíc mnohem více cílí na všestrannost využití akumulčních nádrží, a to například na kombinaci srážkové vody a tzv. lehkých šedých vod z domácnosti. Tento fakt by mohl ve velké míře ovlivnit využití vody z doplňkového zdroje v podobě vody studniční nebo z vodovodního řádu, protože množství vod využitelných pro zálivku by se značně navýšilo. Touto problematikou se ve své práci zabýval Jaroslav Oršuliak [40]. Z jeho výsledků vyplývá, že pokud by byly jako doplňkový zdroj uvažovány vyčištěné odpadní vody, bylo by měsíčně k dispozici cca 18 m³ vody navíc, k již dostupné srážkové vodě, při počtu 6 obyvatel v přilehlém domě. Nejen že dojde k ještě větší úspoře vody z případných jiných doplňkových zdrojů, zároveň bude znovu využita voda, která je pro vegetaci neškodná a ve standartních případech by skončila ve stokové síti a následně v ČOV. Pokud by tento fakt byl implementován do modelu návrhu akumulční nádrže, se kterým jsem pracovala, rozhodně by vycházely větší velikosti akumulčních nádrží. V rámci práce však s šedou vodou počítáno nebylo, a tak vyvstal další potenciální nápad na posouzení dalšího aspektu návrhu velikosti akumulčních nádrží pro jejich využití pro zálivku. Legislativa zároveň nestanovuje oddělení srážkové a šedé vody v nádrži, proto se jedná o velmi lukrativní námět na zamyšlení a motivaci k ještě efektivnějšímu hospodaření s vodou obecně.

Na závěr bych chtěla uvést, že seřadit jednotlivé aspekty vstupující do návrhu akumulční nádrže podle míry významnosti, je pro mě po všech provedených výpočtech velmi těžké stanovit, protože opravdu každý mnou testovaný aspekt je velmi důležitý a je potřeba ho brát v potaz při návrhu akumulční nádrže. Nelze tudíž jednoznačně říct, že nejdůležitější je množství srážek, velikost zavlažované či sběrné plochy nebo jen způsob ovládání závlahového systému. Všechno se vším velmi úzce souvisí, což samozřejmě nekonkretizuje jakýkoliv výstup nebo jednoznačnost řešení návrhu akumulčních nádrží.

Na základě mé práce lze však jednoznačně konstatovat, že velikost akumulční nádrže vychází menší v suchých a teplých oblastech, na rozdíl od oblasti deštivé a chladné (viz kapitola 4.9, 4.10 a 4.11, případně tabulka č. 26 na začátku této kapitoly). Stejně tak se jako vhodnější, z hlediska distribuce závlahové vody a množství závlahové vody, jeví způsob ovládání automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu.

5 Závěr

Diplomová práce zpracovává problematiku dešťových akumulčních nádrží využívaných výhradně pro automatické závlahové systémy. V úvodní části práce byla zpracována rešerše tematicky zaměřená na využívání srážkové vody pro závlahové systémy. Praktická část je věnována problematice výpočtu optimální velikosti akumulční dešťové nádrže pro automatické závlahové systémy na základě vybraných aspektů.

Tato práce svým obsahem a problematikou navazuje na diplomovou práci Šárky Adensamové (2018) [30], která pomocí jednoduchého algoritmu vodní bilance navrhla optimální velikost akumulční nádrže na srážkovou vodu (výhradně pro automatické závlahové systémy) v intravilánu města Praha-Kyje.

V předkládané práci byly stanoveny aspekty, které mají vliv na návrh akumulčních dešťových nádrží využívaných pro automatické závlahové systémy. Z hlediska komplexnosti řešení pak byly pro účely diplomové práce vybrány následující aspekty: srážkové úhrny, maximální denní teplota, metoda řízení závlahového systému a ekonomické aspekty (cena nádrže, výše dotace, cena vodného) jako nejvýznamnější.

V návaznosti na výše uvedenou práci [30] byly vybrány a detailně popsány další dvě lokality, které jsou klimaticky odlišné. Jedná se o suchou oblast (Žatecko) a chladnou oblast (Vysočina) s vyššími průměrnými ročními srážkovými úhrny. Všechny 3 řešené oblasti byly podrobně popsány. Pro stanovení půdních charakteristik byl proveden terénní průzkum na Žatecku a Vysočině a byly odebrány půdní vzorky. Jejich vyhodnocení proběhlo 4.11. 2021 v pedologické laboratoři Českého vysokého učení technického v Praze. Bylo stanoveno zrnitostní složení, vynesena čára zrnitosti a zjištěn půdní typ. Pro oblast Praha-Kyje byly hodnoty převzaty.

Pro stanovení potřeby závlahové vody byla vypočítána hodnota evapotranspirace (ETP) trávniku v řešených lokalitách dle Ivanovova. Potřeba závlahové vody byla stanovena na základě průměrné měsíční ETP ve vegetačním období za uplynulých 25 let (viz příloha č. 16). Nejvyšší průměrná hodnota ETP v letních měsících (červen-srpen) byla vypočtena v oblasti Praha-Kyje (intravilán) a činí cca 125 mm/měsíc.

V úvodu praktické části byly vypočítány velikosti akumulčních dešťových nádrží dle normy ČSN EN 16 941-1, pomocí nástrojů kalkulátorů dostupných na internetových stránkách společností zabývajících se danou problematikou, a také dle empirických vzorců nabízených v literatuře společnosti IRIMON, spol. s r.o.

V druhé části byla pro všechny 3 řešené oblasti (Praha-Kyje, Žatecko, Vysočina) provedena podrobná simulace bilancování srážkové vody v akumulční nádrži výhradně pro závlahu. Simulace probíhala v denním kroku ve vegetačním období (1.4. – 31.10.) za uplynulých 25 let

(viz přílohy č 3, 8 a 13). Algoritmus bilancování srážkové vody v nádrži byl navíc rozšířen o sofistikovanější metodu řízení automatického závlahového systému (závlahový interval), který je výsledkem modernizace softwaru za časový odstup prací (2018-2021). Data ukázala 7-30 % úsporu závlahové vody při volbě sofistikovanější metody ovládní automatického závlahového systému a její lepší distribuci v rámci řešeného vegetačního období. V rámci simulace byly vždy stanoveny procentuální hodnoty naplnění akumulčních nádrží velikostí 3-10 m³ za uplynulých 25 let pro všechny 3 řešené lokality. Bylo stanoveno kritérium 80% zachycené srážkové vody jako hodnota stanovující relevantní potenciál sběru srážkové vody (viz přílohy č. 1, 2, 6, 7, 11 a 12).

Dále bylo provedeno ekonomické posouzení návratnosti akumulční dešťové nádrže, a to buď s uvážením dotace (Nová zelená úsporám-Dešťovka), nebo bez dotace (viz přílohy č. 4, 5, 9, 10, 14 a 15). Na základě výpočtu byly stanoveny velikosti nádrží, u kterých dojde k nejvyšší průměrné úspoře za 25 let. Díky rostoucímu trendu ceny vody a mírnému poklesu cen akumulčních dešťových nádrží roste ekonomická návratnost, a tudíž výhodnost akumulčních nádrží na srážkovou vodu. Cena vodného v Praze vzrostla za posledních 25 let o více než 400 %. [39] Bude-li trend růstu cen pokračovat a bude-li zpoplatněn svod srážkové vody, ekonomická návratnost se minimálně zdvojnásobí.

Pro řešené oblasti byla na základě uvážení environmentálního i ekonomického hlediska doporučena optimální velikost akumulční dešťové nádrže. Poměr sběrné plochy (cca 100 m²) ku ploše zavlažované (cca 460 m²) byl ve všech řešených oblastech volen jako prakticky srovnatelný. Na základě vlastní simulace byly doporučeny následující velikosti akumulčních dešťových nádrží: 3-3,75 m³ pro suchou oblast Žatecka, 3-4 m³ pro oblast Praha-Kyje a 4,25-4,75 m³ pro oblast Vysočina. Větší z doporučovaných velikostí nádrží pak vychází pro standartní metodu řízení závlahového systému (závlahový kalendář), menší pro metodu inteligentní a úspornější (závlahový interval).

Při uvážení dynamiky chování klimatických veličin je patrné, že nelze jednoznačně stanovit velikost akumulční dešťové nádrže. Zde lze opět navázat na Šárku Adensamovou [30], která ve své diplomové práci zmiňuje komplexnost problematiky návrhu dešťových akumulčních nádrží, která by se dala plně pokrýt pouze rozsáhlým modelem zahrnujícím všechny stanovené aspekty. Na základě simulace je však patrné, že spadne-li menší množství srážek, není potřeba velká akumulční nádrž, protože by byla po většinu času zcela prázdná. V deštivé oblasti je potenciál sběru srážkové vody vyšší, avšak z ekonomického hlediska se nádrž spíše nevyplácí. V případě pořízení akumulční dešťové nádrže však v každém případě dojde k využití srážkové vody pro závlahový systém a využití jejího potenciálu namísto vody podzemní.

Závěr práce se navíc věnuje možnosti využití další (šedé, recyklované odpadní) vody jako doplňkového zdroje závlahové vody, kterou ve své bakalářské práci řešil Jaroslav Oršuliak



(2021). [40] Požadavky na kvalitu vody pro použití při závlaze nově stanovuje norma ČSN EN 16 941-2. [42] Jedná se o další možnost při budoucím řešení akumulčních nádrží pro jejich využití pro automatické závlahové systémy. U novostaveb jde navíc od podzimu roku 2021 o jedinou možnost, jak na realizaci akumulční dešťové nádrže využívané výhradně pro automatické závlahové systémy získat dotaci.

6 Bibliografie

- [1] Analytik: Ročně spadne až 30krát více vody, než Češi spotřebují. *Ekolist.cz* [online]. Praha: BEZK, 2021 [cit. 2021-11-19]. ISSN 1802-9019. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/analytik-rocne-spadne-az-30krat-vice-vody-nez-cesi-spotrebuji?fbclid=IwAR3JfGCBvBCpnmULosHRZL12EnensTdIyPPRDMAZBpw6ca4c6YwiXIgCcBU>
- [2] ČSN EN 16 323 (75 0162) *Slovník technických termínů v oblasti odpadních vod*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [3] Dešťová voda. *TZB-info* [online]. 2001-2021 [cit. 2021-10-07]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda>
- [4] ČSN 75 6261. *Dešťové nádrže*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004.
- [5] MUDROCH, Lukáš. Rozdíly v hospodaření s dešťovou vodou u malých a velkých objektů. *TZB-info* [online]. Praha, ©2001-2021 [cit. 2021-10-07]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/4900-rozdily-v-hospodareni-s-destovou-vodou-u-malych-a-velkych-objektu>
- [6] Rozdíl mezi retenční nádrží a nádrží na dešťovou vodu. In: *ROTH* [online]. Třebořov: ROTH, 2021 [cit. 2021-10-07]. Dostupné z: <https://www.destovka-roth.cz/retencni-vs-nadrz>
- [7] Dešťovou vodou můžete zalévat zahradu, ale i prát prádlo a splachovat záchod. *Ekolist.cz* [online]. [cit. 2021-10-11]. ISSN 1802-9019. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/destovou-vodou-muzete-nejen-zalevat-ale-i-prat-pradlo-a-splachovat-zachod>
- [8] KRAUS, Michal. Jaký materiál retenční nádrže vybrat?. *ZAKRA* [online]. Plzeň: Zakra, 2020 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://zakra.cz/blog/jaky-material-retencni-nadrze-vybrat/>
- [9] KRAUS, Michal. Co se zrušeným septikem? Poradíme vám, jak z něj udělat nádrž na vodu. *ZAKRA* [online]. Plzeň: Zakra, 2020 [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://zakra.cz/blog/co-se-zrusenym-septikem-poradime-vam-jak-z-nej-udelat-nadrz-na-vodu/>



- [10] IRIMON, spol. s r. o. *Technologický předpis*. Praha: IRIMON, spol. s r. o., 2020.
- [11] ČESKO. § 5 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *<i>Zákony pro lidi.cz</i> [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 21. 11. 2021]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254#p5-3>. In: .*
- [12] DVORÁKOVÁ, Denisa. Využívání dešťové vody (II) - možnosti použití dešťové vody a části zařízení. *TZB-info* [online]. Praha, ©2001-2021 [cit. 2021-10-11]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3962-vyuzivani-destove-vody-ii-moznosti-pouziti-destove-vody-a-casti-zarizeni>
- [13] ČSN EN 16941-1. *Zařízení pro využití nepitné vody na místě – Část 1: Zařízení pro využití srážkových vod*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [14] TNV 75 9011. *Hospodaření se srážkovými vodami*. Praha: Sweco Hydroprojekt, 2013.
- [15] ČSN 75 9010. *Vsakovací zařízení srážkových vod*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [16] ČSN 75 2410. *Malé vodní nádrže*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [17] Kalkulačka velikosti nádrže. *Dešťovka.eu* [online]. Praha: Climate CZ, 2021 [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://eshop.destovka.eu/kalkulacka-velikosti-nadrze/>
- [18] KALKULÁTOR VELIKOSTI NÁDRŽE. *Nicoll* [online]. Vestec: Nicoll [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.nicoll.cz/produkty/destova-voda/nadrze-na-destovou-vodu/kalkulator-velikosti-nadrze.html>
- [19] VÝPOČET VELIKOSTI NÁDRŽE. *Perfect factory* [online]. Praha: perfect factory, 2021 [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.destovky.cz/vypocet-velikosti-nadrze/>
- [20] KALKULÁTOR VELIKOSTI NÁDRŽE. *Dešťovénádrže.cz* [online]. Vestec: Aquanix, c2018-2021 [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.destovenadrze.cz/kalkulator-velikosti-nadrze>



- [21] Jak velký zásobník na dešťovou vodu zvolit? A jak se řeší případný nedostatek nebo naopak velké množství dešťové vody, když někdy prší méně a někdy zase více?. *Počítáme s vodou* [online]. Praha: Počítáme s vodou, 2021 [cit. 2021-10-29]. Dostupné z: <https://www.pocitamesvodou.cz/otazky-a-odpovedi/5-jak-velky-zasobnik-na-destovou-vodu-zvolit-a-jak-se-resi-pripadny-nedostatek-nebo-naopak-velke-mnozstvi-destove-vody-kdyz-nekdy-prsi-mene-a-nekdy-zase-vice/>
- [22] IRIMON, spol. s r. o. *Volba zdroje vody*. Praha: IRIMON, 2020.
- [23] *Nová zelená úsporám* [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2021 [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/>
- [24] Dům DRN na Národní třídě v Praze. *Kudyznudy.cz* [online]. Praha: CzechTourism, 2021 [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.kudyznudy.cz/aktivity/dum-drn-na-narodni-tride-v-praze>
- [25] Budova DRN - polyfunkční objekt na Národní třídě v Praze. *Zelená střecha roku* [online]. Praha: parkroku.cz, 2018 [cit. 2021-11-01]. Dostupné z: <https://www.zelenastrecharoku.cz/cs/menu/predchozi-rocniky/2018/budova-drn-objekt-se-smisenymi-funkcemi-vyuziti/>
- [26] ROŽNOVSKÝ, Jaroslav a Jaroslav STŘEŠTÍK. *Srážkové poměry na území ČR podle dvou normálových období* [online]. , 15 [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: <file:///C:/Users/ankar/Desktop/Diplomov%C3%A1%20pr%C3%A1ce/Podklady/Podklady%20konference%20Hospoda%C5%99en%C3%AD%20s%20vodou/RoznovskyStrestik.pdf>
- [27] Intenzita sucha. *Intersucho* [online]. Praha: Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2021 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/mapy/intenzita-sucha/>
- [28] Mapy charakteristik klimatu. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, c2008-2020 [cit. 2021-11-12]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>
- [29] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, c2008-2020 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/>
- [30] ADENSAMOVÁ, Šárka. *Využívání dešťové vody pro automatické závlahové systémy*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Pavla Schwarzová.



- [31] Mastersizer 3000. *ANAMET* [online]. Praha: Anamet, 2021 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z: <https://www.anamet.cz/mastersizer-3000>
- [32] Principy hodnocení vybraných ukazatelů kvality půdy. *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2020 [cit. 2021-12-02]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5054&typ=html
http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5054&typ=html
- [33] SCHWARZOVÁ, Pavla. *Závlahové stavby 1. přednáška 13.4.2011. Prezentace* [online]. Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 2011 [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/YHYS/zavlahy_2011_1.pdf
- [34] HOUDEK, Tomáš. *Metody stanovení evapotranspirace a její hodnoty v České republice*. České Budějovice, 2012. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra krajinného managementu. Vedoucí práce Václav Bystřický.
- [35] KOHUT, Mojmír, Jaroslav ROŽNOVSKÝ a Filip CUCHMA. *VLÁHOVÁ BILANCE ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINY* [online]. In: . s. 14 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <http://cbks.cz/sbornik08b/Kohut.pdf>
- [36] ČSN 75 0434. *Meliorace. Potřeba vody pro doplňkovou závlahu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [37] *Weather Underground* [online]. Brookhaven: The Weather Company, an IBM business, c2014-2021 [cit. 2021-12-10]. Dostupné z: <https://www.wunderground.com/>
- [38] *IRIMON E-SHOP* [online]. Praha: IRIMON, © 1998-2021 [cit. 2021-12-24]. Dostupné z: <https://maloobchod.irimon.cz/>
- [39] NOVÁK, Petr. Cena vody 2021: Vodné a stočné v 219 městech ČR. *Skrblik* [online]. Praha: PUEBLO, c2012-2021 [cit. 2021-12-10]. Dostupné z: <https://www.skrblik.cz/energie/voda/cena-vody/>
- [40] ORŠULIAK, Jaroslav. *Studie závlahy RD s využitím šetrných vodních zdrojů*. Praha, 2021. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Pavla Schwarzová.
- [41] PLOTĚNÝ, Karel. *Webinář CzWa, Čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění*. 27.05.2021.

- [42] ČSN EN 16941-2. *Zařízení pro využití nepitné vody na místě – Část 2: Zařízení pro využití čištěné šedé vody*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2021.
- [43] *Mapy.cz* [online]. 2020 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://en.mapy.cz/zakladni?x=14.5419600&y=50.0937962&z=17>

7 Seznam obrázků

Obr. č. 1: Schéma systému využití dešťové vody [12]	14
Obr. č. 2: Zjednodušené schéma hospodaření se srážkovými vodami převzaté z evropské normy ČSN EN 16941-1 [13].....	15
Obr. č. 3: Zjednodušené schéma rozdělení objemového prostoru v nádrži	18
Obr. č. 4: Příklad stanovení využitelného objemu akumulční nádrže, převzato z [13].....	21
Obr. č. 5: Kalkulačka velikosti dešťové nádrže dostupná na internetových stránkách společnosti dešťovka.eu [17]	22
Obr. č. 6: Budova Drn-pohled z Mikulandské ulice	26
Obr. č. 7: Pohled ze střechy budovy do vnitrobloku.....	26
Obr. č. 8: Střecha budovy Drn, která získala ocenění Zelená střecha roku 2018.....	27
Obr. č. 9: Rozmístění experimentálních ploch v rámci ČR [43].....	29
Obr. č. 10: Poloha experimentální plochy Praha-Kyje [43].....	30
Obr. č. 11: Vyznačené řešené plochy na experimentální ploše Praha-Kyje [43].....	30
Obr. č. 12: Poloha experimentální plochy Žatecko [43]	31
Obr. č. 13: Vyznačené řešené plochy na experimentální ploše Žatec	31
Obr. č. 14: Poloha experimentální plochy Vysočina [43]	32
Obr. č. 15: Vyznačené řešené plochy na experimentální ploše Vysočina.....	32
Obr. č. 16: Intenzita sucha – rok 2012 [27].....	33
Obr. č. 17: Intenzita sucha – rok 2015 [27].....	34
Obr. č. 18: Intenzita sucha – rok 2018 [27].....	34
Obr. č. 19: Intenzita sucha – rok 2020 [27].....	34
Obr. č. 20: Průměrný roční úhrn srážek za období 1981-2010 [28].....	35
Obr. č. 21: Průměrná roční teplota za období 1981-2010 [28]	35
Obr. č. 22: Dlouhodobé roční srážkové úhrny ve stanici Praha-Libuš.....	36
Obr. č. 23: Dlouhodobé roční průměrné teploty ve stanici Praha-Libuš.....	36
Obr. č. 24: Dlouhodobé roční srážkové úhrny ve stanici Žatec	37
Obr. č. 25: Dlouhodobé roční průměrné teploty ve stanici Žatec	37
Obr. č. 26: Dlouhodobé roční srážkové úhrny ve stanici Svratouch.....	38
Obr. č. 27: Dlouhodobé roční průměrné teploty ve stanici Svratouch	38



Obr. č. 28: Dlouhodobé roční srážkové úhrny-porovnání.....	39
Obr. č. 29: Dlouhodobé roční průměrné teploty-porovnání.....	39
Obr. č. 30: Přístroj Mastersize 3000 na ČVUT Fakultě stavební.....	41
Obr. č. 31: Připravený půdní vzorek	42
Obr. č. 32: Přidání vzorku do nádoby s vodou.....	42
Obr. č. 33: Software s naměřenými daty	42
Obr. č. 34: Čára zrnitosti pro oblast Žatecko	43
Obr. č. 35: Čára zrnitosti pro oblast Vysočina	43
Obr. č. 36: Trojúhelníkový diagram s vyznačenými druhy půd v lokalitách Žatecko a Vysočina	44
Obr. č. 37: Čára zrnitosti pro lokalitu Praha-Kyje (převzato z [30]).....	45
Obr. č. 38: Trojúhelníkový diagram s vyznačeným půdním druhem pro lokalitu Praha-Kyje (převzato z [30]).....	45
Obr. č. 39: Roční srážkové úhrny v jednotlivých krajích [22].....	50
Obr. č. 40: Průměrná měsíční vláhová potřeba a srážkové úhrny [22]	50
Obr. č. 41: Grafické zobrazení hodnot ETP v teplých a chladných měsících VO za 25 let.....	51
Obr. č. 42: Schéma rozmístění postřikovačů na řešené ploše Praha-Kyje [30]	54
Obr. č. 43: Ovládací jednotka Hunter PRO-HC.....	55
Obr. č. 44: Vnitřní prostředí se svorkovnicí a trafostanicí	55
Obr. č. 45: Hustota sítě meteostanic v periferních oblastech (Žatecko, Vysočina) – horní mapky a hustota sítě meteostanic v Praze – dolní mapka [37]	56
Obr. č. 46: Nastavení automatických korekcí na experimentálních plochách při využití metody závlahového kalendáře	57
Obr. č. 47: Nastavení automatických korekcí na experimentálních plochách při využití metody závlahového intervalu	58
Obr. č. 48: Srážkové úhrny ve VO v lokalitě Praha-Kyje [29]	62
Obr. č. 49: Srážkové úhrny ve VO v lokalitě Žatecko [29]	62
Obr. č. 50: Srážkové úhrny ve VO v lokalitě Vysočina [29]	62
Obr. č. 51: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Praha-Kyje v letech 1996-2020.....	68
Obr. č. 52: Průměrné % zachycení srážkové vody pro lokalitu Praha-Kyje	71
Obr. č. 53: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového kalendáře v lokalitě Praha-Kyje.....	73
Obr. č. 54: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového intervalu v lokalitě Praha-Kyje	74
Obr. č. 55: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Praha-Kyje	75



Obr. č. 56: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,5 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Praha-Kyje	76
Obr. č. 57: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 3 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Praha-Kyje.....	76
Obr. č. 58: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Praha-Kyje.....	77
Obr. č. 59: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Žatecko v letech 1996-2020	79
Obr. č. 60: Průměrné % zachycení srážkové vody pro lokalitu Žatecko	81
Obr. č. 61: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového kalendáře v lokalitě Žatecko	83
Obr. č. 62: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového intervalu v lokalitě Žatecko	84
Obr. č. 63: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 3,75 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Žatecko.....	85
Obr. č. 64: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 3 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Žatecko.....	86
Obr. č. 65: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,25 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Žatecko.....	86
Obr. č. 66: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Žatecko.....	87
Obr. č. 67: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Vysočina v letech 1996-2020.....	89
Obr. č. 68: Průměrné % zachycení dešťové vody pro lokalitu Vysočina	91
Obr. č. 69: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového kalendáře v lokalitě Vysočina.....	93
Obr. č. 70: Četnost maximální návratnosti nádrže daného objemu při uvážení dotace a bez dotace pro metodu závlahového intervalu v lokalitě Vysočina	94
Obr. č. 71: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,75 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Vysočina	95
Obr. č. 73: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,25 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Vysočina.....	96
Obr. č. 72: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 5 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového kalendáře v lokalitě Vysočina	96
Obr. č. 74: Roční bilance vody ve vegetačním období v nádrži o velikosti 4,5 m ³ při ovládnání automatického závlahového systému pomocí závlahového intervalu v lokalitě Vysočina.....	97
Obr. č. 75: Bilance využití vodních zdrojů pro směrodatně suchý rok 2015 (převzato z [40]) ..	98

8 Seznam tabulek

Tab. č. 1: Hydrologická bilance přítoku a odtoku do vsakovacích či retenčních nádrží [14].....	16
Tab. č. 2: Součinitel sběrné plochy e [13].....	19
Tab. č. 3: Výše podpory v rámci oblasti podpory "Dešťovka" (převzato z [23])	25
Tab. č. 4: Roční srážkové úhrny a nadmořská výška řešených oblastí	33
Tab. č. 5: Půdní charakteristiky řešených lokalitách.....	46
Tab. č. 6: Výsledné hodnoty ETP dle Ivanovova pro řešené lokality v teplých a chladných měsících za 25 let.....	51
Tab. č. 7: Přehledná tabulka rozlišení použitých metod zavlažování	59
Tab. č. 8: Tabulka průměrných úhrnů srážek a simulované potřeby vody pro závlivku ve vegetačním období v letech 1996-2020	60
Tab. č. 9: Tabulka výsledných hodnot při využití kalkulátoru společnosti Nicoll [18]	63
Tab. č. 10: Tabulka výsledných hodnot při využití kalkulátoru na e-shopu Dešťovka.eu [17] ..	63
Tab. č. 11: Tabulka výsledných hodnot při využití kalkulátoru společnosti Aquanix [20]	64
Tab. č. 12: Tabulka výsledných hodnot při využití kalkulátoru společnosti Perfectfactory [19]	64
Tab. č. 13: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Praha-Kyje v letech 1996-2020.....	69
Tab. č. 14: Průběh zavlažování v extrémním období roku 2018 v lokalitě Praha-Kyje.....	70
Tab. č. 15: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládání automatického závlahového systému pomocí metody závlahového kalendáře v lokalitě Praha-Kyje.....	72
Tab. č. 16: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládání automatického závlahového systému pomocí metody závlahového intervalu v lokalitě Praha-Kyje	74
Tab. č. 17: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Žatecko v letech 1996-2020.....	78
Tab. č. 18: Průběh zavlažování v extrémním období roku 2018 v lokalitě Žatecko.....	80
Tab. č. 19: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládání automatického závlahového systému pomocí metody závlahového kalendáře v lokalitě Žatecko	82
Tab. č. 20: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládání automatického závlahového systému pomocí metody závlahového intervalu v lokalitě Žatecko	84
Tab. č. 21: Potřeba vody pro závlahu ve vegetačním období v lokalitě Vysočina v letech 1996-2020.....	88
Tab. č. 22: Průběh zavlažování v extrémním období roku 2018 v lokalitě Vysočina.....	90
Tab. č. 23: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládání automatického závlahového systému pomocí metody závlahového kalendáře v lokalitě Vysočina.....	92
Tab. č. 24: Četnost ekonomické návratnosti nádrží daných velikostí pro ovládání automatického závlahového systému pomocí metody závlahového intervalu v lokalitě Vysočina	94



Tab. č. 25: Potřeba doplňkové vody (studniční) pro různé metody výpočtu (převzato z [40])... 98
Tab. č. 26: Tabulka hodnot velikostí akumulčních nádrží získaných všemi testovanými metodami..... 100

9 Seznam příloh

Příloha č. 1: Ukázka tabulek výsledných hodnot simulace zachytávání srážkové vody v akumulčních nádržích různých velikostí v lokalitě Praha-Kyje v období od 1.4. do 31.10. v letech 1996-2020 při KALENDÁŘNÍ metodě ovládnání závlahového systému (software Hydrawise)

Příloha č. 2: Ukázka tabulek výsledných hodnot simulace zachytávání srážkové vody v akumulčních nádržích různých velikostí v lokalitě Praha-Kyje v období od 1.4. do 31.10. v letech 1996-2020 při INTERVALOVÉ metodě ovládnání závlahového systému (software Hydrawise)

Příloha č. 3: Ukázka simulace náplní akumulční nádrže v denním kroku pro vegetační období roku 2020 v lokalitě Praha-Kyje

Příloha č. 4: Grafy ekonomické návratnosti různých velikostí akumulčních nádrží v letech 1996-2020 v lokalitě Praha-Kyje v případě získání dotace a bez dotace pro KALENDÁŘNÍ metodu ovládnání závlahového systému

Příloha č. 5: Grafy ekonomické návratnosti různých velikostí akumulčních nádrží v letech 1996-2020 v lokalitě Praha-Kyje v případě získání dotace a bez dotace pro INTERVALOVOU metodu ovládnání závlahového systému

Příloha č. 6: Ukázka tabulek výsledných hodnot simulace zachytávání srážkové vody v akumulčních nádržích různých velikostí v lokalitě Žatecko v období od 1.4. do 31.10. v letech 1996-2020 při KALENDÁŘNÍ metodě ovládnání závlahového systému (software Hydrawise)

Příloha č. 7: Ukázka tabulek výsledných hodnot simulace zachytávání srážkové vody v akumulčních nádržích různých velikostí v lokalitě Žatecko v období od 1.4. do 31.10. v letech 1996-2020 při INTERVALOVÉ metodě ovládnání závlahového systému (software Hydrawise)

Příloha č. 8: Ukázka simulace náplní akumulční nádrže v denním kroku pro vegetační období roku 2020 v lokalitě Žatecko

Příloha č. 9: Grafy ekonomické návratnosti různých velikostí akumulčních nádrží v letech 1996-2020 v lokalitě Žatecko v případě získání dotace a bez dotace pro KALENDÁŘNÍ metodu ovládnání závlahového systému

Příloha č. 10: Grafy ekonomické návratnosti různých velikostí akumulčních nádrží v letech 1996-2020 v lokalitě Žatecko v případě získání dotace a bez dotace pro INTERVALOVOU metodu ovládnání závlahového systému

Příloha č. 11: Ukázka tabulek výsledných hodnot simulace zachytávání srážkové vody v akumulčních nádržích různých velikostí v lokalitě Vysočina v období od 1.4. do 31.10. v letech 1996-2020 při KALENDÁŘNÍ metodě ovládnání závlahového systému (software Hydrawise)

Příloha č. 12: Ukázka tabulek výsledných hodnot simulace zachytávání srážkové vody v akumulčních nádržích různých velikostí v lokalitě Vysočina v období od 1.4. do 31.10. v letech 1996-2020 při INTERVALOVÉ metodě ovládnání závlahového systému (software Hydrawise)

Příloha č. 13: Ukázka simulace náplní akumulční nádrže v denním kroku pro vegetační období roku 2020 v lokalitě Vysočina

Příloha č. 14: Grafy ekonomické návratnosti různých velikostí akumulčních nádrží v letech 1996-2020 v lokalitě Vysočina v případě získání dotace a bez dotace pro KALENDÁŘNÍ metodu ovládnání závlahového systému

Příloha č. 15: Grafy ekonomické návratnosti různých velikostí akumulčních nádrží v letech 1996-2020 v lokalitě Vysočina v případě získání dotace a bez dotace pro INTERVALOVOU metodu ovládnání závlahového systému

Příloha č. 16: Ukázka výpočtu evapotranspirace dle Ivanovova ve vegetačním období v letech 1996-2020 v řešených lokalitách