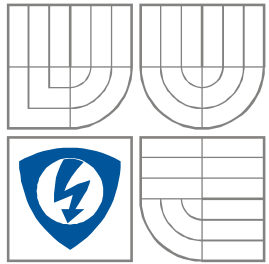


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## KONTROLNÍ A REGULAČNÍ SYSTÉM SKLENÍKU

CONTROL AND REGULATION SYSTEM FOR GLASS-HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bachelor's thesis

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

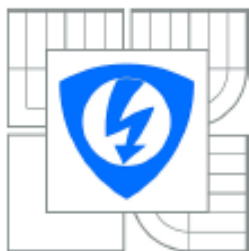
MARTIN PROKOP

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ HÁZE, PH.D

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

**Mikroelektronika a technologie**

**Student:** Martin Prokop

**Ročník:** 3

**ID:** 154919

**Akademický rok:** 2014/2015

**NÁZEV TÉMATU:**

**Kontrolní a regulační systém skleníku**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Řešením práce bude popis principu regulačního systému a jeho senzoru, konstrukce, odzkoušení včetně jeho kalibrace. Při konstrukci se seznámte s principem funkce senzoru pro měření teploty a relativní vlhkosti jak ovzduší, tak i půdy.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Podle pokynu vedoucího práce

**Termín zadání:** 10.2.2015

**Termín odevzdání:** 4.6.2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

**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 následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku c.40/2009 Sb.

**Abstrakt:**

Předmětem této práce je návrh automatického zavlažovacího systému pro skleník, který bude schopen měřit teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu a vlhkost půdy. A na základě těchto hodnot ovládat větrání a zavlažování.

**Abstract:**

The objective of this thesis is a design of automatic water system of greenhouse, which will be able measure temperature, relative humidity of air and soil. System will control air and water management based on these values.

**Klíčová slova:**

měření teploty, měření vlhkosti, automatická regulace, zavlažovací systém

**Keywords:**

temperature measurement, relative humidity measurement, automatic control, water system

## **Bibliografická citace**

PROKOP, M. *Kontrolní a regulační systém skleníku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 38s. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Kontrolní a regulační systém skleníku jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 uvedeného práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 25.5.2015

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Házemu, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

V Brně dne 25.5.2015

.....  
podpis autora

## Obsah

Úvod .....	8
Historie .....	9
1. Dostupná řešení .....	9
1.1. Automatické větrání/otevírání oken .....	9
1.2. Automatické zavlažování .....	10
1.2.1. Kapkové zavlažování .....	10
1.2.2. Elektromagnetický ventil s časovačem .....	10
2. Návrh vlastního řešení a parametry jednotlivých částí .....	11
2.1. Senzorická část .....	11
2.1.1. Senzor vlhkosti .....	11
2.1.3. Senzor teploty .....	15
2.2. Ovládací (reakční) část .....	17
2.2.1. Větrání .....	18
2.2.2. Zavlažování .....	18
2.3. Vyhodnocovací část .....	19
2.4. Napájecí obvod .....	21
3. Realizace celého návrhu .....	22
3.1 Komunikace se senzorickou částí .....	22
3.1.1 Senzor vzduchu .....	22
3.1.2 Senzor půdy .....	24
3.2 Kontrola a ošetření chyb měření .....	25
3.2.1 Programová kontrola .....	25
3.3 Montáž .....	26
3.4 Možnosti rozšíření .....	28
4. Závěr .....	29
Seznam použitých zdrojů .....	30
Seznam příloh .....	32

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Automatický otvírač oken [2].....	9
Obrázek 2: Elektromagnetický ventil s časovačem [13].....	10
Obrázek 3: Blokové schéma systému.....	11
Obrázek 4: Senzor vlhkosti půdy [9].....	12
Obrázek 5: čidlo SHT21 [10].....	14
Obrázek 6: SHT21: znázornění přesnosti měření vlhkosti čidla SHT21 [10].....	14
Obrázek 7: Znázornění přesnosti měření teploty čidla SHT21 [10].....	14
Obrázek 8: Termočlánek-princip funkce [4].....	15
Obrázek 9: Teplotní senzor DS18B20 [7].....	16
Obrázek 10: Motor TA2 [8].....	18
Obrázek 11: Elektromagnetický ventil [11].....	19
Obrázek 12: Mikrokontrolér ATmega 16L - rozložení vývodů [12].....	20
Obrázek 13: pořadí konektorů u senzoru DHT11 [16].....	22
Obrázek 14: Zobrazení komunikace se senzorem DHT11 [16].....	23
Obrázek 15: Senzor vlhkosti půdy 2 [9].....	24
Obrázek 16: Graf vyhodnocení dat.....	25
Obrázek 17: konektory BLS [15].....	26
Obrázek 18: Návrh hermetického krytí.....	26
Obrázek 19: Kalibrace senzoru vlhkosti (nedostatečně zavlaženo).....	27
Obrázek 20: Kalibrace senzoru vlhkosti (senzor 2 dostatečně zavlaženo).....	27
Obrázek 21: Schéma inteligentní domácnosti [14].....	28
Obrázek 22: Senzor vlhkosti půdy (testování).....	33
Obrázek 23: Senzor vlhkosti půdy vyhodnocovací část.....	33
Obrázek 24: Testovací prototyp.....	34

## **Seznam Tabulek**

Tabulka č. 1: Senzory vlhkosti vzduchu .....	13
Tabulka č. 2: Senzory teploty.....	16
Tabulka č. 3: Logické znázornění funkce .....	17
Tabulka č. 4: Rozsah napájecích napětí .....	21
Tabulka 5: Parametry čidla vlhkosti.....	22
Tabulka 6: Parametry čidla teploty .....	23

# Úvod

Obsahem této práce je návrh vlastního regulačního systému skleníku, levnější alternativy ke komerčně vyráběným systémům, kterým bude schopen konkurovat cenou i univerzálností a možností použití pro různé typy skleníků běžných velikostí. Celé zařízení bude navrženo jako stavebnice, ke které je možno připojit více senzorů. Čímž je myšleno například několik čidel vlhkosti jak půdy, tak i vzduchu, nebo teplotní senzory v několika místech skleníku a to i venku s možností porovnávání a následného upravení zavlažovacího profilu. Zařízení bude schopno samostatně udržovat prostředí v požadovaných hodnotách. Bude schopno aktivně reagovat na změnu venkovní teploty či relativní vlhkosti a následně snížit množství vláhy dodávané skrz elektromagnetické ventily, či otevřít větrací okna při přesažení maximální hodnoty vlhkosti.

První částí práce je návrh samotného regulačního systému, který bude použitelný pro různé typy skleníku, relativně libovolných velikostí bez zásahů do vnitřního hardwaru vyhodnocovacího zařízení. Teoretická část se zabývá vhodnou volbou mikroprocesoru a senzorů. Zejména jejich přesností a cenou, vzhledem k tomu, že nejde o přesné vyhodnocování teploty ani vlhkosti ale spíše o orientační měření.

Druhá část práce je zaměřena na seznámení se, s fungováním senzorů a převodem na digitální signál zpracovatelný mikroprocesorem a jeho následnou kalibraci v laboratorním prostředí i reálných podmínkách. Dále také výběr vhodných prostředků pro ovládání regulačních systémů.

Ve třetí části práce je rozebrán postup vlastního sestavení zařízení. Podrobnější rozbor komunikace se senzory a programové vybavení zavlažovacího systému, jeho ochrana před vnějšími vlivy a v neposlední řadě i možnosti rozšíření i jeho implementace v moderních domácnostech.

Nedílnou součástí práce je i návrh ovládacího a vyhodnocovacího softwaru. Program bude zaměřen na zpracování získaných dat a následného vyhodnocení situace s volbou nejlepšího řešení pro udržení stanovených podmínek.

# Historie

Již v minulosti vyplynula potřeba jisté automatizace a to jak ve výrobě samotné, tak v každodenním životě. Pro tento krok bylo potřeba vyvinout nové technologie a to jak pro zpracovávání signálů tak hlavně senzorických systémů, především schopností převést neelektrickou veličinu jako je teplota, tlak, vlhkost a mnoho dalších na veličinu elektrickou, nejlépe elektrické napětí. To je následně zpracované elektronickými obvody. Původně šlo vše realizovat čistě elektricky. Například pomocí rtuťového teploměru s vloženým vodičem. S příchodem polovodičů, ale hlavně digitálních obvodů, se celý systém automatizace posunul na zcela novou úroveň. Bylo možno signál nejen vyhodnotit ale i uchovávat. Bylo možno s ním pracovat a pomocí procesorů ovládat cele soustavy přesně podle potřeby.

## 1. Dostupná řešení

Dnešní trh toho v této oblasti mnoho nenabízí. Pokud je potřeba nějakým způsobem pěstování plodin zautomatizovat, lze na internetových stránkách/obchodech nalézt pouze možnost automatického větrání nebo zavlažování řízené časovačem. Najít systém, který by sdružoval tyto možnosti dohromady, je téměř nemožné.

### 1.1. Automatické větrání/otevírání oken

Jak již bylo řečeno, na současném trhu se nachází mnoho typů automatických otvíračů pro střešní okno. Funkce je jednoduchá. Píst s pákou, kterým se nahradí manuální otvírání, funguje na bázi tepelné roztažnosti (oleje, vosku,...) a se zvyšující se teplotou ve skleníku posunuje pákou a otvírá okno. Zabraňuje přehřátí skleníku v parném létě a případnému podchlazení v noci nebo chladnějších dnech. Otvírání lze seřídit v rozmezí teplot 16 °C až 25 °C.



Obrázek 1: Automatický otvírač oken [2]

Tento systém je jednoduchý a relativně levný. Jeho nevýhodou je, že je schopen reagovat pouze na změny teplot a to v relativně malém rozmezí. A nelze jej přenastavit přesně podle požadavků uživatele.

## 1.2. Automatické zavlažování

Co se týče možností automatického zavlažování, nabízí se dvě možnosti, a to ventil s časovačem nebo tzv. kapkové zavlažování, popřípadě jejich kombinace.

### 1.2.1. Kapkové zavlažování

Kapkové zavlažování je založeno na úsporném dávkování vody cíleně pro každou rostlinu. Rostlina dostane jen tolik kapek vody, kolik pro svůj růst potřebuje, nevýhodou je nutnost přesného nastavení tlaku vody pomocí ventilu. Cena samotné sady pro kapkové zavlažování se pohybuje okolo 1000 Kč [3].

### 1.2.2. Elektromagnetický ventil s časovačem

Výhodou tohoto systému je jeho samostatnost. Podle svého nastavení je schopen otevírat a zavírat přívod vody v závislosti na čase. To znamená například, každé 2 dny na 20 minut. Jeho nevýhodou je samozřejmě relativně vysoká cena a potřeba osobně měnit jeho nastavení v závislosti na změně počasí

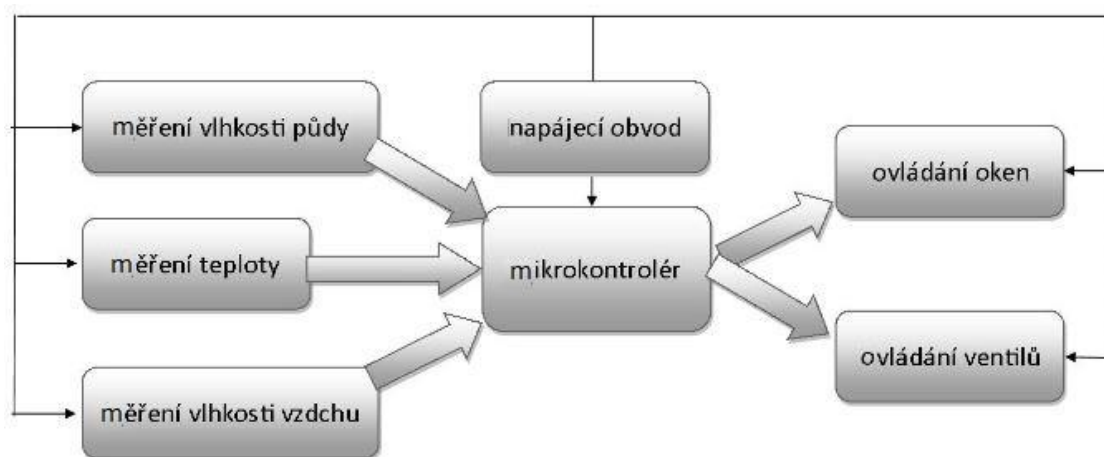


Obrázek 2: Elektromagnetický ventil s časovačem [13]

## 2. Návrh vlastního řešení a parametry jednotlivých částí

Při vlastním návrhu se vychází z toho, že bude vytvořen nezávislý systém, jenž bude možno upravit přesně na míru danému skleníku. Účelem je vytvořit zařízení, které bude schopno reagovat i na náhlé změny počasí a to bez nutnosti zásahu člověka.

Systém se skládá ze čtyř základních segmentů, ze senzorycké části, kde probíhá měření vlhkosti a teploty. Vyhodnocovací částí, kterou představuje zvolený mikrokontrolér, reakční částí, která se stará o ovládání připojených zařízení jako například elektromotor pro ovládání oken nebo magnetický ventil a v neposlední řadě napájecího obvodu obstarávajícího dodávku elektrické energie všem komponentám.



Obrázek 3: Blokové schéma systému

### 2.1. Senzorická část

Jedná se o jednu z klíčových částí systému, která se stará o získávání informací potřebných ke správné funkci celku. Jedná se o senzory vlhkosti vzduchu a půdy, ale také o senzory teploty jak uvnitř skleníku tak vně.

#### 2.1.1. Senzor vlhkosti

Způsobů měření vlhkosti je nepřeberné množství. Společnou vlastností je nutnost použití čidla, které reaguje s prostředím. Ve způsobu reakce a samotného měření jsou však rozdíly, především ve zpracovatelnosti elektronickými obvody. Mezi hlavní metody měření patří

- **metoda hygrometrická (sorpční metoda)** – u této metody je využito vhodných tuhých materiálů, které vlivem sorpční vlhkosti mění svůj elektrický odpor či dielektrické vlastnosti, délku, apod. Tato metoda je využita při měření vlhkosti půdy [5],
- **metoda psychrometrická** – s touto metodou pracují psychrometry. Při adiabatickém sycení vzduchu vodní parou je měřena tzv. teplota suchého a mokrého teploměru. Z psychrometrického rozdílu lze pak stanovit relativní vlhkost [5],



## Základní parametry jsou

- niklovaný snímač,
- ovládání prahové hodnoty přes potenciometr (nutnost kalibrace),
- použití komparátoru LM393,
- napájecí napětí 3,3 – 5V.

## Měření vlhkosti vzduchu

Většina dostupných čidel funguje na kapacitním principu vlivem sorpce vodních par do dielektrika a změny jeho impedance tudíž i kapacity.

## Hlavními kritérii pro výběr snímače jsou

- měřicí rozsah min 0 % RV až 100 % RV,
- rozlišení 5 % RV,
- co nejvyšší rychlost převodu,
- mechanické rozměry v souladu s navrženou koncepcí měřicí stanice,
- možnost vedení výstupního signálu z čidla na co největší vzdálenost.

Spotřeba senzorů v tomhle případě není důležitá vzhledem k napájení celé stanice ze síťového zdroje.

Přehled senzorů vhodných pro použití je uveden v tabulce č. 1. Pro tento projekt byl vybrán senzor SHT 21 z důvodu jeho snadné dostupnosti a nejlepšího poměru výkon cena. Jak již bylo zmíněno, není třeba extrémně přesné měření ale spíše orientační a z tohoto důvodu senzor v hodnotě cca 100 Kč zcela vyhovuje.

**Tabulka č. 1: Sensory vlhkosti vzduchu**

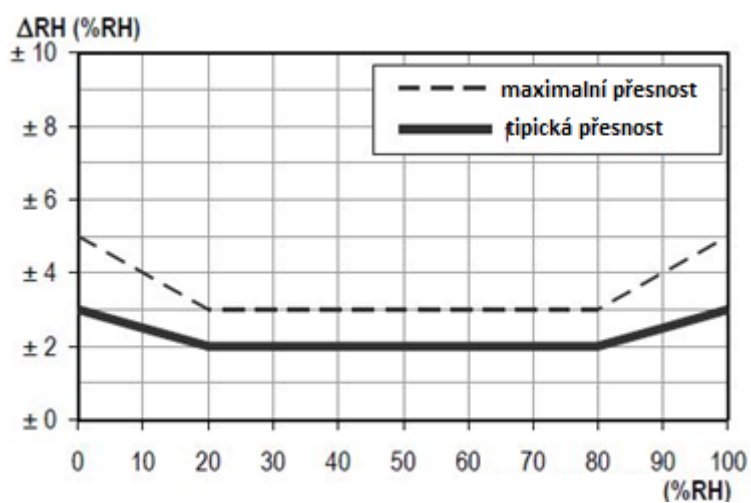
Označení	Výrobce	Přesnost typicky	Napájení
SHT21	Sensirion	+/- 2 % RV	2,1 - 3,6V
ChipCap	GE M&C Solutions	+/- 3 % RV	3,0 - 5,5V
DHT11	D-Robotics UK	+/- 5 % RV	2,5 - 5,5V

## Senzor SHT 21

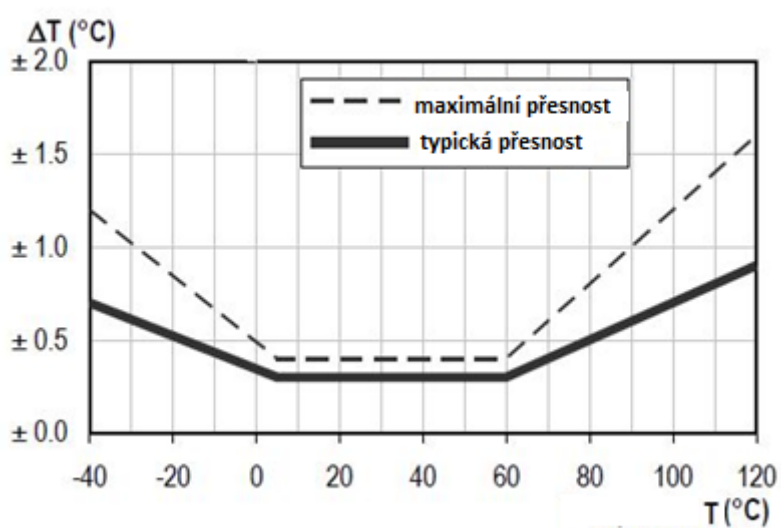
Z nabídky bylo vybráno kombinované čidlo **SHT 21** které na jednom čipu obsahuje jak možnost měření teploty, tak i vlhkosti. Použití tohoto kombinovaného čidla značně zjednoduší, návrh i z důvodu digitálního výstupu realizovaného dvou vodičovou sběrnicí. Vlhkostní čidlo využívá kapacitní způsob měření. K měření teploty senzor využívá technologii band-gap. Signál z čidla je nejprve zpracováván 12 bitovým převodníkem A/D a následně odeslán. Pro měření teploty je využit 14 bitový převodník A/D. Kalibrace senzorů je prováděna již ve výrobě.



Obrázek 5: čidlo SHT21 [10]



Obrázek 6: SHT21: znázornění přesnosti měření vlhkosti čidla SHT21 [10]



Obrázek 7: Znázornění přesnosti měření teploty čidla SHT21 [10]

## Parametry udávané výrobcem:

### Měření teploty

- rozlišení 0,01 °C
- tolerance +/- 0,3 °C

### Měření relativní vlhkosti

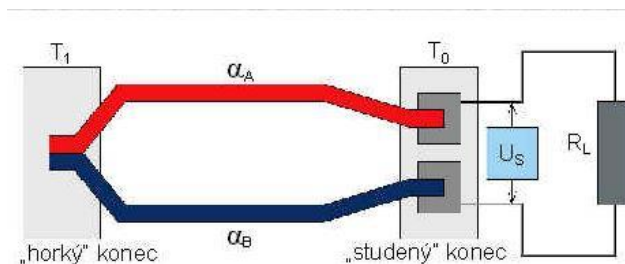
- rozlišení 0,04 %RH
- tolerance +/- 2 %RH

## 2.1.3. Senzor teploty

Základním a dá se říct, že i hlavním parametrem snímaným ve skleníku je teplota ovzduší. Toto měření lze realizovat několika způsoby. Existují dva základní, jež využívá většina čidel

- termočlánek,
- termistor.

**Termočlánek** pracuje na principu převádění rozdílů teplot na elektrické napětí. Termoelektrické napětí je přímo úměrné rozdílu teplot styku dvou kovů.



**Obrázek 8: Termočlánek-princip funkce [4]**

Platí

$$U_s = a + b\Delta\vartheta + c(\Delta\vartheta)^2, \quad 1.2$$

kde a, b, c jsou empirické konstanty pro daný snímač,  $\Delta\vartheta$  je rozdíl teplot.

**Termistor** je elektronická součástka, jejíž vlastnosti jsou závislé na teplotě. V tomto případě se jedná o odpor. Existují dva druhy termistorů a to NTC a PTC. Odpor NTC termistoru s rostoucí teplotou klesá, zatímco odpor PTC termistoru roste.

### Měření teploty

Na dnešním trhu se objevuje velké množství senzorů teploty. Výběr byl zúžen pouze na ty, které jsou schopny poskytnout digitální výstup, a to především kvůli zjednodušení návrhu, který z této funkce plyne.

## Hlavními kritérii pro výběr snímače jsou

- měřicí rozsah minimálně - 20 až + 70 °C,
- rozlišení minimálně 0,1 °C,
- přesnost minimálně 1 °C,
- co nejvyšší rychlost převodu,
- možnost vedení výstupního signálu z čidla na relativně velkou vzdálenost.

## Tabulka č. 2: Senzory teploty

Označení	Výrobce	Přesnost typicky	Napájení
SHT21	Sensirion	+/- 2 % RV	2,1 - 3,6 V
DS18B20	Maxim	+/- 0,5 °C	3 – 5 V
ChipChap	GE M&C Solutions	+/- 0,6 °C	3 - 5,5 V

## Čidlo DS18B20

Vhodnou volbou pro měření teploty je čidlo DS18B20 firmy Maxim. Jedná se o teplotní senzor s digitálním výstupem vyráběný v pouzdech TO-92 a SO-8. Měření teploty využívá teplotní závislosti band-gap napětí. Komunikace s řídicím obvodem probíhá pomocí jednovodičové sběrnice 1-Wire. Každý vyrobený kus obsahuje unikátní 64-bitový kód (ID) zapsaný v paměti ROM. Díky tomuto ID lze k jednovodičové sběrnici připojit více senzorů tohoto typu. K odlišení získaných dat dojde v ovládacím mikroprocesoru na základě již zmíněného unikátního kódu.

Pro primární měření teploty bylo využito senzoru SHT21 a to z důvodu již integrovaného čidla teploty, které by jinak nebylo využito, avšak v případě větších rozměrů skleníku bude využito tohoto senzoru pro srovnávací měření.



Obrázek 9: Teplotní senzor DS18B20 [7]

## 2.2. Ovládací (reakční) část

Po vyhodnocení získaných dat systém reaguje následujícím způsobem. Hodnota Logická 1 znázorňuje překročení nastaveného rozsahu teploty nebo vlhkosti. V případě reakce znázorňuje otevření okna a puštění přívodu vody. V celém systému bude nastavena hystereze, která by měla zamezit rozkmitání systému.

*Příklad: Pokud teplota venku překročí nastavenou mez (v tomto případě nedostatečnou teplotu uvnitř skleníku) dojde k aktivaci větracího systému, což by mělo zapříčinit nárůst teploty uvnitř. V případě poklesu vlhkosti půdy, dojde k aktivaci elektromagnetického ventilu a spuštění zavlažování až k hodnotě vlhkosti, která je požadována.*

**Tabulka č. 3: Logické znázornění funkce**

Teplota vzduchu vevnitř	Teplota vzduchu venku	Vlhkost půdy	Vlhkost vzduchu	okno	voda
0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	1
0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	1
1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	0

Dále se nabízí možnost reakce celého systému na další podněty, jako jsou oblačnost, intenzita slunečního záření nebo střídání dne a noci. Tyto vstupy však do rozhodovacího procesu nejsou zahrnuty jako takové. Je zde spoléháno na jejich vedlejší projevy. Pokud nastane noc tak samozřejmě klesne i teplota tudíž dojde k uzavření oken skleníku, a snížení množství odpařené vody tudíž nebude docházet k vysušování půdy. Obdobně to platí pro zvýšení oblačnosti, či pro déšť, který s sebou obvykle nese značný pokles teploty.

### 2.2.1. Větrání

Ke správné funkci skleníku je nutné udržovat stálou teplotu a vlhkost. Pokud by došlo k přehřátí skleníku, tak by mohlo dojít k poškození pěstovaných rostlin a k nadměrnému



**Obrázek 10: Motor TA2 [8]**

odpařování vody z půdy. Ke stabilizaci teploty jsou obvykle využita okna. K jejich otevírání a zavírání bude použit elektromotor TA2 společnosti Raveo motion spínaný přes relé. Okno se bude nacházet vždy pouze v jednom ze dvou stavů a to plně otevřeno nebo plně zavřeno, možnost různého nastavení zatím není aplikována do řešení. Díky značnému předdimenzování výpočetní části, je však možnost o tyto prvky celý systém rozšířit.

#### **Základní vlastnosti motoru**

- pracovní napětí 12 – 48 V (v závislosti na objednávce),
- maximální zátěž 1000 N (v tahu nebo tlaku),
- maximální rychlost 64 mm/s,
- krytí IP66.

### 2.2.2. Zavlažování

Účelem zavlažování je přivést dostatečné množství vody k zajištění přežití a zároveň ji nedodat tolik, aby nedošlo k uhnutí rostliny. K zavlažování bude použito kapénkového (bodového) systému, díky němuž lze předpokládat úsporu vody. Přívod vody bude řízen pomocí elektromagnetického ventilu.

Elektromagnetické ventily jsou určeny k ovládní průtoku vzduchu, vodních roztoků, případně olejů. Principiálně jsou velice jednoduché, po připojení napětí dojde k otevření ventilu. Dnešní trh nabízí celou řadu těchto výrobků, lišících se ovládacím napětím, hodnotami rozdílových tlaků, či materiálem membrány. Nabídka začíná u jednoduchých ventilů, pouze na principu otevřeno/zavřeno a končí u složitých systémů vybavených časovačem a možností úpravy tlaku.

## Elektromagnetický ventil Danfoss

Jde o základní elektromagnetický ventil bez jakéhokoliv dalšího příslušenství, avšak pro tuto aplikaci zcela dostačující.

### Základní parametry

- minimální diferenční tlak 0,2 bar,
- maximální diferenční tlak 10 bar,
- $K_v$  1 m<sup>3</sup>/h.



Obrázek 11: Elektromagnetický ventil [11]

### Cívka

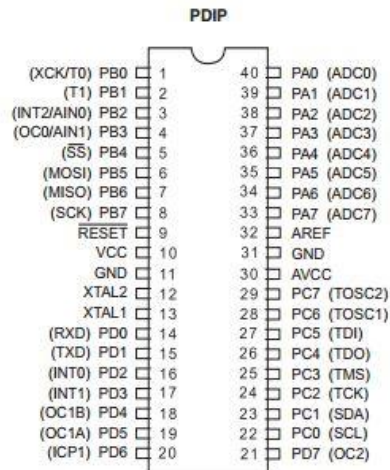
- typ AB 024D,
- napětí 24 V SS,
- frekvence 50/60 Hz,
- výkon 4,5 W,
- krytí IP 65.

## 2.3. Vyhodnocovací část

Již od počátku návrhu bylo jasné, že se celý systém bez mikrokontroléru neobejde. Na dnešním trhu se jich objevuje celá řada a nabídka se neustále vyvíjí. Jako nejlepší byl zvolen mikrokontrolér z rodiny megaAVR od firmy Atmel Corporation. Hlavním rysem těchto oblíbených mikrokontrolérů je jejich bohaté vybavení perifériemi celé řady a možnost celý systém programovat v jazyce C. Mikrokontrolér ATmega 16 je nízkovýkonový 8 bitový kontrolér postavený na architektuře CMOS. Jeho ovládání zajišťuje redukovaná instrukční sada.

## ATmega16L - základní charakteristika

- omezená instrukční sada (131 instrukcí),
- vestavěný 10 bitový převodník A/D,
- 8 a 16- bitové čítače a časovače s programovatelnou předděličkou,
- 32 programovatelných I/O linek,
- napájení 2,7 – 5,5 V.



Obrázek 12: Mikrokontrolér ATmega 16L - rozložení vývodů [12]

### Popis jednotlivých pinů

- port **VCC** slouží pro napájení mikrokontroléru,
- port **GND** k jeho zemnění,
- **Port A** může sloužit jako přímý vstup do převodníku A/D nebo jako 8 bitový vstupně výstupní pin,
- porty **B až D** funkci vstupu pro převodník A/D neplní,
- port **RESET** není závislý na clock signálu,
- port **XTAL1** slouží jako vstup do invertujícího oscilátoru nebo jako signál pro hodinový obvod,
- port **XTAL2** je pouze výstup invertujícího oscilátoru,
- port **AVCC** jedná se o napájení převodníku A/D,
- port **AREF** jde o referenční pin převodníku A/D.

## 2.4. Napájecí obvod

Tato kapitola shrnuje řešení napájení celého obvodu. Zabývá se napájením senzorů, vyhodnocovací části i jeho akčních komponent jako jsou elektromotory pro větrání, nebo elektromagnetické ventily pro zavlažovací systém. A proto je nutné vést z něj několik napěťových výstupů.

Napájecí část je řešena, jako samostatná komponenta, která ve vlastním krytu obsahuje jak zdroj, tak i pojistky. Z důvodu ochrany zdraví by tato část měla být odolná vůči stékající vodě a v případě zkratu ochránit zbývající části systému.

Napájecí část umožňuje připojit více napájecích linek do samostatného slotu s různou proudovou zatížitelností.

**Tabulka č. 4: Rozsah napájecích napětí**

ATmega	2,7 V - 5,5 V
elektromagnetický ventil	24 V
elektrický motor	12 V – 48 V
DS18B20	3 V – 5 V
SHT21	2,1 V - 3,6 V
FC-28-A	3,3 V – 5 V

### Rozdělení napájecích větví

Hlavním krokem před samotnou realizací je určení napájecího napětí mikrokontroléru, který je schopen pracovat s napětím v rozmezí 2,7 V – 5,5 V. Nabízí se standartní hodnota 5 V. Toto napětí však nelze z důvodu rozdílné maximální hodnoty napájení u obvodu SHT21 použít.

Zbývají tedy dvě možnosti. Napájet obvod napětím 3,3 V, které vyhovuje všem jeho částem nebo napájení rozdělit do dvou větví a to 5 V a 3,3 V. Problém by mohl nastat tím, že je hodnota 3,3 V na spodní hranici napájecího napětí obvodu FC28A a vzhledem k délce napájecího vedení by nemusela být dostatečná.

Pro napájení vnějších (silových) obvodů bylo zvoleno napětí 24 V, které odpovídá jak napájecímu napětí elektromagnetického ventilu, tak i elektromotoru pro otvírání oken.

### 3. Realizace celého návrhu

Po návrhu bylo přistoupeno k samotné realizaci a sestrojení testovacího prototypu. Který složí pro odzkoušení kódu kalibraci senzorů.

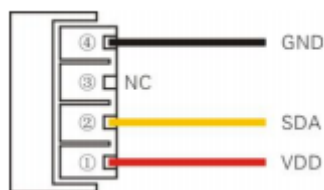
#### 3.1 Komunikace se senzorickou částí

Senzory jsou k vyhodnocovací části připojeny pomocí vodičů, bezdrátová komunikace by byla v tomto případě zbytečným problémem při realizaci a zvýšily by nároky na údržbu, například výměna baterií, ochrana proti chybám přenosu atd.

##### 3.1.1 Senzor vzduchu

Pro měření relativní vlhkosti a teploty vzduchu byl po konzultaci zvolen méně přesný, ale levnější senzor DHT11, který avšak svoji přesností měření zcela dostačuje pro zadanou aplikaci. Jedná tedy opět o kombinovaný senzor. Senzor je napájen napětím 5 V a při maximální zátěži je jeho proudový odběr 500  $\mu$ A. Senzor je k procesoru připojen třemi vodiči

- **GND** uzemnění,
- **VDD** napájení (3,3 V – 5,5 V),
- **SDA** komunikační linka.



Obrázek 13: pořadí konektorů u senzoru DHT11 [16]

Rozlišení senzoru DHT11 jak pro relativní vlhkost, tak pro teplotu je 16 bitů. Pokud je vyžadováno vyjádření v hodnotách měřené veličiny, pak platí, že rozlišení senzoru vlhkosti je 0,1 % při rozsahu 0 až 99,9 % RH. Rozlišení senzoru teploty je 0,1 °C při rozsahu -40 až 80 °C. K vyjádření záporné teploty je použit nejvyšší bit, přičemž logická úroveň 1 v 15 bitu je brána jako znaménko – a k vyjádření teploty je pak využito ostatních 14 bitů.

Tabulka 5: Parametry čidla vlhkosti

parametr	podmínky	min	typ	max	jednotka
rozlišení			0.1		% RH
rozsah		0		99.9	% RH
přesnost	25°C		-2		% RH

**Tabulka 6: Parametry čidla teploty**

parametr	podmínky	min	typ	max	jednotka
rozlišení			0.1		°C
			16		bit
rozsah		-40		80	°C
přesnost			-0,5	-1	°C

Senzor poskytuje informace v digitální formě podle daného komunikačního protokolu. Výstupní napěťová hodnota pro logickou úroveň 1 je 100 % napájecího napětí a pro logickou úroveň 0 až 300 mV, což může způsobovat problémy při komunikaci s mikroprocesorem. Komunikace mezi senzorem a procesorem probíhá podle následujícího algoritmu

**1) Žádost- logická „0“ trvající 18 ms, následovaná logickou „1“ trvající 40 μs.**

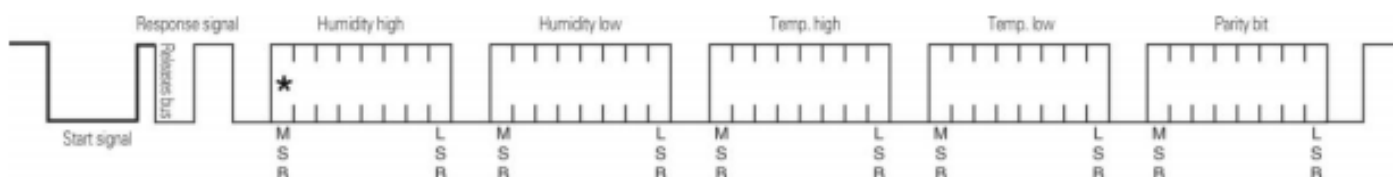
```
DHT11_DDR |= 1 << sensor;
DHT11_PORT &= ~(1 << sensor);
_delay_ms(18);
DHT11_PORT |= (1 << sensor);
_delay_us(40);
DHT11_DDR &= ~(1 << sensor);
```

**2) Odpověď – 80 μs trvající logická „0“, následující logická „1“ trvající 80 μs .**

```
unsigned int loopCnt = timeout;
while((DHT11_PIN & (1 << sensor)) == 0)
    if (loopCnt-- == 0) return 0x01;
loopCnt = timeout;
while((DHT11_PIN & (1 << sensor)) != 0)
    if (loopCnt-- == 0) return 0x02;
```

**3) Formát dat - senzor zasílá informace ve formátu 40 bitového kódu.**

(Každá logická úroveň je reprezentována signálem o šířce impulzu 80 μs)



**Obrázek 14: Zobrazení komunikace se senzorem DHT11 [16]**

Po úspěšném přijetí žádosti procesoru je senzorem odeslaná odpověď a poté data v následujícím formátu. Jde o 40 bitový kód, který je rozdělen na 5 částí, přičemž posledních 8 bitů slouží pro kontrolu již zaslanych dat, jde o tzv. paritní Byte. Pokud kontrolní součet neodpovídá tomuto paritnímu Bytu, jsou přijatá data zahozena a dojde k vyslání dalšího požadavku. Vlhkost i teplota jsou v binárním formátu, k jejich překladu do srozumitelné formy je potřeba použít následující klíč

0000 0010	1001 0010	0000 0001	0000 1101	1010 0010
<i>High humidity 8</i>	<i>Low humidity 8</i>	<i>High temp. 8</i>	<i>Low temp. 8</i>	<i>Parity Byte</i>

### Kontrolní součet

Ke kontrole přijatých dat slouží kontrolní součet, to znamená High humidity + Low humidity + High temp. + Low temp. Jejich součet se musí rovnat paritnímu Bytu.

$$0000\ 0010 + 1001\ 0010 + 0000\ 0001 + 0000\ 1101 = 1010\ 0010$$

### Převod na skutečnou hodnotu

**Humidity:**  $0000\ 0010\ 1001\ 0010 = 0292H = 2 \times 256 + 9 \times 16 + 2 = 658 \Rightarrow 68,8\ RH$

**Temp:**  $0000\ 0001\ 0000\ 1101 = 10DH = 1 \times 256 + 0 \times 16 + 13 = 269 \Rightarrow 26,9\ ^\circ C$

### 3.1.2 Senzor půdy

Tento senzor byl pro měření vlhkosti ponechán a to hlavně z důvodu jeho jednoduchosti a možnosti ho následně rozšířit. Jak již bylo řečeno v předcházejících kapitolách, tak senzor při překročení nastavené hodnoty vlhkosti půdy vyšle signál logická „1“. Tento senzor ale nabízí ještě jednu možnost, a to analogový výstup, který naměřenou vlhkost vyjadřuje hodnotou napětí, která by mohla být použita při potřebě přesnějšího měření.

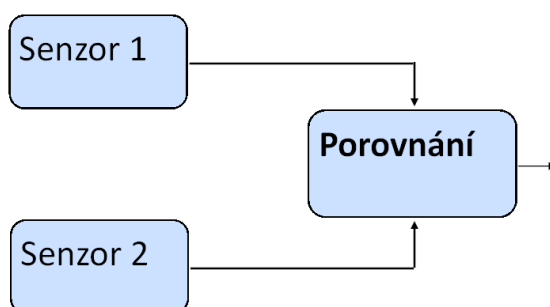


Obrázek 15: Senzor vlhkosti půdy 2 [9]

## 3.2 Kontrola a ošetření chyb měření

Při žádném měření nelze zabránit vzniku chyb a to jak způsobených nepřesnostmi měřicích ústrojí, tak vlivem prostředí. Proto je žádoucí na tyto chyby reagovat. Je nutno si uvědomit, že celé zařízení se bude nacházet ve vlhkém prostředí, které je k elektronice velice agresivní. Například čidla vlhkosti budou v neustálém kontaktu s půdou a to může nepříznivě ovlivnit jejich přesnost. Totéž platí i pro senzor vzduchu.

Základním stupněm ochrany je zdvojování senzorů, to znamená, že pokud dojde k poruše jednoho senzoru, tak bude stále fungovat druhý senzor a zabrání se tak kolapsu celého systému. Doplňkový způsob ochrany je programové ošetření, díky kterému lze přesně nastavit, jakým způsobem se zařízení bude chovat v případě, že dojde k poruše jednoho z čidel.



Obrázek 16: Diagram vyhodnocení dat

### 3.2.1 Programová kontrola

Senzor DHT11 má již zabudovanou kontrolu příchozích dat kontrolním součtem viz 3.1.1. V dalším kroku jsou data kontrolována logicky. Je kontrolována teplota vzduchu, jestli její hodnota zůstala v definovaných mezích, např. zda nepřesáhla + 50 °C, kontroluje se, zda relativní vlhkost neklesá k nule atd. Dále je porovnávána hodnota vlhkosti z dvou čidel umístěných ve skleníku a jejich hodnoty jsou porovnávány. Totéž platí i pro kontrolu vlhkosti půdy. V případě, že jeden senzor hlásí nedostatek vláhy a druhý ne, tak ke spuštění zavlažování nedojde. Tímto způsobem se zabrání tzv. přelití, které by vedlo k úhynu pěstovaných rostlin.

```
int vlhkostL1 = (PINB & 0b00000001);
int vlhkostL2 = (PINB & 0b00000010);
vlhkostL2 = (vlhkostL2>>1);
if ((vlhkostL2 == 0) && (vlhkostL1 == 0))
{ventil1 = 0b00000001;}
else
ventil1 = 0b00000000;
int vlhkostR1 = (PINB & 0b00000100);
int vlhkostR2 = (PINB & 0b00001000);
vlhkostR1 = (vlhkostR1>>2);
vlhkostR2 = (vlhkostR2>>3);
if ((vlhkostR2 == 0) && (vlhkostR1 == 0))
{ventil2 = 0b00000010;}
else
ventil2 = 0b00000000;
```

### 3.3 Montáž

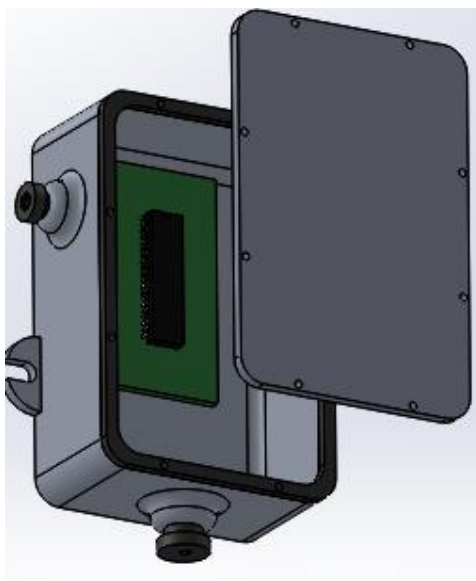
Vzhledem k vlhkosti prostoru, kde bude zařízení umístěno, je nutné, aby splňovalo jisté stupně krytí IP. Nyní je systém ve fázi testování, tudíž je umístěno ve snadno rozebíratelném plastovém boxu. K propojení zařízení se senzory je použito méně kvalitních konektorů BLS, které zabezpečují snadné propojení, avšak jejich schopnost odolávat vlivům prostředí je značně omezena.



**Obrázek 17: Konektory BLS [15]**

Při konečné montáži zařízení je počítáno s kovovým pouzdem montovaném přímo ve vnitřních prostorech skleníku. Toto pouzdro by mělo být schopno odolávat vlivům prostředí a zabezpečit hermetické oddělení citlivé elektroniky od okolního prostředí. K připojení čidel bude použito kabelových propojek buďto zakončených šroubovacími konektory nebo bude celé kabelové vedení součástí kovového krytu, to znamená, připojeno bez použití konektorů. K utěsnění mezer se využije silikonové hmoty.

Zařízení bude umístěno v horní a střední části skleníku, aby se zabezpečilo stejnoměrné rozložení délky vodičů a minimalizovaly se tak chyby vzniklé jejich rozdílnými odpory. Dále se tímto umístěním snižuje množství vody ulpívající na zařízení.



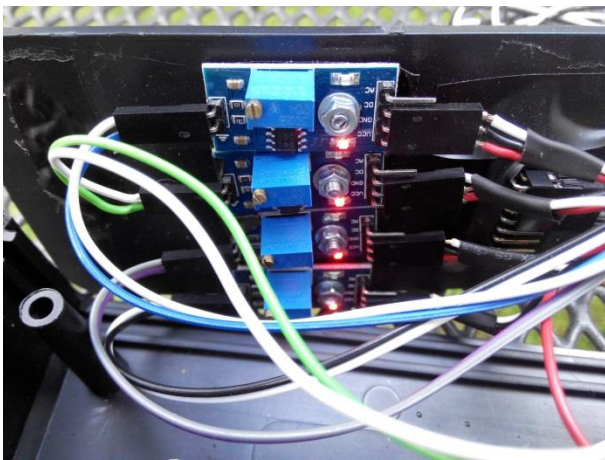
**Obrázek 18: Návrh hermetického krytí**

## Kalibrace senzorů vlhkosti půdy

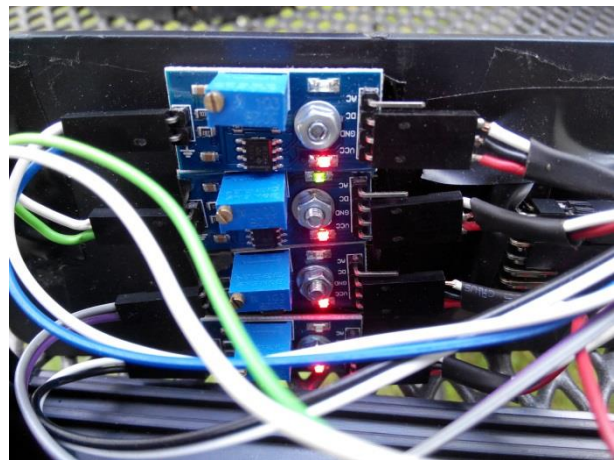
Na rozdíl od ústrojí starajícího se o měření vzduchu, nejsou půdní senzory kalibrovány, je tedy nutno kalibraci provést na místě. K jejich přesnému doladění slouží víceotáčkový potenciometr umístěný na vyhodnocovací DPS.

### Postup kalibrace:

Čidla se umístí do měřeného prostředí. Spustí se zavlažování a při dostatečném zvlhčení půdy se doladí potenciometrem hodnota vlhkosti, pro kterou dojde k sepnutí senzoru. Druhé čidlo se nastaví na hodnotu o něco menší než první (jednu otáčku), tímto bude dosaženo požadované hystereze, která by měla zabránit rozkmitání systému při vsakování vody do půdy.



**Obrázek 19: Kalibrace senzoru vlhkosti (nedostatečně zavlaženo)**



**Obrázek 20: Kalibrace senzoru vlhkosti (senzor 2 dostatečně zavlaženo)**

Při testování se objevil i jeden nedostatek. Měřená hodnota vlhkosti se liší pro různě kyprou půdu, tudíž při každé výměně senzoru je nutno celý systém znovu kalibrovat. Tato nevýhoda vyplývá už ze samotného principu měření. Dále je nutno zajistit utěsnění připojovacích ploch a to kvůli možnosti propojení konektorů v případě vniku vody.

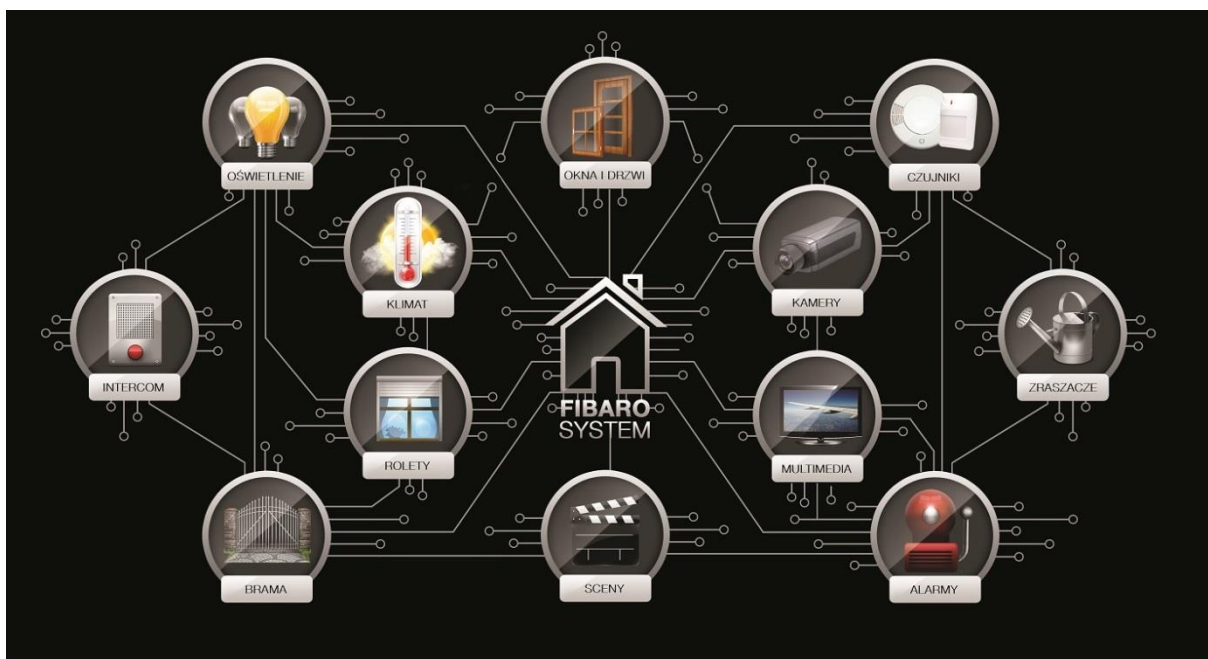
### 3.4 Možnosti rozšíření

Po úspěšném sestavení zařízení je možno počítat s dalšími rozšířeními, jako je schopnost komunikace s dalšími přístroji, sběr a ukládání dat a následné vyhodnocování statistik, či prostá korekce v závislosti na typu pěstované rostliny a ročního období a hlášení provedených změn například e-mailem.

Ne vždy je nutné, aby byl systém zcela autonomní, v některých případech je žádoucí jistá kontrola člověka nad přístrojem a to buďto přímo nebo vzdáleně. V dnešní době, kdy dochází k automatizaci i těch nejobyčejnějších systémů, nezůstala stranou ani domácnost. Systém automatického skleníku může být pouze jednou z částí inteligentní domácnosti.

Pokud se myšlenka, že skleník slouží pro pěstování rostlin zobeční, lze uvažovat o autonomním mikrosystému, jehož základní principy mohou být aplikovány na jakýkoliv jiný objekt libovolné velikosti či určení.

Jako inteligentní dům se označuje budova nebo domácnost se zabudovanými prvky pro ovládání domácnosti, zařízeními pro regulaci spotřeby energií nebo ovládání multimédií. Většina inteligentních domů je ovládána prostřednictvím programu v počítači nebo aplikace na mobilním telefonu.



Obrázek 21: Schéma inteligentní domácnosti [14]

## 4. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout regulační systém skleníku, který by byl schopen samostatně řídit zavlažování a větrání skleníku. Při výběru vhodných senzorů bylo přihlédnuto hlavně na jejich cenu a schopnost komunikace s řídicím obvodem v digitální podobě.

Systém jsem navrhl jako bezobslužný, to znamená, že po jeho montáži nebudou nutné další zásahy. Je navržen tak aby byl schopný reagovat na změny počasí i postupné zvyšování, či snižování teplot v závislosti na změnách ročního období. Jak již bylo řečeno, na dnešním trhu se pravděpodobně nenachází zařízení se srovnatelnými funkcemi, variabilitou nastavení ani cenou. Nyní se projekt nachází v testovací části výroby, dochází k testování vhodnosti použitých senzorů a to jak z hlediska přesnosti měření, tak i jejich životnosti v daném prostředí.

V budoucnu je v plánu sestavení zařízení schopného odolávat okolnímu prostředí, rozšířeného o další periferie jako je ventilátor pro nucený oběh vzduchu, zvlhčovací systém či přídatné osvětlení. Již při návrhu bylo počítáno s následujícím doplněním obvodu o displej, popřípadě klávesnici. Z tohoto důvodu byl zvolen mikrokontrolér ATmega 16, který množstvím zatím nevyužitých portů toto rozšíření umožňuje a zároveň splňuje současné požadavky na řízení celého systému.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] HOLAIN, M. *Bezdrátová meteostanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 70s, 10 příloh. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
- [2] Maxgaren elektronický obchod se zahraní technikou [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.maxgarden.cz/www-maxgarden-cz/eshop/13-1-Zahradni-skleniky-a-paniky/0/5/29-Automaticky-univerzalni-otevirac-okna-skleniku>>
- [3] *PANGEA trade, s. r. o.: stránky společnosti* [online] 2009 [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.pangeatrade.cz/mikrozavlaha-a-agro>>
- [4] Učebnice Mikrosenzory a mikromechanické systémy, Ing. Martin Adámek, Ph.D. [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <[http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s\\_8\\_2.htm](http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_8_2.htm)>
- [5] Návod k laboratornímu cvičení, Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>>
- [6] Garden CZ elektronický obchod se zahradní technikou [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.sekackynatravu.cz/claber-90764-sada-kapkovy-zavlahy/>>
- [7] E-shop společnosti ČIP Trading s.r.o. [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/dratove-ovladani/teplotni-digitalni-senzor-1-wire-ds18b20-pro-vestavbu-%5Bw3025%5D>>
- [8] RAVEO s.r.o.: stránky společnosti [online] 2010 [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.raveo.cz/aktuary-timotion>>
- [9] DX.com E-shop s elektronikou technikou [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.dx.com/cs/p/fc-28-a-soil-humidity-sensor-black-silver-186672?tc=CZK&gclid=CMC40bW7ysICFVPJtAod7XMAZQ#.VJAYSiuG91Y>>
- [10] Katalogový list výrobce Sensirion s.r.o. [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <[http://www.sensirion.com/fileadmin/user\\_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion\\_Humidity\\_SHT21\\_Datasheet\\_V4.pdf](http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT21_Datasheet_V4.pdf)>
- [11] Unimarcz.cz e-shop s regulační technikou [cit. 2014-12-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.unimarcz.cz/0,480,Elektromagneticke-ventily.html>>
- [12] Atmel Corp.: výrobce polovodičových součástek [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.atmel.com/>>.

[13] Conrad Electronic Česká republika, s.r.o. stránky společnosti 2014 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <http://www.conrad.cz/programovatelny-zavlazovac-s-casovacem.k552443>

[14] stair-lighting, e-shop s osvětlovací technikou [cit. 2015-05-24]. Dostupné z WWW: <http://stair-lighting.com/images/fibaro/tekst-promo/FIBARO-03-schemat1.jpg>

[15] Vetco electronics e-shop s elektrmontážním vybavením [cit. 2015-05-24] Dostupné z WWW: [http://www.vetco.net/catalog/product\\_info.php?products\\_id=13657](http://www.vetco.net/catalog/product_info.php?products_id=13657)

[16] Katalogový list výrobce senzorů [cit. 2015-05-24] Dostupné z WWW: <http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>

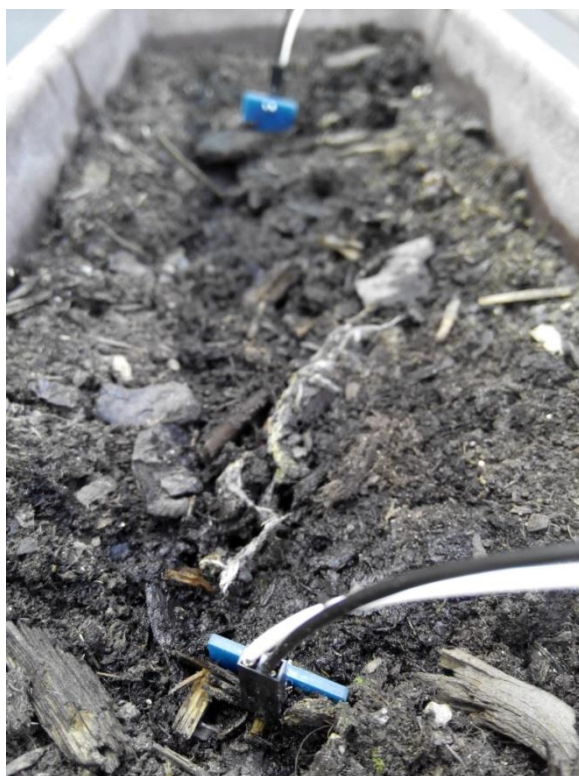
[17] Internetové stránky o pěstování rostlyn [cit. 2015-05-24] Dostupné z WWW: <http://mylivepage.blgz.cz/2012/05/REGULACE-MIKROKLIMA-VE-SKLENIKU.html>

## **Seznam příloh**

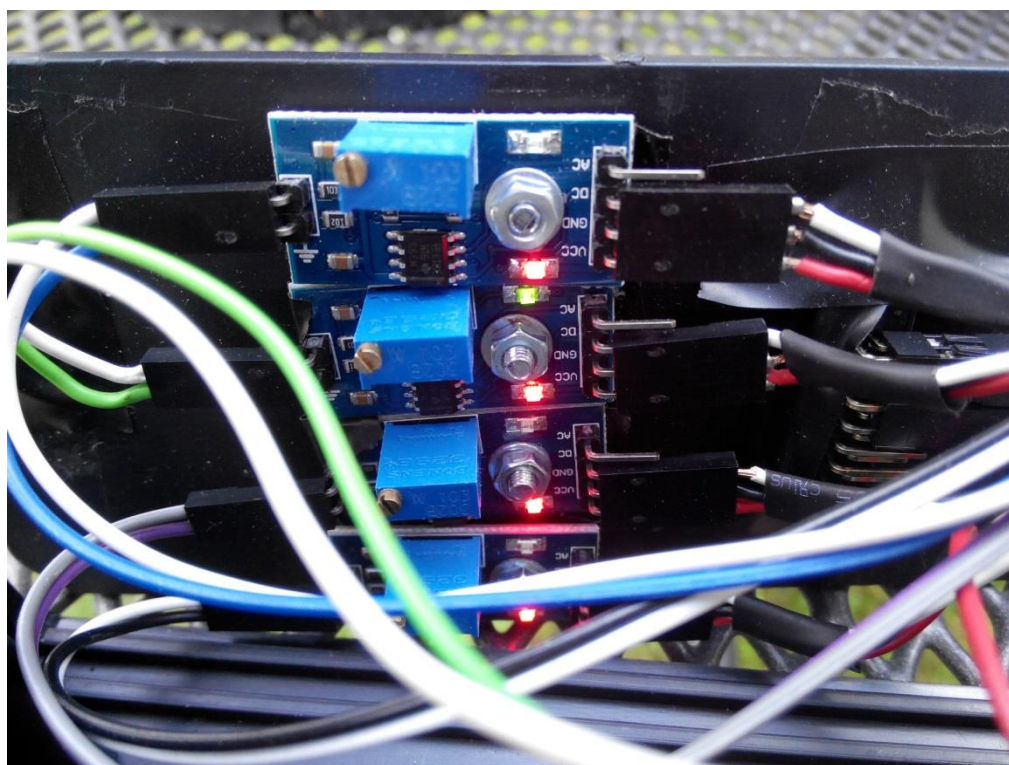
Příloha 1 – Fotodokumentace

Příloha 2 – Ukázka kódu

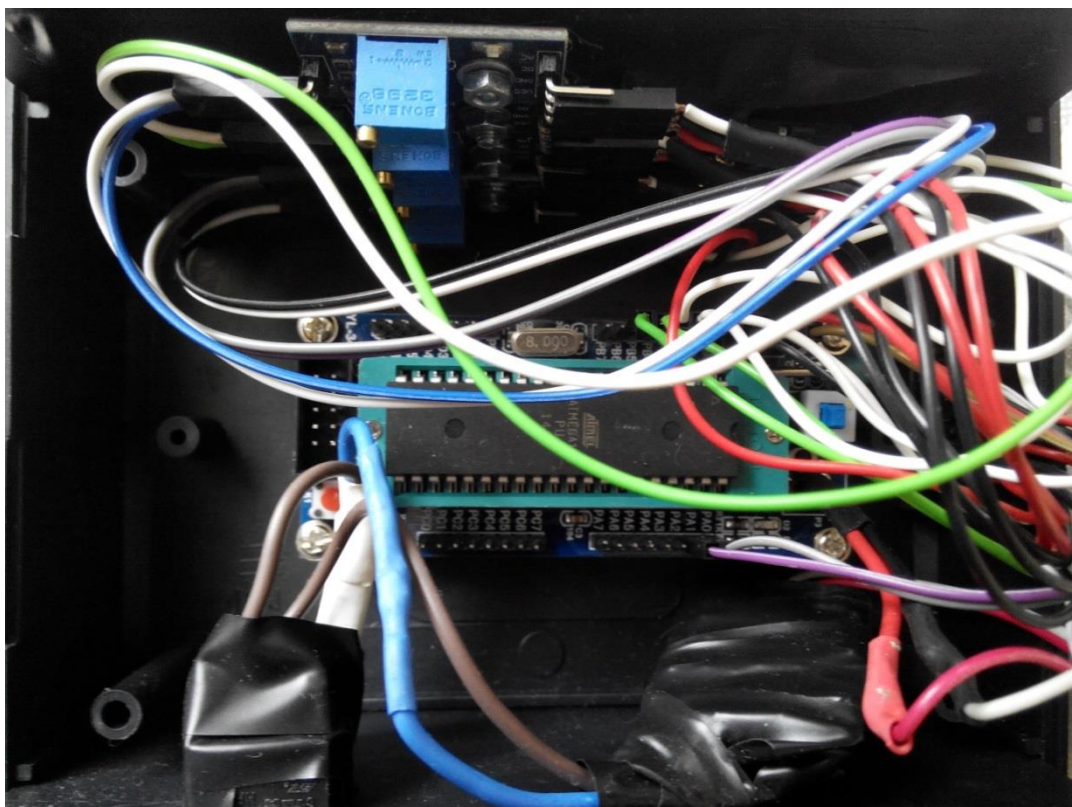
## Příloha 1



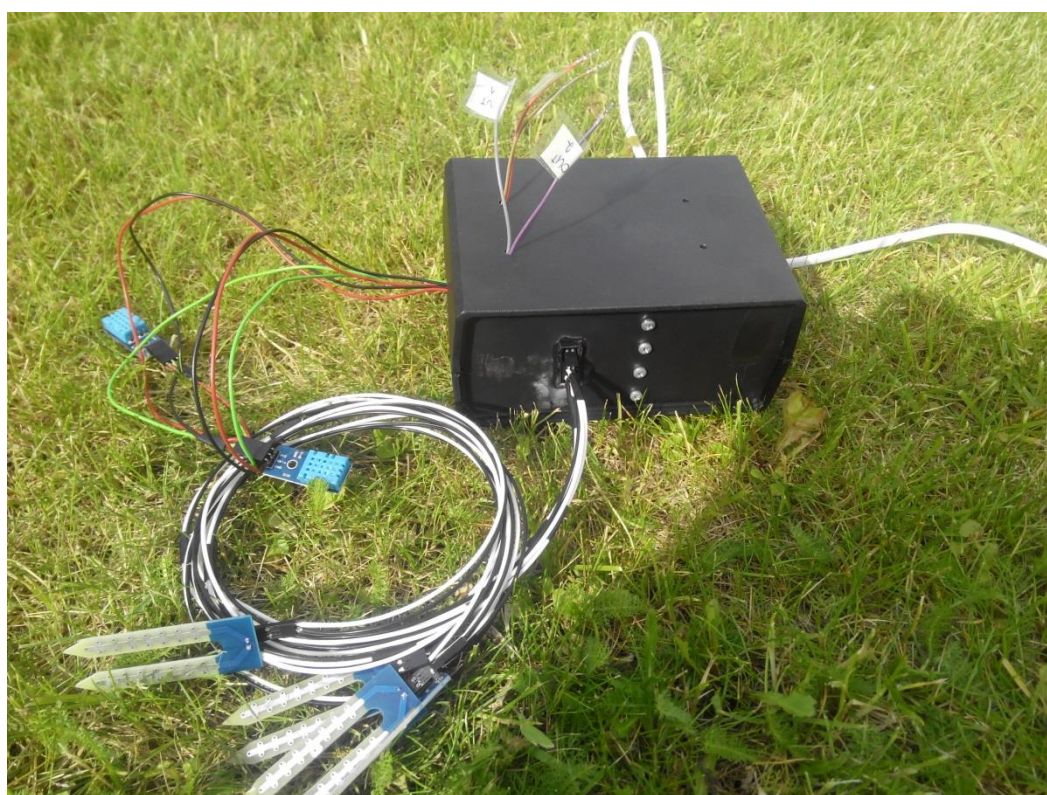
Obrázek 22: Senzor vlhkosti půdy (testování)



Obrázek 23: Senzor vlhkosti půdy vyhodnocovací část



**Obrázek 24: Vnitřní zapojení**



**Obrázek 25: Testovací prototyp**

## Příloha 2

```
// Skleník v 0.9
// Author Martin Prokop

#include <util/delay.h>
#include <avr/io.h>

#define DHT11_DDR  DDRB
#define DHT11_PORT  PORTB
#define DHT11_PIN  PINB

#define DHT11_1  4
#define DHT11_2  5
#define DHT11_3  6

#define F_CPU 8000000UL

int humidity=0;
int temperature=0;

int ventil1,ventil2;
int okno;

int dht11_read(uint8_t sensor, char port)
{
int timeout = 10000;
    // BUFFER TO RECEIVE
    uint8_t bits[5];
    uint8_t cnt = 7;
    uint8_t idx = 0;

    // EMPTY BUFFER
    for (int i=0; i< 5; i++) bits[i] = 0;

    // REQUEST SAMPLE
    DHT11_DDR |= 1 << sensor;
    DHT11_PORT &= ~(1 << sensor);
    _delay_ms(18);
    DHT11_PORT |= (1 << sensor);
    _delay_us(40);
    DHT11_DDR &= ~(1 << sensor);

    // ACKNOWLEDGE or TIMEOUT
    unsigned int loopCnt = timeout;
```

```

while((DHT11_PIN & (1 << sensor)) == 0)
    if (loopCnt-- == 0) return 0x01;

loopCnt = timeout;
while((DHT11_PIN & (1 << sensor)) != 0)
    if (loopCnt-- == 0) return 0x02;

// READ OUTPUT - 40 BITS => 5 BYTES or TIMEOUT
for (int i=0; i<40; i++)
{
    loopCnt = timeout;
    while((DHT11_PIN & (1 << sensor)) == 0)
        if (loopCnt-- == 0) return 0x03;

    TCNT0=0;
    unsigned long t = TCNT0;

    loopCnt = timeout;
    while((DHT11_PIN & (1 << sensor)) != 0)
        {if (loopCnt-- == 0) return 0x04;}

    if ((TCNT0 - t) > 40) bits[idx] |= (1 << cnt);
    if (cnt == 0)    // next byte?
    {
        cnt = 7;    // restart at MSB
        idx++;      // next byte!
    }
    else cnt--;
}
humidity    = bits[0];
temperature = bits[2];

uint8_t sum = bits[0] + bits[2];

if (bits[4] != sum) return 0xf0;
return 0xff;
}

int main(void)
{
    // set up timer with no prescaling
    TCCR0 |= (1 << CS01) | (1 << CS00);

    // initialize counter
    TCNT0 = 0;

    DDRB = 0x00; // nastavení PORTU B jako vstupní

```

```

DDRA = 0xFF; // nastavení PORTU A jako výstupní

while(1)
{
// ZAVLAŽOVÁNÍ
// prirazení hodnoty vlhkosti
//.....
int vlhkostL1 = (PINB & 0b00000001);
int vlhkostL2 = (PINB & 0b00000010);

vlhkostL2 = (vlhkostL2>>1);

if ((vlhkostL2 == 0) && (vlhkostL1 == 0))
{
    ventil1 = 0b00000001;
}
else
    ventil1 = 0b00000000;

//.....
int vlhkostR1 = (PINB & 0b00000100);
int vlhkostR2 = (PINB & 0b00001000);
vlhkostR1 = (vlhkostR1>>2);
vlhkostR2 = (vlhkostR2>>3);

if ((vlhkostR2 == 0) && (vlhkostR1 == 0))
{
    ventil2 = 0b00000010;
}
else
    ventil2 = 0b00000000;
//_____teplota a vlhkost_____

int humidity1 = 0;
int temperature1 = 0;

int humidity2 = 0;
int temperature2 = 0;

int humidity3 = 0;
int temperature3 = 0;

int ref_temp_up = 0x315;
int ref_hum_up = 0x925;
int ref_temp_down = 0x185;

if (dht11_read(DHT11_1, PORTB) == 0xff)
{
    humidity1 = humidity;
}

```

```

    temperature1 = temperature;
}

if (dht11_read(DHT11_2, PORTB) == 0xff)
{
    humidity2 = humidity;
    temperature2 = temperature;
}

if (dht11_read(DHT11_3, PORTB) == 0xff)
{
    humidity3 = humidity;
    temperature3 = temperature;
}

okno = 0b00000000;

//prekroceni vlhkosti
if (((humidity1 > ref_hum_up) || (humidity2 >
ref_hum_up)) && (humidity3 < ref_hum_up)) &&((temperature3 >
temperature1) || (temperature3 > temperature2))
{
    okno = 0b00000100;
}

// prekorceni teploty
if ((temperature1 > ref_temp_up) || (temperature2 >
ref_temp_up))
{
    okno = 0b00000100; //otevřeni
}

//nizka teplota
if ((temperature1 < ref_temp_down) || (temperature2 <
ref_temp_down))
{
    okno = 0b00000000;
}

//


---


    PORTA = (ventil1 | ventil2 | okno);
}

```