

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Zavlažovací systém pro zalévání malého počtu rostlin  
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Pavel Osinin</b>
Osobní číslo:	<b>I22220</b>
Studijní program:	<b>B0714A150008 Automatizace</b>
Téma práce:	<b>Zavlažovací systém pro zalévání malého počtu rostlin</b>
Zadávací katedra:	<b>Katedra automatizace a matematiky</b>

## Zásady pro vypracování

**Cíl:** Vytvořit zavlažovací systém pro zalévání malého množství rostlin. Systém měří vlhkost a teplotu a podle zvoleného druhu rostliny zavlažuje.

### Teoretická část:

1. Zpracujte literární rešerši zavlažovacích systémů používaných pro automatické zavlažování s hlídáním vlhkosti půdy a vzduchu, teploty (snímače, akční a řídicí členy).
2. Navrhněte systém řízení s cílem snížení spotřeby elektrické energie. Při řízení zohledněte druh zalévaných rostlin, okolní vlhkost a teplotu.
3. K navrženému systému řízení navrhněte zavlažovací systém vhodný pro automatické zalévání malého počtu rostlin umístěných na různých místech řízené centrálně s ukládáním zaznamenaných dat.

### Praktická část:

4. Zvolené řešení realizujte. Při realizaci zajistěte odolnost použitého HW proti vnějším vlivům prostředí.
5. Systém musí monitorovat sledované veličiny. Musí být možnost měnit parametry podle druhu ošetřovaných rostlin a musí umožnit měřené veličiny zaznamenat a následně zobrazit zobrazovacím zařízením nebo z aplikace operačního systému Windows nebo mobilního zařízení.
6. K realizaci hardwarového řešení použijte elektronické řídicí jednotky.
7. Součástí práce budou podrobné výrobní podklady k realizovanému zařízení a uživatelský manuál.
8. Funkčnost zařízení ověřte na různých rostlinách a popište výsledky testů.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 40 stran**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

VEVERKA, Vladimír. Speciální mechanizace – závlahová technika pro zahradnictví. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003. ISBN 80-715-7738-3  
CHLEBNÝ, Jan. *Automatizace a automatizační technika. 3, Prostředky automatizační techniky. 4.*, aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2523-6.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Mgr. Václav Horčic, Ph.D.**  
Katedra automatizace a matematiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2024**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

**prof. Ing. Petr Doležel, Ph.D.** v.r.  
děkan

L.S.

**Ing. Libor Kupka, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. ledna 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem zavlažovací systém pro zalévání malého počtu rostlin jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16. 05. 2025

Pavel Osinin v.r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Mgr. Václavovi Horčicovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a trpělivost během celého zpracování tématu. Poděkování patří také mé rodině a blízkým za podporu, motivaci a pochopení v průběhu studia.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací automatizovaného zavlažovacího systému určeného pro zavlažování malého množství rostlin v domácích nebo laboratorních podmínkách. Systém využívá mikrokontrolér Arduino Uno, senzory vlhkosti půdy a senzory teploty a vlhkosti vzduchu pro přesné řízení závlahy. Na základě naměřených hodnot a zvoleného typu rostliny dochází k automatickému spuštění nebo zastavení závlahy pomocí elektromagnetických ventilů. Uživatel má možnost nastavit typ rostliny a sledovat aktuální hodnoty senzorů prostřednictvím LCD displeje a ovládacích tlačítek. Cílem práce je navrhnout jednoduchý a efektivní systém, který přispívá k úspoře vody a zajišťuje vhodné podmínky pro růst rostlin.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

zavlažování, automatizace, Arduino Uno, senzor vlhkosti, elektromagnetický ventil, LCD displej

## **TITLE**

Irrigation System for Watering a Small Number of Plants

## **ANNOTATION**

This bachelor's thesis focuses on the design and implementation of an automated irrigation system intended for watering a small number of plants in domestic or laboratory environments. The system is based on the Arduino Uno microcontroller, soil moisture sensors, and air temperature and humidity sensors to control irrigation accurately. Depending on the measured values and the selected plant type, the system automatically activates or deactivates the irrigation using solenoid valves. The user can select the plant type and monitor current sensor values via an LCD display and control buttons. The goal of the thesis is to develop a simple, and efficient system that conserves water and ensures optimal conditions for plant growth.

## **KEYWORDS**

irrigation, automation, Arduino Uno, moisture sensor, solenoid valve, LCD display

# OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	10
TERMINOLOGIE .....	11
ÚVOD.....	12
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	13
1.1 Vliv půdní vlhkosti na růst rostlin .....	13
1.2 Přehled způsobů zavlažování.....	14
1.2.1 Povrchová závlaha .....	14
1.2.2 Kapková závlaha.....	14
1.2.3 Postřiková závlaha .....	15
1.2.4 Podzemní závlaha .....	15
1.3 Existující řešení zavlažovacích systémů.....	17
1.3.1 Hobby systémy .....	17
1.3.2 Poloprofesionální systémy.....	17
1.3.3 Profesionální systémy .....	17
1.3.4 Srovnání s navrhovaným systémem .....	17
1.4 Principy měření vlhkosti půdy .....	19
1.4.1 Odporové senzory .....	19
1.4.2 Kapacitní senzory .....	20
1.5 Vlhkostní nároky rostlin a jejich nastavení v systému .....	21
1.6 Automatizace zavlažování .....	22
1.7 Algoritmus řízení závlahy.....	23
1.8 Arduino Uno .....	24
1.9 Použité senzory a komponenty .....	25
1.9.1 Senzor půdní vlhkosti (HD-38).....	25
1.9.2 Senzor teploty a vlhkosti vzduchu (DHT11) .....	25
1.9.3 Elektromagnetický ventil.....	26
1.9.4 Reléový čtyřkanálový modul optočlenem .....	26
1.9.5 LDC displej.....	27
1.9.6 Vodotěsný hlavní vypínač .....	27

1.10	Úspora elektrické energie v zavlažovacím systému .....	28
2	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	29
2.1	Návrh hardwarového řešení .....	29
2.1.1	Konstrukce zařízení .....	29
2.1.2	Napájení a energetické řízení.....	32
2.1.3	Schéma elektrického zapojení .....	33
2.2	Popis programové logiky a algoritmu.....	34
2.2.1	Výpočet účinnosti a nastavení cíle.....	34
2.2.2	Výpočet další dávky podle výsledku .....	35
2.2.3	Koeficient prostředí a výpočet intervalu.....	36
2.3	Uživatelské ovládání systému.....	38
2.4	Implementace řízení v Arduino IDE.....	40
2.4.1	Algoritmus adaptivní dávky a reakce na vlhkost.....	40
2.4.2	Řízení intervalu měření podle prostředí.....	41
2.4.3	Ukládání historie měření a její zobrazení .....	42
2.4.4	Výběr režimu podle typu rostliny .....	42
2.4.5	Vývojový diagram programu.....	43
2.5	Kalibrace a testování senzorů .....	46
2.5.1	Kalibrace senzorů půdní vlhkosti (HD-38).....	46
2.5.2	Testování senzoru DHT11 .....	46
2.6	Ladění a ověřování funkce algoritmu .....	48
2.7	Dlouhodobé ověření v reálném prostředí.....	49
2.8	Bezpečnost a provozní limity systému .....	52
2.9	Možnosti budoucího rozšíření systému .....	53
3	ZÁVĚR .....	55
4	Zdroje.....	56
5	SEZNAM PŘÍLOH.....	57



## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 Povrchové závlaha s pomocí konve (DŽUNGLE, 2023).....	14
Obrázek 2 Kapková závlaha (KINPLAST, 2025) .....	15
Obrázek 3 Postřiková závlaha (Vonroc, 2025) .....	15
Obrázek 4 Koncept podzemní závlahy (ÚSPORNÉ ZÁVLAHY, 2021).....	16
Obrázek 5 Odporový senzor Waveshare 9527 (BOTLAND, 2025).....	20
Obrázek 6 Senzor půdní vlhkosti – HD-38 (LASKAKIT, 2025) .....	25
Obrázek 7 Elektromagnetický ventil (GM electronic, 2025) .....	26
Obrázek 8 Rozmístění hardweru konstrukce .....	29
Obrázek 9 Horní část konstrukce .....	30
Obrázek 10 Boční strana konstrukce .....	31
Obrázek 11 Schéma zapojení.....	33
Obrázek 12 Program - výpočet dávky .....	41
Obrázek 13 Program - Výpočet intervalu kontroly .....	41
Obrázek 14 Program - Zápis do historie .....	42
Obrázek 15 Program - Volba typu rostliny .....	43
Obrázek 16 Vývojový digram programu .....	43
Obrázek 17 Vývojový diagram smyčky loop .....	44
Obrázek 18 Vývojový diagram smyčky kontrolaZalivani.....	45
Obrázek 19 Graf - Průběh hlídání máty .....	49
Obrázek 20 Graf - Průběh hlídání kaktusu .....	50
Obrázek 21 Blokové schéma .....	66
Obrázek 22 Rozmístění hardweru konstrukce .....	67
Obrázek 23 Levá strana konstrukce .....	67
Obrázek 24 Horní část konstrukce .....	68

## **SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK**

LCD - Liquid Crystal Display (displej s tekutými krystaly)

I2C - Inter-Integrated Circuit (sériová sběrnice)

IDE - Integrated Development Environment

VCC - Napájecí napětí

GND - Ground – zemní potenciál

HD-38 - Typ senzoru půdní vlhkosti

DHT11 - Typ senzoru teploty a vlhkosti vzduchu

Ms - milisekunda

°C - Stupeň Celsia

% - procento

## TERMINOLOGIE

Zavlažovací systém – zařízení, které zajišťuje přísun vody k rostlinám podle jejich aktuální potřeby, obvykle na základě měření vlhkosti půdy

Senzor půdní vlhkosti (HD-38) – odporový senzor, který měří elektrický odpor půdy. Čím je půda sušší, tím vyšší hodnotu senzor vrací.

Senzor DHT11 – digitální senzor pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Komunikuje s mikrokontrolérem přes jeden datový pin.

Relé – elektronická součástka, která umožňuje spínat vyšší napětí (např. 12 V pro ventil) pomocí nízkého řídicího signálu (z Arduina).

Elektromagnetický ventil – ventil řízený elektrickým proudem. Po přivedení napětí se otevře a umožní průtok vody.

Typ rostliny (1–5) – číselný režim, který určuje nároky rostliny na vlhkost půdy. Používá se pro výběr zavlažovacího režimu.

Cílová účinnost – ideální nárůst vlhkosti půdy po jedné závlaze. Slouží k porovnání s reálně dosaženým výsledkem a k úpravě další dávky.

Interval měření – doba mezi jednotlivými cykly vyhodnocení vlhkosti půdy. Mění se podle klimatických podmínek.

## ÚVOD

Zajištění optimálních podmínek pro růst rostlin bude i nadále představovat důležitou oblast zájmu v rámci zemědělství, zahradnictví i domácího pěstování. Jedním ze základních faktorů ovlivňujících zdravý vývoj rostlin je voda – konkrétně její dostupnost v půdě v dostatečném množství a ve správný čas. V mnoha případech se však rostliny nacházejí v podmínkách, kde je přirozený přísun vody nedostatečný nebo nepravidelný, což může negativně ovlivnit jejich růst, plodnost a celkové zdraví (Veverka, 2003). Nepravidelná nebo chybná závlaha je častým problémem zejména při ručním zavlažování, které je závislé na lidském faktoru – pozornosti, pravidelnosti, nebo fyzické přítomnosti osoby.

V důsledku technologického pokroku a rostoucí dostupnosti elektronických komponent se začínou v širší míře uplatňovat automatické zavlažovací systémy, které umožní přesné a účinné řízení závlahy na základě aktuálních hodnot měřených v půdě a okolním prostředí. Tyto systémy budou přínosem zejména v situacích, kdy bude třeba udržovat stabilní podmínky pro rostliny bez neustálého dohledu, např. v domácnostech, sklenících, školních projektech nebo při vědeckých pokusech (Tůma a Tůmová, 1998). Díky využití moderních senzorů, mikrokontrolérů a jednoduchých ovládacích prvků bude možné sestavit inteligentní zařízení, které zajistí zavlažování pouze tehdy, když to rostliny skutečně potřebují, a zároveň tak dojde ke snížení spotřeby vody.

Předkládaná bakalářská práce se bude zabývat návrhem a realizací automatizovaného zavlažovacího systému určeného pro zavlažování dvou samostatných květináčů. Systém bude postaven na mikrokontroléru Arduino Uno, který bude řídit činnost celého zařízení na základě dat získaných z půdních vlhkostních senzorů typu HD-38 a senzoru okolní teploty a vlhkosti vzduchu DHT11. Zdrojem vody bude nádrž s objemem 2 litry, přičemž distribuce vody do jednotlivých květináčů bude zajišťována elektromagnetickými ventily ovládanými přes relé. Uživatel bude moci prostřednictvím LCD displeje a sady tlačítek volit typ pěstované rostliny, čímž se přizpůsobí parametry zavlažování jejím specifickým nárokům na půdní vlhkost.

Cílem práce bude navrhnout funkční řešení, které bude, konstrukčně jednoduché a zároveň dostatečně flexibilní pro budoucí rozšíření o další funkce, jako je například bezdrátová komunikace nebo připojení k internetu. Návrh bude zahrnovat nejen hardwarové komponenty a jejich zapojení, ale také softwarovou logiku zajišťující měření, vyhodnocování a řízení.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Vliv půdní vlhkosti na růst rostlin

Půdní vlhkost hraje důležitou roli v životě každé rostliny. Voda je nezbytná pro většinu procesů, které v rostlině probíhají. Umožňuje například vstřebávání živin z půdy, podílí se na fotosyntéze, reguluje teplotu rostliny a pomáhá udržovat její pevnost. Bez dostatečného množství vody začínají rostliny vadnout, ztrácejí barvu, přestávají růst a při dlouhodobém suchu mohou i uhynout. Na druhou stranu ani přílišné množství vody není pro rostliny vhodné. Přemokřená půda způsobuje nedostatek kyslíku v okolí kořenů, což může vést k jejich zahánění nebo napadení houbami (Tůma a Tůmová, 1998).

Správné množství vody je proto zásadní pro udržení zdravého růstu. Různé rostliny ale potřebují rozdílnou míru záливky. Například kaktusy nebo sukulenty rostou přirozeně v suchém prostředí a dlouho vydrží bez vody, zatímco rostliny jako rajčata, papriky nebo jahody jsou na dostatek vláhy mnohem náročnější. V běžné domácnosti nebo na balkoně tak často bývá pěstováno více rostlin s odlišnými nároky, a každá z nich by teoreticky měla mít vlastní způsob zalévání. Právě proto je výhodné, když se rostliny nespolehají pouze na člověka, ale jejich zavlažování probíhá podle aktuální potřeby. (Allen et al., 1998)

Vlhkost půdy ovlivňuje nejen samotnou rostlinu, ale i mikroorganismy, které v půdě žijí a pomáhají s rozkladem organické hmoty a přeměnou živin do formy, kterou jsou rostliny schopné přijmout. Pokud je půda příliš suchá, aktivita těchto organismů klesá, což má negativní dopad na výživu rostlin. Také struktura půdy může být nedostatečnou vlhkostí narušena – vznikají praskliny a zhutnění, což snižuje schopnost půdy zadržovat vodu do budoucna (Tůma a Tůmová, 1998).

Problém u běžného ručního zalévání spočívá hlavně v tom, že lidé často zalévají buď podle zvyku, nebo náhodně. Někdy dají rostlinám více vody, než potřebují, jindy zase zapomenou úplně. Výsledkem je nepravidelná záливka, která rostlinám neprospívá. Zavlažování, které je řízené podle skutečné vlhkosti půdy, je proto mnohem šetrnější a efektivnější. Pokud se použije senzor, který měří vlhkost přímo v půdě, systém se může rozhodnout, kdy je opravdu potřeba rostlinu zalít a kdy ne. Tím se šetří nejen voda, ale i čas a práce pěstitele. (Chlebný, 2009)

## 1.2 Přehled způsobů zavlažování

Existuje více způsobů, jak je možné rostliny zalévat. Každý způsob má své výhody a nevýhody a hodí se pro jiný typ výsadby, půdy nebo prostředí. V některých případech je zalévání prováděno ručně, jindy pomocí jednoduchých nebo plně automatických systémů. V této kapitole budou stručně popsány nejčastější metody závlahy, které se využívají jak v zahradnictví, tak v menším měřítku například při domácím pěstování (Veverka, 2003).

### 1.2.1 Povrchová závlaha

Povrchová závlaha je nejjednodušší a nejstarší způsob zavlažování. Spočívá v tom, že se voda rozlévá po povrchu půdy, například hadicí nebo konví (Obrázek 1). Voda se dostává ke kořenům samospádem. Tento způsob je vhodný hlavně pro rovné a dobře propustné půdy. Výhodou je nízká pořizovací cena a jednoduchost. Nevýhodou je ale velké plýtvání vodou, protože část se vypaří nebo odteče dříve, než se vsákne. Také dochází k nerovnoměrné zálivce, což může být problém, pokud je potřeba zalévat přesněji (Allen et al., 1998).



*Obrázek 1 Povrchové závlaha s pomocí konve (DŽUNGLE, 2023)*

### 1.2.2 Kapková závlaha

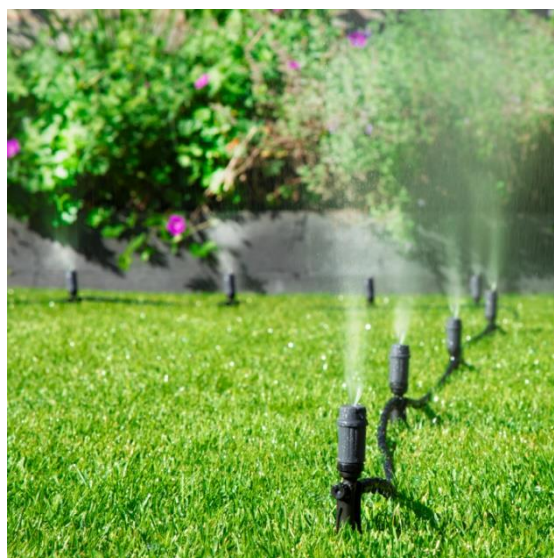
Kapková závlaha (Obrázek 2) patří mezi moderní a velmi efektivní metody. Voda je pomocí hadiček a trubiček vedena přímo ke kořenům rostlin, kde z ní pomalu odkapává. Díky tomu se spotřebuje jen takové množství vody, které rostlina opravdu potřebuje. Zároveň se minimalizují ztráty odparem. Tento způsob je vhodný hlavně pro skleníky, záhony nebo květináče. Výhodou je úspora vody a možnost automatizace. Nevýhodou může být zanášení hadiček nečistotami nebo vyšší pořizovací náklady (Veverka, 2003).



*Obrázek 2 Kapková závlaha (KINPLAST, 2025)*

### **1.2.3 Postřiková závlaha**

Při postřikové závlaze se voda rozstříkuje pomocí trysek nebo speciálních postřikovačů nad rostliny. Napodobuje tak přirozený déšť. Používá se často na trávníky nebo větší plochy s menšími rostlinami. Výhodou je rovnoměrné pokrytí plochy. Nevýhodou je vyšší spotřeba vody a to, že voda smáčí i listy, což může zvyšovat riziko plísní nebo popálení rostlin při slunečném počasí (Veverka, 2003).



*Obrázek 3 Postřiková závlaha (Vonroc, 2025)*

### **1.2.4 Podzemní závlaha**

Tento typ závlahy využívá potrubí nebo perforované trubky zakopané pod povrchem půdy (Obrázek 4). Voda je přiváděna přímo ke kořenům rostlin, aniž by docházelo ke zvlhčování povrchu. Výhodou je minimální odpar a velmi přesné zavlažování. Používá se hlavně

v profesionálních systémech, například v sadech nebo parcích. Nevýhodou je náročná instalace a vyšší cena (Veverka, 2003).



*Obrázek 4 Koncept podzemní závlahy (ÚSPORNÉ ZÁVLAHY, 2021)*



### **1.3 Existující řešení zavlažovacích systémů**

Na trhu dnes existuje široká škála automatických zavlažovacích systémů, které se liší cenou, složitostí i určením. Lze je rozdělit do tří hlavních kategorií – hobby systémy, poloprofesionální systémy a profesionální systémy(Procházka, 2007)

#### **1.3.1 Hobby systémy**

Tyto systémy jsou určeny pro domácí použití, především na zahradách, v květináčích nebo sklenících. Obvykle jsou založeny na časovači, který v pravidelných intervalech spíná ventil. Zalévání probíhá bez ohledu na aktuální vlhkost půdy nebo typ rostliny. Příkladem je systém Gardena s naprogramovatelným časovačem. Výhoda: nízká cena, snadná instalace. Nevýhoda: žádná zpětná vazba – systém neví, zda je půda suchá nebo vlhká (Procházka, 2007)

#### **1.3.2 Poloprofesionální systémy**

Tyto systémy využívají jednoduché senzory vlhkosti půdy a umožňují základní regulaci závlahy podle potřeby. Často bývají řízeny mikrokontrolérem a umožňují uživatelské nastavení parametrů, např. přes mobilní aplikaci. Jsou vhodné pro náročnější domácí použití, malé skleníky nebo školní výuku(Procházka, 2007).

#### **1.3.3 Profesionální systémy**

Profesionální zavlažovací systémy se používají v zemědělství, parcích nebo velkých sklenících. Jsou složité, drahé a zpravidla napojené na centrální řídicí jednotku, meteorostanici, připojení k internetu a databázi předpovědi počasí. Ovládají desítky zón, měří spotřebu vody, tlak i průtok(Procházka, 2007).

#### **1.3.4 Srovnání s navrhovaným systémem**

Navržený systém spadá mezi hobby a poloprofesionální úroveň, ale přináší několik výhod oproti běžně dostupným produktům:

- Individuální řízení více rostlin – každý květináč má vlastní senzor a ventil.
- Přizpůsobení typu rostliny – uživatel volí režim podle vlhkostních nároků.
- Zohlednění okolní teploty a vlhkosti vzduchu – algoritmus není závislý jen na půdě.
- Jednoduchá konstrukce – použití běžně dostupných komponent.

Tímto přístupem se navržené řešení stává inovativním kompromisem mezi jednoduchostí domácích produktů a funkcí drahých profesionálních zařízení, a zároveň umožňuje úpravu a rozšíření podle konkrétních potřeb uživatele.

## 1.4 Principy měření vlhkosti půdy

Aby bylo možné zavlažování řídit automaticky, je potřeba znát aktuální vlhkost půdy. Měření vlhkosti umožňuje zjistit, zda má rostlina dostatek vody, nebo jestli je potřeba ji zalít. Pro tento účel se používají různé typy senzorů, které sledují, kolik vody se v půdě nachází. Sensory se umisťují přímo do půdy, kde měří buď odpor, nebo kapacitu, podle toho, jaká technologie je v nich použita (Chlebný, 2009).

Nejčastěji používané jsou odporové a kapacitní senzory. Odporové senzory fungují na principu měření elektrického odporu mezi dvěma vodiči. Vlhká půda má menší odpor, protože voda dobře vede elektřinu, zatímco suchá půda má odpor větší. Kapacitní senzory pracují trochu jinak – měří, jak moc půda ovlivňuje elektrické pole mezi dvěma elektrodami. Voda mění tzv. permitivitu materiálu, a tím i výslednou kapacitu. Kapacitní senzory bývají přesnější, ale také dražší (Chlebný, 2009).

Při použití senzorů je důležité nejen správné zapojení, ale i jejich umístění. Pokud je senzor zapíchnutý příliš mělce nebo na nevhodném místě, může měřit zkreslené hodnoty. Proto je vhodné je umisťovat do blízkosti kořenů, kam voda proniká nejdříve. Dále je potřeba počítat s tím, že některé senzory mohou být citlivé na typ půdy nebo její zasolení. V praxi je často nutné hodnoty z kalibrace upravit, aby odpovídaly konkrétním podmínkám dané rostliny a prostředí. (Chlebný, 2009)

Měření vlhkosti je základem každého automatického zavlažovacího systému. Na základě těchto dat se totiž rozhoduje, zda má být závlaha spuštěna. Pokud je půda dostatečně vlhká, zůstává ventil zavřený. Pokud vlhkost klesne pod stanovenou hranici, systém otevře ventil a začne rostlinu zalévat.

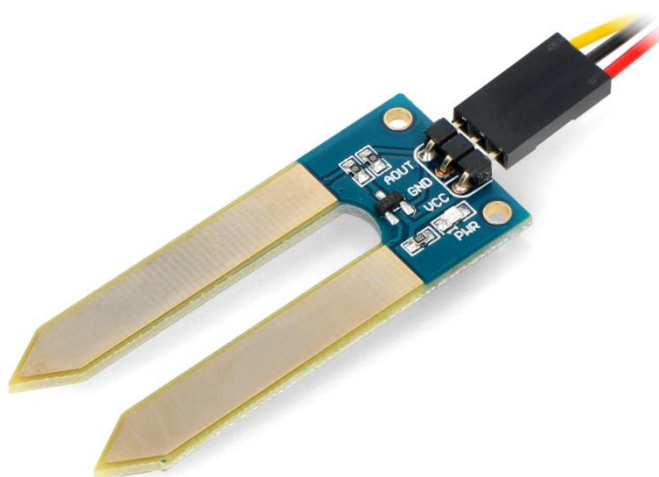
### 1.4.1 Odporové senzory

Odporové senzory patří mezi nejjednodušší a nejlevnější způsoby, jak měřit vlhkost půdy. Fungují tak, že se měří elektrický odpor mezi dvěma kovovými elektrodami (Obrázek 5), které jsou umístěny v půdě. Když je půda suchá, odpor je vysoký, protože suchý materiál špatně vede elektrický proud. Naopak ve vlhké půdě je odpor nižší, protože voda obsahuje ionty, které proud vedou lépe (Chlebný, 2009).

Tyto senzory se snadno používají a dají se dobře připojit k mikrokontrolérům, jako je Arduino. Mají ale i své nevýhody. Elektrody bývají vyrobené z kovu, který může časem korodovat, zvláště pokud je v půdě trvale. To pak ovlivňuje přesnost měření a zkracuje životnost senzoru.

Dalším problémem je, že odporové senzory mohou být citlivé na typ půdy a přítomnost hnojiv, což může způsobit zkreslení hodnot.

I přes tyto nevýhody se odporové senzory stále běžně používají, hlavně kvůli jejich ceně a jednoduchosti. Jsou vhodné tam, kde se nepožaduje extrémní přesnost, ale spíše základní informace o tom, jestli je půda suchá nebo vlhká.



Obrázek 5 Odporový senzor WaveShare 9527 (BOTLAND, 2025)

#### 1.4.2 Kapacitní senzory

Kapacitní senzory fungují na odlišném principu než odporové. Neměří odpor, ale kapacitu – tedy schopnost materiálu uchovávat elektrický náboj. Půda, která obsahuje více vody, má vyšší permitivitu, což znamená, že ovlivňuje elektrické pole mezi elektrodami. Senzor zaznamenává změnu kapacity, a podle toho určuje, jak je půda vlhká (Chlebný, 2009).

Hlavní výhodou kapacitních senzorů je, že se elektrody nemusí dostat přímo do kontaktu s vodou a proudem, což výrazně snižuje jejich opotřebení a prodlužuje životnost. Jsou také méně citlivé na složení půdy nebo přítomnost solí. Z těchto důvodů jsou kapacitní senzory vhodnější pro dlouhodobé použití nebo přesnější měření.

Na druhou stranu bývají kapacitní senzory dražší než odporové a jejich zapojení bývá složitější. I tak ale v mnoha případech představují lepší řešení, hlavně pokud má být měření spolehlivé a systém fungovat bez časté údržby.

## 1.5 Vlhkostní nároky rostlin a jejich nastavení v systému

Rostliny mají rozdílné nároky na množství vody, které potřebují pro svůj zdravý růst. Zatímco některé, jako např. sukulenty nebo kaktusy, vyžadují pouze občasné zalévání, jiné druhy, jako jsou rajčata nebo papriky, potřebují pravidelný přísun vláhy. V automatickém zavlažovacím systému je proto nutné přizpůsobit řízení podle typu pěstované rostliny (Tůma a Tůmová, 1998).

Aby bylo ovládání co nejjednodušší, zavedený systém používá číselné režimy 1 až 5, které reprezentují pět kategorií podle nároků na vlhkost:

- Režim 1 – velmi nízké nároky na vlhkost (např. kaktusy, sukulenty)
- Režim 2 – nízké nároky (např. levandule, rozmarýn)
- Režim 3 – střední nároky (např. pokojové rostliny, většina bylinek)
- Režim 4 – vyšší nároky (např. rajčata, okurky)
- Režim 5 – velmi vysoké nároky (např. papriky, vlhkomilné byliny)

Uživatel si při spuštění systému zvolí číselný režim podle typu pěstované rostliny. Konkrétní rostliny a jejich přiřazení k jednotlivým režimům jsou uvedeny na přiloženém papírovém seznamu, který je součástí systému.

Každý režim má v softwaru přednastavený rozsah vlhkosti půdy (dolní a horní mez), podle kterého se následně řídí zavlažování. Díky tomu je možné systém snadno přizpůsobit i bez nutnosti zadávání konkrétní rostliny přímo na displeji. Tento způsob výběru zajišťuje přehledné a rychlé ovládání a zároveň dostatečnou variabilitu pro většinu běžně pěstovaných rostlin.

## 1.6 Automatizace zavlažování

Automatizace se dnes používá v různých oblastech, a výjimkou není ani zavlažování rostlin. Díky moderním technologiím je možné vytvořit systém, který sám rozhoduje o tom, kdy a jak dlouho bude rostlina zalévána. Cílem automatizace v tomto případě není jen pohodlí pro uživatele, ale i úspora vody a zajištění lepších podmínek pro růst rostlin.

Základní princip automatického zavlažování spočívá v tom, že systém sleduje aktuální vlhkost půdy pomocí senzorů. Pokud vlhkost klesne pod určitou hodnotu, systém otevře ventil a rostlinu zalije. Jakmile je vlhkost opět dostatečná, závlaha se vypne. Díky tomu se zalévá pouze tehdy, kdy je to skutečně potřeba, což šetří vodu a zabraňuje přemokření půdy (Chlebný, 2009).

Automatické zavlažovací systémy mohou být jednoduché, složené jen z několika senzorů, mikrokontroléru a ventilu, nebo složitější – např. s časovačem, Wi-Fi připojením, mobilní aplikací nebo napojením na meteostanici. V praxi se používají jak v domácích podmínkách, tak ve sklenících, zemědělství nebo veřejné zeleni. V domácím prostředí má automatizace výhodu hlavně v tom, že rostliny nezůstanou bez vody ani tehdy, když majitel odjede na dovolenou nebo zapomene zalévat.

Další výhodou automatizace je možnost přizpůsobit systém konkrétním druhům rostlin. Každá rostlina může mít nastavenou jinou hodnotu vlhkosti, při které se začne zalévat. Systém se tak chová chytře a reaguje podle potřeby – nejen podle času, ale podle reálných podmínek v půdě (Chlebný, 2009).

Zavlažování je díky tomu efektivnější, a navíc se snižuje množství ruční práce. To ocení nejen běžní pěstitelé, ale i školy nebo instituce, které chtějí ukázat principy řízení a elektroniky v praxi. Automatický zavlažovací systém je totiž dobrým příkladem využití jednoduché automatizace a může sloužit jako výukový nebo demonstrační projekt.

## 1.7 Algoritmus řízení závlahy

Navržený zavlažovací systém využívá pokročilejší algoritmus řízení, který při rozhodování o zavlažování zohledňuje nejen aktuální stav půdy, ale i okolní podmínky a typ pěstované rostliny. Cílem je dosáhnout co nejefektivnějšího zavlažování při co nejnižší spotřebě vody a elektrické energie.

Algoritmus pracuje s následujícími vstupními daty:

- vlhkost půdy (měřená senzorem HD-38)
- okolní teplota a relativní vlhkost vzduchu (měřené senzorem DHT11)
- zvolený typ rostliny, který určuje doporučený rozsah půdní vlhkosti

Každý typ rostliny má v systému definovány dvě prahové hodnoty:

- dolní mez vlhkosti, při jejímž překročení směrem dolů může být spuštěna závlaha
- horní mez vlhkosti, která vymezuje maximální doporučenou hodnotu, kterou by půda neměla překročit

Zavlažování se spustí pouze tehdy, pokud je aktuální vlhkost půdy nižší než dolní mez. Délka samotného zavlažování se automaticky upravuje podle okolních podmínek. Například:

- při vyšší teplotě může být závlaha intenzivnější nebo prodloužená, protože půda vysychá rychleji
- při vyšší vlhkosti vzduchu se může doba zalévání naopak zkrátit, protože odpar vody je pomalejší

Tímto způsobem systém reaguje na aktuální potřeby rostlin citlivěji než běžné jednoprahové řízení. Zároveň napomáhá šetřit vodu i energii tím, že zalévá jen tehdy, kdy je to skutečně nutné, a pouze v nezbytném rozsahu.

## 1.8 Arduino Uno

Pro řízení automatického zavlažovacího systému je potřeba nějaký prvek, který bude sbírat data ze senzorů, vyhodnocovat je a na základě toho spínat nebo vypínat závlahu. K tomu se nejčastěji používá tzv. mikrokontrolér – malý počítač, který je schopný vykonávat jednoduché úlohy. V této práci je jako řídicí jednotka použit mikrokontrolér Arduino Uno (Chlebný, 2009).

Arduino Uno je jednoduchá vývojová deska založená na mikrokontroléru ATmega328P. Obsahuje digitální a analogové vstupy a výstupy, které slouží ke čtení dat ze senzorů nebo ovládání zařízení, jako jsou relé nebo displeje. Programování probíhá v jazyce C/C++ v prostředí Arduino IDE, které je zdarma a snadno se používá i pro začátečníky.

Hlavní výhodou Arduina je jeho jednoduchost, nízká cena a široká komunita. Existuje velké množství návodů, příkladů kódů a doplňkových modulů, které se dají jednoduše připojit. Mezi nejčastěji používané moduly patří senzory vlhkosti, teploty, LCD displeje nebo Wi-Fi moduly. To všechno dělá z Arduina ideální platformu pro jednoduché automatizační systémy.

V této práci Arduino zajišťuje sběr dat ze senzoru půdní vlhkosti a senzoru teploty a vlhkosti vzduchu. Dále podle zvoleného typu rostliny rozhoduje, zda má být otevřen ventil a spuštěno zalévání. Výsledky měření i stav systému jsou zobrazovány na LCD displeji, a uživatel může pomocí tlačítek měnit typ rostliny. Arduino tedy plní hlavní roli ve funkci celého zařízení a umožňuje jeho snadné přizpůsobení různým podmínkám.



## 1.9 Použité senzory a komponenty

Automatický zavlažovací systém se skládá z několika základních součástí, které spolu komunikují a zajišťují jeho funkčnost. Patří sem senzory, ovládací prvky, zobrazovací jednotka a výstupní zařízení, která ovládají tok vody. V této kapitole budou jednotlivé komponenty stručně popsány, včetně jejich funkce v systému a principu, na kterém pracují.

### 1.9.1 Senzor půdní vlhkosti (HD-38)

Senzor HD-38 (Obrázek 6) slouží k měření vlhkosti půdy a v tomto projektu tvoří hlavní prvek pro rozhodování, zda má být rostlina zalita. Jedná se o odporový senzor, který funguje tak, že měří elektrický odpor mezi dvěma kovovými elektrodami. Čím více vody je v půdě, tím menší odpor má – a naopak, čím je půda sušší, tím větší odpor klade. Tento údaj je následně převeden do číselné hodnoty, kterou zpracovává mikrokontrolér (Chlebný, 2009).

Výhodou senzoru HD-38 je jeho vysoká odolnost vůči vlhkosti, díky čemuž je možné jej používat nejen v květináčích, ale i v přírodních podmínkách – například ve sklenících nebo venkovních záhonech. Jeho konstrukce je jednoduchá, a přesto dostatečně pevná, takže dobře odolává běžnému namáhání při zasouvání do půdy a opakovaném měření.



Obrázek 6 Senzor půdní vlhkosti – HD-38 (LASKAKIT, 2025)

### 1.9.2 Senzor teploty a vlhkosti vzduchu (DHT11)

Senzor DHT11 se v tomto projektu používá pro měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu v okolí pěstovaných rostlin. I když tyto hodnoty nejsou přímo využívány k řízení závlahy, slouží jako doplněk pro uživatele, který tak má přehled o aktuálních klimatických podmínkách. Získaná data se zobrazují na LCD displeji spolu s dalšími informacemi ze systému.

Výhodou senzoru DHT11 je jeho jednoduché připojení k Arduino – ke komunikaci využívá pouze jeden datový pin, a k jeho zprovoznění je dostupná jednoduchá knihovna. DHT11 je také

cenově dostupný a má velmi nízkou spotřebu energie, což je praktické pro systémy napájené baterií.

### 1.9.3 Elektromagnetický ventil

Elektromagnetický ventil (Obrázek 7) je součástka, která umožňuje automaticky spouštět nebo zastavovat průtok vody. V tomto systému jsou použity dva plastové ventily, každý pro samostatné zavlažování jednoho květináče. Ventil je v klidovém stavu zavřený a otevře se pouze tehdy, když dostane signál z Arduina přes relé.

Ventil pracuje s napájecím napětím 12 V, které je dodáváno z externí baterie. Tento typ ventilu se běžně používá v zavlažovacích systémech, protože umožňuje jednoduché řízení bez nutnosti manuálního otevírání a zavírání. V systému je ventil zapojen tak, aby zalévání probíhalo jen v přesně určenou chvíli, kdy vlhkost půdy klesne pod nastavenou hodnotu.



*Obrázek 7 Elektromagnetický ventil (GM electronic, 2025)*

### 1.9.4 Reléový čtyřkanálový modul optočlenem

Relé je elektronická součástka, která umožňuje spínat zařízení s vyšším napětím pomocí nízkého signálu, například z Arduina. V tomto systému slouží k ovládání elektromagnetických ventilů, které vyžadují napětí 12 V. Arduino tak relé pouze řídí, ale samotný proud do ventilů prochází přes reléový modul.

Použitý reléový modul je čtyřkanálový 12V modul s optočlenem, který umožňuje bezpečné oddělení řídicí části (Arduino) od spínané výkonové části (ventily). Každý kanál modulu ovládá

jeden elektromagnetický ventil – tedy jeden květináč. Modul je napájen z 12V baterie a ovládací vstupy IN1 a IN2 jsou připojeny na digitální piny D7 a D8 mikrokontroléru Arduino Uno.

Reléový modul je osazen tranzistory, ochrannými diodami a LED indikací stavu sepnutí, což zvyšuje jeho spolehlivost při provozu v praktickém zapojení.

### **1.9.5 LDC displej**

LCD displej slouží k zobrazování informací o aktuálním stavu zavlažovacího systému. V tomto projektu je použit displej s rozlišením 20x4 znaků a I2C převodníkem, který zjednodušuje připojení k Arduino. Místo několika pinů stačí pro komunikaci pouze dva – SDA a SCL.

Použití displeje zvyšuje uživatelský komfort a umožňuje jednodušší nastavení bez potřeby připojení k počítači nebo jiné externí technice. V kombinaci s ovládacími tlačítky tvoří LCD základ jednoduchého uživatelského rozhraní celého systému.

### **1.9.6 Vodotěsný hlavní vypínač**

Pro bezpečné a pohodlné zapínání a vypínání celého zavlažovacího systému je použit vodotěsný kolébkový vypínač typu KCD1-5-101NW. Jedná se o jednopólový jednopolohový (SPST) vypínač, který při sepnutí propojí vstupní napětí z 12 V akumulátoru s napájením zbytku obvodu.

Vypínač je zapojen přímo mezi kladný pól akumulátoru a vstup na desce Arduino Uno, čímž ovládá napájení celého zařízení. Díky vodotěsnému provedení je vhodný i pro použití ve vlhkém prostředí, což je důležité pro zajištění spolehlivosti při provozu v blízkosti rostlin a vody.

## **1.10 Úspora elektrické energie v zavlažovacím systému**

Při návrhu automatického zavlažovacího systému byl kladen důraz také na co nejnižší spotřebu elektrické energie. Tento požadavek vychází z předpokladu, že zařízení může být napájeno z baterie, například v místech bez přímého přístupu k elektrické síti, nebo z důvodu zvýšení energetické efektivity.

Jedním z kroků ke snížení spotřeby bylo použití mikrokontroléru Arduino Uno, který má nízký vlastní odběr a zároveň umožňuje řídit napájení dalších prvků systému pouze v okamžiku, kdy je to skutečně potřeba. Měření vlhkosti půdy a klimatických podmínek neprobíhá neustále, ale pouze v pravidelných intervalech, což výrazně omezuje dobu, po kterou je systém aktivní.

Dalším prvkem s ohledem na úsporu energie je použití mechanického spínacího relé místo trvale napájených elektronických spínačů. Relé zůstává v klidovém stavu bez spotřeby energie a proud začne odebírat až při aktivaci zalévání, což představuje jen krátkodobý odběr.

Pro další snížení spotřeby byly v softwaru zavedeny úsporné režimy jak pro mikrokontrolér, tak pro zobrazovací jednotku. LCD displej se automaticky zhasne po určité době nečinnosti, čímž se snižuje jeho energetický odběr. Mikrokontrolér Arduino Uno je rovněž nastaven tak, aby přecházel do spánkového režimu, pokud není aktivní měření nebo řízení závlahy. Tím se významně omezuje spotřeba energie v době, kdy systém neprovádí žádnou činnost.

Kromě toho je celý systém vybaven hlavním vypínačem, kterým lze zařízení kdykoliv úplně odpojit od napájení. To se hodí například v době, kdy není systém využíván – uživatel tak má možnost šetřit baterii a zároveň mít zařízení pod plnou kontrolou.

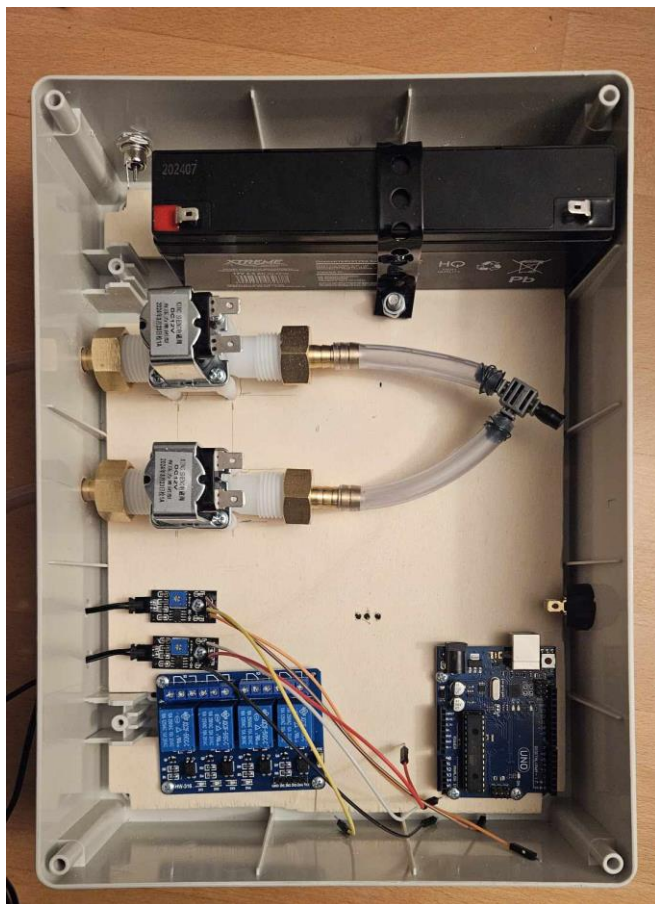
## 2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 2.1 Návrh hardwarového řešení

#### 2.1.1 Konstrukce zařízení

Zavlažovací systém byl navržen tak, aby odolával běžným vlivům venkovního prostředí a mohl být provozován v místech, kde může docházet k výkyvům teploty, zvýšené vlhkosti, prachu nebo občasnému kontaktu s vodou. Celé zařízení je proto osazeno do pevné plastové skříně o rozměrech  $330 \times 220 \times 120$  mm. Skříň má stupeň krytí IP56, což zajišťuje ochranu proti prachu a silnějšímu stříkajícímu proudu vody.

Uvnitř skříně je umístěna vlastnoručně vyrobená dřevěná podložka, na kterou jsou pomocí šroubů upevněny všechny vnitřní komponenty – mikrokontrolér Arduino Uno, reléový modul, senzory, elektromagnetické ventily a akumulátor. Tento způsob montáže umožňuje snadnou údržbu a zároveň zajišťuje stabilní uchycení všech prvků.



Obrázek 8 Rozmístění hardweru konstrukce

Displej a tlačítka jsou umístěny na horním víku skříně, které bylo upraveno výřezem a doplněno čirým plexisklem. Mezi plexisklem a plastem je vložena gumová těsnicí podložka, která zabráňuje vniknutí vody dovnitř skříně. Tlačítka jsou voděodolná, stejně jako hlavní vypínač, který je připevněn z pravé strany skříně a umožňuje úplné odpojení systému od napájení. Na zadní straně je umístěn nabíjecí konektor, který je rovněž chráněn gumovým krytem proti vodě a vlhkosti.

Zásobník na vodu o objemu 2 litry je pevně uchycen na horní straně víka zařízení pomocí oboustranné montážní pásky Ceys MONTACK (šířka 19 mm), která zajišťuje mechanické uchycení i základní těsnicí funkci. Páska je nalepena po celém obvodu mezi nádobou a víkem. Otvory pro hadičky, tlačítka a kabely jsou dodatečně utěsněny silikonem, čímž se minimalizuje riziko vniknutí vlhkosti do skříně. Tento způsob uchycení umožňuje stabilní fixaci zásobníku a zároveň zachovává stupeň krytí celé konstrukce.



*Obrázek 9 Horní část konstrukce*

V dolní části zásobníku je instalován cyklistický ventil, původně určený pro nafukování duší jízdních kol. Ventil je mechanicky prošroubován skrz stěnu nádoby a víko skříně, kde bylo přidáno gumové těsnění, čímž vzniká pevné a utěsněné propojení mezi zásobníkem a vnitřním rozvodem. Z vnitřní strany je k ventilu připojena plastová hadička, která vede vodu do rozdvojky a dále do dvou větví s elektromagnetickými ventily.

Použité hadičky mají vnitřní průměr 8 mm a vnější průměr 10 mm. Voda z nich proudí ke květináčům pomocí gravitačního přítoku – zásobník je umístěn výše než výtokové konce hadiček, čímž se zajišťuje dostatečný průtok bez použití čerpadla.

Z bočních stran zařízení vedou dvě samostatné hadičky, každá napojená na vlastní ventil. V každém květináči je umístěn vlastní senzor půdní vlhkosti, což umožňuje nezávislé sledování obou větví. Délka hadiček je přibližně 1,5 metru.



*Obrázek 10 Boční strana konstrukce*

Při zkušebním měření byl průtok vody jednou větví přibližně 25 ml za minutu. Tento údaj byl ověřen při naplnění zásobníku na 2 litry, 1 litr a 300 ml vody a bylo potvrzeno, že výška hladiny

v tomto rozsahu nemá vliv na funkci systému. Tento objem vody se používá jako výchozí dávka, od které se dále adaptivně odvozuje doba zavlažování.

Zařízení stojí na čtyřech plastových nožkách, které zajišťují stabilitu a zvedají spodní část nad povrch. To umožnilo umístit senzor teploty a vlhkosti DHT11 na spodní stranu skříně, kde je chráněn plastovým krytem. Kryt zabraňuje přímému kontaktu s vodou, ale zároveň umožňuje proudění vzduchu, což je důležité pro přesnost měření.

Celková konstrukce zařízení byla navržena tak, aby kombinovala odolnost vůči vlivům prostředí, snadnou údržbu a funkčnost v reálném provozu.

### **2.1.2 Napájení a energetické řízení**

Napájení celého systému zajišťuje 12 V akumulátor, který je uložen uvnitř hlavní skříně na dřevěné základně. Tento akumulátor je schopen dodat dostatečný proud pro napájení všech komponent, zejména elektromagnetických ventilů, které mají nejvyšší odběr. Napětí 12 V je zároveň použito jako hlavní napájecí větev pro ventily a relé.

Pro ostatní komponenty, jako je mikrokontrolér Arduino Uno a LCD displej, které pracují s napětím 5 V, je použito integrované napěťové snižovací řešení na samotné desce Arduina. Tím se zjednodušuje konstrukce a snižuje potřeba externích měničů.

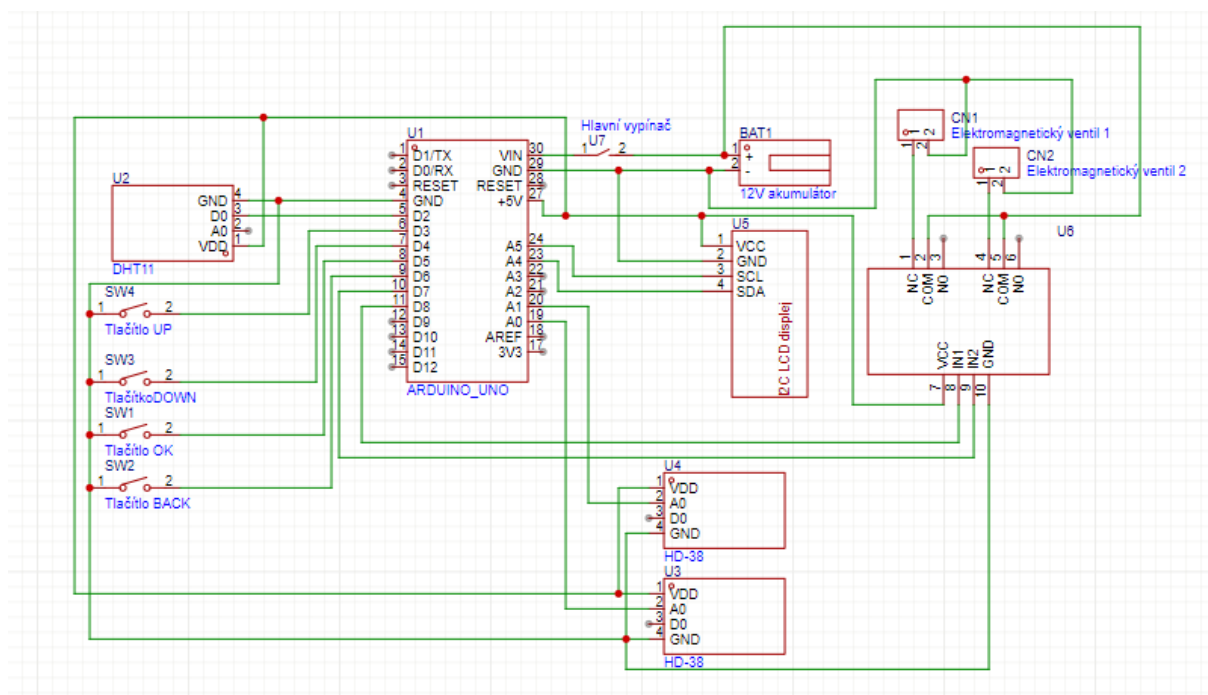
K napájení ventilů je použit reléový modul, který je ovládán Arduinem. Relé fungují jako spínací prvek – při nízkém signálu z Arduina se sepne příslušné relé a do příslušného elektromagnetického ventilu je přivedeno 12 V. Jakmile je závlaha ukončena, relé se rozepte a ventil je odpojen. Tento způsob řízení minimalizuje spotřebu energie, protože ventily jsou napájeny pouze po dobu, kdy je skutečně potřeba zalévat.

Kromě toho systém obsahuje hlavní vypínač, který odpojí akumulátor od celé elektroniky, a zadní nabíjecí konektor s gumovým těsněním. Při plném nabití je zařízení schopno fungovat několik dní bez nutnosti dobíjení, v závislosti na frekvenci závlahy a zvolených režimech.



### 2.1.3 Schéma elektrického zapojení

Schéma (Obrázek 11) zachycuje propojení mikrokontroléru s jednotlivými částmi zavlažovacího systému.



Obrázek 11 Schéma zapojení

## 2.2 Popis programové logiky a algoritmu

Řídicí program systému běží na platformě Arduino Uno a je napsán v jazyce C++ s využitím prostředí Arduino IDE. Jeho hlavním úkolem je sběr dat ze senzorů, vyhodnocení aktuálních podmínek a řízení jednotlivých větví zavlažování podle zvoleného typu rostliny.

Každý květináč je vybaven vlastním senzorem půdní vlhkosti a má přiřazený elektromagnetický ventil. Program v pravidelných intervalech měří aktuální hodnotu vlhkosti půdy v každém květináči, zároveň získává informace o teplotě a vlhkosti okolního vzduchu ze senzoru DHT11. Na základě těchto dat program rozhoduje, zda má být závlaha spuštěna, případně jak dlouho má trvat.

Uživatel může pomocí tlačítek a displeje zvolit typ rostliny pro každý květináč zvlášť. Každý režim je v programu reprezentován dvojicí prahových hodnot vlhkosti – dolní mez a horní mez. Pokud vlhkost půdy klesne pod dolní mez, může být zalévání aktivováno. Závlaha však nebude spuštěna, pokud je vlhkost půdy již vyšší než dolní mez, což zabraňuje přelití.

Délka závlahy se přizpůsobuje podle okolních podmínek. Algoritmus zohledňuje vliv teploty a vlhkosti vzduchu, čímž se upravuje odhad potřebné dávky vody. Po každé závlaze program sleduje nárůst vlhkosti v čase a podle toho upravuje budoucí dávku – tento mechanismus umožňuje systému „učit se“, jak půda a rostlina reagují, a přizpůsobovat zavlažování aktuálnímu chování.

Celý program je navržen jako stavový automat, který přechází mezi jednotlivými fázemi: čekání, měření, rozhodování, zavlažování, hodnocení. Díky tomu je možné udržet přehlednou strukturu kódu a reagovat na různé situace bez zbytečného plýtvání energií nebo vody.

### 2.2.1 Výpočet účinnosti a nastavení cíle

Po každé provedené závlaze systém vyhodnocuje, jak výrazně se změnila vlhkost půdy. Tato změna, označovaná jako nárůst vlhkosti, je jedním z hlavních ukazatelů toho, jak byla závlaha účinná. Získává se porovnáním hodnoty vlhkosti před a po zavlažení. Čím větší je nárůst, tím více vody půda zadržela.

Aby bylo možné závlahu vyhodnotit objektivně, je stanovena tzv. cílová účinnost. Ta představuje ideální nárůst vlhkosti, kterého by měla závlaha dosáhnout. V tomto systému je cílová účinnost nastavena na 60 % rozdílu mezi horní a dolní mezí půdní vlhkosti.

Cílová účinnost slouží jako referenční hodnota – tedy „jak velký nárůst vlhkosti bychom ideálně chtěli vidět po jedné závlaze“. Pokud se po závlaze podaří dosáhnout této hodnoty, znamená to, že dávka vody byla přiměřená.

Hodnota 60 % byla zvolena záměrně jako kompromis mezi efektivitou a bezpečností. Nevede k přelití půdy, ale zároveň zajistí, že se vlhkost výrazně zvýší a rostlina bude mít dostatek vody i pro další hodiny. Zároveň ponechává prostor pro další reakce systému, pokud se podmínky změní.

Porovnáním skutečného nárůstu s cílovou účinností vzniká zpětná vazba:

- pokud je dosažený nárůst menší než 50 % cílové hodnoty, systém vyhodnotí dávku jako příliš malou a při dalším cyklu ji zvětší,
- pokud je nárůst větší než 120 % cílové hodnoty nebo dojde k přelití (vlhkost překročí horní mez), dávka se zmenší,
- pokud je výsledek v přijatelném rozsahu, dávka zůstává stejná.

Tento způsob řízení umožňuje systému, aby se postupně přizpůsoboval daným podmínkám – typu půdy, náročnosti rostliny i okolnímu klimatu – a dosahoval optimální rovnováhy mezi účinností závlahy a šetrným hospodařením s vodou.

### **2.2.2 Výpočet další dávky podle výsledku**

Zavlažovací algoritmus v tomto systému je navržen tak, aby byl co nejvíce soběstačný a reagoval na aktuální podmínky v půdě i okolí. Jedním z jeho hlavních rysů je schopnost postupně přizpůsobovat dávku vody tak, aby odpovídala reálným potřebám rostliny. Tato schopnost je založena na principu vyhodnocení účinnosti předchozí závlahy.

Po každém zavlažovacím cyklu systém zaznamená, o kolik se zvýšila vlhkost půdy oproti hodnotě před zavlažením. Tento nárůst se dále vztahuje k délce trvání předchozí dávky, čímž vzniká tzv. účinnost závlahy – tedy informace o tom, kolik vlhkosti se podařilo dodat za jednu sekundu otevřeného ventilu. Právě tato účinnost je pak klíčem k rozhodnutí, jak bude vypadat další závlaha.

Aby měl systém jasnou představu, co považuje za „ideální“ výsledek závlahy, je stanovena cílová účinnost. Ta odpovídá 60 % rozdílu mezi dolní a horní mezí vlhkosti definovanou pro daný režim rostliny. Horní mez v tomto systému neslouží k okamžitému vypnutí závlahy, ale

je brána jako orientační limit pro bezpečné množství vody. Cílový nárůst vlhkosti pak představuje rovnováhu mezi efektivitou a bezpečností – půda by měla být dostatečně zavlažena, ale stále s rezervou, aby nedošlo k přelití nebo neefektivnímu plýtvání.

Po porovnání dosažené a cílové účinnosti systém vypočítá rozdíl, který je následně převeden na změnu v délce další dávky. Tento přepočít je citlivě odstupňovaný – čím větší rozdíl, tím větší změna, ale zároveň jsou změny omezeny, aby byl chod systému stabilní a plynulý. Maximální změna dávky je omezena na  $\pm 250\,000$  milisekund, což představuje rozumný kompromis mezi rychlostí přizpůsobení a ochranou proti nestabilitě. Délka samotné dávky je dále omezena v rozmezí od 500 ms do 600 000 ms (tedy od půl sekundy do 10 minut), což odpovídá běžnému rozsahu potřeb většiny rostlin.

Výhodou tohoto systému je, že nepotřebuje žádné ruční zásahy ani předem definované profily pro konkrétní rostliny nebo půdy. Díky tomu, že pracuje se zpětnou vazbou, dokáže se „naučit“, jak půda reaguje na vodu, a podle toho přizpůsobit chování. Při použití v různých podmínkách – ať už se jedná o lehkou písčitou půdu nebo těžší zeminu – si systém samostatně najde rovnováhu. Stejně tak se přizpůsobí, pokud dojde ke změně rostliny nebo okolního klimatu.

Tento způsob řízení závlahy zajišťuje nejen vyšší přesnost, ale i větší efektivitu celého systému. Zavlažování není prováděno zbytečně často, nedochází k přelití ani k podlévání, a zároveň je minimalizována spotřeba vody i energie. V praxi se tak ukazuje, že algoritmus je dostatečně chytrý a přizpůsobivý pro dlouhodobý provoz bez nutnosti lidského dohledu.

### **2.2.3 Koeficient prostředí a výpočet intervalu**

Kromě vyhodnocování samotné vlhkosti půdy zavádí systém také řízení frekvence měření podle aktuálních klimatických podmínek. Cílem je omezit zbytečné měření v situacích, kdy se půda odpařuje pomalu (například při nižší teplotě a vyšší vzdušné vlhkosti), a naopak měřit častěji, pokud je pravděpodobné, že půda bude vysychat rychleji.

K tomuto účelu systém počítá koeficient prostředí, který vychází ze dvou hodnot:

- okolní teploty (v °C),
- relativní vlhkosti vzduchu (v %).

Obecně platí, že:

- vyšší teplota způsobuje rychlejší odpařování vody z půdy,

- nižší vzdušná vlhkost zvyšuje schopnost vzduchu absorbovat vodní páru, tedy opět zvyšuje odpar.

Na základě těchto dvou veličin je určen koeficient, který upravuje základní časový interval měření. Tento interval je za normálních podmínek pevně daný (například 4 hodiny), ale může se zkrátit nebo prodloužit podle aktuálního koeficientu.

Pokud je například vysoká teplota a současně nízká vlhkost vzduchu, koeficient dosáhne vyšší hodnoty, což povede ke zkrácení intervalu měření – systém tak bude reagovat častěji. Naopak při chladném a vlhkém počasí bude koeficient nižší a interval se prodlouží.

Tento přístup umožňuje systému dynamicky reagovat na podmínky prostředí, aniž by bylo nutné zavlažování řídit přímo podle teploty nebo vzdušné vlhkosti. Tyto údaje tak plní roli regulačního faktoru, který ovlivňuje rytmus zavlažování a přispívá k energetické i vodní úspoře.

Koeficient prostředí je omezen do pevného rozsahu, aby nedošlo k příliš častému měření (což by zvyšovalo spotřebu energie), ani k jeho přílišnému zpoždění. Typické hodnoty se pohybují mezi 0,5 a 1,5 násobkem základního intervalu.

## 2.3 Uživatelské ovládání systému

Uživatelské rozhraní zavlažovacího systému bylo navrženo tak, aby jej bylo možné ovládat intuitivně a bez potřeby složité konfigurace. Veškeré interakce se zařízením probíhají prostřednictvím čtyř tlačítek a LCD displeje s rozlišením 20×4 znaků, který slouží k navigaci v menu, zobrazení aktuálních hodnot a výběru nastavení.

Po zapnutí zařízení se na displeji automaticky zobrazí úvodní obrazovka, kde jsou uvedeny aktuálně naměřené hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu získané ze senzoru DHT11. Tyto hodnoty slouží jako základní orientace o aktuálních klimatických podmínkách, které zároveň ovlivňují četnost měření půdní vlhkosti pomocí korekčního koeficientu.

Po úvodní obrazovce je uživateli nabídnuto hlavní menu, kde může zvolit konkrétní květináč, pro který chce provést zobrazení nebo úpravu nastavení. Na displeji se zobrazí dvě hlavní volby: „Květináč 1“ a „Květináč 2“. Po výběru konkrétního květináče se otevře přehledová obrazovka s několika informačními řádky. V horní části je zobrazen údaj o aktuálně zvoleném typu rostliny (číselný režim 1–5), který určuje požadovanou úroveň půdní vlhkosti. Pod tímto údajem je uvedeno, že typ lze změnit v nabídce. Dále je zde poznámka o dostupnosti historie měření pro daný květináč.

Po potvrzení výběru má uživatel možnost zvolit, jaký typ historických dat si přeje zobrazit. Systém nabízí tři kategorie: historie vlhkosti půdy, historie teploty a historie relativní vlhkosti vzduchu. Po výběru jedné z těchto možností se na displeji zobrazí posledních šest hodnot zaznamenaných během měřicích cyklů. Data jsou uchovávána odděleně pro každý květináč a pravidelně aktualizována. Tento přehled umožňuje uživateli sledovat vývoj podmínek v čase bez nutnosti připojení k externímu zařízení.

Ovládání systému zajišťují čtyři tlačítka rozmístěná ergonomicky po obvodu horní části zařízení:

- **UP** (vlevo nahoře) – pohyb nahoru v menu,
- **DOWN** (vpravo nahoře) – pohyb dolů v menu,
- **OK** (vpravo dole) – potvrzení výběru nebo vstup do podnabídky,
- **BACK** (vlevo dole) – návrat o úroveň zpět.

Tlačítka jsou mechanická, voděodolná a rozložena tak, aby odpovídala běžným zvyklostem pro jednoduché ovládání bez nutnosti sledovat jejich popis. Logika ovládání byla navržena tak, aby zařízení mohl bez problémů ovládat i technicky nezkušený uživatel pouze s pomocí přiloženého tištěného návodu.

Displej je navíc vybaven funkcí automatického vypnutí podsvícení, která se aktivuje po 10 sekundách nečinnosti. Tímto způsobem dochází k výrazné úspoře energie, zejména při provozu zařízení na baterii. Jakmile uživatel stiskne libovolné tlačítko, displej se okamžitě rozsvítí a systém pokračuje v poslední aktivní nabídce.

Celkově je ovládání systému navrženo s důrazem na přehlednost, spolehlivost a minimalizaci potřeby zásahů uživatele. Všechny běžné funkce – volba typu rostliny, zobrazení aktuálních hodnot, sledování historie i zpětný návrat – jsou dostupné z několika málo úrovní menu. To přispívá k vysokému uživatelskému komfortu a efektivnímu provozu bez nutnosti opakované konfigurace.

## 2.4 Implementace řízení v Arduino IDE

Program pro zavlažovací systém byl vytvořen v prostředí Arduino IDE a je napsán v jazyce C++. Kód je strukturován do několika částí, které odpovídají hlavním funkcím systému – měření senzorů, řízení závlahy, práce s displejem, obsluha menu a ukládání historie.

Po spuštění programu se inicializují všechny potřebné prvky – komunikace s LCD displejem, relé a senzory. Následuje hlavní smyčka programu, která pracuje na principu stavového řízení a pravidelně kontroluje, zda uplynul časový interval pro nové měření. Pokud ano, spustí se měřicí a rozhodovací sekvence.

Program je navržen tak, aby většinu času pouze čekal a prováděl měření, zavlažování a výpočty pouze ve chvíli, kdy uplyne nastavený interval. Díky tomu nejsou senzory a výstupní prvky aktivní neustále, což snižuje celkovou spotřebu energie.

### 2.4.1 Algoritmus adaptivní dávky a reakce na vlhkost

Výpočet adaptivní závlahové dávky je jedním z klíčových prvků celého programu. Cílem je, aby se systém automaticky přizpůsoboval konkrétnímu typu půdy a potřebám rostliny tak, aby docházelo k efektivnímu a šetrnému zavlažování.

Po každé závlaze systém změří, jak se změnila vlhkost půdy – tedy rozdíl mezi hodnotou před a po závlaze. Tento nárůst se následně přepočítá na tzv. účinnost, která udává, jak moc vlhkost vzrostla na jednu sekundu otevření ventilu. Tato skutečná účinnost se porovnává s cílovou hodnotou, která odpovídá 60 % rozdílu mezi dolní a horní mezí vlhkosti pro daný režim rostliny. Cílem je, aby po zavlažení došlo ke zvýšení vlhkosti o přibližně tuto hodnotu.

Rozdíl mezi skutečnou a cílovou účinností je následně převeden na konkrétní časovou úpravu délky závlahy. Čím větší je rozdíl, tím výraznější je změna. Tato změna je plynulá a je omezena maximálně na  $\pm 250\,000$  ms v jednom cyklu, aby nedocházelo k příliš prudkým výkyvům. Výsledná dávka je navíc omezena v rozsahu od 0,5 sekundy do 10 minut.

Níže uvedený fragment kódu ukazuje způsob úpravy dávky na základě aktuálně vypočteného rozdílu:



```
float rozdil = cilova - ucinnost;
long deltaD = rozdil * k;
deltaD = constrain(deltaD, -250000, 250000); // max změna ±60 s

davka[kvetinac] += deltaD;
davka[kvetinac] = constrain(davka[kvetinac], 500, 600000); // min 0.5 s, max 10 min
```

Obrázek 12 Program - výpočet dávky

Tímto způsobem se systém postupně přizpůsobuje konkrétní kombinaci rostliny, půdy a prostředí. Pokud půda zadržuje méně vody, dávka se automaticky zvětší. Pokud dojde k přelítí nebo k příliš silnému nárůstu, dávka se sníží. Tato logika zajišťuje stabilní chování bez potřeby ručního nastavování délky závlahy.

### 2.4.2 Řízení intervalu měření podle prostředí

Kromě samotné úpravy délky závlahy je v programu implementována i funkce, která dynamicky mění časový interval mezi jednotlivými měřeními podle aktuálních klimatických podmínek. Tato funkce vychází ze skutečnosti, že půda ztrácí vodu různě rychle v závislosti na teplotě a vlhkosti vzduchu. Čím je sušší a teplejší prostředí, tím častěji by mělo docházet ke kontrole stavu půdy.

Pro tento účel je v programu definován výpočet koeficientu prostředí, který upravuje základní interval. Koeficient je spočten podle aktuálně naměřené teploty a relativní vlhkosti vzduchu a následně použit k přepočtu doby čekání do dalšího měření.

Níže je ukázka této části kódu:

```
float koef = (1 + (teplota - 25) * 0.03) * (1 + (50 - vlhkostVzduchu) * 0.02);
koef = constrain(koef, 0.5, 1.5);
interval = zakladniInterval / koef;
```

Obrázek 13 Program - Výpočet intervalu kontroly

Tento úsek zajišťuje, že pokud je například vysoká teplota a zároveň nízká vlhkost vzduchu, interval se výrazně zkrátí – systém bude reagovat dříve. Pokud jsou podmínky stabilní a půda vysychá pomalu, měření se provádí méně často, čímž se šetří energie.

Celý výpočet probíhá po každém cyklu zavlažování a aktualizuje hodnotu interval, která určuje, kdy proběhne další měření. Tím je zajištěno, že systém reaguje nejen na půdu, ale i na aktuální počasí.

### 2.4.3 Ukládání historie měření a její zobrazení

V rámci programu je implementováno uchovávání posledních naměřených hodnot pro každý květináč zvlášť. Systém uchovává posledních šest měření pro každou sledovanou veličinu – vlhkost půdy, teplotu vzduchu a relativní vlhkost vzduchu.

Pro ukládání jsou využity pole, do kterých se při každém cyklu měření vloží nová hodnota. Starší hodnoty jsou postupně posouvány, aby byla zachována pevná velikost historie. Tento postup zajišťuje, že nedochází k nekontrolovanému růstu spotřeby paměti.

Zápis do historie probíhá přibližně takto:

```
for (int i = 5; i > 0; i--) {  
    historieVlhkost1[i] = historieVlhkost1[i - 1];  
}  
historieVlhkost1[0] = aktualniVlhkost;
```

*Obrázek 14 Program - Zápis do historie*

Uživatel má možnost si v menu zvolit, kterou veličinu chce v historii zobrazit. Po výběru květináče a typu historie se na displeji zobrazí dvě řádky, na nichž jsou vypsány poslední hodnoty. Zobrazení je rozděleno do dvou řádků po třech hodnotách, přičemž nejnovější je vlevo a nejstarší vpravo.

Tento způsob prezentace dat poskytuje rychlý přehled o vývoji hodnot v čase, aniž by uživatel potřeboval externí zařízení nebo datalogger. Pomáhá to například při ladění systému nebo při dlouhodobém sledování chování rostlin.

### 2.4.4 Výběr režimu podle typu rostliny

Každý květináč v systému je možné individuálně nastavit podle nároků rostliny na půdní vlhkost. Místo složitého zadávání konkrétních hodnot si uživatel jednoduše zvolí číselný režim od 1 do 5, přičemž každé číslo odpovídá určité skupině rostlin s podobnými nároky. Konkrétní přiřazení je uvedeno v tištěném seznamu přiloženém k zařízení (Příloha B).

Při změně režimu dochází k resetování výchozích podmínek dané větve – mimo jiné se uloží aktuální vlhkost půdy, která se používá pro porovnání při následujícím zalévání. To zajišťuje, že adaptivní algoritmus začne fungovat na nové hodnoty od začátku a nevychází ze starých dat, která by již neodpovídala novým prahům.

Výběr režimu je v kódu zpracován jednoduše pomocí přímého přiřazení hodnot mezí podle volby:

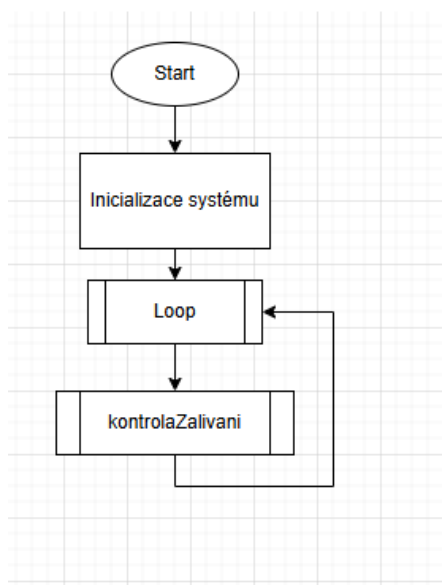
```
switch (zvolenyRezim) {  
  case 1:  
    minVlhkost = 300;  
    maxVlhkost = 500;  
    break;  
  case 2:  
    minVlhkost = 400;  
    maxVlhkost = 600;  
    break;  
  // další případy...  
}
```

Obrázek 15 Program - Volba typu rostliny

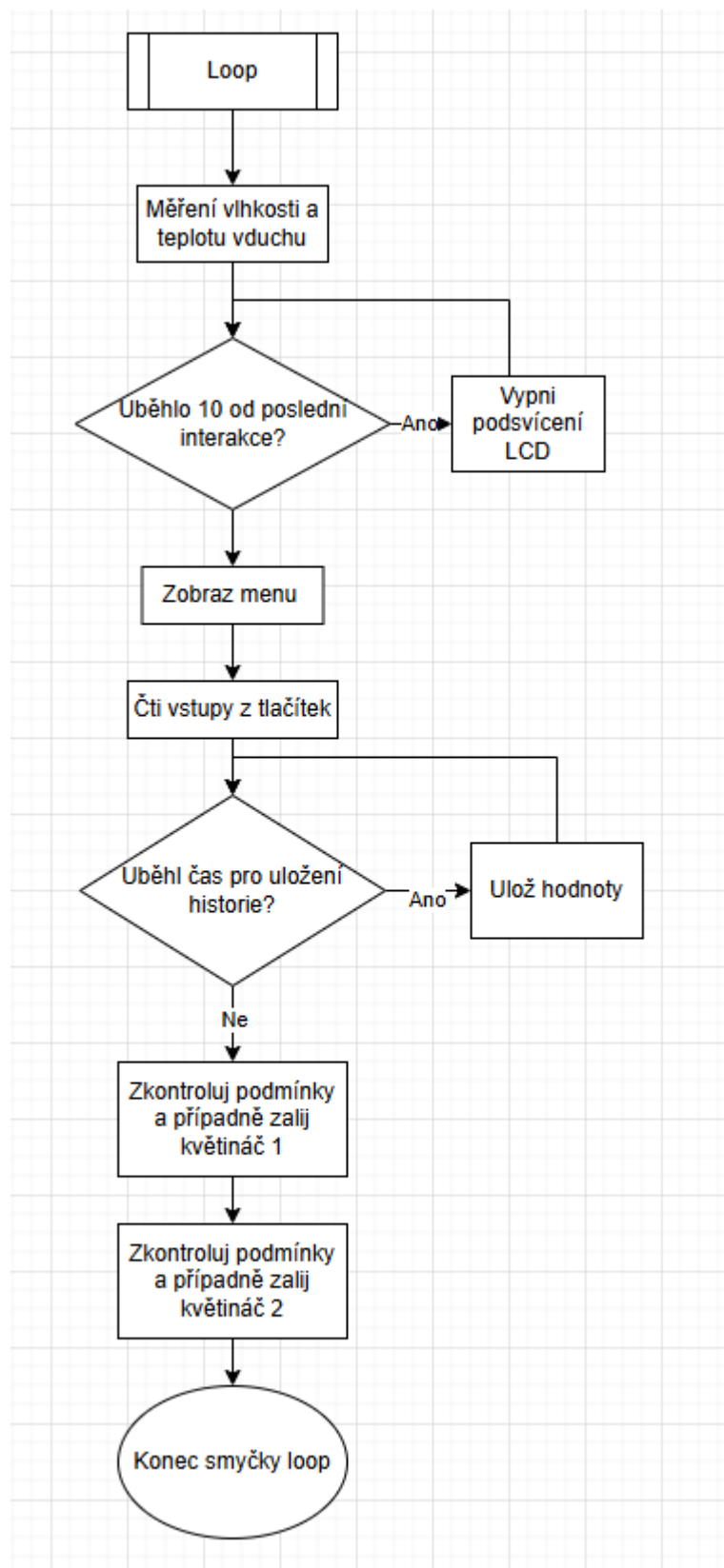
### 2.4.5 Vývojový diagram programu

Program čte vstupy ze senzorů, zobrazuje informace na LCD, čeká na vstupy z tlačítek a v definovaných intervalech rozhoduje, zda má být proveden nový cyklus měření a případně závlaha. V případě, že klesne vlhkost pod stanovenou mez, systém zalije květináč a na základě nárůstu vlhkosti upraví další dávku vody.

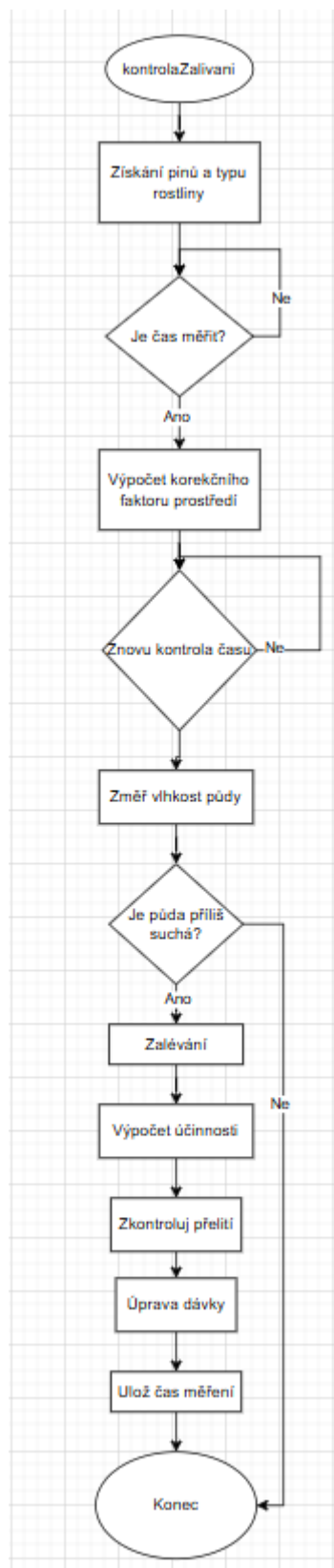
Tato struktura umožňuje snadnou rozšiřitelnost programu a přehledné oddělení jednotlivých částí logiky.



Obrázek 16 Vývojový diagram programu



Obrázek 17 Vývojový diagram smyčky loop



Obrázek 18 Vývojový diagram smyčky kontrolaZalivani

## **2.5 Kalibrace a testování senzorů**

Pro zajištění správné funkce systému bylo nutné ověřit chování použitých senzorů – zejména čidel vlhkosti půdy HD-38 a kombinovaného senzoru teploty a relativní vlhkosti vzduchu DHT11. Cílem bylo zjistit, jaké hodnoty tyto senzory vrací v různých podmínkách, a na základě toho rozhodnout, jak s nimi bude program dále pracovat.

### **2.5.1 Kalibrace senzorů půdní vlhkosti (HD-38)**

U čidel vlhkosti půdy HD-38 byla provedena základní kalibrace ve dvou mezních stavech – ve zcela suché a ve zcela nasycené půdě. V suché hlíně senzor vracel hodnoty přibližně v rozsahu 950 až 1010, zatímco při plném nasycení vodou se hodnoty pohybovaly okolo 300 až 350. Na základě těchto měření byl zvolen provozní rozsah hodnot zhruba mezi 300 až 1000, přičemž konkrétní spínací meze pro každý režim rostliny byly nastaveny v tomto rozmezí.

Dále byly čidla testována ve třech různých substrátech – písčité, humózní a těžké jílovité půdě. Cílem bylo zjistit, zda typ půdy výrazně ovlivňuje čtené hodnoty. Bylo zjištěno, že v těžší půdě se vlhkost drží déle a hodnoty klesají pomaleji, což je třeba brát v úvahu při interpretaci naměřených dat. Naopak v lehké písčité půdě dochází k rychlému vyschnutí, a tedy i rychlejšímu nárůstu hodnoty ze senzoru.

Pro kontrolu opakovatelnosti měření byla provedena série testů, kdy byl senzor opakovaně zapichován do stejného typu půdy s podobným obsahem vlhkosti. Hodnoty se mezi jednotlivými měřeními lišily jen minimálně (v rozmezí  $\pm 10$  jednotek), což potvrdilo dostatečnou stabilitu a použitelnost senzoru pro účely systému.

V neposlední řadě byl senzor ponechán dlouhodobě v půdě bez zalévání, aby se ověřilo, jak se mění odezva v čase při postupném vysychání. Ukázalo se, že čidlo reaguje spolehlivě i po několika dnech, aniž by bylo nutné jej kalibrovat či resetovat.

### **2.5.2 Testování senzoru DHT11**

Senzor DHT11 byl testován při různých teplotách vnitřního i venkovního prostředí. V místnosti (cca 22–25 °C) odpovídaly hodnoty teploty zhruba reálným podmínkám s odchylkou maximálně  $\pm 1$  °C. Relativní vlhkost byla v souladu s očekáváním, přičemž senzor reagoval se zpožděním v řádu jednotek sekund.

Na základě těchto testů bylo rozhodnuto použít čtené hodnoty přímo bez dodatečné korekce. V případě potřeby je však v programu možné snadno doplnit kalibrační konstanty, například pro

přesnější převod na procentuální vyjádření vlhkosti nebo teploty. Systém byl navržen tak, aby byl připraven i na výměnu senzorů bez nutnosti ruční kalibrace – mezní hodnoty lze upravit softwarově přímo v kódu.

## 2.6 Ladění a ověřování funkce algoritmu

Po naprogramování základní verze systému následovalo praktické ladění, při kterém byl testován chod algoritmu v reálných podmínkách. Cílem bylo ověřit, zda systém správně reaguje na stav půdy a okolního prostředí, zda adaptivně upravuje závlahu a zda se dávky a intervaly stabilizují po několika cyklech.

Testování probíhalo při pokojové teplotě okolo 22 °C. Byly použity dva květináče s různým typem půdy – jeden obsahoval kyprou hlínu s pískem, druhý těžší zahradní zeminu s vyšší schopností zadržovat vodu. Pro oba květináče byly nastaveny rozdílné režimy rostliny, aby bylo možné sledovat rozdílné chování algoritmu.

V počáteční fázi byla závlaha spouštěna fixní dávkou, která byla nastavena jako výchozí hodnota. Po zalití byl proveden záznam nové hodnoty vlhkosti a vypočtena účinnost. Pokud byl nárůst malý, systém dávku automaticky zvětšil. V opačném případě, kdy došlo k výraznému zvýšení vlhkosti (včetně překročení horní meze), dávka byla zmenšena. Tento proces se několikrát opakoval a po několika cyklech došlo v obou květináčích ke stabilizaci závlahy.

Bylo také ověřeno, že algoritmus dokáže dobře reagovat na změnu typu rostliny. Po změně režimu si systém uložil novou výchozí vlhkost a přizpůsobil podmínky řízení nové sadě mezních hodnot.

Dalším sledovaným prvkem bylo chování systému v čase – bylo měřeno, jak často dochází ke spuštění závlahy a jak se mění výpočty intervalu. Vzhledem k tomu, že se testovalo při stabilní teplotě (přibližně 22 °C) a relativní vlhkosti kolem 45–55 %, byly změny v koeficientu prostředí relativně malé. Přesto se prokázalo, že i mírné výkyvy vedou k úpravě intervalu, což potvrzuje funkčnost i této části algoritmu.

Součástí ladění bylo také ověřování funkčnosti historie měření. Bylo sledováno, zda se ukládají správné hodnoty, v jakém pořadí, a zda se správně zobrazují na displeji. Historie se ukázala jako užitečný nástroj pro zpětné sledování vývoje a kontrolu správnosti chování systému.

Celkově lze říci, že systém fungoval podle očekávání, algoritmus se choval stabilně a během ladění nevyžadoval zásadní zásahy. Díky adaptivnímu řízení se zavlažování samo optimalizovalo podle konkrétní půdy, nastavení režimu i naměřených hodnot.



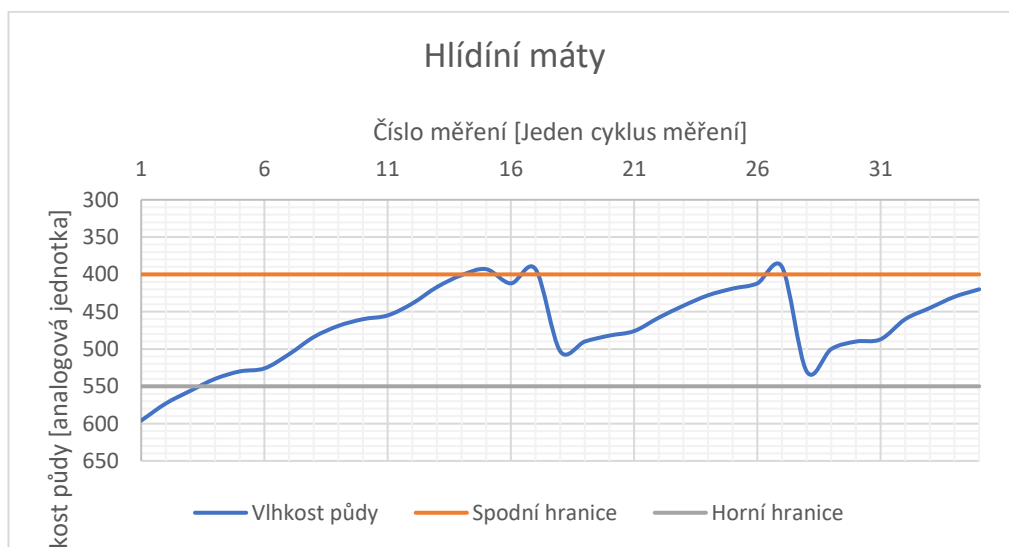
## 2.7 Dlouhodobé ověření v reálném prostředí

Pro závěrečné ověření funkce systému byla provedena sedmidenní simulace, která odpovídá podmínkám dlouhodobého provozu zařízení. Během této doby byly sledovány hodnoty vlhkosti půdy ve dvou květináčích, kde byly „nasazeny“ dvě odlišné rostliny s výrazně rozdílnými nároky na závlivku:

- Květináč 1 – máta (typ 5): velmi vysoké nároky na vlhkost, pracovní rozsah 400–550 [analogových jednotek].
- Květináč 2 – kaktus (typ 1): velmi nízké nároky na vlhkost, rozsah 800–950 [analogových jednotek].

V systému je implementována historie o šesti posledních měřeních pro každou veličinu. Každý záznam odpovídá jednomu kompletnímu zavlažovacímu cyklu – tedy úseku od zaznamenání nedostatku vlhkosti přes provedení závlahy až po nové měření vlhkosti po uplynutí stanoveného intervalu.

Během testování byla všechna data zároveň odesílána do sériového monitoru v Arduino IDE, díky čemuž bylo možné uchovávat úplnou historii průběhu vlhkosti i mimo zařízení. Zobrazené grafy tedy vycházejí z plných datových záznamů a zobrazují posloupnost měření odpovídající reálnému vývoji systému v čase

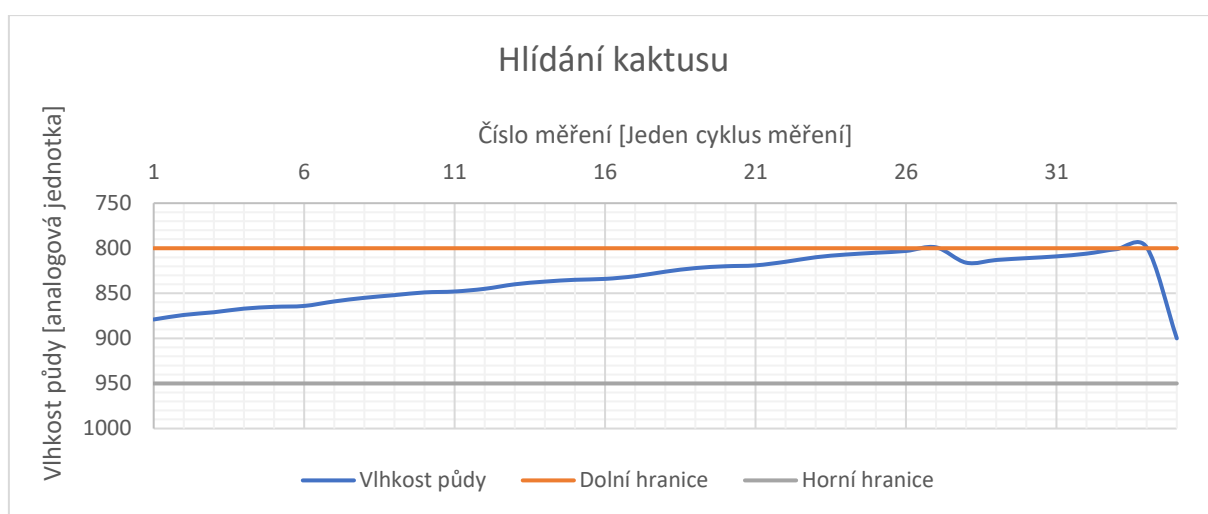


Obrázek 19 Graf - Průběh hlídání máty

(Nižší hodnota = vyšší vlhkost půdy.)

Z grafu je patrné, že vlhkost půdy u máty rychle klesá, a to zejména přes den, kdy je teplota vyšší a odpar intenzivnější. Jakmile hodnota vlhkosti klesne k dolní mezi (400), dojde k automatickému spuštění závlahy. Systém v reakci dodá vodu, čímž se vlhkost půdy rychle zvýší. Následně je patrná opětovná adaptace algoritmu – dávka se mírně upravuje podle toho, jak efektivní závlaha byla.

Na grafu je vidět několik cyklů vyschnutí → závlaha → nárůst → pokles, což potvrzuje, že systém správně reaguje na potřeby rostliny. Přitom v žádném případě není překročena horní mez 550, což dokazuje, že algoritmus zabráňuje přelití.



Obrázek 20 Graf - Průběh hlídání kaktusu

(Nižší hodnota = vyšší vlhkost půdy.)

V případě kaktusu je pokles vlhkosti výrazně pomalejší. I po několika dnech vlhkost klesá postupně a k zavlažení dochází jen výjimečně. To odpovídá nízké spotřebě vody, která je pro tento typ rostliny typická. Dávka vody byla aplikována jen v okamžiku, kdy vlhkost klesla k hranici 800. I zde algoritmus správně upravoval dávku a nikdy nedošlo k přelévání nad hodnotu 950.

## Vyhodnocení

Celkové chování systému odpovídá návrhu. Lze shrnout, že:

- Systém správně rozlišuje typ rostliny podle zadaného vlhkostního typu.
- Adaptivní algoritmus upravuje dávku vody podle účinnosti předchozí závlahy.

- Závlaha se spouští pouze při skutečné potřebě a respektuje stanovené limity.
- Nedochází k přelití, protože navýšení dávky je zablokováno, pokud vlhkost překročí horní mez.
- Spotřeba vody se liší podle rostliny – u máty dochází k častějším cyklům a vyšším dávkám, u kaktusu naopak k minimálním zásahům.

## 2.8 Bezpečnost a provozní limity systému

Při návrhu zavlažovacího systému byl kladen důraz nejen na funkčnost a jednoduchost ovládání, ale také na bezpečný provoz v běžných i ztížených podmínkách. Vzhledem k tomu, že se zařízení může používat v domácnostech, na balkonech, nebo ve školním prostředí, bylo nezbytné zohlednit možnost výskytu vody, prachu, kolísání teploty a mechanického namáhání.

Zařízení je umístěno v uzavřené plastové skřini s krytím IP56, která poskytuje ochranu proti prachu a stříkající vodě. Displej a tlačítka jsou zabudovány do horní části víka, přičemž mezi plexisklem a krytem je použita gumová těsnicí podložka, která brání vniknutí vody do vnitřního prostoru. Tlačítka jsou voděodolná a ovládání je možné i při vlhkých podmínkách.

Fyzickou odolnost celého systému jsme během vývoje prakticky ověřili – zařízení bylo třikrát úmyslně pokropeno vodou z konve, aby bylo simulováno deštivé počasí nebo nechtěné polítky při ručním zalévání. Při všech těchto zkouškách zůstalo zařízení plně funkční a nedošlo k proniknutí vody do vnitřní elektroniky. Lze tak potvrdit, že systém splňuje základní požadavky na odolnost vůči běžným vnějším vlivům v souladu se zadáním.

Napájecí konektor je umístěn na zadní straně a opatřen gumovou krytkou, která chrání konektor proti vlhkosti v době, kdy není používán. Hlavní vypínač je rovněž voděodolný a umožňuje okamžité mechanické odpojení systému od akumulátoru.

Dalším důležitým aspektem je ochrana proti přelití. Ta je zajištěna softwarově – systém nedovolí zalévat, pokud je aktuální vlhkost vyšší než horní mez daného režimu. Navíc, pokud dojde k výraznému nárůstu vlhkosti po jedné dávce, algoritmus automaticky sníží následující závlahu, čímž snižuje riziko opakovaného přelití.

Z hlediska napájení je zařízení chráněno tím, že všechny silové části (relé, ventily) jsou napájeny pouze v okamžiku činnosti. Tím je minimalizováno riziko přehřátí a prodloužena životnost akumulátoru. Při správném provozu a občasné kontrole stavu vody i napájení je systém bezpečný, stabilní a připravený pro dlouhodobé použití bez nutnosti častých zásahů.

## 2.9 Možnosti budoucího rozšíření systému

Navržený zavlažovací systém je v současné podobě schopen poloautonomního provozu. Díky adaptivnímu algoritmu, jednoduchému uživatelskému rozhraní a funkci záznamu historie měření je schopen řídit závlivku spolehlivě a s minimálním zásahem ze strany uživatele. Pro dlouhodobé využití, například na chatách či ve vzdálených lokalitách bez přístupu k elektrické síti, je však vhodné uvažovat o jeho dalším rozšíření směrem k plné energetické soběstačnosti a vyšší míře automatizace.

Jedním z nejpřirozenějších kroků je přechod na solární napájení. V základní konfiguraci je zařízení napájeno 12 V akumulátorem, který je nutné dobít přibližně jednou za dva týdny. Pokud by byl systém doplněn o malý fotovoltaický panel s výkonem přibližně 10–20 W, připojený přes solární regulátor, mohlo by dojít k plné energetické nezávislosti. Během dne by panel nabíjel akumulátor a pokrýval spotřebu zařízení, zatímco v noci by energii dodávala baterie. Systém by tak mohl být dlouhodobě nasazen v prostředí bez dohledu – například na zahradě, na balkóně nebo ve skleníku – a fungovat jako plnohodnotné ostrovní (off-grid) řešení.

V případě solárního napájení by bylo vhodné doplnit ještě několik ochranných a monitorovacích prvků: ochranu proti přebíjení a podvybití, funkci indikace stavu nabití baterie, případně zavedení úsporných režimů. Ty by mohly zahrnovat například automatické vypínání displeje, omezení četnosti měření v nočních hodinách nebo další optimalizace spotřeby energie.

Další krok směrem k plné automatizaci systému představují prvky zajišťující úplnou nezávislost na obsluze. Zařízení by mohlo být doplněno o senzor hladiny vody v zásobníku – např. plovákový nebo ultrazvukový –, který by umožnil automatickou detekci nedostatku vody a případné zablokování zavlažování. Upozornění na nízkou hladinu nebo nízké napětí baterie by mohlo být realizováno akusticky (bzučákem) nebo odesláním informace na mobilní zařízení.

Pro dlouhodobý monitoring a pohodlné uživatelské nastavení by bylo možné integrovat modul pro komunikaci přes Wi-Fi nebo GSM. Ten by zajistil přenos dat do cloudové databáze nebo mobilní aplikace, kde by uživatel mohl sledovat historii měření, stav zařízení, měnit nastavení rostliny a případně spustit závlahu ručně – a to vše na dálku, bez fyzického přístupu ke zařízení. V této souvislosti by se uplatnila také možnost synchronizace času pomocí RTC modulu, aby záznamy měření měly přesný časový údaj.

Směrování k plně autonomnímu zařízení by mohlo být završeno vytvořením jednoduché mobilní aplikace nebo webového rozhraní, které by uživateli poskytovalo intuitivní ovládání a

přehledný přístup k datům. Takové rozšíření by významně zvýšilo uživatelský komfort a umožnilo efektivní provoz systému i bez technických znalostí.

Celkově lze říci, že systém má značný potenciál pro rozvoj směrem k soběstačnému, inteligentnímu a na uživateli nezávislému zařízení, které lze snadno přizpůsobit různým podmínkám a požadavkům.

### 3 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout, realizovat a otestovat automatický zavlažovací systém určený pro zalévání malého počtu rostlin s ohledem na jejich individuální nároky na půdní vlhkost. Systém byl úspěšně postaven na platformě Arduino Uno a sestaven z běžně dostupných komponent, jako jsou senzory vlhkosti půdy HD-38, klimatický senzor DHT11, elektromagnetické ventily, relé a 20x4 LCD displej s ovládacími tlačítky.

Navržený systém umožňuje uživateli výběr typu rostliny ze škály pěti předdefinovaných kategorií, čímž se automaticky nastavují prahové hodnoty vlhkosti potřebné k řízení závlahy. Dále systém zaznamenává historii naměřených hodnot a zohledňuje teplotu a vlhkost vzduchu při výpočtu intervalu mezi jednotlivými měřeními. Inteligentní adaptivní algoritmus upravuje délku zavlažování na základě účinnosti předchozích cyklů, což přispívá k efektivnímu využití vody.

Zařízení bylo otestováno v reálném provozu s různými typy rostlin a výsledky potvrdily, že systém správně reaguje na aktuální stav půdy i vnější podmínky. Dochází k optimalizaci závlahy a eliminaci přelití, což potvrzují jak záznamy historie, tak chování systému během simulace. Důraz byl rovněž kladen na úsporu energie, jednoduché uživatelské ovládání a možnost budoucího rozšíření systému.

Výsledkem je plně funkční a spolehlivý zavlažovací systém, který je vhodný pro domácí nebo školní využití. Realizovaný návrh tak může sloužit nejen jako praktický nástroj, ale také jako inspirace pro další projekty v oblasti automatizace a šetrného hospodaření s vodou.

## 4 Zdroje

1. VEVERKA, Vladimír. *Speciální mechanizace – závlahová technika pro zahradnictví*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003. ISBN 80-715-7738-3.
2. CHLEBNÝ, Jan. *Automatizace a automatizační technika. 3, Prostředky automatizační techniky*. 4., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2523-6.
3. TŮMA, Jiří a TŮMOVÁ, Lenka. *Fyziologie rostlin*. Hradec Králové: Gaudeamus, 1998. ISBN 80-704-1542-8.
4. PENKA, M. *Transpirace a spotřeba vody rostlinami*. 1. vyd. Praha: Academia, 1985. 250 s.
5. PROCHÁZKA, Stanislav. *Botanika: morfologie a fyziologie rostlin*. Vyd. 3., nezm. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-125-8.
6. ALLEN, Richard G.; PEREIRA, Luis S.; RAES, Dirk a SMITH, Martin. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper. ISBN 92-510-4219-5.
7. VONROC. *Zavlažovací systém – 3 režimy zavlažování*. [online]. 2025 [cit. 2025-05-16]. Dostupné z: <https://vonroc.cz/zavlazovací-system-3-rezimy-zavlazovani-kapani-postrik-rozprasovani-včetně-15m-hadice>
8. ÚSPORNÉ ZÁVLAHY. *Představení systému podpovrchové závlahy*. [online]. 2021 [cit. 2025-05-16]. Dostupné z: <https://usporne-zavlahy.cz/predstaveni-systemu-podpovrchove-zavlahy/>
9. DŽUNGLE. *Teplé tipy pro chladné dny: zalévání rostlin v zimě*. [online]. 2023 [cit. 2025-05-16]. Dostupné z: <https://dzungle-plants.cz/teple-tipy-pro-chladne-dny-zalevani-rostlin-v-zime/>
10. KINPLAST. *Kapková závlaha – přehled produktů*. [online]. 2025 [cit. 2025-05-16]. Dostupné z: <https://www.kinplast.cz/zavlazovani/kapkova-zavlahy?sort=p.model&order=DESC&limit=15&page=2>
11. BOTLAND. *Senzor – sonda půdní vlhkosti analogový Waveshare 9527*. [online]. 2025 [cit. 2025-05-16]. Dostupné z: <https://botland.cz/senzory-vlhkosti/4504-senzor-sonda-pudni-vlhkosti-analogovy-waveshare-9527-5904422371173.html>
12. LASKAKIT. *Čidlo pro měření vlhkosti půdy HD-38*. [online]. 2025 [cit. 2025-05-16]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/cidlo-pro-mereni-vlhkosti-pudy-hd-38/>
13. GM electronic. *Elektromagnetický ventil 1/2" 12V plast*. [online]. 2025 [cit. 2025-05-16]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/v/1513245/elektromagneticky-ventil-1-2-12v-plast>



## **5 SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A – Manuál použití

Příloha B – Seznam rostlin a jejich typu

Příloha C – seznam použitých komponent

Příloha D – Blokové schéma

## PŘÍLOHA A: – Manuál použití

### Úvod

Tento manuál slouží k obsluze automatického zavlažovacího systému pro dvě samostatné rostliny. Systém je navržen tak, aby reagoval na vlhkost půdy a aktuální klimatické podmínky, a podle toho inteligentně přizpůsobil zavlažování. Ovládání probíhá pomocí čtyř tlačítek a přehledného LCD displeje.

### Ovládací prvky

Tlačítko	Umístění	Funkce
UP	Vlevo nahoře	Pohyb nahoru v menu
DOWN	Vpravo nahoře	Pohyb dolů v menu
OK	Vpraco dole	Podtvrzení výběru / vstup
BACK	Vlevo dole	Návrat o úroveň zpět

### Nastavení typu rostliny

Pro každý květináč je třeba zvolit **typ rostliny** podle její potřeby závlivky:

1. Vstup do „Květináč 1“ nebo „Květináč 2“.
2. Zvol možnost „Vybrat typ rostliny“.
3. Pomocí UP/DOWN vyber hodnotu 1 až 5:
  - 1 = velmi nízké nároky (např. kaktus)
  - 5 = velmi vysoké nároky (např. okurka)
4. Potvrď tlačítkem OK.

Po výběru typu rostliny se začne zaznamenávat historie vlhkosti a aktivuje se zavlažovací algoritmus.

## **Automatické zavlažování**

Systém každých několik hodin provádí měření půdní vlhkosti. Pokud vlhkost klesne pod nastavený minimální práh pro daný typ rostliny, spustí se zavlažování na předem definovanou dobu (např. 60 sekund = cca 25 ml vody).

Po každém cyklu se měří změna vlhkosti a přepočítává se účinnost zálivky. Na základě výsledku se dávka může zvýšit nebo snížit (do limitu  $\pm 250\,000$  ms) pomocí adaptivního algoritmu. Frekvence měření se upravuje podle teploty a vlhkosti vzduchu – čím větší horko a sucho, tím častěji se měří.

## **Umístění senzoru půdní vlhkosti**

Senzor typu HD-38 je třeba zasunout do půdy přibližně do hloubky 5–7 cm. Doporučuje se umístění do prostoru, kde se nachází kořenová zóna rostliny, ale mimo přímý směr toku vody z hadičky. Pokud je senzor umístěn příliš blízko výtoku, může dojít ke zkreslení měření. Po zasunutí do substrátu by se senzor neměl dále posouvat ani vytahovat.

## **Umístění hadičky s kápátkem**

Na konci každé hadičky je umístěno plastové kápátko, kterým voda vytéká do květináče. Kápátko musí být umístěno níže než dno zásobníku na vodu, protože zavlažování probíhá samospádem bez použití čerpadla. Pokud bude hadice stoupat nad hladinu zásobníku, průtok vody se může zastavit.

Hadička by měla vést co nejpříměji, bez zbytečných smyček nebo přehybů. Zkroucené vedení může zpomalit nebo narušit proudění vody. Kápátko může být volně nad povrchem nebo lehce zapuštěné do půdy, záleží na potřebách rostliny a konstrukci květináče.

## **Historie měření**

V menu „Historie“ lze zobrazit posledních 6 naměřených hodnot:

- Vlhkost půdy pro každý květináč
- Teplota vzduchu
- Vlhkost vzduchu

Pomocí UP/DOWN si uživatel zvolí, kterou historii chce zobrazit.

## Hlavní vypínač

Na levém boku zařízení je umístěn voděodolný hlavní vypínač, kterým lze celé zařízení mechanicky odpojit od napájení. Vypínač ovládá vedení mezi akumulátorem a elektronikou a je určen především pro bezpečné vypnutí zařízení při manipulaci, nabíjení nebo přepravě.

## Nabíjení zařízení

Zařízení je napájeno 12V akumulátorem s kapacitou 9 Ah, který je umístěn uvnitř hlavní krabice. Nabíjecí adaptér není součástí zařízení – uživatel si jej musí zajistit samostatně.

Pro nabíjení slouží napájecí konektor typu DC 5.5/2.1 mm, umístěný na zadní straně skříně a označený symbolem napájení.

Možný k použití adaptér:

Jako cenově dostupné řešení lze použít například EMOS N3112 – přepínatelný univerzální síťový adaptér s výstupním napětím 12 V DC a maximálním proudem 1,5 A (18 W). Tento adaptér je vhodný pro jednorázové nabíjení, pokud je nastaven na správné napětí a připojen pomocí vhodného konektoru.

Upozornění:

Adaptér není řízená nabíječka – nemá automatické ukončení nabíjecího cyklu. Nabíjejte pouze pod dohledem a nepřekračujte dobu nabíjení 6–8 hodin. Před použitím se ujistěte, že:

- napětí je nastaveno na 12 V,
- Použit je konektor typu DC 5.5/2.1 mm (kompatibilní s konektorem zařízení).

Postup nabíjení:

1. Vypněte zařízení hlavním vypínačem.
2. Zasuňte napájecí konektor adaptéru do konektoru na zadní straně zařízení.
3. Zapojte adaptér do zásuvky a nabíjejte 6–8 hodin.
4. Po nabití zařízení odpojte ze sítě a znovu zapněte hlavním vypínačem.

## **Upozornění a poznámky**

- Systém vyžaduje pravidelné doplňování vody. Doporučuje se kontrolovat hladinu alespoň 1× týdně.
- Pokud půdní senzor detekuje vlhkost vyšší než maximum pro daný typ, zavlažování se nespustí.
- Zavlažování se nespustí, dokud není vybrán typ rostliny pro daný květináč.
- Květináč musí být umístěn níže než nádoba s vodou, protože zavlažování je založeno na gravitaci – voda samovolně teče hadičkou po otevření ventilu.
- Akumulátor je potřeba dobít přibližně každý týden, podle četnosti zavlažování a stavu nabití.
- LCD se vypíná automaticky po 10 sekundách nečinnosti a znovu se zapne při stisknutí libovolného tlačítka.

## **Havarijní stavy a chybové situace**

Systém neobsahuje aktivní indikaci havarijních stavů (např. zvukovou nebo světelnou signalizaci), ale některé poruchy lze rozpoznat podle chování zařízení nebo hodnot zobrazených na displeji.

Možné chybové situace a jejich projevy:

- Chybné připojení senzoru DHT11:

Pokud je teplotní a vlhkostní senzor odpojen nebo poškozen, na displeji se místo hodnoty teploty nebo vlhkosti zobrazí „chyba“ nebo nerealistické hodnoty (např. 0 °C, 0 %).

- Odpojení senzoru vlhkosti půdy:

Pokud je senzor typu HD-38 fyzicky odpojen nebo má přerušovaný kontakt, systém vyhodnotí hodnotu vlhkosti jako trvale velmi suchou (např. 1023) a spustí zavlažování. Dlouhodobě se nezměněná hodnota vlhkosti po zalití může naznačovat závadu senzoru.

- Přerušovaný nebo zanesený vývod vody:

Pokud kápatko není správně umístěno nebo došlo k ucpání hadičky, může dojít k tomu, že po zalévání nedojde ke zvýšení vlhkosti v půdě. V takovém případě adaptivní algoritmus opakovaně zvyšuje dávku vody, aniž by to mělo účinek – to může být indikátor závady.

- Porucha ventilu nebo relé:

Pokud po aktivaci zavlažování nedojde k žádné změně vlhkosti, může být vadné relé nebo ventil. Typickým příznakem je, že na displeji se zobrazí, že zálivka proběhla, ale senzor vlhkosti nezaznamená změnu.

- Vybitá baterie:

Při poklesu napětí může dojít k tomu, že relé nebo Arduino přestanou spolehlivě fungovat. Projevy mohou být náhodné restarty, vypadávání displeje nebo nespouštění zálivky.

#### **Doporučená reakce uživatele:**

- Pravidelně kontrolovat historii zálivek a vývoje vlhkosti na displeji.
- Při podezřelém chování zařízení (např. neustálé zalévání nebo žádná změna hodnot) zkontrolovat připojení senzorů, stav vody a napájení.
- V případě potřeby systém vypnout hlavním vypínačem a provést reset po kontrole všech částí.

## **PŘÍLOHA B: Seznam rostlin a jejich typu**

Kaktus 1

Sukulent (např. aloe vera) 1

Tlustice (Crassula) 1

Rozchodník 1

Levandule 2

Rozmarýn 2

Tchynin jazyk (Sansevieria) 2

Šeflera 2

Dracéna 3

Fíkus benjamina 3

Bazalka 3

Petržel 3

Afrikán 3

Kopr 3

Rajče 4

Paprika 4

Hortenzie 4

Begonie 4

Kapusta 4

Mrkev 4

Okurka 5

Lichořeřišnice 5

Cuketa 5

Špenát 5

Ředkvička 5

Salát hlávkový 5

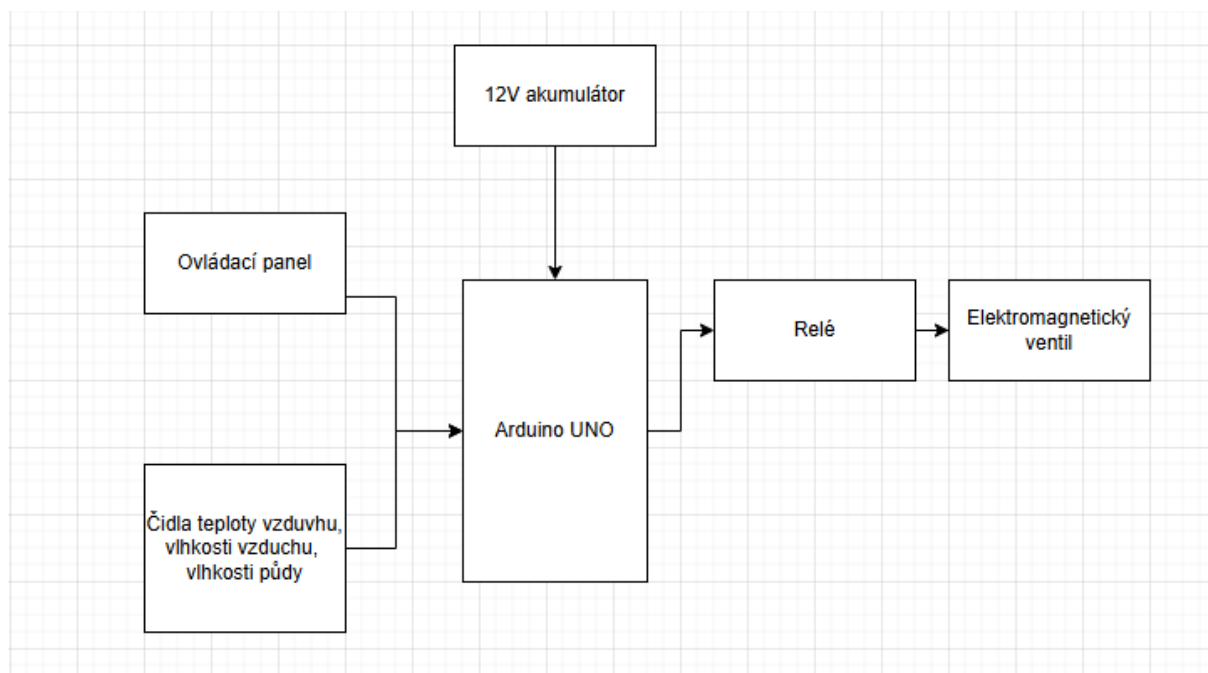
## PŘÍLOHA C: Seznam použitých komponent

Název komponenty	Typ a označení	Počet ks	Funkce / poznámka
Arduino Uno	ATmega328P	1	Řídicí jednotka systému
LCD displej 20x4 (I2C)	s I2C převodníkem	1	Zobrazení hodnot a menu
Tlačítka (voděodolná)	UP, DOWN, OK, BACK	4	Ovládání menu
Senzor půdní vlhkosti	HD-38	2	Měření vlhkosti půdy
Senzor teploty a vlhkosti vzduchu	DHT11	1	Měření teploty a vlhkosti vzduchu
Elektromagnetický ventil	King Sheng, 12V DC, plast, 1/2", NC	2	Spouštění závlahy
Reléový modul	4kanálový, 12V s optočlenem	1	Spínání ventilů přes Arduino
Hlavní vypínač	KCD1-5-101NW, voděodolný SPST	1	Mechanické odpojení napájení
12V akumulátor	12V / 9 Ah	1	Hlavní napájecí zdroj systému
Nabíjecí konektor	DC 5.5/2.1 mm,	1	Pro připojení napájecího adaptéru
Plastová hadička (1,5 m)	Silikonová, vnitřní průměr 8 mm, vnější 10 mm	2	Přívod vody ke květináčům
Kápátko	Plastové	2	Ukončení hadičky pro vývod vody
Zásobník na vodu (2 l)	Plastová nádoba, objem 2 litry	1	Zdroj vody
Cyklistický ventilek	pro přívod vody	1	Vodotěsný průchod pro vodu



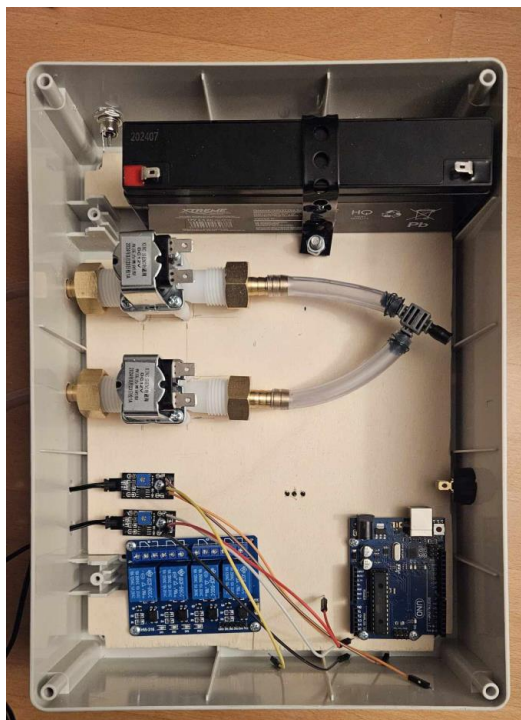
Plastová skříň (IP56)	330 × 220 × 120 mm	1	Krytí elektroniky
Těsnicí páska	Ceys MONTACK, oboustranná, 19 mm	1	Uchycení a těsnění zásobníku
Plexisklo	čiré	1	Kryt displeje
Dřevěná podložka	ručně vyrobená	1	Montážní základna
Vruty, šroubky	Různé velikosti	dle potřeby	Montáž součástek a krytu

## PŘÍLOHA D: Blokové schéma



Obrázek 21 Blokové schéma

## Příloha E - Fotodokumentace zařízení



Obrázek 22 Rozmístění hardweru konstrukce



Obrázek 23 Levá strana konstrukce



*Obrázek 24 Horní část konstrukce*