

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra radioelektroniky



Bakalářská práce

Automatizace skleníku
Greenhouse automation

Studijní program:

Elektronika a komunikace

Autor:

Matyáš Babka

Vedoucí práce:

doc. Ing. Stanislav Vitek, Ph.D.

Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Babka** Jméno: **Matyáš** Osobní číslo: **498957**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Automatizace skleníku

Název bakalářské práce anglicky:

Greenhouse Automation

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je navrhnout a implementovat automatické zalévání skleníku, které umožní sledování a optimalizaci klimatických podmínek uvnitř skleníku a stavu zásoby vody.

Při vypracování se řiďte následujícími pokyny:

- 1) proveďte rozbor existujících řešení pro automatizaci skleníku
- 2) navrhnete vlastní řešení, které umožní vzdálenou kontrolu skleníku a optimalizaci závlivy
- 3) zařízení implementujte a otestujte v reálném provozu
- 4) diskutujte dosažené výsledky

Seznam doporučené literatury:

- [1] PONCE, Pedro, et al. Greenhouse design and control. Boca Raton, FL, USA.: CRC Press, 2014.
- [2] MIRANDA, Jhonattan, et al. Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0. Computers in Industry, 2019, 108: 21-36.
- [3] SERPANOS, Dimitrios; WOLF, Marilyn. Internet-of-things (IoT) systems: architectures, algorithms, methodologies. Springer, 2017.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D. katedra radioelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **09.02.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne 25. května 2023

Matyáš Babka

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především doc. Ing. Stanislavu Vítkovi, Ph.D. za odborné vedení této práce, díky jemuž se dostala ke zdárnému konci. Rád bych také poděkoval své rodině a přátelům za poskytnutí podpory a zázemí nejen při psaní této práce a společnosti Siemens AG za poskytnutí počítače, na kterém jsem tuto práci napsal.

Matyáš Babka

Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na automatizaci skleníku pomocí kapénkové závlahy, která umožňuje individuální závlahu pro každou rostlinu a úsporu vody. Systém se skládá ze dvou nádrží, čtyř mikrokontrolerů, senzorů pro monitorování podmínek ve skleníku a stavu vody v nádržích. Jeden mikrokontroler řídí přečerpávání vody mezi nádržemi. V samotném skleníku se nachází tři mikrokontrolery, z nichž jeden umožňuje uživateli lokálně měnit nastavení a sledovat stav systému, druhý zpracovává data ze senzorů a řídí zalévání skleníku, a třetí vytváří webovou aplikaci na lokální síti a pomocí rozhraní API získává předpověď počasí na další den.

Klíčová slova: Automatizace, skleník, kapénková závlaha, IoT, Arduino, řízení zalévání

Abstract

This work focuses on the automation of a greenhouse using drip irrigation, which saves water and provides individual control of watering for each plant. The system consists of two tanks, four microcontrollers, sensors for monitoring the conditions in the greenhouse and the water level in the tanks. One microcontroller controls the water transfer between the tanks. Within the greenhouse itself, there are three microcontrollers, one of which enables the user to change settings locally and monitor the system's status. The second microcontroller processes data from the sensors and controls the greenhouse watering. The third microcontroller creates a web application on the local network and uses an API interface to obtain weather forecasts for the following day.

Key words: Automation, greenhouse, drip irrigation, IoT, Arduino, watering control

Obsah

Úvod	6
1 Úvod	7
2 Autonomní zdroje užitkové vody a jejich dotování	9
2.1 Studny	9
2.2 Retenční nádrže	9
3 Požadavky na zálivku	10
4 Teoretický rozbor	11
5 Senzory	12
5.1 Vlhkost a teplota vzduchu	12
5.2 Teplota půdy	13
5.3 Vlhkost půdy	13
5.4 Výška hladiny vody v nádržích	14
6 Aktuátory	15
6.1 Ponorné čerpadlo	15
6.2 Modul relé 5V/250V	15
7 Použité sběrnice	16
7.1 SPI (Serial Peripheral Interface)	16
7.2 I2C (Inter-Integrated Circuit)	16
7.3 CAN (Controller Area Network)	16
7.4 OneWire (jednovodičová sběrnice)	16
8 Použité mikrokontrolery a jejich doplňky	17
8.1 Arduino Nano	17
8.2 Arduino Uno	17
8.3 Arduino Mega 2560	17
8.4 Modul Ethernet shield	19
8.5 Modul hodin reálného času	19
8.6 Maticový sedmissegmentový displej	20
8.7 Modul pro komunikaci přes CAN	21
8.8 LCD I2C displej	21
9 Napájení a umístění použitých komponentů	22
9.1 Rozvaděč ve skleníku (M-A)	22
9.2 Rozvaděč v garáži (M-B)	24
9.3 Obsluha senzorů (M-C) a Server (M-D)	26
10 Popis algoritmu	28
10.1 Popis funkce mikrokontroleru M-A (rozvaděč ve skleníku)	29
10.2 Popis funkce mikrokontroleru M-B (rozvaděč v garáži)	29
10.3 Popis funkce mikrokontroleru M-C (obsluha senzorů)	31
10.4 Popis funkce mikrokontroleru M-D (server)	31

11 Realizace	33
11.1 Konstrukce	33
11.2 Komplikace při konstrukci a jejich řešení	33
12 Finanční rozvaha	34
13 Zhodnocení výsledků a budoucí úpravy	35
13.1 Závěr	35
13.2 Budoucí úpravy	35

1 Úvod

Tato práce se zabývá automatizací skleníku. Množství vody podané jednotlivým rostlinám ve skleníku je regulováno pomocí kapénkové závlahy. Po obvodu skleníku je umístěna trubka, z níž vedou tenké hadičky s tryskou s různým průřezem – tedy různým průtokem. Tímto způsobem lze snadno převést množství vody určené pro danou rostlinu na čas, po který je potřeba ji zalévat tryskou s daným průřezem. Výhodou kapénkové závlahy je především úspora vody a optimalizace zálivky pro každou rostlinu individuálně.

Celý systém sestává ze dvou nádrží, dvou ponorných čerpadel, čtyř mikrokontrolerů s označením M-A, M-B, M-C a M-D, senzorů monitorujících podmínky ve skleníku a stav vody v nádržích (vlhkost, teplota, výška hladiny).

Dvě nádrže jsou potřeba proto, že skleník je umístěn daleko od jakékoliv střechy, ze které by se dala sbírat dešťová voda. Z tohoto důvodu je jedna zásobovací nádrž mezi domem a garáží, kde sbírá vodu z těchto dvou střech a dále je voda přečerpávána čerpadlem do provozní nádrže u skleníku. Stav hladiny vody v zásobovací nádrži je senzory zpracováván mikrokontrolerem v rozvaděči v garáži (M-B), který řídí i přečerpávání.

U skleníku je druhá nádrž – provozní, která je také vybavena ponorným čerpadlem. Uvnitř skleníku se nachází tři mikrokontrolery, které mezi sebou komunikují po sběrnici I2C.

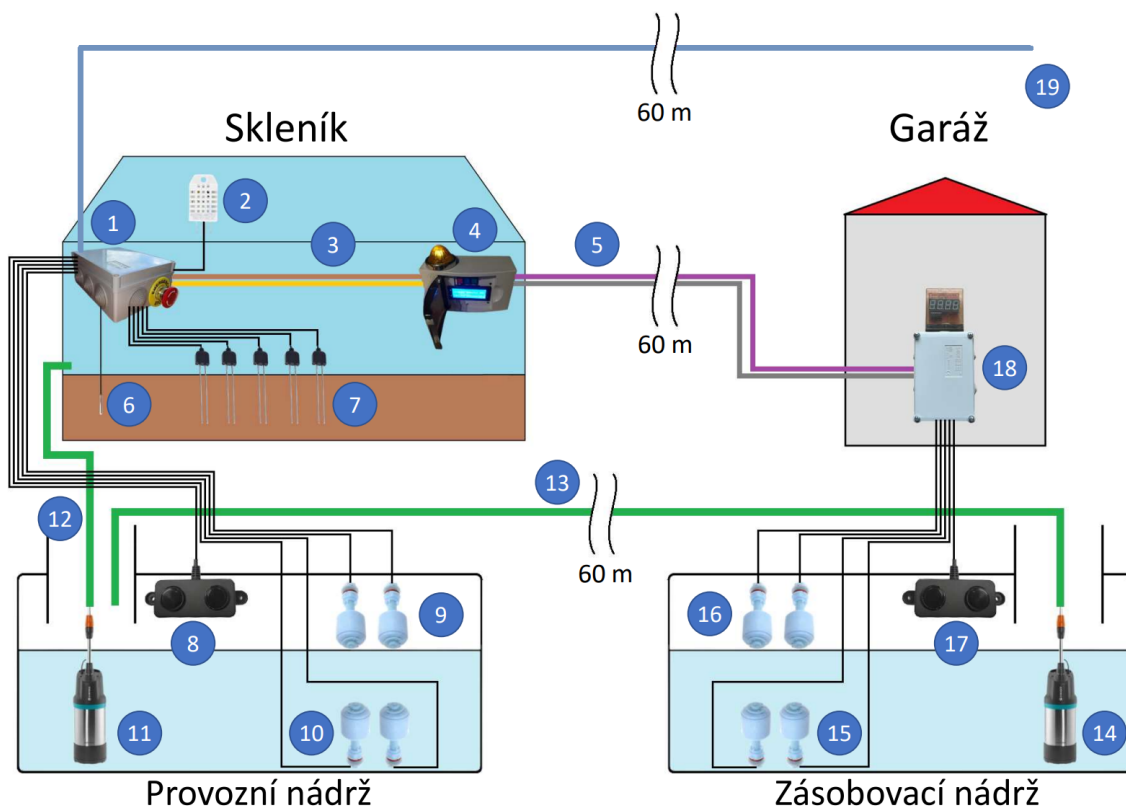
Prvním z nich je interaktivní rozvaděč s displejem a třemi tlačítky (M-A), pomocí kterého může uživatel lokálně měnit nastavení a sledovat stav systému. Tento rozvaděč také komunikuje s rozvaděčem v garáži po sběrnici CAN (Controller Area Network), po které mu dává příkazy k přečerpávání nebo dotazy o stavu hladiny v nádrži u domu.

Dalším mikrokontrolerem je obsluha senzorů, která má na starost zpracování dat ze senzorů a řízení zalévání skleníku. K tomuto mikrokontroleru je připojeno pět senzorů vlhkosti půdy, senzor teploty půdy, koncové spínače a ultrazvukový senzor polohy hladiny v nádrži a senzor teploty a vlhkosti vzduchu.

Třetím mikrokontrolerem je server, který má na starost připojení k internetu. Vytváří webovou aplikaci na lokální síti, ve které je možné sledovat podmínky ve skleníku a množství vody v nádržích a zapínat a vypínat čerpadla. Jeho druhou funkcí je získávání dat o předpovědi počasí na další den pomocí webového rozhraní API (Application Programming Interface).

K automatizaci skleníku lze přistupovat různými způsoby. Z globálního hlediska lze systémy automatizace skleníku rozdělit na inteligentní systémy a časovače zalévání. Inteligentní systémy upravují prostředí skleníku spojitě na základě dat ze senzorů sledujících stav ve skleníku. Časovače zalévání ke své funkci data ze senzorů nepotřebují, jelikož je zalévání inicializováno na základě předem daného času.

V mém případě jsem využil obojího. Vzhledem k omezenému přístupu k závlahové vodě jsem se rozhodl zalévat pouze v předem daných časových úsecích, ale délka zalévání je upravována na základě dat ze senzorů.



Obrázek 1: Orientační schéma celého systému

Tabulka 1: Popis komponent v orientačním schématu

Číslo	Popis
1	Elektroinstalační krabice s mikrokontrolery M-C a M-D
2	Měřicí modul teploty a vlhkosti vzduchu DHT22
3	Vodiče sběrnice I2C mezi mikrokontrolery M-C a M-A
4	Rozvodnice s mikrokontrolerem M-A
5	Vodiče sběrnice CAN mezi mikrokontrolery M-A a M-B
6	Digitální teploměr DS18B20
7	5 senzorů vlhkosti půdy HD-38
8	Ultrazvukový senzor HC-SR04 výšky hladiny vody v provozní nádrži
9	Plovákové spínače monitorující maximální výšku hladiny v provozní nádrži
10	Plovákové spínače monitorující minimální výšku hladiny v provozní nádrži
11	Zalévací čerpadlo
12	Zalévací potrubí
13	Přečerpávací potrubí
14	Přečerpávací čerpadlo
15	Plovákové spínače monitorující minimální výšku hladiny v zásobovací nádrži
16	Plovákové spínače monitorující maximální výšku hladiny v zásobovací nádrži
17	Ultrazvukový senzor HC-SR04 výšky hladiny vody v zásobovací nádrži
18	Elektroinstalační krabice s mikrokontrolerem M-B
19	Ethernetový kabel

2 Autonomní zdroje užitkové vody a jejich dotování

V poslední době vzrůstá motivace k pořízení si vlastního soběstačného zdroje užitkové vody, především kvůli globálnímu nedostatku pitné vody. Ve zvláště horkých letních obdobích kvůli suchu dokonce vodovodní řád v některých obcích zakazuje například napouštění bazénů pod pokutou až desítek tisíc, a tak vzniká poptávka po alternativách [1].

Nabízí se několik možností, například studny nebo retenční nádrže. Na obojí v současné době existuje několik dotačních programů jako je například Nová zelená úsporám [2].

2.1 Studny

Celková cena realizace studny se může lišit s ohledem na umístění, hloubku a průměr vrtu. Cena za vytyčení místa vrtu se pohybuje okolo 2000 Kč a samotný vrt stojí potom okolo 1000 až 3000 Kč/m [3]. Dotace potom činí 30 % z doložených výdajů na realizaci. Z finančního hlediska se studny jeví oproti retenčním nádržím jako výhodnější. Hlavním nedostatkem je však absence záruky, že voda bude k dispozici i v obdobích delšího sucha. Podzemní vody totiž mění svou hladinu, a tak se může stát, že studna nebude schopna poskytnout dostatek vody pro zálivku, což by mohlo negativně ovlivnit úrodu ve skleníku. Pokud se totiž například do retenční nádrže o dostatečné kapacitě napustí při vydatných deštích dostatek vody, může voda vydržet i několik týdnů bez doplňování.

2.2 Retenční nádrže

Celková cena za realizaci retenční nádrže také závisí na mnoha faktorech. Důležitým faktorem je především velikost, materiál a poloha nádrže. Voda v nádrži totiž musí být ve tmě a chladu, aby se v ní nemnožily bakterie a voda se tak nekazila. Nabízí se tak nádrž zakopat do země. Tato možnost navíc umožňuje vodu ponechat v nádrži i přes zimu, pokud se nádrž nachází v tzv. nezámrazné hloubce, která v hlíně činí okolo 80 až 140 cm. Nevýhodou oproti nadzemním nádržím je však to, že je nutné vodu z nádrže čerpat, zatímco u nadzemních nádrží voda z nádrže vytéká samospádem a její tok lze regulovat řízeným ventilem.

Dotace na retenční nádrž potom činí 50 % z doložených výdajů. Cena za betonovou podzemní nádrž o objemu 6 m³ použitou jako zásobovací nádrž u domu činila i s dopravou 31000 Kč. Cena za plastovou podzemní nádrž o objemu 2 m³ použitou jako provozní nádrž u skleníku i s dopravou činila 25000 Kč.

Cena vodného a stočného včetně DPH za rok 2022 v provozní lokalitě Plzeň-sever, kde jsou nádrže situovány, činila 123,75 Kč/m³ [4].

Celková investice do těchto dvou nádrží je zhruba 130000 Kč (nádrže 56000 Kč, kopání ca 40000 Kč, zařízení jako pumpy, elektronika... atd. ca 10000 Kč a potrubí ca 30000 Kč). Jedna zalévací sezóna, pro jednoduchost od dubna do září, činí 6 měsíců – tedy 26 týdnů. Za rok se tak udělá ca 10 naplnění obou nádrží.

Kdyby se nádrže plnily pitnou vodou, která stojí 123,75 Kč/m³, tak by 10 naplnění nádrží stálo

$$123,75 \times 8 \times 10 = 9900 \text{ Kč.}$$

Z toho plyne, že se investice vrátí za zhruba

$$\frac{130000}{9900} \approx 13 \text{ let.}$$

Při čerpání dotace Nová zelená úsporám by se tato doba snížila na polovinu.

3 Požadavky na zálivku

Zálivku skleníku lze realizovat několika způsoby. Mezi nejčastější patří kapénková závlaha, zalévání postřikem, vodním aerosolem, povrchová závlaha či podzemní závlaha. Pro vysoce efektivní pěstování lze využít i tzv. hydroponie, kde rostliny nejsou zasazeny tradičně v půdě, ale ve speciálním živném roztoku, který obsahuje optimální množství živin pro růst rostliny. Nicméně, hydroponie vyžaduje pečlivé monitorování a udržování optimálních podmínek pro růst rostlin, včetně dodávky správných živin, kontroly pH a teploty živného roztoku, což vyžaduje mnohem komplexnější algoritmus. Živný roztok navíc není ideální používat pro různé druhy rostlin, protože každá rostlina má různé potřeby živin a pH prostředí, takže vyžaduje specifické složení živného roztoku. To se ve skleníku realizuje obtížně, tudíž jsem se pro tuto možnost nerozhodl.

Hlavním požadavkem na zálivku skleníku je samozřejmě nízká spotřeba vody, vzhledem k její omezené dostupnosti. Nejefektivnějším způsobem je tak kapénková závlaha, jelikož je voda směřována přímo k jednotlivým rostlinám a nezáleží se tak nevyužitá půda mezi nimi. K tomu využívám systému potrubí od výrobce Rainbird [5]. Systém sestává z hlavní hadice umístěné po obvodu skleníku, do které jsou zavedeny menší hadičky s tryskou. Tyto hadičky se zavedou přímo ke stonkům rostlin. Trysky mohou mít dva různé průřezy, což ovlivňuje průtok vody. Pro snadné rozlišení mají trysky s různým průřezem různé barvy. Modré trysky mají průtok 2 l/h, zatímco červené 4 l/h, takže je možné přizpůsobit množství vody podané jednotlivým rostlinám individuálně.



Obrázek 2: Připojení trysky do hlavní hadice

4 Teoretický rozbor

K uskutečnění tohoto projektu jsem se rozhodl na základě toho, že již skleník k dispozici mám, ale nachází se na naší chatě, na kterou jezdíme o víkendech, takže by v létě přes týden neměl kdo skleník zalévat a hrozilo by, že bychom přišli o úrodu. Větrání je zajištěno písty obsahujícími kapalinu jejíž roztažnost je velmi citlivá na rozpětí teplot zhruba 15 až 30°C. Přiblíží-li se teplota vzduchu ve skleníku nějaké z těchto hraničních teplot, písta sám buď otevře nebo přivře okno, takže není nutné tuto činnost řídit elektronicky. V zimě skleník není v provozu, takže odpadá i nutnost vytápění. Zbývá tak už jen potřeba skleník zalévat.

Skleník se nachází na zahradě zhruba 40 metrů vzdušnou čarou od nejbližší střechy využitelné ke sběru dešťové vody. Proto jsou instalovány dvě retenční nádrže – jedna je provozní, ze které se provádí zalévání skleníku, a jedna je zásobovací, do které je přes filtr sbírána voda ze střechy domu a přilehlé garáže. Uvažovali jsme i o pořízení studny, ale obec, ve které se naše chata nachází, je situována na kopci, a tudíž by se realizace vrtu nevyplatila.

Obě nádrže jsou vybaveny ponorným čerpadlem umístěným v plastovém vědru, aby nenasávalo nečistoty usazené na dně nádrže. Díky tomu, že jsou nádrže dvě, tak se hrubé nečistoty usadí v zásobovací nádrži a do provozní nádrže je čerpána relativně čistá voda. V provozní nádrži se zbytek nečistot opět usadí na dně, takže voda určená k zalévání už je prakticky bez pevných nečistot. Zalévací čerpadlo i tak vodu čerpá do skleníku přes jemný filtr.

K realizaci řídicí logiky jsem zvolil mikrokontrolery od výrobce Arduino kvůli jejich snadné použitelnosti a kompatibilitě s použitými perifériemi. Všechny tyto mikrokontrolery jsou programovány v jazyce Wiring v prostředí Arduino IDE [6]. Jazyk Wiring je založen na C++ se strukturou programu uzpůsobenou funkcí mikrokontrolerů. Kód se obecně skládá ze dvou hlavních funkcí – `setup()` a `loop()`, které jsou obě datového typu `void` (bez návratové hodnoty). Funkce `setup()` se provede pouze jednou po spuštění mikrokontroleru a typicky slouží k inicializaci GPIO pinů. Funkce `loop()` pak běží v nekonečné smyčce.

Pro autonomní zalévání skleníku už existuje mnoho různých komerčně vyráběných produktů. Většinou se jedná o nastavitelné časovače otevírající ventil přivedené hadice jako je například zavlažovací počítač GARDENA Select [7]. Některé z těchto časovačů mají možnost uložit si několik programů. Ceny takových systémů se pohybují od 500 Kč do nižších jednotek tisíců Kč. Nevýhodou takových systémů je, že využívají pitné vody k zalévání a nemají žádnou zpětnou vazbu o prostředí ve skleníku, což by při nevhodném nastavení mohlo vést k nedostatečnému zalití rostlin nebo naopak jejich přelití. Další nevýhodou těchto časovačů je, že jsou většinou napájeny z baterie.

Nevýhodu používání pitné vody řeší například automatický zavlažovač SOL C-12L [8] s ponorným čerpadlem, který je navíc napájen solárním panelem. Tento zavlažovač ale nemá ani nastavitelný časovač, takže zavlažuje v tříhodinových cyklech a regulovatelný je pouze průtok.

Existují také řešení s připojením k internetu, jako je například zavlažovač Crosfmi HCT-311 [9], který se ale kromě řízení přes internet a napájení ze sítě nijak neliší od zmíněných časovačů.

5 Senzory

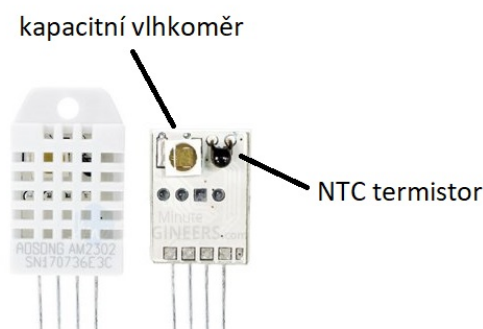
5.1 Vlhkost a teplota vzduchu

K měření vlhkosti a teploty vzduchu jsem vybral měřicí modul DHT22 od výrobce Aosong Electronics Co [10]. Spolu s DHT11 se jedná o jeden z nejběžněji používaných modulů pro měření vlhkosti a teploty vzduchu. Rozdíl mezi typem DHT11 a DHT22 je v rozsahu měření a jeho citlivosti, kdy levnější typ DHT11 měří teplotu v rozsahu 0 až 50°C s přesností $\pm 1^\circ\text{C}$ a vlhkost v rozmezí 20 až 90 % s přesností $\pm 4\%$. Pokročilejší měřicí modul DHT22 umožňuje měřit teplotu v rozsahu -40 až +80°C s přesností $\pm 0,5^\circ\text{C}$ a vlhkost vzduchu v rozsahu 0 až 100 % s přesností $\pm 2\%$.

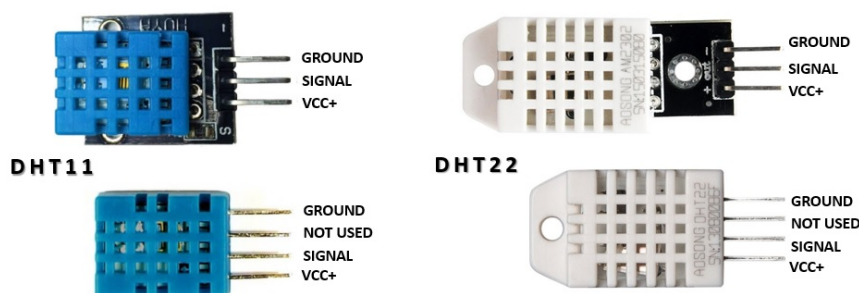
Modul DHT22 se skládá ze tří hlavních částí - teploměru, vlhkoměru a integrovaného obvodu vyhodnocujícího údaje ze senzorů a umožňujícího komunikaci s mikrokontrolerem po sběrnici OneWire. Tento integrovaný obvod obsahuje A/D převodník, oscilátor a logiku potřebnou pro komunikaci přes sběrnici OneWire.

Pro měření teploty používá termistor typu NTC (Negative Temperature Coefficient), což je speciální polovodičová součástka na bázi křemíku, jejíž hlavní vlastností je to, že s rostoucí teplotou klesá její ohmický odpor. Odpor termistoru je potom vyhodnocen integrovaným obvodem a převeden na odpovídající teplotu.

Pro měření vlhkosti se používá kapacitní vlhkoměr, což je kondenzátor velmi citlivý na změnu dielektrika. Obsahuje dvě elektrody, které jsou odděleny vrstvou hygroskopického materiálu, což je látka, která absorbuje vlhkost z okolního vzduchu. Vlhkoměr využívá oscilátoru, který generuje střídavý signál a to umožňuje měřit kapacitu senzoru. Oscilátor vytváří signál o konstantní amplitudě, který je přiveden na elektrody senzoru. V závislosti na kapacitě senzoru se mění časová konstanta signálu, která je přímo úměrná kapacitě senzoru. Tuto časovou konstantu poté měří integrovaný obvod a převádí ji na procentuální vlhkost vzduchu.



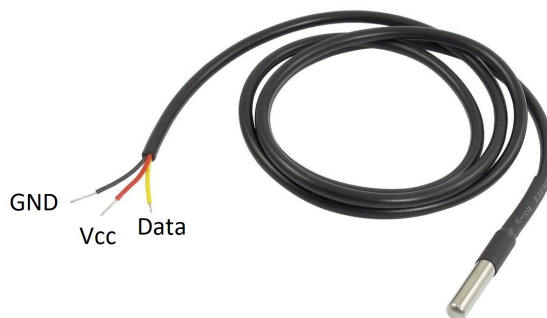
Obrázek 3: DHT22 uvnitř [11]



Obrázek 4: Měřicí moduly DHT11 a DHT22 [12]

5.2 Teplota půdy

Měření vlastností půdy je oproti měření vlastností vzduchu složitější tím, že půda ve skleníku obsahuje vůči kovům relativně agresivní látky jako jsou sodík, draslík, fosfor nebo hořčík. Proto je potřeba volit vhodně zapouzdržené součástky, které takovému prostředí odolají. Pro měření teploty jsem použil digitální teploměr DS18B20 [13] s nerezovým pouzdrzem od výrobce Dallas Semiconductor. Tento senzor má rozsah -55 až $+125^{\circ}\text{C}$, přičemž v rozsahu -10 až $+85^{\circ}\text{C}$ má garantovanou přesnost $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Jedná se o termistor typu NTC s integrovaným 12bitovým A/D převodníkem, oscilátorem a logikou u potřebnou pro komunikaci přes sběrnici OneWire.



Obrázek 5: Digitální teploměr DS18B20 [14]

5.3 Vlhkost půdy

Vlhkost půdy je ze všech veličin nejnáročnější na měření. Zalévaná půda má mnohem menší vlhkostní homogenitu než například teplotní homogenitu. Proto jsem skleník rozdělil do pěti měřených segmentů a v každém je vlhkost měřena nezávisle. Dalším problémem je kontakt s agresivní půdou. Většina nejčastěji prodávaných kapacitních senzorů vlhkosti je totiž konstruovaná na desce plošného spoje s elektrodami z pocínované mědi. Po relativně krátké době může cuprextitová deska hnit, nebo se v půdě úplně rozloží. Proto jsem použil senzor s nerezovým pouzdrzem elektrod HD-38 [15]. Tento senzor má rozsah 0 až 100 % s přesností ± 2 %. Jedná se o vodivostní hygrometr, což znamená, že po přiložení napětí na jeho elektrody bude z první elektrody do druhé skrz půdu procházet proud přímo úměrný vodivosti – tím i vlhkosti půdy.



Obrázek 6: Hygrometr HD-38 [15]

5.4 Výška hladiny vody v nádržích

Zalévání je obecně možné zajistit buď otevíráním a zavíráním ventilu přívodu vody z vodovodu, nebo čerpáním vody z nádrže na dešťovou vodu. V mém případě je voda čerpána z nádrže pomocí ponorného čerpadla, které je vodou zároveň chlazeno, takže je nutné zajistit, aby hladina vody neklesla natolik, že se čerpadlo odhalí a přestane být vodou nadále chlazeno. V takovém případě by mohlo dojít až k jeho spálení.

Z tohoto důvodu jsem použil celkem 4 plovákové koncové spínače [16] jako pojistku. Dva z nich v sérii pro vypnutí při minimální hladině vody a dva paralelně pro vypnutí při maximální hladině vody. Kombinace těchto spínačů vychází z hardwarové implementace výrokové logiky. Sériové spojení spínačů se chová jako logická funkce AND (a zároveň), tedy oba spínače musí být sepnuty, aby na vstupu mikrokontroleru byla detekována logická 1. To znamená, že oba spínače jsou sepnuty, pokud je dost vody, a v případě, že voda klesne pod bezpečnou úroveň, stačí, aby reagoval pouze jeden z nich a na vstupu mikrokontroleru bude logická 0. Podobně je tomu u paralelní kombinace spínačů, která reprezentuje logickou funkci OR (nebo). Oba spínače jsou za normálního stavu nesepnuty a na vstupu mikrokontroleru je logická 0. V případě překročení horní kritické hranice hladiny vody stačí sepnutí aspoň jednoho z nich a na vstupu mikrokontroleru bude logická 1. Využití bezpečnostních koncových spínačů s nejvyšší prioritou tak zvyšuje celkovou robustnost systému.



Obrázek 7: Koncové spínače monitorující minimální hladinu v zalévací nádrži

Ke spojitému měření výšky hladiny jsem použil ultrazvukový senzor vzdálenosti HC-SR04 [17] od výrobce Elecbec ve vodotěsném pouzdru s měřicím rozsahem 3 až 450 cm. Díky pouzdru s třídou těsnosti IP67 lze tento senzor umístit přímo do nádrže.



Obrázek 8: Vodotěsný ultrazvukový senzor vzdálenosti HC-SR04 [17]

6 Aktuátory

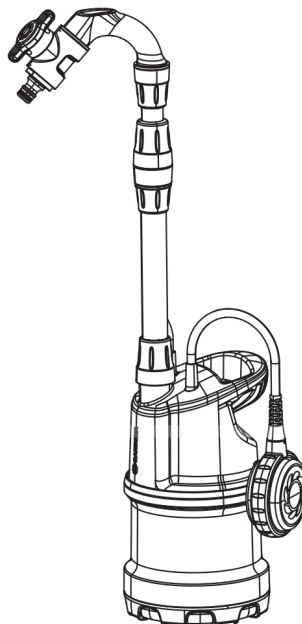
6.1 Ponorné čerpadlo

V mém zapojení figurují dva hlavní akční členy, a to zalévací a přečerpávací ponorné čerpadlo. Obě čerpadla jsou umístěna v nádržích na dešťovou vodu. Jedna nádrž (zásobovací) je u domu a slouží jako zásobník dešťové vody sbírané ze střechy domu a garáže. Druhá nádrž (provozní) je u skleníku, kam se voda přečerpává z zásobovací nádrže. Z provozní nádrže se potom zalévá samotný skleník. Dvě nádrže jsem použil proto, že skleník je příliš daleko od jakékoliv plochy, ze které by se dala voda sbírat.

Požadavky na tato čerpadla nejsou nijak vysoké, vzhledem k tomu, že pro kapénkovou závlahu není potřeba vysoký tlak vody a ani výškový rozdíl mezi nádržemi není příliš velký. Z tohoto důvodu jsem pro obě nádrže použil běžné zahradní ponorné čerpadlo Gardena-4000-1 [18] s příkonem 400W a maximálním čerpacím množstvím 4000l/h.

Vodu čerpanou do zavlažovacích hadic je ale potřeba vyfiltrovat, vzhledem k tomu, že se jedná o dešťovku, jinak se hadice budou zanášet pylem a jinými jemnými částicemi.

GARDENA

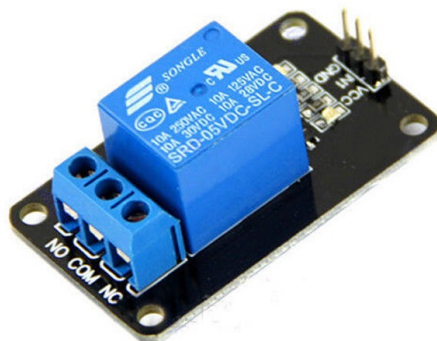


Art. 1762 4000/1

Obrázek 9: Ponorné čerpadlo Gardena-4000-1 [18]

6.2 Modul relé 5V/250V

Za aktuátor lze považovat i modul s relé s řídicím napětím 5 V a spínaným napětím až 250 V. Tyto moduly používám k zapínání a vypínání čerpadel. Oba moduly reagují na hodnotu logické nuly řídicího signálu (LOW-Trigger) [19].



Obrázek 10: Modul relé 5V/250V [19]

7 Použité sběrnice

7.1 SPI (Serial Peripheral Interface)

Sběrnici SPI využívám při komunikaci mezi Arduinem MEGA 2560 a Ethernet Shieldem s integrovaným obvodem W5100 a slotem pro paměťové karty. Sběrnice SPI je sériové periferní rozhraní, využívající ke komunikaci minimálně 4 vodiče (SCLK – synchronizační hodinový signál, MISO – datový vstup Master In Slave Out, MOSI – datový výstup Master Out Slave In a SS – volba Slave Select, kterých může být více podle počtu zařízení typu Slave). Zařízení typu Master (dále jen M) má pro každé zařízení typu Slave (dále jen S) individuální pin Slave Select, kterým volí, s jakým S bude zrovna probíhat komunikace. Obě zařízení M i S mají na rozhraní posuvný registr, který je synchronizován hodinovým signálem generovaným M. Vodič MISO potom slouží k přenosu dat ze S do M a MOSI k přenosu dat z M do S. V mém případě komunikaci SPI využívají pouze dvě zařízení (Arduino MEGA 2560 – Master a Ethernet Shield – Slave), takže M stačí jeden Slave Select pin.

7.2 I2C (Inter-Integrated Circuit)

Sběrnici I2C používám pro komunikaci mezi mikrokontrolery uvnitř skleníku a pro komunikaci s některými perifériemi (LCD 2004 – displej v M-A a DS3231 – modul reálného času RTC). I2C využívá 2 respektive 3 vodiče, jelikož je nutné zajistit stejný potenciál uzemnění všech zúčastněných zařízení. Na rozdíl od SPI s rostoucím počtem zařízení typu Slave není potřeba více vodičů Slave Select, ale každé zařízení má unikátní adresu, takže lze komunikaci s konkrétním zařízením volit softwarově. Výhodou SPI je v tomto případě ale v podstatě neomezený počet zařízení typu Slave, pokud má zařízení typu Master dostatečný počet Slave Select pinů, na rozdíl od I2C, které má počet zařízení typu Slave omezený počtem adres obvykle na 112. Na rozdíl od SPI, které informaci posílá po jednotlivých bitech, I2C posílá informaci po rámcích, které jsou generovány hodinovým signálem SCL (Synchronous Clock) a posílány po vodiči SDA (Synchronous Data). Každý rámec obsahuje adresu zařízení, se kterým chce komunikovat, a buď příkaz nebo data.

7.3 CAN (Controller Area Network)

Veškeré mikrokontrolery zajišťující řízení zalévání, obsluhu senzorů a připojení k internetu jsou umístěny přímo ve skleníku a komunikují pomocí sběrnice I2C. Jediným mikrokontrolerem, který ve skleníku není, je M-B, který se nachází v garáži. Garáž a skleník jsou ale od sebe vzdálené okolo 60 metrů, takže komunikace SPI ani I2C bohužel nebylo možné použít, protože vzdálenost, na kterou je možné tyto sběrnice použít, je omezena parazitními kapacitami jen na několik metrů. Proto jsem pro komunikaci mezi garáží a skleníkem zvolil sběrnici CAN, kterou lze použít na vzdálenosti až stovky metrů. Sběrnice CAN využívá obecně pouze dva vodiče (CANH – High a CANL – Low), ke kterým jsou připojena všechna zúčastněná zařízení.

7.4 OneWire (jednovodičová sběrnice)

Podobně jako I2C i OneWire využívá systém adres. Každé zařízení na sběrnici OneWire má unikátní 64bitovou adresu, která slouží k jednoznačnému adresování. Rozdíl je však v tom, že OneWire umožňuje napájení připojeného zařízení přímo z datové linky, uzemnění ale musí mít stejný potenciál. Komunikace spočívá v zasílání krátkých pulzů, kdy logické 1 je přiřazena jiná délka trvání než logické 0. Tímto způsobem lze zakódovat zprávu v binární reprezentaci obsahující adresu daného zařízení typu slave a příkazu nebo žádosti o data.

Díky těmto vlastnostem se sběrnice OneWire často využívá pro komunikaci s jednoduchými senzory, které nevyžadují složitou infrastrukturu a mohou být napájeny z datové linky.

8 Použité mikrokontrolery a jejich doplňky

8.1 Arduino Nano

Arduino Nano [20] je mikrokontroler od společnosti Arduino LLC s procesorem ATmega328P [21] s taktovací frekvencí 16 MHz od výrobce Microchip Technology. Disponuje 2 kB SRAM a 32 kB FLASH pamětí, z čehož 2 kB jsou rezervovány pro Bootloader (interní program připravující hardware před spuštěním uživatelského programu).

Arduino Nano obsahuje 14 digitálních GPIO pinů (z toho 6 podporují PWM) a 8 analogových vstupů. Kromě toho má také napájecí port pro připojení napájecího zdroje a resetovací tlačítko. K dispozici má šestici pinů ICSP (In-Circuit Serial Programming) pro programování procesoru pomocí sériového programátoru v případě, že by nebylo možné využít nahrávání programu přes USB port. Tyto piny jsou paralelně připojeny k pinům 11 - MOSI (Master Out Slave In), 12 - MISO (Master In Slave Out), 13 - SCK (Serial Clock), 5 V (Zdroj napětí), GND (Uzemnění) a RST (Reset). Arduino Nano má také dva piny dedikované komunikaci přes sběrnici I2C, a to A4 - SDA (Serial Data) a A5 - SCL (Serial Clock).

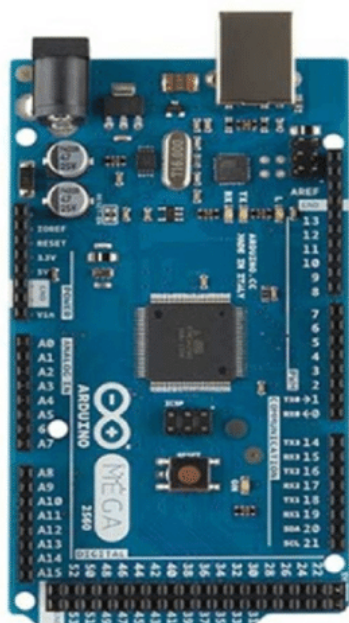
Napájecí napětí mikrokontroleru Arduino Nano při použití externího zdroje napětí je v rozmezí 6 V až 20 V. Dá se ale napájet přímo přes USB konektor určený pro komunikaci s počítačem a programování procesoru. Má k dispozici dva stabilní napěťové zdroje 5 V a 3,3 V. Zdroj 5V unese proudovou zátěž až 800 mA, zatímco zdroj 3,3 V unese proudovou zátěž do 150 mA. Digitální piny jsou schopny poskytnout výstupní proud až 40 mA.

8.2 Arduino Uno

Mikrokontroler Arduino Uno [22] je stejně jako Arduino Nano mikrokontroler od společnosti Arduino LLC a dokonce má i stejný procesor ATmega328P s taktovací frekvencí 16 MHz. Také disponuje 2 kB SRAM a 32 kB FLASH pamětí. Liší se především rozměry, počtem GPIO pinů. Arduino Uno má 14 digitálních GPIO pinů (z toho 6 podporují PWM), 6 analogových vstupů. Výhodou oproti mikrokontroleru Arduino Nano je větší kompatibilita s rozšiřujícími moduly, jako je například ethernet shield.

8.3 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 [23] je mikrokontroler od společnosti Arduino LLC založený na čipu ATmega2560 [24] s taktovací frekvencí 16 MHz od výrobce Microchip Technology. Má k dispozici 8 kB SRAM a 256 kB FLASH paměť, z čehož 8 kB je rezervováno pro Bootloader. Má 54 digitálních GPIO pinů (z toho 15 může být použito jako PWM výstupy) a 16 analogových vstupů. Arduino Mega 2560 disponuje 16 analogovými piny a 4 sériovými porty pro komunikaci. Operační napětí je 5 V, přičemž může být napájeno přes USB nebo externí zdroj napětí. Má 256 KB flash paměti pro ukládání kódu, 8 KB SRAM pro dočasné ukládání dat a 4 KB EEPROM pro dlouhodobé ukládání dat.



Arduino Mega 2560



Arduino Uno



Arduino Nano

Obrázek 11: Mikrokontrolery Arduino

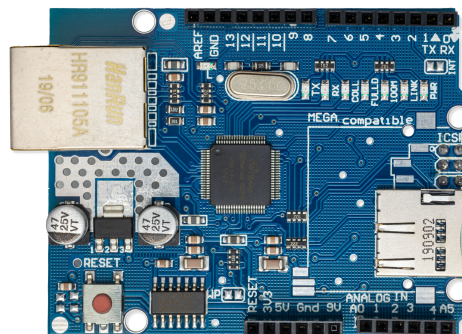
Tabulka 2: Srovnání parametrů mezi Arduinem Uno, Nano a Mega 2560

Parametr	Arduino Uno	Arduino Nano	Arduino Mega 2560
Procesor	ATmega328P	ATmega328P	ATmega2560
Taktovací frekvence	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Flash paměť	32 KB	32 KB	256 KB
SRAM paměť	2 KB	2 KB	8 KB
ICSP piny	Ano	Ano	Ano
Typ USB konektoru	USB-B	Micro USB	USB-B
Rozsah napájecího napětí	7-12 V	6-20 V	6-20 V
Maximální proud z pinu 5V	500 mA	500 mA	800 mA
Maximální proud z pinu 3,3V	150	150 mA	150 mA
Maximální proud z digitálních pinů	40 mA	40 mA	40 mA
Počet digitálních pinů	14	14	54
Počet analogových pinů	6	8	16
Počet PWM pinů	6	6	15
Rozměry v mm	17,5 x 43	68,6 x 53,4	53,3 x 101,5

8.4 Modul Ethernet shield

Modul Ethernet shield s integrovaným obvodem W5100 od výrobce WIZnet Co., Ltd. [25] je rozšiřující modul pro mikrokontrolery Arduino umožňující přístup k ethernetové síti. Integrovaný obvod W5100 umožňuje integrovanou podporu pro síťové protokoly TCP/IP. Modul obsahuje Ethernetový port RJ-45 pro připojení k síti a komunikuje s mikrokontrolerem Arduino pomocí sériového rozhraní SPI. Podporuje rychlosti Ethernetu až 10/100 Mbit/s.

K dispozici má také slot pro připojení paměťové karty SD, se kterou ale sdílí sběrnici SPI. Vzhledem k tomu, že zařízení typu Master je v tomto případě mikrokontroler Arduino a integrovaný obvod W5100 i čtečka SD karty jsou zařízení typu Slave, není možné obě tato zařízení používat současně. Integrovanému obvodu W5100 je přiřazen Slave Select pin 10 a čtečce SD karty je přiřazen Slave Select pin 4. Při používání těchto zařízení je vždy nutné nastavit daný Slave Select pin na hodnotu logické 1 a Slave Select pin druhého zařízení na hodnotu logické 0, aby nedošlo k chybě v komunikaci po sběrnici SPI.

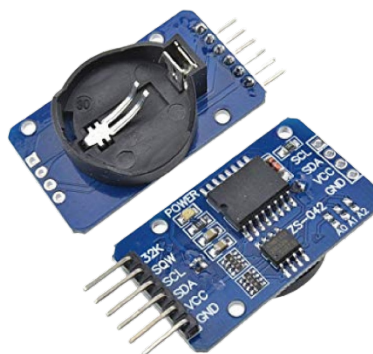


Obrázek 12: Modul Ethernet shield W5100 [25]

8.5 Modul hodin reálného času

Modul hodin reálného času DS3231 [26] obsahuje přepisovatelný paměťový čip AT24C32 od společnosti Microchip Technology a vlastní krystalový oscilátor s teplotní korekcí generující frekvenci 32 kHz. S mikrokontrolerem komunikuje po sběrnici I2C a využívá 7bitovou adresu.

Modul poskytuje přesný čas a datum, které lze číst a nastavovat pomocí příkazů I2C protokolu. Díky paměťovému čipu umožňuje modul také ukládání a načítání dat, což je vhodné pro uchovávání událostí nebo konfigurací v dlouhodobém provozu. V případě odpojení napájení je modul vybaven slotem na záložní baterii, aby údaje o času zůstaly zachovány. Nutno podotknout, že tato baterie nutně musí být dobíjecí, jelikož je stále spojena s napájecím pinem.



Obrázek 13: Modul hodin reálného času DS3231 [26]

8.6 Maticový sedmisegmentový displej

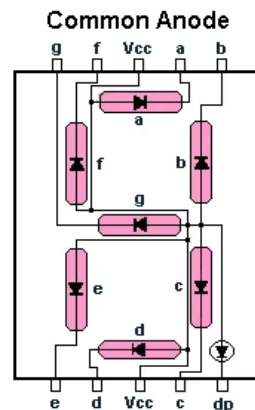
Použitý maticový sedmisegmentový displej se skládá ze čtyř digitů. Každý digit má sedm segmentů (A, B, C, D, E a F) a tečku (DP). Každý segment je samostatná LED dioda. V rámci jednoho digitu jsou anody všech těchto segmentů spojeny do jedné elektrody. Maticový je proto, že katody všech odpovídajících si segmentů jsou propojeny, čímž vzniká maticový systém. Pro zobrazení segmentu A na prvním digitu tedy stačí přivést napětí na první anodu a uzemnit katodu segmentů A.

Tím však vyvstává otázka, jak zobrazit různé číslice na všech čtyřech digitech současně, když jsou jejich segmenty navzájem propojené. To je vyřešeno tím, že je v daném okamžiku opravdu rozsvícen pouze jeden digit, ale na velmi krátkou dobu. Vždy se přivede napětí na anodu daného digitu, uzemní se katody požadovaných segmentů, počká se několik milisekund, potom se přivede napětí na anodu vedlejšího digitu a uzemní se katody segmentů vytvářející jiný symbol.

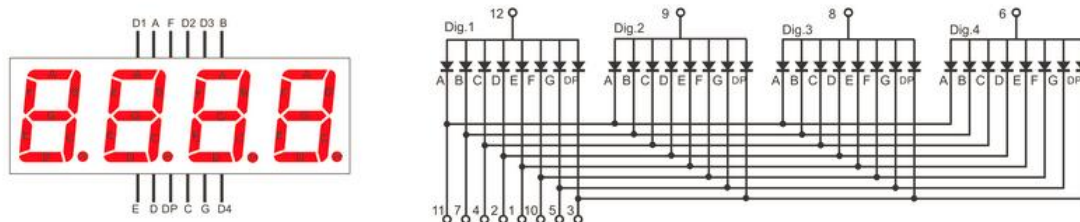
V této implementaci je nutno volit mezi jasem a obnovovací frekvencí. Při dlouhé době čekání sice digity svítí v kuse déle, tudíž působí jasněji, ale obnovovací frekvence je příliš nízká a lidské oko rozezná, že displej bliká. V případě zvýšení frekvence – snížení čekací doby, sice oko nerozezná blikání, ale jas dosti oslabí.

Proto je nutné najít optimální poměr těchto dvou faktorů, který v mém případě činí čekací doba 5 ms.

Pro uzemňování katod jednotlivých segmentů jsem zvolil výstupní posuvný registr 74HC595 [28] od výrobce Texas Instruments. Tento posuvný registr umožňuje převod sériového signálu na paralelní. Například pošleme-li z mikrokontroleru do tohoto registru binární číslo, jehož jednotlivé bity reprezentují katody přiřazených segmentů, nastaví posuvný registr stavy jeho výstupních pinů na hodnoty odpovídajících bitů, čímž jsou některé katody uzemněny a některé ne. Tímto způsobem lze požadovaným symbolům přiřadit binární číslo, které se pro zobrazení požadovaného symbolu bude registru posílat.



Obrázek 14: Zapojení 1 digitu displeje [27]

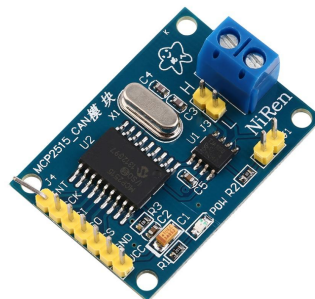


Obrázek 15: Maticový sedmisegmentový displej [29]

8.7 Modul pro komunikaci přes CAN

Modul s integrovaným obvodem MCP2515 Microchip Technology [30] umožňuje připojení mikrokontroleru nebo jiného zařízení ke sběrnici CAN (Controller Area Network) a umožňuje tak přenos dat mezi připojenými zařízeními i na delší vzdálenosti. Podporuje rychlosti přenosu až 1 Mb/s a je kompatibilní s CAN 2.0B protokolem.

Modul je vybaven SPI (Serial Peripheral Interface) rozhraním, které se používá pro komunikaci s mikrokontrolerem. MCP2515 obsahuje přijímač a vysílač s vlastními vyrovnávacími paměťmi pro přijatá a odeslaná data. Podporuje identifikaci filtrů a maskování, což umožňuje filtrování příchozích a odchozích zpráv dle přiřazených hexadecimálních adres. Modul poskytuje možnost ovládání a nastavení různých parametrů CAN komunikace, jako je rychlost přenosu, režimy přenosu a přerušení. Vodiče CANH (High) a CANL (Low) se připojí do svorkovnice na desce.

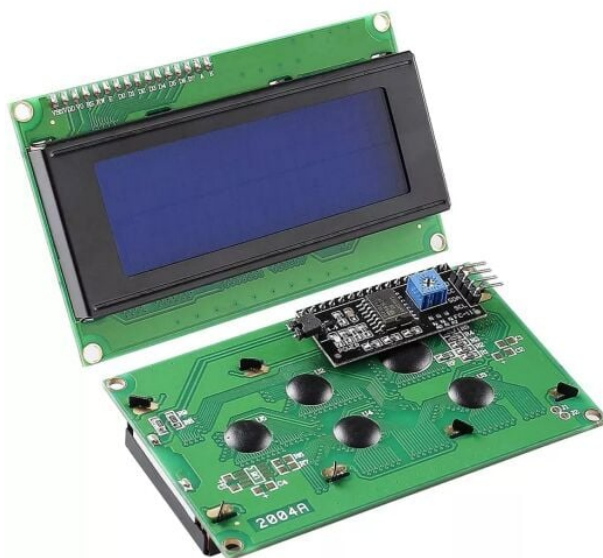


Obrázek 16: Modul s integrovaným obvodem MCP2515 [30]

8.8 LCD I2C displej

Použitý LCD (Liquid Crystal Display) má formát 20x4 (20 symbolů, 4 řádky). Tento displej obsahuje vestavěný řadič HD44780 od výrobce Hitachi [31]. Řadič HD44780 zajišťuje ovládání a řízení zobrazení na obrazovce. Podporuje také zobrazení různých znaků, včetně písmen, číslic, symbolů a speciálních znaků. K dispozici je také možnost nastavení jasu podsvícení displeje.

Displej je vybaven kontrastním trimrem, který umožňuje nastavení kontrastu textu na obrazovce. Pro ovládání displeje se používají příkazy, které jsou odesílány přes I2C sběrnici, a lze je použít k nastavení pozice kurzoru, zobrazení textu nebo čísla na obrazovce a dalších funkcí.



Obrázek 17: I2C LCD displej [32]

9 Napájení a umístění použitých komponentů

Jednotlivé mikrokontrolery s připojenými moduly a prototypové desky jsem uložil do elektroinstalačních krabic [33] se stupněm krytí IP55 a s průchodkami pro připojení napájení, senzorů atd., až na mikrokontroler M-A, který je umístěn v rozvodnici s odklopným víkem. Pro napájení jsem zvolil dva oddělené spínané zdroje napětí 5 V umístěné do elektroinstalační krabice k mikrokontrolerům M-B a M-D. První z nich napájí samotné mikrokontrolery a jeho maximální výstupní proud je 1 A. Z tohoto zdroje jsou napájeny mikrokontrolery M-B a M-D s ethernet shield modulem a dále je jeho výstup zaveden do rozvodnice, kde napájí mikrokontroler M-A a jeho periferie (LCD displej, modul pro komunikaci přes CAN a signalizační maják). Druhý spínaný zdroj s maximálním výstupním proudem 500 mA je určen pro napájení senzorů. K tomuto zdroji jsou připojeny plovákové spínače, půdní teploměr, teploměr a vlhkoměr vzduchu, ultrazvukový senzor vzdálenosti, vyhodnocovací logika senzorů vlhkosti půdy, modul hodin reálného času ale i relé pro spínání zalévacího čerpadla.

Oba tyto zdroje mají společnou zem, aby nedošlo k rozdílnému potenciálu. Pro účely testování kódu jsem tyto zdroje odpojil a nahradil společným napájením ze sběrnice USB připojené k počítači. Pro dlouhodobé používání jsem však usoudil, že bude vhodné mít zdroje dva, aby zdroj nemusel dlouhodobě dodávat proud blízko jeho maximální hodnotě. To by mohlo vést k zahřívání zdroje a jeho následné nižší životnosti. V budoucnu plánuji připojit ještě jeden redundantní záložní zdroj pro případ, že jeden z těchto dvou zdrojů přestane fungovat. K tomu bude potřeba zajistit logiku s vlastním bateriovým napájením, která v případě poruchy systém přepojí na náhradní zdroj a systém tak zůstane operativní.

V případě nebezpečí v podobě zkratu či přehřátí je možné přímo ve skleníku vypnout přívod napájení těchto dvou zdrojů pomocí nouzového tlačítka. Vypnutí celého systému umožní zastavení přívodu napájení do všech komponent, takže se jednotlivé části nemusí vypínat samostatně.

9.1 Rozvaděč ve skleníku (M-A)

Mikrokontroler M-A s jeho perifériemi je umístěn v rozvodnici s odklopným víkem [34]. V tomto případě nebylo potřeba desku plošného spoje vůbec použít, protože se periferie daly připojit k mikrokontroleru Arduino Uno přímo kabelovými propojkami. Pro tento účel jsem do dutinkové lišty umístěné na desce mikrokontroleru zavedl oboustranné samčí konektory tvaru písmene „L“ [35], na které jsem následně připojil samičí kabelové propojky Dupont [36].

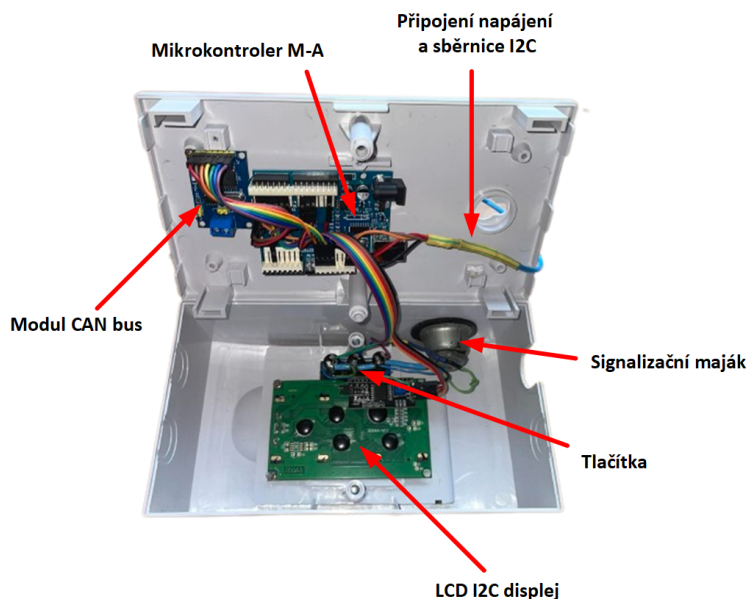
Jako těleso signalizačního majáku jsem použil starý světelný ukazatel směru, který jsem našel v dědečkově garáži. Výrobce se mi bohužel nepodařilo dohledat, ale podle vzhledu se s největší pravděpodobností jedná o směrový ukazatel z nákladního automobilu Tatra 813 vyráběného v letech 1967 až 1982. V tělese majáku je umístěna bílá dioda, jejíž katoda je přes rezistor 200 Ω připojena ke kovové části tělesa majáku. Její anoda je připojena k pinu A3 mikrokontroleru Arduino Uno. Kovová část tělesa majáku je uzemněna a slouží jako lokální uzemnění i pro LCD displej a ovládací tlačítka, takže je k mikrokontroleru potřeba vést jen jeden uzemňovací vodič.

Do rozvodnice jsem vyřízl otvor pro LCD displej a tlačítka, takže jsou přístupná z vnějšku, ale zároveň krytá plastovým krytem. Tlačítka jsou inicializována v kódu mikrokontroleru jako "INPUT_PULLUP", což znamená, že jsou interně v mikrokontroleru připojena přes rezistor k napájení, takže jejich výchozí stav je logická 1 a nemůže tak dojít k náhodnému samostisknutí. Jejich druhý pól je připojen na zem, takže po stisku se na vstupu mikrokontroleru objeví logická 0.

LCD displej je potom přiveden na piny A4 a A5, protože ke komunikaci s mikrokontrolerem využívá sběrnici I2C. Připojení je realizováno rovnou kabelovými propojkami, protože na výstupní piny LCD displeje je od výrobce připájen samčí konektor kompatibilní se samičím konektorem Dupont.

Stejně je tomu u připojení modulu pro komunikaci přes CAN, jehož výstupní piny jsou připojeny obdobně.

Vodiče napájení a sběrnice I2C jsou přivedeny na odpovídající piny mikrokontroleru kabelem vedoucím z elektroinstalační krabice s mikrokontrolery M-C a M-D.



Obrázek 18: Umístění mikrokontroleru M-A v rozvodnici

Tabulka 3: Přehled připojení k pinům mikrokontroleru M-A

Arduino UNO - Rozvaděč ve skleníku		
Číslo pinu	Charakter	Popis
A0	IN	Modré tlačítko
A1	IN	Červené tlačítko
A2	IN	Zelené tlačítko
A3	OUT	Signalizační maják
A4(SDA)	-	I2C - SDA (Serial Data)
A5(SCL)	-	I2C - SCL (Serial Clock)
2	-	MPC2515 - INT
10	-	SPI - Slave Select pin pro MPC2515
11	-	SPI - MOSI (Master Out Slave In)
12	-	SPI - MISO (Master In Slave Out)
13	-	SPI - SCK (Serial Clock)
SDA	-	I2C - SDA (Serial Data)
SCL	-	I2C - SCL (Serial Clock)

9.2 Rozvaděč v garáži (M-B)

Mikrokontroler M-B je umístěn v elektroinstalační krabici spolu s modulem relé spínajícího přečerpávací čerpadlo a modulem pro komunikaci přes CAN. Vzhledem k tomu, že se jedná o mikrokontroler Arduino Nano, které není možné přišroubovat z důvodu absence otvoru pro šroub, jsem ho zasunul do dutinkové lišty připájené k prototypové desce. K této desce je připájen i oboustranný samčí konektor tvaru písmene „L“ propojený s odpovídajícími piny dutinkové lišty. Na této desce jsou také umístěny 3 svorkovnice se dvěma otvory pro připojení vodičů. Dvě z nich slouží pro připojení plovákových spínačů, jedna pro připojení ultrazvukového senzoru vzdálenosti a jedna pro připojení napájení 5 V.

Přímo na tuto prototypovou desku je také připojena jedna menší prototypová deska pod úhlem 90°. Ta je umístěna tak, že se opírá o zadní část mikrokontroleru Arduino Nano, což zvyšuje její stabilitu a pevnost. Na tuto desku je připájeno tlačítko tak, že je přímo pod středem gumové záslepky na straně elektroinstalační krabice. Díky tomu nebylo nutné připojovat tlačítko externě.

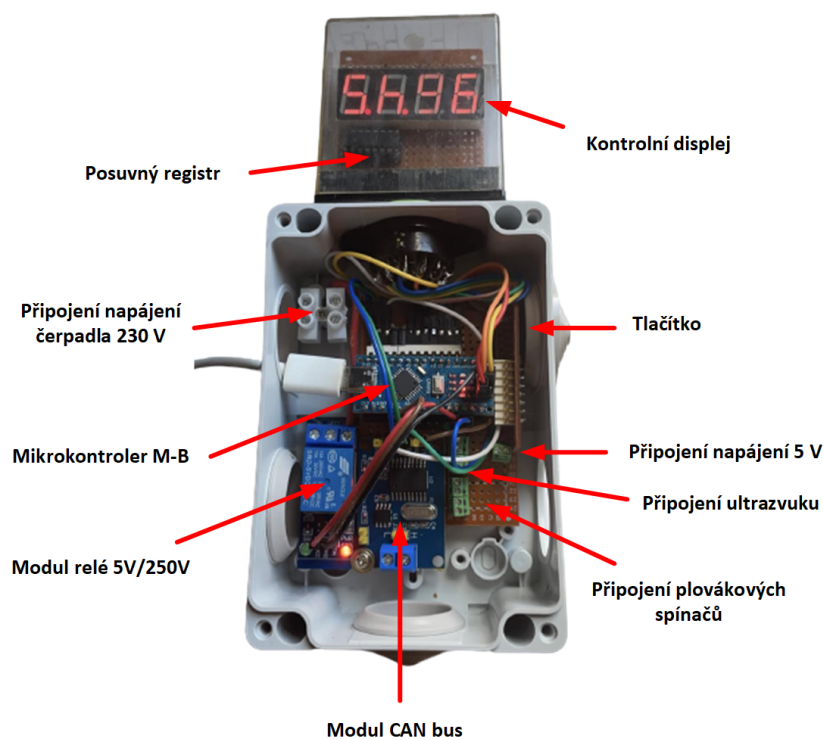
K této elektroinstalační krabici je také připojen plastový kryt se sedmisegmentovým displejem a posuvným registrem propojeným na prototypové desce. Díky možnosti zasadit tento kryt do patice, která se přesně vešla do otvoru krabice, bylo možné kryt připojit externě ke krabici, aniž bych ji musel nějak upravovat.

Jedná se o kryt, který jsem opět našel v dědečkově garáži a dříve patřil ke starému relé v domovním rozvaděči.

Konektory patice jsou přivedeny přes kabelové propojky Dupont k prototypové desce s mikrokontrolerem, takže celý obvod zůstal modulární a v případě poruchy lze snadno rozebrat.

Tabulka 4: Přehled připojení k pinům mikrokontroleru M-B

Arduino Nano - Rozvaděč v garáži		
Číslo pinu	Charakter	Popis
A0	IN	Relé NO – přečerpávání ze zásobovací nádrže do provozní nádrže
A1	IN	Tlačítko přepínání zobrazovaných veličin
A2	OUT	2 Plováky NO paralelně – maximální hladina v zásobovací nádrži
A3	OUT	2 Plováky NC v sérii – minimální hladina v zásobovací nádrži
2	-	MPC2515 - INT
3	-	SPI - Slave Select pin pro 74HC595
4	OUT	Anoda druhého digitu displeje
5	OUT	Anoda třetího digitu displeje
6	OUT	Anoda čtvrtého digitu displeje
7	OUT	Anoda prvního digitu displeje
8	IN	RX - Ultrazvuk HC-SR04 – hladina v zásobovací nádrži
9	OUT	TX - Ultrazvuk HC-SR04 – hladina v zásobovací nádrži
10	-	SPI - Slave Select pin pro MPC2515
11	-	SPI - MOSI (Master Out Slave In)
12	-	SPI - MISO (Master In Slave Out)
13	-	SPI - SCK (Serial Clock)



Obrázek 19: Umístění mikrokontroleru M-B v elektroinstalační krabici s připojeným displejem

9.3 Obsluha senzorů (M-C) a Server (M-D)

Mikrokontrolery M-C a M-D jsou uloženy v jedné elektroinstalační krabici spolu se spínanými zdroji, nouzovým tlačítkem a ostatními periferiemi.

Mikrokontroler M-C (Arduino Nano) je zasazen do dutinkové lišty připájené k prototypové desce. K této desce je připojen oboustranný samčí konektor tvaru písmene „L“ sloužící k připojení napájení ze spínaných zdrojů a desky s vyhodnocovací logikou senzorů vlhkosti půdy. Zároveň je na této desce umístěn i modul hodin reálného času a 9 svorkovnic, z čehož 2 z nich slouží k vyvedení napájení a sběrnice I2C pro mikrokontroler M-A, a zbylých 7 slouží k připojení zbytku senzorů k mikrokontroleru M-C.

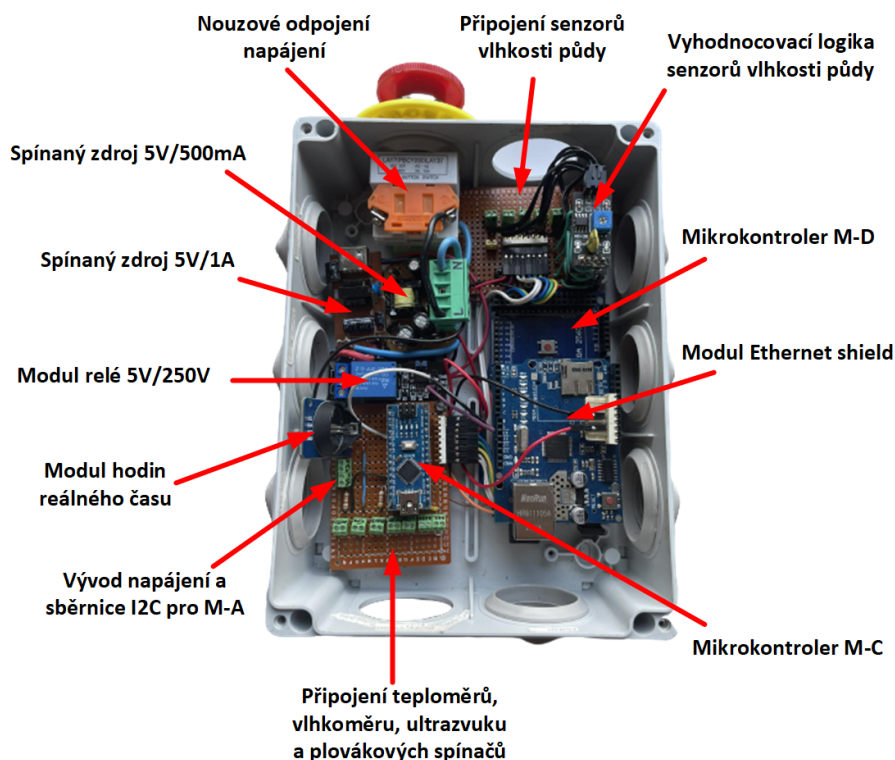
Senzory využívající sběrnici OneWire vyžadují pro správnou funkci tzv. pull-up rezistory propojující datovou linku s napájením. Tyto rezistory jsou k této desce připájeny také.

Vyhodnocovací logika senzorů vlhkosti půdy má vlastní prototypovou desku, k níž jsou připojeny jednotlivé externí vyhodnocovací moduly pro každý segment a 5 svorkovnic pro připojení sond.

S prototypovou deskou mikrokontroleru M-C je propojena díky oboustrannému samčímu konektoru tvaru písmene „L“ umožňujícím připojení kabelových propojek Dupont.

Mikrokontroler M-D (Arduino Mega 2560) je přišroubován přímo k elektroinstalační krabici a jeho jediná periferie je modul Ethernet shield, který je zasazen přímo do dutinkových lišet M-D.

Napájení a připojení sběrnice I2C je zajištěno díky oboustrannému samčímu konektoru tvaru písmene „L“ zasazeného do dutinkové lišty modulu Ethernet shield a kabelovým propojkám Dupont.



Obrázek 20: Uložení mikrokontroleru M-C a M-D

Tabulka 5: Přehled připojení k pinům mikrokontroleru M-C

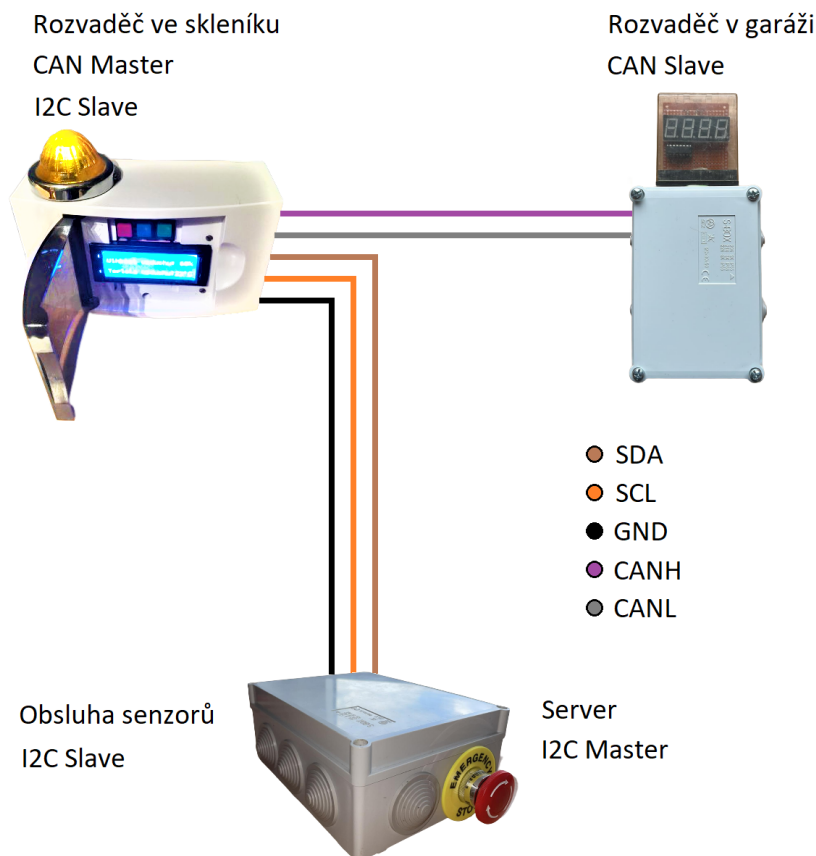
Arduino Nano - Obsluha senzorů		
Číslo pinu	Charakter	Popis
A1	IN	Vlhkost půdy - segment 1
A2	IN	Vlhkost půdy - segment 5
A3	IN	Vlhkost půdy - segment 4
A4(SDA)	-	I2C - SDA (Serial Data)
A5(SCL)	-	I2C - SCL (Serial Data)
A6	IN	Vlhkost půdy - segment 2
A7	IN	Vlhkost půdy - segment 3
2	OUT	Relé NO – Zalévání skleníku
5	IN	Teplota a vlhkost vzduchu DHT22
8	IN	2 Plováky NO paralelně – maximální hladina provozní nádrže
9	IN	Teplota půdy NTC termistor DS18B20
11	OUT	TX - Ultrazvuk HC-SR04 – hladina provozní nádrže
12	IN	RX - Ultrazvuk HC-SR04 – hladina provozní nádrže
13	IN	2 Plováky NC v sérii – minimální hladina provozní nádrže
SDA	-	I2C - SDA (Serial Data)
SCL	-	I2C - SCL (Serial Data)

Tabulka 6: Přehled připojení k pinům mikrokontroleru M-D

Arduino MEGA 2560 - Server		
Číslo pinu	Charakter	Popis
4	OUT	SPI - SS (Slave Select) pro čtečku karty SD
10	OUT	SPI - SS (Slave Select) pro W5100
20	-	I2C - SDA (Serial Data)
21	-	I2C - SCL (Serial Clock)
11	-	SPI - MOSI (Master Out Slave In)
12	-	SPI - MISO (Master In Slave Out)
13	-	SPI - SCK (Serial Clock)
IOREF	-	Ethernet shield - IOREF
AREF	-	Ethernet shield - AREF

10 Popis algoritmu

Algoritmus celého zavlažovacího systému je rozdělen mezi čtyři mikrokontrolery, které jsou decentralizované a mají přidělen specifický úkol. Každý mikrokontroler zpracovává svůj vlastní kód, což umožňuje rychlé a přesné zpracování více úloh najednou. Tato decentralizace a rozdělení úloh zajišťuje spolehlivost a rychlost celého systému. Zejména u zavlažovacích systémů, kde chyba může negativně ovlivnit kvalitu zalévání a tím i výslednou úrodu, je důležité, aby systém fungoval spolehlivě a efektivně. Použití více mikrokontrolerů tedy zajišťuje větší efektivitu a spolehlivost celého systému.



Obrázek 21: Hierarchie mikrokontrolerů

10.1 Popis funkce mikrokontroleru M-A (rozvaděč ve skleníku)

Rozvaděč ve skleníku zajišťuje rozhraní mezi uživatelem a celým zavlažovacím systémem přímo ve skleníku. Díky třem tlačítkům a LCD displeji lze sledovat či upravovat algoritmus zalévání. Tento rozvaděč se skládá z mikrokontroleru Arduino Uno, tří tlačítek, I2C LCD displeje, signalizačního majáku a modulu s integrovaným obvodem MCP2515 od výrobce Microchip technology [30] umožňující komunikaci s rozvaděčem ve skleníku (M-B) po sběrnici CAN.

Po spuštění je LCD displej v rámci úspory energie vypnutý a zapne se při stisknutí libovolného tlačítka. Následně se zobrazí první strana menu, kde uživatel vidí, jaká je teplota a vlhkost ve skleníku. Modrým tlačítkem se posune na další stranu, kde vidí stav vody v přečerpávací nádrži a stav čerpadla. Zeleným tlačítkem lze čerpadlo zapnout a červeným opět vypnout. Po posunutí se pomocí modrého tlačítka na další stranu menu je vidět totéž pro zalévací nádrž. Na další straně je možné nastavit hodinu zalévání a na další straně minutu zalévání. Červeným tlačítkem se minuty ubírají a zeleným přidávají. Na další – poslední straně je předpověď počasí na další den a po opětovném stisknutí modrého tlačítka se uživatel dostane na konec menu a displej zhasne.

V případě zapnutí jakéhokoliv z čerpadel začne maják blikat, čímž signalizuje změnu stavu vody v nádržích.

10.2 Popis funkce mikrokontroleru M-B (rozvaděč v garáži)

Rozvaděč v garáži sestává z mikrokontroleru Arduino Nano, kontrolního čtyřdigitového sedmi-segmentového displeje, tlačítka, spínacího relé a modulu s integrovaným obvodem MCP2515 umožňující komunikaci s rozvaděčem ve skleníku (M-A) po sběrnici CAN. Externě se k němu připojuje ultrazvukový senzor výšky hladiny v zásobovací nádrži, koncové plovákové spínače detekující minimum či maximum vody v zásobovací nádrži, vodiče H a L pro komunikaci po sběrnici CAN a vodiče napájející přečerpávací čerpadlo.

Funkce M-B spočívá v tom, že průběžně kontroluje stav hladiny v zásobovací nádrži, stav bezpečnostních koncových spínačů a ovládání přečerpávacího čerpadla. Jednou za minutu navíc pošle do M-A zprávu o stavu hladiny vody přes sběrnici CAN. V případě, že jsou k dispozici data pro příjem od M-A, je uloží k pozdějšímu vypsání na kontrolní displej.

Pro zobrazování údajů na kontrolním displeji má M-B k dispozici pole celých čísel (integer), jehož položky jsou proměnné s informací o jednotlivých veličinách ze skleníku. V okamžiku stisknutí tlačítka dojde k přerušení kódu a na kontrolním displeji se zobrazí písmenné označení veličiny na nulté pozici v poli a její zaokrouhlená hodnota. Při dalším stisknutí se přerušení ukončí, displej zhasne, pozice další zobrazované veličiny v poli se inkrementuje a program pokračuje. Takto se dá snadno zobrazit teplota vzduchu a půdy v celých stupních, vlhkost vzduchu a půdy v celých procentech a hladina vody v zásobovací a zalévací nádrži v celých centimetrech.

Tabulka 7: Popis označení veličin zobrazovaných na kontrolním displeji

Označení	Veličina
H.	Hladina v zásobovací nádrži v cm
A.t.	Teplota vzduchu v celých stupních
S.t.	Teplota půdy v celých stupních
A.h.	Vlhkost vzduchu v celých procentech
S.h.	Vlhkost půdy v celých procentech
h.	Hladina v zalévací nádrži v cm

V případě pokynu k zalévání obdrženo ze zprávy zaslané od M-A po sběrnici CAN se spustí přečerpávací čerpadlo a zpět se odešle potvrzovací zpráva, že je čerpadlo spuštěno. Při obdržení pokynu pro vypnutí přečerpávání se čerpadlo vypne a opět je odeslána potvrzovací zpráva, že je čerpadlo vypnuto.

Každá zpráva po sběrnici CAN má svůj unikátní identifikátor, takže nemůže dojít k záměně. Při přijímání dat se obsah zprávy uloží do odpovídající proměnné právě na základě tohoto identifikátoru. Díky hexadecimálnímu formátu identifikátoru lze hexadecimální čísla obsahující písmena interpretovat rovnou jako písmenné zkratky. Například identifikátor s číslem 0xea jsem přiřadil obecné chybové hlášce o erroru ve skleníku, protože toto číslo si lze intuitivně spojit se zkratkou Error A, jako M-A.

Tabulka 8: Popis adresních hodnot v komunikaci mezi M-A a M-B po sběrnici CAN

Adresa	Popis	Formát
0xea	Obecná chybová hláška o erroru ve skleníku	-
0xeb	Obecná chybová hláška o erroru v garáži	-
0xeb1	M-B posílá informaci o maximu nebo minimu hladiny v zásobovací nádrži	1 bool
0xb1	M-B posílá data o hladině v zásobovací nádrži v celých cm	3 digity
0xa2	M-A posílá data o teplotě vzduchu v celých stupních	2 digity
0xa3	M-A posílá data o teplotě půdy v celých stupních	2 digity
0xa4	M-A posílá data o vlhkosti vzduchu v celých procentech	2 digity
0xa5	M-A posílá data o vlhkosti půdy v celých stupních	2 digity
0xa6	M-A posílá data o hladině v zalévací nádrži v celých cm	3 digity
0xac	M-A posílá žádost o zapnutí/vypnutí přečerpávacího čerpadla	1 bool
0xbc	M-B posílá potvrzení zapnutí/vypnutí přečerpávacího čerpadla	1 bool

10.3 Popis funkce mikrokontroleru M-C (obsluha senzorů)

Obsluha senzorů sestává z mikrokontroleru Arduino Nano, pěti senzorů vlhkosti půdy, modulu pro měření vlhkosti a teploty vzduchu, senzoru teploty půdy a relé ovládajícího zalévání skleníku. V případě výpadku připojení k internetu disponuje obsluha senzorů ještě modulem hodin reálného času (RTC), takže se zachová údaj o čase a zalévání proběhne ve správnou dobu.

Hlavní úlohou tohoto mikrokontroleru je číst data o stavu prostředí ve skleníku ze senzorů a spínat a vypínat zalévací čerpadlo. V první části jeho programu jsou načtena data ze senzorů a údaje o jednotlivých veličinách jsou zaslány přes sběrnici I2C do M-D, který tyto údaje zobrazí ve webové aplikaci, a do M-A, který tyto údaje pošle do M-B po sběrnici CAN a případně je zobrazí na displeji.

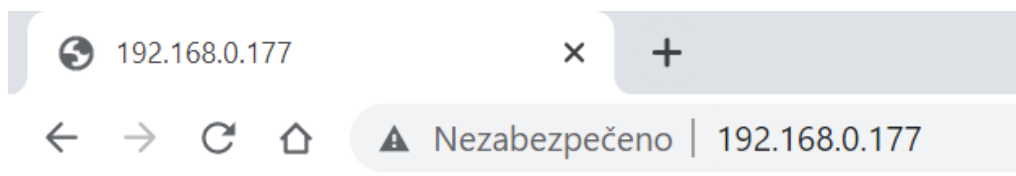
V případě, že M-C obdrží zprávu po sběrnici I2C od M-A nebo od M-D s požadavkem na zalévání, sepne relé, které ovládá zalévání. Díky připojenému modulu reálných hodin si uloží čas, kdy se začalo zalévat a vypočítá čas, kdy se zalévat přestane, aby byla splněna délka zalévání. Aktuální čas potom porovnává s vypočteným časem vypnutí. Díky tomu není potřeba použít blokující funkci `delay()`, při které se program zastaví a nemůže vykonávat další operace. Dalo by se využít také funkce `millis()`, která vrací počet milisekund od spuštění programu ve formátu unsigned long (celé číslo bez znaménka). Problémem však je, že funkce datový typ unsigned long má velikost 32 bitů, takže největší možné číslo, které lze do takového datového typu uložit, je 4 294 967 295. V milisekundách toto číslo odpovídá zhruba 49,7 dnům. Po uplynutí této doby `millis()` přeteče (vynuluje se) a začne počítat od nuly. Vzhledem k tomu, že mám v plánu skleník provozovat několik měsíců v kuse, mohlo by použití funkce `millis()` způsobit chyby v chodu programu a hrozilo by, že kdyby toto přetečení nastalo po spuštění zalévání, konec zalévání by nekorespondoval s přetečenou (menší) hodnotou `millis()` a došlo by k přelití rostlin. S využitím modulu hodin reálného času toto nehrozí a zároveň není blokován program při čekání na konec zalévání.

10.4 Popis funkce mikrokontroleru M-D (server)

Server sestává z mikrokontroleru Arduino Mega 2560 a ethernet shield modulu W5100. Mikrokontroler M-D má dvě hlavní funkce. Díky připojenému ethernet shield modulu má přístup na internet. Jeho první úlohou je vytvářet webovou aplikaci na lokální síti, na které má uživatel možnost zobrazit si stav prostředí ve skleníku, stav vody v nádržích a stav čerpadel. V případě potřeby je možné i čerpadla zapnout či vypnout. Tato funkce je však při prvním načtení stránky skryta, aby nedošlo k nechtěnému zapnutí čerpadla. Zobrazení ovládání čerpadel je zabezpečeno dialogovým oknem, které uživatel nejprve musí potvrdit. Opětovné skrytí už riskantním pokynem není, tudíž dialogové okno není potřeba. Stejně tak zapínání čerpadel je nutno potvrdit v dialogovém okně, ale vypínání už ne.

Tuto webovou aplikaci jsem navrhl díky využití knihovny Ethernet.h [37], která umožňuje vytvoření lokální webové stránky a její úpravu pomocí kódu v jazyce HTML (Hypertext Markup Language) [38].

Druhou funkcí tohoto mikrokontroleru je získávat informace o předpovědi počasí na další den. To je zajištěno využitím rozhraní API [39] stránek weatherbit.com [40]. Stránek poskytujících tuto službu je mnoho, avšak většina z nich vyžaduje k pohodlnému použití placené tarify. Zdarma jsou poskytována většinou příliš objemná data dosahující až několik desítek kB, která se mikrokontrolerem Arduino Mega 2560 špatně zpracovávají, kvůli omezené dynamické paměti použitelné pro tento účel. Pro získání API klíče potřebného při odesílání požadavku „GET“ je potřeba se zaregistrovat a zvolit tarif. Bezplatný tarif na stránkách weatherbit.com poskytuje mimo jiné kompletní předpověď počasí na 7 dní. Díky tomu může systém předvídat, zda bude v příštích dnech potřeba zalévat více a přizpůsobí tak délku a čas, kdy se bude zalévat.



Stav skleníku v Oboře

Čas zalévání: 21:30

Hodina:

Minuta:

Teplota vzduchu: 17.60°C

Teplota půdy: 16.20°C

Vlhkost půdy 1. segmentu: 51.20 %

Vlhkost půdy 2. segmentu: 51.10 %

Vlhkost půdy 3. segmentu: 52.20 %

Vlhkost půdy 4. segmentu: 53.30 %

Vlhkost půdy 5. segmentu: 54.50 %

Vlhkost vzduchu: 60.30 %

Předpověď počasí			
Datum	Oblačnost	Průměrná teplota	Srážky
2023-05-13	84 %	11.40°C	20 %

Ovládání čerpadel

Stav zalévacího čerpadla

Zalévání vypnuto.

Stav přečerpávacího čerpadla

Přečerpávání vypnuto.

Obrázek 22: Webová aplikace s ukázkou všech funkcí

11 Realizace

11.1 Konstrukce

Vzhledem k tomu, že se jedná o prototyp, který plánuji v budoucnu vylepšovat, jsem nenavrhol deskou plošných spojů na míru. Místo toho jsem použil prototypové desky [41] a spoje realizoval drátovými propojkami. Jedná se o cuprexitovou desku s předvrtanými poměděnými otvory pro THT (Through Hole Technology) součástky. Při využití mikrokontrolerů Arduino Nano jsem desku mikrokontroleru zasadil přímo do dutinkové lišty připájené na prototypovou desku. Ostatní mikrokontrolery a použité moduly mají otvory pro přišroubování, tudíž jsem je na desky už nepájel, ale přišrouboval přímo do elektroinstalační krabice respektive rozvodnice.

Pro propojení modulů s mikrokontrolery jsem použil propojovací kabely typu F-F (Samice - Samice) od výrobce Dupont [36]. Většina použitých modulů má totiž na svých pinech samčí protikus, na který se dá propojka se samičím konektorem nasadit. Výhodou tohoto propojení je snadné přepojení v případě změny konfigurace.

Mikrokontrolery Arduino Uno a Arduino Mega 2560 mají lišty, do kterých se propojka se samičím konektorem zasadit nedá. To jsem vyřešil použitím oboustranného samčího konektoru tvaru písmene „L“ [35], který umožňuje propojení konektorů typu samice mezi sebou. Díky tvaru písmene „L“ je snížena pravděpodobnost nechtěného vytržení kabelu.

11.2 Komplikace při konstrukci a jejich řešení

Při realizaci jsem narazil na řadu problémů, se kterými jsem se musel vypořádat.

Prvním z nich bylo použití mikrokontroleru Arduino Uno pro obsluhu senzorů. Vzhledem k tomu, že jsem si pořídil desku s extra piny SDA a SCL pro využití sběrnice I2C, jsem předpokládal, že díky tomu nebudu nucen použít piny A4 a A5 pro tento účel a budu tak mít o dva analogové vstupy k dispozici víc. Problém spočíval v tom, že tyto piny jsou připojeny přímo paralelně k pinům A4 a A5, takže je nebylo možné využít jako analogové vstupy.

Tento problém jsem vyřešil nahrazením mikrokontroleru Arduino Uno mikrokontrolerem Arduino Nano, který disponuje více analogovými piny, tudíž piny A4 a A5 mohly být dedikovány jen komunikaci po sběrnici I2C.

Díky použití mikrokontroleru Arduino Nano se mi navíc uvolnilo místo v elektroinstalační krabici, takže jsem do ní mohl umístit i Arduino Mega 2560 s modulem Ethernet shield.

Dalším problémem, na který jsem narazil, byl rozsah návratové hodnoty senzoru vlhkosti půdy HD-38. Senzor jako takový je vodivostního charakteru – chová se jako odpor řízený vlhkostí půdy. Na základě toho jsem předpokládal, že bude možné senzor připojit přímo na A/D převodník analogového vstupu mikrokontroleru a sledovat úbytek napětí na něm. Při připojení senzoru přímo na analogový vstup mikrokontroleru jsem získal hodnotu okolo 500, když byl senzor vytažený z půdy ven, hodnotu okolo 1015 při zasunutí senzoru do suché půdy a hodnotu 1023 při zasunutí senzoru do zalité půdy. Rozdíl mezi suchou a zalitou půdou byl v tomto případě minimální.

Problém byl vyřešen připojením externího vyhodnocovacího modulu pro tento senzor s komparátorem LM393 od výrobce Texas Instruments [42] s digitálním i analogovým výstupem.

Při realizaci jsem také udělal několik chyb v zapojení z důvodu špatného návrhu nebo nepozornosti, což mělo za následek destrukci jednoho měřicího modulu DHT22 a jednoho mikrokontroleru Arduino Nano. Tyto položky neberu ve finanční rozvaze v potaz, protože se na výsledném zapojení nepodílejí.

12 Finanční rozvaha

V této bakalářské práci jsem provedl automatizaci již hotového skleníku s předem přivedeným potrubím napojeným na čerpadla v nádržích. Ve finanční rozvaze proto tyto položky neuvádím.

Většinu použitých součástí jsem koupil od renomovaných prodejců sídlících nebo majících prodejny v České republice. Některé součástky jsem však kvůli dostupnosti koupil z internetových obchodů jako jsou aliexpress.com nebo amazon.com.

Tabulka 9: Seznam součástí pro automatizaci skleníku a jejich ceny

Produkt	Počet kusů	Cena za kus [Kč]	Prodejce
Voděodolný teploměr DS18B20 1m	1	55,00	dratek.cz
Teploměr a vlhkoměr DHT22	1	114,00	dratek.cz
USB-C Arduino Nano 16M CH340G klon	2	498,00	dratek.cz
Klon Arduino UNO R3 CH340	1	279,00	dratek.cz
Klon Arduino MEGA CH340	1	599,00	dratek.cz
Ethernet Shield W5100 pro Arduino	1	639,00	dratek.cz
Univerzální plošný spoj 150mm x 90mm	2	34,00	dratek.cz
Svorka na DPS 2 piny 2.54mm	60	5,00	dratek.cz
Čidlo pro měření vlhkosti půdy HD-38	5	188,00	laskakit.cz
Dupont propojovací kabel 40žil F-F 20cm	20	2,70	laskakit.cz
MCP2515 CAN Bus Modul TJA1050	2	138,00	laskakit.cz
Plovákový senzor vodní hladiny	8	48,00	laskakit.cz
Dutinková lišta 2,54 mm jednořadá přímá	4	5,00	laskakit.cz
50x70mm PCB prototypová deska	10	8,00	laskakit.cz
Tlačítko 6x6x8mm	1	2,00	laskakit.cz
Mini IP68 Waterproof connector M12	10	8,14	aliexpress.com
Emergency stop pushbutton 660V/10A	1	79,02	aliexpress.com
LCD I2C display 2004	1	224,21	aliexpress.com
Rozvaděč nástěnný 4P/SM-DOOR	1	149,00	Baumax
SEZ Rozvodná krabice 153x110x63mm	1	115,00	Bauhaus
SEZ Rozvodná krabice 120x80x50mm	1	55,00	Bauhaus
Relé modul 5V, 1x 10A/250V, Low trigger	2	110,00	GM electronic
BQ-M514RD 7-segmentový LED displej	1	46,00	GM electronic
PBS-12B-R tlačítko do panelu, 1 pól	3	33,00	GM electronic
Modul hodin reálného času DS3231	1	155,00	GM electronic
Ultrasonic Sensor A02YYUW, Waterproof	2	1 898,16	amazon.com

Celková cena za všechny položky je: **7 119,79 Kč**.

Jsem si vědom, že celková cena za elektroniku nemůže na trhu konkurovat běžně vyráběným automatickým zavlažovacím systémům. Jedná se ale o první verzi, kterou plánuji v budoucnu vylepšovat a s nabytými zkušenostmi by další verze mohly být levnější.

13 Zhodnocení výsledků a budoucí úpravy

13.1 Závěr

Cílem této práce byl průzkum trhu s aktuálními řídicími systémy zavlažovacích systémů a návrh a implementace vlastního systému. Navržený systém umožňuje autonomní zálivku skleníku s využitím dešťové vody uložené ve dvou retenčních nádržích. Upravuje také délku zálivky na základě dat získaných ze senzorů a z předpovědi počasí získané pomocí API z meteorologické stránky weatherbit.io. Všechny údaje o prostředí ve skleníku, nádržích, o stavu čerpadel a předpovědi počasí na další den lze sledovat ve webové aplikaci na lokální síti.

Celý systém využívá čtyř mikrokontrolerů, což zajišťuje decentralizaci a modularitu celého systému. Díky tomu lze provádět více úloh zároveň. Využil jsem také komponent, které původně sloužily jinému účelu, než jsem jim dal, což projekt oživilo a zpestřilo. Tento projekt považuji za úspěšný a hodlám ho pro vlastní použití nadále vylepšovat.

13.2 Budoucí úpravy

Za hlavní nedostatek současné verze považuji realizaci plošných spojů na prototypových deskách. To bude první změnou, kterou plánuji v další verzi implementovat. Prototypové desky bych nahradil frézovanými deskami plošných spojů. Další případnou změnou by mohlo být vytvoření jedné řídicí jednotky (M-A, M-C a M-D dohromady) s využitím přímo procesorů jednotlivých mikrokontrolerů, aby nebylo nutné využívat celých desek i s funkcemi, které v tomto projektu nejsou využity. To by výrazně ušetřilo místo a případně i náklady na výrobu.

Další úpravou by mohlo být přidání jednoho redundantního záložního zdroje pro tuto řídicí jednotku, aby v případě poruchy jednoho z aktuálních dvou zdrojů mohl systém fungovat v rezervním režimu.

Seznam obrázků

1	Orientační schéma celého systému	8
2	Připojení trysky do hlavní hadice	10
3	DHT22 uvnitř [11]	12
4	Měřicí moduly DHT11 a DHT22 [12]	12
5	Digitální teploměr DS18B20 [14]	13
6	Hygrometr HD-38 [15]	13
7	Koncové spínače monitorující minimální hladinu v zalévací nádrži	14
8	Vodotěsný ultrazvukový senzor vzdálenosti HC-SR04 [17]	14
9	Ponorné čerpadlo Gardena-4000-1 [18]	15
10	Modul relé 5V/250V [19]	15
11	Mikrokontrolery Arduino	18
12	Modul Ethernet shield W5100 [25]	19
13	Modul hodin reálného času DS3231 [26]	19
14	Zapojení 1 digitu displeje [27]	20
15	Maticový sedmissegmentový displej [29]	20
16	Modul s integrovaným obvodem MCP2515 [30]	21
17	I2C LCD displej [32]	21
18	Umístění mikrokontroleru M-A v rozvodnici	23
19	Umístění mikrokontroleru M-B v elektroinstalační krabici s připojeným displejem	25
20	Uložení mikrokontroleru M-C a M-D	26
21	Hierarchie mikrokontrolerů	28
22	Webová aplikace s ukázkou všech funkcí	32

Seznam tabulek

1	Popis komponent v orientačním schématu	8
2	Srovnání parametrů mezi Arduinem Uno, Nano a Mega 2560	18
3	Přehled připojení k pinům mikrokontroleru M-A	23
4	Přehled připojení k pinům mikrokontroleru M-B	25
5	Přehled připojení k pinům mikrokontroleru M-C	27
6	Přehled připojení k pinům mikrokontroleru M-D	27
7	Popis označení veličin zobrazovaných na kontrolním displeji	29
8	Popis adresních hodnot v komunikaci mezi M-A a M-B po sběrnici CAN	30
9	Seznam součástí pro automatizaci skleníku a jejich ceny	34

Použitá literatura

1. *Regulace odběru pitné vody v některých obcích trvá – VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s.* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://vodarenska.cz/regulace-odberu-pitne-vody-v-nekterych-obcich-trva/>.
2. *Dotace 50 % - program NZÚ Dešť'ovka 2023* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://eshop.destovka.eu/dotace-destovka/>.
3. *Vrtané studny - ceník | Vrtané studny Kopač* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.studnykopac.cz/vrtane-studny-cenik>.
4. *Ceník vodného a stočného od 1. 1. 2022 | VODÁRNA PLZEŇ a.s.* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.vodarna.cz/cenik-vodneho-a-stocneho-od-1-1-2022/>.
5. *Kapkováč DCS 8 s kompenzací tlaku, výtok vody 8 l/hod, nástrčný hrot (B)* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <http://www.azavlahyshop.cz/azavlahy/eshop/8-1-Mikrozavlahy/0/5/2016-Kapkovac-DCS-8-s-kompenzacii-tlaku-vytok-vody-8-1-hod-nastrcny-hrot-B>.
6. *Software* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/software>.
7. *Gardena Zavlažovací počítače Zavlažovací počítač Select* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.gardena.com/cz/produkty/zavlahy/rizeni-zavlazovanie/zavlazovaci-pocitac-select/967927701/>.
8. *Solární automatické zavlažování SOL-C12L | ECOprodukt* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://ecoprodukt.cz/p/2332-solarni-automaticke-zavlazovani-sol-c12l-1246>.
9. *Zavlažovač Crososfmi HCT-311 - bazar* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.odkarla.cz/zavlazovac-crososfmi-hct-311>.
10. *DHT22 pdf, DHT22 Description, DHT22 Datasheet, DHT22 view :: ALLDATASHEET ::* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132459/ETC2/DHT22.html>.
11. *In-Depth: Interfacing DHT11 and DHT22 Sensors with Arduino* [online]. 2018. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/dht11-dht22-arduino-tutorial/>.
12. *DHT11 and DHT22 sensors – Measure humidity and temperature with Raspberry Pi – Meccanismo Complesso* [online]. 2020. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.meccanismocomplesso.org/en/dht11-and-dht22-sensors-measure-humidity-and-temperature-with-raspberry-pi/>.
13. *DS18B20 pdf, DS18B20 Description, DS18B20 Datasheet, DS18B20 view :: ALLDATA-SHEET ::* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>.
14. *xcluma Ds18B20 Waterproof Digital Thermal Probe 1 Meter uno, Arm Other Mcu : Amazon.in: Industrial & Scientific* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.amazon.in/xcluma-DS18B20-Waterproof-Digital-Thermal/dp/B0711SPNW7/ref=sr_1_5?keywords=ds18b20&qid=1684762023&sr=8-5.

15. LASKAKIT. *Čidlo pro měření vlhkosti půdy HD-38* | *LaskaKit* [online]. 2021. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/cidlo-pro-mereni-vlhkosti-pudy-hd-38/>.
16. LASKAKIT. *Plovákový senzor vodní hladiny* | *LaskaKit* [online]. 2021. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-plovakovy-senzor-vodni-hladiny/>.
17. *Taidacent Ultrasonic sensor, waterproof, ultrasonic sensor, presence and detection, parking occupation sensor, vehicle presence detector, ultrasonic range detector outdoors, UART serial port: Amazon.de: Everything Else* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.amazon.de/-/en/Taidacent-Ultrasonic-Waterproof-Detection-Occupancy/dp/B082D4X3FY?th=1>.
18. *Manuál Gardena 4000/1 návod (98 stránek)* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.manualypdf.cz/gardena/40001/manu%C3%A1l>.
19. *GM electronic | elektronické součástky, komponenty* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/v/1509173/rele-modul-5v-1x-10a-250v-low-trigger>.
20. *Nano* | *Arduino Documentation* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>.
21. *Microchip Technology ATMEGA328P* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega328p>.
22. *UNO R3* | *Arduino Documentation* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>.
23. *Mega 2560 Rev3* | *Arduino Documentation* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>.
24. *Microchip Technology ATMEGA2560* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega2560>.
25. *W5100* | *WIZnet Co., Ltd.* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.wiznet.io/product-item/w5100/>.
26. *GM electronic | elektronické součástky, komponenty* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/v/1507874/zs-042-modul-rtc-i2c-a-32kb-flash>.
27. BÖHM, Patrik: *Sedmisegmentovky LED* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://maly.gitbook.io/hradla-volty-jednocipy/15_sedmisegmentovky_led.
28. *74HC595 pdf, 74HC595 Description, 74HC595 Datasheet, 74HC595 view ::: ALLDATA-SHEET :::* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/12198/ONSEMI/74HC595.html>.
29. *Learn Coding with Arduino IDE– 4 Digit 7 Segment LED Display* « *osoyoo.com* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://osoyoo.com/2017/08/08/4-digit-7-segment-led-display/>.
30. *GM electronic | elektronické součástky, komponenty* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/v/1508881/modul-can-bus-prevodnik-na-spi>.

31. *HD44780 pdf, HD44780 Description, HD44780 Datasheet, HD44780 view* ::: ALLDATA-SHEET ::: [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/63673/HITACHI/HD44780.html>.
32. *Joom* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.joom.com/cs/products/5cfe17028b2c3701019469e5>.
33. *SEZ Rozvodná krabice* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.bauhaus.cz/sez-rozvodna-krabice-21570568>.
34. *Rozvaděč nástěnný 4P/SM-DOOR / BAUMAX* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.baumax.cz/vrobek/rozvadec-nastenny-4psm-door,46030.html>.
35. *GM electronic | elektronické součástky, komponenty* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/v/1497937/cls-psh02-08wg-konektor-vidlice-roztec-254mm-1x8pinu-do-dps-90>.
36. LASKAKIT. *Dupont propojovací kabel 40žil F-F samice-samice (20cm) | LaskaKit* [online]. 2021. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/dupont-propojovaci-kabely-f-f-40ks-samice-samice--20cm/>.
37. *Ethernet - Arduino Reference* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/ethernet/>.
38. *HTML příručka, přehled HTML tagů* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.jakpsatweb.cz/html/>.
39. KOŘOUSKOVÁ, Barbora. *Co je to API a jaké jsou možnosti jeho využití?* [online]. 2020. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.rascasone.com/cs/blog/co-je-api>.
40. *Weatherbit - Free Weather API* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.weatherbit.io/>.
41. LASKAKIT. *50x70mm PCB prototypová deska | LaskaKit* [online]. 2021. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/50x70mm-pcb-prototypova-deska/>.
42. *LM393 data sheet, product information and support | TI.com* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393.pdf?ts=1684893417120&ref_url=https%5C%253A%5C%252F%5C%252Fwww.ti.com%5C%252Fproduct%5C%252FLM393.