Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb

Bakalářská práce

Programovatelný vodní automat pro zahrádkáře

Milan Sobotka

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Milan Sobotka

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Programovatelný vodní automat pro zahrádkáře

Název anglicky

Programmable water dispenser for gardeners

Cíle práce

Cílem práce je navrhnout, sestavit a naprogramovat zařízení, umožňující dávkování vody a/nebo další kapaliny (hnojivo, herbicid) dle předem nastaveného poměru a to buď přímo do konve, nebo prostřednictvím hadicového systému k přímé zálivce.

Metodika

1. Analýza základních parametrů a funkcí předpokládaného zařízení
2. Syntéza parametrů a jejich indukce pro konkrétní řešení
3. Komparace různých způsobů řešení
4. Integrace komunikačních technologii IoT a jejich syntéza
5. Abdukce zjištěných parametrů a jejich syntéza do modelu
6. Realizace modelu a jeho ověření
7. Diskuse, testování, matematicko-statistické vyhodnocení
8. Konverze finanční a časové náročnosti

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

IOT, voda, pesticidy, herbicidy, hnojiva

Doporučené zdroje informací

BELL, C A. *Beginning sensor networks with Arduino and Raspberry Pi.* [New York, New York]: Apress, 2013. ISBN 1430258241.

DAI, H T. *Vláhové režimy půd při lokalizovaných závlahách : doktorská dizertační práce.* Praha: ČZU-LF, 1998.

DENNIS, A K. *Raspberry Pi home automation with Arduino : automate your home with a set of exciting projects for the Raspberry Pi!.* Birmingham: Packt Publishing, 2013. ISBN 978-1-78439-920-7.

JŮVA, K. – HRABAL, A. – FILIP, J. *Závlaha zemědělských kultur.* Praha: SZN, 1981.

NGUYEN, D Q. *Kapková závlaha : příspěvek k řešení funkce kapkovačů : kandidátská disertační práce.* Disertační práce. Praha: 1986.

ŠNOBL, J. – CINGLOVÁ, O. – PŘIBYLOVÁ, A. *Kapalná hnojiva při mimokořenové výživě chmele.* PRAHA: VSZ-AF, 1983.

ŠRÁMEK, F. – VOLF, M. – VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OKRASNÉHO ZAHRADNICTVÍ V PRŮHONICÍCH. *Závlaha květin ve sklenících.* V Průhonicích: SEMPRA – Výzkumný a šlechtitelský ústav okrasného zahradnictví v Čs. redakci VN MON, 1989. ISBN 80-85116-01-4.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Konzultant

Ing. Jan Lešetický, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2022

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 09. 2022

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Programovatelný vodní automat pro zahrádkáře vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 8. března 2023 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Zdeňkovi Votrubovi, Ph.D. za vedení mé práce a za podpoření při realizaci zařízení. Rovněž bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiích a tvorbě mé bakalářské práce.

Programovatelný vodní automat pro zahrádkáře

Abstrakt:

Práce se zabývá návrhem a realizací zařízení určeného pro zahrádkaře. Toto zařízení bude schopno dávkovat zálivku dle přesně stanovených programovatelných hodnot. Dále bude toto zařízení schopno dávkovat do zálivky hnojivo. Automat bude uživatelsky přívětivý a intuitivní, s moderními prvky, osvětlením atd. Na závěr práce budou posouzeny možnosti konfigurace zařízení, možnosti nástaveb a také možné další inovace zařízení.

Klíčová slova: voda, hnojiva, IOT

Programmable water dispenser for gardeners

Abstract:

The work deals with the design and implementation of equipment intended for gardeners. This device will be able to dose the watering according to precisely determined programmable values. Furthermore, this device will be able to dose fertilizer into the dispensed water. The machine will be user-friendly and intuitive, with modern elements, lighting, etc. At the end of the work, the results and possible further innovations of the equipment will be assessed.

Keywords: water, fertilizers, IOT

Obsah

1 Úvod **1**

2 Cíl práce **3**

3 Metodika práce **3**

4 Teoretická východiska **4**

4.1 Zalévání 4

4.2 Hnojiva a jejich dělení 5

4.2.1 Hnojiva přímá a pomocné látky 5

4.2.2 Hnojiva minerální a statková 5

4.2.3 Hnojiva tuhá a kapalná 6

4.3 Použití hnojiv 6

4.4 Odběr živin u skupin rostlin pěstovaných v domácích podmínkách 7

4.5 Peristaltické čerpadlo 9

4.6 Provozní tlak vodovodní sítě 10

4.7 Elektromagnetický ventil 10

5 Vlastní práce **11**

5.1 Prvotní návrh zařízení 11

5.2 Konstrukce zařízení 11

5.2.1 Návrh 11

5.2.2 Realizace 12

5.2.3 Ověření vhodnosti použitých profilů pro konstrukci 14

5.3 Kapalinový mechanismus 17

5.4 Vstupně výstupní ovládací prvek – displej 19

5.5 Systém automatického plnění 21

5.6 Mechanismus odtoku 22

5.7 Návrh a výroba vlastních dílů 23

5.8 Měření průtoku 24

5.9 Řízení ventilu 25

5.10 Způsoby připojení a konektivita 27

5.11 Zdroj napájení 28

5.12 Řídicí elektronika – plošný spoj 28

5.12.1 Návrh 28

5.12.2 Realizace 35

5.13 Programové vybavení zařízení 36

6 Výsledky a diskuse 39
6.1 Finální vlastnosti zhotoveného zařízení 39
6.2 Ovládání zařízení 39
6.2.1 Použití rychlých voleb 40
6.2.2 Automatické plnění 40
6.2.3 Přerušení plnění 41
6.2.4 Odtoková nádrž a její vyprazdňování 41
6.2.5 Vložení hnojiva či výměna hnojiva 41
6.2.6 Nastavení parametrů 41
6.3 Testování finálních parametrů zařízení 42
6.3.1 Stanovení optimální plnící konstanty 42
6.3.2 Přesnost dávkování vody 43
6.3.3 Přesnost dávkování hnojiva 45
6.3.4 Závislost průtoku na tlaku 46
6.3.5 Závislost teploty ventilu na dávkovaném objemu 47
6.3.6 Spotřeba elektrické energie 47
6.4 Možnosti rozšíření, vylepšení 48
6.5 Ukázka dalšího možného vývoje 49
6.6 Finanční kalkulace 50
7 Závěr 52
8 Seznam použité literatury 53
9 Seznam obrázků 55
10 Seznam tabulek 55
11 Seznam grafů 56
12 Seznam příloh (uvedeny na zdrojovém CD) 56

1 Úvod

Již od nepaměti je problematika závlahy a péče o zahradní rostliny pro někoho naprosto jednoduchým a jasným úkolem. Pro někoho to však může být činnost, ve které se příliš nevyzná, nebo která je mu cizí. Přesto se však většina z nás musela někdy v životě starat o rostliny, zahradu – ať už větší či menší, svou či rodinnou.

Jedná-li se o velké, rozlehlé zahrady, sady atp., je jisté, že zde bude využita pravděpodobně již nějaká obdoba profesionální techniky. Například studna s čerpadlem a hadicový systém. Samozřejmě existuje spousta technologií a projektů pro závlahu velkých a rozsáhlých zahrad, pozemků.

Jedná-li se spíše o menší, například městské zástavby, kde není příliš volné půdy, kde se ve většině případů nachází mezi budovami dlažba, kde nezbývá moc prostoru pro vzrostlou vegetaci a kde se spíše uplatňuje sázení do květináčů a různých nádob, tak právě tam nastává otázka, jak se o tento prostor starat. Jde o to, aby tato činnost byla pro člověka efektivní, komfortní a pokud možno i zábavná. Možností se nabízí hned několik.

Jednou z nejběžnějších možností je použití zahradní hadice. Její použití nese s sebou spoustu nevýhod a není pro každého. Hadice plná vody je velmi těžká, velmi špatně se s ní manipuluje a její uskladnění vyžaduje jistou zručnost při smotávání. Rovněž stáří hadice hraje roli při manipulaci. Čím je hadice starší, tím více dochází ke tvrdnutí materiálu, z něhož je vyrobena.

Klasickým a jednoduchým způsobem je zalévání konvemi. Někomu se tento způsob může zdát velmi zdlouhavý a často nudný.

Třetím způsobem je zalévání s pomocí zahradnického automatu, jemuž jsem se rozhodl věnovat v této bakalářské práci. Jedná se o pomocné zařízení, které je schopno dle voleb uživatele plnit automaticky konve bez jeho přítomnosti. To nejen snižuje čas celého procesu zalévání, ale také zvyšuje komfort uživatele a stává se tak i zábavným.

Princip zahradnického automatu spočívá v tom, že uživatel použije dvě konve. Tyto konve bude v plnění střídat. Benefitem je, že nemusí po čas plnění konev držet u vodovodního kohoutu. Než se naplní jedna, uživatel může v tomto čase s druhou již zalévat a šetřit tak svůj čas.

Další velkou výhodou oproti klasickým způsobům zalévání je i možnost zvolit funkci dávkování hnojiva. U prvního zmíněného toto není prakticky vůbec možné. U druhého je přidávání hnojiva do zálivky pro běžného uživatele obtěžující. Proto je zde další důvod, proč raději použít vodní automat pro zahrádkáře, který tento úkol splní jednoduše, rychle a čistě.

2 Cíl práce

Cílem této práce je navrhnout a vytvořit zařízení, které dokáže dávkovat s určitou přesností vodu přímo do konve nebo do hadicového systému. Taktéž by zařízení mělo být schopné dávkovat hnojivo v tekuté formě přímo do zálivky bez nutnosti dalších úkonů, a to dle uživatelem stanovených poměrů dávkování. Automat by měl být intuitivní, jednoduchý na ovládání a především programovatelný ve smyslu nastavování uživatelsky přístupných parametrů. Například nastavení objemu dávkované vody a objemu dávkovaného hnojiva. Dále by mělo být možné nastavovat kalibrační parametr pro seřízení měření průtoku a další možnosti nastavení zařízení v rámci uživatelského komfortu. Výsledné zařízení by rovněž mělo být schopno vykonávat tuto opakovanou činnost bez obtíží a svou konstrukcí vyhovovat venkovnímu použití.

Dílčí cíle práce:

- Návrh konstrukce a její výroba
- Návrh ostatních dílů konstrukce a jejich výroba
- Návrh a realizace kapalinového mechanismu
- Výběr vhodného vstupně-výstupního prvku a realizace grafického uživatelského rozhraní
- Návrh řídicí elektroniky, její výroba a naprogramování

3 Metodika práce

Způsob vypracování této práce spočívá v návrhu a výrobě veškerých dílčích částí zařízení, jeho sestavení, naprogramování mikroprocesoru, který jej bude řídit a v neposlední řadě ve vytvoření grafického uživatelského prostředí pro ovládání zařízení.

Teoretická část práce se bude zaměřovat na základní principy některých částí zařízení a na jednoduché rozdělení hnojiv. Založena bude na odborné literatuře a z části bude čerpáno z vlastních, již získaných znalostí.

Praktická část bude již konkrétně zaměřena na jednotlivé úkony. Zaměřím se zde na popis návrhu a výroby zařízení vodního automatu pro zahrádkáře.

4 Teoretická východiska

4.1 Zalévání

Každý živý organismus tvoří z devíti desetin voda. Je základním stavebním prvkem všech buněk. Voda se účastní mnoha biochemických pochodů. Pro úspěšné pěstování ať už plodin s bohatou úrodou, nebo okrasných rostlin se zářivými květy je zcela zásadní voda.

Dýchání rostlin probíhá pomocí listů. Po dopadu slunečního světla zahájí fotosyntézu provázanou s tzv. transpirací. Při tom se do okolního vzduchu vylučuje velké množství vody. V mízním pletivu tak vzniká podtlak, který je využit k nasávání roztoku z půdy kořeny. Podstatou tohoto jevu je osmóza. Jedná se o zhoustnutí mízy v důsledku odčerpané vody, a tedy o snahu vodu doplnit prostřednictvím kořenů. Velké množství rostlin přijímá vodu také listy.

Transpirací se spotřebuje velké množství vody. U velkých rostlin, jako jsou například vzrostlé stromy, může za slunečný den dojít k odpaření až 100 litrů vody. Taktéž i malé rostliny, například rostlina rajčete, denně vyloučí i několik litrů vody. K odpařování dochází především za intenzivního slunečního svitu, kdy probíhá fotosyntéza. Z oxidu uhličitého a vody vznikají důležité stavební a zásobní látky. Voda je tak nepostradatelným stavebním kamenem pro tvorbu zelené hmoty.

Voda je také využívána jako rozpouštědlo umožňující pohyb látek jak do těla rostliny, tak ven do půdy nebo vzduchu. Voda rozvádí pomocí mízy živiny do všech částí rostliny, odvádí z listů vzniklé cukry a přemisťuje je do biochemických pochodů tam, kde je to potřeba. (1)

K zalévání rostlin by mělo docházet jen v případě, kdy to rostliny vyžadují. Ve volné půdě je potřeba závlahy od počátku jara do konce léta. Jindy si rostliny vystačí s průměrným týdenním úhrnem srážek cca 25 mm. Ve vegetačním období je takřka nemožné rostliny v záhonech přelít. V zimních obdobích je naopak některým rostlinám nutno vodu dodat, aby nedošlo k extrémnímu přesušení.

Oproti tomu u vnitřních, neboli pokojových rostlin, může jednoduše dojít k zahubení rostliny ať už přelitím, nebo naopak nezalitím. Množství a četnost zálivky se odhaduje velmi obtížně. Požadavky venkovních i pokojových rostlin na množství zálivky se v průběhu jejího života mění. Nejvyšší nároky bývají zpravidla na vrcholu jara.

4.2 Hnojiva a jejich dělení

Hnojiva jsou látky, které podporují růst rostlin. Poskytují živiny pro výživu rostlin i lesních dřevin. Zlepšují půdní úrodnost a také kvalitu produkce. Použití hnojiv zabraňuje poklesu živin v půdě. Rozlišujeme, zda je hnojivo jednosložkové, nebo vícesložkové. O hnojivech pojednává zákon č. 308/2000 Sb. (156/1998 Sb.) (2)

Dělí se podle:

- **účinnosti:**
  - hnojiva přímá
  - pomocné látky
- **původu:**
  - hnojiva minerální
  - hnojiva statková
- **skupenství:**
  - hnojiva tuhá
  - hnojiva kapalná

4.2.1 Hnojiva přímá a pomocné látky

Hnojiva přímá jsou látky obsahující rostlinné živiny ve větším množství. Do této skupiny hnojiv řadíme hnojiva minerální – minerální forma, statková – organická forma.

Pomocné látky, které ve větším množství neobsahují živiny pro rostliny, ale které zlepšují prostředí, ve kterém rostlina vegetuje. Rostlina pak dokáže lépe využívat živiny z tohoto prostředí.

4.2.2 Hnojiva minerální a statková

Minerální (koncentrovaná) hnojiva se hojně využívají v zemědělství po celém světě. Hovoříme o chemicky připravených – průmyslových látkách. Jedná se buď o jednosložková, nebo vícesložková hnojiva. Minerální hnojiva jednosložková jsou dusíkatá, fosforečná, draselná, vápenatá, hořečnatá a v případě vícesložkových je to kombinace těchto prvků. (3) Vyráběna jsou z přírodních surovin. Například z fosfátů, draselných minerálů, vápence a dolomitu, nebo pomocí přímé syntézy dusíku a vodíku, kdy vzniká amoniak jako zdroj dusíku. Při výrobě se většinou omezují vedlejší složky použitých surovin, čímž dochází ke koncentraci živin. Dříve bylo složení těchto hnojiv udáváno v oxidech (např. fosfor P_2O_5). V současnosti je snahou přejít na údaje v čistých prvcích. Problematika udávání složení těchto hnojiv se řídí dle vyhlášky č. 271/2009 Sb. (2)

Hnojiva statková jsou velkoobjemová hnojiva vznikající v zemědělské prvovýrobě. Dělíme je na hnojivá stájová, která vznikají vylučováním zvířat v živočišné zemědělské

produkci, a na hnojiva ostatní. Příkladem může být kompost, sláma na hnojení a ostatní organická hmota. Představují univerzální hnojiva s pozvolným a dlouhodobým působením. Mají vysokou hnojivou hodnotu a do půdy dodávají:

- rostlinné živiny – makroprvky i mikroprvky
- organické látky
- mikroorganismy
- látky stimulační, růstové a hormonální

(2)

4.2.3 Hnojiva tuhá a kapalná

Hnojiva tuhá jsou především hnojiva minerální, která se dělí na prášková a zrnitá dle velikosti částic.

Kapalná hnojiva jsou minerální hnojiva vyráběná jako roztoky nebo suspenze a dělí se na beztlaká, nízkotlaká a vysokotlaká.

4.3 Použití hnojiv

Jakákoliv činnost v přírodě vede k přeměnám látek a energie. Každé lidské konání a činnost organismů vždy vyžaduje příjem látek a energie. S tím jsou spojeny především jejich přeměny. Všechny organismy, ať už rostlinné, nebo živočišné, žijí na úkor prostředí a odčerpávají z něj určité látky. Část z nich se vrací v méně či více pozměněné formě. To prostředí velmi ovlivňuje, proto je velice důležité tyto látky a živiny do něj navracet.

Velmi důležitým poznatkem ke správné výživě rostlin je Sprengel-Liebigův zákon minima. Ten je často znázorňován jako řetěz, jehož pevnost je limitována nejslabším článkem, nebo jako sud, kde nejnižší dýha omezuje výšku hladiny. To znamená, že má-li rostlina byť jen některé složky výživy nedostatek, nemůže celkově prosperovat a je touto složkou limitována. Proto je problematika hnojení velmi důležitá a s pěstováním všech druhů rostlin spjatá. (2)

Hnojení rostlin je společně s vhodným zaléváním velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje objem produkce, kvalitu produkce, celkový vzhled rostlin a plodů. Rostliny můžeme obecně rozdělit do několika skupin, ale každá z nich je jedinečná a potřebuje individuální přístup jak k zalévání, tak k hnojení. Skladba hnojiva by tak měla být správně upravena pro každou rostlinu zvlášť. Existují však i kombinované přípravky hnojiv, které vyhovují velkému spektru rostlin. Vždy by však mělo být dbáno na přesné složení pro konkrétní rostlinu. V kapitole 4.4 jsou uvedeny zástupci nejběžněji pěstovaných rostlin a jejich odběr živin. Nedostává-li se rostlině těchto prvků přírodní cestou, je potřeba je nahradit – doplnit hnojivy.

4.4 Odběr živin u skupin rostlin pěstovaných v domácích podmínkách

Druh	Střední odběr živin (g čistých živin / kg produkce)				
	N	P	K	Ca	Mg
Kapusta hlávková	7,1	1,1	7,5	2,5	0,5
Kapusta růžičková	30	4	30	20	1,5
Kedluben	5	1	5,4	3,2	0,6
Květák	4	0,7	4,8	0,7	0,3
Zelí bílé	3,4	0,6	3,8	2,8	0,3

Tabulka 1 Odběr živin u košťálovin (2, s. 444)

Druh	Střední odběr živin (g čistých živin / kg produkce)				
	N	P	K	Ca	Mg
Okurka	1,7	0,6	2,2	1,8	0,3
Rajče	2,7	0,8	3	2,3	0,3
Paprika	2,7	0,4	3	2,3	0,3

Tabulka 2 Odběr živin u plodové zeleniny (2, s. 448)

Druh	Střední odběr živin (g čistých živin / kg produkce)				
	N	P	K	Ca	Mg
Celer	6	1,1	8,3	2,8	0,4
Petržel	2,2	0,4	4	1	0,4
Mrkev	3,3	0,4	4,1	2,1	1,2
Řepa červená	3,2	0,6	5,3	2,1	0,8

Tabulka 3 Odběr živin u kořenové zeleniny (2, s. 451)

Druh	Střední odběr živin (g čistých živin / kg produkce)				
	N	P	K	Ca	Mg
Salát	2,3	0,5	3,5	1,4	0,2
Cibule	3,0	0,6	3,3	1,7	0,2
Česnek	2,8	0,5	4,6	1,7	0,3
Fazol	9,2	1,1	6,0	6,5	1,0
Hrách	8,0	1,1	6,6	4,3	1,0

Tabulka 4 Odběr živin u listové, cibulové a luskové zeleniny (2, s. 454)

Plod	Střední odběr živin (g čistých živin / kg plodů)				
	N	P	K	Ca	Mg
Jablka	0,7	0,13	1,3	0,05	0,05
Švestky, broskve	1,4	0,20	2,4	0,15	0,10
Třešně	1,9	0,32	2,6	0,22	0,14
Višně	1,5	0,27	2,2	0,23	0,11

Tabulka 5 Odběr živin plody ovocných stromů (2, s. 465)

Druh	Hmotnost 1 rostliny (g)	Odběr živin (g čistých živin / rostlina)			
		N	P	K	Ca
Růže	600	2,70	0,24	2,16	1,20
Karafiát	500	2,15	0,25	2,80	1,30
Brambořík	300	0,51	0,06	0,81	0,30
Chryzantéma	425	1,53	0,25	2,21	0,68

Tabulka 6 Odběr živin jedné okrasné rostliny (2, s. 499)

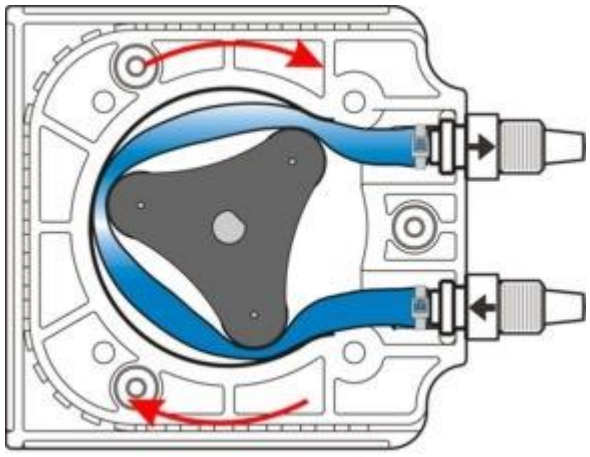
Způsob využití	Odběr živin (g čistých živin / kg suché píce)				
	N	P	K	Ca	Mg
Extenzivní	5,8 – 8,5	1,5 – 1,9	12 – 15	2,4 – 6,0	0,6 – 2,0
Intenzivní	21 – 25	3,3 – 4,0	20 – 22	3,6 – 8,9	1,5 – 3,3

Tabulka 7 Odběr živin trvalými travními porosty (4, s. 141)

4.5 Peristaltické čerpadlo

K hnojení bude v této práci zapotřebí čerpadla, které by dávkovalo tekuté hnojivo do zálivky. K tomu bude sloužit tzv. peristaltické čerpadlo. Peristaltické čerpadlo je speciální druh čerpadla, které se vyznačuje menšími průtoky kapaliny. Velkou výhodou je samonasávací schopnost. Ta je pro tuto práci naprosto klíčová, jelikož požadujeme, aby kapalina dávkovaná tímto čerpadlem byla nasávána sama bez zásahu uživatele. Dalším kladem je, že nedochází ke kontaktu kapaliny s mechanickými prvky čerpadla, čímž nedochází ke kontaminaci čerpané kapaliny. Nízký průtok zde není nikterak omezující, naopak žádoucí. Tekutá hnojiva jsou vždy dávkována maximálně v jednotkách ml, což je objem, který snadno toto čerpadlo přečerpá v relativně krátkém čase během samotného napouštění vody.

Pro peristaltické čerpadlo je základem fungování měkká silikonová hadička procházející tělesem čerpadla ve tvaru půlkruhu. Ve středu tohoto půlkruhu se nachází hřídel elektromotorku, na které je upevněn rotor v podobě otočných ložiskových válečků. Dle zpracování čerpadla rozlišujeme čerpadla se dvěma nebo třemi válečky. Tyto válečky stlačují silikonovou hadičku, čímž dochází k přerušení hadičky v místě kontaktu. Viz obrázek 1. Vlivem otáčení rotoru dochází k vytlačování uzavřeného objemu kapaliny. (5) Rovněž dochází k nasávání kapaliny před čerpadlem vlivem vytvořeného podtlaku, který kapalinu nasaje. (6)



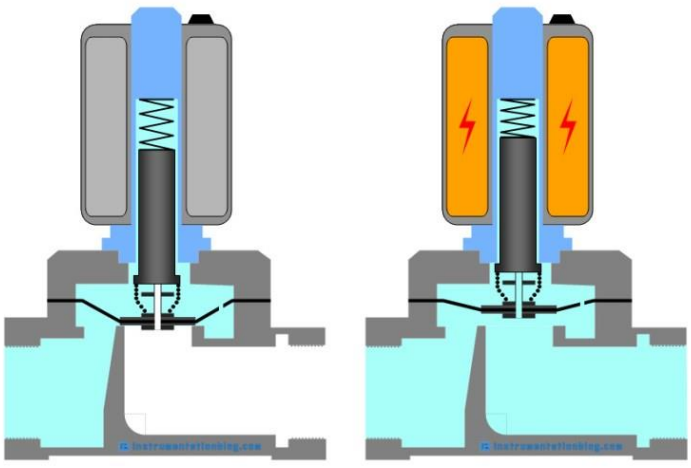
Obrázek 1 Řez peristaltickým čerpadlem (6)

4.6 Provozní tlak vodovodní sítě

Provozní tlak je definován normou ČSN 75 5401, která se věnuje návrhu vodovodního potrubí a která definuje: „Nejvyšší návrhový přetlak v nejnižších místech rozváděcích řádů, budovaných pro zásobování budov, nemá převyšovat hodnotu 0,6 MPa a v odůvodněných případech hodnotu 0,7 MPa.“ Tento údaj je velmi důležitý z hlediska návrhu zařízení, neboť je nutné všechny prvky vybírat s ohledem na tento maximální přípustný tlak.

4.7 Elektromagnetický ventil

Jedním z prvků, které musí vyhovovat provoznímu či maximálnímu tlaku vodovodního řádu, je elektromagnetický ventil. Jedná se o elektromechanickou součástku, která slouží k řízenému uzavírání či otevírání potrubní cesty. Rozlišujeme ventily NC a NO. NC znamená „Normally Closed“, neboli v nesepnutém stavu uzavřeno a NO – „Normally Open“, neboli v nesepnutém stavu otevřeno. Skládá se z těla ventilu, elektromagnetické cívky, pohyblivého jádra a z mechanismu provádějící samotné uzavírání/otevírání. Tělo ventilu může být vyrobeno z plastu, mosazi, hliníku atp. Elektromagnetická cívka je vyrobena z lakovaného drátu, který je navinut na zpravidla plastovou špulku. Mechanismus uzavírání/otevírání může být například membránou. Viz obrázek 2. V této práci je využit ventil pro přesné dávkování vody. (7)



Obrázek 2 Řez membránovým ventilem (7)

5 Vlastní práce

5.1 Prvotní návrh zařízení

Při prvním zamyšlení nad zařízením bylo nutné stanovit, jakou formou má být zkonstruováno. Zda se má jednat o malé nástěnné zařízení, nebo o automat s vlastní konstrukcí. Má-li být zařízení pro zahrádkáře pomocné, vhodnějším řešením se jevila varianta automatu s vlastní konstrukcí. Viz obrázek 3. Tato varianta umožňuje automatické plnění konví, jednoduchou instalaci zařízení a kompaktnost. Rovněž umožňuje využití volného prostoru jako úložný prostor pro konve. Zařízení bez konstrukce by naopak sloužilo maximálně jako řízený ventil a veškerou montáž příslušenství by musel řešit uživatel sám.

Obrázek 3 Podoba návrhu v programu AD Inventor a finální podoba zařízení (vlastní)

5.2 Konstrukce zařízení

5.2.1 Návrh

Konstrukce byla navržena v programu Autodesk Inventor, kde byl vymodelován každý její jednotlivý díl. Tato digitální podoba sestavy umožnila, aby návrh byl co nejvíce účelný a efektivní. V tomto prostředí byly také navrženy všechny další součástky zařízení tak, aby s navrženou konstrukcí vhodně kooperovaly.

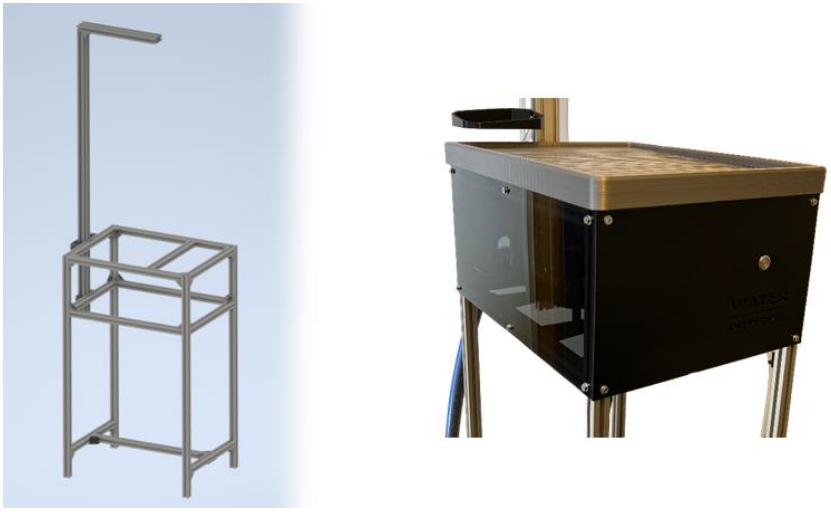
Navržena byla tak, aby odolávala i venkovním podmínkám. Tedy aby nedocházelo k degradaci materiálů, ze kterých je vyrobena. Aby byla modulární, lehká, stabilní a v neposlední řadě aby splňovala designové požadavky na celkové zařízení.

5.2.2 Realizace

Jako materiál konstrukce byl použit hliník. Konkrétně bylo použito extrudovaných hliníkových profilů umožňujících modulárnost konstrukce a jednoduchou montáž pomocí hliníkových rohových spojek. K sestavení byly kromě rohových spojek použity speciální matice a šrouby pro tyto konkrétní profily. Tento druh spoje je velmi kvalitní, pevný a jednoduchý.

Jednotlivé profily byly objednány u německé firmy Dold Mechatronik, která je přímo vyrábí a dle požadavků zákazníků upravuje na požadované rozměry. Profily byly následně smontovány dle návrhu. Konstrukce se skládá celkem z 18 kusů.

Spodní část zařízení je tvaru kvádru a je rozdělena na dvě části. Viz obrázek 4. Menší vrchní část obsahuje elektroniku a tekutinový mechanismus. Elektronika a tekutinový mechanismus jsou instalovány pomocí plastových dílů vyrobených 3D tiskem. Tato část zařízení je ze všech bočních stran a ze strany horní uzavřena. Bočnice jsou vyrobeny z transparentních černých akrylátových desek, které byly nařezány do požadovaného tvaru a do kterých byly vyvrtány otvory pro připevňovací šrouby. Přední a zadní panel byl vyroben opět 3D tiskem. Přední panel byl navíc lakován barvou ve spreji, aby bylo docíleno hladšího povrchu. Tento dále na sobě nese logo zařízení a především napájecí tlačítko. Zadní panel je krytem a umožňuje průchod hadic a napájecího kabelu. Viz obrázek 4.

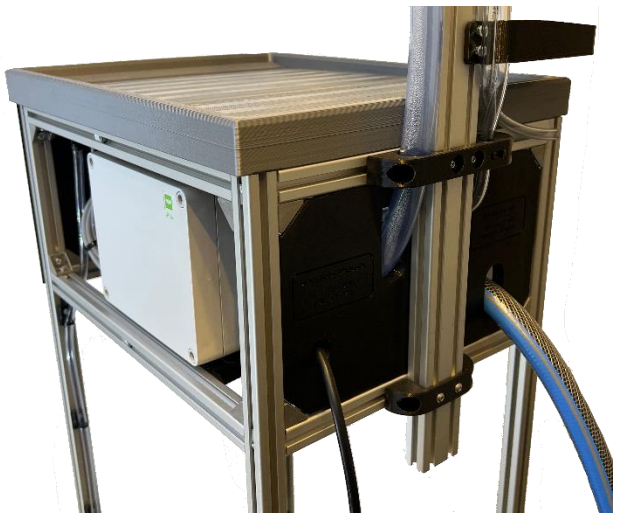


Obrázek 4 Návrh konstrukce v AD Inventor a finální podoba předního panelu (vlastní)

Horní odtoková deska je vyrobena taktéž 3D tiskem. Jedná se o nadrozměrný tisk o velikosti 410x318 mm tisknutém v jednom kuse. Deska slouží k pokládání plněných konví a také v případě vylití či chyby obsluhy k odtoku vody. Odtok je realizován mírným sklonem roviny směrem k drážce, která odvádí vodu z desky do otevřené nádržky na odtokovou vodu. Více o odtokové nádržce v kapitole 5.6.

Větší spodní část je vybavena akrylátovou deskou. Tato část zařízení slouží jako úložný prostor pro druhou konev. Deska je uprostřed podepřena konstrukční hliníkovou vzpěrou, která rovněž slouží jako spojovací prvek rámu konstrukce.

Na zadní straně konstrukce je připevněno rameno automatu. Viz obrázek 5. To lze pomocí povolení šroubů nastavit do výšky dle potřeby uživatele. Rameno slouží jako nosný prvek pro plnící hadici, držák na láhev s hnojivem, mechanismus automatického plnění, osvětlení a také pro displej na konci ramene.



Obrázek 5 Realizace zařízení – zadní panel, box s řídící elektronikou (vlastní)

Na levé straně ramene se nachází držák láhve s hnojivem. Umístění hnojiva je zde záměrné. Je zde jednoduše vidět, kolik hnojiva zbývá a kdykoliv lze láhev vyměnit. Viz obrázek 6. Stejně tak je umístění hnojiva do výšky cca 0,75 m záměrné, a to z důvodu bezpečnosti. Pokud by otevřená láhev hnojiva byla umístěna na zemi, mohlo by dojít k možnému ublížení na zdraví, ať již dítěte, či domácího mazlíčka.

Obrázek 6 Ukázka umístění láhve s hnojivem (vlastní)

Na konci ramene před displejem je instalován mechanismus automatického plnění. Více o tomto v kapitole 5.5. Na konci tohoto ramene je rovněž instalováno malé stmívatelné LED světlo, jehož intenzita může být nastavena uživatelem. Slouží k lepší viditelnosti a představuje pro uživatele větší komfort při práci, je-li zařízení umístěno ve vnitřních tmavých prostorách. Viz obrázek 7.

Na konci ramene se dále nachází displejová jednotka. Více informací v kapitole 5.4.

Obrázek 7 Realizace LED osvětlení (vlastní)

5.2.3 Ověření vhodnosti použitých profilů pro konstrukci

Konstrukce je dimenzována tak, aby byla schopna plnit svůj účel zahradního automatu. Jedním z jejích úkolů je funkce nosného prvku. Nejdůležitějším však zůstává schopnost udržet naplněné nádoby i při maximálním možném zatížení. Předpokládá se, že plněné nádoby budou přiměřeného objemu k rozměrům samotného zařízení a že budou nejčastěji do objemu 15 l. Teoreticky se může jednat o maximální objem vody cca 50 l. To vyplývá ze vztahu 1. Ten vyjadřuje maximální možný objem při maximálních možných rozměrech nádoby, která by se vešla na plnicí desku automatu.

$$V_{max} = a \cdot b \cdot c \ [m^3] \qquad [1]$$

$$V_{max} = 0{,}4 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}415 = 0{,}0498 \ m^3 = 49{,}8 \ l \ \cong 50 \ l$$

a – maximální délka nádoby [m]
b – maximální šířka nádoby [m]
c – maximální výška nádoby [m]

Ověření konstrukce bude tedy spočteno pro maximální sílu působící na plnící desku pro sílu F rovnu 490,3 N dle vztahu 2.

$$m = \ \rho_{vody} \cdot V_{max} = 1000 \cdot 0{,}050 \ \cong \ 50 \ kg$$

$$F = m \cdot g = 50 \cdot 9{,}80665 \ \cong \ 490{,}3 \ N \quad [2]$$

Plnicí platforma je nesena čtyřmi svislými profily a čtyřmi horizontálními profily po jejím obvodu. Horizontální profil kratší strany je délky 0,26 m a delší 0,36 m. Ověřen bude průhyb delšího profilu a v něm vznikající napětí při zatížení v ohybu. Uvažováno bude spojité zatížení tohoto profilu. Reakce každého ze čtyř svislých profilů je rovna dle vztahu 3 síle 122,6 N.

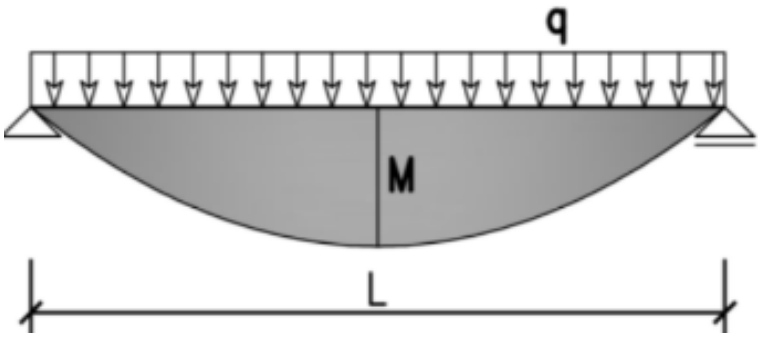
$$R_i = \frac{F}{4} = \frac{490{,}3}{4} \cong 122{,}6 \ N \qquad [3]$$

Síla působící jednotlivě na dva delší profily se rovná dle vztahu 4 síle 245,2 N.

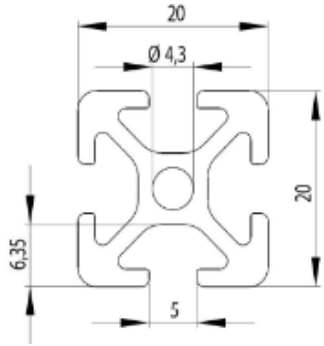
$$F_{max1} = \ F_{max2} = 2 \cdot R_i = \frac{F}{2} = \frac{490{,}3}{2} = 245{,}2 \ N \ [4]$$

Díky této síle lze stanovit spojité zatížení působící v celé délce profilu. Viz vztah 5.

$$q = \frac{F}{l} = \frac{245{,}2}{0{,}36} = 681{,}1 \ N \cdot m^{-1} = 0{,}6811 \ kN \cdot m^{-1} \qquad [5]$$



Obrázek 8 Znázornění zatížení nosníku spojitým zatížením (10)



Obrázek 9 Průřez profilem (8)

Ze stanovené délky profilu a spojitého zatížení lze dále vypočítat maximální ohybový moment působící na profil. Znázornění viz obrázek 8.

K dalším výpočtům jsou potřeba informace ohledně materiálu použitého profilu a jeho vlastnosti. Konstrukce je vyrobena z hliníkových profilů o rozměrech 20 x 20 mm, řez profilem viz obrázek 9. (8)

- Materiál profilů: EN-AW 6063 T66
- Maximální dovolené napětí hliníku v ohybu: $\sigma_{o\ dov} = 299\ MPa$ (9)
- Modul pružnosti v tahu hliníku: $E = 70\ 000\ MPa$
- Kvadratický moment průřezu: $I_x = I_y = 7479\ mm^4 = 7{,}479 \cdot 10^{-9}\ m^4$
- Průřezový modul v ohybu: $W_o = 747{,}9\ mm^3$

Dle vztahu 6 vypočteme průhyb profilu při daném spojitém zatížení. (10)

$$w_s = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \cdot 0{,}6811 \cdot 0{,}36^4}{384 \cdot 70\ 000 \cdot 7{,}479 \cdot 10^{-9}} \cong 0{,}285\ mm \quad [6]$$

Výsledkem je hodnota 0,285 mm, o kterou se profil pod zatížením prohne. To demonstruje, že ani nádoba o objemu 50 l by konstrukci nikterak nepoškodila. Zařízení je určeno především pro plnění 10 l konví. Konstrukce je tak dostatečně dimenzovaná i pro větší objemy.

Další kontrolou může být ověření maximálního ohybového momentu a tím vyvolaného maximálního napětí v materiálu profilu. Dle vztahu 7 lze jednoduše stanovit maximální ohybový moment, který nastává díky povaze spojitého zatížení přesně uprostřed profilu. Tento vztah byl ověřen pomocí metody výpočtu posouvajících sil a hledání maximálních ohybových momentů.

$$M_{o\,max} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 681{,}1 \cdot 0{,}36^2 = 11{,}03\ Nm = 11{,}03 \cdot 10^3\ Nmm \qquad [7]$$

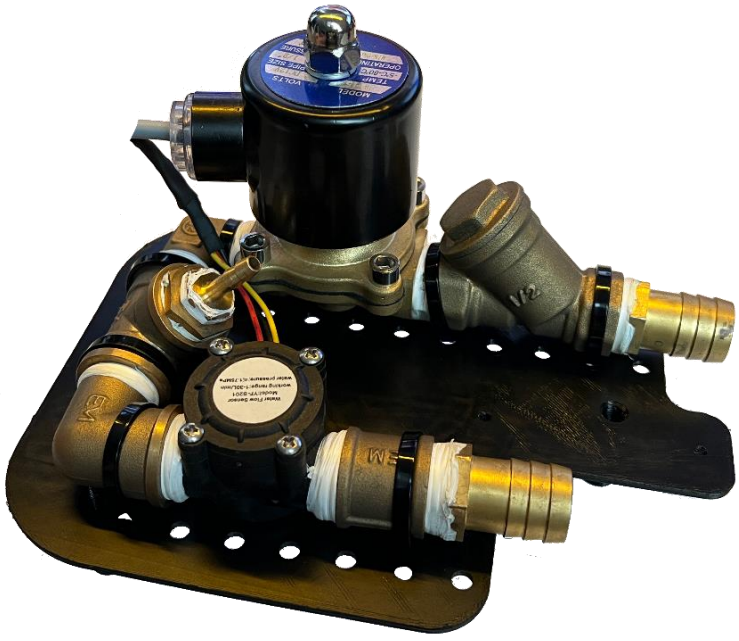
Vznikající ohybové napětí lze vyjádřit ze vztahu 8.

$$\sigma_{o\,max} = \frac{M_{o\,max}}{W_o} = \frac{11{,}03 \cdot 10^3}{747{,}9} \cong 14{,}75\ MPa \qquad [8]$$

Maximální dovolené napětí hliníku v ohybu je 299 MPa. Vypočtené napětí 14,75 MPa je řádově menší než dovolené a je tedy ověřeno, že zvolené profily jsou zcela vhodné pro toto použití. (9)

5.3 Kapalinový mechanismus

Jednou z nejdůležitějších částí zařízení je tzv. kapalinový mechanismus. Jedná se o několik prvků, které zajišťují hlavní funkce automatu. Viz obrázek 10. Jde o plnění, měření průtoku a dávkování hnojiva. Celý tento systém byl zkonstruován z mosazných instalatérských prvků o velikosti ½ “. Všechny prvky jsou dimenzovány na maximální provozní tlak 1 MPa. Jsou tedy vhodné pro toto použití, jelikož maximální přípustný provozní tlak ve vodovodní síti je 0,7 MPa. Těsnění prvků bylo provedeno teflonovou páskou.



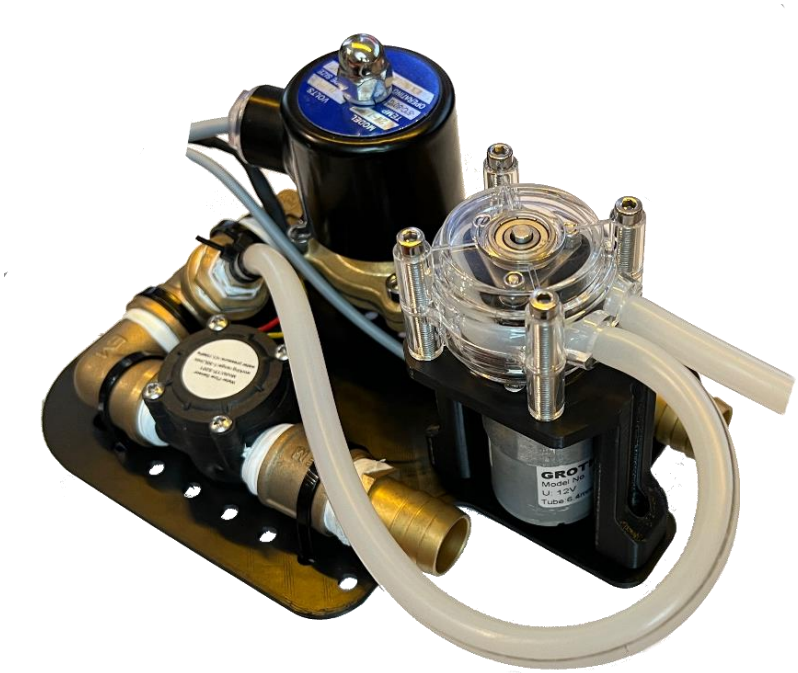
Obrázek 10 Ukázka kapalinového mechanismu bez peristaltického čerpadla (vlastní)

Prvním prvkem této soustavy je vodní filtr. Ten slouží jako vstupní filtr, který by měl zachytit největší nečistoty obsažené ve vodě na vstupu zařízení tak, aby nedošlo k poškození dalších částí.

Za filtrem se nachází elektromagnetický ventil. Jedná se o mosazný membránový ventil NC. NC znamená, že v případě vypnutí zařízení je uzavřen. Pouze při napájení se otevře. Jedná se o ventil pro jmenovité stejnosměrné napětí 12 V. Jeho proudový odběr je při jmenovitém napětí 2,08 A. Řízení tohoto ventilu je pospáno v kapitole 5.9.

Dalším důležitým prvkem je v prvé řadě mosazný kus tvaru T sloužící pro vstřikování hnojiva přímo do zálivky. Následuje mosazná redukce a fitinka pro silikonovou trubičku.

Zmíněná silikonová trubička vede z peristaltického čerpadla, viz obrázek 11. Toto čerpadlo čerpá hnojivo z láhve a vstřikuje ho přímo do kapalinového mechanismu. Čerpadlo bylo speciálně k tomuto účelu vybráno z důvodu, že dokáže blokovat tlak na straně výstupu. To je v této aplikaci naprosto zásadní, jelikož nedovoluje vodě z vodovodního řádu pod nemalým tlakem proudit do láhve s hnojivem a tím jej neustále ředit. Blokování je docíleno jeho konstrukcí, kdy je silikonová trubička vždy alespoň ve dvou místech zcela stlačena, tudíž se přes něj kapalina nedostane ani v případě nečinnosti.



Obrázek 11 Ukázka kompletního kapalinového mechanismu (vlastní)

Dalším v řadě je průtokový měřák. Jedná se o měřák s turbínou a Hallovou sondou. Turbína se vlivem průtoku kapaliny otáčí. Na turbíně je připevněn malý magnet, který je při každé otáčce turbíny zaznamenán Hallovou sondou jako jeden pulz. Snímáním frekvence pulzů lze tedy získat údaj o aktuálním průtoku.

Napojení zařízení k vodovodnímu řádu je provedeno zahradní hadicí o velikosti ¾ “, aby nedošlo ke snížení průtoku. Na hadici lze instalovat rychlospojku na zahradnické hadice. Tu pak lze jednoduše připojit na běžný zahradnický kulový ventil.

Výstup z tekutinového mechanismu je proveden transparentní PVC hadicí o vnitřním průměru 16 mm a tloušťce stěny pouhých 2 mm. Ta není svým materiálem příliš vhodná pro venkovní použití, ale její mechanické vlastnosti umožňují velký ohyb a je klíčová pro mechanismus automatického plnění, kdy běžná zahradní hadice je příliš tuhá a nepoddajná.

5.4 Vstupně výstupní ovládací prvek – displej

Aby bylo možné zařízení komfortně ovládat, bylo nutné vyřešit otázku ovládání a zadávání informací. Možnosti řešení tohoto problému byly dvě. První variantou byl alfanumerický displej s tlačítky. To by však znamenalo nutnost vytvořit další plošný spoj s tlačítky, řešit problematiku vodotěsnosti a v neposlední řadě by bylo velmi obtížné a nepraktické zde vypisovat příliš mnoho informací. Také by bylo velmi nepraktické zadávání číselných, nebo i jiných parametrů.

Druhou možností byl komerčně prodávaný barevný dotykový LCD displej s integrovanou grafikou, pro kterou jsem se po zvážení rozhodl. Jedná se o produkt firmy Nextion, konkrétně o model NX4827P043 z řady Nextion Intelligent. Je to displej o velikosti 4,3 “ s rozlišením 480 x 272 pixelů, s rezistivním dotykovým panelem a dostatečně velkou 128MB flash pamětí. (11) Tento dotykový displej je ideálním řešením, jelikož po naprogramování vykonává grafické úkony bez zatěžování řídicího mikroprocesoru. Je k zařízení připojen pouhými 4 vodiči a komunikuje pomocí sběrnice UART. Ta umožňuje jednoduchou komunikaci mezi řídicí elektronikou zařízení a displejem. Je založena na pouhých příkazech a výměně informací. Veškeré grafické řízení a pochody obstarává integrovaný mikroprocesor displeje.

Programování grafického uživatelského prostředí, dále již jen GUI – Graphical User Interface, probíhá pomocí programu Nextion Editor vyvinutého přímo společností Nextion pro své produkty. GUI bylo vyvinuto přímo pro potřeby automatu tak, aby bylo ovládání jednoduché, intuitivní a rovněž byl kladen důraz na design. Viz obrázek 12.

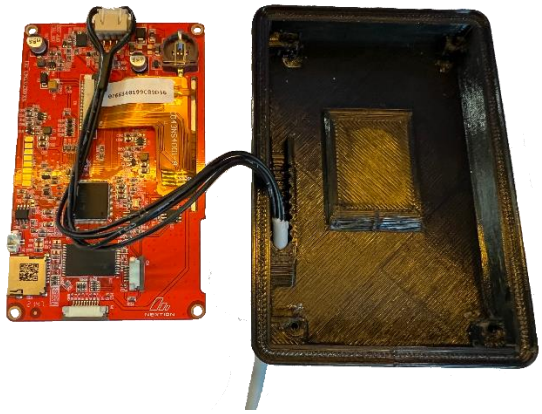
Obrázek 12 Ukázka GUI – úvodní strana (vlastní)

Zvolen byl rezistivní dotykový panel, nikoliv kapacitní, a to z důvodu možných problémů s ovládáním. V případě, že by byly na displeji nečistoty, nebo pokud by automat byl uživatelem použit po dešti, byla by ovladatelnost displeje znemožněna. Rezistivní dotykový panel reaguje čistě na mechanickou sílu vyvolanou v daném místě, a proto je pro toto použití výhodnější a odolnější.

Displej je instalován v plastovém díle vyrobeném 3D tiskem tak jako většina ostatních částí zařízení. Viz obrázek 14. Je zde upevněn 4 šrouby M3 s pomocí dalšího plastového rámečku. Displej a plastové díly jsou překryty speciálně vyrobenou transparentní fólií s černým neprůhledným rámečkem, která slouží jako ochrana a utěsnění prostoru displeje. Hermeticky tak uzavírá s pomocí lepidla displejovou jednotku a umožňuje její použití i ve venkovním prostředí. Viz obrázek 13. Ze zadní strany je vyveden 4-vodičový kabel. Utěsnění je provedeno tavným lepidlem.

Displejová jednotka je připevněna na konci ramene konstrukce kloubem tak, aby bylo pro jakéhokoliv uživatele ovládání zařízení komfortní. Výšku ramene konstrukce lze nastavit.

Obrázek 13 Kompletní displejová jednotka (vlastní)



Obrázek 14 Ukázka sestavy displejové jednotky (vlastní)

5.5 Systém automatického plnění

Systém automatického plnění je mechanismus umístěný na rameni zařízení. Viz obrázek 16. Slouží jako pohyblivý kloub, kterým prochází plnící hadice. Má dva stabilní stavy. A to stav, kdy je vložena do automatu konev a má dojít k plnění a stav, kdy konev z automatu odebíráme a kdy je plnicí hadice vykloněna z automatu. Tyto dvě stabilní polohy jsou velmi důležité pro komfortní výměnu konví uživatelem. Díky této vlastnosti je nyní potřebná pouze jedna ruka. V mechanismu se nachází spínač identifikující polohu ramene. Viz obrázek 15. Na základě vyhodnocení stavu spínače lze řídicí elektronikou ovládat automatické plnění bez nutnosti dalšího zásahu uživatele. Zjednodušuje tak celkové ovládání a zvyšuje komfort. Rovněž lze zabránit nečekaným stavům. Hovoříme například o předčasném odebrání konve, kdy automat napouštění zastaví.

Obrázek 15 Ukázka dvoustavového kloubu (vlastní)

Obrázek 16 Realizace automatického mechanismu (vlastní)

5.6 Mechanismus odtoku

Odtoková deska slouží k odvádění vody z jejího povrchu. Odvádí ji do vnitřní otevřené nádržky, která umožňuje díky svému tvaru pozvolné odpařování, není-li zrovna zařízení v provozu. Nádržka má objem cca 0,4 l. Viz obrázek 17. Je-li zařízení používáno velmi často a je-li této odtokové vody více, nádržka se po naplnění začne sama vyprazdňovat pomocí tzv. Bellova sifonu slabou transparentní hadičkou vedoucí podél pravého předního profilu. Bellův sifon je automatický mechanismus, který po naplnění na určitou hladinu začne sám odčerpávat kapalinu až do doby, dokud nádržku nevyprázdní a dokud nenasaje vzduch. Jakmile je nasát vzduch, sifon přestává fungovat a nádržka se může opět začít plnit. Toto řešení má výhodu v tom, že uživatel se nemusí starat o nádržku uvnitř zařízení. Je-li umístěno ve venkovním prostředí, je zřejmé, že vyprázdnění objemu 0,4 l jednou za delší období není nikterak závadné. Je-li umístěno ve vnitřních prostorách, jako je například garáž, je vhodné umístit k zařízení nádobku na zem, do které se po čase vyprázdní vnitřní nádržka zařízení. Nádržka obsahuje senzor naplnění. V případě naplnění je uživatel o tomto informován na displeji. Tento senzor má však i důležitější funkci. V případě, že by se uživatel spletl a zadal chybný cílový objem a plněná nádoba začala přetékat, dojde k zastavení plnění a vyčkání na reakci uživatele.

Obrázek 17 Ukázka návrhu odtokové nádržky (vlastní)

5.7 Návrh a výroba vlastních dílů

Zařízení se skládá z mnoha komponentů. Některé součástky byly vyrobeny přímo pro účely tohoto zařízení. Jedná se zejména o části vyrobené pomocí 3D tisku. Navrženy byly stejně jako konstrukce v programu Autodesk Inventor. Tento program je profesionální modelovací program pro tvorbu 3D objektů. Pomocí funkcionality sestavy bylo zařízení navrhováno od jednotlivých dílů konstrukce až po finální komponenty tak, aby spolu tvořily funkční celek. Je samozřejmé, že návrh tedy předcházel jeho realizaci. Každá jednotlivá součást byla modelována pro konkrétní účel. Celkově se jedná o 35 dílů, které bylo potřeba následně vyrobit.

Příprava modelů do podoby tisknutelných souborů GCODE bylo prováděno pomocí softwaru PrusaSlicer. Zde bylo nutné pro každý díl nalézt optimální nastavení tisku a tiskových parametrů.

Ke zhotovení součástí byly použity dvě 3D tiskárny. A to Anycubic Chiron a Prusa I3 MK3. První zmíněnou tiskárnu jsem použil při výrobě větších dílů a to především odtokové desky, která je svými rozměry 410 x 318 mm poměrně velkým tiskem. Jedná se o velkou tiskárnu s tiskovou plochou do 420 x 420 mm a s instalovanou tryskou o průměru 0,6 mm. Ostatní díly byly tisknuty na tiskárně druhé – Prusa I3 MK3. Ta s tryskou o průměru 0,4 mm byla vhodnější pro tisk menších a detailnějších částí. Tato tiskárna je vhodnější pro tisk z materiálu PET-G. Většina dílů byla zhotovena právě z materiálu PET-G, který je mechanicky odolnější, teplotně odolnější a stálejší. Několik dalších součástek bylo vyrobeno díky svým rozměrům a nutnosti tisku na tiskárně Anycubic Chiron materiálem PLA.

5.8 Měření průtoku

Měření průtoku je pro toto zařízení naprosto klíčové. Slouží ke zjištění aktuálního průtoku kapaliny systémem, a tudíž k určení dávkovaného objemu. Měření probíhá snímáním pulzů generovaných průtokovým měřákem, který je zařazen v sérii s dalšími prvky v kapalinovém mechanismu.

Měřák se skládá z plastového těla, z turbíny s magnetem a z Hallovy sondy. Při průtoku kapaliny měřákem dochází k roztočení turbíny. Každá rotace je zaznamenána Hallovou sondou jako jeden pulz. Tento signál je však ještě před zpracováním mikroprocesorem nutno upravit. Měřák je napájen napětím 5 V, tudíž výstupní signál je v TTL logických úrovních. Mikroprocesor však pracuje s napětím 3,3 V, proto je tedy nutná konverze logických úrovní. Té bylo docíleno pomocí obousměrného převodníku. Více o logickém převodníku v kapitole 5.12.1. Přesnost měření průtoku viz kapitola 6.3.2.

Výpočet konkrétního aktuálního průtoku je dle vztahu:

$$Q = \frac{1000 \cdot PP}{60 \cdot I \cdot K} = \frac{50}{3} \cdot \frac{PP}{I \cdot K} \quad [\, l \cdot s^{-1} \,]$$

Q – aktuální průtok [$l \cdot s^{-1}$]
PP – počet pulzů měřáku za interval I [-]
I – interval měření [ms] (I = 250 ms)
K – plnící konstanta [-] (K = 6,20)

Měření probíhá čtyřikrát za sekundu, proto je interval I = 250 ms. Konstanta plnění byla v kapitole 6.3.1 stanovena na hodnotu 6,20. Výsledný aktuální objem je sumou průtoků za uplynulý čas t.

$$V_{(t)} = \sum_{i=1}^{t} Q_i \quad [\, l \,]$$

Příklad výpočtu aktuálního průtoku dle naměřené frekvence průtokoměru (viz obrázek 18), PP1S = 184 Hz:

Obrázek 18 Analýza výstupního signálu průtokoměru pomocí osciloskopu (vlastní)

$$Q = \frac{1000 \cdot PP}{60 \cdot I \cdot K} = \frac{50}{3} \cdot \frac{\frac{PP1S}{4}}{I \cdot K} = \frac{50}{3} \cdot \frac{\frac{184}{4}}{250 \cdot 6{,}20} \cong 0{,}495\ l \cdot s^{-1}$$

Z výpočtu vyplývá, že frekvence průtokoměru o frekvenci pulzů 184 Hz odpovídá zhruba průtoku 0,495 $l \cdot s^{-1}$. Plnění 10 l konve by tedy mělo trvat přibližně 20,2 sekund.

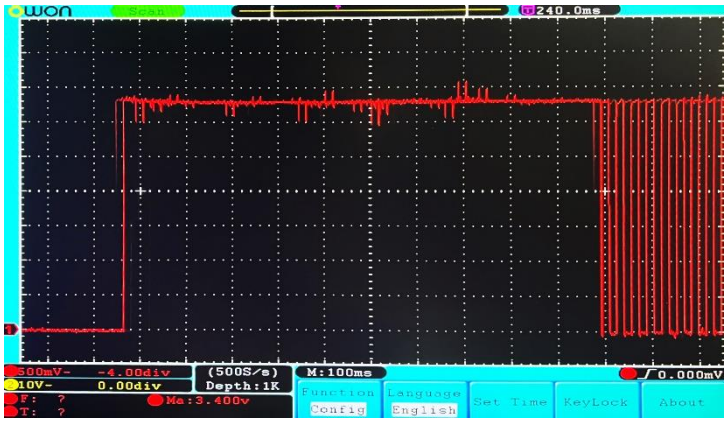
5.9 Řízení ventilu

V zařízení bylo použito elektromagnetického membránového ventilu. Ten je pro tuto aplikaci vhodným, jelikož k jeho otevření či uzavření dochází takřka okamžitě. Příkladem nevhodného typu by byl elektromechanicky ovládaný kulový ventil. Tyto ventily mají dobu otevření či uzavření řádově jednotky i desítky sekund, což by bylo pro zařízení naprosto nevhodné. Membránový ventil reaguje rychle, avšak jeho konstrukce je ve většině případů navržena pro otevření na krátkou dobu. Jeho vinutí je poddimenzované z ekonomického hlediska. Ventil pracuje jak má, avšak je limitován časem otevření. Vinutí se značně přehřívá a tím dochází k degradaci izolace a následně k destrukci. To by mohl být velký problém, kdy uživatel bude požadovat větší objem dávkování a kdy bude napouštění probíhat i řádově několik minut či hodin.

Řešení se nabízí dvě. První možností je volba tohoto ventilu s dimenzovaným vinutím pro dlouhotrvající aplikace. To ale představuje značně zvýšené náklady na výrobu zařízení.

Druhou možností je experimentování s napájecím napětím, které by dokázalo při zachování funkčnosti snižovat výkon, který odebírá vinutí ventilu, a tedy snižování tepelných ztrát. Řídicí elektronika byla navržena tak, aby experimenty umožňovala. Je například schopna prvky spínat a rovněž lze pomocí PWM (Pulse Width Modulation) řídit výkon dodávaný do jednotlivých prvků. Nejedná se o zdroj variabilního napětí, pomocí technologie PWM dochází k omezování času, kdy je obvod v provozu a tím i k omezování celkového výkonu.

Řídicí elektronika při otevření ventilu poskytne zprvu 100 % výkonu na dobu cca 2,5 s, poté dojde ke snížení výkonu až na 50 % po zbytek doby napouštění. Viz obrázek 19.



Obrázek 19 Technika snížení výkonu (vlastní)

Tato technika umožňuje, že se ventil otevře s maximální silou potřebnou k překonání mechanických ztrát. Dále již výkon není zapotřebí, proto je snížen. Vinutí zachovává potřebné magnetické pole a nedochází k jeho nadměrnému ohřevu. Z grafu 5 vyplývá, že při použití techniky snížení výkonu dochází k ohřevu ventilu na teplotu 43 °C při plnění objemu 2000 l, což odpovídá cca 62 minutám. Dále již teplota neroste a ustálí se. Průtok nebyl nikterak ovlivněn. V opačném případě, kdy není této techniky využito a kdy je ventil napájen plným – nominálním výkonem, dochází k rapidnímu zahřívání. Teploty 59 °C bylo při měření dosaženo již během objemu plnění 486 l, což odpovídá cca 15 minutám. Výrobce udává maximální přípustnou provozní teplotu 80 °C. Dle mého názoru a provedeného experimentu by byla příliš ovlivňována životnost ventilu. Taková teplota by měla za následek postupnou degradaci izolace vinutí. Dle experimentu by tato teplota byla

pravděpodobně při delším plnění výrazně překročena. Zařízení by mělo být schopné dávkovat i větší objemy a mělo by mít dlouhou životnost. Velmi dobrý výsledek potvrzuje, že snížení výkonu ventilu v průběhu napouštění je pro zařízení nezbytné, že nesnižuje průtok, že umožňuje použití i levnějších variant ventilů a především zvyšuje životnost celého automatu. Zůstává otázkou, zda s přibývající dobou provozu zařízení, a tedy stárnutí prvků, bude omezený výkon ventilu stačit na to, aby se otevřel. Další otázkou je, jak by ventil reagoval při zvýšeném, či maximálním tlaku vodovodního řádu, na který je automat navržen. Proto je možné konstantu snížení výkonu později přenastavit. V rámci práce nebyla tato problematika měřena z důvodu absence potřebných technických prostředků. Funkčnost ventilu byla měřením ověřena až do tlaku 0,24 MPa. Viz kapitola 6.3.4.

5.10 Způsoby připojení a konektivita

Zařízení bylo od počátku navrhováno s myšlenkou, že jej bude možné připojit k okolnímu prostředí pomocí Wi-Fi technologie a že bude možno se zařízením komunikovat. Proto byla řídicí elektronika vyvinuta s mikroprocesorem ESP 32. Ten disponuje nejen bohatou řadou vstupně-výstupních portů a komunikačních portů, ale především bezdrátovou konektivitou a vestavěnou anténou. To umožňuje, že samotný mikroprocesor je schopen bez dalších přídavných obvodů sám vykonávat komunikační procesy. A to jak technologií Wi-Fi, tak i technologií Bluetooth. Ta však není zařízením využívána.

Automat je schopný se připojit po správném nastavení parametrů k Wi-Fi síti a komunikovat s ostatními zařízeními. To umožňuje například zjištění datumu a času, kterého je využíváno například pro správnou funkci dávkovače hnojiva, nebo například pro zobrazení času na displeji uživateli. Dále proto lze zařízení nastavit tak, aby odesílalo určitá data na místní server, který dokáže data přijmout, uložit a v neposlední řadě i například graficky zobrazit. Přenos dat probíhá pomocí protokolu MQTT, který je vhodný pro odesílání objemově malých dat.

Dalším způsobem využití konektivity je rozhodně možnost konfigurace a práce se zařízením pomocí webového rozhraní. To umožňuje pohodlnou a plnohodnotnou konfiguraci z jakéhokoliv zařízení v síti na dálku. V rámci této bakalářské práce je webové rozhraní pouze ilustrativní a může být předmětem dalšího rozvoje automatu v rámci navazujícího studia.

Konektivitu lze využít i k bezdrátové aktualizaci firmwaru. Ta umožňuje, že v případě potřeby změny, úpravy firmwaru není nutné zařízení rozebírat a fyzicky se připojovat k programovacímu portu řídicí elektroniky. Tato funkce je již zabudována ve firmwaru a je možno ji plně využívat.

5.11 Zdroj napájení

Napájení zařízení je řešeno uzavřeným univerzálním zdrojem stejnosměrného napětí. Ten je umístěn uvnitř boxu pro řídicí elektroniku. Box je vodotěsně uzavřen a tím není ani zdroj, ani řídicí elektronika vystavena vlhku a nepříznivým podmínkám počasí.

Jedná se o zdroj CLD-7012-T2-E25 výrobce CELLEVIA POWER - spínaný napájecí zdroj napájený síťovým napětím AC 230 V s výstupním napětím 12 V DC s výstupním proudem až 6 A o maximálním dodávaném výkonu 72 W. Je to zdroj s třídou ochrany II – má zesílenou izolaci a není opatřen prostředky pro připojení ochranného vodiče. Zdroj nemá žádné dosažitelné živé části, není nebezpečný a není nutné fyzické propojení konstrukce zařízení se zemnícím vodičem. Celkově tak můžeme řadit zařízení do třídy ochrany II. (12)

Zařízení a konkrétně řídicí elektronika může být napájena jak napětím 12 V, tak i napětím 24 V DC. Napětí však nesmí být vyšší než 30 V DC. V tom případě je nutné vyměnit řízené prvky, jako jsou ventily a peristaltická čerpadla za prvky se jmenovitým napětím odpovídajícím zdroji napájení.

5.12 Řídicí elektronika – plošný spoj

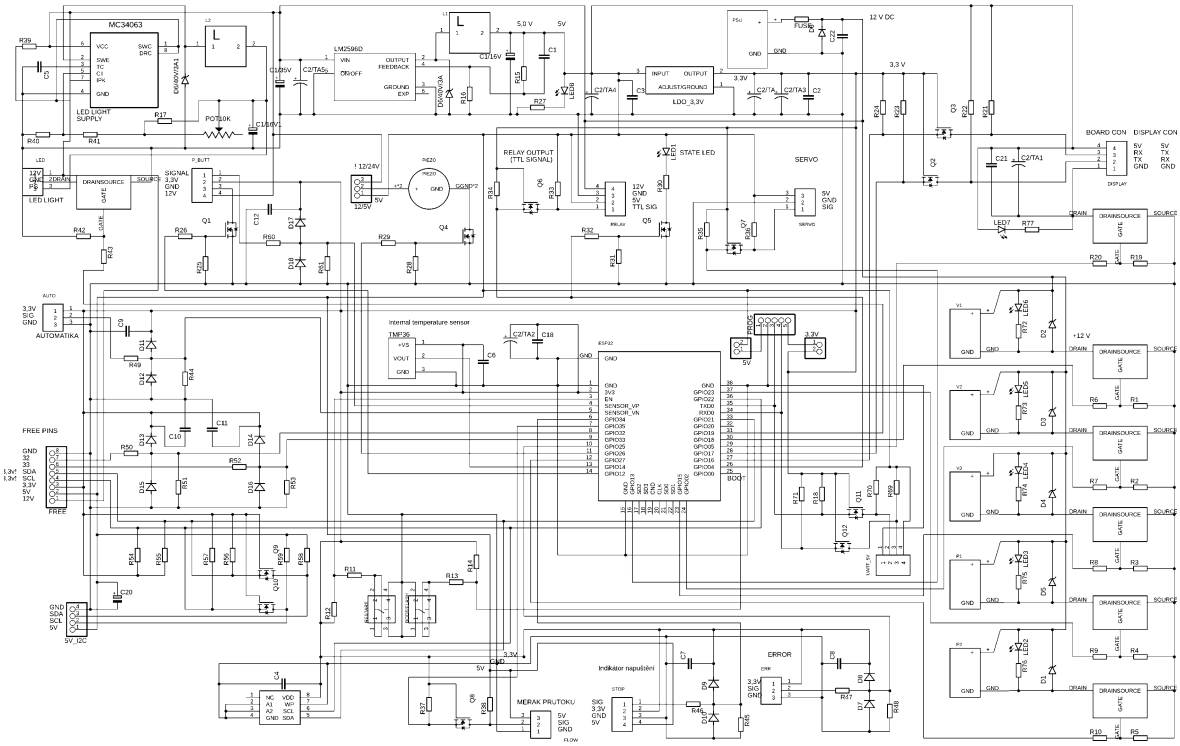
5.12.1 Návrh

Řídicí elektronika byla navržena speciálně pro toto zařízení a pro tyto konkrétní účely. Bylo zapotřebí navrhnout plošný spoj, který by dokázal:

- ovládat a napájet řízené prvky systému
- komunikovat s displejem
- vyčítat potřebné parametry
- v reálném čase reagovat na vstupy
- měřit frekvenci pulzů měřáku průtoku
- uživatele upozornit zvukovým signálem
- napájet LED osvětlení
- komunikovat s okolím

Toho všeho by měl být plošný spoj schopen v relativně kompaktním a efektivním provedení. Vývoj byl realizován pomocí programu Autodesk Eagle. Program se skládá ze dvou hlavních částí. A to z prostředí tvorby schématu a z prostředí tvorby podoby samotného plošného spoje.

V prostředí tvorby schémat bylo navrženo schéma zapojení prvků řídicí elektroniky. Viz obrázek 20. Použity byly jak základní prvky knihovny programu, tak i další knihovny dostupné veřejně v rámci komunity uživatelů. Knihovny pro některé prvky však nebyly nikde k dohledání. Proto bylo zapotřebí vytvořit vlastní tak, aby bylo možné dokončit schéma a následně i fyzickou podobu plošného spoje.



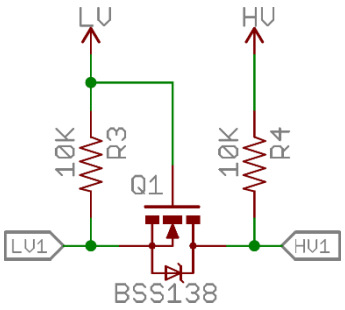
Obrázek 20 Schéma řídicí elektroniky (vlastní)

Návrh řídicí elektroniky probíhal nejprve úvahou nad jednotlivými částmi. Bylo nutné se zamyslet nad každou částí zvlášť tak, aby byla v souladu s celkem.

Prvním bodem návrhu byl výběr vhodného mikroprocesoru. Na ten jsou kladeny nejvyšší nároky a jeho volba byla proto klíčová. Po úvahách jsem dospěl k závěru, že nejvhodnějším bude mikroprocesor firmy Espressif řady ESP 32. Konkrétně model ESP 32 WROOM N16. Ten je pro účely tohoto zařízení naprosto skvělou volbou, jelikož se jedná o výkonný dvoujádrový 32-bitový mikroprocesor s maximální taktovací frekvencí 240 MHz. Disponuje velkým počtem vstupně-výstupních portů, velkým množstvím

komunikačních portů, podporou Wi-Fi a Bluetooth technologií a v neposlední řadě se jedná o cenově velmi přijatelný mikroprocesor. Typ N16 byl zvolen pro svou mnohanásobně větší flash pamět o kapacitě 16 MB. Ta je velmi důležitá. Samotný firmware zařízení zabírá podstatnou část paměti. Dále je paměť využívána v případě bezdrátového programování technologií OTA (Over The Air), která si do této paměti ukládá nový firmware, který bude následně nahrán. Rovněž je zde velký požadavek na paměť z důvodu budoucího webového rozhraní. (13)

Mikroprocesor pracuje s napětím a logickými úrovněmi 3,3 V na rozdíl od jiných částí elektroniky, které pracují s logickými úrovněmi 5 V. Proto bylo nutné věnovat velkou pozornost těmto konfliktům a vyřešit je. Problém byl řešen pomocí obousměrného převodníku logických úrovní. Jelikož se jedná o obousměrný převodník, je naprosto ideálním. Ať už se jednalo o konverzi signálu komunikační sběrnice UART mezi mikroprocesorem a displejem, konverze sběrnice I2C, nebo i v případě konverze jednoduchého signálu v rámci plošného spoje, například při převodu signálu z měřáku průtoku. Převodník je velmi jednoduchý a skládá se ze tří součástek. Z tranzistoru BSS138 a ze dvou identických rezistorů o hodnotě odporu 10 kOhm. (14) Zapojení viz obrázek 21. (15)



Obrázek 21 Zapojení obousměrného logického převodníku (15)

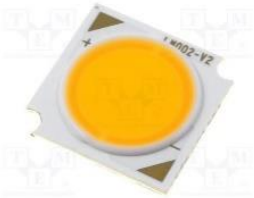
Dalším bodem návrhu byl způsob programování mikroprocesoru. Na plošném spoji byly pro účely programování umístěny dva mikrospínače. Ty jsou pro programování nezbytné. Jedná se o Reset a Enable. Tlačítkem Reset lze mikroprocesor zrestartovat a v kombinaci se stisknutým tlačítkem Enable jej lze uvést do stavu programování. To je stav, kdy mikroprocesor čeká na svém komunikačním portě UART0 data k zápisu do paměti. Proto je komunikační port UART0 vyčleněn pouze pro programování a pro případnou komunikaci počítače se zařízením. Na plošném spoji je vyveden konektor právě pro tyto účely pro zapojení převodníku UART na USB.

Další otázkou návrhu byl způsob ukládání dat a řešení fyzické paměti. Mikroprocesor disponuje sice velkou flash pamětí, přesto jsem se rozhodl tuto paměť nikterak nepoužívat z důvodu ponechání co nejvíce místa pro program, webové prostředí a aktualizace firmwaru pomocí OTA. Mikroprocesor má dále interní paměť EEPROM. Tato paměť by byla pro použití kapacitně dostatečná, ale z hlediska její životnosti by pro aplikaci byla nevhodná. Zařízení bude potřebovat ukládat jednoduchá data, řádově stovky Bajtů, ale relativně velmi často. Paměti EEPROM se vyznačují nižším počtem zápisů (cca 300 000 cyklů), po kterém se stávají nefunkční. (16) Pro základní variantu zařízení by taková paměť vyhovovala. Jelikož bude zařízení v rámci jiné práce dále rozšiřováno a bylo by potřeba tuto problematiku řešit, rozhodl jsem se do návrhu plošného spoje zakomponovat externí paměť, která by tímto nedostatkem netrpěla. Zvolena byla paměť typu FRAM (Ferroelectric Random Access Memory) na principu feroelektrického jevu, konkrétně model FM24CL04B-G s kapacitou 512 B a s rozhraním I2C od výrobce Infineon. Jedná se o nonvolatilní, neboli napěťově nezávislou paměť. Díky rozhraní I2C je propojení paměti s mikroprocesorem velmi jednoduché a rovněž je jednoduchá i jejich vzájemná komunikace. V této paměti jsou uloženy veškeré provozní proměnné a uživatelská data. Návrh počítá s tím, že v rozšířené variantě zařízení se bude do paměti přistupovat i několikrát za sekundu. Proto tento typ s životností až 100 bilionů cyklů zápisu. To umožní dlouholetý bezproblémový provoz a firmware nebude nikterak fyzicky omezován. (17)

Jako další bylo zapotřebí navrhnout zdrojovou část elektroniky, která by dokázala z napětí až 30 V DC vytvořit stabilní napětí o úrovních 3,3 a 5 V. Zvolena byla strategie snížení napětí z 12 nebo 24 V, maximálně z 30 V DC, na napětí 5 V. To je využíváno především displejem a dalšími komponenty, jako je například měřák průtoku. Toto napětí je však nutné opět snížit, a to na úroveň 3,3 V pro mikroprocesor, paměť a logické signály. První snížení napětí vyžaduje vysokou efektivitu konverze a patřičný výkon, jelikož napájí jak úroveň 5 V, tak i úroveň 3,3 V. Druhé snížení již není tak kritické a nevyžaduje takové nároky. Pro první snížení byl zvolen integrovaný obvod DC/DC měniče, konkrétně v zapojení „StepDown“, což znamená snížení vstupního napětí na napětí výstupní a zvýšení výstupního proudu oproti proudu vstupnímu. V návrhu byl použit obvod výrobce Onsemi LM2596DSADJG. (18) Ten splňuje všechny požadavky a dokáže měnit napětí efektivně a s přihlédnutím na omezené možnosti chlazení dokáže dodávat i potřebný výkon cca 7,5 – 10 W. Za tímto měničem je zapojen LDO (Low Dropout) lineární stabilizátor napětí, který vytváří napětí 3,3 V pro mikroprocesor a paměť. LDO je druh lineárního

stabilizátoru, který má nízký úbytek napětí oproti běžným stabilizátorům. To je důležité, protože měníme napětí z 5 V na 3,3 V a teoretický maximální možný úbytek napětí může být 1,7 V. Zvolený stabilizátor výrobce Diodes Incorporated AZ1117CD-3.3TRG1 má úbytek napětí 1,3 V, proto je vhodný. (19) Naopak není vhodný lineární stabilizátor pro aplikace, kde by rozdíl vstupního a výstupního napětí byl příliš velký. Docházelo by tak k velkým tepelným ztrátám. Z toho důvodu byl pro první snížení použit spínaný integrovaný obvod, který toto dokáže výrazně efektivněji. Pro aplikaci druhého snížení je již lineární stabilizátor vhodný, jelikož rozdíl napětí je velmi malý, v čase užívání takřka konstantní a výkon jím dodávaný je nízký. Pro zajištění dlouholetého bezchybného provozu zařízení byly voleny kvalitnější prvky od známých výrobců a také byl brán zřetel na kvalitní kondenzátory s vyšším počtem provozních hodin. Klasické elektrolytické kondenzátory byly doplněny kondenzátory tantalovými, které mají velmi dlouhou životnost a které by měly být schopny udržet zařízení v chodu i po mnoha letech.

Dalším bodem návrhu bylo řešení napájení LED světla, které je umístěno na rameni zařízení. Zde se nachází malý LED čip o maximálním výkonu 3 W s maximálním světelným tokem 420 lm. (20) Viz obrázek 22. Jeho maximální pracovní napětí je 10,5 V. Proto byl navržen ve zdrojové části řídicí elektroniky ještě jeden „StepDown“ DC/DC měnič, který mění vstupní napětí, například 12 V DC, a mění ho na napětí nižší dle nastavení polohy potenciometru. Vybrán byl měnič výrobce STMicroelectronics MC34063ABD-TR, který je nejvhodnější a i ekonomicky nejzajímavější z aktuální nabídky. (21)



Obrázek 22 Ukázka LED čipu (20)

Takřka nejdůležitějším bodem byl návrh spínání a ovládání řízených prvků zařízení. Hovoříme o výkonové části plošného spoje, kde je nutné se vypořádat i s velkými proudy. Tato část řídicí elektroniky byla značně předimenzována, než by bylo pro účely práce zapotřebí. Pracuje s nejjednodušší variantou zařízení, a to s variantou jednoho ventilu a jednoho peristaltického čerpadla. Zařízení by mohlo být i komplexnější a například v navazujícím studiu by mohla být práce rozšířena na systém více ventilů či čerpadel. Proto byla výkonová část navržena pro spínání celkově až 5 prvků najednou. Plošný spoj je zamýšlen pro 3 ventily a 2 peristaltická čerpadla. Jednotlivé výstupy jsou identické a jedná se pouze o označení. Každý spínaný výstup se skládá ze svorkovnice, do které se připojuje daný prvek, ze stavové LED diody indikující stav, z ochranné Schottky diody, která chrání

tranzistor od zpětných napěťových špiček, které by byly generovány cívkami ventilů či elektromotorů při přerušení napájení, a především z tranzistoru a příslušných rezistorů. Ochrana před napěťovými špičkami je nezbytná, viz obrázek 23. Z měření vyplývá, že bez ochranné diody dochází na ventilu k napěťové špičce opačné polarity v hodnotě 6,4 V, což by v dlouhodobém horizontu mohlo mít za následek destrukci tranzistoru. Tranzistor byl pečlivě vybrán pro potřeby zařízení, kdy je nutné spínat vyšší proudy relativně nízkým napětím daným logickou úrovní mikroprocesoru. Konkrétně byl zvolen tranzistor výrobce

Obrázek 23 Měření napěťové špičky při odpojení ventilu pomocí osciloskopu (vlastní)

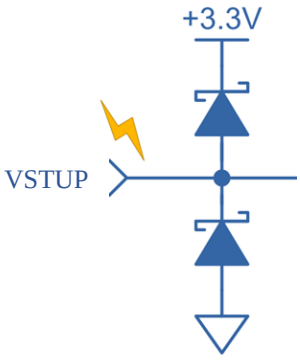
Alpha & Omega Semiconductor AOD4186. Svými vlastnostmi vyhovuje účelu použití v tomto zařízení a i při spínání proudů cca 3 A jsou na něm tepelné ztráty minimální. Tranzistor byl taktéž použit jako spínač napájení displeje a LED světla. Jeho použití umožňuje již zmíněnou techniku snížení výkonu ovládaných prvků pomocí PWM (Pulse Width Modulation). Budeme-li uvažovat maximální proud na port cca 3 A, může touto částí elektroniky protékat až 15 A. Tomu jsou uzpůsobeny trasy plošného spoje. Plošný spoj je vyroben z dvojnásobně silné vodivé měděné vrstvy na obou stranách oproti běžným plošným spojům.

Dále bylo nutno navrhnout způsob zvukové signalizace uživateli. Po zvážení možností jsem se rozhodl použít piezo měnič, který je velmi jednoduchý, levný a hlasitý. Hlasitost je zde velmi důležitá, jelikož se řídicí elektronika nachází ve vodotěsném, a tedy i zvuk dosti tlumícím boxu. Signalizace se využívá například v případě poruchy přívodu vody, kdy klesne průtok pod minimální hodnotu, čímž dochází k přerušení napouštění. Dále například v případě předčasného odebrání konve či při dokončení napouštění.

Poslední a velmi důležitou částí bylo navržení způsobu připojení dalších částí zařízení. K jejich připojení slouží konektory výrobce JST modelové řady XH s roztečí kontaktů

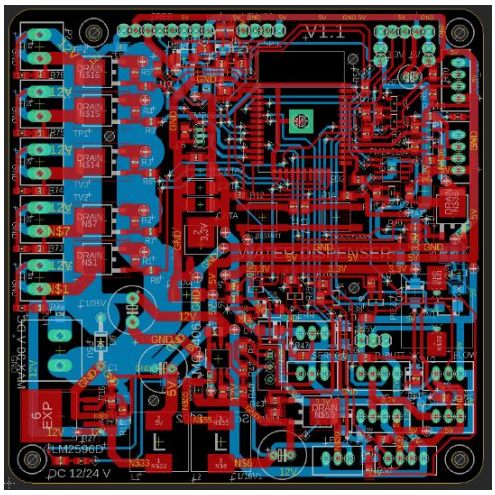
2,5 mm. Jedná se o velmi kvalitní a spolehlivé konektory, které nezpůsobují žádné problémy s komunikací a které jsou schopny přenášet i relativně vyšší proudy.

V rámci bezpečnosti a snížení rizika poškození řídicí elektroniky při chybné instalaci bylo zapotřebí se také zamyslet nad ochranou vstupních pinů mikroprocesoru před zvýšeným napětím či ESD (Electrostatic Discharge). Tato ochrana se na plošném spoji vyskytuje mnohokrát a pracuje na principu dvou Schottkyho diod. Viz obrázek 24. Toto zapojení tak chrání vstupní piny mikroprocesoru vůči přepětí a ESD. Vzroste-li napětí na vstupu nad úroveň napájecího napětí v součtu s úbytkem napětí na diodě, je toto napětí svedeno do zdroje napájení a v jisté míře absorbováno ostatními prvky. Dalším ochranným prvkem řídicí elektroniky je výkonová Zenerova dioda zapojena ihned u vstupních svorek plošného spoje. Ta v případě poruchy zdroje či instalace nevhodného zdroje s vyšším napětím, než je napětí přípustné, začne propouštět proud, čímž způsobí zkrat. Dojde k přetavení tavné pojistky na vstupu plošného spoje a k ochraně řídicí elektroniky před poškozením.



Obrázek 24 Zapojení ochrany vstupních pinů (22)

To vše muselo být řešeno v návrhu schématu. Dále bylo zapotřebí vytvořit v prostředí tvorby plošného spoje samotnou jeho podobu. Viz obrázek 25. Bylo nutné pečlivě promyslet každou trasu, každý prvek a jeho umístění. Ať již z hlediska prostorového uspořádání, tepelného ovlivňování, rušení atd. Rozhodl jsem se, že řídicí elektronika a její plošný spoj musí být maximálně o rozměrech 100 x 100 mm. Nejprve bylo potřeba rozmyslet si hrubou strukturu plošného spoje, jak prvky rozmístit, aby nedocházelo k přílišnému křížení tras, aby byly vhodně rozvedeny jednotlivé napájecí trasy a aby bylo možné rozvést zdrojové výkonové trasy k jednotlivým spínaným portům. Po rozvržení prvků následovala práce na přesném rozmísťování a propojování samotných prvků. Nejčastějším problémem se ukázalo řešení situací, kdy se trasy křížily a také to, že v určitých částech plošného spoje již docházelo volné místo a stával



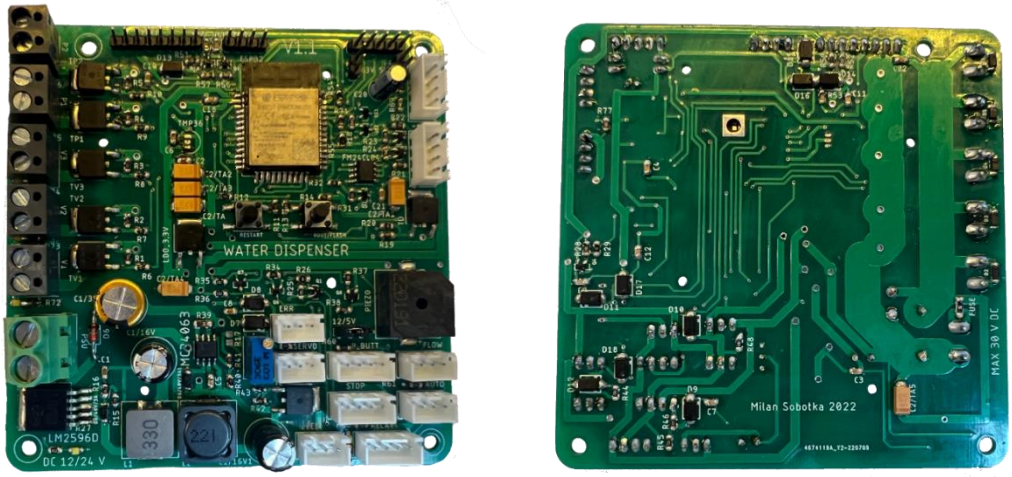
Obrázek 25 Finální podoba návrhu plošného spoje (vlastní)

se tak velmi složitým. Jedná se o oboustranný plošný spoj, přesto hustota tras v některých místech, především u mikroprocesoru, dosahovala kritické úrovně. Díky vhodnému rozvržení prvků po obvodě desky se realizace podařila. Výsledkem byla elektronická podoba a vygenerované tzv. Gerber soubory, které byly nezbytné pro výrobce plošných spojů.

5.12.2 Realizace

Po přípravě návrhu řídicí elektroniky následovala fáze výroby – realizace. Výrobu plošného spoje jsem se rozhodl objednat u společnosti JLCPCB, která dle objednávek zákazníků zadávaných pomocí jednoduchého webového prostředí vyrábí dle mého názoru vysoce kvalitní plošné spoje za velmi přijatelné ceny. Plošný spoj byl vyroben a dodán velice rychle.

Následovala fáze osazení plošného spoje komponenty, které jsem objednal u společnosti TME. Nejprve jsem připájel menší a drobné komponenty. A to kombinaci



Obrázek 26 Finální podoba plošného spoje (vlastní)

SMD i THT součástek. Následovaly velké a vysoké komponenty, které by jinak bránily k pájení jiných součástek. Následně jsem výsledný plošný spoj očistil izopropylalkoholem. Výsledný plošný spoj viz obrázek 26.

Následovalo prvotní připojení řídicí elektroniky ke zdroji napájení, oživování, testování a hledání chyb. Po připojení nedošlo k žádnému negativnímu jevu a vše proběhlo v pořádku. Po připojení programátoru k mikroprocesoru se podařilo nahrát první testovací firmware. Následovalo několik kontrol, testů a zjišťovány byly případné nedostatky. Kromě menších nedokonalostí nebyly shledány žádné závažné vady.

5.13 Programové vybavení zařízení

Následnou fází práce byla po dokončení realizace plošného spoje a ověření funkčnosti fáze programování. Tedy fáze tvorby firmwaru pro řídicí mikroprocesor zařízení. Pro naprogramování jsem se rozhodl využít bezplatné a velmi jednoduché prostředí od firmy Arduino, tedy program Arduino IDE. Nejedná se o příliš složitý nástroj, ale jeho klad spočívá v existenci velké komunity programátorů a nadšenců, díky kterým k programování rozmanitého hardwaru lze použít již existující knihovny. Ty programátorovi umožnují velice rychle a snadno vytvářet části programu tak, aniž by musel zacházet do hloubky i velmi složitých problematik.

Prostředí Arduino IDE podporuje programování mikroprocesoru ESP 32 a s pomocí sériového portu, na který programátor zpravidla vypisuje nejrůznější stavy, se tak programování stává velmi zajímavé a efektivní.

Firmware tohoto zařízení musel být od počátku jeho tvorby velmi promyšlen. Musí být schopný pracovat v reálném čase, reagovat na vnější podněty, komunikovat s displejovou jednotkou, měřit průtok, ovládat hardwarové prvky zařízení, komunikovat se serverem, zajišťovat Wi-Fi připojení a tedy konektivitu, odpovídat na požadavky webového prostředí atd. To vše musí firmware dokázat a pracovat tak, aby byl schopen zpracovat veškeré vstupy takřka v jednom okamžiku. Firmware byl tedy navržen od počátku tak, aby byl co nejvíce efektivní a především aby byly jeho procedury a cykly průchozí. To znamená, že jakákoliv aktivita přístroje by neměla uvést zařízení do stavu nečinnosti, kdy by nemohlo zpracovávat další vstupní údaje. Toho bylo docíleno vždy s výjimkou připojování a získávání konektivity, kdy není možné pokračovat v běhu programu z důvodu takovéto koncepce použité knihovny s názvem Wifi Manager, která provádí prvotní nastavení a připojení k Wi-Fi síti. K tomu však dochází pouze při prvním startu zařízení.

Nejdůležitější částí firmwaru je ukládání dat do fyzické externí paměti na plošném spoji. S touto pamětí se neustále pracuje a je na ní závislý veškerý běh zařízení. Připojena je pomocí sběrnice I2C. Řídicí mikroprocesor je tedy v módu Master a paměť v módu Slave. Ihned při startu zařízení dojde k navázání spojení s touto pamětí a mikroprocesor začíná číst veškerá data v ní uložená. Struktura dat paměti viz příloha 2. Pokud by k načtení dat nedošlo, zařízení by nebylo schopno správně fungovat. Proto bude v takovém případě uvedeno do chybového stavu a upozorní uživatele. V případě správného načtení dat následuje konfigurace všech vstupně-výstupních pinů mikroprocesoru, nastavení komunikačních

sběrnic UART a k provedení základních procedur dle nastavení zařízení. Ke komunikaci s touto pamětí muselo být naprogramováno několik jednoduchých komunikačních metod, které zajišťují správnou komunikaci, a tedy zápis či čtení z nebo do paměti. Zde nebylo možné použít již existující knihovnu.

Velmi důležitým prvkem firmwaru je zajištění komunikace displejové jednotky s řídicí elektronikou. Fyzická komunikace probíhá pomocí sběrnice UART, která vyžaduje dva piny mikroprocesoru k jejímu fungování. Jedním je pin TX, neboli transmitter – vysílač a druhým je pin RX, neboli receiver – přijímač. Tento pár pinů slouží k obousměrné sériové komunikaci. Jelikož displej pracuje s logickými úrovněmi 5 V, je nutné také použití převodníku logických úrovní. Více o tomto v kapitole 5.12.1. Firmware obsluhuje tuto komunikaci pomocí základní knihovny Arduino. Zpracování příchozích dat je nutné provádět v reálném čase. Proto byla již zmiňovaná průchodnost celého firmwaru jako zcela zásadní. Příchozí data musejí být po ukončení vysílání displeje zpracována jako jeden blok textu, který je následně pomocí podmínkové struktury porovnáván k jednotlivým příkazům. Každý příkaz je jedinečný a firmware pod ním eviduje danou sekvenci kódu. Tímto dochází k uvedení zařízení do různých stavů, např. k nastavování. Naopak k ovládání displeje a výpisu parametrů dochází pomocí vysílací funkce knihovny a příkazů. Tyto příkazy plynou z firmwaru samotného displeje a nelze je libovolně upravovat. Displej příkazy rozeznává a provádí danou příslušnou operaci. Příkladem může být nastavení textu, barvy či viditelnosti objektu.

Hlavní a nejdůležitější částí je obsluha vstupně-výstupních prvků. Firmware musí neustále kontrolovat stav jednotlivých pinů mikroprocesoru, nebo nastavovat jejich hodnoty. Využíváno je především stavových proměnných, které lze jednoduše přepisovat na jakémkoli místě kódu. Práce s fyzickým pinem je však prováděna na jednom místě dle těchto stavových proměnných. Díky tomu lze jednodušeji zabraňovat neurčitým nebo chybným stavům.

Součástí programového vybavení zařízení je i Wi-Fi konektivita. Ta je podporována přímo vybraným mikroprocesorem. Konektivity je dosaženo dvojím způsobem. Je-li zařízení nově spuštěné a nenakonfigurované, dochází k využití knihovny s názvem WiFiManager. Jedná se o knihovnu poskytující prostředí pro konfiguraci zařízení z hlediska připojení se k lokální bezdrátové síti. Zařízení tedy po vyžádání konfigurace začne vysílat vlastní Wi-Fi síť s SSID „WaterDispenser“ a heslem „password“ a vyzve uživatele

k připojení se do této sítě se svým zařízením, kterým bude automat konfigurovat. Po připojení poskytne automat uživateli webový portál. Zde dochází k naskenování lokálního prostředí a k výpisu dostupných Wi-Fi sítí. Uživatel si vybere konkrétní síť a zadá do pole heslo dané sítě. Proběhne-li připojení úspěšně, dojde k uložení přístupových údajů do paměťového prostoru mikroprocesoru a zařízení se bude již pokaždé při startu připojovat k dané síti. Neproběhne-li konfigurace správně, bude muset uživatel konfiguraci provést znovu. Jestliže má zařízení již funkční konfiguraci Wi-Fi připojení k dispozici, nedochází ke spuštění konfiguračního portálu, ale dochází rovnou k pokusu o připojení pomocí základní knihovny již během startu zařízení. Toto připojení je velmi rychlé a je kladen důraz na to, aby nebyl uživatel v případě neúspěšných pokusů o připojení zdržován. Provede se tedy jen několik pokusů o připojení. Jestliže nedojde během některého z nich k úspěšnému připojení, zařízení automaticky pokus o připojení ukončuje a vypíná službu Wi-Fi. Následuje běžný režim zařízení, avšak bez služeb spojených s Wi-Fi technologií. Je-li připojení v pořádku, zařízení může pracovat naplno a může být využíváno všech služeb. Během provozu zařízení dochází po různých intervalech k obnovování připojení.

Na Wi-Fi konektivitu navazuje několik dalších částí firmwaru. A to komunikace s datovým serverem pomocí MQTT protokolu, zjišťování aktuálního datumu a času a také poskytování webového prostředí. První zmíněná služba poskytuje možnost odesílat data na datový server, kde budou data ze zařízení ukládána. Stejně tak mohou být data z tohoto serveru získávána a podle toho může být zařízení naprogramováno, aby vykonávalo nejrůznější úlohy. Naměřená data mohou být následně zpracovávána. Například vývoj spotřeby vody v průběhu let atp. Další částí je získávání reálného času a datumu z NTP serveru. To může sloužit nejen jako užitečná informace pro uživatele, ale především je využívána pro zjištění uplynulé doby od posledního přidávání hnojiva do zálivky. Není-li delší dobu totiž hnojivo přidáno, stává se, že již nasáté hnojivo steče zpět do láhve s hnojivem. Je proto v takovém případě zapotřebí dávkovat o něco více hnojiva. Další možností využití konektivity je webové rozhraní sloužící pro detailní konfiguraci zařízení a jeho programování uživatelem. Webové rozhraní bylo vypracováno v rámci této bakalářské práce jen z malé, ilustrativní části, jelikož se jedná o velmi rozsáhlou a komplikovanou problematiku, která by mohla být zadáním další práce v navazujícím studiu.

6 Výsledky a diskuse

6.1 Finální vlastnosti zhotoveného zařízení

Vývoj zařízení byl velmi dlouhým procesem. Od prvních návrhů až po finální zhotovení bylo zjevné, že zařízení by mohlo vykazovat různé funkční chyby z důvodu širokého spektra funkcí. Možností chyb či vadných částí systému zde mohlo být několik. Nevhodně mohla být navržena konstrukce, která by se například nedala složit a musela by být dále upravena. Chybně či nefunkčně mohl být navržen kapalinový mechanizmus. Rovněž se mohla vyskytnout chyba v řídicí elektronice, kde by se dalo očekávat mnoho problémů… Jedná se o poměrně složitou část zařízení. Taktéž mohl vzniknout problém s komunikací mezi displejem a elektronikou. Chyba mohla jednoduše řečeno vzniknout kdekoliv.

Výsledek této práce je však takový, že se podařilo vytvořit plně funkční zařízení, které nejeví žádné známky vady. Je schopné všech původně zamýšlených činností. Dokáže dávkovat vodu, dávkovat hnojivo, automaticky reagovat na plnění konví, dokáže být ovládáno displejem či webovým prostředím atd. Jistě je zde velký prostor pro další úpravy a rozšíření funkcí, avšak původně zamýšlené parametry zařízení byly splněny.

6.2 Ovládání zařízení

Hlavním způsobem, jak zařízení lze ovládat, je ovládání dotykovým displejem na rameni konstrukce. Zapínání a vypínání se provádí pomocí tlačítka na předním panelu. Pro zapnutí je tedy nutné stisknout toto tlačítko. Tím dojde k probuzení řídicího mikroprocesoru. Jakmile je mikroprocesor nastartován, je spuštěn displej. Ten uživatele uvítá během startovacích sekvencí. Je-li zařízení připravené k provozu, displej zobrazí základní stránku s hlavním menu. Prvními důležitými položkami jsou dvě rychlé volby plnění a jejich nastavení výběru možnosti dávkování hnojiva. Dalšími možnostmi je na této stránce nastavení automatického plnění, přístup k dalším nastaveným volbám a přístup do nastavení. Tato stránka je proto pro uživatele jedním z nejdůležitějších prvků. Jsou zde také zobrazeny např. údaje o již spotřebované vodě, aktuální čas a stav připojení.

6.2.1 Použití rychlých voleb

Základní stránka, jak již bylo řečeno, obsahuje dvě rychlé volby. Jejich název je odvozen od cílového objemu. V základní konfiguraci jsou tyto volby nastaveny na 5 a 10 l. Pod těmito rychlými volbami se nachází tlačítko pro zvolení použití hnojiva ke každé z nich. Po nastavení požadavku na hnojivo a zvolení příslušného tlačítka volby zařízení zobrazí na displeji stránku plnění. V tomto okamžiku začíná proces plnění. První činností je v případě volby s hnojivem jeho dávkování pomocí peristaltického čerpadla. Přívodní ventil vody je v tento okamžik stále uzavřen z důvodu, aby čerpadlo nemuselo zbytečně přemáhat tlak z vodovodního systému. Tato činnost trvá přesně daný čas. Ten je vypočten podle nastaveného poměru hnojiva k cílovému objemu vody. Jedná se řádově o jednotky sekund při objemech vody cca do 10 l. Jakmile je hnojivo nadávkováno, dojde k otevření ventilu a tím k proudění vody s hnojivem přes kapalinový mechanizmus a plnicí hadici do plněné nádoby – konve. Uživatel může v reálném čase sledovat na displeji aktuální – již naplněný objem, průtok v jednotkách $l \cdot s^{-1}$ a cíl plnění. Má možnost plnění pozastavit, nebo ukončit. Pozastavení napouštění zavře ventil. Zařízení čeká na pokyn uživatele, zda má v plnění pokračovat, či zda jej má ukončit. V případě pokračovaní zařízení otevře ventil a napouštění pokračuje do zvoleného cílového objemu. V případě ukončení se resetuje cílový objem a požadavek na hnojivo. Plnění je ukončeno a na displeji je zobrazena základní stránka. Plnění probíhá identicky i v případě použití dalších voleb, které jsou přístupné z hlavní stránky.

6.2.2 Automatické plnění

Zařízení disponuje funkcí automatického plnění. Reálně se jedná o mechanický kloub umístěný na rameni, kterým prochází plnicí hadice. Ten se skládá z polohového spínače a pružinového mechanizmu, který rameno udržuje ve dvou stabilních polohách. V poloze plnění a v poloze výměny konví. Polohový spínač signalizuje řídicí elektronice tento stav. Automatické plnění umožnuje uživateli komfortní a jednoduchou výměnu konví pomocí jedné ruky. Automatický režim musí být uživatelem zvolen na základní stránce. Je-li aktivován, u prvního plnění po zapnutí zařízení musí uživatel zvolit volbu, s jakou bude chtít opakovaně plnit konve. Po prvním naplnění a vyjmutí konve dochází k uložení požadovaných parametrů (požadavek hnojiva a cílový objem). Plnicí hadice je díky mechanizmu vychýlena směrem k uživateli. Ten po odebrání první konve vloží druhou.

Díky automatickému spínači začne zařízení plnit další konev dle stejných parametrů, jako bylo plnění minulé.

6.2.3 Přerušení plnění

Jelikož zařízení disponuje automatickým spínačem plnění, dokáže tak rozpoznat stav, kdy stále probíhá plnění, přestože se uživatel rozhodl konev ze zařízení vyjmout. Díky tomu je napouštění přerušeno a nedojde tím k úniku vody do okolního prostředí.

6.2.4 Odtoková nádrž a její vyprazdňování

Automat je vybaven odtokovou nádržkou, která v případě delší nečinnosti se dokáže zbavit odtokové vody pomocí vypařování. Pro případ jejího naplnění je zde senzor hladiny. Ten uživatele upozorní na displeji. Uživatel jej může buď ignorovat, jestliže má zařízení instalováno ve vnějším prostředí, nebo v případě vnitřního použití (například v garáži) by měl k vyprazdňovací hadičce přidat menší nádobku, do které bude nádržka vyprázdněna.

6.2.5 Vložení hnojiva či výměna hnojiva

Zařízení má na svém rameni držák pro láhev hnojiva. Láhev by neměla mít větší objem než 1,5 l. Hnojivo musí být tekuté a v případě jeho velmi velké hustoty i lehce zředěné tak, aby jej bylo možné čerpat do zařízení. K odčerpávání slouží slabá hadička procházející podél ramene. Láhev s hnojivem musí mít odšroubované víčko a do otvoru musí být zavedena hadička. Ta by měla být dostatečně dlouhá, aby dosáhla dna láhve. V opačném případě lze hadičku zkrátit.

Mění-li uživatel hnojivo za jiné a je důležité, aby se do zálivky s novým hnojivem nedostalo hnojivo předchozí, je nutné provést několik plnění, které by uživatel neměl k zálivce použít. Jedná se totiž o zálivku se zbytky původního hnojiva smíchaného s novým. Transport hnojiva z láhve do kapalinového mechanizmu je relativně delší, tudíž je vhodné provést několik cyklů.

6.2.6 Nastavení parametrů

Příkladem nastavování parametrů může být nastavení průtokové konstanty, pomocí které lze kalibrovat dávkování vody zařízením. Viz obrázek 27. Jedná se o desetinnou bezrozměrnou konstantu, která je pro aktuální zařízení nastavena na hodnotu 6,20. Díky tomu zařízení dávkuje velmi přesně. Více o experimentálním určení konstanty plnění viz kapitola 6.3.1. Výsledky měření relativní chyby viz kapitola 6.3.2.

Dalším příkladem může být nastavení voleb plnění. Zařízení umožňuje celkem až 10 předvoleb k uložení. Maximální objem není omezen. Největším nastavovaným přírůstkem je objem 1000 l, neboli 1 m^3. Předpokládá se, že maximální objem bude uživatelem nastaven na jednotky, maximálně desítky m^3. Oproti tomu nejmenším krokem nastavení je 0,1 l. Volba nese také informaci o tom, zda uživatel vyžaduje hnojivo, popřípadě jaké (pouze v případě rozšířené varianty zařízení).

Obrázek 27 Ukázka GUI – nastavení plnicí konstanty (vlastní)

6.3 Testování finálních parametrů zařízení

K otestování finálních vlastností zařízení byly použity následující prvky:

- Manometr 0 – 10 bar, DN100, EN 837-1, TP = 1,6
- Čerpadlo Güde GDT 1200 l
- Vodoměr ENBRA DN20 ER-AM, Q_{max} = 4 m^3/h, R_{max} = 100, TP = 2, MID 2014/32/EU
- Měřič spotřeby FKtechnics FK1499, TP měření příkonu = 3

6.3.1 Stanovení optimální plnící konstanty

Aby byl automat schopen v různých prostředích fungovat vždy správně, je zde možnost přenastavení tzv. plnící konstanty. Její přesné určení bylo nutné pro další měření přesnosti dávkování. Určena byla experimentálně. Konstanta byla postupně navyšována od hodnoty 6,00, kdy dochází již k přiblížení se k cílovému objemu plnění. Nejprve byl tento experiment proveden pro objemy 50 l, jelikož je přesnější měřit větší objemy. Nevznikají tak velké chyby jako při měření malých objemů a také se ukazuje, že kalibrace konstanty je vhodnější provádět pro větší objemy. Při malých objemech není chyba tak důležitá, jako například při velkých objemech, řádově tisíců litrů. Pro objem 50 l bylo zjištěno, že nejpřesněji se k cílovému objemu blíží plnění s konstantou 6,33, viz tabulka 8. Zde bylo dosáhnuto relativní chyby plnění ±0,1 %. Tento výsledek lze považovat za velmi zdařilý, ale je potřeba ověřit, zda tato konstanta bude vhodná i pro malé objemy. Proto byl pokus opakován pro objem 5 l. Zde se projevila vyšší relativní chyba ±8 %. Takový výsledek již není přípustný. Proto byly dále prováděny pokusy a bylo zjištěno, že konstanta 6,20 se svou relativní chybou ±4 % pro objem 5 l a relativní chybou ±2 % pro objem 50 l je kompromisem mezi přesností ve vyšších a nižších objemech plnění. Viz tabulka 9.

Následovalo ověření přesnosti s konstantou 6,20 při vyšších objemech plnění. Viz kapitola 6.3.2.

Konstanta [-]	Naměřený objem [l]	Absolutní chyba [l]	Relativní chyba [%]
6,00	47,50	-2,50	-5,00
6,02	47,60	-2,40	-4,80
6,10	48,15	-1,85	-3,70
6,20	49,00	-1,00	-2,00
6,30	49,70	-0,30	-0,60
6,35	50,15	0,15	0,30
6,33	**49,95**	**-0,05**	**-0,10**
6,34	50,05	0,05	0,10

Tabulka 8 Experimentální určení plnicí konstanty pro objem 50 l (vlastní)

Konstanta [-]	Naměřený objem [l]	Absolutní chyba [l]	Relativní chyba [%]
6,20	**5,20**	**0,20**	**4,00**
6,33	5,40	0,40	8,00

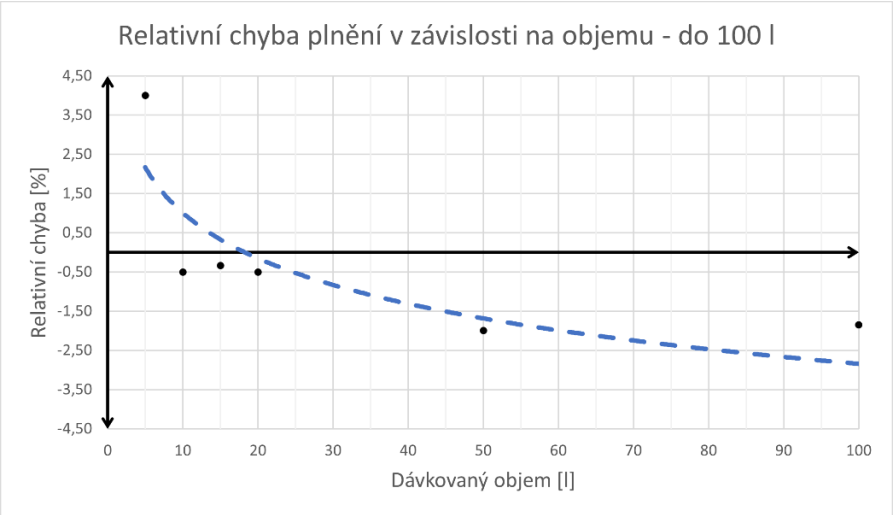
Tabulka 9 Experimentální určení plnicí konstanty pro objem 5 l (vlastní)

6.3.2 Přesnost dávkování vody

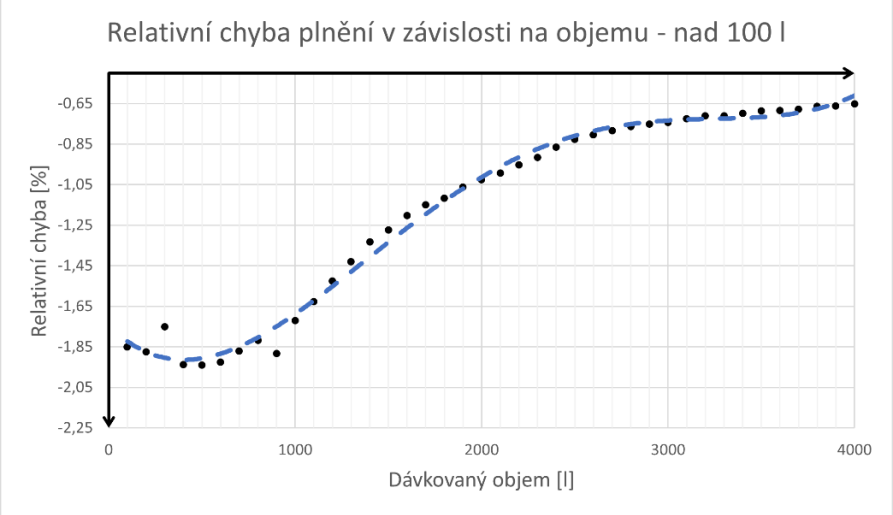
Přesnost dávkování vody je jedním z klíčových parametrů tohoto zařízení. Předpokládá se, že zařízení bude převážně používáno pro plnění menších objemů, řádově několika litrů až desítek litrů, ale mělo by být schopné dávkovat přesně i velké objemy, například pro napouštění bazénů či zalévání velkých záhonů hadicovým systémem. Řádově se může jednat o stovky litrů až jednotky metrů krychlových. Není zde však jasné, s jakou přesností již bude tuto práci vykonávat. Po experimentálním určení nejvhodnější plnicí konstanty, která je velmi důležitá, bylo provedeno zkušební měření. Cílem bylo zjistit přesnost dávkování vody a vývoj velikosti relativní chyby v závislosti na plněném objemu.

Měření bylo uskutečněno za pomoci výše zmíněných prvků, a tedy čerpadla Güde, manometru a vodoměru ENBRA. Jedná se o ponorné výkonné studnové čerpadlo, které bylo ponořeno do provizorně vytvořené nádrže s vodou a o vodoměr s maximální dovolenou relativní chybou ±2 % pro vodu o teplotě nižší než 30 °C dle Směrnice Evropského parlamentu, konkrétně směrnice MID 2014/32/EU. Voda byla z nádrže čerpána čerpadlem přes provizorně vytvořený měřicí přípravek měřící objem vody a tlak vody na přívodu do zařízení. Toho bylo využito i v jiných měřeních. Voda byla hnána přes měřící přípravek a automat zpět do nádrže s čerpadlem. Tímto způsobem bylo možné změřit relativní přesnosti dávkování i velkých objemů vody.

Měřeny byly nejprve jednotlivě menší objemy, následně kontinuálně velké. U kontinuálního měření byl zaznamenáván stav vodoměru pomocí fotoaparátu vždy po odměřených 100 l dle automatu. Nedocházelo tak ke špatnému odečítání hodnot či k zavádění nepřesností do měření z hlediska časového posunu. Z grafu 1 vyplývá, že relativní chyba je při nastavené plnicí konstantě 6,20 pro malé objemy zprvu větší, cca ±4 %, avšak s narůstajícím objemem se relativní chyba dávkování neustále zmenšuje, viz graf 2. Například pro objem 5 l je relativní chyba rovna ±4,00 %, pro objem 1000 l již jen ±1,72 % a pro objem 4000 l je relativní chyba pouhých ±0,65 %. Výsledek měření považuji za úspěšný. Chybovost dávkování, které zařízení dosahuje, je velmi nízká, stálá a její tendence je velmi příznivá pro dávkování velkých objemů, kde by se naopak očekávala zvyšující se relativní chyba se zvyšujícím se objemem. Pro účely plnění zahradnických konví je i zhoršená přesnost zanedbatelná a přijatelná.



Graf 1 Relativní chyba plnění v závislosti na objemu – do 100 l (vlastní)



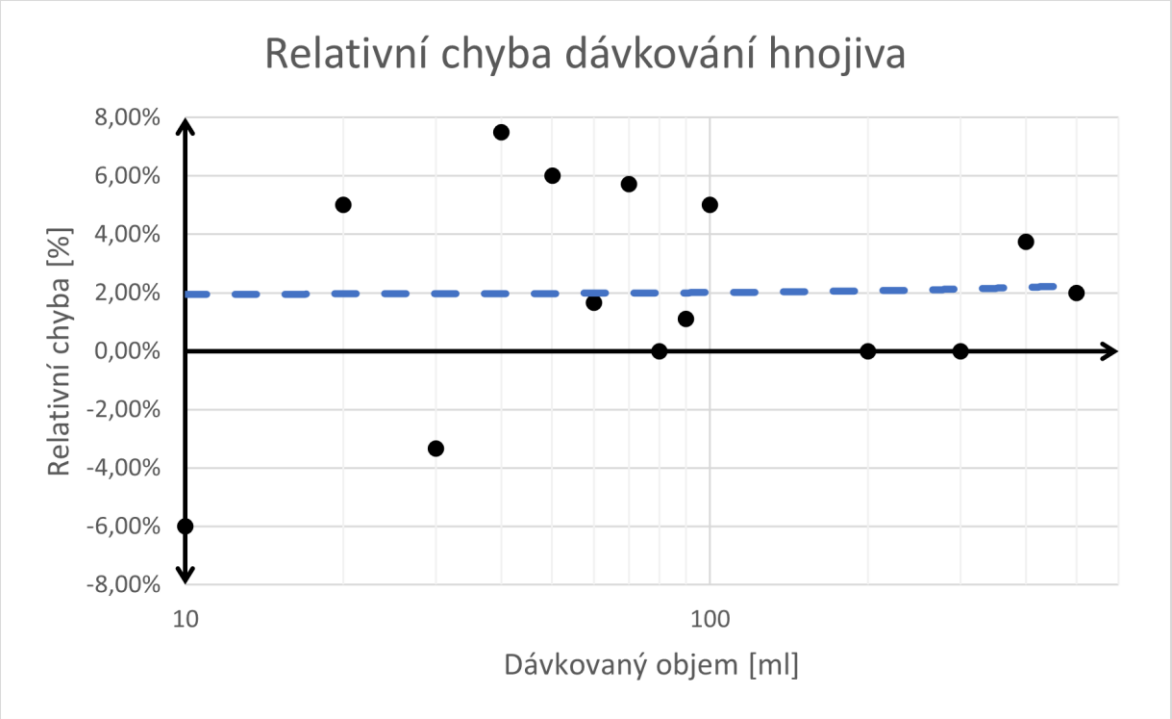
Graf 2 Relativní chyba plnění v závislosti na objemu – nad 100 l (vlastní)

6.3.3 Přesnost dávkování hnojiva

Dále bylo potřeba ověřit přesnost dávkování hnojiva stejně jako tomu bylo u dávkování vody. Pro měření nebylo potřeba žádných přípravků nebo zařízení. Měření bylo provedeno s pomocí malých odměrných nádob a injekčních stříkaček. Toto měření je pouze orientační, jelikož nebylo možné dostatečně přesně změřit takto malé objemy.

Měřeny byly malé objemy od 10 ml až po větší – 500 ml. Měření bylo provedeno s vodou. Odměrná nádobka byla vždy naplněna přesně daným objemem a byl odečten rozdíl před odčerpáním a po odčerpání vody. K přesnějšímu odečítání bylo využíváno injekčních stříkaček.

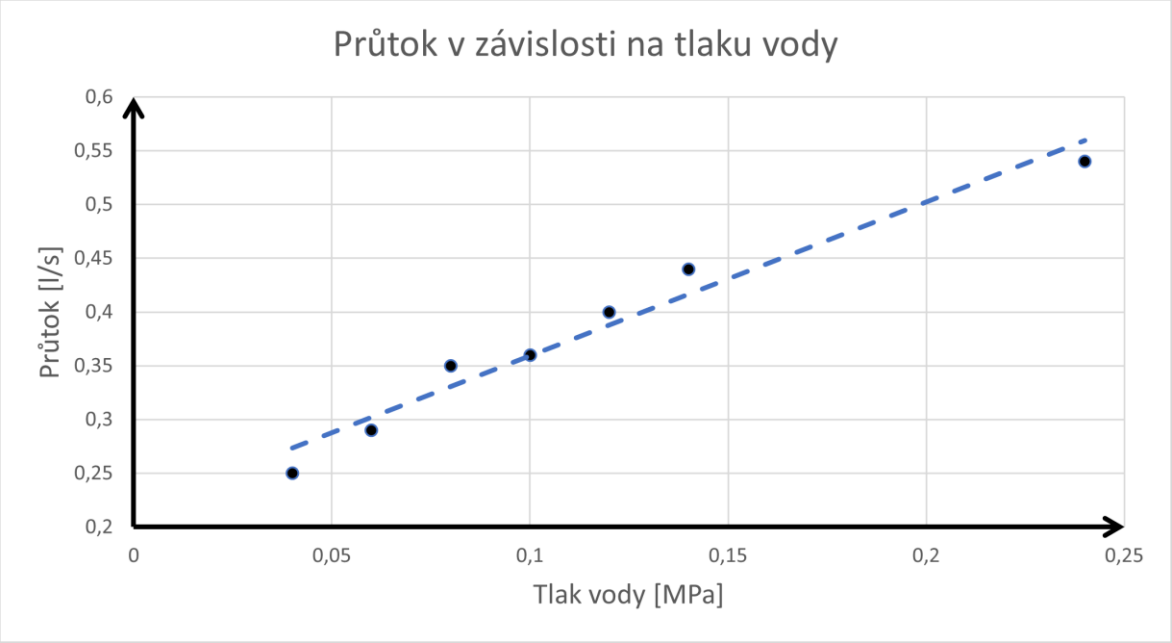
Z měření vyplývá, že přesnost dávkování hnojiva do zálivky je s relativní chybou do ±8 %, průměrně cca 2,03 %. Viz graf 3.



Graf 3 Relativní chyba dávkování hnojiva (vlastní)

6.3.4 Závislost průtoku na tlaku

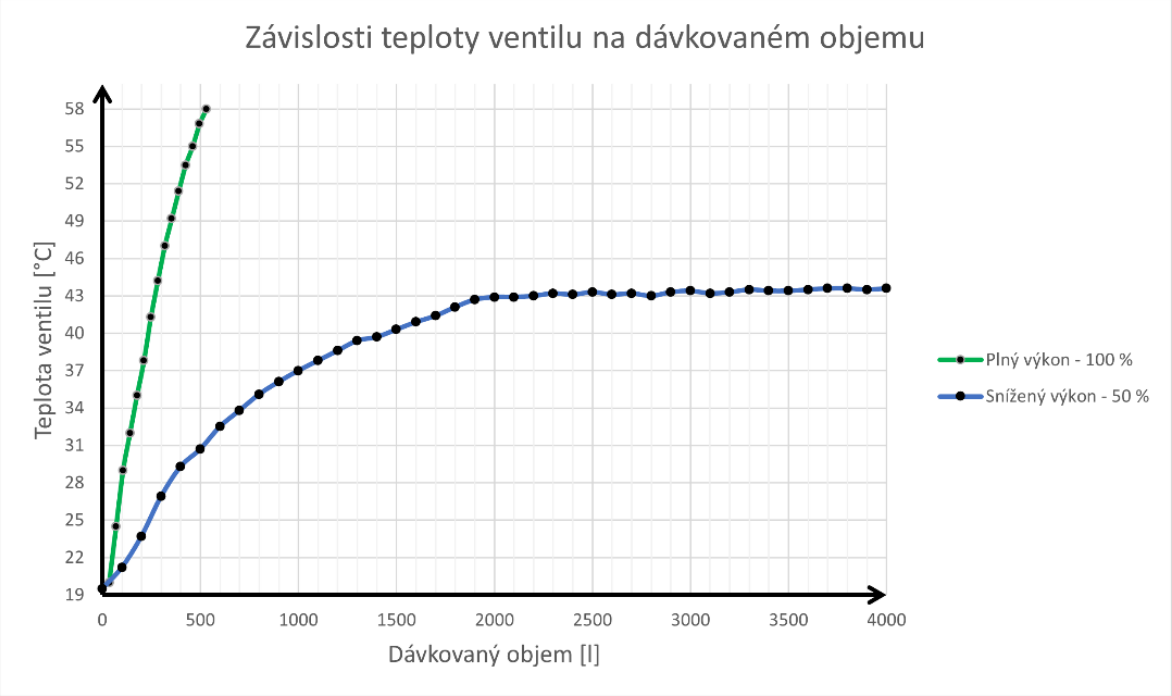
Zařízení by dle normy ČSN 75 5401 mělo být schopno pracovat s provozním tlakem vodovodního řádu o tlaku až 0,6 MPa, v odůvodněných případech až 0,7 MPa. Měření závislosti průtoku na tlaku vodovodního řádu bylo provedeno s pomocí výše zmíněného manometru, který byl provizorně zařazen jako přípravek společně s vodoměrem na vstup zařízení. Přívod vody byl připojen ke kulovému pákovému ventilu, který během měření představoval nastavitelný škrtící ventil a tím i nastavitelný tlakový úbytek v důsledku průtoku zařízením. Měření tedy probíhalo tak, že byl postupně kulový ventil uzavírán a tím byl snižován i tlak vody. Zaznamenáván byl pro každou hodnotu nastaveného tlaku aktuální průměrný průtok. Z grafu 4 vyplývá, že se lineárně zvyšuje průtok v závislosti na vstupním tlaku vodovodního řádu. Při měření bylo zjištěno, že vodovodní řád v místě konání měření dosahuje maximálního tlaku při průtoku vody hodnoty 0,140 MPa a při nulovém odběru tlaku 0,340 MPa. Pro získání hodnoty při vyšším tlaku bylo použito opět ponorné čerpadlo. Tím bylo dosaženo tlaku při průtoku 0,240 MPa a při nulovém odběru tlaku 0,4 MPa.



Graf 4 Průtok v závislosti na tlaku vody (vlastní)

6.3.5 Závislost teploty ventilu na dávkovaném objemu

V kapitole 5.9 byl popsán způsob snížení výkonu ventilu. Snížení výkonu odebíraného ventilem je pro dávkování velkých objemů zcela zásadní. Z grafu 5 vyplývá, že průběh teploty ventilu bez snížení výkonu se dramaticky zvyšuje. Dále je zde vidět, že v případě snížení výkonu se teplota zvyšuje pozvolna až do stavu, kdy se vyrovná ztrátový výkon s výkonem, který z ventilu samovolně – konvekčně odchází v podobě tepla, a kdy již nedochází k růstu teploty. Při měření se teplota ustálila na hodnotě cca 43 °C. Měření probíhalo ve vnitřních podmínkách, bez průvanu a s teplotou prostředí 19,5 °C.



Graf 5 Závislosti teploty ventilu na dávkovaném objemu (vlastní)

6.3.6 Spotřeba elektrické energie

Zařízení je konstruováno tak, že by mělo být neustále připojeno k síti elektrické energie. To vyžaduje, aby měl automat minimálně dva pracovní režimy. Režim, kdy jej uživatel používá a kdy je tedy zvýšena spotřeba energie a režim, kdy je zařízení v tzv. „sleep módu“. V takovém případě jsou vypnuty všechny připojené periferie a mikroprocesor je ve stavu čekání na probuzení zapínacím tlačítkem. Z tabulky 10 vyplývá, že zařízení v době nečinnosti má minimální spotřebu elektrické energie, cca 0,5 W. Dále z tabulky vyplývá, že při plnění bez limitace výkonu by ve ventilu vznikalo cca o 12 W tepla více, což by jistě vedlo k jeho poškození.

Režim	Spotřeba [W]
Sleep mode	0,5
Aktivní režim bez plnění	2,0
Aktivní režim s plněním – ventil 50 %	12,0
Aktivní režim s plněním – ventil 100 %	24,0

Tabulka 10 Spotřeba elektrické energie (vlastní)

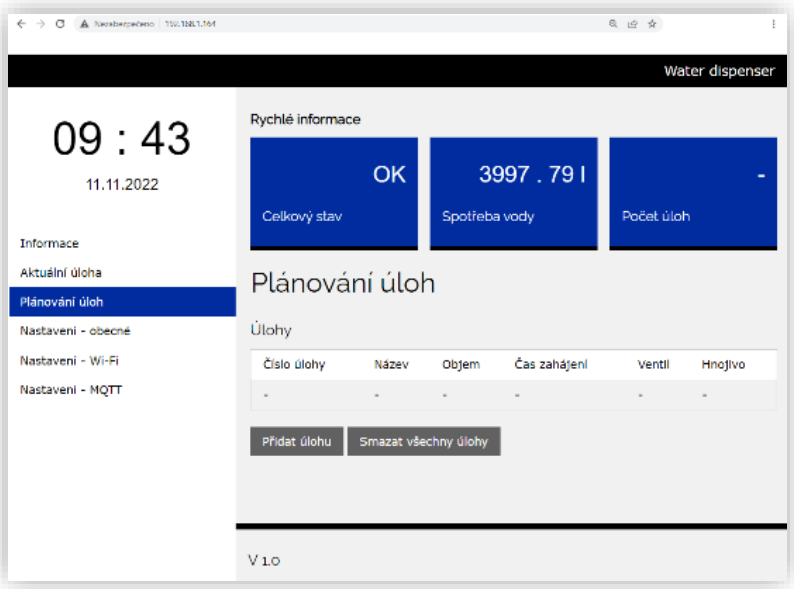
6.4 Možnosti rozšíření, vylepšení

Zařízení bylo vytvořeno tak, aby jej bylo možné rozšiřovat. Především se jedná o podporu rozšíření v rámci řídicí elektroniky. Ta dokáže ovládat až tři elektromagnetické ventily a dvě peristaltická čerpadla. Dohromady pět jakýchkoli prvků. Již při návrhu bylo počítáno s možnou další variantou. A to variantou zařízení disponující třemi ventily a dvěma čerpadly pro hnojiva. Takový automat by mohl mít kromě plnicí hadice na rameni ještě druhý výstup. Výstup by mohl být realizován zahradními rychlospojkami. Přes rychlospojku a hadici by tak bylo možné k zařízení připojit cokoliv dalšího, např. zavlažovací systém pro záhony atp. Uživatel by tak díky 3-ventilovému uspořádání byl schopný používat zařízení buď běžným způsobem, nebo tímto přídavným. Tyto dva přídavné ventily by plnily funkci zvolení, jaký výstup bude použit. Jistě by bylo možné problematiku řešit pouze dvěma ventily, ale domnívám se, že z hlediska bezpečnosti by to nebylo vhodné. V takovém případě by byl kapalinový mechanismus neustále vystaven tlaku vodovodního systému. To by mohlo mít v průběhu času negativní vliv na průtokový měřák, peristaltické čerpadlo, nebo na těsnění celého mechanismu. Další výhodou této varianty by byla možnost volby mezi dvěma hnojivy. Uživatel by hnojivo nemusel měnit, jako je tomu u základní varianty.

Tato práce se přiklonila k jednodušší verzi s jedním ventilem, jelikož je tak nejlépe ilustrována jeho funkce a rozhodující bylo také ekonomické hledisko.

6.5 Ukázka dalšího možného vývoje

Jak již bylo zmíněno, zařízení je připraveno pro možný další vývoj. Ať už v oblasti hardwaru či softwaru. V oblasti softwaru se jedná především o rozšíření konfigurace vyčítání dat a konfigurace zasílání dat na datový server. Dále je zařízení již připraveno na rozvoj webového rozhraní, jehož ukázka je na obrázku 28. Zde je vytvořeno několik testovacích funkcí, které lze pomocí webového rozhraní nastavit. Jednalo by se například o detailní plánování zalévání v rámci dnů a měsíců. Bylo by možné vytvořit funkci připomínek, cyklických událostí atp. Uživateli by dle nastaveného schématu hnojení mohlo být připomenuto, že by měl do zálivky přidat hnojivo atp. To a mnoho dalšího by bylo možné s pomocí webového rozhraní, které by mělo být jednoduché, intuitivní a především responzivní – optimalizované pro mobilní zařízení.



Obrázek 28 Ukázka webového rozhraní (vlastní)

Dalším možným rozšířením zahradního automatu by mohl být vznik systému, který by byl složen z několika zařízení. Ta by společně komunikovala a pracovala dle nastavených pravidel. Příkladem by mohly být senzory pro měření vlhkosti a PH půdy pro optimální a plně automatizované zalévání. Jednou z dalších možností by mohl být také zjednodušený chytrý ventil společně se senzorem hladiny pro automatizované doplňování vody do bazénu. Rovněž možnost snímání hladiny dešťové vody v retenční nádrži se jeví jako velmi zajímavá. Docházelo by ke spínání napájení čerpadla a tím ke zcela automatizovanému zalévání pomocí dešťové vody. Možností je mnoho a s případným novým hardwarem i softwarem by se takto dal vypracovat celý ekosystém zahradních pomocných zařízení.

6.6 Finanční kalkulace

Zařízení se skládá z mnoha součástí a prvků. Většinu z nich bylo nutné zakoupit. Některé díly musely být vyrobeny samostatně pomocí 3D tisku. Finanční stránku práce lze rozdělit podle funkčních celků automatu. Důležitou skupinou dílů v rozpočtu je hliníková konstrukce. Ta vychází zhruba na 3982 Kč a je tedy největší položkou. Jistě by bylo možné dosáhnout stejného výsledku s jiným druhem materiálu či systémem konstrukce, ale tato varianta se mi jevila jako nejoptimálnější z hlediska funkčního a estetického. Další významnou položkou byl dotykový barevný LCD displej, který je pro práci nenahraditelný a tudíž nutný. Displej vychází zhruba na 1048 Kč. Následují již jednotlivé prvky a součástky pro řídicí elektroniku, kapalinový mechanismus, náklady na výrobu vlastních dílů pomocí 3D tiskáren atd. Celkové náklady na výrobu jednoho kusu zařízení v aktuální hladině cen jsou zhruba 11 022 Kč.

	Položka	Počet	Jednotková cena [Kč]	Celková cena [Kč]
1	Konstrukce – profily, spojky, sp. materiál	1	3982,00	3982,00
2	4,3” Nextion Intelligent dotykový displej	1	1048,00	1048,00
3	Plošný spoj	1	85,60	85,60
4	Elektromagnetický ventil	1	490,00	490,00
5	Peristaltické čerpadlo	1	682,00	682,00
6	Senzor vody	1	16,00	16,00
7	Průtokový měřák ½ "	1	100,00	100,00
8	Napájecí zdroj 12 V DC 6 A	1	379,00	379,00
9	Elektroinstalační krabice	1	130,00	130,00
10	Spínací tlačítko	1	185,00	185,00
11	LED čip	1	45,00	45,00
12	Mikrospínač	1	25,00	25,00
13	Svorkovnice 1	5	6,00	30,00
14	Svorkovnice 2	1	27,00	27,00
15	Piezo měnič	1	37,00	37,00
16	Potenciometr	1	10,40	10,40
17	SMD tlačítko	2	5,20	10,40
18	Tlumivka 1	1	17,30	17,30
19	Tlumivka 2	1	10,16	10,16
20	Lineární regulátor 3,3 V	1	5,17	5,17
21	Paměť FRAM	1	130,80	130,80
22	Tranzistor N-mosfet	7	7,67	53,69
23	ESP 32 WROOM N16	1	124,70	124,70
24	DC/DC měnič 1	1	65,60	65,60
25	DC/DC měnič 2	1	10,60	10,60
26	Jumper	1	1,50	1,50
27	Kondenzátor elektrolytický 1	1	12,00	12,00
28	Kondenzátor elektrolytický 2	2	3,25	6,50
29	Kondenzátor elektrolytický 3	1	4,57	4,57
30	Kondenzátor tantalový	6	12,30	73,80

31	SMD LED dioda	8	2,00	16,00
32	THT Zenerova dioda 27 V	1	2,40	2,40
33	Tranzistor BSS 138	12	3,00	36,00
34	Konektor B4B-XH-A	5	6,00	30,00
35	Konektor B3B-XH-A	5	4,40	22,00
36	Konektor XHP-4	5	2,20	11,00
37	Konektor XHP-3	5	2,27	11,35
38	Kontakt JST	35	1,80	63,00
39	Kolíková lišta	1	33,00	33,00
40	Schottky dioda 1	1	5,00	5,00
41	Schottky dioda 2	5	2,80	14,00
42	Schottky dioda 3	12	1,00	12,00
43	SMD R 10 kOhm	36	0,42	15,12
44	SMD R 470 Ohm	2	0,43	0,86
45	SMD R 3,01 kOhm	1	0,57	0,57
46	SMD R 1 kOhm	6	0,52	3,12
47	SMD R 330 mOhm	1	3,38	3,38
48	SMD R 0 Ohm	13	0,36	4,68
49	SMD R 1,2 kOhm	7	0,45	3,15
50	Displejový rámeček – fólie	1	200,00	200,00
51	Plexisklo GUTTA akrylátové 500 x 250 šedé	1	189,00	189,00
52	Plexisklo GUTTA akrylátové 500 x 500 šedé	1	379,00	379,00
53	Hadice na vodu ¾ "	1,5	165,00	247,50
54	PVC hadice 16x2	2	50,00	100,00
55	Mosazný T-kus	1	46,00	46,00
56	Mosazný hadičník ½ " 20 mm	2	34,10	68,20
57	Mosazná redukce ¼ " x ½ "	1	17,00	17,00
58	Mosazné koleno ½ " MF	1	35,00	35,00
59	Mosazné koleno ½ " MM	1	34,00	34,00
60	Mosazný nátrubek ½ "	1	24,00	24,00
61	Mosazný šikmý filtr ½ "	1	93,00	93,00
62	Teflonová páska	1	11,00	11,00
63	Mosazný hadičník ¼ " 6 mm	1	53,00	53,00
64	Silikonová hadička	0,5	75,00	37,50
65	PVC hadička 6 mm	1,5	25,00	37,50
66	Pružina	2	20,00	40,00
67	Tavná pojistka SMD	1	13,40	13,40
68	SMD kondenzátor keramický 15 nF	1	0,54	0,54
69	SMD kondenzátor keramický 100 nF	13	0,38	4,94
70	SMD kondenzátor keramický 470 pF	1	2,30	2,30
71	SMD R 220 Ohm	7	0,52	3,64
72	Materiál PLA	1	1000,00	1000,00
73	Materiál PET-G	1	200,00	200,00
74	3D tisk - Elektrická energie	1	100,00	100,00
Celkové náklady na výrobu 1 zařízení				**11 022 Kč**

Tabulka 11 Soupis součástek a stanovení výsledných nákladů na 1 ks zařízení (vlastní)

7 Závěr

Cílem této práce byl návrh a realizace zařízení určeného pro zahrádkáře a technické nadšence. Byl navrhnut a zrealizován zahradnický automat, který dokáže relativně přesně dávkovat jak malé, tak i velké objemy vody. Určen je především v základní verzi k plnění standardních 5l nebo 10l zahradnických konví. Do zálivky dokáže v uživatelsky nastaveném poměru dávkovat tekuté hnojivo. Hnojivo lze jednoduše aplikovat či měnit za jiné díky jeho komfortnímu umístění na rameni konstrukce, odkud je pomocí slabé hadičky odčerpáváno přímo do zařízení, kde dochází ke smíchávání s vodou.

V této práci jsem se zabýval vývojem každého detailu a každý prvek musel být navržen a vytvořen pro toto konkrétní zařízení. Jednalo se o hliníkovou konstrukci, kapalinový mechanismus, plastové díly, vstupně-výstupní prvek, řídicí elektroniku, grafické uživatelské rozhraní, webové rozhraní, firmware atd.

Zařízení je vybaveno několika prvky zvyšující uživatelův komfort. Řešen je odtok přebytečné vody z platformy pro konve. Rameno je vybaveno LED světlem a automatickým systémem plnění. Tento systém zjednodušuje práci se zařízením, jelikož uživatel nemusí nastavovat pokaždé parametry plnění. Stačí pouze odebírat naplněné konve a vkládat prázdné. Automat se ovládá jednoduše přes dotykový displej. Zařízení lze připojit k Wi-Fi síti a pomocí webového rozhraní jej konfigurovat. Dále lze měřit, sbírat a odesílat data pomocí MQTT protokolu na server, kde budou uložena a dále zpracována.

Automat je navržen tak, aby jej bylo možné v budoucnu rozšířit. Nabízí se mnoho nápadů, k čemu dalšímu by jej bylo možné používat. Jednalo by se například o centrální prvek, který by spravoval celý ekosystém pomocných zahradních zařízení, sbíral data a zautomatizoval některé úkoly a tím šetřil čas uživatele.

Programovatelný vodní automat pro zahrádkáře je inovativní zařízení splňující jejich veškerá očekávání. Je zcela připraven být pomocníkem, plnit zadané úkoly a zpříjemnit svému uživateli práci na zahradách a zahrádkách.

8 Seznam použité literatury

(1) FLOWERDEW, Bob. *Sázení, zalévání a hnojení*. Vyd. 1. Přeložil Jiřina STÁRKOVÁ. V Praze: Metafora, 2011. Biozahrada. ISBN 978-80-7359-273-8.

(2) VANĚK, Václav. *Výživa zahradních rostlin*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2012. ISBN 978-80-200-2147-2.

(3) *Minerální hnojiva* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/mineralni/hnojiva_mineralni.htm

(4) VANĚK, Václav. *Výživa polních a zahradních plodin*. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2007. ISBN 978-80-86726-25-0.

(5) *Peristaltické čerpadlo* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: http://mve.energetika.cz/jineturbiny/peristalticke-cerpadlo.htm

(6) *Principy průmyslových čerpadel – 7.díl - hadicová čerpadla* [online]. [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-7dil-hadicova-cerpadla

(7) *How does a Solenoid Valve work?* [online]. [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: https://instrumentationblog.com/how-does-a-solenoid-valve-work/

(8) *Dold Mechatronik Aluminum profiles datasheet* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: https://www.dold-mechatronik.de/documents/Datasheets/AluminumProfiles/Dold_Mechatronik_Aluminum_Profile_CompleteCatalog.pdf

(9) *Allowable Bending Stress* [online]. [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: https://lambdageeks.com/allowable-bending-stress/#:~:text=The%20bending%20strength%20of%20aluminium,than%20the%20base%20metal%20AL6061

(10) *POSOUZENÍ PŘETVOŘENÍ NOSNÍKU VÝPOČTEM* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/BZK/zvolanek.l/vyuka_bzk/BL05_Pretvoreni.pdf

(11) *NEXTION INTELLIGENT HMI DISPLAY* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://nextion.tech/intelligent-series-introduction/

(12) *CLD-7012-T2-E25* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/1e958b7ff82205e8f3e82c8e09f1cd7a/CLD-7012-T2-E25.pdf

(13) *ESP32 Series datasheet* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

(14) *BSS138PW* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/2bcae0584488e78a2e1a5e186be3fbe4/BSS138PW.pdf

(15) *Bi-Directional Logic Level Converter* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://learn.sparkfun.com/tutorials/bi-directional-logic-level-converter-hookup-guide/all

(16) *EEPROM Reliability and Wear Leveling* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/sbc-single-board-computers/freescale-hcs12-9s12-c-language/instrument-control/eeprom-lifetime-reliability-wear-leveling

(17) *FM24C04B Datasheet* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/438474/RAMTRON/FM24C04B.html

(18) *LM2596 datasheet* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/844528a514a558f274cb3d5df3d4e689/LM2596DSADJG.pdf

(19) *AZ1117C datasheet* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/2c8e8e0754e287f5caec5b0be61df9ab/AZ1117C.pdf

(20) *OF-LM002-3B480OPTOFLASH* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://www.tme.eu/cz/details/of-lm002-3b480/vykonove-diody-led-cob/optoflash/

(21) *MC34063ABD-TR datasheet* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/822ff90970b8de68f08f609d00979f57/MC34063xx.pdf

(22) *Protecting IO Lines From ESD* [online]. [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: https://blog.mbedded.ninja/electronics/circuit-design/esd-protection/protecting-io-lines-from-esd/

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Řez peristaltickým čerpadlem (6) 9
Obrázek 2 Řez membránovým ventilem (7) 10
Obrázek 3 Podoba návrhu v programu AD Inventor a finální podoba zařízení (vlastní) 11
Obrázek 4 Návrh konstrukce v AD Inventor a finální podoba předního panelu (vlastní) 12
Obrázek 5 Realizace zařízení – zadní panel, box s řídící elektronikou (vlastní) 13
Obrázek 6 Ukázka umístění láhve s hnojivem (vlastní) 14
Obrázek 7 Realizace LED osvětlení (vlastní) 14
Obrázek 8 Znázornění zatížení nosníku spojitým zatížením (10) 16
Obrázek 9 Průřez profilem (8) 16
Obrázek 10 Ukázka kapalinového mechanismu bez peristaltického čerpadla (vlastní) 17
Obrázek 11 Ukázka kompletního kapalinového mechanismu (vlastní) 18
Obrázek 12 Ukázka GUI – úvodní strana (vlastní) 20
Obrázek 13 Kompletní displejová jednotka (vlastní) 21
Obrázek 14 Ukázka sestavy displejové jednotky (vlastní) 21
Obrázek 15 Ukázka dvoustavového kloubu (vlastní) 21
Obrázek 16 Realizace automatického mechanismu (vlastní) 21
Obrázek 17 Ukázka návrhu odtokové nádržky (vlastní) 22
Obrázek 18 Analýza výstupního signálu průtokoměru pomocí osciloskopu (vlastní) 25
Obrázek 19 Technika snížení výkonu (vlastní) 26
Obrázek 20 Schéma řídící elektroniky (vlastní) 29
Obrázek 21 Zapojení obousměrného logického převodníku (15) 30
Obrázek 22 Ukázka LED čipu (20) 32
Obrázek 23 Měření napěťové špičky při odpojení ventilu pomocí osciloskopu (vlastní) 33
Obrázek 24 Zapojení ochrany vstupních pinů (22) 34
Obrázek 25 Finální podoba návrhu plošného spoje (vlastní) 34
Obrázek 26 Finální podoba plošného spoje (vlastní) 35
Obrázek 27 Ukázka GUI – nastavení plnicí konstanty (vlastní) 42
Obrázek 28 Ukázka webového rozhraní (vlastní) 49

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Odběr živin u košťálovin (2, s. 444) 7
Tabulka 2 Odběr živin u plodové zeleniny (2, s. 448) 7
Tabulka 3 Odběr živin u kořenové zeleniny (2, s. 451) 7
Tabulka 4 Odběr živin u listové, cibulové a luskové zeleniny (2, s. 454) 8
Tabulka 5 Odběr živin plody ovocných stromů (2, s. 465) 8
Tabulka 6 Odběr živin jedné okrasné rostliny (2, s. 499) 8
Tabulka 7 Odběr živin trvalými travními porosty (4, s. 141) 8
Tabulka 8 Experimentální určení plnicí konstanty pro objem 50 l (vlastní) 43
Tabulka 9 Experimentální určení plnicí konstanty pro objem 5 l (vlastní) 43
Tabulka 10 Spotřeba elektrické energie (vlastní) 48
Tabulka 11 Soupis součástek a stanovení výsledných nákladů na 1 ks zařízení (vlastní) 51

11 Seznam grafů

Graf 1 Relativní chyba plnění v závislosti na objemu – do 100 l (vlastní).....44
Graf 2 Relativní chyba plnění v závislosti na objemu – nad 100 l (vlastní).....44
Graf 3 Relativní chyba dávkování hnojiva (vlastní).....45
Graf 4 Průtok v závislosti na tlaku vody (vlastní).....46
Graf 5 Závislosti teploty ventilu na dávkovaném objemu (vlastní).....47

12 Seznam příloh (uvedeny na zdrojovém CD)

Příloha 1 …… Firmware mikroprocesoru ESP 32
Příloha 2 …… Schéma adres FRAM paměti
Příloha 3 …… Soubor modelů jednotlivých dílů a sestava konstrukce
Příloha 4 …… GUI pro LCD displej
Příloha 5 …… Displejová fólie
Příloha 6 …… Schéma zapojení a plošný spoj
Příloha 7 …… Soubor měření