



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

AUTOMATIZOVANÝ ZAHRADNÍ SYSTÉM PRO VENKOVNÍ POUŽITÍ

AUTOMATED GARDEN SYSTEM FOR OUTDOORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Stupka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

Student: Tomáš Stupka

ID: 211541

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Automatizovaný zahradní systém pro venkovní použití

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte dostupné produkty pro automatizované zahradní systémy, komerční i volně dostupné, případně dříve řešené v rámci závěrečných prací a proveďte srovnání jejich možností. Seznamte se s problematikou vývoje embedded zařízení pomocí Raspberry Pi nebo jiných platforem založených na ARM procesorech. Seznamte se s problematikou bezdrátových sítí pro IoT a s možnostmi vizualizace sensorových dat. Navrhněte vlastní koncepci, akční prvky, napájení, řídicí část. Na základě objektivního srovnání a po konzultaci s vedoucím, vyberte vhodné prvky jednotlivých částí a ty použijte jako referenční designy pro studenty bakalářského předmětu Digitální elektronika 2. Dbejte na úspornost vašeho řešení. Navrhněte obvodová zapojení a realizujte desky plošných spojů všech prvků vaší koncepce.

Osadte desky plošných spojů, oživte všechny prvky navržené koncepce, naprogramujte obslužnou aplikaci a realizujte vizualizaci dat. Proveďte detailní testování spolehlivosti vašeho zařízení a zjistěte jeho spotřebu. Vytvořte popis navržených modulů a funkcí a zveřejněte je v online systému GitHub nebo podobném.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FarmBot. FarmBot [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://farm.bot/>

[2] Automated Garden System Build on Raspberry Pi for Outdoors or Indoors - MudPi. Instructables circuits [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/id/Automated-Garden-System-Build-on-RaspberryPi-for-O/>

[3] PlantCT making plants healthier. PlantCT [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://plantct.com/>

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 27.5.2021

Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a realizovat automatizovaný zavlažovací systém pro užití v rodinném domě na platformě Raspberry Pi a procesorech AVR s možností automatického přizpůsobení venkovním teplotním a vlhkostním podmínkám. Návrh také zahrnuje webové rozhraní pomocí nástroje NodeRED pro ruční ovládání a sledování sesbíraných dat z jednotlivých bezdrátových modulů snímačů.

Klíčová slova

Automatizace zahrad, bezdrátová komunikace, Raspberry Pi, Atmega328P, C, IoT, nRF24L01, teplota a vlhkost vzduchu

Abstract

The aim of this bachelor work is to design and implement an automated irrigation system for use in a family house based on the Raspberry Pi platform and AVR processors with the possibility of automatic adaptation to outdoor temperature and humidity conditions. The design also includes a web interface using the NodeRED for manual control and monitoring of data collected from individual wireless sensor modules

Keywords

Garden automation, Wireless communication, Raspberry Pi, ATmega328P, C, IoT, nRF24L01, temperature and humidity

Bibliografická citace

STUPKA, Tomáš. *Automatizovaný zahradní systém pro venkovní použití* [online]. Brno, 2021 [cit.2021-05-26].

Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zavprace/detail/133578>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce Tomáš Frýza.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Tomáš Stupka*

VUT ID studenta: *211541*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2020/21*

Téma závěrečné práce: *Automatizovaný zahradní systém pro venkovní použití*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

·
V Brně dne: 25.05.2021

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Tomáši Frýzovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Poděkování patří také mé rodině a přátelům, kteří mě podporovali v mém vysokoškolském studiu.

V Brně dne: 25.05.2021

podpis autora

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
ÚVOD.....	11
1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ZAHRADNÍCH SYSTÉMŮ.....	12
1.1 OBLASTI VYUŽITÍ	12
1.2 „CHYTRÉ ZEMĚDĚLSTVÍ“	12
1.3 ZAHRADNÍ SYSTÉMY	13
1.4 DRUHY KONCOVÝCH ZAVLAŽOVAČŮ	13
2. STRUKTURA ZAHRADNÍHO SYSTÉMU	15
2.1 POUŽITÉ SENZORY	16
2.1.1 <i>Senzory vlhkosti půdy</i>	16
2.1.2 <i>Senzory teploty a vlhkosti vzduchu</i>	17
2.2 SÉRIOVÉ SBĚRNICE	18
2.2.1 <i>I²C</i>	18
2.2.2 <i>SPI sběrnice</i>	19
2.3 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE	21
2.3.1 <i>Internet of Thing (IoT)</i>	21
2.3.2 <i>LoRa</i>	21
2.3.3 <i>SigFox</i>	22
2.3.4 <i>Bezdrátový komunikační modul nRF24L01</i>	22
2.4 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY	24
2.4.1 <i>Raspberry Pi</i>	24
2.4.2 <i>STM32</i>	25
2.4.3 <i>AVR Procesory</i>	26
2.5 SPOTŘEBA ENERGIE	28
2.6 BEZDRÁTOVÉ MODULY	30
2.7 SPÍNACÍ ČÁST	31
2.7.1 <i>Elektromagnetické ventily TORO a relé</i>	31
2.8 WEBOVÉ ROZHRANÍ	33
2.8.1 <i>ThingSpeak</i>	33
2.8.2 <i>NodeRed</i>	34
3. FIRMWARE.....	35
3.1 SNÍMAČ TEPLoty A VLHKOSTI VZDUCHU	35
3.2 KAPACITNÍ SNÍMAČ VLHKOSTI PŮDY	36
3.3 BEZDRÁTOVÉ MODULY	38
3.3.1 <i>Komunikace NRF24L01</i>	38
3.3.2 <i>Testování dosahu bezdrátových modulu</i>	40
3.3.3 <i>Spotřeba energie</i>	41
3.4 WEBOVÉ PROSTŘEDÍ.....	44
ZÁVĚR	47
LITERATURA.....	49
SEZNAM PŘÍLOH.....	52

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

ADC	Analog/Digital converter
CSI	Camera Serial Interface
DSI	Display Serial Interface
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
GPIO	General- purpose input/output
GPS	Global Positioning systém
HDMI	High-Definition multimedia interface
I ² C	Inter-Intergrated Circuit
IoT	Internet of Things
LCD	Liquid Crystal Display
MCU	Mikrokontrolér
PCB	Printed Circuit Board
OS	Operační systém
RISC	Rediced Instruction Set Computer
RX	Receiver
SPI	Serial Peripheral Interface
TX	Transmitter
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
USB	Universal seriál bus
VUT	Vysoké učení technické v Brně
WDT	Watch dog timer

Symboly:

<i>C</i>	<i>kapacita</i>	[F]
<i>I</i>	<i>proud</i>	[A]
<i>P</i>	<i>výkon</i>	[VA]
<i>T</i>	<i>teplota</i>	[°C]
<i>U</i>	<i>napětí</i>	[V]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Ukázka řídicích jednotek od firem Toro, Garden a Hunter [7][8][9].....	14
Obrázek 2.1 Blokové schéma systému	15
Obrázek 2.2 Senzor Precision soil [9]	17
Obrázek 2.3 Kapacitní snímač vlhkosti půdy SEN0193.....	17
Obrázek 2.4 Sensor teploty a vlhkosti vzduchu SHT30[12]	18
Obrázek 2.5 Ukázka jednoho datového rámce na sběrnici I2C [13]	19
Obrázek 2.6 Sběrnice SPI: Jedno řídicí a 3 podřízená zařízení [20]	20
Obrázek 2.7 IoT LoRa LPWAN SX1276 [17]	21
Obrázek 2.8 LPWAN SigFox Node UART Modem [18]	22
Obrázek 2.9 Formát odesílání dat protokolu ShockBurst.....	23
Obrázek 2.10 Formát řídicího pole paketu	23
Obrázek 2.11 Bezdrátový modul nRF24L01	23
Obrázek 2.12 Raspberry Pi 2 Model B V1.1	24
Obrázek 2.13 Vývojový kit STM32 Discovery	26
Obrázek 2.14 Tužková baterie od firmy SAFT 14500 [25].....	29
Obrázek 2.15 Schéma zapojení bezdrátové moduly (Teplota a vlhkost vzduchu).....	30
Obrázek 2.16 Desky PCB (Vpředu teplota a vlhkost vzduchu, v pozadí vlhkost půdy).....	31
Obrázek 2.17 Spínací PCB s relé.....	31
Obrázek 2.18 Zapojení části rozvodu vody se spínacími ventily	32
Obrázek 2.19 Příkazy pro nainstalování node red na Raspberry Pi.....	34
Obrázek 3.1 Průběh komunikace zobrazený pomocí logického analyzátoru	36
Obrázek 3.2 Rozpoznání modulu v node red pomocí nodu „switch“.....	40
Obrázek 3.3 Testování dosahu komunikace nRF24L01	40
Obrázek 3.4 Registr RRP pro zakázání nepotřebných periférií [24].....	41
Obrázek 3.5 Přijatá data v prostředí node red.....	43
Obrázek 3.6 Node red console v OS Raspbian.....	44
Obrázek 3.7 Ukázka webového rozhraní vytvořeného v Node Red.....	45
Obrázek 3.8 Ukázka nastavení příjmu dat v Node Red.....	45
Obrázek 3.9 Ukázka webového prostředí pro koncového uživatele.....	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 Popis jednotlivých okruhů a jejich funkčnost.....	16
Tabulka 2.2 Vlastnosti senzorů teploty a vlhkosti vzduchu	18
Tabulka 2.3 Připojení nRF24L01 k Raspberry Pi (pinout).....	24
Tabulka 2.4 Specifikace Raspberry Pi 2 model 2 [6]	25
Tabulka 2.5 Parametry procesoru ATmega328P [24]	27
Tabulka 2.6 Sleeping mody ATmega328P a jejich spotřeba při 3,6V (f=8MHz) [24]	28
Tabulka 2.7 Spotřeba energie nRF24L01, ATmega328P a stabilizátoru LDLN025.....	28
Tabulka 2.8 Parametry elektromagnetických ventilů TORO	32
Tabulka 3.1 Změřená výstupní analogové hodnota snímače vlhkosti	36
Tabulka 3.2 Registry pro nastavení AD převodu	37
Tabulka 3.3 Sleeping mody pro snížení odběru energie[24].....	41

ÚVOD

V dnešní době, kdy se lidstvo snaží veškeré své povinnosti zautomatizovat tak, aby šetřilo svým časem a zároveň docílilo co nejlepší účinnosti požadované aplikace. Čím dál častěji se na trhu setkáváme s automatizovanými systémy pro zavlažování. Zavlažování rostlin je poměrně jednoduchá úloha, která lze velmi lehce zautomatizovat pomocí mnoha systémů a ty mohou pracovat s různými senzory, které dopomáhají správné funkčnosti celého zařízení.

Práce se zabývá návrhem a realizací automatizovaného zavlažovacího systému pro venkovní použití. Systém má konkrétní uplatnění v rodinném domě, kde se využívá na zavlažování travních ploch, truhlíkových a záhonových rostlin.

Systém je postavený na řídicí jednotce Raspberry Pi, která svým programem ovládá šest zavlažovacích okruhů zahrady. Každý okruh je spínáný řídicí jednotkou prostřednictvím relé a elektromagnetického ventilu. Systém by měl mít i schopnost přizpůsobit se aktuálním podmínkám, díky informacím ze dvou modulů, řídicí mikrokontroléry ATmega328P. Svá data budou sbírat pomocí snímačů teploty/vlhkosti vzduchu a vlhkosti půdy. Tato data následně budou odeslána řídicí jednotce bezdrátovou komunikací modulem nRF24L01. Vlhkost půdy a teplota se zobrazí ve webovém rozhraní, naprogramovaném v programovacím nástroji Node RED, kde i technicky nezkušený uživatel dokáže ručně nastavit spínání zavlažovacích okruhů a dobu zavlažování. Konstrukce jednotlivých bezdrátových modulů se senzory by měla být co nejvíce energeticky úsporná tak, aby jejich výdrž na bateriový článek byla co nejdelší.

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ZAHRADNÍCH SYSTÉMŮ

1.1 Oblasti využití

S růstem automatizace ve všech oborech vznikají nové možnosti, kde systémy využít. Nejedná se pouze o zavlažování okrasných ploch, ale v době, kdy se lidstvo snaží snížit množství uhlíkové stopy, vznikají i obří automatizované farmy pro pěstování velkého spektra rostlin, které dokáží z velké části pracovat bez lidského zásahu s co nejmenšími náklady za využití technologie jako je např. IoT (Internet of Things).

1.2 „Chytré zemědělství“

Tento pojem je velmi často zmiňovaný v dnešní době, a to z mnoha důvodů. Ať už kvůli ulehčení práce, životnímu prostředí spojeným se změnami klimatu nebo růstu počtu obyvatel na zemi. Firmy a start-upy vymýšlí mnoho nových možností, jak zlepšit kvalitu potravin bez využití pesticidů a zároveň s co nejekologičtějšími podmínkami. Americká firma Aerofarm [1], která se svojí technologií snaží dostat pěstování zeleniny blíže k velkým městům tak, aby se ušetřily náklady za dopravu a snížilo se procento dovážených surovin ze vzdálených koutů světa. Jejich „plantáže“ nenajdeme na obřích polích, ale ve velkých skladech pod střechou. Tento alternativní přístup, zvaný vertikální zemědělství, kombinuje vědu o datech se zahradnictvím. Zahrnuje pěstování produktů uvnitř v regálech naskládaných do sedmi úrovní bez půdy nebo slunce, ale s velkou dávkou LED osvětlení a automatizačními technologiemi. Využívají metodu aeroponie, kdy se rostliny pěstují prostřednictvím opakovatelně použité látky, což odstraňuje nutnost využití půdy. Kořeny rostlin jsou zamlžovány za pomoci roztoků plných živin. K rostlině se potřebné živiny dostávají přes odhalené kořeny, které trčí z nádoby. Jedná se o velmi efektivní pěstování. Firma uvádí o 390krát větší účinnost na čtvereční stopu než při klasickém polním zemědělství, při využití o 95 % méně vody a s nulovým využitím pesticidů. Těchto výsledků se dostává i díky využití IoT technologie a tisícům senzorů pro sběr dat, které se následně zpracovávají za účelem optimalizace procesu pěstování, přísunu nutných živin a světelné energie.

Dalším takovým projektem z trochu jiné oblasti je robotické vozítko na sklizeň a údržbu hroznových sadů Wall-Ye. Jeho vynálezce Christophe Millot tohoto užitečného pomocníka vyvinul pro velké sady, které potřebují neustálou péči, i bez potřebné pracovní síly, která na rozdíl od Wall Ye potřebují odpočinek. Wall Ye podle výrobce dokáže pomocí svých dvou robotických ramen zařezávat až 600 vinných keřů za den. Jeho očima je 6 kamer, kterými vytváří 3D model révy a GPS navigátor pro navigaci mezi řádky sadu. Je také vybaven několika sensory pro sběr důležitých dat jako je teplota, vlhkost půdy. Co však je velkým nedostatkem robota, je jeho velikost. Váží 20 kilogramů a je vysoký pouhých 50 centimetrů. Vezmeme-li v potaz keře, které musí obstarávat jsou mnohdy vysoké až 2 metry, se jen těžko dostane s jeho rameny až k jejich koncům. [2]

Pro srovnání firma Vision Robotics vyrábí podobného robotické zařízení, avšak ve větší měřítku. Jejich robot je 3 metry vysoký, obsahuje 6 kamer vytvářející 3D model keřů a s dostatečně dlouhými rameny tak, aby dokázal dosáhnout ke všem větvím hroznů.[3]

Skvělým pomocníkem může být i bezpilotní dron eBee od firmy senseFly, který svými kamerami a snímači dokáže zmapovat plochu o rozloze 500 ha při letové čase až 90 minut. Ke dronu lze připojit několik druhů snímacích kamer vytvářející 2D a 3D modely prostředí, RGB kameru společně s multispektrálním snímačem, který dokáže analyzovat vitalitu rostlin zachycením množstvím světla, které rostliny absorbují a odrážejí. Dron byl využit například k pořízení snímků pro regulaci hnojení pšenice. Po zpracování dat se podařilo snížit obsah potřebného hnoji o 20 %. Drony lze použít jak v zemědělství, tak při mapování staveb, přírody a dalších aplikací mapování prostředí z výšek. [4]

1.3 Zahradní systémy

Oblast automatizace zahradních ploch zažívá v dnešní době poměrně velkou expanzi. Lidé si chtějí ušetřit každou minutu svého času, a proto se mnoho firem začala zabývat touto problematikou. Nejedná se o příliš náročné odvětví a spousta kutilů si tyto systémy sestavují sami za pomoci rozšířených systémů, jako je platforma Arduino [5] nebo minipočítače Raspberry Pi [6]. Z počátku tyto systémy vznikaly pouze pro městské parky a velké zahrady, ale díky vývoji elektroniky s klesající cenou je zde již možnost koupit si levné systémy i do domácností. Nejde pouze o ušetření času. Inteligentní systém dokáže ušetřit provozní náklady (spotřeba elektřiny a vody).

K nejpobulárnějším prodávaným komerčním systémům patří produkty od výrobců jako například Hunter, Gardena či Toro [7][8][9]. Všichni tito výrobci používají pro zavlažování podobné systémy. Základem je řídicí jednotka, která ovládá různý počet zavlažovacích okruhů. Jednotlivé jsou okruhu spínané na základě programu, eventuálně je ovlivněn daty z čidel (teploty, vlhkosti vzduchu, vlhkosti půdy).

Vodu ve venkovních prostorách je nejlepší vést pod zemí pomocí plastového potrubí, kde na ně nepůsobí sluneční záření, díky čemuž v něm nevznikají řasy, které mohou způsobit právě jeho ucpání. Avšak pro malé projekty lze použít nadzemní rozvod. Pokud chceme zavlažovat okenní rostliny, můžeme hadičky zadržet do omítky domu a následně vést u jednotlivých oken.

Jednotlivé okruhy jsou ovládány řídicí jednotkou, která ke spínání přívodu vody využívá elektromagnetické ventily. Důležitou částí každého systému jsou čidla kontrolující množství spadených srážek, teplotu a zemní vlhkost. Čidla svá data posílají řídicí jednotce, která za pomoci programu vyhodnotí přijatá data a případně změni dobu zavlažování. Některé řídicí jednotky umožňují dopouštění zahradních jezírek a funkci mikrozávlahy.

1.4 Druhy koncových zavlažovačů

Zvolení správného koncového zavlažovače je nedílnou součástí správně fungujícího systému. Záleží, jakou plochu, anebo jaký typ rostlin chceme zavlažovat. Na výběr máme několik druhů zavlažování např. mikrozávlahové hadice, výsuvné trysky (sprinklery), kapénkovou závlahu a další. Jednotlivé možnosti jsou rozebrány níže podle typu zavlažovací plochy.

Travní plochy

Zde nejučinnějším řešením je využití výsuvných postřikovacích trysek (sprinklery). Tyto trysky existují v několika provedeních s možností nastavení úhlu postřiku a dosahu. Po připojení přívodu vody se tyto postřikovače vysunou tlakem vody.

Okrasné/užitkové záhony

Obecně platí, že závlaha ke kořenům rostlin je přínosnější. Proto se zde využívá tzv. kapkové hadice, kdy se v hadici nacházejí integrované kapkovače, od sebe vzdálené cca 30 cm. Taková hadice se natáhne po povrchu záhonu. Druhou variantou je porézní hadice. Porézní hadice má na těle póry, kterými voda vystupuje ven a povrch hadice je tak „orosen“ v celé délce.

Truhlíky

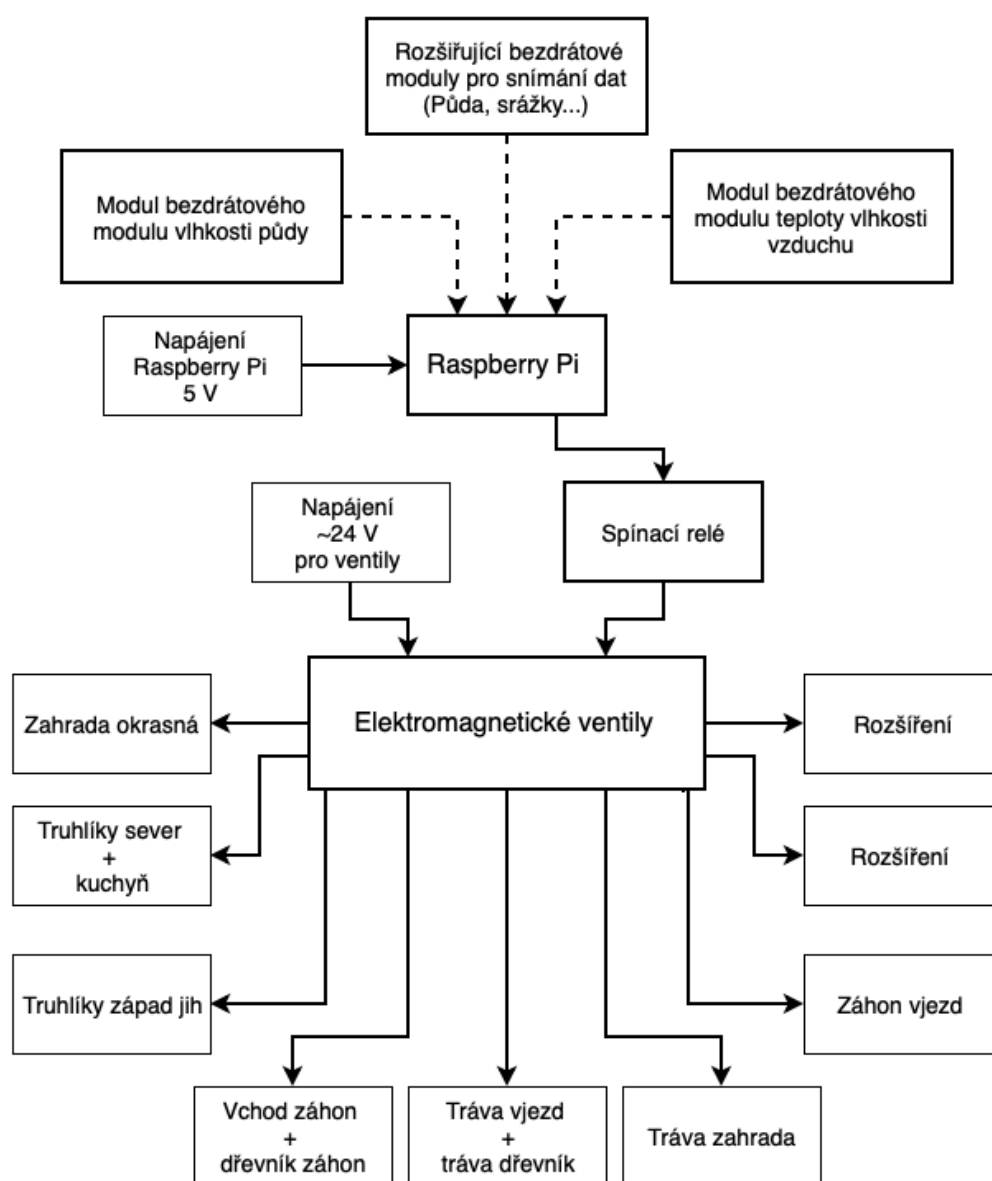
Zde se využívá velmi podobného systému jako u záhonů. Do truhlíku je zavedena hadice, do níž jsou přichyceny kapkovače, pomocí kterých postupně do truhlíků kape voda. Tyto kapkovače mohou mít různý zavlažovací výkon. Nebo lze použít jehlu, která se zavede na místo k zavlažování.



Obrázek 1.1 Ukázka řídicích jednotek od firem Toro, Garden a Hunter [7][8][9]

2. STRUKTURA ZAHRADNÍHO SYSTÉMU

Na blokovém schématu níže je vyobrazeno kompletní blokové schéma navrhovaného systému. O řízení systému se bude starat mikropočítač Raspberry Pi, s kterým budou komunikovat bezdrátové moduly snímačů. K GPIO pinům mikropočítače budou připojeny spínací relé, které v daný čas sepnou elektromagnetické ventily a tím začne proudit voda do daných okruhů. Celý systém tvoří 9 okruhů. Funkce okruhů jsou popsány v tabulce 2.1. Pro případ rozšíření systému, jsou připraveny u spínacích ventilů dvě záložní hadice, které jsou také vyvedeny do zahrady. Jak bylo zmíněno, systém by měl být schopen komunikovat s bezdrátovými moduly, které sledují venkovní podmínky. Konkrétní popis použitých modulů, procesorů a součástek je popsán v následujících kapitolách.



Obrázek 2.1 Blokové schéma systému

Tabulka 2.1 Popis jednotlivých okruhů a jejich funkčnost

Číslo ventilu	Pozice	Průměr hadice [mm]	Zakončení
1	Truhlíky sever + kuchyň	16 (0,63“)	Kapka
2	Truhlíky západ a jih	16 (0,63“)	Kapka
3	Předzahrádka + Dřevník záhon	25 (0,63“)	Kapka
4	Tráva vjezd 4 postřikovač + Tráva Dřevník 2 post.	32 (1,26“)	Postřikovače
5	Tráva zahrada	32 (1,26“)	Postřikovače
6	Skleník (rozšíření)	25 (0,984“)	Kapka
7	Záhon vjezd	25 (0,984“)	Kapka
8	Zahrada okrasná podél plotu	25 (0,984“)	Kapka
9	Užitková (záhon zeleniny)	25 (0,984“)	Kapka

V uvedené tabulce 2.1 lze nalézt popis jednotlivých okruhů, které budou využity. Pro zavlažování travních ploch jsou využity hadice s větším průměrem z důvodu nutnosti dodání většího množství vody ke koncovým postřikovačům. Naopak u truhlíkových květinám stačí menší množství vody, tedy můžeme využít hadice s menším průměrem.

2.1 Použité senzory

Pomocí senzorů můžeme ovlivnit rozhodování systému, jak a kdy bude zavlažovat podle aktuálních podnebních a půdních podmínek. V této kapitole jsou rozebrány použité senzory pro tuto práci.

2.1.1 Senzory vlhkosti půdy

Voda nepochybně hraje zásadní roli v chemicko-fyzikálně-mechanických vlastnostech půdy, proto je důležité správně načasovat její přísun k rostlinám. Na trhu můžeme najít dva nejčastěji používané typy senzorů založených na měření odporu nebo kapacity půdy mezi elektrodami.

Například již zmiňovaná firma TORO nabízí svůj bezdrátový Precision soil senzor. Senzor, který je umístěn v půdě pomocí dvou nerezových sond a následně tento modul vysílá bezdrátově přijímači. Jeho použitím je možné optimalizovat množství vody v půdě a tím zajistit, aby kořenový systém trávníku netrpěl přelitím, nebo nedostatkem vody. Tento modul je poměrně drahý, jehož cena se pohybuje okolo 5000 korun a k jeho funkčnosti jsou potřeba další prvky od firmy TORO.



Obrázek 2.2 Senzor Precision soil [9]

Snímač založený na měření odporu půdy, označován jako FC-28, je tvořen kuprexidovou deskou pokrytou z obou stran kovovou vrstvou. Provedení se liší dle výrobce, v některých případech je zde navíc umístěn potenciometr k nastavení nulové hodnoty a současně čip zajišťující komunikaci přes jediný vodič. Avšak po prostudování různých realizací, které uvádí nedostatečnou ochranu vůči korozi v náročnějších prostředích, byl zvolen snímač SKU SEN0193 (Obrázek 2.3) vyráběný společností DFROBOT [10]. Snímač bude ještě umístěn do plastové vodotěsné krabičky, kdy z krabičky budou vycházet pouze měřící elektrody a veškeré elektronické součástky budou ochráněny vůči vlhkosti.



Obrázek 2.3 Kapacitní snímač vlhkosti půdy SEN0193

Tento modul obsahuje integrovaný regulátor napětí, který mu poskytuje rozsah provozního napětí 3,3 ~ 5,5 V. Je ideální pro nízkonapěťové MCU. Pro kompatibilitu s procesorem ATmega328P bude potřebovat převodník AD, kvůli analogové hodnotě výstupního signálu.

2.1.2 Senzory teploty a vlhkosti vzduchu

Pomocí snímače teploty a vlhkosti vzduchu můžeme v programu nastavit podmínku pro zavlažování v určitém rozsahu teplot. Vstupní data lze využít pro regulaci dodávky vody.

Na trhu existuje mnoha senzorů, které se liší svojí přesností a rozsahem teplot a vlhkosti. V níže uvedené tabulce jsou poznamenány informace o 3 snímačích, které zastupují obě funkce v jednom.

Tabulka 2.2 Vlastnosti senzorů teploty a vlhkosti vzduchu

Typ	Měřicí rozsah [°C]	Měřicí rozsah [%]	Napájecí napětí [V]	Přesnost Měření °C/%	Typ přenosu dat	Cena
AM2301	-40 - 80	0 - 99,9	3,3-5,2	±0,3°C ±3%RH	Serial data (one-wire)	138,-
SHT30	-40 - 125	0 - 100	3,3	± 0,2°C ± 2 %RH	I2C	98,-
DHT21	-40 - 80	0 - 99,9	3,3-5,2	±0,5°C ±2%RH	Seriál data (one-wire)	142,-

Pro práci byl původně vybrán snímač AM2301[11]. Jeho měřicí rozsah byl dostatečný pro zvolenou aplikaci a s přijatelnou přesností měření. Snímač by měl být napájen napětím v rozsahu 3,3~5 V. Mezi napájecí vstupy VDD a GND je vhodné připojit 100nF kondenzátor pro filtrování napětí a mezi vývody VDD a Data pull up rezistor o hodnotě 1kΩ. Ale při testování snímač nefungoval tak jak by měl. Nejspíše byl chyba výroby. Proto byl zvolen druhý sensor a to SHT30[12]. Tento sensor má velký rozsah měření a s porovnání cenou velkou přesnost. Snímaná data jsou následně odeslána po sběrnici I2C. Programová část tohoto snímače je popsána v kapitole 3.1.



Obrázek 2.4 Sensor teploty a vlhkosti vzduchu SHT30[12]

2.2 Sériové sběrnice

Sériové sběrnice slouží pro komunikaci s jedním a více zařízeními po jedné sběrnici. V práci jsou využívány sběrnice I²C a SPI.

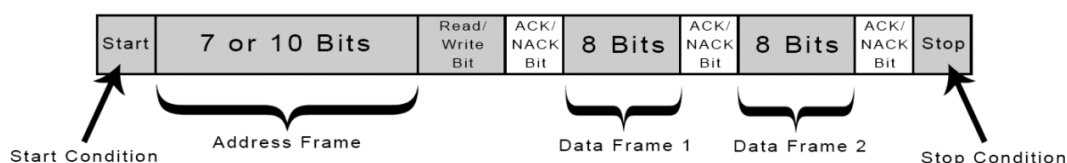
2.2.1 I²C

I²C je sériová interní sběrnice (Internal-Integrated-Circuit) obsahující dva vodiče, konkrétně hodinový (SCL) a datový (SDA). Tuto sběrnici vynalezla firma Phillips. V dnešní době ji podporuje řada integrovaných obvodů, především A/D a D/A převodníky, všechny druhy pamětí, čidla teploty, tlaku, světla i dalších fyzikálních veličin.

Celá komunikace probíhá tedy po dvou vodičích, na kterých jsou připojeny zařízení typu „master“ a „slave“. Kdy zařízení typu Master celou komunikaci řídí a zařízení typu slave s ním komunikují. Všechna zařízení tyto dva vodiče sdílí a mohou přistupovat ke sběrnici. Každý z vodičů sběrnice je připojen k pull-up rezistoru, díky kterému je linka v klidném stavu.

Komunikace probíhá za předem určených podmínek, které umožňují každému účastníkovi rozeznat začátek a konec přenosu a také podle adres poznat komunikující zařízení. Sběrnice obsahuje několik typů bitů:

- **Start bit**- Zahajuje celý přenos. Nastane, pokud dojde na SDA k sestupné hraně a SCL je nastavena v log. 1.
- **Stop bit**- Ukončuje přenos. Nastane, pokud dojde na SDA k nástupné hraně a SCL je nastavena log. 1.
- **Adresace**- Prvních sedm bitů definuje adresu a poslední (nejnižší) bit slouží k určení R/W (čtení/zápisu). Logická 0 znamená zápis a logická 1 čtení.
- **Přenos dat**- Data jsou přenášena po 8 bitech od nejvyššího po nejnižší. Při přenosu dat se může logická úroveň na SDA měnit, pouze pokud je SCL v logické 0. Při každém pulzu na SCL je přenesen jeden bit.
- **Acknowledge**- Tento bit slouží k potvrzení správného přijetí dat. Ack bit se odesílá ako by se odesílal devátý bit dat, a generuje ho čip, který přijímal a nikoliv ten, který data odesílal. Pokud přenos proběhl v pořádku, odešle logickou 0. Logická 0 potvrzujícího bitu znamená rovněž to, že je přijímač připraven na příjem dalšího bytu, který následuje okamžitě po něm při dalším pulzu na SCL. Pokud přenos selhal, odešle logickou 1. Pokud má dojít k ukončení přenosu, tak "neodešle nic".

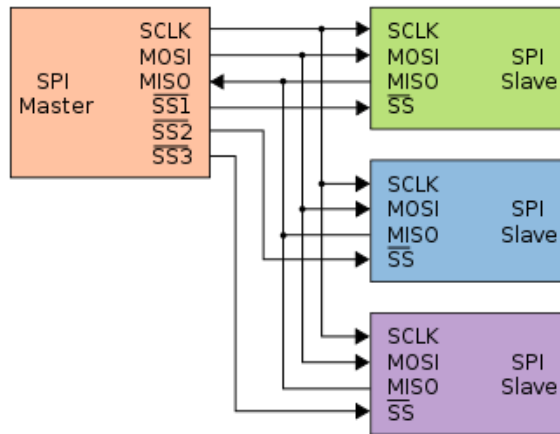


Obrázek 2.5 Ukázka jednoho datového rámce na sběrnici I2C [13]

2.2.2 SPI sběrnice

Jedná se sériové periferní rozhraní, které využívá komunikaci dvou a více zařízeními na společné sběrnici. Vždy je jedno zařízení řídicí typu master a ostatní jsou podřízené typu slave (displeje, převodníky, komunikační moduly...). Jednotlivé obvody jsou propojeny čtyřmi vodiči:

- Datový vodič MOSI (Master Out, Slave In). Slouží pro odesílání dat z masteru do slave zařízení.
- Datový vodič MISO (Master In, Slave out). Slouží pro odesílání dat ze slave do master zařízení
- Hodinový výstup hodinového signálu SCLK
- Každý obvod typu slave má vývod SS (Slave select), pomocí kterého určuje master, se kterým zařízením bude zrovna komunikovat. (SS v log. 1 = neaktivní stav, SS v log. 0 = aktivní stav)



Obrázek 2.6 Sběrnice SPI: Jedno řídicí a 3 podřízená zařízení [20]

Jakmile obvod typu Master se rozhodne, s kterým zařízením bude komunikovat, pomocí SS pinu, začne se generovat hodinový signál SCLK, kdy s každou periodou se přenese jeden bit informace po sběrnici MISO a MOSI. Hodinová signál definuje, ve který okamžik, má přijímací zařízení začít přijímat data. Jsou dvě možnosti, buďto se vzestupnou hranou nebo se sestupnou hranou SCLK. Sběrnice nemá předem definovanou normu. Zároveň není určeno, v jakém stavu je SCLK linka při neaktivní stavu. Tudíž lze vybrat čtyři možnosti jakými pravidly se přenos bude řídit.

- SCLK neutrálním stav v log. 0 a data se čtou na vzestupnou hranu SCLK
- SCLK neutrálním stav v log. 0 a data se čtou na sestupnou hranu SCLK
- SCLK neutrálním stav v log. 1 a data se čtou na sestupnou hranu SCLK
- SCLK neutrálním stav v log. 1 a data se čtou na vzestupnou hranu SCLK

Další volitelný parametr sběrnice je počet datových bitů, který také není předem definovaný. Běžně se využívá 8, 16 nebo 32 bitů. Pomocí této sběrnice komunikuje bezdrátový modul nrf24l01 s řídicími mikrokontrolery. Tento modul byl v práci využit pro komunikaci mezi řídicí jednotkou Raspberry Pi a bezdrátovými moduly. Modul je konkrétně popsán v kapitole 2.3.4.

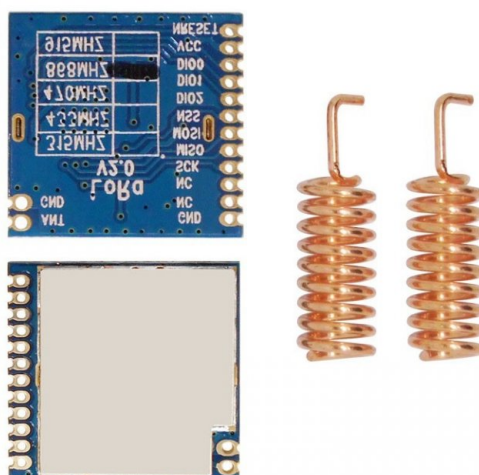
2.3 Bezdrátová komunikace

2.3.1 Internet of Thing (IoT)

Internet věcí je definován Mezinárodní telekomunikační unií jako globální infrastruktura pro IT společnosti, která umožňuje využití pokročilých služeb propojením věcí fyzických i virtuálních na základě současných a nově vznikajících informačních a komunikačních technologií. Definují také rozdíl mezi zařízeními a věcí. Zařízení musí být schopno komunikovat s ostatními zařízeními a mělo by poskytovat minimálně snímání, sběr dat, ovládání nebo zpracování dat. Věc je ve smyslu IoT předmět, ať už fyzický nebo virtuální, u kterého je možné zajistit připojení k internetu a vzájemnou komunikaci. Takováto zařízení v dnešní době najdeme v rámci chytrých domácnostech, v průmyslové výrobě, zemědělství a mnoho jiných odvětvích. Typickým příkladem je sběr dat ze senzorů, kdy získaná data můžeme vyhodnocovat například pomocí inteligence a následně díky výsledným datům procesy lépe zautomatizovat a zefektivnit. [15]

2.3.2 LoRa

Jedná se o technologii, která je využívána při předávání telemetrických dat. LoRa neboli "Long range" využívá tzv. modulaci s rozprostřeným spektrem v bezlicenčním pásmu [16]. Při využití CSS modulace je generován „chirp signál“, který lineárně s časem zvyšuje svoji frekvenci od spodní hranice pásma po horní hranici pásma (chirp-up), nebo naopak dokáže svoji frekvenci snižovat (chirp-down). Když dosáhne frekvence horní hranice, vrátí se na spodní a celý proces se opakuje. Na takový signál je modulována přenášená informace. Nevýhody této technologie úzce souvisí s jeho cenou. Jelikož zařízení komunikují v bezlicenčním pásmu jsou tu omezení pro tzv. „duty cycle“, množství odeslaných dat a rychlost odesílání. Výraz „duty cycle“ nám říká s jakou střídou bude zařízení komunikovat/nekommunikovat (Uplink 1%, Downlink 10%). Cena není příliš vysoká a při koupi základního vysílacího modulu se může cena pohybovat okolo 250 až 500 korun. Jedním takovým modulem je SX1276. Jedná se o modul s nízkou spotřebou energie (RX 10,8mA a TX 100mA), který je nutné připojit k mikrokontroléru pomocí sběrnice SPI a je nutné obstarat komunikaci standartu LoRaWan softwarově.



Obrázek 2.7 IoT LoRa LPWAN SX1276 [17]

2.3.3 SigFox

Sigfox je velký konkurent LoRa technologie. Obě technologie jsou si velmi podobné. Jak LoRa, tak SigFox se zaměřuje na bezdrátovou komunikaci pro nízkoenergetické zařízení v bezlicenčním pásmu. Využívá komunikaci pomocí frekvenčního pásma (Evropa 868MHz, USA 902MHz) a využívá tzv. hvězdicovou topologii (mezi dvěma zařízeními existuje pouze jedna cesta). K přenosu dat se využívá „Ultra Narrow Band“ pásmo pro vysílání jen krátkého rámce dat s výkonem 100mW a každá zpráva zabírá pouze 100Hz. To umožňuje na celém využitém spektru 200kHz vysílat z několika zařízení zároveň, ale z toho plyne, že rychlost přenosu je omezena 100 nebo 600 bitů/s. Ale jsou tu daná podobná omezení jako u LoRaWan technologie prostřednictvím maximálního vysílacího výkonu, duty cycle, velikost odesílaných dat atd. Velmi oblíbeným vysílačem je SigFox Node. Tento modul obsahuje 5dBi anténu, s měřicím zařízením komunikuje pomocí dvou vodičů RX a TX a může být připojen k již zmíněným vývojovým zařízením jako je Arduino, Raspberry Pi. [18]



Obrázek 2.8 LPWAN SigFox Node UART Modem [18]

2.3.4 Bezdrátový komunikační modul nRF24L01

Pro bezdrátovou komunikaci mezi účastníky systému lze využít nRF24L01. Jedná se o modul existující ve třech variantách, které se liší pouze v rozměrech a dosahu vysílání od firmy Nordic Semiconductor. Radiový přenos využívá FSK modulaci (Frequency-Shift Keying). Všechny moduly komunikují na frekvenci 2,4 GHz (modul však není možné připojit na domácí WiFi síť) s přenosovými rychlostmi od 250 kb/s do 2 Mb/s se širokopásmovým paketovým protokolem *Enhanced ShockBurst*, který zajišťuje automatické sestavení odesílaných paketů, komunikaci s dalšími zařízeními v síti (topologie hvězda) a volbu délky zprávy o velikosti 1-32 bytů.

Na obrázku 2.9 můžeme vidět formát odesílání dat dle protokolu *Enhanced ShockBurst*. Nejdříve je odeslán byte preamble, který synchronizuje přijímací demodulátor na očekávaný příchod dat, poté následuje 3-5 bytová adresa, která je stejná jak pro vysílač, tak pro přijímač, následují řídicí pole paketu, které obsahuje informace ohledně počtu datových bytů, identifikační 2 bity a automatický příznak pro potvrzení zprávy. Poté již jsou odesílána data (0-32 bytů) a celý přenos je ukončen CRC kontrolním součtem.

Preamble	Adresa	Řídící pole paketu	Data	CRC součet
1 B	3 – 5 B	9 b	0– 32 B	1-2 B

Obrázek 2.9 Formát odesílání dat protokolu ShockBurst

Na obrázku 2.10 je zobrazena struktura řídicího packetu. První rámeček obsahuje informaci o délce pole, ve kterém jsou uložena data. Následující rámeček obsahuje 2 bity „Packet identity“. Zde je uchována informace, jestli přijatý packet nový, nebo znovu odeslán, čímž je ošetřena případná ztráta dat, kdy zařízení se mohou synchronizovat poslední přijatým PID. A jako poslední je zde obsažen ověřovací bit No_ACK. Tento příznak se používá pouze v případě, že je použita funkce automatického potvrzení. Nastavením vysokého úrovně řekneme přijímači, že paket nemá být automaticky potvrzen.

Délka odesílaných data	PID (Packet identity)	No_ACK
6 b	2 b	1 b

Obrázek 2.10 Formát řídicího pole paketu

Dosah se liší v závislosti na modelu a na použité přenosové rychlosti (čím větší přenosová rychlost, tím horší dosah) a také na umístění modulu. Pokud bude komunikace probíhat v zastavěném prostředí, můžeme očekávat ztrátu některých dat při delších vzdálenostech. Základní model disponuje integrovanou anténou na desce, která má udávaný dosah výrobcem 100 metrů ve volném prostoru (v reálných podmínkách se počítá s nižším dosahem), zbylé dva mají externí anténu a největší model má navíc vystavěný zesilovač, u něhož můžeme dosáhnout vzdálenosti až 1 kilometru na otevřeném prostranství dle informací od výrobce. Komunikaci mezi řídicím procesorem obstarává sběrnice SPI (příklad připojení k Raspberry Pi v Tabulka 2.3). Napájecí napětí modulů je v rozsahu 1,9 až 3,3 V a může pracovat v několika režimech s odlišnou spotřebou energie. Například ve Standby režimu je udávána hodnota spotřeby 26 μ A a v režimu Power Down jen 0,9 μ A. Což jsou skvělé hodnoty pro případné využití bateriových modulů. V práci byl zvolen tento modul z důvodů možnosti volby tří variant a zároveň nízké spotřeby, rozměrů a nízké pořizovací ceně. [19]



Obrázek 2.11 Bezdrátový modul nRF24L01

Tabulka 2.3 Připojení nRF24L01 k Raspberry Pi (pinout)

Pin nRF24L01	Raspberry Pi	Funkce
GND	GND (25)	Ground
VCC	3v3 (17)	DC power
CE	GPIO 22 (15)	GEN
CSN	GPIO08 (24)	SPI CE0
SCK	GPIO11(23)	Hodinový signál SPI
MOSI	GPIO10 (19)	MOSI signál
MISO	GPIO09(21)	MISO signál
IRQ	-	-

2.4 Řídící jednotky

V této jsou představeny zástupci z řady řídicích jednotek, které se využívají při tvorbě embedded systémů, jako jsou například chytré domácnosti, chytré ovládací aplikace apod.

2.4.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je minipočítač, který byl původně vytvořen pro výukové potřeby, ale postupem času se díky jeho nízké pořizovací ceně a mnoha možnostem využití stal používaným nástrojem pro sestavení mnoha jednoduchých aplikací, jako je např. ovládání mnoha zařízení pomocí GPIO (general-purpose input/output) a vývoje aplikací. V domácnosti ho lze využít jako k poslechu hudby, streamování videa, nebo multimediální centra. [6]



Obrázek 2.12 Raspberry Pi 2 Model B V1.1

Tabulka 2.4 Specifikace Raspberry Pi 2 model 2 [6]

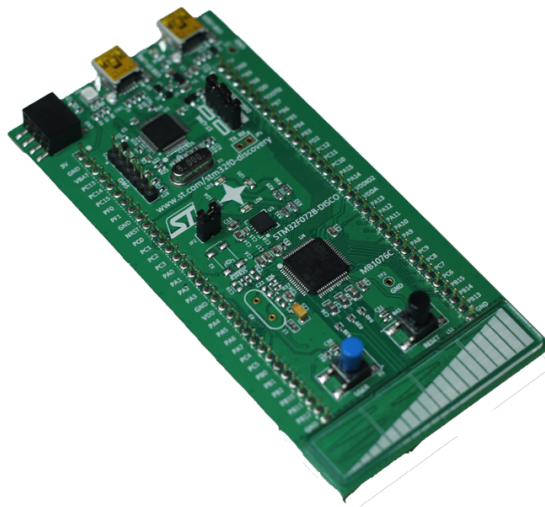
Procesor	900MHz quad-core ARM Cortex-A7 CPU
Ram	1 GB
Grafický procesor	VideoCore IV
Interní paměť	Slot pro Micro SD
Výstupy	<ul style="list-style-type: none"> • Ethernet konektor 10/100 Mbit • 4 USB 2.0 porty • 40 GPIO pins • Full HDMI port • Kombinovaný 3,5 mm jack a kompozitní video • CSI kamerový konektor • DSI konektor

Řada Raspberry Pi má již několik modelů. Poslední z nich jsou modely 4 a 400. Model 4 přináší oproti modelu 2 zvýšení výkonu procesoru, výstup na dva monitory s podporou 4K obrazu, rychlejšími USB konektory 3.0/3.1/3.2 a možností mezi třemi velikostmi paměti RAM. Model 400 již je v podstatě kompletní náhrada počítače. Tento model je ukryt uvnitř klávesnice, ke které pomocí tří USB, dvou micro-HDMI portů je možné připojit nutné periferie a bezdrátovými moduly WiFi 5 a Bluetooth 5.0 se připojit k bezdrátové síti nebo perifériím. Modely 4 a 400 jsou daleko výkonnější než model 2, ale v rámci ušetření rozpočtu, byl vybrán model 2 s dostačujícím výkonem a s ohledem na nynější vlastnictví tohoto modelu. Model je vybaven 4-jádrovým procesorem ARM Cortex A7 s frekvencí 900MHz a 1 GB RAM pamětí.

Jelikož pro komunikace byl vybrán modul nRF24L01 viz. kapitola 2.3.3, který komunikuje přes sběrnici SPI, bude jeho připojení k Raspberry velmi jednoduché přes konkrétní piny GPIO. Spínací relé pro elektromagnetické ventily se jednoduše připojí na GPIO piny a sepnou pomocí napětí 3,3 V až 5 V. Pokud by byl využit některý 5V GPIO pin, bylo by nutné připojit mezi Raspberry Pi a relé malý odpor (cca 1kΩ). Program pro jednotlivé spínací relé bude programován v jazyce Python, který je již součástí operačního systému Rasbian.

2.4.2 STM32

STM32 jsou cenově dostupné programovatelné desky od firmy STMicroelectronics. K největším výhodám těchto desek patří zabudovaný plnohodnotný debugger. Tedy hardware schopný programovat jakoukoliv vlastní desku či sensor a ladit svoji aplikaci. Mikrokontroléry STM32 se dělí do několika rodin, které se liší použitým pouzdem, kapacitou paměti, počtem vývodů a možnými připojeními perifériemi. Nejznámější vývojové kity Discovery a Nucleo začínající na ceně okolo 250 korun. Jsou tedy velmi levné oproti AVR vývojovým kitům, které stojí okolo 1500 korun. Na deskách STM32 najdeme výstupní piny pro periferní připojení SPI sběrnice, I²C a USART, AD převodníky a interní funkce čítače/časovače. Kit je možno napájet buď pomocí micro-USB konektoru nebo z vnějšího 5 V zdroje.[22]



Obrázek 2.13 Vývojový kit STM32 Discovery

Vývojové desky jsou velkým konkurentem mikropočítačů Raspberry Pi a platformě AVR. Avšak každá platforma má svoje plusy i mínusy. Co se týče nízké spotřeby energie a možnostem připojení periférií, můžeme STM desky přirovnat k AVR procesorům. Avšak na druhou stranu tyto desky mají tak velký výpočetní výkon jako Raspberry Pi. Tato platforma byla jednou s možností řízení celého systému, ale nakonec jako optimálnější řešení je využití Raspberry Pi, díky jeho operačnímu systému a možnostem využití nástrojů jako je například Node-Red.

2.4.3 AVR Procesory

Jedná se o procesory vyvinuté firmou Atmel (od roku 2016 Microchip Technology)[23]. Procesory jsou postavené na tzv. 8bitové Harvardské architektuře RISC. Tato architektura fyzicky odděluje zvláště obě části, paměť programu a paměť dat. Architektura RISC používá omezenou sadu instrukcí, díky tomu jsou procesory rychlejší s nižšími náklady na výrobu. Procesory AVR se dnes vyrábějí ve třech variantách ATmega, Xmega a ATtiny. Liší se velikostí pamětí SDRAM, Flash, EEPROM, počtem čítačů/časovačů a jejich rozlišení a počtem výstupních portů (AD převodníky, sběrnice I²C, SPI apod.)

Pro řízení jednotlivých snímacích modulů byl vybrán mikroprocesor ATmega328P. [24] Tento procesor obsahuje dostatečný počet pinů, velikosti programovatelné paměti, obsahuje všechny potřebné interní periférie (AD převodník, UART, SPI I²C) a dostačujícím výkonem pro navrhovanou aplikaci. Jeho základní vlastnosti jsou popsány v tabulce 2.5.

Tabulka 2.5 Parametry procesoru ATmega328P [24]

Typ CPU	8-bit AVR
Výkon	16 MIPS při 16 MHz
EEPROM	1 kB
SRAM	2 kB
Flash paměť	32 kB
Napájecí napětí	2,7 – 5,5 V
Úsporné režimy	<ul style="list-style-type: none"> • Active mode: 1,5mA při 3V • Power-down mode: 1 μA při 3V
Periferní vývody	<ul style="list-style-type: none"> • 2x 8-bit čítač/časovač • 1x 16-bit čítač/časovač • 6x PWM • 8x 10-bitový AD převodník (Pouzdro TQFP and QFN/MLF) • USART • Master/slave SPI sběrnice • I²C sběrnice

Pro připojení senzorů k procesoru budou využity porty některého z AD převodníku pro převedení analogové hodnoty ze snímačů. Dále se použijí porty pro sběrnici SPI, po které bude mikroprocesor komunikovat řídicím prvkem Raspberry Pi a sběrnici I²C pro sběr dat ze senzoru teploty a vlhkosti vzduchu.

2.5 Spotřeba energie

Pro návrh bezdrátových modulů s procesorem ATmega328p je bez pochyb důležitá doba výdrže na bateriové napájení. Důležité je zvolit správné součástky, tak aby spotřeba energie modulu byla co nejmenší. Zároveň je dobré brát v potaz velikost zařízení. Proto jednou z možností pro napájení jsou knoflíkové baterie. Výhody těchto baterií je nízká cena, vysoká kapacita v poměru k velikosti a dlouhá životnost. Spotřebu energie lze také ovlivnit programovou částí systému, kdy procesor a ostatní součástky přivedeme do tzv. sleeping modu s nízkou energetickou spotřebou.

Tabulka 2.6 Sleeping mody ATmega328P a jejich spotřeba při 3,6V (f=8MHz) [24]

Název módu	Spotřeba
IDLE	10,5 mA
Power save	0,75 μA
Power Down	0,1 μA
Standby (32kHz crystal oscillator)	4 μA

Pokud by, jsme chtěli využít tyto baterie musíme napětí transformovat na požadovaných 3,6V pomocí stabilizátoru napětí. Zde musíme brát v potaz, že stabilizátor část energie přemění na teplo, nebo využije energii pro své interní napájení. Proto je nutné hledat tranzistory s nízkým tzv. klidovým proudem (V anglické literatuře „quiescent current“). Tento parametr splňuje například stabilizátor LDLN025, jehož klidový proud je uveden v tabulce 2.7.

Modul v našem případě nemusí data ze sensorů posílat neustále, ale může je posílat v krátkých definovaných intervalech (1 interval = 1-5 s) několikrát za den. Například pokud použijeme baterii typu CR2032 s kapacitou 220mAh. Jednoduchým výpočtem můžeme spočítat přibližnou denní spotřebu.

Tabulka 2.7 Spotřeba energie nRF24L01, ATmega328P a stabilizátoru LDLN025

Spotřebič	Sleep mode	Active mode
ATmega328P	4,5 μA	0,2 mA
nRF24L01	22 μA	13,5 mA
LDLN025	12 μA	425 μA

Výpočet pro sleep mode

$$t = \frac{C}{A_{Atmega} + A_{nRF} + A_{LDLN025}} = \frac{220 \cdot 10^{-3}}{4,5 \cdot 10^{-6} + 22 \cdot 10^{-6} + 12 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 5176,47 \text{ hodin} = 215 \text{ dnů}$$

Výpočet pro active mode

$$t = \frac{C}{A_{Atmega} + A_{nRF} + A_{LDLN025}} = \frac{220 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-3} + 13,5 \cdot 10^{-3} + 425 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 15,58 \text{ hodin}$$

Hodnoty spotřeby energie také ovlivní samo vybíjecí proud baterie a ostatní součástky na desce snímače. Daná kapacita by měla stačit, bereme-li v úvahu, že snímače budou pracovat pouze v letních měsících, kdy je v dané lokalitě potřeba zavlažování zahrady. Výdrž baterie můžeme zvýšit pomocí solárních panelů, které při slunečním svitu dodávají baterii energii.

Avšak existuje lepší řešení. Na trhu existují tužkové baterie od firmy SAFT, které mají vyšší kapacitu než knoflíková baterie (2600mAh) a zároveň jejich výstupní napětí je 3,6V. Tedy odpadá nutnost použití stabilizátoru napětí. Musíme také brát v potaz samo vybíjení baterie. Výrobce této baterie udává, že kapacita baterie se sníží 0,1% za rok při konstantní teplotě 20°C. V tomto případě tuto hodnotu nemusíme brát v potaz, protože baterie se dříve bude rozkládat, než by se vybila.

Výpočet pro sleep mode

$$t = \frac{C}{A} = \frac{2600 \cdot 10^{-3}}{4,5 \cdot 10^{-6} + 26 \cdot 10^{-6}} = 83\,870,47 \text{ hodin} = 3\,494 \text{ dnů}$$

Výpočet pro active mode

$$t = \frac{C}{A_{nRF} + A_{Atmega328}} = \frac{2600 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 10^{-3} + 13,5 \cdot 10^{-3}} = 189,78 \text{ hodin} = 8 \text{ dnů}$$

Z výše uvedených výpočtů můžeme vidět, že díky této baterii zvedneme výdrž daného modulu více jak 10x za cenu zvětšení modulu. Ale velikost baterie není převratně velká a díky oboustranné desce se nám velikost modulu pro snímání vlhkosti půdy příliš nezvětší.

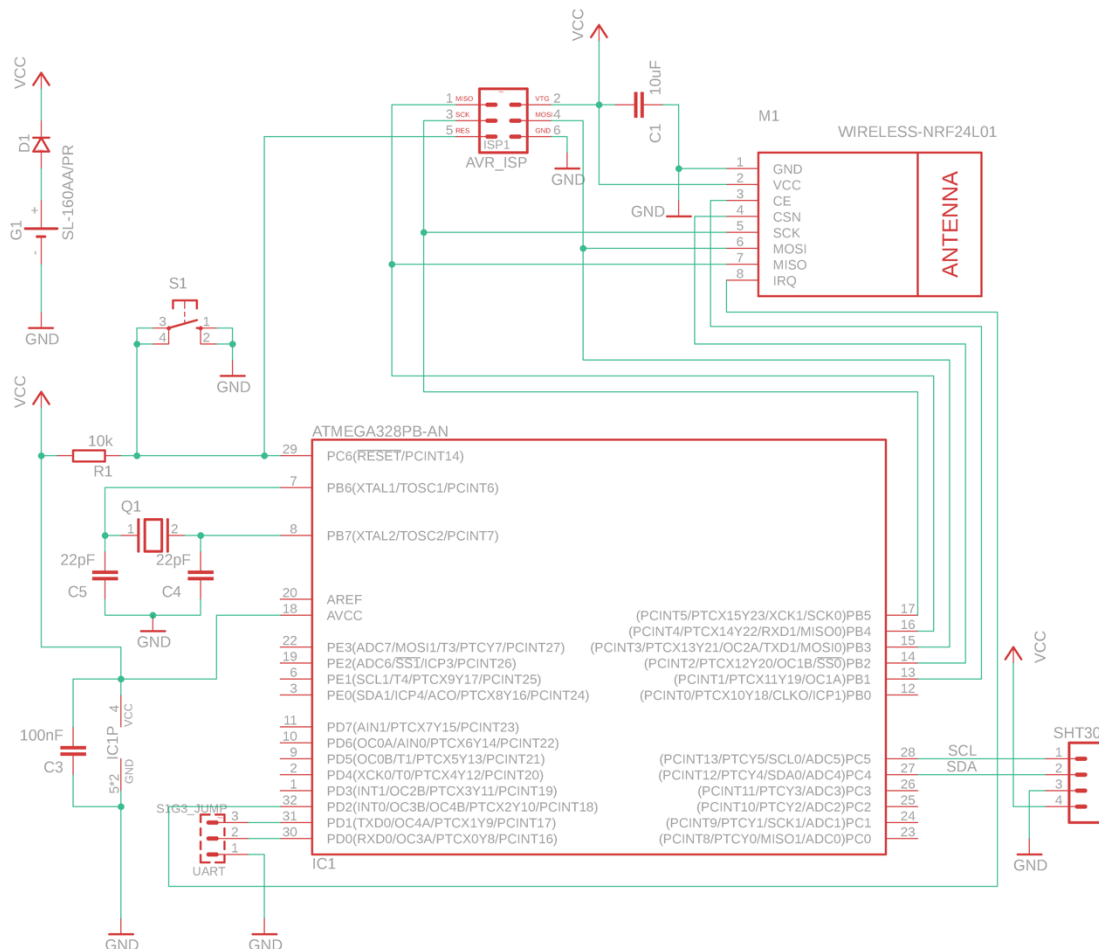


Obrázek 2.14 Tužková baterie od firmy SAFT 14500 [25]

Dobré je se také vyhnout různým signalizačním LED diodám, které mohou mít spotřebu okolo 7mA. Zdá se to jako zanedbatelná hodnota, ale poté co by deska obsahovala více takových prvků, může nám několik takových prvků výrazně ovlivnit spotřebu energie. Dalším dobrým způsobem je procesor spouštět na nižším napětí. Například u provozu na 3,3V se můžeme ve režimu spánku ušetřit jednotky mikroampér.

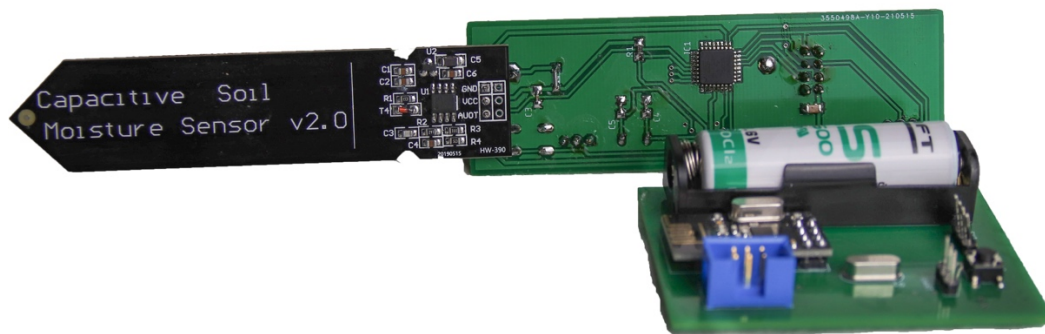
2.6 Bezdrátové moduly

S ohledem na předchozí teoretické části byly vytvořeny dvě desky plošných spojů pro bezdrátové moduly. Deska je osazena mikroprocesorem ATmega328P s externím krystalem 8MHz. Tento procesor ovládá modul bezdrátové komunikace NRF24L01 a sbírá data ze snímačů. Desku napájí výše zmíněná baterie. K programování procesoru je zde umístěn konektor AVR_ISP, ke kterému se připojí programátor.



Obrázek 2.15 Schéma zapojení bezdrátové moduly (Teplota a vlhkost vzduchu)

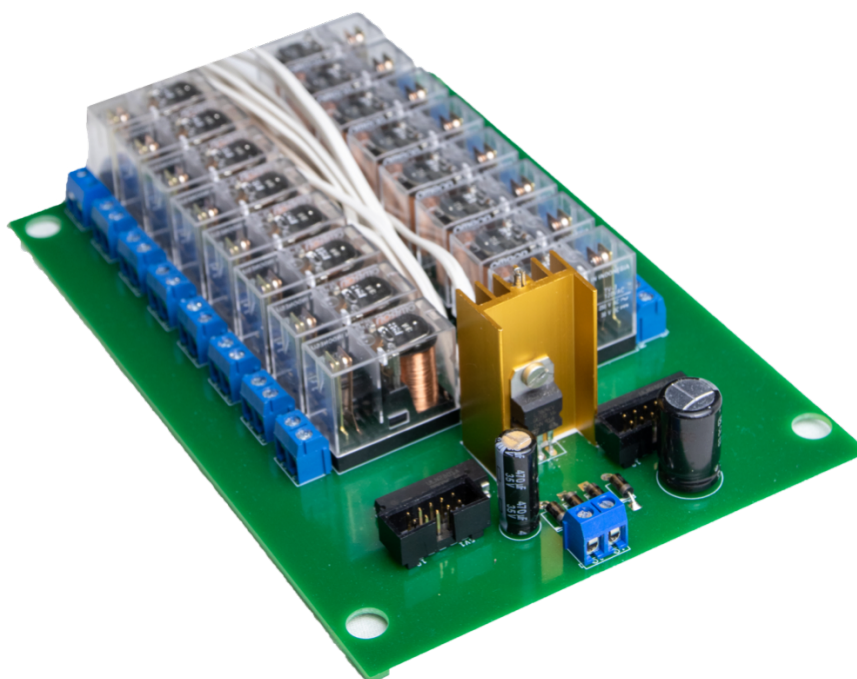
Pro jednotlivé moduly jsou schémata stejná, liší se pouze v připojení konkrétního snímače k mikroprocesoru. Výstupní hodnota snímače vlhkosti půdy je analogová hodnota, kterou je nutné převést na digitální. Proto sensor je připojen k AD převodníku mikroprocesoru, kde je převeden na digitální hodnotu. Druhý sensor SHT30 komunikuje pomocí sběrnice I2C (Pro Atmel TWI). Mikroprocesor ATmega328P obsahuje dva nutné vstupy SDA (Data) a SCL (hodinový signál) pro provoz linky I2C. Bezdrátový modul nRF24L01 je připojen pomocí sběrnice SPI a pin pro přerušení je připojen na INT0 pro externí přerušení. Programové řešení je popsáno v 3. kapitole.



Obrázek 2.16 Desky PCB (Vpředu teplota a vlhkost vzduchu, v pozadí vlhkost půdy)

2.7 Spínací část

Spínání jednotlivých okruhů je vyřešeno pomocí dvou spínacích součástek, a to pomocí relé a elektromagnetických ventilů. Ventily jsou spínány střídavým napětím 19-24 V. Proto je nutné použití spínacích relé ovládaných stejnosměrným napětím 3,3 V GPIO výstupy Raspberry Pi. Na obrázku 2.17 můžeme vidět vytvořenou PCB s relé.



Obrázek 2.17 Spínací PCB s relé

2.7.1 Elektromagnetické ventily TORO a relé

Jak již bylo zmíněno, firma TORO patří mezi tradiční výrobce různých součástek a modulů pro automatizované zahradní systémy [26]. Tato firma produkuje široké spektrum spínacích ventilů, které se liší spínacím napětím, průtokem, regulací průtoku a provozním tlakem. Byl zvolen model EZP-22-54 s regulací průtoku. Jedná se o ventil spínaný střídavým napětím 24 V. Na obrázku 2.18 můžeme vidět zapojení pěti ventilů

v řídicí místnosti. Zbylé 4 ventily jsou zapojeny vlevo od ostatních. Přívod vody je možno ručně vypnout/zapnout centrálním kulovým ventilem. A zároveň lze každý okruh uzavřít samostatným kulovým ventilem. Tyto ventily byly vybrány na doporučení firmy, u které byly zajištěny součásti celého systému. Jsou dvě možnosti kam umístit ventilovou část systému. Zakopat celý systém pod povrch země nebo umístit celý systém do vnitřních prostor. Při venkovním uložení dochází k zamrznutí, korozi a celkovému poškození ventilů. Proto je výhodnější systém umístit do vnitřních prostorů. V práci bylo využito připevnění spínacího rozhraní na zeď v řídicí místnosti.



Obrázek 2.18 Zapojení části rozvodu vody se spínacími ventily

Tabulka 2.8 Parametry elektromagnetických ventilů TORO

Parametr	Hodnota
Provozní tlak	0,68-10,32 Bar
Spínací proud	0,34 A
Přidržený proud	0,2 A
Závit	25mm

Pro napájení ventilů je nutné transformovat spínací napětí ze střídavých 230V na požadovaných 24V, které je určené pro spínání ventilů. Proto je nutné zjistit potřebnou hodnotu výkonu pro napájení ventilů.

Pro výpočet potřebného výkonu, všech ventilů použijeme jednoduchý vzorec. Dodávaný výkon zdrojem je 10,8 VA.

$$P = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{10,8}{26,4} = 0,409 \text{ A}$$

Z výše vypočítaného proudu dosadíme do vzorce pro výkon a vynásobíme celkovým počtem ventilů N .

$$P = N \cdot U \cdot I = 16 \cdot 24 \cdot 0,409 = 157 \text{ VA}$$

Je nutné také počítat s tepelnou ztrátou, která vznikne po usměrnění vstupního napětí a následné stabilizaci napětí na 24V. Po usměrnění vstupního střídavého napětí bude na výstupu graetzova můstku 34V. Tudíž na stabilizátoru bude vznikat napěťová ztráta 10V. Při dosazení do vzorečku pro výkon při sepnutých relé dostáváme:

$$P = n \cdot U \cdot I = 16 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 2,4 \text{ W}$$

Z uvedeného výpočtu vychází, že ztrátový výkon je 2,4W. Tento výkon se bude přeměňovat na teplo. Proto bude nutné ke stabilizátoru připevnit chladič, pro případ, kdy by byla sepnuta všechna relé.

Po prozkoumání komerčně prodávaných transformátorů, byl vybrán jako vhodná volba toroidní transformátor TTS 150/Z s výstupem 1x24 V, při výkonu 150 VA, což je pro účely práce dostačující výkon, jelikož i po případném rozšíření nebude sepnuto všech 16 okruhů. Mezi GPIO piny Raspberry Pi a relé bude nutné připojit například NPN tranzistory kvůli velkému proudovému zatížení výstupních pinů. Pro toto ošetření je ve schématu takto připojena součástka ULN2801A, která obsahuje osm Darlingtonových tranzistorů se společným emitorem a integrovanými ochrannými diodami. Kompletní zapojení celého tohoto modulu je uvedené v kapitole příloh A.1

2.8 Webové rozhraní

Webové rozhraní složí jako nástroj uživatelského ovládání systému. Uživatel zde může ovládat nastavení systému, aktuální stav zařízení, spínat jednotlivé okruhy, sledovat aktuální stav venkovní teploty.

2.8.1 ThingSpeak

Tuto službu se řadí mezi nejpopulárnější služby pro zobrazení dat z IoT zařízení. Nabízí mnoho možností, jak analyzovat a zpracovávat přijatá data a to vzdáleně třeba z chytrého telefonu. Umožňuje především nativní podporou algoritmů vytvořených v nástroji MATLAB. Všechna příchozí data mohou být uložena do cloudu nebo přímo živá data zobrazena ve webovém prostředí.

S ThingSpeak lze využít jakékoli zařízení připojené k internetu. Při odesílání dat ze svých zařízení můžete použít již vytvořené knihovny pro běžně prodávané vývojové desky nebo mikropočítač, jako jsou například Arduino, ESP-8266 a Raspberry Pi. Lze posílat data do ThingSpeak ze zařízení pomocí REST API nebo MQTT. Mnoho firem ThingSpeak již dodává nainstalovaný v zařízení jako například již zmíněný LoraWan. Všechna data jsou odesílána na cloud chráněna API klíčem a lze k nim přistupovat jak online, tak offline. Pomocí uživatelského účtu se lze k datům dostat odkudkoliv a změřená data si stáhnout. Komerční verze umí navíc odesílat data do zařízení. Jako příklad můžeme uvést vzdálené spínání topení, zatahování rolet, či vypnutí domácích spotřebičů v chytrých domácnostech. [27]

2.8.2 NodeRed

Jedná se o open-source programovací nástroj, vytvořený společností IBM. Slouží pro propojení hardwarových zařízení, API a online nástrojů. Je založen na tzv. flow based přístupu. Tento princip je založen na uzlech (nodes), z nichž každému lze zadat určitou funkci a postupně tak vytvořit posloupnost, která zpracovává příchozí data a posílá je dále do dalšího uzlu. NodeRed také nabízí webové prostředí, ve kterém můžeme zobrazovat data ze snímačů, aktivních prvků a dalších. Tento nástroj je navíc již součástí OS Raspberry Pi a lze ho velmi lehce nainstalovat pomocí příkazového řádku. [28]

```
pi@raspberrypi:~ $ bash <(curl -sL https://raw.githubusercontent.com/node-red/linux-installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered)
pi@raspberrypi:~ $ apt-get install nodered
```

Obrázek 2.19 Příkazy pro nainstalování node red na Raspberry Pi

Poté již jen stačí spustit přes ikonu Node Red příkazový řádek, ze kterého zkopírujeme IP adresu pro spuštění prostředí Node Red v prohlížeči v místní síti. Dobré je také aktualizovat operační systém Rasbian, prostředí pro WebServer Node.js a správce balíčků npm. Pro sestavení zapojení z nodů existuje již mnoho předpřipravených knihoven, které stačí nainstalovat přímo v prostředí Node Red nebo pomocí příkazu v příkazovém řádku.

ThingSpeak a Node Red jsou velmi podobné služby, které slouží jako ovládací a informační webové nástroje pro koncového uživatele. Avšak z pohledu amatérského využití se Node Red jeví jako přívětivější služba, která je navíc plně zdarma. Proto byla vybrána pro tuto práci a její implementace je popsána v kapitole 3.4.

3. FIRMWARE

V této poslední kapitole je popsáno programové řešení práce. Postupně je popsáno programové řešení pro samostatné snímače, bezdrátovou komunikaci, spotřebu energie a uživatelské webové rozhraní.

3.1 Snímač teploty a vlhkosti vzduchu

Jak už bylo dříve zmíněno snímač SHT30 komunikuje po sběrnici I2C. Tato sběrnice obsahuje dva vodiče SDA a SCL. Mezi tyto dva vodiče a napájení je nutné připojit pull up rezistory 10kΩ. Pro odstranění zákmitů je zde umístěn filtrační kondenzátor 100nF. Tyto součástky jsou již součástí zakoupeného snímače.

Snímač nejdříve změří teplotu a vlhkost vzduchu a následně probíhá odesílání dat do řídicího mikroprocesoru. Komunikaci zahajuje master tím, že na datovém vodiči SDA nastaví do logické nuly, kdežto vodič SCL zůstává ještě chvíli v logické 1. Tento stav definuje start komunikace, po kterém následuje 7 bitů adresy zařízení a bit čtení (log. 0). Po této zahajující sekvenci následuje odesílání dat. Každá měřená veličina je odesílána pomocí 16 bitů dat, tedy na sběrnici jsou odesílána celkově 4 byty dat a poslední 9 bitový rámec obsahuje kontrolní CRC informaci. Dále je nutné převést přijatá data z nezpracované podoby. Pro tento převod slouží vzorce od výrobce.

$$RH [\%] = \frac{S_{RH}}{2^{16} - 1}$$
$$T [^{\circ}C] = -45 + 175 \cdot \frac{S_T}{2^{16} - 1}$$

kde S_{RH} a S_T jsou hodnoty přijatých dat v decimální podobě.

Zdrojová knihovna SHT30.h pro tento snímač byla využita od Aliho Gholamiho, která má v sobě již nadefinované funkce pro měření a odesílání dat řídicímu mikroprocesoru. [32]

Hlavní funkci knihovny můžeme vidět na části programu níže. Uvedená část programu se stará o zahájení měření a následné odeslání dat k mikroprocesoru přes sběrnici I²C. Přenos začíná funkcí I2C_Start, která obsahuje zahajovací sekvenci a adresu sensoru a poté následují příkazy I2C_Write s příkazem k měření. Po ukončení měření příkazem I2C_Stop přichází na řadu čtení dat ze snímače (slave) příkazem I2C_Start(SHT30_ADD_write). Data jsou rozdělena do 6 rámců (2 byty teplota + CRC, 2 byty vlhkost + CRC). Tento přenos obstarává funkce I2C_readAck ve které jsou nadefinované potřebné registry. Přenos je ukončen příkazem I2C_Stop. Data jsou následně pomocí matematické funkce upravena na dekadickou podobu teploty a vlhkosti vzduchu. Proměnné poté mohou být volány a dále zpracovávány v main.c. Tento přenos byl ověřen pomocí logického analyzátoru a sekvence je zobrazena na obrázku 3.1.

Pro A/D převod byl použit převodník ADC5, který se nachází na pinu PC5 mikroprocesoru. Nejdříve bylo nutné nastavit samotný A/D převod, k čemuž slouží registry ADMUX, ADCSRA. Poté je použito přetečení čítače/časovače 1, který každou sekundu zahájí AD převod a ověření. Měřená hodnota byla nejdříve ověřena pomocí zaslání na UART.

Tabulka 3.2 Registry pro nastavení AD převodu

Operace	Registr	Bit	Funkce
Referenční napětí	ADMUX	REFS 1:0	„01“ AVcc referenční napětí
Vstupní převodník	ADMUX	MUX 3:0	„0000“ = ADC0
Povolení ADC	ADCSRA	ADEN	„1“ povolí ADC převod
Povolení ADC přerušení	ADCSRA	ADIE	„1“ povolí přerušení
Předělička ADC	ADCSRA	ADPS 2:0	„111“ =Dělicí poměr 128

```

/*--- HW INIT ---*/
nRF24L01 *rf = setup_rf();
// Set ADC reference to AVcc
ADMUX |= (1<<REFS0);
ADMUX &= ~(1<<REFS1);
// Set input channel to ADC5
ADMUX |= ((1<<MUX0)|(1<<MUX2));
// Enable ADC module
ADCSRA |= (1<<ADEN);
// Enable conversion complete interrupt
ADCSRA |= (1<<ADIE);
// Set clock prescaler to 128
ADCSRA |= ((1<<ADPS0)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS2));
// Configure 16-bit Timer/Counter1 to start ADC conversion
// Enable interrupt and set the overflow prescaler to 1s
TIM1_overflow_1s();
TIM1_overflow_interrupt_enable();

```

Analogovou hodnotu je nutno ještě matematicky upravit, protože analogový výstup je invertovaný a není v procentech. A poslední úpravu musíme provést vydělením výsledku hodnotou AD převodníku (v našem případě 1023).

```

ISR(TIMER1_OVF_vect)
{
    send_message = true;
    INT_Count++;
    // Start ADC conversion
    ADCSRA |= (1 << ADSC);
    humidity = 100-(value*100.00)/1023;
    itoa(humidity, UART_string, 10);
}

```

3.3 Bezdrátové moduly

3.3.1 Komunikace NRF24L01

Celá komunikace se původně měla odehrávat mezi moduly a řídicí jednotkou Raspberry. Avšak při programování příjmu dat v prostředí Node Red nastal problém s knihovnou pro příjem dat nRF24L01. Již vytvořená knihovna nefungovala dle popisu funkce. Proto bylo vymyšleno jiné řešení. Komunikace bude probíhat mezi dvěma deskami osazenými mikroprocesory ATmega328P. Po změření dat a odeslání řídicímu mikroprocesoru budou data odeslána po sériové sběrnici UART do Raspberry Pi. Princip bezdrátové komunikace byl již objasněn v kapitole 2.3.4. Nyní se text zaměří na programovou část řízení komunikace. Pro naprogramování tohoto vysílacího a přijímacího zařízení byla převzata knihovna od Antoineho Leclaira [33].

```
-  
while (true) {  
    if (rf_interrupt)  
    {  
        rf_interrupt = false;  
        int success = nRF24L01_transmit_success(rf);  
        if (success != 0)  
            nRF24L01_flush_transmit_message(rf);  
        SendString("Going to sleep\n");  
        system_sleep();  
        DataReadStatus = false;  
    }  
  
    if(DataReadStatus == false)  
    {  
        SendString("Read data start\n");  
  
        /* -----Measurement of Temp/Humid-----*/  
        sht30_get_data(&sht_n);  
        dtostrf(sht_n.CT,2,2,ctemperature);  
        dtostrf(sht_n.H,2,2,humidity);  
  
        /* -----Data sending over NRF-----*/  
        nRF24L01Message msg;  
  
        sprintf(NRF_string, "S1-T%s;H%s,", ctemperature, humidity);  
        msg.length = strlen((char *)NRF_string) + 1;  
        memcpy(msg.data, NRF_string, msg.length);  
        nRF24L01_transmit(rf, to_address, &msg);  
  
        SendString(NRF_string);  
        SendString("\n");  
        DataReadStatus = true;  
        SendString("Read data ends\n");  
    }  
}
```

V hlavní části programu musí být nadefinováno pole, ve kterém je zapsána informace ohledně adresy přijímacího modulu. Knihovna obsahuje možnost připojení přerušovacího pinu IRQ. K volání tohoto přerušování slouží příkaz `rf_interrupt`. Nejdříve proběhne ve smyčce `while` změření dat a data jsou zformátována funkcí `sprintf` převedena na string a následně funkce `msg.length` zjistí velikost změřených znaků a tato proměnná je následně zapsána do `packet` formátu Enhanced Shockburst. Pokud tento proces proběhne v pořádku, vyvolá se přerušování a po dokončení odesílání dat se pomocí funkce `system_sleep` uvede procesor na 8 sekund do spánku. Funkce pro přivedení mikroprocesoru do režimu `power_down` je popsána v kapitole 3.3.3.

Řídící program potom čeká jen na přijatá data. Zde je využita funkce `nRF24L01_listen`. Poté jsou již data poslána z registrů `nRF24L01` do řídicího mikroprocesoru po sběrnici SPI a následně je procesor odešle do prostředí Node Red (Raspberry Pi) pomocí sériové sběrnice UART. Zpracování dat v Node Red je popsáno v kapitole 3.4.

```
int main(void) {
    uint8_t address[5] = { 0x01, 0x01, 0x01, 0x01, 0x01 };
    sei();
    nRF24L01 *rf = setup_rf();
    nRF24L01_listen(rf, 0, address);
    uint8_t addr[5];
    init_usart();

    while (true) {
        if (rf_interrupt) {
            rf_interrupt = false;
            while (nRF24L01_data_received(rf)) {
                nRF24L01Message msg;
                nRF24L01_read_received_data(rf, &msg);
                process_message((char *)msg.data);
            }
            nRF24L01_listen(rf, 0, address);
        }
    }

    return 0;
}
```

Aby RX modul připojený k Raspberry Pi poznal, od kterého snímače přichází data je v odesílaném stringu zařazen před formát dat rozpoznávací znak `S1` (viz. ukázka níže).

```
sprintf(NRF_string, "S1-T%s;H%s,", ctemperature, humidity);
```

Odlišnými rozpoznávacími znaky, lze následně rozlišovat od kterého zařízení data přišla. Tyto znaky rozlišuje node „switch“ (viz. Obrázek 3.2 a Obrázek 3.8). Na jehož vstup přivádíme data z UARTu. Nadefinováním jednotlivých rozlišovacích znaků, vzniknou dané výstupy s daty, které jsou dále zpracovávány.



Obrázek 3.2 Rozpoznání modulu v node red pomocí nodu „switch“

3.3.2 Testování dosahu bezdrátových modulu

Dle teoretický hodnot maximální vzdálenosti pro úspěšnou komunikaci by mezi moduly měl být modul nRF24L01 dostatečný. V cestě komunikace se však nachází překážky v podobě zdí, rostlin, a proto je nutné ověřit pokrytí. Na obrázku 3.3 můžeme vidět satelitní snímek rozlohy zahrady a naznačení pokrytí bezdrátové komunikace pomocí barev po testování. Kde zelená barva značí bezproblémovou komunikaci, červená problémovou oblast a bílá barva nevyužitou oblast zahrady. Červená oblast v pravém dolním rohu v projektu nečiní problém, protože se jedná o okraj travnaté plochy a zde snímač nebude potřebný. Avšak pravý okraj zahrady s červenou zaznačenou oblastí bude nutné lépe pokrýt signálem. Zde bude potřeba využít modul z řady nRF24L01 s vestavěnou anténou.



Obrázek 3.3 Testování dosahu komunikace nRF24L01

3.3.3 Spotřeba energie

Spotřebu energie můžeme snížit několika způsoby. První způsob byl využit při návrhu bezdrátových modulů, kdy celé zařízení bylo navrženo na napájecích napětí 3,3V. Z návrhu byl odebrán stabilizátor napětí pro 5V, který by představoval největší úbytek napětí. Namísto toho byla využita 3,6V baterie. Další způsob, jak ušetřit energie je provozovat procesor na menší frekvenci, tudíž byl v návrhu využit 8MHz externí krystal. Nyní je na řadě programová část. Bezdrátový modul bude uveden do režimu spánku a pouze na krátký časový okamžik se probudí, aby změřil a odeslal data. Procesor ATmega 328P nabízí několik režimů spánků.

Tabulka 3.3 Sleeping mody pro snížení odběru energie[24]

Sleep mode	Odběr (při f = 16MHz)	Odběr (při f=8MHz)	Zdroj probuzení
Power-down	0,03 - 0,15 mA	0,03 - 0,15mA	Vnější přerušení, I2C adresace, watchdog timer
Power-save	2,9 mA	1,3 mA	Vnější přerušení, I2C adresace, watchdog timer
Standby	1,3 mA	0,4 mA	Vnější přerušení, I2C adresace, watchdog timer
Idle	12 mA	10,5 mA	Libovolné přerušení

V tabulce 3.3 jsou zobrazeny již zmíněné sleeping mody mikroprocesoru Atmega328P. V druhé části tabulky jsou zmíněny možnosti probuzení ze sleeping modu. Jako nejvhodnější se jeví sleeping mode Power down. V tomto režimu má procesor nejmenší spotřebu. Navíc může být probuzen periodicky pomocí watchdog timeru bez potřeby vnějších obvodů. Registr WDRCSR (watchdog timer control registr) obsahuje bity WDP0-WDP2, které nastavují čas přerušení od 16ms do 8s.

Mohou být také vypnuty nepotřebné periférie. Stačí si v registru Power Reduction vybrat jaké periférie chceme zakázat a na jejich pozici zapsat logic.1. V případě tohoto projektu byly vypnuty Čítač/časovač0 a 2. A poté v závislosti na použitém snímači mohou být vypnuty periférie I²C nebo ADC.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x64)	PRTWI	PRTIM2	PRTIM0	–	PRTIM1	PRSPI	PRUSART0	PRADC	PRR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obrázek 3.4 Registr RRP pro zakázání nepotřebných periférií [24]

S využitím všech vyjmenovaných metod snížení spotřeby a nejvyšším časem přerušením watchdog časovače se může odběr energie dostat na hodnoty okolo 10μA-100μA. Pokud k této spotřebě jsou ještě přičteny průměrné hodnoty odběru energie snímačů a modulu nRF24L01 udávané výrobcí, můžeme provozovat moduly cca 2 roky (viz výpočet níže). Vypočtená doba by tedy vyhovovala pro provoz jednotlivých sensorů. Jedná se pouze o teoretickou hodnotu a nejspíše reálná hodnota bude o něco nižší.

V reálných podmínkách se musí zohlednit skutečný odběr energie i samovybíjecí proud baterie. Pokud by baterie vydržela 1-2 letní sezóny, byla by to dostatečná výsledná doba.

$$t = \frac{C}{A_{mega328p} + A_{DHT} + A_{nRF}} = \frac{2600 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-6} + 0,1 \cdot 10^{-3}} = 967 \text{ dnů}$$

Na uvedené ukázce je vidět, jakým způsobem funguje v této práci sleeping mode. Bylo zde využito úsporného režimu „power-down“, s přerušením od watchdogu, který by měl mít největší úsporu energie. Pro tyto účely slouží dvě knihovny, avr/sleep.h a avr/wdt.h. Nejdříve je nutné inicializovat watchdog na požadované přerušení 8 sekund. Toto je nadefinováno ve funkci setup_watchdog. Pro zvolení jiného času by stačilo změnit proměnou ii na hodnotu 0-9. (0=16ms, 1=32ms, 2=64ms, 3=128ms, 4=250ms, 5=500ms, 6=1 sec, 7=2 sec, 8=4 sec, 9= 8sec). Po nastavení této hodnoty je zapsána log. 1 do registru WDCE pro změnu nastavení WDE (Po 4 cyklech se restartuje) a následně je vypnut v registru WDRF reset systému od WDT. Pomocí WDIE se povolí přerušení od watchdogu.

```
void setup_watchdog(int ii) {
    char bb;
    if (ii > 9 ) ii=9;
        bb=ii & 7;
    if (ii > 7) bb|= (1<<5);
        bb|= (1<<WDCE);
    MCUSR &= ~(1<<WDRF);
    // start timed sequence
    WDTCSR |= (1<<WDCE) | (1<<WDE);
    // set new watchdog timeout value
    WDTCSR = bb;
    WDTCSR |= _BV(WDIE);
}
```

Na další ukázce je nadefinována funkce, kterou poté voláme v hlavní smyčce pro uvedení procesoru do režimu spánku. Nejdříve vypneme ADC převodník, následuje již nadefinovaná funkce setup_watchdog pro přerušení na 8 sekund. Funkcí set_sleep_mode nastavíme power down mod (v registru SMCR, funkce je nadefinována v avr/sleep.h) a povolíme režim spánku. Poté musí být nastaven v registru MCUCR bity BODS a BODSE do log. 1. BODS musí být v log. 1, aby mohl být vypnut brown-out detektor, který hlídá napájecí napětí. Poté již jenom systém uspíme příkazem sleep_cpu na 3 hodinové cykly a poté zase probudíme.

```

void system_sleep()
{
    ADCSRA = 0;
    setup_watchdog(9);
    set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
    sleep_enable();

    MCUCR = (1<<BODS) | (1<<BODSE);
    MCUCR = (1<<BODS);
    SendString("Sleep CPU\n");
    sleep_cpu ();
    SendString("Sleep CPU ends\n");
    sleep_disable();

    ADCSRA = 1;
}

```

Dobu trvání sleeping modu byla ověřena pomocí času mezi přijatými zprávami v Node Red. Z obrázku 3.5 je vidět, že čas mezi přijatými zprávami je 9 sekund u měření teploty a vlhkosti vzduchu, u měření vlhkosti půdy čas činí 12 sekund. První zmíněný rozdíl 9 sekund odpovídá cca nastavené době sleeping modu 8 sekund (rozdíl jedné sekundy je způsoben nejspíše dobou měření a odeslání dat). U druhé zmíněné hodnoty je delší rozdíl zapříčiněn nastavením zpožděním při měření analogové hodnoty.

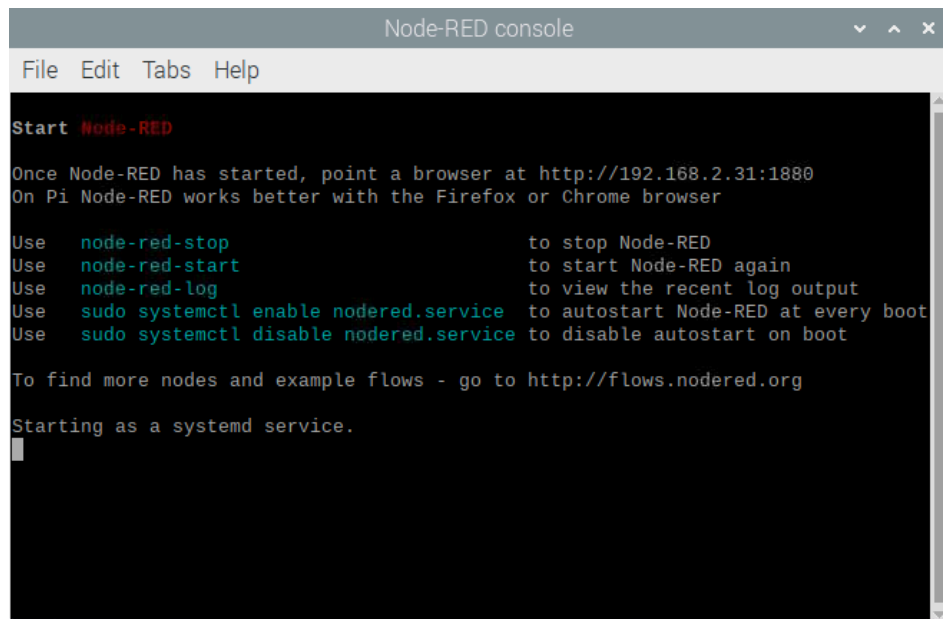
25. 5. 2021 20:35:08	node: Vlhkost pudy	msg.payload : number	61
25. 5. 2021 20:35:10	node: Teplota	msg.payload : number	22.84
25. 5. 2021 20:35:10	node: Vlhkost vzduchu	msg.payload : number	61.77
25. 5. 2021 20:35:15	node: Vlhkost pudy	msg.payload : number	62
25. 5. 2021 20:35:19	node: Teplota	msg.payload : number	22.82
25. 5. 2021 20:35:19	node: Vlhkost vzduchu	msg.payload : number	61.74

Obrázek 3.5 Přijatá data v prostředí node red

3.4 Webové prostředí

Webové rozhraní je důležitou částí pro koncového uživatele. Je důležité web navrhnout tak, aby byl uživatelsky co nejpřívětivější. Uživatel zde nastaví zapnutí/vypnutí jednotlivých zavlažovacích okruhů, ruční časové nastavení časového zalévání, či zobrazení venkovní teploty, vývoj v čase. Tyto všechny parametry může vytvořit pomocí nástroje Node Red.

Vývojové prostředí lze spustit v lokální síti pomocí adresy, kterou lze najít v příkazovém řádku pro node red v OS Raspbian. Zkopírováním adresy do jakéhokoliv internetového prohlížeče se spustí programovací prostředí a přidáním znaku „/ui“ za naši adresu se spustí webové prostředí.



```
Node-RED console
File Edit Tabs Help

Start Node-RED

Once Node-RED has started, point a browser at http://192.168.2.31:1880
On Pi Node-RED works better with the Firefox or Chrome browser

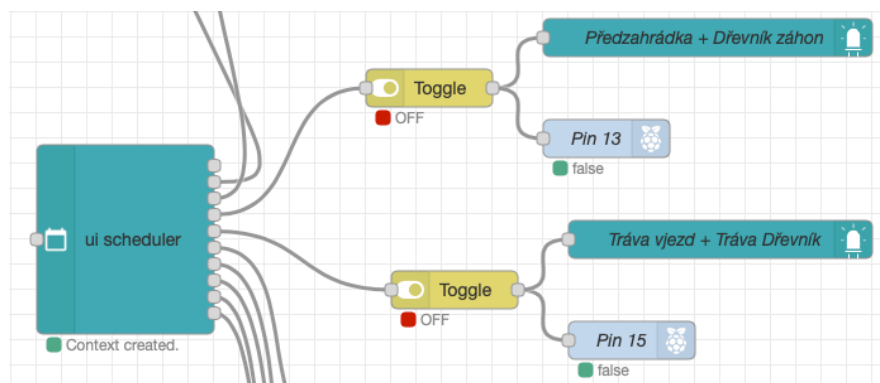
Use node-red-stop to stop Node-RED
Use node-red-start to start Node-RED again
Use node-red-log to view the recent log output
Use sudo systemctl enable nodered.service to autostart Node-RED at every boot
Use sudo systemctl disable nodered.service to disable autostart on boot

To find more nodes and example flows - go to http://flows.nodered.org

Starting as a systemd service.
```

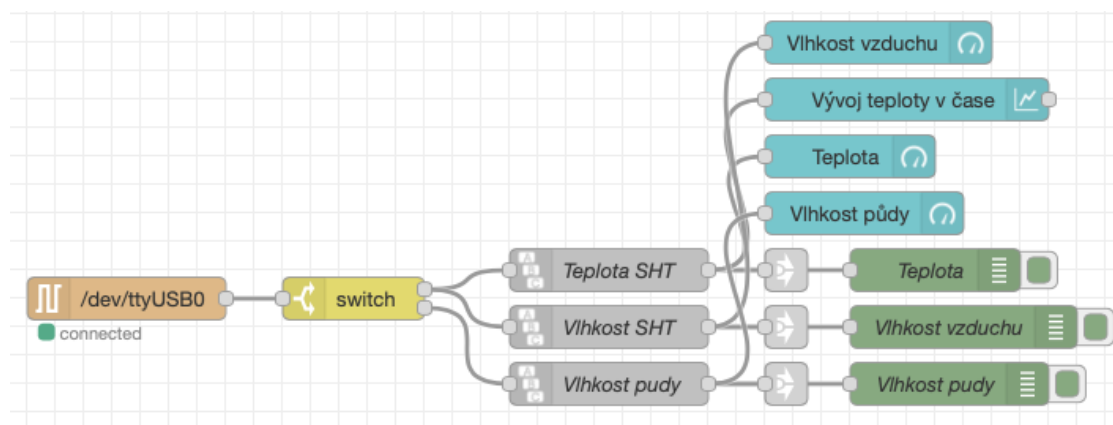
Obrázek 3.6 Node red console v OS Raspbian

Na obrázku 3.7 můžeme vidět, jak lze jednoduše vytvořit pomocí nodů a jejich vnitřního nastavení ovládání celého systému. Node ui Scheduler na svoje výstupy nastaví hodnotu „true“, v přednastavený časový interval a tento okamžik sepne GPIO piny, které aktivují daný zavlažovací okruh. Tyto Nody mají v sobě nadefinované funkce, které vytvoří grafické rozhraní v dashboardu (webovém rozhraní).



Obrázek 3.7 Ukázka webového rozhraní vytvořeného v Node Red

Na níže uvedené obrázku můžeme vidět jakým způsobem jsou data v Node Red zpracována. První node USB0 složí pro čtení dat ze sériového portu. Node switch rozeznává pomocí rozpoznávacího znaku ve zprávě, od jakého typu snímače data přišly. Následně jsou data formátována v nodech Teplota SHT, Vlhkost SHT a Vlhkost půdy. Na výstupech těchto nodů jsou změřené hodnoty snímačů a ve webovém rozhraní jsou hodnoty zobrazeny čtyřmi modrými nody. Zelené nody slouží pouze jako výpis dat v debug okně.



Obrázek 3.8 Ukázka nastavení příjmu dat v Node Red

Ze zpracovaných naměřených hodnot ze snímačů jsou následně vytvořeny podmínky na vstup ui_scheduler, které automaticky při vysoké venkovní vlhkosti vzduchu, nebo vlhkosti půdy nedovolí zapnout zavlažovací okruhy. Další podmínku lze nastavit pro konkrétní oblasti nebo truhlíky, kde by se nacházely další snímače vlhkosti půdy. Zde by byla podmínka nastavena pro rozsah vlhkosti půdy, tak aby květiny měly ideální vlhkost půdy.

Na obrázku 3.9 lze vidět vytvořené webové prostředí. V levé části je zobrazena poslední přijatá venkovní teplota od senzorů, v prostřední sloupci si uživatel může sám přednastavit čas spínání jednotlivých okruhů zalévání, které si lze ověřit pomocí signalizace v pravé části stránky (zelená = sepnuto, červená = vypnuto). Jako poslední nalezneme na stránce X-Y graf s vývojem teploty v čase.



Obrázek 3.9 Ukázka webového prostředí pro koncového uživatele

Ověření příjmu dat je zobrazeno na obrázku 3.5. Kdy přijatá data kontrolujeme pomocí nodů debug. Tento node nám následně přijatá data vypíše v pravé části stránky pro node red. Node red je velmi jednoduchý nástroj, který je vhodný pro prvotní seznámení s problematikou webových rozhraní a dokáže pokrýt široké spektrum i složitějších aplikací.

ZÁVĚR

V Bakalářské práci byla popsána realizace systému pro automatizovaný zahradní systém s využitím v rodinném domě.

V realizované zahradě bylo rozvedeno vodní podzemní potrubí k zavlažování travních ploch a záhonů. Potrubí je také zazděno do omítky domu, kudy vede k okenním truhlíkům. Navržený systém je schopný automaticky spínat elektromagnetické ventily, které rozvádí vodu ke květinám v zahradě. Každý okruh je jinak zakončen, v závislosti, k jakému typu rostlin je doveden. Travní plochy jsou pokryty rotačními postřikovači. Záhony a okenní truhlíky květinám dávkuje vodu pomocí kapkovačů. Systém se rozhoduje, zda daný okruh sepne pomocí dvou typů bezdrátových modulů snímající povětrnostní podmínky prostředí.

Ve druhé kapitole je popsána koncepce celého systému. Úvod kapitoly se zabývá vlastním návrhem systému a jednotlivým částím, které jsou nutné pro kompletní funkčnost. V dalších podkapitolách jsou popsány a porovnány možné součástky, řídicí jednotky, snímače, které by pro koncovou aplikaci byly vhodné. Jednodesktopový počítač Raspberry Pi 2 je řídicí jednotkou celého systému. Tento vývojový počítač lze pomocí ethernetového konektoru připojit do sítě, čímž splňuje požadavek pro připojení webového rozhraní. Jeho deska je osazena 40 piny GPIO, kterými jsou spínány zavlažovací okruhy.

Pro řízení ventilů byla vytvořena deska plošných spojů se spínacími relé. Tyto relé jsou spínána GPIO výstupy Raspberry Pi, přes integrovaný čip ULN2801A s darlingtonovým zapojením tranzistorů. Vstupní napětí této desky je ~24V. Toto napětí následně usměrníme pomocí graetzova můstku na stejnosměrné napětí, protože spínací relé mají napájecí napětí 24V je nutné napětí za můstek ještě stabilizovat (Z 34V na 24V). Pro spínání GPIO bylo vytvořeno webové rozhraní v programovacím nástroji Node Red. V tomto rozhraní může uživatel sledovat aktuální stav zavlažování, přenastavit čas pro sepnutí ventilů nebo sledovat aktuální povětrnostní podmínky, které jsou do Node Red zaslány pomocí bezdrátových modulů.

Řízení bezdrátových modulů obstarává mikrokontroler ATmega328P, k snímání venkovních podmínek byly vybrány snímače pro měření teploty a vlhkosti vzduchu a snímač měření vlhkosti půdy. A to konkrétně snímač teploty a vlhkosti vzduchu SHT30 komunikující po sběrnici I²C a kapacitní snímač vlhkosti půdy od firmy DFRobot, jehož výstupem je analogová hodnota. Nutným komponentem je bezdrátový modul nRF24L01. Modul využívá komunikační sběrnici SPI pro připojení k mikroprocesoru a je vybaven integrovanou anténou. Tužková baterie od firmy SAFT je určena pro napájení nízko odběrových zařízení s výstupním napětí 3,6V a kapacitou 2600mAh. Toto napětí podporují všechny součástky obsažené v modulu, proto byla tato baterie zvolena pro napájení. Pro tyto bezdrátové snímače byly vytvořeny desky plošných spojů s ohledem na požadavek na co nejnižší odběr energie.

Třetí kapitola popisuje programovou část systému a její ověření. V podkapitolách jsou postupně popsány programové řešení snímačů, komunikace, spotřeby energie a webového rozhraní. Správnost snímání dat byla ověřena pomocí měření. U snímače

SHT30 byla zaznamenám jeden rámeček měření na sběrnice I²C a to pomocí logického analyzátoru. U kapacitního snímače byl změřen výstupní rozsah napětí pomocí voltmetru. Změřené venkovní povětrnostní hodnoty jsou zformátovány do packetu Enhanced Shockburst. Tento packet je následně vysílán mezi dvěma moduly nRF24L01, které jsou připojeny k mikroprocesorům ATmega328P po sběrnici SPI. Přijímač po přijetí zašle data po sériové sběrnici UART řídicí jednotce Raspberry Pi. Zde jsou data zpracovány v prostředí Node Red. Společně se změřenými daty je také odeslán rozpoznávací znak, podle kterého lze rozpoznat z jakého snímače data přišly. Díky tomuto znaku lze do systému jednoduše přidávat další zařízení. Změřené hodnoty dále slouží pro automatické vypínání/zapínání zavlažování. Pokud venkovní vlhkost vzduchu nebo půdy přesáhne definovanou maximální hodnotu celý systém vypne zavlažovací okruhy, aby nebylo zbytečně plýtváno vodou.

Pro koncového uživatele bylo vytvořeno v nástroji Node Red webové rozhraní. Může zde sledovat aktuální teplotu, vlhkost vzduchu a vlhkost půdy v místě umístění snímače. Hodnota teploty vzduchu v čase je zároveň zaznamenána do X-Y grafu. Uživatel je zde schopný nastavit čas sepnutí/vypnutí jednotlivých okruhů, interval zavlažování a sledovat aktuální stav pomocí signalizace.

Důležitou částí návrhu bylo programové ošetření spotřeby energie bezdrátových modulů. Využívá se zde úsporného režimu power down mikroprocesoru, ve kterém omezí všechny nepotřebné funkce a úspí se na 8 sekund. Ověření doby mezi odesláním a spánku bylo ověřeno ve webovém rozhraní.

Systém by bylo možné rozšířit o další typy snímačů jako například snímače množství srážek, rychlosti větru, měření slunečního záření a další. Jelikož systém je navržen pro případné rozšíření, tak by bylo možné spínací relé využít i pro jiné účely jako pro ovládání automatizovaného skleníku, spínání venkovního osvětlení a jiného využití pro automatizovaný zahradní systém. Bezdrátové snímače by také bylo vhodné otestovat v laboratoři a změřit jejich skutečnou spotřebu energie.

LITERATURA

- [1] AeroFarms - Our Indoor Vertical Farming Technology - AeroFarms. *AeroFarms - An environmental champion, AeroFarms is leading the way to address our global food crisis by growing flavorful, healthy leafy greens in a sustainable and socially responsible way.*[online]. Copyright © 2020 AeroFarms [cit. 07.12.2020]. Dostupné z: <https://aerofarms.com/technology/>
- [2] Home. *Home* [online]. Copyright © [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <http://wall-ye.com/index.html>
- [3] HOME | visionrobotics. *HOME | visionrobotics* [online]. Copyright © 2020 by Vision Robotics Corporation. [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://www.visionrobotics.com>
- [4] senseFly - senseFly – The Professional's Mapping Drone. *senseFly - senseFly – The Professional's Mapping Drone* [online]. Copyright © senseFly, 2020 [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://www.sensefly.com>
- [5] Arduino - Home. *Arduino - Home* [online]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc>
- [6] Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi. *Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi* [online]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org>
- [7] Hunter Irrigation Sprinkler Systems | Hunter Industries. *Hunter Irrigation Sprinkler Systems | Hunter Industries* [online]. Copyright © 2020 Hunter Industries [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://www.hunterindustries.com>
- [8] GARDENA – Zahradní nářadí a závlahové systémy. [online]. Copyright © 2008 [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://www.gardena.com/cz/>
- [9] Zavlažovací systémy a závlahy tradiční značky Toro | Toro-Zavlahy.cz. [online]. Copyright © 2010 [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <http://www.toro-zavlahy.cz/cs>
- [10] Gravity: Arduino Analog Capacitive Soil Moisture Sensor- Corrosion Resistant - DFRobot. *DFRobot - Quality Arduino Robot IoT DIY Electronic Kit* [online]. Dostupné z: <https://www.dfrobot.com/product-1385.html>
- [11] *AOSONG-AM2301-product_manual* [online]. Copyright © [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://kropochev.com/downloads/humidity/AM2301.pdf>
- [12] SHT3x (RH/T) - Digital Humidity Sensor | Sensirion. *Home | Sensirion* [online]. Copyright © Sensirion AG Switzerland [cit. 05.05.2021]. Dostupné z: <https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/humidity-sensors/digital-humidity-sensors-for-various-applications/>
- [13] Circuit Basics- I2C [online]. Dostupné z: <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>
- [14] Internet věcí (Internet of Things) | Kodys. *Kodys* [online]. Copyright © KODYS, spol. s r.o. [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://www.kodys.cz/technologie/internet-veci-internet-things>
- [15] Co je to IoT? Jak funguje, kde se využívá a jak se vyvíjel? | IoTPort. *Propojujeme firmy a lidi se zájmem v internetu věcí | IoTPort*[online]. Copyright © 2020 České

- Radiokomunikace a.s. [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/iot-novinky/ostatni-clanky-o-iot/co-to-je-iot>
- [16] Home page | LoRa Alliance®. *Home page | LoRa Alliance®* [online]. Copyright © 2020 [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://lora-alliance.org>
- [17] IOT 868MHz LoRa LPWAN Modul SX1276 | laskarduino.cz. *LASKARDUINO.cz | by Makers for Makers* [online]. Dostupné z: https://www.laskarduino.cz/iot-868mhz-lora-lpwan-modul-sx1276/?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4niAenbCuAGONDeAVje4Exbh4-CUZFCQOctVBNWePV3YaQeI44bvvncAq9REALw_wcB
- [18] LPWAN SigFOx node | Sigfox Partner Network | The IoT solution book . *Sigfox Partner Network | The IoT solution book* [online]. Dostupné z: <https://partners.sigfox.com/products/lpwan-sigfox-node>
- [19] *SparkFun Electronics* [online]. Copyright © [cit. 14.12.2020]. Dostupné z: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf
- [20] SPI rozhraní : Tajned - .NET and Embedded Development. *Tajned - .NET and Embedded Development* [online]. Copyright © http [cit. 10.12.2020]. Dostupné z: <http://www.tajned.cz/2016/12/spi-rozhrani/>
- [21] Home - STMicroelectronics. [online]. Copyright © 2020 STMicroelectronics [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: https://www.st.com/content/st_com/en.html
- [22] STM32: mikrokontrolér vstřícný k amatérům - Root.cz. *Root.cz - informace nejen ze světa Linuxu* [online]. Copyright © 1998 [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/stm32-mikrokontroler-vstricny-k-amaterum/>
- [23] Smart | Connected | Secure | Microchip Technology. *Smart | Connected | Secure | Microchip Technology* [online]. Copyright © Copyright 1998 [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: <https://www.microchip.com>
- [24] ATmega328P - 8-bit AVR Microcontrollers. *Smart | Connected | Secure | Microchip Technology* [online]. Copyright © Copyright 1998 [cit. 08.12.2020]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328p>
- [25] Saft Batteries | We energize the world.. *Saft Batteries | We energize the world.* [online]. Copyright © Saft2021 [cit. 05.05.2021]. Dostupné z: <https://www.saftbatteries.com>
- [26] *Toro - INFINITY™ Sprinkler* [online]. Dostupné z: <http://www.toroinfinity.com/epub/Toro%202014%20ResCom%20Catalog/files/assets/common/downloads/page0059.pdf>
- [27] Learn More - ThingSpeak IoT. *IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things* [online]. Copyright © 2021 [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: https://thingspeak.com/pages/commercial_learn_more
- [28] node-red-contrib-nrf24 (node) - Node-RED. *Library - Node-RED* [online]. Dostupné z: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-nrf24>
- [29] *Home Raspberry Pi* [online]. Dostupné z: https://www.cs.uaf.edu/2016/fall/cs301/lecture/11_09_raspberry_pi.html

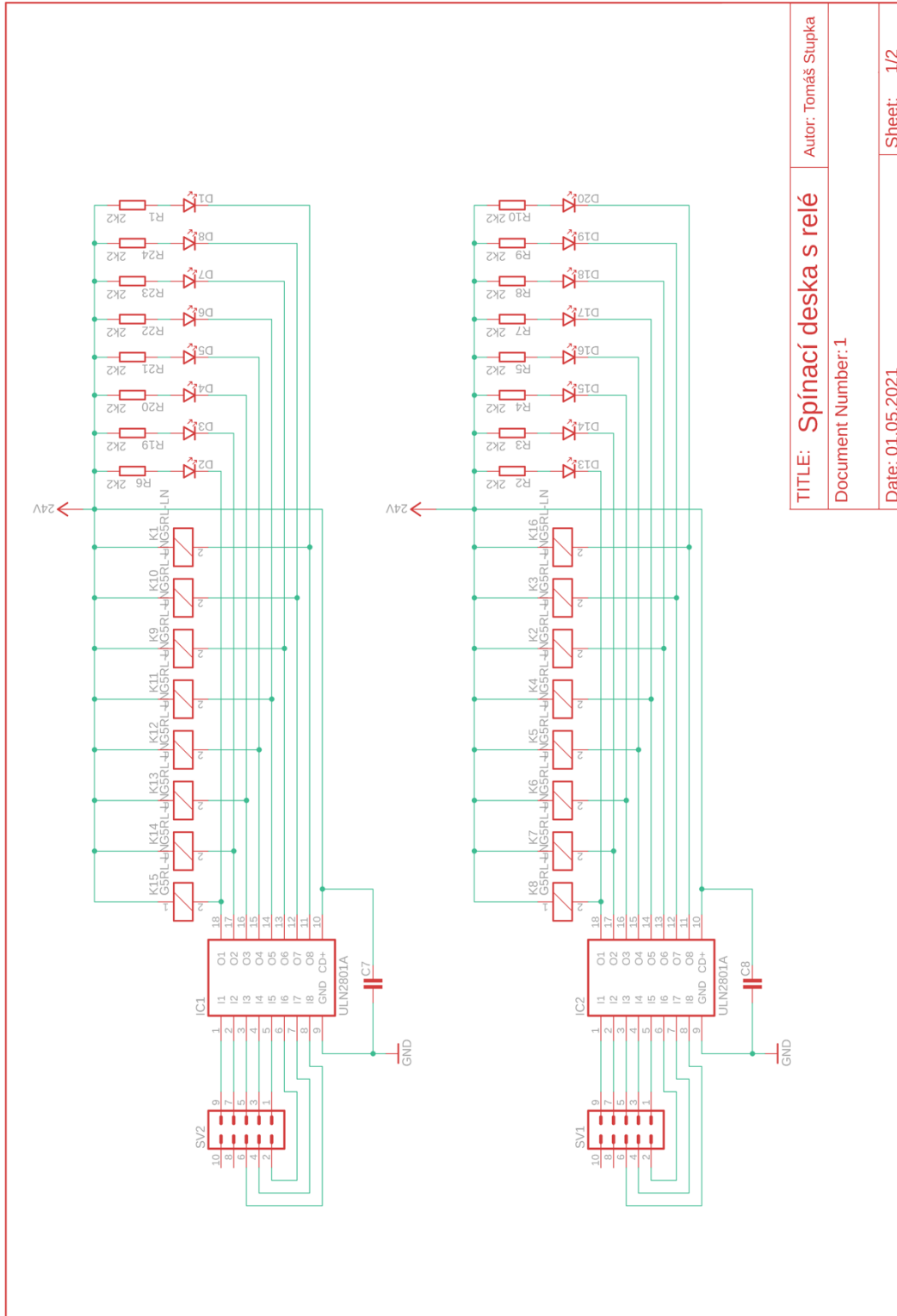
- [30] NĚMEC, Václav. *Návrh a realizace domácího systému zavlažování*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125423>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Petr Šoustek.
- [31] Serial Peripheral Interface – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- [32] SHT30-library-Ali-Gholami – Atmel Studio Projects. *Atmel Studio Projects* [online]. Dostupné z: <https://atmels.wordpress.com/2018/02/04/sht30/#more-216>
- [33] GitHub - antoineleclair/arduino-nrf24l01: A library to use the nRF24L01+ with Arduino.. *GitHub: Where the world builds software · GitHub* [online]. Copyright © 2021 GitHub, Inc. [cit. 19.05.2021]. Dostupné z: <https://github.com/antoineleclair/arduino-nrf24l01>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - RELÉ/VENTIL MODUL.....	53
PŘÍLOHA B - BEZDRÁTOVÝCH MODULŮ	56

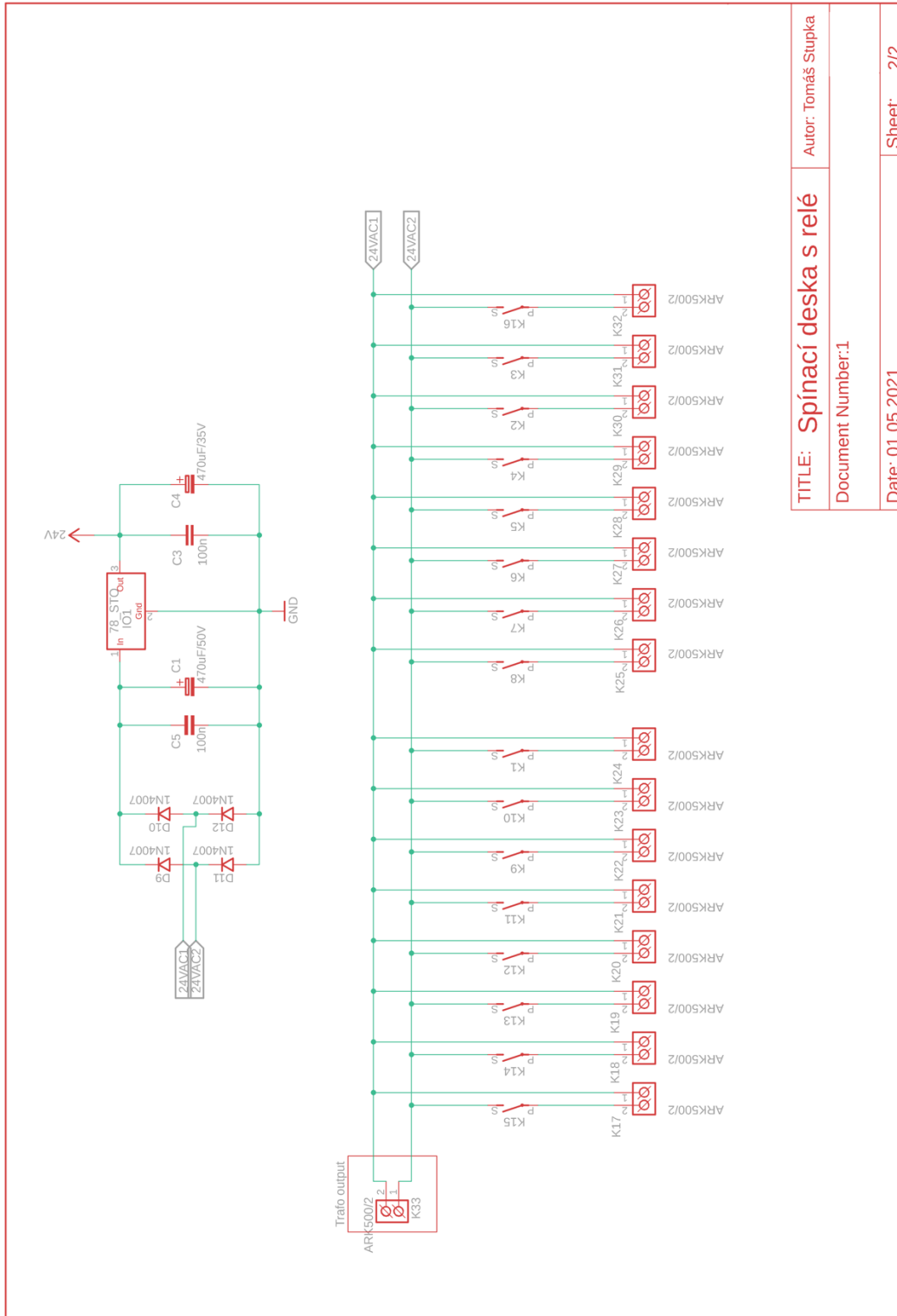
Příloha A - Relé/ventil modul

A.1 Schéma zapojení



TITLE: Spínací deska s relé	Autor: Tomáš Stupka
Document Number: 1	
Date: 01.05.2021	Sheet: 1/2

A.2 Schéma zapojení



TITLE: Spínací deska s relé

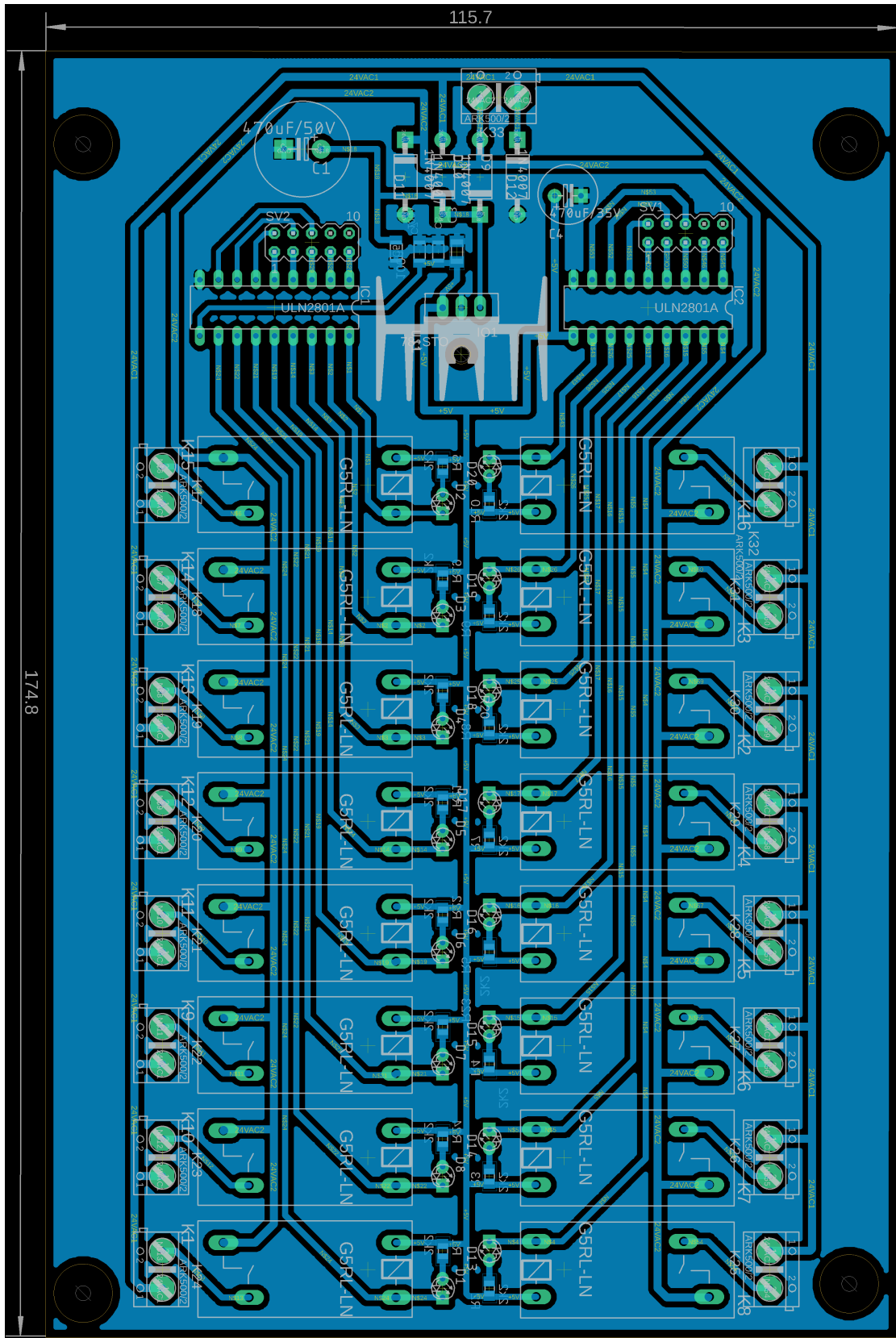
Autor: Tomáš Stupka

Document Number:1

Date: 01.05.2021

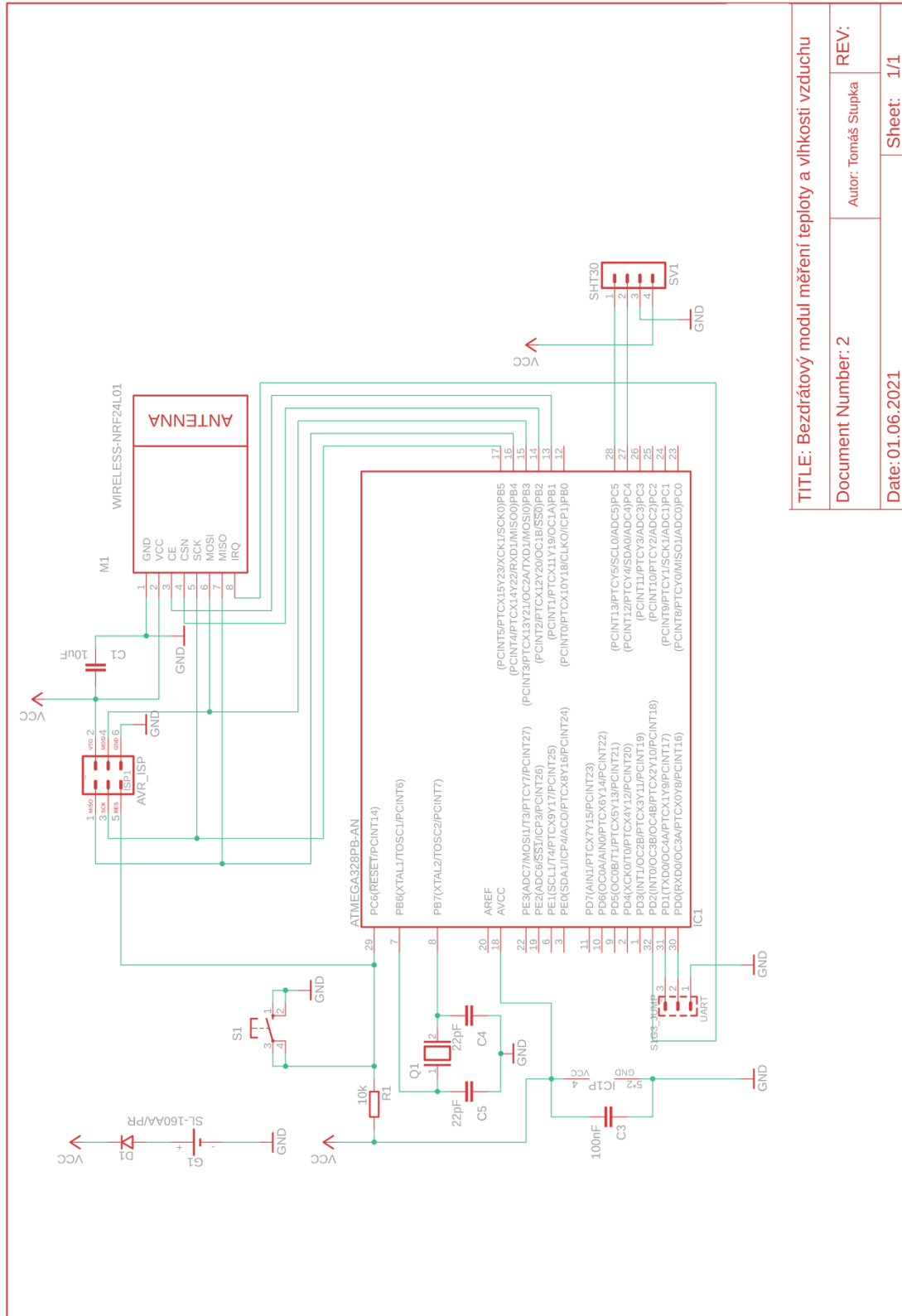
Sheet: 2/2

A.3 Deska plošného spoje



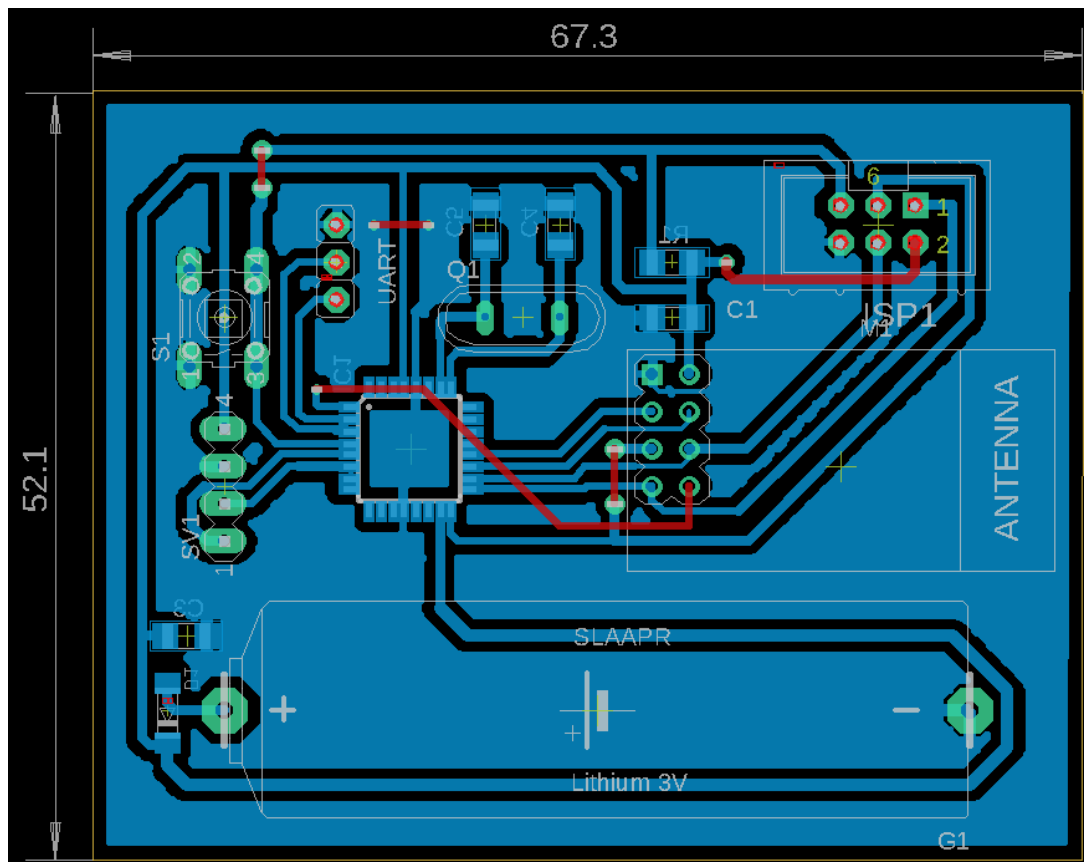
Příloha B - Bezdrátových modulů

B.1 Zapojení modulu teploty a vlhkosti vzduchu



TITLE: Bezdrátový modul měření teploty a vlhkosti vzduchu	
Document Number: 2	REV:
Autor: Tomáš Stupka	
Date: 01.06.2021	Sheet: 1/1

B.2 PCB modulu teploty vlhkosti vzduchu



B.4 PCB modulu pro vlhkost půdy

