

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Automatický zavlažovací systém
Petr Fous

Bakalářská práce
2021

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Petr Fous**
Osobní číslo: **I18039**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Téma práce: **Automatický zavlažovací systém**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

Zásady pro vypracování

Seznamte se s problematikou zavlažovacích systémů. V teoretické části popište běžně používané části zavlažovacího systému a dostupné parametry nastavení zavlažovacích jednotek.

Navrhněte řídicí jednotku, která bude umožňovat nastavení zavlažovacího systému podle kritérií specifikovaných v teoretické části práce, především bude možné nastavit více na sobě nezávislých programů. Časové nastavení programů jednotky bude realizováno přes internet.

Součástí práce bude teoretický rozbor úlohy, schéma zapojení, konstrukce a oživení jednotky včetně ověření funkce.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

[1] MAROUŠEK, Jan. *Zavlažování*. 1. vyd. Brno: ERA, 2008, vi, 111 s. Stavíme. ISBN 978-80-7366-119-9.

[2] UPTON, Eben a Gareth HALFACREE. *Raspberry Pi: užívatelská příručka*. Brno: Computer Press, 2013. ISBN 9788025141168.

[3] ROSEBROCK, Eric a Eric FILSON. *Linux, Apache, MySQL a PHP: instalace a konfigurace prostředí pro pokročilé webové aplikace*. Praha: Grada, 2005. Průvodce (Grada). ISBN 8024712601.

[4] CHIN, Stephen a WEAVER, James. *Raspberry Pi with Java: Programming the Internet of Things (IoT)*. Oracle Press, 2015, ISBN 9780071842013.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Roleček

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2021**

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce, jako školního díla, podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 14. 05. 2021

Petr Fous

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Jiřímu Rolečkovi za ochotu, komunikaci a rady, které mi v průběhu práce dal. Dále bych chtěl poděkovat rodině, kamarádům a všem, co mě v průběhu celého studia podporovali.

Anotace

V této bakalářské práci je řešena jak problematika zavlažování, tak i úspora vody a času. V teoretické části práce jsou popsány druhy zavlažování, typy zavlažovacích systémů a jednotky s periferiemi. Následuje konstrukce uložení jednotky a celkové řešení softwarové části. Závěrem je zde uživatelský manuál pro lepší přehlednost.

Klíčová slova

Programování, databáze, zavlažovací systém, jednotka, PHP

Title

Automatic irrigation system

Annotation

The bachelor's thesis addresses both the issue of irrigation and water and time savings. The theoretical part describes the types of irrigation, irrigation systems and units with peripherals. Furthermore, the construction of the unit storage and the overall solution of the software part. Besides, there is a user manual to provide more clarity.

Keywords

Programming, database, irrigation system, unit, PHP

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	9
Úvod	10
1 Začátek závlah	11
2 Automatický zavlažovací systém	12
2.1 Nadzemní a podzemní zavlažovací systém	12
2.2 Typy zavlažovacích systémů	13
3 Jednotky zavlažovacích systémů	15
3.1 Typy jednotek	15
3.1.1 ESP-TM2 Outdoor ovládací jednotka, 12 sekcí	16
3.1.2 Rain Bird ESP-RZX RZX8i, 8 sekcí	17
3.1.3 Hydrawise Wi-Fi ovládací jednotka, 24 sekcí.....	18
3.2 Komponenty k jednotkám	18
3.2.1 Elektromagnetický ventil.....	18
3.2.2 LNK WiFi modul pro jednotky Rain Bird.....	19
3.2.3 Čidlo srážek	20
3.2.4 Čidlo větru/mrazu	21
3.2.5 Automatické vlhkostní čidlo.....	21
4 Realizace automatických závlah	22
4.1 Údržba, nastavení, výhody	23
5 Návrh jednotky	24
5.1 Raspberry Pi Zero W	25
5.2 Relé modul.....	25
5.3 Konstrukce zařízení	26
5.3.1 3D tisk	26
5.4 Potřebné programy	27
5.4.1 Apache2	27
5.4.2 MariaDB	28
5.4.3 phpMyAdmin	30
5.4.4 PHP, HTML, CSS	30

5.4.5	Java	31
6	Uživatelský manuál	31
6.1	Konfigurace a upevnění jednotky	31
6.2	Webové rozhraní jednotky.....	32
7	Blokové schéma.....	34
8	Ukázky kódů	35
9	Možná vylepšení, ostatní využití jednotky	39
Závěr		40
Literatura		41
Přílohy		43

Seznam zkratk

LCD	Liquid crystal display
GND	Ground
GPIO	General-purpose input/output
UV	Ultrafialové záření

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Systém studní puquitos [1]	12
Obrázek 2 - Příklad nadzemní závlahy [3]	13
Obrázek 3 - Příklad podzemních závlah [3]	13
Obrázek 4 - Rain Gun [5]	14
Obrázek 5 - Rozprašovač s postřikovací hlavou [6].....	14
Obrázek 6 - Stabilní postřikovač [7].....	15
Obrázek 7 - Kapková závlaha [8]	15
Obrázek 8 - ESP-TM2 [9]	16
Obrázek 9 - ESP-RZX [12]	17
Obrázek 10 - Hunter jednotka [14], software [15]	18
Obrázek 11 - Elektromagnetický ventil [16]	19
Obrázek 12 - Wifi modul [18]	20
Obrázek 13 - Čidlo srážek [20]	20
Obrázek 14 - Čidlo větru, mrazu [21].....	21
Obrázek 15 - Čidlo vlhkosti [23].....	22
Obrázek 16 - Příklad výkresu závlah [24]	23
Obrázek 17 - Raspberry piny	25
Obrázek 18 - Relé modul.....	26
Obrázek 19 - Krabička.....	27
Obrázek 20 - Tabulka programy.....	28
Obrázek 21 - Tabulka ventily	29
Obrázek 22 - Relace mezi tabulkami.....	29
Obrázek 23 - phpMyAdmin přihlášení.....	30
Obrázek 24 - Wpa_supplicant.conf	32
Obrázek 25 - Hlavní stránka.....	32
Obrázek 26 - Tlačítko přidej program	33
Obrázek 27 - Stránka s parametry	33
Obrázek 28 - Doba spuštění.....	34
Obrázek 29 - Blokové schéma.....	34

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Ruční závlaha	24
Tabulka 2 - Automatická závlaha.....	24
Tabulka 3 - Inicializace pinů	25

Úvod

Cílem této práce je navrhnout automatický zavlažovací systém. Jeho smyslem je úspora vody a času. Závlaha se řešila už od pradávna. První zmínky o zavlažování zanechali lidé kultury Nazca, kteří vymysleli geniální systém akvaduktů-puquios, kdy se využíval vítr k vytváření tlaku a nahánění vody z podloží až do vesnic. V dnešní době plně technologií je možné mnoho věcí zautomatizovat, téměř v každé domácnosti máme zařízení, které pouze zapneme a o zbytek se postará. V tomto projektu se budeme zabývat problematikou plýtvání vody při neefektivním zavlažování. Na většině zahrad je téměř nereálné, všechno optimálně zavlažit bez pomoci jakékoliv techniky. Je to velmi náročné časově, na spotřebu vody a takový způsob zalévání je velmi neefektivní. Tato práce je navržena a zhotovena tak, aby se jednotka dala použít kdekoliv s co nejvyšší efektivitou. Celý systém je automatický, takže stačí jen navolit parametry pro zalévání a jednotka se už postará o zbytek. Jedná se o navolení např. dnů v týdnu, až po spuštění jednotlivých ventilů. Zadávaní parametrů pro závlahu je řešeno přes webovou stránku, kde si uživatel zvolí v jaké dny bude závlaha spuštěna a v jaký čas. Ventily, které lze k jednotce připojit mohou být rozřazeny do sekcí podle plochy, kterou je třeba zavlažit. Srdcem projektu je Raspberry Pi Zero W, na kterém běží webový server Apache2, relační databáze MariaDB, do které se všechny hodnoty zapisují. Celá jednotka je připojena k internetu přes WiFi.

1 Začátek závlah

V peruánské části pouště Atacama leží oblast Nazca, která patří k nejmrtvějším místům na planetě. Na jedné straně je Pacifik na druhé jsou Andy. Z tohoto důvodu se voda této oblasti vyhýbá. Od oceánu jde vzduch, který se na studeném pobřeží ochlazuje, houstne a klesá dolů. Mraky se vypaří do vyšších vrstev, takže se nestihnou nikde vypršet. Z druhé strany brání štítý hor vlhkému vzduchu z Amazonie, takže odtud se vlaha také nedostane. V této oblasti jsou dešťové srážky velmi ojedinělé. Ročně se zde naměří nejvýše 15 mm srážek a v některých místech dokonce pouhá pětina. Je zde tedy méně srážek než na Sahaře nebo v severoatlantickém Mrtvém údolí. Jsou zde přítoky řeky Rio Grande de Nazca, které jsou po většinu roku vyschlé. I přes kritické klimatické podmínky, kdy je zde celoročně sucho, tu lidé žijí už tisíce let.

Voda je v této oblasti jedna z největších starostí obyvatel, co zde žijí. První příchozí na toto místo uznávali vodní božstva, což dokazují rituální předměty, které zde byly nalezeny. Mnoho ozdob symbolicky odkazuje k vodě, například postavy vyryté do skal, které vládnou nad vlnami. Avšak ani přes veškerou snahu tehdejších obyvatel se jim nedařilo déšť přivolat. Pro svoji obživu si museli osadníci obstarat alespoň minimální příjem vody, aby mohli zavlažit svoje políčka. Během suchých období pak vznikla síť propojených studní, kterým se říká puquios.

Moderní archeologie je poprvé objevila v 30. letech 20 století, ale pozornost se jim dostala až půl století poté. Puquitos nejsou jen „studny“. Je to promyšlený systém propojených tunelů, které podle nejnovějších teorií využívaly vítr k vytváření tlaku a nahánění vody z podloží až do vesnic. Na tomto vynálezu závisela obživa a přežití lidí.

Voda se v této oblasti nachází, ale jen pod zemským povrchem. Aby osadníci mohli vodu využívat, museli vyhloubit obrovskou studnu a vodu z ní pracně vytahovat. Tento systém je namáhavý a pracný, proto vznikly puquios. Hlavní studna se vrtá do mírného svahu, až se narazí na vodu. Dále se ze strany svahu začne hloubit tunel, který lehce stoupá, až do bodu, kde dosáhli podzemní hladiny. Voda se pak svádí do místa, kde vznikne nádrž, ke které je snadný přístup a odtud se může brát.

Puquitos, které se dochovaly, jsou jasnou známkou zručnosti a pečlivosti obyvatel, co zde žili. Tunely byly odolné, stabilní a udržované. [1]



Obrázek 1 - Systém studní puquitos [1]

2 Automatický zavlažovací systém

Voda je přírodní zdroj, se kterým by se nemělo zbytečně plýtvat. Použitím automatických zavlažovacích systémů se dá ušetřit až 70% vody [2] oproti tradičním metodám. Díky přesnému zavlažování se k rostlinám dostane takové množství vody, jaké skutečně potřebují. Zavlažovat se mohou velké travnaté plochy, například parky, zahrady, záhony, truhlíky nebo květináče. Podle potřeby se pak volí zavlažovací systém, aby přesně vyhovoval parametrům, ke kterým má být určen. Díky automatickým zavlažovacím systémům jsou krásně zelené parky, rostliny mají více plodin, a hlavně je to časově nenáročné.

2.1 Nadzemní a podzemní zavlažovací systém

Závlahový systém se může rozdělit na dva hlavní segmenty. Prvním je závlaha nadzemní. U tohoto řešení, jak je z názvu patrné, budou postřikovače umístěny na zahradu, záhonek, nebo kamkoliv, kde je potřeba. Tento způsob je poněkud nepraktický, protože přírodní hadice s vodou jsou taženy na povrchu a mohou překážet nebo dělat žluté plochy na trávníku, což je nežádoucí. Postřikovače, které se používají u nadzemní závlahy jsou například překlápěcí nebo kruhové. Nevýhodou takových rozstřikovačů je, voda stříkající do výšky. Pokud je větrno, nemá tato závlaha takovou účinnost. Dalším faktorem u větších zahrad je nutnost posouvání rozstřikovače, aby obsáhl celou plochu, ale ani to nezajistí rovnoměrnou závlahu. Pro menší zahrady, které rozstřikovač pokryje celou, může být systém doplněn o

programovací jednotku. Hlavní výhodou tohoto systému je cenová dostupnost. Stačí pořídit rozstříkovač, mít připojení k vodovodnímu systému a zavlažování může začít. [3]



Obrázek 2 - Příklad nadzemní závlahy [3]

Druhou možností je podzemní zavlažovací systém. U takového řešení je třeba počítat s větší počáteční investicí, ale tím je vykompenzována úspora času, věčně zeleného trávníku a zdravých, hojně plodících rostlin. Hlavní výhodou celého systému je, že je ukrytý pod zemí a rozprašovače se vysouvají jen při zavlažování. Tento systém je plně automatický, takže si uživatel zvolí parametry pro závlahu a o zbytek se jednotka postará. Tyto systémy mohou být doplněny o mnoho užitečných čidel nebo senzorů. Ať už jsou to čidla dešťová nebo třeba půdní vlhkoměr. [3]



Obrázek 3 - Příklad podzemních závlah [3]

2.2 Typy zavlažovacích systémů

Na trhu je mnoho druhů závlah. Všechno se odvíjí od velikosti plochy, druhu rostlin, na jaké ploše se budou zavlažovače vyskytovat a mnoho dalších faktorů. Dominantním zavlažovačem u zemědělců a v krajinách po celém světě je postříkovač. Tam, kde je potřeba zavlažovat velké plochy se používá tzv. Rain Gun (dešťová děla) viz obrázek 4. Tyto postříkovače dokážou rozdělit vodu v objemu nad 100 m³ za hodinu s dostřikem až 70 m. Mohou být například otočné nebo stabilní. Nejjednodušší jsou postříkovací hlavy, které stříkají vodu na zem. Výhoda pro uživatele je ta, že nemají žádné otočné nebo pohyblivé části, proto nejsou náročné na údržbu. Uživatel si však musí uvědomit, že k těmto

postřikovačům je třeba mít čerpadlo a výrobcem daný minimální tlak, aby byla zajištěna správná funkce. [4]



Obrázek 4 - Rain Gun [5]

Tam, kde hrozí riziko poškození rostlin velkými kapkami se používají rozprašovače s postřikovací hlavou. Jejich dostřik je cca 5 m. Tyto rozstřikovače se nedoporučují dávat do větrných oblastí, kde by ztratily svoji vysokou účinnost. Typickým příkladem, kde se tato závlaha vyskytuje je skleníků. Jsou zde ideální povětrnostní podmínky a rostlinám vyhovují drobné kapky. [4]



Obrázek 5 - Rozprašovač s postřikovací hlavou [6]

Dalším druhem jsou postřikovače stabilní. Tato zařízení jsou instalována především v hornatých oblastech nebo na svazích, kde jsou po celou sezónu. Musí se zajistit určité množství postřikovačů na hektar. Toto zajišťuje, že každý metr čtvereční bude zavlažen určitým množstvím vody, které ale není rovnoměrné. [4]



Obrázek 6 - Stabilní postřikovač [7]

Posledním druhem závlahy, který stojí za zmínku, je kapková závlaha. Tento způsob se stává ve světě čím dál více populární, hlavně pro svoji efektivitu a úsporu vody. Při této metodě téměř nedochází ke ztrátě vypařováním nebo odtokem. Voda se dostane přímo ke kořenům. Tento systém zavlažování je ideální ve svazích nebo v hornatých oblastech, protože nedochází k odtékání vody z povrchu. Nevýhodou této závlahy je však náročnost instalace a finanční nákladnost. Vyžaduje také velkou přesnost regulace vodního tlaku při instalaci, což také zvyšuje náklady. [4]



Obrázek 7 - Kapková závlaha [8]

3 Jednotky zavlažovacích systémů

3.1 Typy jednotek

V dnešní době je na trhu mnoho jednotek. Dodávají je různé firmy, ať už tuzemské nebo zahraniční. Pro každou zahradu, truhlík nebo jakoukoliv travnatou plochu je vhodná jiná. Můžeme mít jednotky vnitřní, venkovní, s připojením na internet a mnoho dalších faktorů. Jednotlivé typy popsaných jednotek byly vybrány od různých značek. Každá je však trochu odlišná od ostatních.

3.1.1 ESP-TM2 Outdoor ovládací jednotka, 12 sekcí

Tato externí jednotka se zabudovaným transformátorem je vhodná pro realizaci v soukromých zahradách, ale také pro středně velké systémy na komerčních plochách. Jednotka dokáže řídit až 12 sekcí. Na jednotce je LCD podsvícený displej, otočné kolečko pro výběr, pět tlačítek, z nichž je jedno pro volbu programu. K této jednotce lze připojit například WiFi modul nebo dálkové ovládání. Uvnitř je pro tyto periferie osazený pětipinový port. Bohužel dálkové ovládání je podle výrobce udáváno jen pro americký trh.



Obrázek 8 - ESP-TM2 [9]

Protože je jednotka venkovní, stačí najít vhodné místo, kde je přístup ke zdroji napájení 230 V. Na podklad se přišroubuje základní vrut, kam se pověsí. Jakmile je jednotka vyrovnána našroubuje se druhý vrut zevnitř krabičky. K připojení kabelů od ventilů slouží otvor ve spodní části nebo vylamovací otvory na zadní straně jednotky. Uvnitř je očíslovaná svorkovnice, kam se připojují vodiče z ventilů. Tato jednotka je vybavena transformátorem, takže lze odpojit vidlicový kabel a napájení provést přímo 230 V. [10]

Vybrané možnosti jednotky:

- 3 samostatné programy
- 4 startovací časy pro program
- výběr ze 4 závlahových režimů (sedmidenní týden, sudé/liché dny, cyklické dny)
- procentuální úprava dob závlahy nastavitelná pro celou jednotku, nebo pro jednotlivé programy
- překlenutí čidla srážek pro celou ovládací jednotku, nebo pro jednotlivé sekce
- nastavitelná pauza mezi sekcemi (1 vteřina až 9 hodin)
- Master valve nastavitelný pro jednotlivé sekce
- doba závlahy 1 minuta až 6 hodin
- nastavitelný permanentní den bez závlahy
- funkce odloženého zavlažování (1 až 14 dní)
- možnost spuštění 1 ventilu plus 1 hlavního ventilu (Master valve)

3.1.2 Rain Bird ESP-RZX RZX8i, 8 sekcí

Tato interní ovládací jednotka je vhodná pro řízení menších a středně velkých zavlažovacích systémů. Jednotkou lze ovládat elektroventily a připojit k ní až 8 sekcí. Ovládání této jednotky je intuitivní, jsou zde tlačítka s grafickými ikonami a čtyři tlačítka, která slouží pro výběr a listování. Na LCD displeji jednotky se zobrazují najednou všechny naprogramované parametry jednotlivých sekcí. Nezávislé programování každé sekce umožňuje maximální přizpůsobení, přesně podle odlišné potřeby závlahy. Jednotka má záložní napájení 2xAAA, která se stará o zachování údajů o čase, datu a stálého zálohování parametrů programu díky nesmazatelné paměti jednotky. Tento model je možné opět doplnit o WiFi modul, díky kterému lze zařízení spravovat přes domácí síť. Tato periferie umožňuje vzdálené programování, ovládání jednotky, a navíc možnost každodenní úpravy doby zavlažování podle dat z meteoservertů. [11]

Přednosti jednotky:

- velký LCD displej s přehledným uživatelským prostředím
- čidlo počasí s možností softwarového překlenutí
- okruh hlavního ventilu/relé spouštění čerpadla
- nesmazatelná paměť pro trvalé uložení programu

Vybrané programovací funkce:

- individuální programování všech zón s flexibilním nastavením parametrů (doba zavlažování, startovací časy atd.)
- 6 nezávislých startovacích časů na zónu a den
- 4 režimy nastavení závlahových dní (dny v týdnu, sudé/liché dny, nastavení intervalu závlahových dnů v rozmezí 14 dní)
- manuální spouštění jednotlivé zóny nebo všech zón v cyklu
- uložení/zpětné vyvolání základního nastavení



Obrázek 9 - ESP-RZX [12]

3.1.3 Hydrawise Wi-Fi ovládací jednotka, 24 sekcí

Tato jednotka je ovládána přes internet, mobilní telefon nebo tablet a je vybavena webovým softwarem Hunter Hydrawise. Je zde možnost vzdáleného spravování závlahového systému, úprava doby zavlažování v závislosti na předpovědi počasí a dále je vybavena barevným dotykovým displejem, který je podsvícený. Připojení k internetu je možné pouze přes síť WiFi. Tato jednotka se dá použít jak ve vnitřním prostředí, tak i ve vnějším. Může zde být zapojeno až 24 sekcí. Jednotka má i možnost připojit 2 ventily na jeden výstup sekce.

Na úvodním panelu se mohou manuálně spouštět jednotlivé sekce nebo v předurčených délkách i všechny a dají se najednou zastavit nebo odložit. Vedle sekcí jsou zobrazeny údaje o aktuálním a minulém počasí. Dále je na spodní straně displeje předpověď na další dny. Je-li připojeno čidlo srážek, je na panelu k nalezení stav tohoto čidla. Jako poslední je zde informace, která vyhodnocuje, jak efektivně je nastavena jednotka oproti minulému nastavení, jedná se hlavně o úsporu vody vlivem přednastavených funkcí. V panelu programování sekcí jsou uvedeny všechny dosud nastavené zóny, které jsou uloženy v jednotce. Každá sekce je pojmenována a je zde informace o tom jak dlouho a jak často bude spuštěna. Je možné je různě přidávat, upravovat nebo mazat. [13]



Obrázek 10 - Hunter jednotka [14], software [15]

3.2 Komponenty k jednotkám

V tomto bloku jsou popsány periferie, které jsou pro závlahu nezbytné nebo doplňující čidla, která zefektivní zavlažování.

3.2.1 Elektromagnetický ventil

Elektromagnetické ventily jsou nezbytnou součástí automatických zavlažovacích systémů. Na trhu je mnoho druhů ventilů a každý je vhodný pro jiný typ závlahy. Některé jsou napájené 12 V, jiné 24 V, dále mohou být s regulací průtoku nebo bez regulace a další. Některé jsou uzavřené (normally closed) - bez napětí se tekutina nedostane skrz ventil. Druhou možností je ventil otevřený (normally open) - bez napětí tekutina prochází ventilem. Každá jednotka je individuálně přizpůsobena k připojení jiného množství těchto periférií. Při použití elektromagnetických ventilů se využívají boxy (šachty), ve kterých jsou tyto

ventily po celou sezónu uloženy, někdy se tam nechávají i celoročně a stačí je jen pečlivě zazimovat, aby nedošlo k poškození.

Vybrané vlastnosti ventilů:

- filtr pro odstranění nečistot z vody
- regulace průtoku
- manuální otvírání ventilů
- široký rozsah tlaků
- vnitřní odvzdušnění
- vnější šroub k ručnímu průplachu od nečistot
- oboustranný průtok

Přímo ovládaný elektromagnetický ventil se skládá z těla ventilu, trubky, jádra, o-kroužku, matice a konektoru. Ventil se nejprve připojí k potrubí, ve směru proudění kapaliny, tělo ventilu může obsahovat šipku, která také určuje směr. O-kroužek zajišťuje utěsnění. Jestliže je ventil k potrubí připojený v režimu N.C (normally closed) bez elektřiny, tekutina neproteče skrz. Musí tedy být cívka ventilu napájena v takovém rozsahu, který je uveden výrobcem, aby se přepnul do režimu N.O (normally open). Když se cívka napájí uvedeným proudem, jádro uvnitř se vytáhne nahoru a tekutina začne proudit. Ventilem kapalina proudí tak dlouho, dokud je přivedeno napájení. Po přerušení napájení cívka jádro pustí, a tak kapalina přestane tímto ventilem proudit. Ventil se tedy vrátí do své původní polohy N.C. [16]



Obrázek 11 - Elektromagnetický ventil [16]

3.2.2 LNK WiFi modul pro jednotky Rain Bird

Tento modul je pro jednotky od značky Rain Bird, které mají doplňkový slot pro WiFi. Jednotky, které umožňují připojení tohoto modulu, mohou být vzdáleně ovládány přes chytrý telefon, tablet (nezáleží na operačním systému, modul je kompatibilní jak s Androidem, tak s iOS) odkudkoliv. Po spárování modulu s jednotkou a chytrým zařízením, lze zavlažování ovládat kdekoliv pomocí aplikace. V ní si uživatel může měnit všechny parametry co na displeji samotné jednotky, ale také se dají nastavit upozornění, která například uživateli ohlásí změnu počasí a s tím spojenou úpravu závlahy. [17]



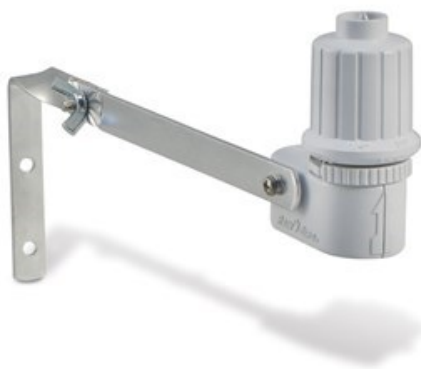
Obrázek 12 - Wifi modul [18]

3.2.3 Čidlo srážek

Jedná se o doplňkové čidlo, které lze připojit k jednotkám, u kterých to výrobce umožňuje. Díky tomuto čidlu se ušetří značné množství vody, protože když začne pršet, čidlo měří, kolik napršelo srážek a podle nastavení vypíná závlahu. Jednoduše to znamená, že když prší, čidlo se postará o vypnutí zavlažovacího systému. Možnost sepnutí až 3 elektromagnetických ventilů na sekci a jednoho hlavního ventilu. [19]

Vlastnosti čidla:

- práce se všemi 24 V jednotkami
- otočné kolečko pro nastavení aktivační srážkové výšky (3,2 – 20 mm)
- ventilační otvor pro vysychání čidla
- odolný materiál z polymeru, který odolává i UV záření
- hliníkové rameno s dosahem až 15,2 cm
- odolný, 7,6 m dlouhý UV vodič pro připojení k jednotce



Obrázek 13 - Čidlo srážek [20]

3.2.4 Čidlo větru/mrazu

Toto multifunkční čidlo je další doplňková periferie, která je velmi užitečná u zavlažovacích systémů. Je vhodné jak pro komerční využití, tak i pro menší zahrady u rodinných domů. Čidlo automaticky měří rychlost větru nebo teploty okolního prostředí. Díky těmto vlastnostem čidlo dokáže automaticky vypnout závlahu při nepříznivých podmínkách. Na čidle jsou dvě červená výstražná světla. Jedno světlo signalizuje překročení přednastavené rychlosti větru a druhá signalizace je pro pokles teploty pod nastavenou úroveň. Přívodní napětí pro toto čidlo je 24 V. [19]

Vlastnosti čidla:

- vypínací teplota 1-4 °C
- vypínací rychlost větru 3-90 km/h
- reset funkce pro teplotu i měření rychlosti větru



Obrázek 14 - Čidlo větru, mrazu [21]

3.2.5 Automatické vlhkostní čidlo

Toto čidlo, které automaticky měří vlhkost půdy, teplotu půdy a elektrickou vodivost, je další ze série doplňujících periférií pro zavlažovací jednotku. Díky čidlu je zavlažovací systém opět o něco šetrnější, co se týče plýtvání vody. Čidlo je navíc propojeno se svou vlastní ovládací jednotkou. Na panelu jednotky je displej, na kterém se ukazují hodnoty, jako například vlhkost půdy, teplota a také historie zavlažování. Dále jsou na panelu tlačítka Read Sensor, Soil Temp, Soil EC, Bypass.

Read Sensor: Zobrazení vlhkosti půdy, nastavení hranice půdní vlhkosti, kdy se zavlažování vypne.

Soil Temp: Zobrazí teplotu půdy, pomocí tlačítka Soil EC lze přepínat mezi °C a °F.

Soil EC: Zobrazení elektrické vodivosti půdy.

Bypass: Přepínání jednotky do stavu, kdy nebude mít na zavlažování žádný vliv.

Automatické čidlo má snímač, kterým přenáší digitální data. Celé je umístěno v zemi, kde každých 10 minut odesílá své jednotce informace o stavu půdy. Tato jednotka je propojená s hlavní jednotkou, která řídí chod ventilů a celého systému. Pokud čidlo vyhodnotí, že je půda dostatečně zavlažená, odešle informaci. Přerušení zavlažování je provedeno tak, že tato doplňková jednotka přeruší přívod elektrické energie k ventilům. Po třiceti minutách je přívod elektrické energie automaticky obnoven. Toto čidlo navíc umožňuje ovládat dvě sekce, které nejsou závislé na vlhkostním čidlu. Rozsah provozní teploty je od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do cca $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. [22]

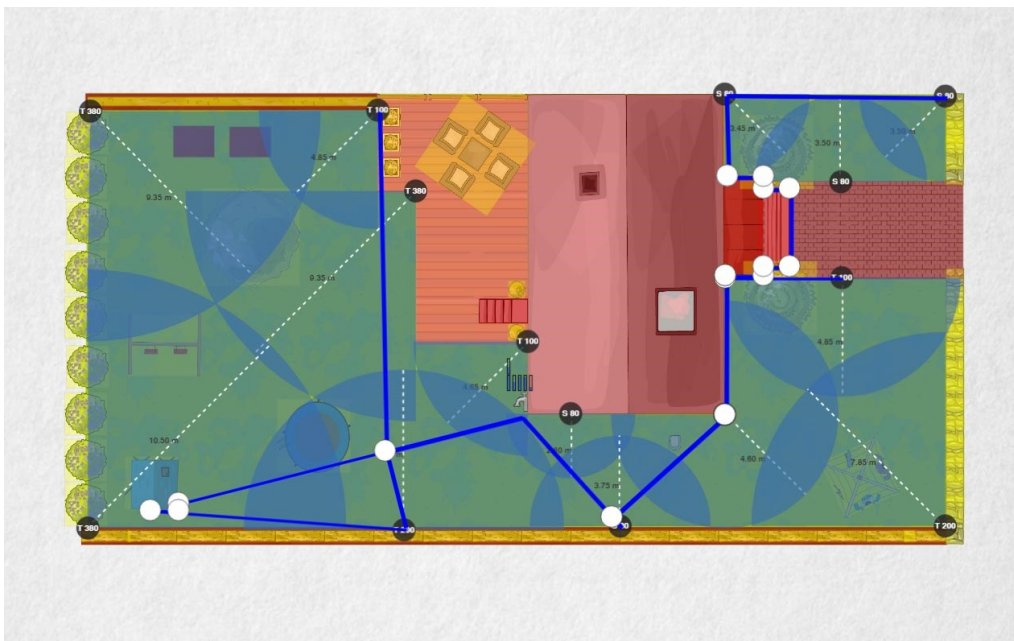


Obrázek 15 - Čidlo vlhkosti [23]

4 Realizace automatických závlah

V první řadě při návrhu automatického zavlažovacího systému, je nutné zajistit dostatečný přísun vody pro tento systém. Minimální průtok pro běžný systém se pohybuje kolem 25-30 litrů při tlaku alespoň 3 bary. Voda pro zavlažování může být dešťová, ze studny nebo z domácí čističky, důležité je mít její dostatek alespoň pro jeden cyklus.

Je-li zdroj vody vyřešen je možné přejít k hlavní části realizace. Důležitý je výkres pozemku, ideálně v poměru 1:100. Díky takto zvolenému měřítku lze lehce vypočítat reálnou velikost objektů. Na tomto výkresu musí být označeny všechny zavlažovače tak, aby došlo k rovnoměrnému pokrytí plochy. Na trhu je mnoho zavlažovačů, takže je někde vhodnější vybrat postřikovače otočné, jinde budou lepší s pevnou výsečí, všechno záleží na ploše, kterou je potřeba zavlažit. Informace o postřikovačích se dají snadno dohledat v katalogu od výrobce, kde bude i mnoho dalších informací, které pomohou při volbě vhodného zavlažovače.



Obrázek 16 - Příklad výkresu závlah [24]

Jestliže je plán závlah hotový, viz obrázek 16, může se přistoupit k rozdělení jednotlivých postřikovačů. Při rozdělování je nutné brát ohled na to, aby spotřeba větví nepřesáhla vydatnost zdroje. Jejich spouštění probíhá samostatně a zavlažovat bude tolik rozprašovačů, kolik je schopný zdroj vody pokrýt. Důležité při rozřazování je to, že se do jedné větve dávají postřikovače, které jsou stejného typu. Při návrhu závlahy je nutno uvažovat s poklesem tlaku v závislosti na délce a průtoku. Musí se tedy použít trubky vhodného průměru, aby se zajistila správná funkce všech trysek.

Příklad 1: Při použití trubky s průměrem 1" (25 mm), je nutné každých 10 m odečíst 0,21 baru, při průtoku 30 l/min.

Ještě před samotnou realizací je důležité upozornit, že každá větev je řízena samostatným elektromagnetickým ventilem. Ventily se uloží do země na štěrku, a položí se na ně šachta tak, aby byla rovnoběžně se terénem. Podle jejich počtu se zvolí vhodná jednotka, která je bude schopna všechny ovládat. Ta může být umístěna například v garáži, zahradním domku nebo na jiném vhodném místě s přívodem elektrické energie. Jakmile se nainstaluje jednotka, ventily, postřikovače, může se systém nastavit pro optimální zavlažování dané plochy. [25]

4.1 Údržba, nastavení, výhody

Pokud se celý zavlažovací systém zrealizuje, je nutné se o něj starat. Jejich většina pracuje brzy ráno nebo až později večer, a tak se může stát, že uživatel neodhalí závadu včas, protože ho v těchto hodinách obvykle nevidí fungovat. Pro správnou a dlouhodobou funkci je nutné části systému pravidelně kontrolovat. Častým problémem je například ztráta tlaku příčinou zaneseného filtru. Jednou za čas je dobré zkontrolovat i vysouvání a zasouvání postřikovačů. Když je systém v pořádku, zajistí se tak hospodárný provoz. Spotřebu vody lze regulovat

správným nastavením ovládacích jednotek. Určitě není vhodné po celý rok nechat plochu zavlažovat jedním nastavením jednotky. Důležité je, jak pro spotřebu vody, tak pro efektivitu závlahy, správné nastavení jednotky s ohledem na roční období nebo počasí. Většinu jednotek lze doplnit o různá čidla, která svou funkcí napomáhají ještě efektivnějšímu zavlažování. [26]

Zazimování ventilů je jedna z hlavních věcí, kterou je třeba udělat ještě, než začnou mrazy. Sice je závlaha podzemní, ale pořád je v hloubce, kde může voda při větších mrazech zamrznout. S tím je spojeno poškození jak potrubí, tak i samotných komponentů. Zazimování probíhá tak, že se potrubí připojí k silnému kompresoru, který vytlačí vodu ven. Toto se provádí do té doby, dokud z postřikovačů nebude foukat jen vzduch. Na jaře se jednotka zapne, provede se údržba postřikovačů, celý systém se zkontroluje a naprogramuje. [25]

Ruční závlaha pomocí hadice:

Tabulka 1 - Ruční závlaha

Výhody	Nevýhody
Nízké náklady na pořízení	Čas strávený u zavlažování
	Nerovnoměrné zavlažování

Automatická závlaha:

Tabulka 2 - Automatická závlaha

Výhody	Nevýhody
Úspora času	Náklady na pořízení
Rovnoměrné zalití potřebným množstvím vody	
Postřik v době, kdy má voda nejmenší odpar a má čas se vsáknout	
Nové jednotky vypočítají a dodají jen množství vody, které chybí	

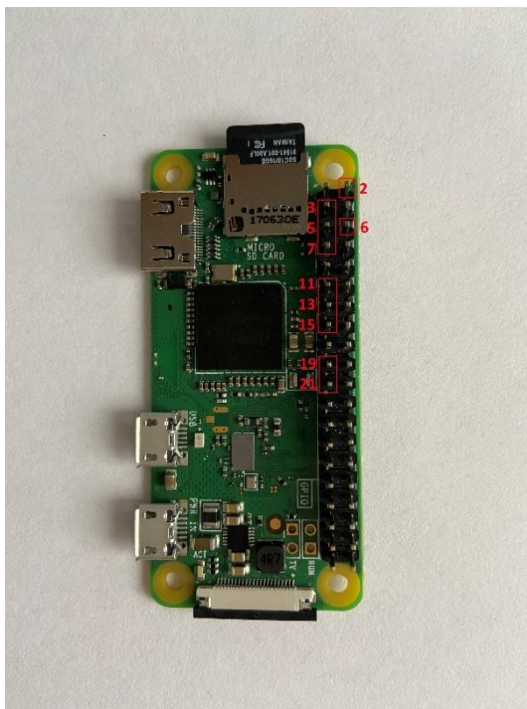
5 Návrh jednotky

V tomto bloku bude popsán návrh a realizace jednotky. Je navržena tak, aby bylo možné ji jednoduše připojit na internet přes WiFi. Hlavní funkcí je spínání relátek podle požadavků uživatele, na které bude dále možné připojit například elektromagnetické ventily. Všechny parametry jsou nastavitelné na webové stránce. Uživatel si vybere dny v týdnu, čas od kdy se ventily spustí a také na jak dlouho budou spuštěny jednotlivé sekce. Parametry, co se zadají, se promítnou na webovou stránku, kde je možné je zpětně upravit nebo celý program smazat. Jakmile se zadané parametry uloží, je nutné celý program aktivovat na status 1.

Defaultně je status nastavený na 0, neaktivní. Dále je jednotka v krabičce, která je přesně navrhnutá podle zvoleného hardwaru.

5.1 Raspberry Pi Zero W

Na obrázku 17 jsou vyznačeny piny, které jsou použity v tomto projektu. Jednotlivé piny jsou vysvětleny v tabulce 3.



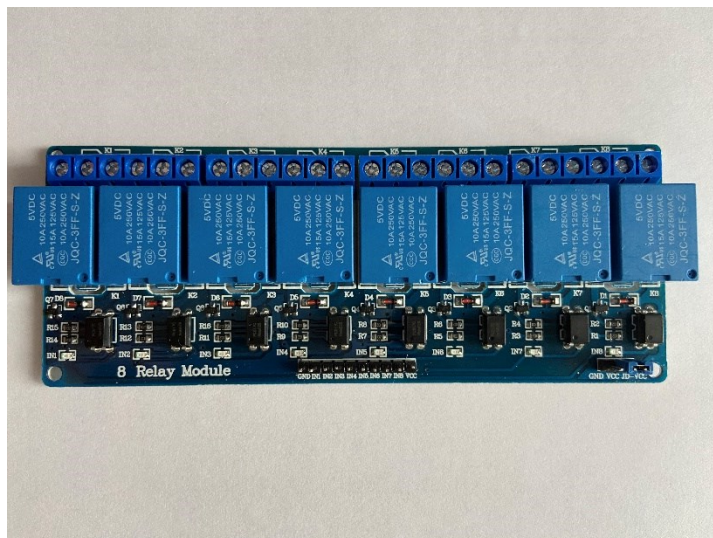
Obrázek 17 - Raspberry piny

Tabulka 3 - Inicializace pinů

Piny	Popis
2	5 V, slouží k napájení relé modulu
6	GND, zem
3,5,7,11,13,15,19,21	GPIO piny, které jsou nastaveny jako výstup a ovládají jednotlivá relátka

5.2 Relé modul

Tento modul byl vybrán, protože v projektu je definovaných 8 ventilů, které je možné připojit a tento modul s osmi relátky je ideální variantou. Modul je napájen pěti volty z Raspberry. Využito je všech 8 kanálů, které jsou spínány 3,3 V. Díky nastavení GPIO pinů jako output je možné relátka ovládat jednotlivě. Na výstup relátek lze připojit ventily, které se tímto modulem dají ovládat. Relátka jsou vysokoproudá AC250V 10A/DC30V 10A.



Obrázek 18 - Relé modul

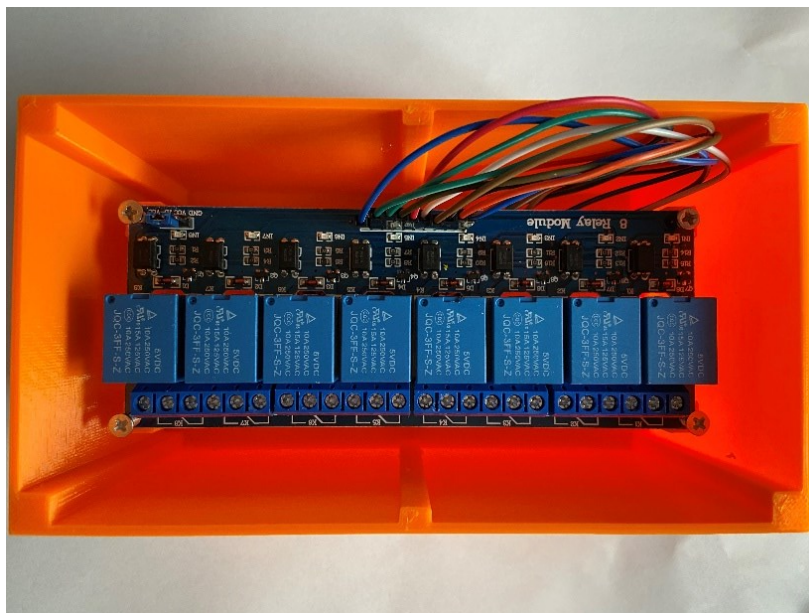
5.3 Konstrukce zařízení

Při konstrukci zařízení bylo třeba zajistit umístění Raspberry s modulem relé. Na výběr bylo mnoho možností, ale krabičky, které jsou na trhu nebyly s projektem mnoho kompatibilní. Další možností byl 3D tisk. Jednoduše si vymodelovat krabičku, která bude přesně odpovídat parametrům pro tento projekt. Tato možnost se ukázala jako nejvhodnější, po porovnání s ostatními variantami. Nejprve bylo nutné pečlivě změřit všechny komponenty, které se do ní musely poskládat.

5.3.1 3D tisk

Na trhu je mnoho druhů filamentu, například PLA, ABS, PETG a další. Materiál PLA je biologicky rozložitelný plast, protože jeho původem je například kukuřice nebo cukrová třtina. Univerzální filament je ABS. Je to termoplast na bázi oleje, který se vyskytuje například u lega. Tento materiál má mírně vyšší pevnost, odolnost, pružnost než PLA, ale tisk je o něco málo komplikovanější. Pro tento projekt byl vybrán filament PETG, jedná se o nejvíce běžně používaný materiál, ze kterého jsou například lahve nebo obaly na potraviny. Označení G značí modifikaci od samotného PET, jedná se o „modifikovaný glykol“. Díky této úpravě má vyšší pevnost, jasnost. Filament PETG kombinuje vlastně PLA s ABS. [27]

Pro návrh krabičky byl zvolen program Fusion 360, který spadá pod firmu Autodesk. V tomto programu se namodelovala krabička podle zmíněných kritérií. Po návrhu bylo nutné vygenerovat STL soubor, který se dále upravuje v programu Slicer. V tomto souboru se nastavují parametry pro tisk, například celková velikost, teplota tavení pro daný materiál, hustota výplně a mnoho dalšího. Krabička pro tento projekt byla tisknuta přibližně 18 hodin, s 10 % výplní a vrstvou 0,2mm. Spotřeba filamentu byla vypočítána na necelých 200 g.



Obrázek 19 - Krabička

5.4 Potřebné programy

V této sekci budou popsány programy a doplňky, které bylo třeba nainstalovat, aby dohromady vše fungovalo.

5.4.1 Apache2

Apache2 patří mezi nejčastěji používané webové servery v systémech Linux. Tyto servery se používají k poskytování webových stránek. Ty jsou zobrazovány přes webové prohlížeče, například Google Chrome, Firefox. Nejběžnějším protokolem je Hyper Text (HTTP). Webové servery Apache2 se nejčastěji používají v kombinaci s programovacím jazykem PHP nebo databází MySQL, v případě tohoto projektu MariaDB. Pro instalaci byl zapsán tento příkaz do příkazové řádky: `sudo apt install apache2`. Po nainstalování Apache2 je nutné zjistit, zda pracuje správně. Webová stránka v Raspberry je v adresáři `/var/www/html/index.php`. Do adresáře jsou vloženy všechny php soubory, které zajišťují správnou funkčnost webové stránky a také celého projektu.

`index.php` – Tento php skript je hlavní. Je zde definovaný vzhled tabulky, veškerý text, který se v ní nachází. Dále jsou tu zapsány skripty s funkcí po kliknutí, to znamená, že například při přidání nového programu se otevře okno s parametry, které jsou zde definovány také. U tlačítka „Uprav“ je v tomto skriptu napsán program, který vyplní už předem dané parametry zpátky do tohoto okna. V tabulce jsou další tlačítka jako například „Status 1“, „status 0“ nebo „Smaž“. Jako další tu jsou formuláře, které odesílají data do jiných skriptů. Jedna z hlavních funkcí tohoto php souboru je ta, že jakmile si uživatel zvolí parametry pro nový program, všechny se promítnou na hlavní stránku do tabulky, aby to celé bylo přehlednější. Je zde definované i připojení k databázi, aby se všechny hodnoty, co uživatel zadá rovnou zapsaly do připravené databáze.

odesli.php – Jediná funkce tohoto skriptu je ta, že přijme hodnoty z formuláře přidej program a zapíše je do databáze.

uprav.php – Hlavní funkční část tohoto skriptu je ta, že jakmile tento skript přijme formulář se změněnými parametry z okna uprav parametry, soubor se postará o to, aby se v databázi hodnoty změnilly. Znamená to, že když uživatel zadá parametry pro program 1 a bude ho chtít upravit, tak se tento skript postará o to, aby se hodnoty z původního programu 1 změnilly na upravené hodnoty právě z okna uprav parametry.

smaz.php – Tento jednoduchý skript se stará o to, že když uživatel bude potřebovat některý z programů smazat, klikne na tlačítko smaž, odešle se formulář do tohoto skriptu a ten už se postará o smazání celého programu a všech hodnot s tímto programem spojených z databáze.

status.php – Tento skript má za úkol psaní do databáze pouze 1 a 0. Všechno záleží na formuláři, který posílá do tohoto skriptu informaci, jestli se má do databáze zapsat status 1, program aktivní nebo status 0 program neaktivní.

javaodesli.php – Kód napsaný v tomto skriptu je hlavní pro Javu. Jedná se o výpis na stránku, která se nikde nezobrazuje, ale díky ní funguje program v Javě. Složitějším sql dotazem se z databáze vyberou ty ventily, které mají v daný okamžik fungovat. Poté co se vyberou, zapíší se na stránku do pole, jen jako true a false. Java si pak stránku s touto informací stáhne a podle pole vyhodnotí, který ventil a jak dlouho má být spuštěný.

5.4.2 MariaDB

MariaDB je relační databáze vyvíjena komunitou a je nástupcem MySQL. Vývoj databáze MariaDB začal, když společnost Oracle koupila zmíněnou databázi MySQL. Původní vývojáři měli obavu o licenci svobodného softwaru GNU GPL po odkoupení společností Oracle, proto začali s vývojem právě zmíněné relační databáze MariaDB. Každý, kdo se nějakým způsobem podílí na vývoji, musí svá autorská práva sdílet s MariaDB Foundation. Databáze byla nainstalována do Raspberry příkazem `sudo apt-get install mariadb-server`.

Struktura databáze s názvem `zavlahovy_system`, se skládá z tabulek programy a ventily. V tabulce programy jsou 4 proměnné viz obrázek 20.

#	Název	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Komentáře	Další
<input type="checkbox"/>	1 Serial1 	int(11)			Ne	Žádná		AUTO_INCREMENT
<input type="checkbox"/>	2 den	int(11)			Ne	Žádná		
<input type="checkbox"/>	3 zacatek	time			Ne	Žádná		
<input type="checkbox"/>	4 status	int(11)			Ne	0		

Obrázek 20 - Tabulka programy

Proměnná Serial1 slouží k jednoznačné identifikaci. Každý řádek je unikátní a po každém přidání nového parametru se tato proměnná zvýší o hodnotu 1, což zajišťuje AUTO_INCREMENT. Při smazání celého programu nebo některé z hodnot v tabulce se

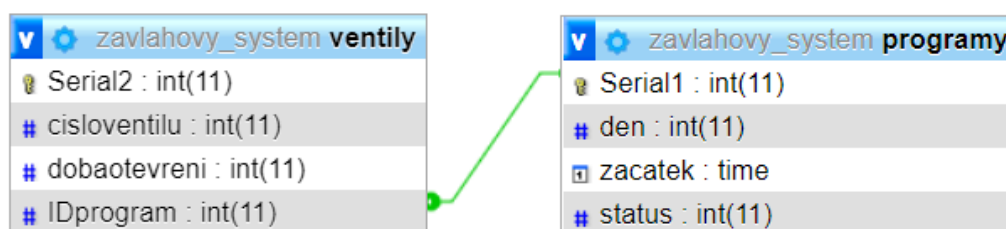
proměnná Serial1 nezmění. Jednoduše se tato hodnota s každou úpravou zvýší. Tato proměnná je čistě informativní a je použita pro správné určení řádku, například při výpisu. Další hodnotou je tu den. Datový typ je integer, v databázi se sice den zobrazí jako číslo, ale díky funkcím v programovacím jazyce PHP, je toto číslo převedeno na dny v textové podobě, které se zobrazují na hlavní stránce při výpisu. Poté je zde začátek, jako typ je zvolen time. Formát je HH:MM:SS, pro tento projekt je důležitá hodina a minuta a tento databázový formát byl nejbližší požadavkům. Jako poslední je zde vytvořena proměnná status, ta má za úkol celý program uvést do chodu. Je tedy možnost jen výběr z 1, program se spustí, nebo 0, program se nespustí.

Další ve struktuře zavlahovy_system je tabulka ventily, viz Obrázek 21.

#	Název	Typ	Porovnávání	Vlastnosti	Nulový	Výchozí	Komentáře	Další
<input type="checkbox"/>	1 Serial2	int(11)			Ne	Žádná		AUTO_INCREMENT
<input type="checkbox"/>	2 cisloventilu	int(11)			Ne	Žádná		
<input type="checkbox"/>	3 dobaotevreni	int(11)			Ne	Žádná		
<input type="checkbox"/>	4 IDprogram	int(11)			Ne	Žádná		

Obrázek 21 - Tabulka ventily

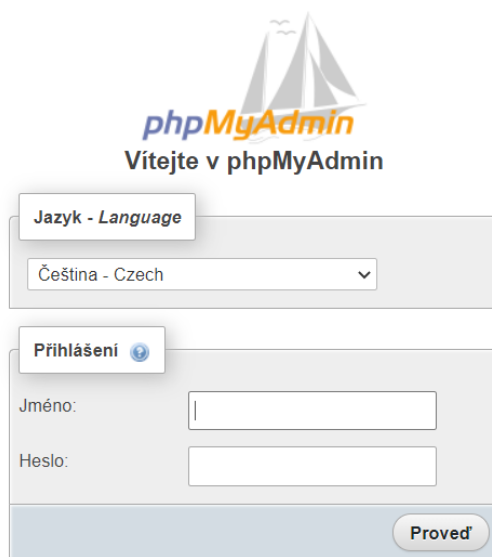
V této tabulce jsou pouze informace o ventilech a jejich zapnutí, které se vztahují k danému programu. Další proměnnou je cisloventilu, do této hodnoty se ukládá informace o zvoleném ventilu, kterých může být v tomto projektu až 8. V proměnné dobaotevreni je informace o jednotlivých časech, jak dlouho má být daný ventil otevřený. Jako poslední v tabulce je IDprogram, tato proměnná slouží k propojení tabulek. Díky Indexu, který je v databázi značen jako šedý klíč, je možné propojit tuto tabulku s tabulkou na obrázku 22, s hodnotou Serial1. Díky přiřazení klíčů k proměnným lze vytvořit relaci, která právě tyto tabulky spojí. Tato funkce byla použita, aby bylo zřetelně vidět, že ventily, které se mají spustit jsou vztaheny k jednomu programu. Kdyby relace, která toto spojuje nebyla, nastal by problém, že by se ventily spouštěly v jiném programu a nebylo by pak jasné co k čemu patří. Další výhodou zmíněné relace je, že mazání je nastaveno kaskádovitě, to znamená, že pokud smažeme program v tabulce programy, smažou se i všechny ventily, které jsou s ním spojené.



Obrázek 22 - Relace mezi tabulkami

5.4.3 phpMyAdmin

Pro jednodušší manipulaci s databází je na Raspberry nainstalován phpMyAdmin. Jedná se o bezplatný software, napsaný v jazyce PHP. Veškerá manipulace se provádí na webu. Tento software se instaloval na Raspberry příkazem: `sudo apt-get install phpmyadmin`. Při instalaci se objevila tabulka, kde bylo potřeba zvolit, jaký webový server se automaticky nakonfiguruje při spuštění phpMyAdmina. Na výběr bylo ze dvou webových serverů, Apache2 a Lighttpd. Jak již bylo dříve zmíněno volba webového serveru byla Apache2. Po potvrzení webového serveru, bylo ještě nutné zadat heslo pro přihlášení do phpMyAdmina. Po úspěšné instalaci, stačilo napsat do webového vyhledávače `10.0.0.28/phpmyadmin`, viz obrázek 23, kde se po vyplnění přihlašovacích údajů dostaneme ke správě databází.



Obrázek 23 - phpMyAdmin přihlášení

Jednou z hlavních výhod tohoto softwaru, je jednoduché a intuitivní nastavení a správa tabulek, klíčů atd. V projektu jsou sql dotazy, které, je díky tomuto softwaru možné vyzkoušet a zjistit, jestli daný sql příkaz dělá to, co je třeba nebo je nutné ještě tento dotaz modifikovat. Veškerá manipulace s databází, nebo tabulkami co jsou v ní, se dělá právě díky tomuto softwaru jednoduše na webu.

5.4.4 PHP, HTML, CSS

Hlavní funkčnost jednotky zajišťuje programovací jazyk PHP. V tomto projektu bylo třeba naprogramovat webovou stránku, propojit tuto stránku s databází a Javou. Zápis do databáze je řešen sql příkazy, které se starají o rozdělení zadaných hodnot do správné tabulky v databázi. Dále je přes tyto dotazy řešen i výpis již zapsaných hodnot v databázi na webovou stránku. Posílání informace o sepnutí ventilu je řešeno neviditelným skriptem, který díky složitějšímu sql příkazu rozezná, v jaký čas a na jak dlouho se má jednotlivý ventil otevřít.

Téměř celá webová stránka je nadefinovaná díky sadě nástrojů z Bootstrapu. Jsou zde příklady pro styly tlačítek, tabulek a mnoho dalších užitečných komponentů. Pro správnou funkci všech příkladů a předefinovaných šablon bylo nutné si do skriptů zkopírovat několik linků z webu www.getbootsrtap.com. Pro tento projekt byly použity kaskádové styly a některé funkce s javascriptu.

V Raspberry je nahraných 6 skriptů a každý řídí jinou část, která se vyplní na webové stránce. Hlavní skript, co je v Raspberry nahraný se nazývá `index.php`. Tento skript je hlavní rozhraní webové stránky a vše co je na stránce vidět. Majoritní funkce tohoto skriptu je přidání programu. Jakmile si uživatel zvolí parametry pro závlahu, tak si tento výběr uloží a tyto hodnoty se vypíší na webovou stránku. Dále jsou v tomto skriptu nadefinovaná tlačítka pro úpravu nebo mazání programu, ale funkce těchto tlačítek a spojení s databází je řešeno přímo ve skriptech určených pro tuto funkci.

5.4.5 Java

Program v Javě má za úkol otvírat a zavírat jednotlivé ventily. Stav jednotlivých ventilů je vypsán na webovou stránku, která se nikde neukazuje a slouží pouze pro Javu. Na této stránce jsou vypsány hodnoty `true` a `false`, podle toho, který z ventilů má v tu chvíli být aktivní. Tento skript je popsán výše v kapitole 5.4.1. Řídící proměnná je typu `byte`, která má význam buď otevřeného nebo zavřeného ventilu. Ta zajistí, že zprvu budou všechny ventily nastaveny jako zavřené a jakmile se hodnota na webové stránce změní, toto pole se změní také. Dále jsou v programu definované GPIO piny, které jsou připojeny z Raspberry k modulu s relátky. Aby se program neustále opakoval, bylo nutné napsat metodu, která každých 15 vteřin zkontroluje stav webové stránky, jestli jsou zde hodnoty stále stejné nebo nastala nějaká změna. V programu je nutné napsat metodu, která si webovou stránku s hodnotami `true` a `false` stáhne, aby bylo vůbec možné modul s relátky ovládat.

6 Uživatelský manuál

Tento blok popisuje uživateli, co všechno je možné na jednotce nastavit a celkové ovládání celé jednotky krok po kroku.

6.1 Konfigurace a upevnění jednotky

Jako první při instalaci této jednotky je nutné nastavit připojení k místní síti. Jednoduše se z Raspberry vytáhne SD karta, která se připojí k počítači. Po připojení se ukáže disk, který je defaultně pojmenován jako `boot`. V tomto adresáři je nutné vytvořit textový soubor, do kterého později budeme ukládat přihlašovací údaje k WiFi. Tento dokument se pojmenuje `wpa_supplicant.conf`, je třeba se ujistit, že se přípona `.txt` přepíše na `.conf`. Tento prázdný soubor otevřeme a zadáme vlastní údaje o WiFi včetně země, viz obrázek 24.


```

ctrl_interface=DIR=/var/run/wpa_supplicant GROUP=netdev
update_config=1
country=CZ

network={
    ssid="JménoWiFi"
    psk="HesloWiFi"
    key_mgmt=WPA-PSK
}

```

Obrázek 24 - Wpa_supplicant.conf

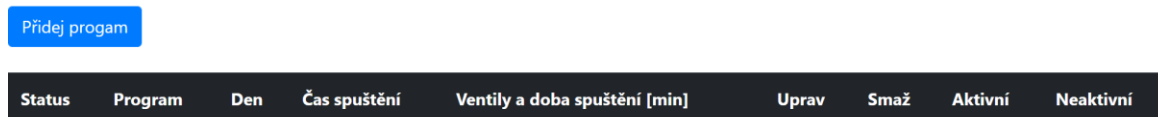
Po vyplnění údajů o WiFi se dokument uloží a dále se s ním nepracuje. Další krok je přidání prázdného souboru s názvem ssh do stejného adresáře. Defaultní nastavení ssh v Raspberry je zakázáno, proto je tento krok nutný. Po dokončení úprav těchto souborů se vysune SD karta z počítače a vrátí se zpátky do Raspberry.

Dále se krabička připevní na místo, kde je přístup k napájení 230 V. Jakmile je uchycena na dané místo, může se připojit napájecí kabel. Jednotka disponuje modulem s osmi relátko, takže kolik z osmi ventilů se připojí je individuální, všechno záleží na ploše, která má být zavlažována.

6.2 Webové rozhraní jednotky

Po prvním spuštění je dobré provést kontrolu, jestli se Raspberry připojilo úspěšně na internet. Každý router má defaultní IP adresu, kterou najdeme na zadní straně. Tuto adresu opíšeme do vyhledávače a objeví se hlavní strana pro daný router. Zde je potřeba vyplnit přihlašovací údaje, které jsou opět napsány na zadní straně routeru. Po vyplnění přihlašovacích údajů se dostaneme do nastavení routeru, kde se proklikáme až tam, kde jsou zobrazena všechna zařízení, která jsou v danou chvíli připojena na internet. Zde by mělo být zobrazeno i zařízení Raspberry Pi Zero. Podrobnější informace ukáže, jakou má Raspberry IP adresu, kterou se uživatel bude připojovat na hlavní stránku, viz obrázek 25. Například pro připojení v jedné z domácích sítí je tato adresa: 10.0.0.28.

Závlahový systém



Obrázek 25 - Hlavní stránka

Z obrázku 25 je vidět, co všechno je možné nastavit a jak celá hlavní stránka vypadá. Když chce uživatel přidat nový program klikne na tlačítko „Přidej program“, pak se ukáže tabulka s parametry, které jsou potřeba vyplnit, viz obrázek 26.

Parametry
×

Pondělí
 Úterý
 Středa
 Čtvrtek
 Pátek
 Sobota
 Neděle

Začátek

Ventil1:

Ventil2:

Ventil3:

Ventil4:

Ventil5:

Ventil6:

Ventil7:

Ventil8:

Obrázek 26 - Tlačítko přidej program

Z obrázku 26 je zřejmé, že na jednotce jdou nastavit dny od pondělí do neděle, a počátek, v jakou dobu budou ventily spuštěny. V poslední řadě je zde 8 políček, které symbolizují ventily, kde do každého políčka může uživatel napsat čas v minutách, po který budou otevřeny. Jakmile se vyplní všechny potřebné údaje, klikne se na tlačítko uložit a tyto parametry se promítnou na hlavní stránku, viz obrázek 27.

Závlahový systém

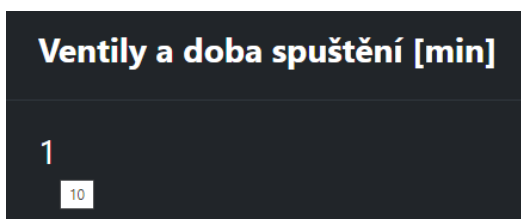
[Přidej program](#)

Status	Program	Den	Čas spuštění	Ventily a doba spuštění [min]	Uprav	Smaž	Aktivní	Neaktivní
1	28	Po Út St Čt Pá So Ne	15:00:00	1 2 3 4 5 6 7 8	<input style="background-color: #28a745; color: white;" type="button" value="Uprav"/>	<input style="background-color: #dc3545; color: white;" type="button" value="Smaž"/>	<input style="background-color: #ffc107; color: white;" type="button" value="Status 1"/>	<input style="background-color: #ffc107; color: white;" type="button" value="Status 0"/>

Obrázek 27 - Stránka s parametry

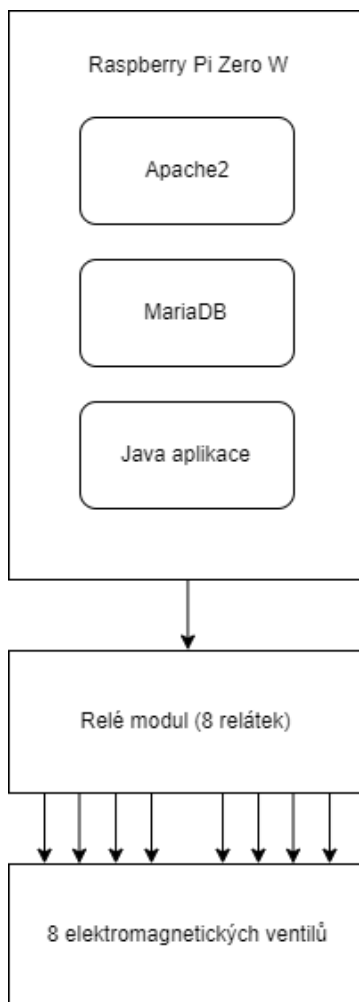
Na obrázku 27 se ukážou všechny dříve zvolené parametry a dále se zobrazí 4 tlačítka. Při kliknutí na tlačítko „Uprav“ se zobrazí stejná tabulka jako je na obrázku 26, jen hodnoty, co už jsou vyplněny, se zde promítnou a dají se změnit. Další tlačítko je pro smazání programu. Jestliže ho uživatel již nechce používat, jednoduše klikne na tlačítko „Smaž“, naběhne vyskakovací okno, ve kterém se úkon potvrdí. Poslední dvě tlačítka jsou důležitá pro nově přidané programy. Když se přidá nový, je defaultně nastavený status na 0. Tato informace říká, že daný program není aktivní a je nutné kliknout na tlačítko „Status 1“, aby se zaktivoval, lze i deaktivovat. Na obrázku 27 je zobrazený jeden program, ale uživatel si jich může zvolit kolik chce, protože jsou na sobě nezávislé.

V kolonce „*Ventily a doba spuštění [min]*“, jsou zobrazeny jednotlivé ventily, ale z obrázku není patrné, na jak dlouho mají být spuštěny. Tato funkce je řešena tak, že když uživatel najede kurzorem myši na ventil, zobrazí se informace o době spuštění, viz obrázek 28.



Obrázek 28 - Doba spuštění

7 Blokové schéma



Obrázek 29 - Blokové schéma

Blokové schéma znázorňuje funkci celého projektu. Hlavním komponentem je Raspberry Pi Zero W, které je napájeno 5 V pomocí adaptéru a jsou na něm nainstalovány všechny programy. Z Raspberry je pak napájen relé modul. Tento modul musí být pro správnou

funkci spojen s GPIO piny, které jsou definované v kapitole 5.1. Na jednotlivá relátka je pak možné připojit až 8 elektromagnetických ventilů.

8 Ukázky kódů

Tato část kódu slouží pro výběr určitých hodnot z databáze a výpis na webovou stránku do předem definované tabulky, při každém přidání nového programu. Z tohoto úryvku je vidět, že se nejprve vypíše status, číslo programu, dny v týdnu, začátek a jako poslední číslo ventilu a doba otevření.

```
<?php
    $sql = "SELECT * FROM programy";
    $result1=$conn->query($sql);
    foreach ($result1 as $row)
    {
    ?>
    <tr>
    <?php
        echo "<td>".$row['status']. "</td>";
        echo "<td>".$row['Serial1']. "</td><td>";
        $dny = ["Po", "Út", "St", "Čt", "Pá", "So", "Ne"];
        $val = strrev(str_pad(decbin($row['den']), 7, "0", STR_PAD_LEFT));
        for($i = 0; $i < count($dny); $i++) {
            if ($val[$i] == '1') {
                echo $dny[$i]. " ";
            }
        }
        echo "</td><td>".$row['zacatek']. "</td>";
        echo "<td>";
        $sql = "SELECT * FROM ventily AS V JOIN programy AS P ON
P.Serial1=V.IDprogram WHERE IDprogram=".$row['Serial1'];
        $result2=$conn->query($sql);
        $ventilyresult=array();
        foreach ($result2 as $row1)
        {
            echo "<span title=\"\"".$row1['dobaotevreni']. "\">".$row1['cisloventilu']. "\n</span>";
            $ventilyresult[$row1['cisloventilu']]=$row1['dobaotevreni'];
        }
        echo "</td>";

    ?>
```

V této části kódu je popsán formulář, který posílá informaci do databáze o parametrech, které se uloží do předem definovaných tabulek v databázi. Tento formulář se odešle po vyplnění parametrů v okně přidej program.

```
if (isset($_POST["submit"]))
{

    $den=$_POST['den'];
    $zacatek=$_POST['zacatek'];
    $zacatek1=date('G:i', strtotime($zacatek));

    $sum= array_sum($den);

    $sql = "INSERT INTO programy (den, zacatek) VALUES (".$sum.", " ."$zacatek1."");
    $conn->query($sql);
    $pID=$conn->insert_id;

    $dv1=$_POST['dv1'];
    if(!empty($dv1)) {
        $sql="INSERT INTO ventily (cisloventilu, dobaotevreni, IDprogram) VALUES ('1',
        ".$dv1.", ".$pID.)";
        $conn->query($sql);
    }
}
```

Tlačítko smazat odesílá formulář níže, který se stará o to, aby se smazal program z databáze, přesně podle id řádku daného řádku.

```
if (isset($_POST["smazat"]))
{
    $suid=$_POST["delete_serial1"];

    $sql="DELETE FROM programy WHERE Serial1='".$suid.'";
    $conn->query($sql);

}
```

Tento formulář je pro tlačítko uprav. Z kódu níže lze vyčíst, že se podle nového id, které je definované pro toto tlačítko, upraví hodnoty den a začátek. Ventily, které byly do databáze zapsány před odesláním tohoto formuláře se smažou a poté se přepíšou podle nově zvolených hodnot.

```
if (isset($_POST["upravdata"]))
{
    $suid=$_POST["update_serial1"];

    $den=$_POST['den'];
    $zacatek=$_POST['zacatek'];
    $zacatek1=date('G:i', strtotime($zacatek));

    $sum= array_sum($den);

    $sql = "UPDATE programy SET den='".$sum."', zacatek='".$zacatek1.'"
    WHERE Serial1='".$suid.'";

    $conn->query($sql);

    $conn->query("DELETE FROM ventily WHERE IDprogram=$suid");

    $dv1=$_POST['dv1'];
    if(isset($dv1)==true) {
        $sql="INSERT INTO ventily (cisloventilu, dobaotevreni, IDprogram) VALUES
('1', ".$dv1.", ".$suid.)";
        $conn->query($sql);
    }
}
```

Tato část skriptu je určena především pro aplikaci v Javě. Složitějším sql dotazem se vyberou ty ventily, které mají být v danou chvíli aktivní. Tyto ventily se na stránce změní z false na true a java si po stáhnutí této webové stránky určí, který ventil má spustit.

```
$set=$conn->query("SELECT ventily.cisloventilu FROM programy JOIN ventily
ON programy.Serial1 = ventily.IDprogram WHERE programy.status = 1 AND (zacatek <=
CURRENT_TIME() AND CURRENT_TIME() <= ADDTIME(zacatek,
CONCAT(ventily.dobaotevreni, '00'))");

$arr=[false, false, false, false, false, false, false, false];

while ($row=$set->fetch_array())
{
    $arr[(int)$row["cisloventilu"]-1]=true;
}
```

V tomto skriptu jsou definovaná dvě tlačítka, pro vypnutí a zapnutí programu. Jednoduše, když se přidá nový program je defaultně nastaven jako neaktivní, proto je třeba kliknout na tlačítko status 1, který odešle první formulář, zapíše do databáze číslo 1 a celý program zaktivuje. V opačném případě se klikne na status 0 a celý program se deaktivuje.

```
if (isset($_POST["spustit"]))
{
    $uid=$_POST["spustit"];
    echo $uid;
    $sql = "UPDATE programy SET status='1' WHERE Serial1='".$uid."'";
    $conn->query($sql);
}

if (isset($_POST["smaz"]))
{
    $uid=$_POST["smaz"];
    echo $uid;
    $sql = "UPDATE programy SET status='0' WHERE Serial1='".$uid."'";
    $conn->query($sql);
}
```

9 Možná vylepšení, ostatní využití jednotky

Ve webovém rozhraní by mohly být zvýrazněné ventily, které jsou zrovna aktivní. Dále by bylo možné naprogramovat, tlačítko, které by vypnulo nebo zapnulo všechny programy nebo naprogramovat například i předdefinované programy, které by si uživatel mohl zvolit, nebo by si vybral vlastní a nastavil si parametry podle svých potřeb.

Další možné vylepšení je takové, že krabice, ve které se zařízení nachází by mohla být vodotěsná a obecně všechny otvory, které do ní jsou, opatřit vodotěsnými průchodkami. Tato krabice se může připevnit šrouby pouze na zeď. Další možností by bylo vytvořit ji tak, aby se dala připevnit na din lištu nebo by se na jednotce mohl nacházet displej a tlačítka, díky kterým by bylo možné ji celou ovládat. Po tomto vylepšení by bylo možné ovládat jak z webové stránky, tak i z bezprostřední blízkosti krabice pomocí těchto tlačítek. S tímto vylepšením je spojeno další tlačítko, které by sloužilo k zapínání a vypínání jednotky. Dále by v krabici mohly být sloty, na které by se připojily periferie, jako například půdní vlhkoměr, dešťové čidlo, které by zlepšily efektivitu zavlažování. Toto vylepšení by znamenalo vyrobit větší krabici a také by byla možnost přidat více relátek, aby se dalo ovládat více elektromagnetických ventilů.

Celá jednotka je navržena tak, aby se dala využít i jinde než u zavlažování. Je použitelná tam, kde je potřeba spínací prvky, například ve výrobních halách, kde by se touto jednotkou daly ovládat pásy, které je třeba mít spuštěné jen určitý čas.

Závěr

Cílem teoretické práce bylo popsat běžně používané části zavlažovacího systému a dostupné parametry pro nastavení jednotky. Nejprve to byly druhy zavlažovacích systémů a poté typy zavlažovačů, které se v praxi běžně používají. Následovaly typy jednotek pro různé použití. Pro přehlednost byly vybrány takové, které mají jiný počet připojení a odlišná ovládání. Jedna kapitola byla věnována celkové realizaci zavlažovacích systémů, od návrhu systému až po samotnou instalaci a nastavení. S touto kapitolou byla spojena i údržba celého systému.

V praktické části byly popsány komponenty, ze kterých byl projekt složen. Popis jednotlivých pinů a propojení mezi periferiemi byl shrnut v konkrétních kapitolách, aby bylo zřejmé připojení pro správnou funkci jednotky. Dále byla v této části vyřešena konstrukce krabičky, která byla vymodelována v programu Fusion360 a vytisknuta pomocí 3D tisku. Toto řešení se ukázalo jako nejvhodnější vzhledem k dostupným možnostem. Popsány byly všechny softwarové programy, skripty, které bylo nutno nainstalovat, nakonfigurovat a naprogramovat, aby jednotka fungovala podle zadaných požadavků. Pro lepší přehlednost byl vytvořen uživatelský manuál pro jednodušší nastavení a konfiguraci jednotky. Pro větší srozumitelnost je ke konci této kapitoly znázorněno blokové schéma celého projektu.

Literatura

- [1] BIMKA, David. Dávní inženýři z planiny Nazca: Po stopách geniálního zavlažovacího systému. *Stoplusjednicka* [online]. Nevedeno: Nevedeno, 2016 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.stoplusjednicka.cz/davni-inzenyri-z-planiny-nazca>
- [2] Automatic irrigation. *Gardena* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.gardena.com/cz/produkty/zavlahy/automatic-irrigation/>
- [3] KULHAVÁ, Monika. Nadzemní a podzemní zavlažování. *Naše krásná zahrada* [online]. Nevedeno: Nevedeno, 2019 [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.nkz.cz/praxe/okrasna-zahrada/nadzemni-podzemni-zavlazovani>
- [4] Zavlažování I – typy závlah. *Tzbinfo* [online]. Nevedeno: Grundfos Sales Czechia and Slovakia s.r.o., 2013 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://voda.tzbinfo.cz/10194-zavlazovani-i-typy-zavlah>
- [5] Rainguns. *Indiamart* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/rainguns-30-35-mtr-radius-13513770755.html>
- [6] Drip Irrigation Micro Sprayer. *Amazon* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/25-PACK-Greenhouse-Irrigation-Professional-Agricultural/dp/B07SRXBM4Z>
- [7] MAYO, Doug. Winterizing Irrigation Systems. *IFAS extension* [online]. Nevedeno: Nevedeno, 2015 [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://nwdistrict.ifas.ufl.edu/phag/2015/12/18/winterizing-irrigation-systems/>
- [8] Installing Drip Irrigation in Your Home Garden. *Theartofdoingstuff* [online]. Nevedeno: Nevedeno, 2020 [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.theartofdoingstuff.com/drip-irrigation/>
- [9] Rain Bird ESP-TM2-12 Řídící jednotka pro 12 sekcí. *Doltak* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.doltak.cz/produkt/rain-bird-esp-tm2-12-ridici-jednotka-pro-12-sekci/>
- [10] ESP-TM2 Outdoor Wifi ovládací jednotka 12 sekcí. *Azavlahy* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.azavlahyshop.cz/azavlahy/eshop/3-1-Ovladaci-jednotky/0/5/1787-ESP-TM2-Outdoor-Wifi-ovladaci-jednotka-12-sekci>

- [11] Rain Bird ESP-RZX RZX8i. *Azavlahy* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.azavlahyshop.cz/azavlahy/eshop/3-1-Ovladaci-jednotky/0/5/1098-Rain-Bird-ESP-RZX-RZX8i>
- [12] Rain Bird ESP-RZX8i Indoor 8 Station Controller. *Amazon* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Rain-Bird-ESP-RZX8i-Station-Controller/dp/B00IQM690O>
- [13] Hydrawise Wi-Fi ovládací jednotka - 24 sekci venkovní. *Azavlahy* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.azavlahyshop.cz/azavlahy/eshop/3-1-Ovladaci-jednotky/0/5/1504-Hydrawise-Wi-Fi-ovladaci-jednotka-24-sekci-venkovni>
- [14] ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA HUNTER PRO-HC 24 SEKCI, VNĚJŠÍ, S TRAFEM. *Small lake* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: https://www.zavlazovaci-systemy.net/ridici-jednotka-hunter-pro-hc-24-sekci-vnejsi-s-trafem_z1069/
- [15] HYDRAWISE CLOUD SOFTWARE. *Hunter* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.hunterindustries.com/en-metric/irrigation-product/software/hydrawise-cloud-software>
- [16] JAK ELEKTROMAGNETICKÝ VENTIL FUNGUJE?. *Tork* [online]. Nevedeno: Nevedeno, 2018 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.smstork.cz/jak-elektromagneticky-ventil-funguje/>
- [17] LNK Wifi modul. *Azavlahy* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.azavlahyshop.cz/azavlahy/eshop/0/0/5/1492-LNK-Wifi-modul>
- [18] Rain Bird WIFI-Modul LNK für Rain Bird Bewässerungssteuerung ESP-ME und RZXe. *Schlauch-profi* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.schlauch-profi.de/rain-bird-wifi-modul-lnk-fuer-rain-bird-bewaesserungssteuerung-esp-me-und-rzxe-1760>
- [19] Čidlo srážek. *Azavlahy* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: https://www.azavlahyshop.cz/fotky17954/fotov/_ps_436RB-senzor-srazek-RSD-Bex.pdf
- [20] Čidlo srážek pro přerušení závlahy po dešti. *Úsporné závlahy* [online]. Nevedeno: Nevedeno, Nevedeno [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <https://usporne-zavlahy.cz/product/rsd-bex-cidlo-srazek/>

- [21] Sensor de viento/ helada wind freeze sensor. *Flume* [online]. Neuedeno: Neuedeno, Neuedeno [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://flume.es/Programadores/517-sensor-de-viento-helada-wind-freeze-sensor-anenometro.html>
- [22] Čidlo vlhkosti SMRT-Y. *Azavlahy* [online]. Neuedeno: Neuedeno, Neuedeno [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.azavlahyshop.cz/azavlahy/eshop/14-1-Cidla-srazek-a-meteostanice/0/5/434-Cidlo-vlhkosti-SMRT-Y>
- [23] SMRT-Y čidlo vlhkosti. *ITTEC* [online]. Neuedeno: Neuedeno, Neuedeno [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://eshop.ittec.cz/smrt-y-cidlo-vlhkosti--/>
- [24] Sprinklersystem planner. *Gardena* [online]. Neuedeno: Neuedeno, Neuedeno [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://www.gardena.com/int/garden-life/garden-planner/sprinkler-planner/>
- [25] REJHOLEC, Vladimír. Závlaha trávníku. *Cesta k bydlení* [online]. Neuedeno: Neuedeno, 2020 [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://cestakbydleni.cz/zavlahatravniku/>
- [26] Zavlazovací systémy. *Tree green* [online]. Neuedeno: Neuedeno, Neuedeno [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <https://www.treegreen.cz/zavlazovaci-systemy>
- [27] ROZDÍL MEZI ABS,PLA, PETG. *Material pro 3D* [online]. Neuedeno: Neuedeno, 2017 [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>

Přílohy

Funkční skripty a aplikace v Javě jsou nahrány na CD, které je součástí práce.