

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace

**Automatizace pěstebního procesu z hlediska programového řízení teploty  
a vlhkosti vzduchu**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Stanislava Papežová, CSc.

Autor práce: Vojtěch Beneš

PRAHA 2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vojtěch Beneš

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Automatizace pěstebního procesu z hlediska programového řízení teploty a vlhkosti vzduchu**

Název anglicky

**Automation of the cultivation process in term of program control of temperature and moisture**

---

### Cíle práce

Cílem práce je seznámit se s principy senzorů pro měření teploty a vlhkosti. Navrhnout a realizovat funkční model řídicí jednotky pro pěstební skleník s regulací teploty a vlhkosti vzduchu. Systém bude vybaven uživatelsky příjemným ovládáním včetně zobrazování výsledků měření na displeji a záznamu dat.

### Metodika

1. Seznamte se se základními principy senzorů pro měření teploty, vlhkosti a osvětlení a jejich vlastnostmi.
2. S ohledem na zadané parametry systému zvolte vhodný typ řídicí jednotky, senzorů a periferních obvodů včetně přizpůsobení rozhraní.
3. Zařízení realizujte a vybavte softwarem pro průběžné vyhodnocování naměřených dat, jejich zobrazení a záznam.
4. Funkčnost zařízení ověřte.
5. Vyhodnoťte výsledky měření.

## Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

## Klíčová slova

snímač teploty, snímač vlhkosti vzduchu, pěstební proces, regulace teploty

---

## Doporučené zdroje informací

Balátě, J.: Automatické řízení, BEN – technická literatura, 2004, ISBN: 978-80-7300-148-3, 2. akt. vydání.

Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřící obvody, Praha, ČVUT, 1996, 1. vyd.

Martinek, R.: Senzory v průmyslové praxi, BEN – technická literatura, 2011, ISBN 978-80-7300-354-8

Matoušek, D., Brtník, B.: Programování mikrokontrolérů s jádrem 8051 v jazyce C: názorné příklady a funkční programy pro AT89S52, BEN – technická literatura, 2010, ISBN: 8073002647

---

## Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

## Vedoucí práce

doc. Ing. Stanislava Papežová, CSc.

## Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2015

**prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 20. 03. 2016

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma:

### **Automatizace pěstebního procesu z hlediska programového řízení teploty a vlhkosti**

vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Dále prohlašuji, že tištěná práce se shoduje s prací odevzdanou na univerzitním informačním systému.

.....

(podpis autora)

V ..... dne .....

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce **doc. Ing. Stanislava Papežová, CSc.** za cenné rady a připomínky k mé práci. Své rodině, která při mně stála a podporovala mě. Dále svým přátelům za to, že se mnou měli trpělivost a snahu mi pomoci. Poděkování také patří firmě **StaVBa Praha s.r.o.** za pomoc s realizací pěstebního skleníku a **MDDr. Lence Rulcové** za textovou korekturu.

**Abstrakt:**

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývá popisem jednotlivých typů senzorů pro měření teploty a vlhkosti vzduchu (plynů). Tyto senzory jsou rozděleny dle fyzikálního principu fungování, jsou uvedeny jejich vlastnosti jako rozsah měření, stálost, přesnost měření a případně další vlastnosti důležité pro hodnocení vhodnosti těchto senzorů pro účely této práce.

Praktická část diplomové práce se zabývá návrhem a vlastní realizací celého zařízení automatizovaného skleníku s automatickým řízením teploty a vlhkosti. Rozebírá vhodnost použitých materiálů a typů senzorů, zabývá se softwarovým řešením pro řízení teploty a vlhkosti ve skleníku včetně možnosti požadované hodnoty teploty a vlhkosti měnit dle požadavků uživatele. Celý systém je popsán včetně jeho funkce a získané naměřené výsledky zhodnoceny vzhledem k proměnlivosti vnějšího prostředí a schopností systému udržet požadované hodnoty teploty a vlhkosti.

**Klíčová slova:** snímač teploty, snímač vlhkosti vzduchu, pěstební proces, regulace teploty

**Automation of the cultivation process in term of program control of temperature and moisture****Abstract:**

Theoretical part of this thesis describes different kinds of sensors used for measuring temperature and humidity of air. These sensors are categorized according to the principle on which they operate. It also describes their characteristics like range, accuracy and other aspects important for determining suitability for a glasshouse automation system.

Practical part of this work covers design of this system which can be used for automated control over temperature and humidity. It reasons about suitability of different kinds of sensors and materials. It also describes a software system capable of maintaining and changing humidity and temperature based on user input. Results of different measurements done during the system's operation in a variable environment are evaluated to draw conclusions about the system's ability to maintain constant temperature and humidity levels inside the glasshouse.

**Keywords:** temperature sensor, humidity sensor, the growing process, temperature control

## Obsah

Úvod .....	1
1 Senzory teploty.....	2
1.1 Základní pojmy .....	2
1.2 Základní rozdělení senzorů teploty.....	3
1.3 Kovové odporové senzory teploty .....	3
1.3.1 Odporové platinové snímačem teploty .....	5
1.3.2 Odporové niklové snímače teploty .....	6
1.3.3 Odporové měděné snímače teploty .....	7
1.4 Polovodičové odporové senzory teploty.....	7
1.4.1 Termistory .....	8
1.4.2 Negastory.....	8
1.4.3 Pozistory .....	9
1.4.4 Polovodičové monokrystalické senzory teploty.....	10
1.5 Monolitické PN senzory teploty .....	11
1.5.1 Diodové PN senzory teploty.....	12
1.5.2 Tranzistorové PN senzory teploty .....	12
1.5.3 Monolitické (integrované PN) senzory teploty .....	12
1.6 Termoelektrické články .....	13
1.7 Dilatační teploměry.....	14
1.8 Speciální dotykové senzory teploty .....	14
1.8.1 Akustické teploměry.....	14
1.8.2 Krystalové teploměry .....	15
1.8.3 Šumové teploměry .....	15
1.8.4 Magnetické teploměry .....	16
1.8.5 Optické vláknové senzory teploty .....	16

1.9	Indikátory teploty.....	16
1.10	Detektory tepelného záření.....	19
1.10.1	Tepelné detektory infračerveného záření.....	19
1.10.2	Kvantové detektory infračerveného záření.....	20
1.11	Pyrometry.....	20
1.12	Snímání teplotních polí.....	20
1.12.1	Termovize.....	21
2	Senzory vlhkosti plynu.....	22
2.1	Gravimetrie.....	23
2.2	Sorpční senzory vlhkosti.....	23
2.2.1	Kapacitní senzory vlhkosti.....	23
2.2.2	Odporové senzory vlhkosti.....	24
2.2.3	Mechanické vlhkoměry.....	25
2.3	Psychrometr.....	25
2.4	Zrcadlový senzor teploty rosného bodu.....	26
3	Cíl práce.....	27
3.1	Metodika práce.....	27
4	Hodnocení senzorů teploty a vlhkosti.....	28
4.1	Porovnání senzorů teploty a vlhkosti.....	28
4.2	Volba vhodného senzoru pro měření teploty a vlhkosti ve skleníku.....	29
5	Návrh a výběr zařízení pro automatizovaný skleník.....	31
5.1	Návrh řídicího obvodu pro solenoidní ventil a ventilátor.....	34
5.2	Návrh napájení.....	37
5.3	Návrh řídicí jednotky pro skleník.....	38
5.3.1	Návrh rozhraní.....	39
5.4	Návrh skleníku.....	40



6	Realizace .....	42
6.1	Zapojení .....	44
6.2	Funkce zařízení .....	45
6.2.1	Nastavení hodnot .....	45
6.2.2	Popis regulace.....	47
6.2.3	Ukládání dat.....	51
7	Zhodnocení výsledků .....	53
7.1	Návrh pro vylepšení zařízení .....	55
8	Závěr .....	56
9	Citovaná literatura.....	58
	Seznam obrázků.....	59
	Seznam tabulek.....	60
	Příloha 1: ukázky měření z jiných dnů .....	61
	Příloha 2: zdrojový kód .....	63

## Úvod

Cílem této diplomové práce je ukázat jednotlivé principy měření teploty a vlhkosti vzduchu (plynu). Nejprve se práce zabývá jednotlivými typy senzorů pro měření teploty, jejich technologií včetně způsobu jakým fungují. Dále práce uvádí jejich výhodné či nevýhodné vlastnosti a s tím související použití jednotlivých typů senzorů. V další části jsou probrány senzory pro měření vlhkosti plynu, způsob jakým fungují včetně jejich výhod a nevýhod a z toho vyplívající použití těchto senzorů. Jednotlivé typy senzorů pro měření vlhkosti a teploty jsou zhodnoceny a porovnány za účelem výběru vhodných senzorů, které budou umístěny v pěstebním skleníku.

Další část diplomové práce se zabývá návrhem celého zařízení pro automatizovaný pěstební skleník. V návrhu je zmíněno několik variant na zhotovení skleníku, které jsou zhodnoceny z pohledu snadné realizovatelnosti projektu a spolehlivosti použitých materiálů na tvorbu skleníku, přesnost a stabilitu jednotlivých senzorů, a také s ohledem na spolehlivost programovaného rozhraní.

Dále v práci bude popsán realizovaný automatizovaný skleník s funkčním systémem udržujícím zvolenou teplotu a vlhkost vzduchu ve skleníku s možností tyto hodnoty měnit dle požadavků uživatele. Vyzkoušení funkce celého systému a zhodnocení naměřených výsledků.

# 1 Senzory teploty

Senzor je funkční prvek tvořící vstupní část měřicího řetězce, je v přímém kontaktu s měřeným prostředím. Pojem senzor je ekvivalentní pojmu snímač či detektor. Část senzoru, jež je v kontaktu s měřeným objektem, je v některé literatuře nazývána čidlem. Často je však pojem čidlo řazen na úroveň senzoru. (Kreidl, 2005) (Ripka, a další, 2005)

Senzor je elektrotechnická součástka měřící fyzikální veličinu, kterou převádí na signál, jež lze dále přenášet, upravovat nebo zpracovávat. Nejčastěji se pomocí senzorů měří fyzikální, chemická či biologická veličina. Měřená veličina se dle definovaného principu transformuje na měřící veličinu – nejčastěji na veličinu elektrickou. Pokud měřená veličina není elektrická, jde o tzv. neelektrické veličiny, kdy je hodnota zobrazena pomocí pákového systému na stupnici. (Ďaďo, a další, 1996)

Senzory lze dělit dle několika hledisek. Nejčastěji se senzory dělí podle měřené veličiny. Dle tohoto dělení jsou známy například senzory teploty, tlaku, výšky hladin, průtoku, mechanických veličin, analýzy látek, kapalin, plynů a mnoho dalších. Druhým nejčastějším rozdělením senzorů je podle fyzikálního principu. V této kategorii jsou například senzory odporové, indukční, kapacitní, magnetické, optoelektrické atd. Dle styku senzoru s měřeným prostředím lze rozdělit senzory na dotykové a bezdotykové. Dále se senzory dělí na aktivní, kdy se senzor působením snímané veličiny stává zdrojem elektrického napětí (termoelektrický článek), a pasivní, kdy je nutné senzoru dodat elektrickou energii (kovový odporový senzor teploty). (Kreidl, 2005) (Ďaďo, a další, 1996)

## 1.1 Základní pojmy

Jednou z nejdůležitějších termodynamických vlastností určujících stav hmoty je teplota. Je součástí mnoha fyzikálních zákonů, jen velmi málo vlastností látek je na teplotě nezávislých. Základní jednotkou termodynamické teploty je Kelvin [K], který je definován jako 1/273,16 část termodynamické teploty trojného bodu vody. Tato teplota se též nazývá absolutní teplotní nula, kdy kinetická energie molekul látek je nulová – pohyb molekul v látce ustává. V praxi však používáme častěji stupeň Celsia [°C], který vychází z bodu tuhnutí a varu vody. Převod je velice jednoduchý:  $J [^{\circ}C] = T[K] - T_0$ , kde  $T_0 = 273,15$  K je teplota tání vody. Ke stanovení teploty využíváme teplotní závislosti fyzikálních veličin na teplotě. (Špringl, 2004) (Kreidl, 2005)

## 1.2 Základní rozdělení senzorů teploty

Senzory teploty se dělí podle styku s měřeným prostředím na dotykové a bezdotykové. Podle fyzikálního principu se senzory teploty rozdělují na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem, dilatační, optické, radiační, šumové, akustické, magnetické, kapacitní a aerodynamické. Termoelektrické senzory transformují teplotu na zdroj elektrické energie, a tudíž se dají senzory teploty rozdělit na aktivní a pasivní. Pro pasivní senzory je nutno pro měření teploty přivést elektrické napájení, které umožní transformaci teploty na jinou fyzikální veličinu, neboť měření teploty je vždy měření nepřímé, s výjimkou chemických senzorů a už zmíněných termoelektrických senzorů. (Kreidl, 2005)

### Dotykové senzory:

- Elektrické (odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, krystalové, termoelektrické)
- Dilatační (kapalinové, plynové)
- Speciální (akustické, krystalové, teplotní barvy)

### Bezdotykové senzory:

- Senzory infračerveného záření (tepelné a kvantové)
- Pyroelektrické senzory
- Termovizní systémy (pyrometry nezávislé na emisivitě)

### Dotykové senzory:

Tyto senzory musí být ve fyzickém kontaktu s předmětem, u kterého chceme zjistit teplotu. U dotykových senzorů se využívá vodivosti tepla. Hojně se využívají na měření teploty pevných, kapalných a i plyných látek a jsou schopné pracovat v širokém teplotním rozsahu. Nevýhodou je, že senzor při dotyku s látkou odebírá její teplo a to v případě, kdy látka má větší teplotu než měřící senzor. V opačném případě, kdy měřená látka má menší teplotu než senzor, může docházet k jejímu ohřevu. To má za následek nejistoty měření. (Storr, 2015)

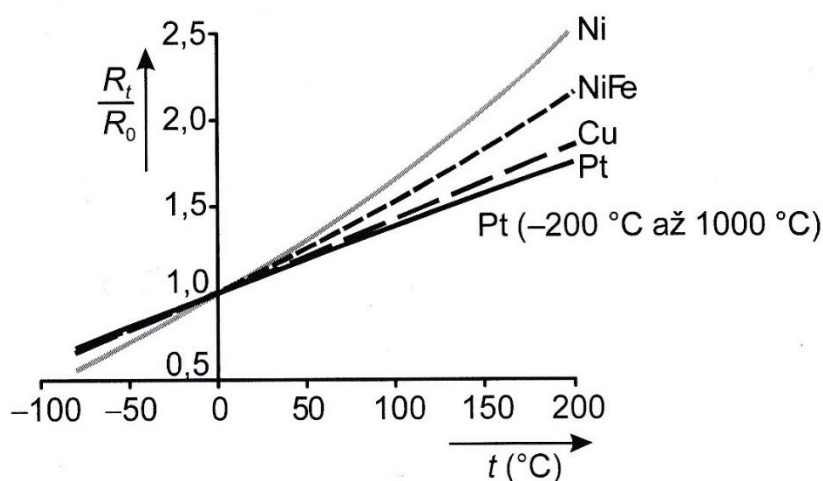
## 1.3 Kovové odporové senzory teploty

Zvyšují svůj elektrický odpor při rostoucí teplotě, jelikož je elektrický proud v kovech vedený za pomoci valenčních elektronů, které jsou od jádra atomu nejdál, tvoří takzvaný elektronový plyn. Atomy krystalové mřížky kovu s rostoucí teplotou zvyšují amplitudu svých kmitů a kladou tak větší odpor průchodu valenčním elektronům. To je zjednodušená

představa závislosti odporu kovů na teplotě, která je principem těchto senzorů. (Špringl, 2004)

Základním požadavkem na materiál kovového odporového senzoru používaného pro měření teploty je, aby měl co největší a stálý teplotní součinitel odporu a zároveň co největší měrný odpor. Jsou to především čisté kovy, které se používají pro realizaci vlastního odporového článku. Také je velmi důležité, aby nereagovaly s izolačním nebo ochranným krytem, ve kterém jsou uloženy. Jakékoliv fyzické či chemické poškození by mohlo mít za následek nejistoty měření. Materiál by měl odolávat vlivu stárí, aby nedocházelo ke změně teplotního součinitele, anebo zvětšování hystereze. Mezi kovové odporové senzory teploty se řadí čistá platina (tab. 1), nikl a měď. Pro ukázkou je v následující charakteristice ukázaná teplotní závislost kovových odporových senzorů teploty. (Zehnula, 1983)

**Obrázek 1: Teplotní závislost odporových kovových snímačů**



**Zdroj: (Kreidl, 2005)**

Pro malý rozsah teplot, jakým je 0 °C až 100 °C lze používat s určitou nejistotou lineární vztah

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (1)$$

kde  $R_0$  je odpor čidla při teplotě 0 °C a díky tomu to vztahu lze stanovit hodnotu teplotního součinitele odporu  $\alpha$

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0}, \quad (2)$$

kde  $R_{100}$  je odpor čidla při teplotě 100 °C.

Další důležitý parametr pro odporové snímače teploty je poměr odporu čidla  $R_{100}$  při teplotě 100 °C a  $R_0$  při teplotě 0 °C. Tento poměr se označuje písmenem  $W$  a ze vztahu platí, že

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0}. \quad (3)$$

Bohužel pro větší rozsahy měřených teplot, již lineární vztah (rov. 1) nelze použít, docházelo by k velké nejistotě měření a naměřené výsledky by díky tomu byly nepřesné. Proto se některé polynomy člení do užších teplotních rozsahů, jako je například ukázáno u platinového senzoru. (Kreidl, 2005)

**Tabulka 1: Materiály využívané pro kovové odporové senzory teploty**

Materiál	$\alpha 10^2$ [K <sup>-1</sup> ]	Teplotní rozsah [°C]	Poměr odporu $W_{100}$
Platina	0,385 až 0,391	-20 až 850	1,385
Nikl	0,617 až 0,675	-60 až 150	1,618
Měď	0,426 až 0,433	-50 až 150	1,426

*Zdroj: (Kreidl, 2005)*

### 1.3.1 Odporové platinové snímačem teploty

Platina je velmi výhodná pro své vlastnosti, vyznačuje se chemickou netečností, je časově stálá a má vysokou teplotu tání. Pro snímače se využívá tzv. čistá platina, její čistota se pohybuje kolem 99,93 – 99,99 %. Znečištění způsobují stopy železa a iridia. Pro meteorologické účely jsou nároky na čistotu platiny ještě vyšší a to do čistoty 99,999 %. Platinové měřicí odpory pro průmysl se dělí do dvou tolerančních tříd. Pro třídu A je stanoven tepelný rozsah od –200 až do 650 °C a pro třídu B je rozsah teplot –200 až do 850 °C. Kromě těchto dvou tříd se vyrábějí také vysokoteplotní snímače a to do teploty 1 100 °C. Při měření kolem teploty 1 000 °C se musí volit vysoko čistá platina, jinak by docházelo k odpařování některých příměsí. Bohužel takto čistá platina je náchylná na difuzi cizích látek, které se při takto vysokých teplotách do platiny dostávají. Stabilita pro průmyslová čidla je 0,05 %/1 000 h. (Zehnula, 1983) (Kreidl, 2005)

Při měření teplot od -200 °C do 0 °C je teplotní závislost měřicího odporu dána vztahem

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)], \quad (4)$$

a pro rozsah teploty od 0 až 850 °C je dán vztah,

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2), \quad (5)$$

kde

$$R_0 = 100 \, \Omega,$$

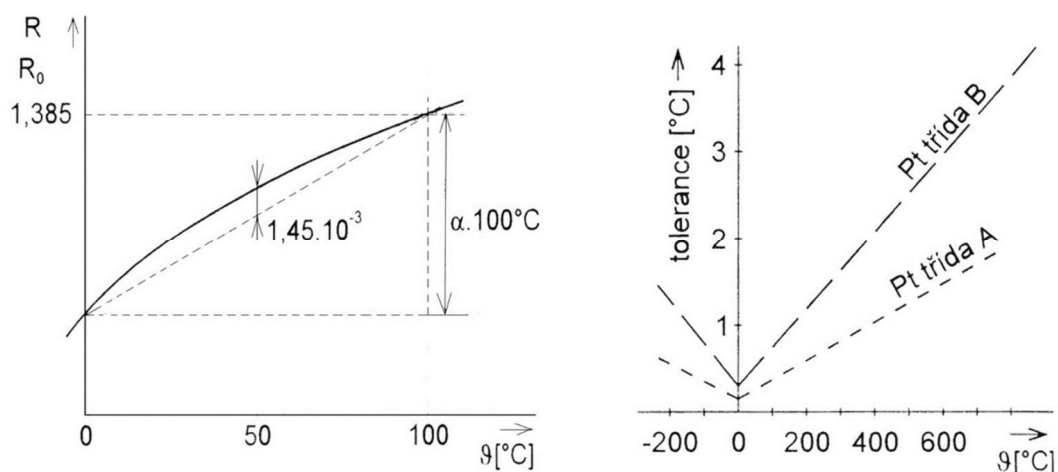
$$A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1},$$

$$B = -5,80195 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-2},$$

$$C = -4,2735 \cdot 10^{-12} \text{K}^{-4}, \text{ pro } t < 0 \, ^\circ\text{C}$$

$$C = 0, \text{ pro } t > 0 \, ^\circ\text{C}.$$

**Obrázek 2: Nelinearita Pt100 a dovolené tolerance průmyslových Pt měřicích odporů**



(Ripka, a další, 2005)

### 1.3.2 Odporové niklové snímače teploty

Další materiál, který se používá pro realizaci odporových teploměrů, je nikl. Vyrábí se většinou tenkovrstvou technologií. Je vhodný pro teplotní rozsah od  $-60$  do  $150 \, ^\circ\text{C}$ . Pro vyšší teploty mezi  $300$  až  $400 \, ^\circ\text{C}$  vykazuje strukturální změny, které způsobují nevratnou změnu odporu. Výhodou niklových snímačů je velký teplotní součinitel odporu a rychlá odezva na změnu teploty měřeného prostředí. Je levnější než platina a to může být v mnoha ohledech rozhodující pro jeho použití. Nevýhodou je omezený teplotní rozsah oproti platinovému snímači, značná nelinearita a nemožnost měření v kyselém prostředí, jako je kyselina octová a solná. Niklové senzory se vyrábějí se základní hodnotou odporu  $R_0 = 100 \, \Omega$  a dále s hodnotou  $200$ ,  $500$ ,  $1\,000$ ,  $2\,000 \, \Omega$ . Teplotní závislost odporu niklového čidla lze vyjádřit polynomem. (Zehnula, 1983) (Kreidl, 2005)

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + Ct^4 + Dt^6), \quad (6)$$

kde

$$A = 5,485 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1},$$

$$B = 6,65 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-2},$$

$$C = 2,805 \cdot 10^{-11} \text{K}^{-4},$$

$$D = 2,0 \cdot 10^{-17} \text{K}^{-6}.$$

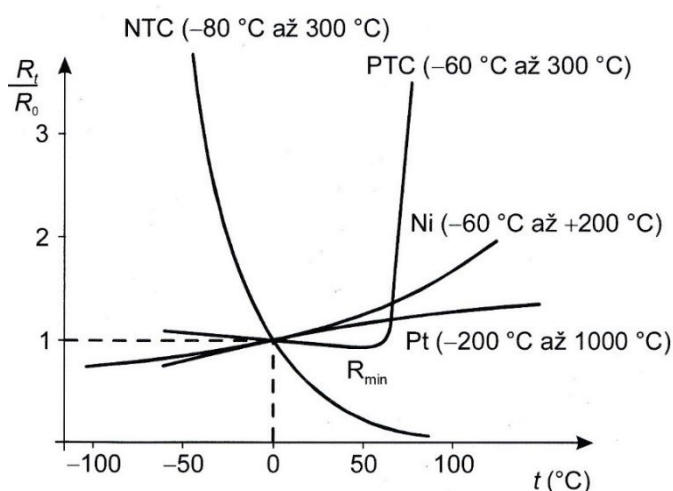
### 1.3.3 Odporové měděné snímače teploty

Měď se používá pro teplotní rozsah od  $-200$  až  $+200$  °C. Při použití čidla pro teploty od  $-50$  °C až  $150$  °C lze použít lineární vztah (rov. 1), kde se dosadí za  $\alpha$  hodnota  $4,26 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ . Ale vzhledem malé rezistivitě mědi, která je 6krát menší nežli u platiny a vysoké možnosti oxidace se měděné snímače běžně nevyrábějí. Měření za pomoci mědi se využívá například u vynutí elektrických strojů, kde se měří odpor vinutí, při vypnutém napájení. (Kreidl, 2005)

### 1.4 Polovodičové odporové senzory teploty

Polovodičové senzory lze rozdělit na monokrystalické odporové senzory a na termistory, které se dále dělí na negastory a pozistory. U těch to senzorů se využívá stejně jako u kovových odporových senzorů teplotní závislost odporu. Porovnání charakteristik negastorů (NTC) a pozistorů (PTC) s kovovými odporovými senzory je na následujícím obrázku. (Kreidl, 2005)

**Obrázek 3: Porovnání charakteristik teplotní závislosti termistoru NTC a PTC s kovovými odporovými senzory**



**Zdroj: (Kreidl, 2005)**



### 1.4.1 Termistory

Při teplotě dosahující absolutní nuly je kinetická energie molekul nulová – elektrony jsou pevně vázány ke svým jádrům a tudíž materiál nemůže vést elektrický proud. Aby elektrony mohly vést elektrický proud, je nutné dodat určitou energii pro „přeskočení“ přes tzv. zakázaný pás do pásu vodivostního a elektrony se tak mohly účastnit vedení proudu. Touto energií může být např. energie elektromagnetického pole nebo energie tepelná. S rostoucí teplotou tedy bude koncentrace nosičů náboje stoupat a elektrický odpor materiálu se bude tím pádem snižovat. U klasických polovodičových součástek se tento jev snažíme potlačit, u termistorů se ho naopak snažíme vhodnou technologií a chemickým složením zvýraznit. (Špringl, 2004)

Termistory jsou nelineární polovodičová součástka zhotovená z feroelektrických keramických materiálů. Při výrobě se využívá prášková metalurgie (spékání). Díky této technologii umožňuje výroba vytvářet různé tvary senzorů např. disku, destičky, kapky, válečku. Výhodou termistorů je velká závislost jejich elektrického odporu na teplotě. Teplotní součinitel odporu je nejméně pětikrát větší než u kovů a lze dosáhnout v některých případech až padesátkrát větší citlivosti. Dalšími výhodami jsou malé rozměry, jednoduchý převod odporu na elektrické napětí či proud a možnost přímého měření odporu termistoru na větší vzdálenosti. Naopak nevýhodou, jak bylo naznačeno na začátku, je jejich silná nelineární charakteristika. Termistory se dle své struktury dělí na amorfnní a polykrystalické. Dále se dělí dle použitého materiálu. Pokud má použitý materiál velký záporný součinitel teploty jedná se o tzv. negastor neboli NTC termistor, naopak při velkém kladném teplotním součiniteli odporu se nazývá pozistor neboli PTC termistor. (Kreidl, 2005) (Zehnula, 1983)

### 1.4.2 Negastory

Výroba negastoru probíhá za použití práškové technologie z kysličníku kovů jako je chrom, kobalt, měď, železo, manganu, niklu a titanu. Poté se vylisovaný senzor zpevňuje slinováním za vysoké teploty. Negastor se dá použít pro teploty  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Také se dají vyrobit senzory, které zvládnou teplotní rozsah od  $+4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  do vysokých teplot až  $+1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Pokud se při měření teploty zanedbá proud, který prochází negastorem a zahřívá ho, lze použít vztahy pro výpočet odporu. (Kreidl, 2005)

$$R_t = Ae^{\frac{B}{T}} \quad (8)$$

Pokud se tento vztah zlogaritmuje, dosáhne se přibližně lineárního vztahu

$$\ln R_t = \ln A + \frac{B}{T}, \quad (9)$$

kde

A – je konstanta závislá na geometrickém tvaru a materiálu negastoru,

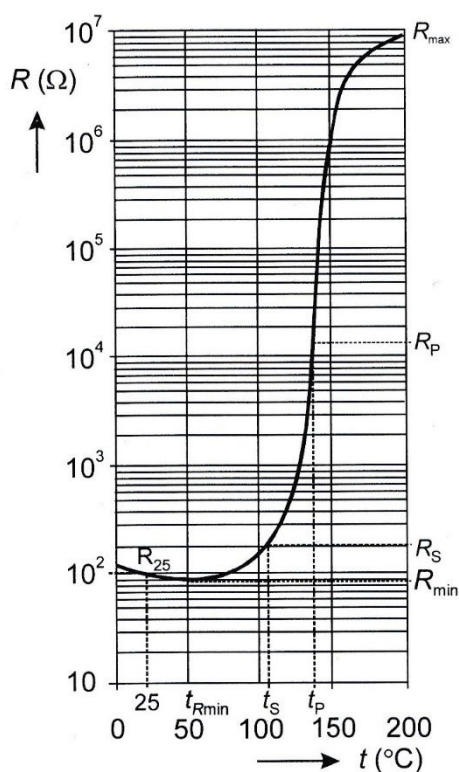
B – teplotní konstanta daná materiálem negastoru,

T [K] – termodynamická teplota.

### 1.4.3 Pozistory

Pozistory na rozdíl od negastorů mají kladný teplotní součinitel odporu. Jsou vyráběny z polykrystalické feroelektrické keramiky, např. z titaničitanu barnatého ( $\text{BaTiO}_3$ ). Odpor pozistoru při měření teploty nejdříve mírně klesá. Teplotní součinitel dosahuje v této oblasti kolem  $1 \% \text{K}^{-1}$ . Od tzv. Curieovy teploty dochází u pozistoru k velkému nárůstu rezistivity materiálu, a to až o několik řádů. V teplotní charakteristice uvedené níže je tato teplota označena  $t_s$ . Po nárůstu o několik řádů pak hodnota odporu opět klesá. Z toho plyne, že základním parametrem pozistoru je spínací teplota  $t_s$ . Hodnotu odporu v tomto bodě je  $R_s = 2 \cdot R_{\min}$ . Spínací teplotu  $t_s$  lze chemickým složením upravovat od  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ . Některé pozistory bývají dopovány křemíkem, díky tomu je pracovní část charakteristiky lineární. Pozistor se využívá především v elektrických obvodech ve funkci tepelné ochrany, omezovače proudu nebo teplotní regulace. (Kreidl, 2005)

Obrázek 4: Teplotní charakteristika pozistoru

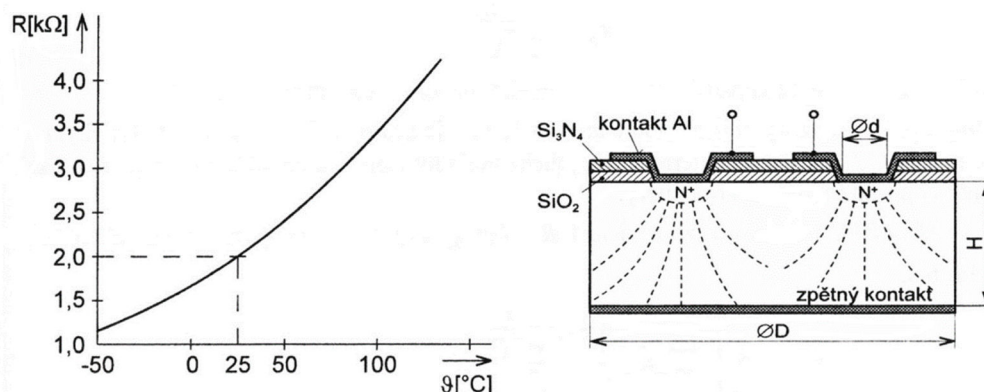


Zdroj: (Kreidl, 2005)

#### 1.4.4 Polovodičové monokrystalické senzory teploty

Lze je vyrábět z křemíku, germania, india včetně jejich slitin avšak nejčastěji se v praxi vyskytují senzory vyrobené právě z křemíku. Pro výrobu křemíkových senzorů se používá nevlastního polovodiče typu N, tedy s dominantní elektronovou vodivostí. Při zvyšování teploty dochází vlivem rozptylu nosičů náboje na mřížce polovodiče ke zmenšování pohyblivosti těchto nosičů, v důsledku čehož narůstá elektrický odpor. Pohyblivost těchto volných nosičů náboje v krystalové mřížce křemíku ovlivňuje počet příměsí v jednotce objemu. (Kreidl, 2005) (Špringl, 2004)

**Obrázek 5: Charakteristika Si senzoru a jeho uspořádání**



*(Ripka, a další, 2005)*

Teplotní rozsah u monokrystalických křemíkových senzorů je obvykle od  $-55^{\circ}C$  do  $150^{\circ}C$ , charakteristika je podobná kovovým senzorům (obr. 5). Referenční hodnota odporu  $R_{25}$ , která se stanovuje při teplotě  $25^{\circ}C$ , je obvykle  $1\ 000$  nebo  $2\ 000\ \Omega$ . Pro větší měřicí rozsah je zapotřebí použít SiC senzor, který lze použít od  $-100^{\circ}C$  do  $450^{\circ}C$ , charakteristika tohoto senzoru je podobná negastorům. (Kreidl, 2005) (Špringl, 2004)

Teplotní závislost křemíkového senzoru lze aproximovat vztahem

$$R_t = R_{25}(1 + A\Delta t + B\Delta t^2) \quad (10)$$

kde

$$\Delta t = t - 25^{\circ}C,$$

$$A = 7,88 \cdot 10^{-3} K^{-1},$$

$$B = 1,937 \cdot 10^{-5} K^{-2},$$

$$R_{25} = 1\ 000 \text{ nebo } 2\ 000\ \Omega.$$

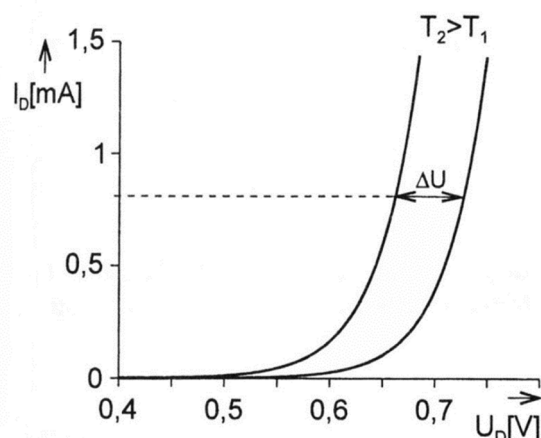
## 1.5 Monolitické PN senzory teploty

Integrované monolitické senzory teploty jsou nejčastěji založeny na teplotní závislosti napětí PN přechodu a to v propustném směru, tyto senzory se nejčastěji používají pro rozsah teplot od  $-55^{\circ}C$  do  $+150^{\circ}C$  s nejistotou měření v rozsahu  $0,6\%$  až  $2\%$ . Zástupcem těchto senzorů je dioda (obvykle křemíková), tranzistor a monolitické neboli integrované PN senzory. (Kreidl, 2005)

### 1.5.1 Diodové PN senzory teploty

U diodových senzorů teploty se využívá změny vlastností PN přechodu v závislosti na měnící se teplotě (obr. 6). Při výrobě se uplatňují germaniové či křemíkové diody. Pro měření nízkých teplot ( $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$  i nižších) jsou vhodné germaniové snímače. Oproti tomu křemíkové diody jsou vhodné pro teploty v rozmezí  $-50$  až  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$  (případně  $-150$  až  $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Prahové napětí diody se mění přibližně o  $2$  až  $2,5\text{ mV}\cdot\text{K}^{-1}$ , závislost je lineární v oblasti  $15$  až  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  s přesností  $0,03\%$ , v celém měřicím rozsahu pak dosahuje přesnost  $0,5\%$ . Diodové senzory mají výhodné dynamické vlastnosti, časové konstanty se pohybují v jednotkách či desetinách sekundy. Další výhodou je velmi dobrá časová stálost těchto senzorů. (Kreidl, 2005)

**Obrázek 6: Teplotní závislost charakteristiky přechodu PN diody**



*Zdroj: (Kreidl, 2005)*

### 1.5.2 Tranzistorové PN senzory teploty

Tranzistorové PN senzory jsou založeny na podobném principu jako PN diodové senzory. Zde se však využívá teplotní závislosti napětí báze-emitor v propustném směru. Tranzistor se musí zapojit jako tranzistorová dioda. Nevýhodou tranzistorové diody je parazitní vliv teplotní závislosti saturačního proudu  $I_s$ . (Kreidl, 2005)

### 1.5.3 Monolitické (integrované PN) senzory teploty

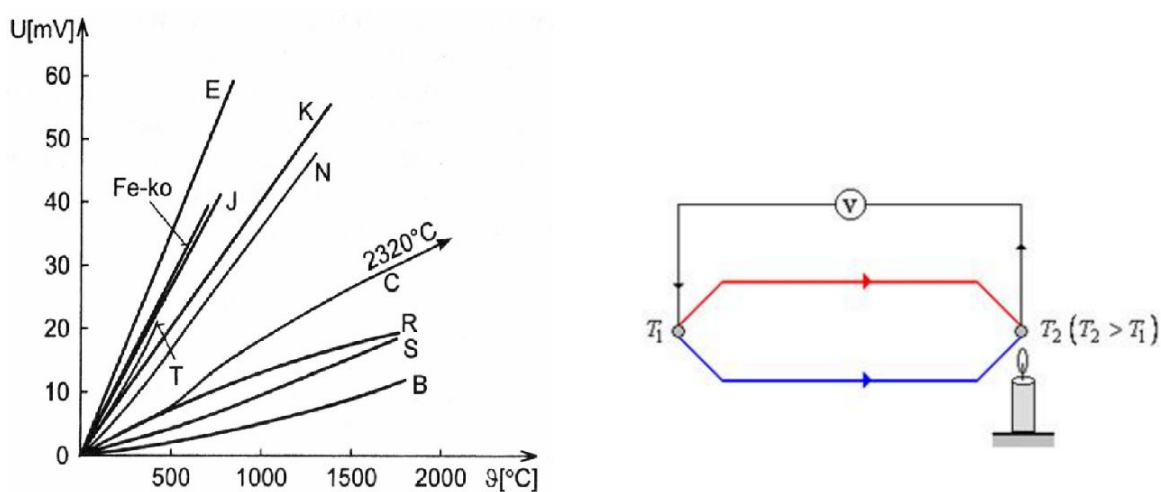
U těch to senzorů teploty tvoří čidlo teploty a elektrický obvod jediný monolitický prvek. Nejčastěji jsou založeny na dvojici bipolárních tranzistorů, každý z této dvojice má

vlastní zdroj elektrického proudu, výhodou tohoto diferenčního uspořádání je potlačení teplotního vlivu saturačního proudu  $I_s$ . (Kreidl, 2005)

## 1.6 Termoelektrické články

Tyto články využívají Seebeckova jevu, tj. na jevu převodu tepelné energie na energii elektrickou. Termočlánky jsou složeny vždy ze dvou různých vodičů nebo polovodičů. Elektrický proud protéká vodičem nebo polovodičem jen tehdy, pokud na obou spojích A a B je rozdílná teplota. Zde právě vzniká Seebeckův jev tím, že v teplejší části vodiče mají nositelé náboje větší energii (v polovodiči větší koncentraci), a proto pronikají ve větším množství do místa s nižší teplotou. Pokud obvod na jakémkoliv místě přerušíme, bude na vzniklých svorkách patrné elektrické napětí. (obr. 7) Velikost elektrického napětí je závislá na rozdílu teplot na spojích a na materiálu, ze kterého je termoelektrický článek zhotoven. Díky velkému množství materiálu, ze kterého je možno jednotlivé články vyrobit jsou rozděleny a normalizovány do několika typů. Mají velmi velký teplotní rozsah měření a to od  $-200\text{ }^\circ\text{C}$  do více než  $2\,000\text{ }^\circ\text{C}$ . Charakteristika vybraných termoelektrických článků je zobrazena grafem (obr. 7) a v následující tabulce. Nejběžnějšími materiály, které se používají na výrobu termoelektrických článků, jsou železo-konstantan (typ J), měď-konstantan (typ T) a nikl-chróm (typ K). Jelikož výstupní napětí se pohybuje v řádech mV, je vhodné připojit na svorky zesilovač. (Kreidl, 2005) (Storr, 2015)

**Obrázek 7: Charakteristika vybraných termoelektrických článků a měření Seebeckova napětí**



Zdroj: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>

**Tabulka 2: Typy termoelektrických článků**

Typ	Složení	Měřená teplota [°C] dlouhodobě	Měřená teplota [°C] krátkodobě	Citlivost [μV/°C]
K	NiCr (+) a NiAl (-)	0 až +1 100	-180 až +1 350	28 – 42
T	Cu (+) a CuNi (-)	-185 až +300	-250 až +400	17 – 57
J	Fe (+) a CuNi (-)	+20 až +700	-180 až +750	50 – 60
N	NiCrSi (+) a NiSiMg (-)	0 až +1 100	-270 až +1 300	24 – 38
E	NiCr (+) a CuNi (-)	0 až +800	-40 až +900	40 – 80
R	PtRh13 (+) a Pt (-)	0 až +1 600	-50 až +1 700	8 – 16
S	PtRh10 (+) a Pt (-)	0 až +1 550	-50 až +1 750	8 – 12
B	PtRh30 (+) a PtRh6 (-)	+100 až +1 000	+100 až +1 820	5 – 10

*Zdroj: (Kreidl, 2005), <http://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/temperature-measurement/thermocouple/types-wire-element>*

## 1.7 Dilatační teploměry

Jsou založené na teplotní roztažnosti pevných, kapalných a plyných látek. Měření teploty se tedy určuje podle změny délky, objemu anebo tlaku. Podle konstrukce se dilatační teploměry dělí na tyčové, bimetalické, bimateriálové, skleněné, kapalinové tlakové, parní tlakové, plynové tlakové. (Kreidl, 2005)

## 1.8 Speciální dotykové senzory teploty

Mezi tyto senzory teploty se řadí například akustické, které jsou založeny na měření rozdílné rychlosti zvuku při změně teploty. Dalšími zástupci speciálních dotykových senzorů jsou krystalové, šumové, magnetické a optické vláknové senzory. (Kreidl, 2005)

### 1.8.1 Akustické teploměry

Jak již bylo naznačeno výše, jsou založené na principu teplotní závislosti rychlosti šíření zvuku v plynu nebo v pevném prostředí. Pro ideální plyn platí vztah pro rychlost šíření  $w$

$$w^2 = \frac{c_p}{c_v} \cdot \frac{RT}{M} = \gamma \frac{RT}{M}, \quad (11)$$

kde

$w$  [m·s<sup>-1</sup>] – teplotní změna rychlosti zvuku,

$c_p, c_v$  [J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>] – měrná tepelná kapacity plynu,

$\gamma$  – poměr  $c_p$  a  $c_v$ ,

$R$  [J·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup>] – plynová konstanta,

$M$  [kg·mol<sup>-1</sup>] – molekulová hmotnost plynu,

$T$  [K] – termodynamická teplota.

Při použití pevné látky ve tvaru tenké tyče platí pro rychlost šíření  $w$  podélných vln zvuku následující vztah

$$w = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (12)$$

kde

$E$  [MPa] – modul pružnosti v tahu,

$\rho$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] – hustota použitého materiálu.

Akustické teploměry se používají jak pro velmi nízké teploty od  $-271$  °C do  $253$  °C tak i pro vysoké teploty od  $750$  °C do  $3\,000$  °C, zde především záleží na použitém materiálu (hliník, ocel, safír, molybden, wolfram). Měřicí tyč má rozměry o průměru  $0,03$  až do  $3$  mm a délka se pohybuje od  $1,3$  cm do  $3$  m. (Kreidl, 2005)

### 1.8.2 Krystalové teploměry

Zde se využívá teplotní závislost rezonančního křemenného výbrusu, který mění svoji frekvenci při změně teploty. Krystal je zapojen do rezonančního obvodu, který se skládá z tranzistorového oscilátoru. Při změně teploty dochází ke změně rezonanční frekvence. Změna se vyhodnocuje díky teplotně nezávislému oscilátoru (referenčnímu) a rozdíl frekvencí se vyhodnocuje pomocí čítače. Krystalové teploměry mají velkou rozlišovací schopnost a to až  $10^{-4}$  °C a rozsah měření je od  $-80$  °C do  $250$  °C. (Kreidl, 2005)

### 1.8.3 Šumové teploměry

Zde se využívá pro měření teploty rezistor, ve kterém se volně pohybují elektrony, tento pohyb má stochastický charakter a je v měřitelném pásmu elektrického napětí. Tepelný šum, jak je toto napětí označováno, má energii rozloženou po celém frekvenčním pásmu. Výhodou šumových teploměrů je vysoká odolnost prostředí, ve kterém je umístěno čidlo, včetně ionizačního záření, vysoce agresivní atmosféry, toku neutronů a vysoké teploty. Nevýhodou šumového teploměru je velmi malé výstupní napětí při měření nízkých teplot. Lze je používat opravdu pro nízké teploty a to od  $-270$  °C až po víc než  $1\,000$  °C. (Kreidl, 2005)



#### 1.8.4 Magnetické teploměry

U tohoto teploměru se využívá závislosti magnetické susceptibility paramagnetických solí např. dusičnan hořečnatý. Čidlo zde slouží jádro cívky, nejdříve se změří indukčnost vzduchové cívky a posléze s vloženým jádrem. Magnetické teploměry jsou vhodné pro měření velmi nízkých teplot a to od 10 mK až 80 K. (Kreidl, 2005)

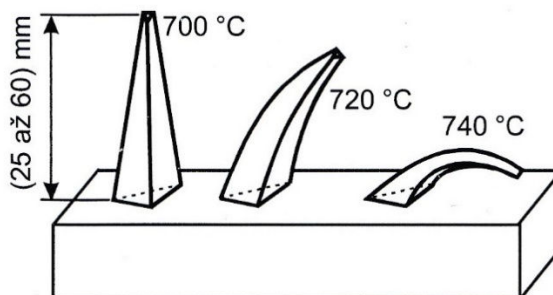
#### 1.8.5 Optické vláknové senzory teploty

U těchto senzorů se využívá nežádoucího vlivu teploty na parametry optických sdělovacích kabelů. Měřená teplota moduluje optické signály, které jsou vysílány do optického vlákna. Pro světelné zdroje se využívají například LED diody, anebo polovodičové lasery, světlo je na konci světlovodu detekováno diodou typu PN, PIN či lavinovou diodou. Optické vláknové senzory teploty lze využívat pro teplotní rozsah od  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do  $460\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (Kreidl, 2005)

### 1.9 Indikátory teploty

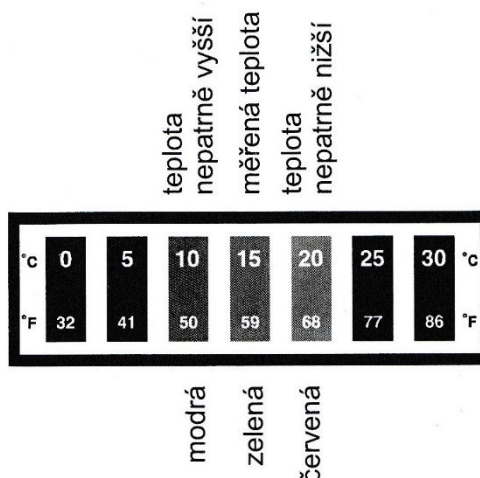
Slouží především k přibližnému určení, nebo měření teploty těles a jsou založeny na vratném a nevratném měření. Mezi vratné se zařazuje skupina s názvem barevné indikátory, kam patří teploměrové nálepky, kapalné krystaly (obr. 9) a luminiscenční indikátory. V této skupině jsou i nevratné indikátory a to teploměrové barvy a tužky. Dále se mezi nevratné indikátory zařazují keramické žároměrky (obr. 8) a tavné indikátory teploty. (Kreidl, 2005)

**Obrázek 8: Keramické žároměrky**



**Zdroj: (Kreidl, 2005)**

**Obrázek 9: Teplotní nálepka s kapalnými krystaly**



**Zdroj:** (Kreidl, 2005)

#### **Bezdotykové senzory:**

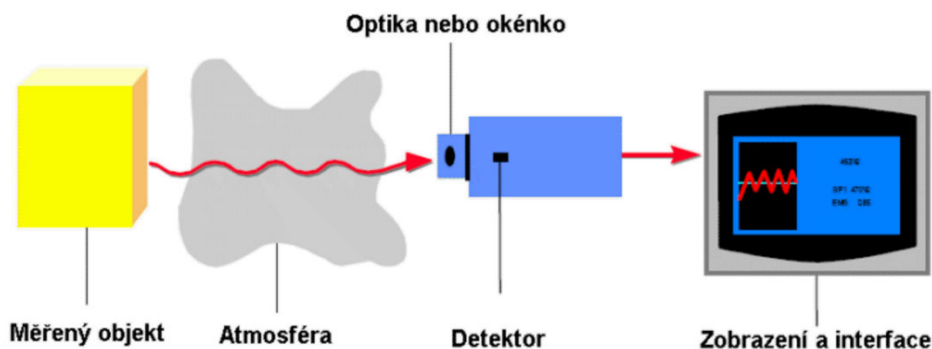
Další možností jak měřit teplotu je bezdotykovou (bezkontaktní) technologií, nebo též označovanou jako infračervená pyrometrie. Jedná se o rychlý a bezpečný způsob měření teploty objektu, bez jakékoliv nutnosti instalování dotykových senzorů. Každý objekt vyzařuje ze svého povrchu elektromagnetické záření, které se snímá citlivým detektorem (senzorem). Záření má vlnovou délku od 0,4  $\mu\text{m}$  do 25  $\mu\text{m}$ , v této vlnové délce se nachází viditelné spektrum (0,4 – 0,78  $\mu\text{m}$ ), část infračerveného spektra (0,78 – 25  $\mu\text{m}$ ), kam se zařazuje krátkovlnné, středovlnné a dlouhovlnné infračervené spektrum. Elektromagnetické záření, které má vlnovou délku od 2  $\mu\text{m}$  do 25  $\mu\text{m}$ , se nazývá tepelné záření. Rozsah od 0,4  $\mu\text{m}$  do 25  $\mu\text{m}$  pokrývá měření teploty od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Princip jak se se měří pomocí bezdotykového detektoru je znázorněn na blokovém schématu (obr. 10). (Ďaďo, a další, 1996)

**Výhody bezdotykového měření** – velmi malý vliv měřicí techniky, kterou se měří teplota objektu, snadný způsob jak měřit teplotu na rychle se pohybujících či rotujících objektech, obsluha může měřit objekt z bezpečné vzdálenosti (elektrická vedení, hutní prostředí), velmi rychlá reakce na změnu teploty (v řádech milisekund), díky termografii, nebo termovizi lze měřit celý povrch objektu (budovy). (Vojáček, 2014) (Kreidl, 2005)

**Nevýhody bezdotykového měření** – pro přesné měření musí být správně stanovená emisivita povrchu měřeného objektu, nejistota měření může nastat i vlivem okolní atmo-

sféry, především mezi měřeným objektem a detektorem, další nejistota nastává při parazitním záření z okolních objektů. Objekt musí být pro detektor opticky viditelný, a je možnost měřit pouze povrch. (Vojáček, 2014) (Kreidl, 2005)

**Obrázek 10: Blokové schéma měřicího řetězce bezkontaktních (bezdotykových) snímačů teploty**



*Zdroj: (Vojáček, 2014)*

**Emisivita** – důležitou věcí, kterou je nutno znát u měřeného objektu je jeho emisivita, je to bezrozměrná veličina a vypočítává se jako poměr mezi intenzitou vyzařovaného reálného objektu k intenzitě absolutně černého tělesa (rov. 13), důležitou podmínkou je, aby obě tělesa měla stejnou teplotu. Emisivita je funkcí teploty  $T$  a vlnové délky  $\lambda$ , znamená to, že emisivita se mění při změně vlnové délky a teploty. Pro správné určení emisivity může sloužit tabulka, která uvádí jednotlivé emisivity materiálu v závislosti na teplotě (tab. 3). (Lysenko, 2005)

$$1 \leq \varepsilon(T, \lambda) = \frac{H_e(T, \lambda)}{H_{e0}(T, \lambda)}, \quad (13)$$

kde

$H_e$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] – intenzita vyzařování reálného objektu,

$H_{e0}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] – intenzita vyzařování absolutně černého objektu.

*Tabulka 3: Příklady emisivity*

<b>Materiál</b>	<b>Teplota [°C]</b>	<b>Emisivita</b>
Beton	20	0,92
Dřevo borové	20	0,83
Ocel leštěná	100	0,07
Překližka neopracovaná	20	0,83
Půda vlhká	20	0,95
Zlato vysoce leštěné	100	0,02

*Zdroj: [http://www.infrazareni.wz.cz/92\\_bezdotykove/emivity.htm](http://www.infrazareni.wz.cz/92_bezdotykove/emivity.htm)*

## **1.10 Detektory tepelného záření**

Jsou dvě základní skupiny těchto detektorů, které se člení podle interakce fotonů s materiálem na tepelné a kvantové. (Kreidl, 2005)

### **1.10.1 Tepelné detektory infračerveného záření**

Tepelné detektory mají aktivní plochu, na kterou dopadá a zároveň je pohlcováno vstupní záření z měřeného objektu. Aktivní plocha detektoru je tímto zářením ohřívána, ale bohužel nelze tuto teplotu měřit přímo, je nutno ji převést na jinou veličinu, k tomu slouží převodníky. (Lysenko, 2005)

Nejčastěji se používají tyto tři základní převodníky – termoelektrické detektory, bolometry a pyroelektrické detektory.

**Termoelektrické detektory** – jsou založeny na principu teplotních jevů, jako je například Seebeckův jev, který již byl popsán v kapitole 1.6 termoelektrické články. Další využívaným jevem je Peltierův - využívá opačné vlastnosti Seebeckova jevu, kde se vytvářelo rozdílné stejnosměrné napětí, zde se bude do obvodu stejnosměrné napětí pouštět, a díky tomu na obou koncích A a B vytvoří rozdílná teplota. Třetím a posledním jevem je Thomsův, kde se zahřívá kovová tyč na jednom konci (může být složena z více materiálů) a měří se nepatrné napětí na jejích koncích. (Lysenko, 2005) (Reichl, a další)

**Bolometry** – u těchto detektorů se využívá změny elektrického odporu vlivem ohřevu odporového článku, který absorboval vstupní ozáření. Odporové články jsou například kovové, polovodičové a další. (Lysenko, 2005)

**Pyroelektrické detektory** – jsou založeny na pyroelektrickém jevu, zde se mění spontánní polarizace při změně teploty. (Kreidl, 2005)

### 1.10.2 Kvantové detektory infračerveného záření

Detektory se vyrábějí z různých polovodičových materiálů (např. Si, Ge, PbS, GaSb, CdHgTe atd.). Podle typu polovodiče se rozdělují na intrinsické, které jsou vyráběny z čistého (vlastního) polovodiče, a extrinsické, které jsou založené na PN struktuře a u kterých je hustota nosičů náboje závislá na koncentracích příměsí. Jelikož dochází k přímému dopadu fotonů infračervené oblasti na strukturu detektoru, je nutno, aby tyto detektory měli chlazení, což zajistí i lepší odstup od signálového šumu. (Vojáček, 2014) (Kreidl, 2005)

### 1.11 Pyrometry

Tyto detektory se dělí do několika skupin podle druhu měření. Je velmi důležité, aby se znala emisivita materiálu, ale již existují pyrometry s automatickou korekcí emisivity. Pro monochromatické detektory s korekcí se využívá při měření teploty laser. Při měření se v prvním kroku nejdříve změří objekt a v druhém kroku se změří část objektu ozářená laserem, poté zabudovaný mikroprocesor vypočítá teplotu objektu. Monochromatický pyrometr pracuje na principu závislosti spektrálního vyzařování těles při dané vlnové délce na teplotě. Ideálně by bylo možno s tímto pyrometrem měřit v nekonečně úzkém pásmu vlnové délky, ale reálně to nelze provést, takže se vždy měří v úzkém vlnovém pásmu. Toto pásmo je dáno spektrální propustností optiky, spektrální citlivostí kvantového detektoru a hlavně spektrální propustností interferenčních filtrů. (Kreidl, 2005)

Dalším zástupcem pyrometrů je úhrnný pyrometr. Tyto pyrometry pracují v celém spektru vlnové délky, ze které se měří tepelné záření. Zářivý tok se zaostřuje na detektor pomocí soustavy čoček, které jsou vyrobené z materiálu se širokým spektrem propustnosti, či zrcadlem, které má široké spektrum odrazivosti. (Kreidl, 2005)

### 1.12 Snímání teplotních polí

Je to systém pro bezdotykové měření a plošné měření teplotních polí, který se rozděluje na systém bez rozkladu a s rozkladem obrazu (termovize). U systému bez rozkladu se využívá vakuové diody, kde se snímá tepelný obraz vytvořený optikou na fotokatodě. Ozáření fotokatody způsobí fotoemisi elektronu, tento tok je zesílen pomocí fotonásobiče a díky elektrickému poli usměrněn na luminiscenční stínítko, kde se vytvoří odpovídající snímáný obraz. V dnešní době se využívá mikrokanálová matice (destička). Kanálky jsou připojeny na zdroj vysokého napětí, které napomáhá, aby pole mělo axiální směr. Emitované elektrony jsou v kanálcích urychlovány a dochází i k násobení počtu elektronů. Urychlené a znásobené

elektrony jsou soustředěny na stínítko multianody a odtud se převádí přes optiku na CCD čip, který se používá například v digitálních fotoaparátech či kamerách. (Kreidl, 2005)

### 1.12.1 Termovize

Tento způsob měření teploty je založen na rozkladu obrazu, tento rozklad je prováděn dvěma způsoby:

- optickomechanickým rozkladem (již se nevyrábí),
- maticovým rozkladem.

Systemy založené na maticovém rozkladu využívají čipy mikrobolometrické a kvantové, které pracují lépe, jestliže jsou chlazeny. To bývá realizováno například Stirlingovým chladičem, což je princip malé kompresorové chladničky, anebo jsou chlazeny Peltierovým článkem. Díky chlazení se zvýšila citlivost termovizí – dosahované rozlišení teploty je 0,1 °C. Zpracování obrazu je realizováno přímo na čipu za pomoci multiplexoru a A/D převodníku. Avšak obraz je tzv. falešných barvách, které neodpovídají skutečnosti. (Lysenko, 2005) (Kreidl, 2005)

## 2 Senzory vlhkosti plynu

Měření vlhkosti vzduchu, obecněji vlhkosti plynů, je velmi důležité nejen v meteorologii, ale i v mnoha průmyslových odvětvích, zejména při skladování zemědělských produktů, při dopravě plynů plynovody a mnoha dalších případech. Vlhkost vzduchu je ovlivněna teplotou a aktuálním tlakem.

Vlhkost vzduchu lze udávat několika způsoby:

- absolutní vlhkost,
- relativní vlhkost,
- teplota rosného bodu.

Absolutní vlhkost se definuje jako hmotnost vodní páry, která je obsažena v jednotce objemu vlhkého vzduchu a platí proto tento vztah,

$$\Phi = \frac{m}{V}, \quad (14)$$

kde:

- $\Phi$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] – absolutní vlhkost,
- $m$  [kg] – hmotnost vodní páry,
- $V$  [ $\text{m}^{-3}$ ] – objem vlhkého plynu.

Relativní vlhkost vzduchu se uvádí jako poměr absolutní vlhkosti vzduchu k vlhkosti vzduchu s nasycenými párami za stejné teploty a tlaku. Pro suchý plyn tedy platí, že relativní vlhkost  $\Phi' = 0 \%$  a u stavu nasycení vodní parou je vlhkost  $\Phi' = 100 \%$ . Pro relativní vlhkost tedy platí vztah,

$$\Phi' = \frac{\Phi}{\Phi_{nas}} \cdot 100, \quad (15)$$

kde

- $\Phi'$  [%] – relativní vlhkost,
- $\Phi$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] – absolutní vlhkost,
- $\Phi_{nas}$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] – vlhkost plynu s nasycenými párami.

Dalším způsobem jak stanovit vlhkost vzduchu je teplota, na kterou je potřeba vzduch schladit, aby se v něm obsažená vlhkost stala vlhkostí nasycenou. Při takovéto teplotě začne

vlhkost kondenzovat a v tom okamžiku se našla takzvaná teplota rosného bodu. Jak se mění absolutní vlhkost při nasycení vzduchu vodní parou v závislosti na teplotě, ukazuje následující tabulka. (Zehnula, 1983) (Hanzal, 2004)

**Tabulka 4: Vybraná teplota rosného bodu**

<b>Teplota [°C]</b>	-100	-60	-20	0	10	20	30	60
<b>Vlhkost [g·m<sup>-3</sup>]</b>	18·10 <sup>-6</sup>	0,0006	0,888	4,87	9,44	17,4	30,5	130

*Zdroj: (Hanzal, 2004)*

## 2.1 Gravimetrie

Je to velmi přesná metoda měření vlhkosti plynů, bohužel pro průmyslové měření nevhodná z časových důvodů a to především při malé vlhkosti. Proto se využívá hlavně v laboratořích pro ověřování a kalibraci jiných vlhkoměrů. Pracuje na principu absorpce vlhkosti známého objemu plynu do vhodného sušidla a následně se zjišťuje přírůstek hmotnosti. (Hanzal, 2004)

## 2.2 Sorpční senzory vlhkosti

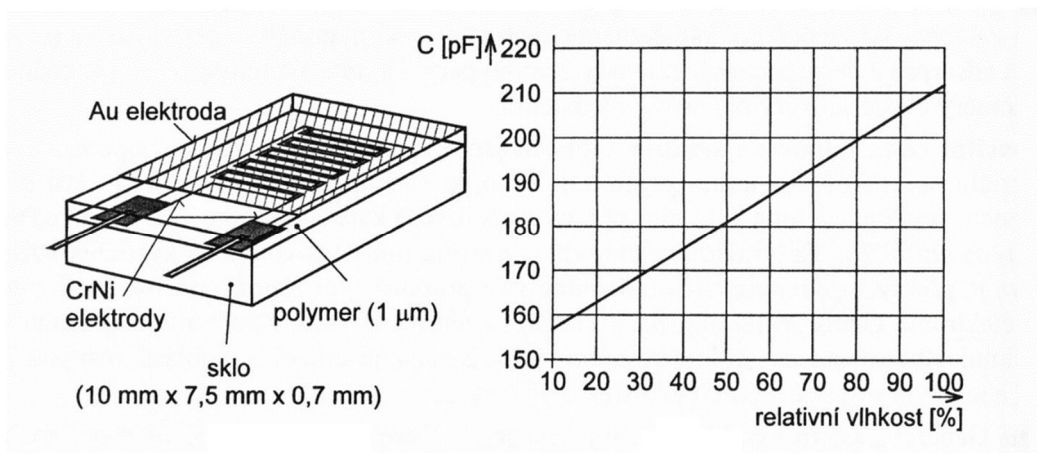
Pracují na principu změny fyzikálně-chemických vlastností materiálů v závislosti adsorpce a desorpce molekul vody z měřeného plynu (vzduchu). Do této skupiny vlhkoměrů patří kapacitní senzory, které při absorbování vlhkosti mění svoji kapacitu, a další z této skupiny jsou odporové senzory, jež mění svůj elektrický odpor, a také sem patří mechanické vlhkoměry. (Ďaďo, a další, 1996)

### 2.2.1 Kapacitní senzory vlhkosti

Pro svoji činnost využívají absorpci vody do polymerních materiálů. Vztah mezi relativní vlhkostí a kapacitou je přímo úměrný. Tyto senzory se vyrábí tenkovrstvou technologií a jeho dielektrikum je tvořeno hydroskopickým (vodu pohlcující) polymerem. I když je množství absorbované vody do dielektrika poměrně malé, díky její velké dielektrické konstantě, je možnost kapacity dobře měřit. Dalo by se říci, že 0,1 % z celkové kapacity je na každé % relativní vlhkosti. Moderní senzory se vyrábějí integrovaným zpracováním signálu, výstup už je rovnou převedený do elektrického napětí, nebo dokonce do digitálního signálu. Kapacitní senzory mají mnoho výhod: jsou skoro nezávislé na teplotě, odolné vůči kondenzaci, mají dobrou odezvu a přesnost v jednotkách % relativní vlhkosti. Jsou konstruovány v malých rozměrech a relativně za nízkou cenu. Ukázka kapacitního senzoru a jeho charakteristiky je na následujícím obrázku. (Hanzal, 2004) (Ďaďo, a další, 1996)



**Obrázek 11: Kapacitní senzor vlhkosti a jeho charakteristika**

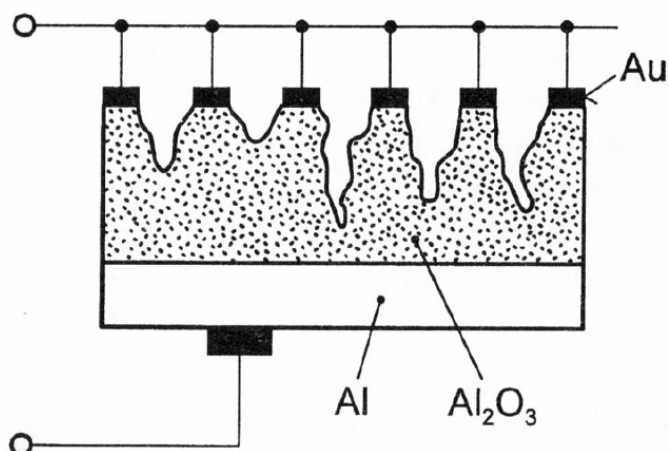


*(Ripka, a další, 2005)*

### 2.2.2 Odporové senzory vlhkosti

I zde se jako u kapacitního čidla využívá změna vodivosti, která v hygroskopických materiálech doprovází absorpci vody. Odporový senzor (obr. 12) je složen z hliníkové elektrody, na které je umístěna vrstva kysličníku  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Druhou elektrodu vytváří zlatá elektroda, ta umožňuje propouštět vodní páru. Další provedení může být známo jako Dunmoro, které využívá hygroskopický materiál polyvinylalkohol s přísadkou chloridu nebo bromidu lithného. Přívodní elektrody jsou v tomto případě platinové, z toho jedna umožňuje propustnost vodní páry. Odporové senzory umožňují měřit jenom část celkového rozsahu relativní vlhkosti, ale různé koncentrace lithné soli umožňují měřit v různých pásmech. Odporové senzory jsou přesnější než kapacitní senzory, umožňují měřit desetiny % relativní vlhkosti. Jsou ale citlivější na orosení (kondenzaci) a nelze je použít při vyšších teplotách. (Hanzal, 2004) (Ďaďo, a další, 1996)

**Obrázek 12: Struktura odporového senzoru vlhkosti**



*(Ripka, a další, 2005)*

### 2.2.3 Mechanické vlhkoměry

Pro tyto vlhkoměry se využívají především upravené přírodní materiály, jako jsou lidské vlasy, koňské žíně, anebo hedvábí, ale i některé syntetické materiály, a to nylon či butyrát celulózy. Využívají se pro svoji schopnost absorbovat ve své struktuře určité množství vody, které je úměrné vlhkosti okolí. Díky absorbované vodě změní svoje rozměry a tato změna je převáděna na pákový mechanismus, který vychyluje ručičku nebo pisátko. Jedná se o jednu z nejstarších metod. (Hanzal, 2004)

## 2.3 Psychrometr

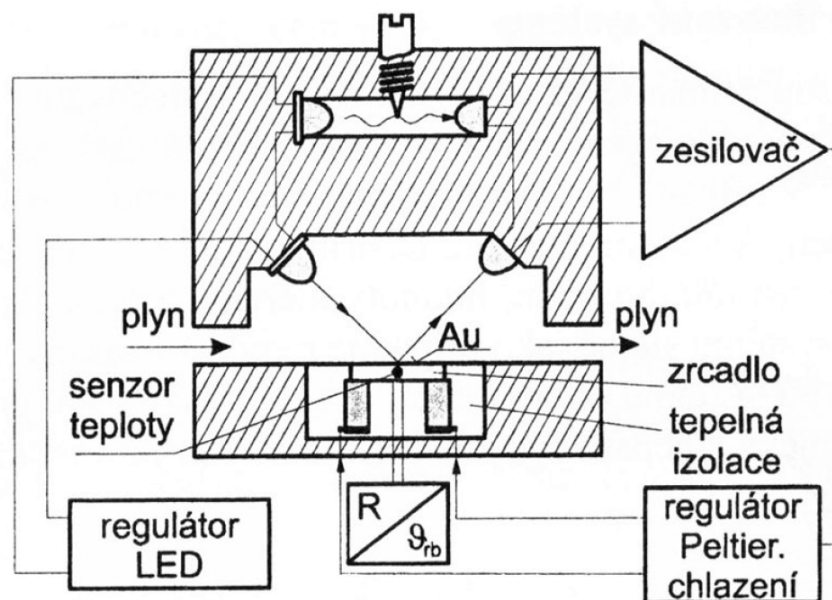
Pracuje na principu diference teploty dvou teploměrů, z nichž jeden je obalen do knotu (tzv. vlhký teploměr). Tento knot je jedním koncem ponořený do vody, tak aby vodu nasával. Oba dva teploměry jsou umístěny do proudu měřeného vzduchu. Vlhký teploměr bude díky odpařené vodě z knotu ukazovat nižší teplotu nežli suchý teploměr. Intenzita odpaření a tedy i poklesu teploty závisí na relativní vlhkosti měřeného vzduchu. Pokud bude vzduch zcela nasycený vodní párou, ukáží oba teploměry stejnou teplotu. Pro zjištění vlhkosti je nutno znát i atmosférický tlak a odečet se provádí za pomoci tabulek. Dříve se psychrometry vyráběli ruční (mávací psychrometr), vypadaly jako řehačka. Později se místo ručního odvádění vzduchu začal využívat elektromotor s turbínkou nebo vrtulkou, která přes oba teploměry odváděla měřený vzduch, ale i zde se zjišťovala vlhkost vzduchu za pomoci tabulek.

Dnes již existují psychrometry elektronické, kdy jsou rtuťové teploměry nahrazeny například platinovým odporovým senzorem a přepočítává zabudovaný mikroprocesor. (Hanzal, 2004) (Zehnula, 1983)

## 2.4 Zrcadlový senzor teploty rosného bodu

Také známý jako kondenzační vlhkoměr. Patří k velmi přesným měřidlům, přesnější měření vlhkosti zaručuje jenom gravimetrická metoda. Zrcadlový senzor, jak již název napovídá, je tvořen zrcátkem ze zlata, které je ochlazováno či ohříváno pomocí Peltierova článku, tak aby zrcátko bylo stále mírně orosené. Orosení zrcátka je snímáno opticky pomocí LED diody a fotodiody, ty jsou zapojeny do zpětnovazebního obvodu, který nastavuje teplotu na Peltierově článku. Teplota zrcátka se snímá pomocí platinového odporového senzoru či polovodičovým senzorem těsně pod středem odrazové plochy zrcátka (obr. 13). Chyba měření může nastat při znečištění zrcátka. To se odstraňuje například vloženými filtry vzduchu, anebo ofukování stlačeným vzduchem. Moderní přístroje proto bývají vybaveny indikací znečištění zrcátka. (Hanzal, 2004) (Ďaďo, a další, 1996)

*Obrázek 13: Uspořádání zrcadlového senzoru teploty rosného bodu*



*(Ripka, a další, 2005)*

### **3 Cíl práce**

Cílem práce je navrhnout a zhotovit funkční model skleníku a řídicí jednotky pro regulaci teploty a relativní vlhkosti vzduchu ve skleníku. Systém bude zobrazovat aktuální hodnoty teploty a vlhkosti ve skleníku a bude vybaven nenáročným ovládním s možností měnit požadované hodnoty teploty a relativní vlhkosti dle požadavků uživatele. Další funkcí systému bude záznam výsledků měření na datové medium.

#### **3.1 Metodika práce**

- Po teoretickém rozboru senzorů pro měření teploty a vlhkosti budou jednotlivé druhy senzorů zhodnoceny a poté vybrán vhodné senzory, které budou umístěny ve skleníku.
- Zvolení vývojového kitu s návrhem a sestavením řídicí a ovládací jednotky
- Návrh a sestavení skleníku
- Naprogramování řídicího systému
- Odzkoušení celého zařízení a zhodnocení naměřených výsledků

## 4 Hodnocení senzorů teploty a vlhkosti

První dvě kapitoly popisovaly vlastnosti senzorů pro měření teploty a vlhkosti. Na základě jejich specifických parametrů se musí vhodně vybrat senzory, které budou následně umístěny ve skleníku a díky nim zabezpečovány dobré klimatické podmínky rostlinám. Vzhledem k tomu, že většina rostlin prosperuje při teplotě do 40 °C, sukulenty zvládnou i vyšší teplotu, postačí teplotní senzor o rozsahu 0 °C – 70 °C. Ideální vlhkost se odvíjí od druhu rostliny, proto bude nejvhodnější čidlo vlhkosti plynu s rozsahem měření 0 – 100 % relativní vlhkosti. Podmínky ve skleníku se mění v závislosti na okolním prostředí, zda je jasno, zataženo či prší, svou roli hraje i vítr. Proto je nutné zvolit senzor s citlivostí v řádech jednotkách °C a % relativní vlhkosti.

### 4.1 Porovnání senzorů teploty a vlhkosti

Pro měření teploty ve skleníku nebude potřeba senzorů velkého rozsahu, kterým disponuje například platinový senzor. Plně postačí menší rozsah měření, jako má například termistor. Ten vyniká nejenom příznivou cenou, která se pohybuje řádově v jednotkách korun oproti svým konkurentům, ale i citlivostí a rychlostí měření. Jediná nevýhoda je v jeho nelinearitě. Vybrané senzory pro měření teploty ve skleníku jsou v tabulce 5.

*Tabulka 5: Porovnání senzorů pro měření teploty*

Parametry	Kovové odporové senzory teploty	Polovodičové odporové senzory teploty (termistor)	Termočlánek	Integrovaný senzor
Přesnost	Výborná	Velmi dobrá	Velmi dobrá	Velmi dobrá
Rychlost měření	Velmi dobrá	Výborná	Velmi dobrá	Dobrá
Rozsah měření	-50 až 150 °C	-50 až 150 °C	-180 až 1 300 °C	-50 až 150 °C
Linearita	Výborná	Dobrá	Dobrá	Velmi dobrý
Citlivost	Dobrá	Výborná	Dobrá	Velmi dobrá
Stabilita	Výborná	Velmi dobrá	Dobrá	Velmi dobrá
Cena	100 Kč	9 – 100 Kč	150 – 500	30 – 100 Kč

*Zdroj: <http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/mtd.htm>*

Pro pěstování rostlin ve skleníku je důležitá i relativní vlhkost, ta musí být měřena v plném rozsahu, tuto podmínku splňuje kapacitní senzor, který měří od 0 % až do 100 % relativní vlhkosti. Kromě rychlosti měření, která je u kapacitního a odporového senzoru stejná jsou i jeho ostatní parametry výhodnější (tab. 6).

**Tabulka 6: Porovnání senzorů pro měření vlhkosti**

Parametry	Kapacitní senzor vlhkosti	Odporový senzor vlhkosti
Přesnost	2 %	0,1 %
Rychlost měření	Dobrá	Dobrá
Rozsah měření relativní vlhkosti	0 – 100 %	0 – 100 % (záleží na koncentraci lithné soli)
Linearita	Výborná	Dobrá
Stabilita	Výborná	Velmi dobrá
Cena	70 – 270 Kč	100 – 350 Kč

Senzory jsou vybrány a hodnoceny tak, aby je bylo možné použít pro aplikaci v automatizovaném skleníku.

#### **4.2 Volba vhodného senzoru pro měření teploty a vlhkosti ve skleníku**

Na trhu se objevuje mnoho čidel pro měření teploty, od kovových jako je Pt100 až po moderní integrované senzory, například LM335. Všechny tyto senzory mají své klady i zápory, ale pro aplikaci ve skleníku není potřeba velkého rozsahu (postačí 0 – 70 °C) měření nebo zbytečně drahý senzor. Teplotní čidlo bylo vybráno ze skupiny termistorů, konkrétně se jedná o negastor (NTC). Tento senzor se vyznačuje velkou teplotní citlivostí, vyniká malými rozměry. Nevýhodou je nelineární charakteristika tohoto senzoru.

Výběr senzorů vlhkosti vhodných pro tento projekt není největší. S ohledem na jednoduchost realizace projektu a nenáročnost po finanční stránce se senzory vlhkosti jako jsou např. psychometry, zrcadlový senzor teploty rosného bodu či metoda gravimetrie jeví jako nevhodné. Ačkoliv se jedná o velmi přesné metody měření vlhkosti, pro účely tohoto projektu jsou nákladné či zbytečně složité. Pro měření vlhkosti je tedy nutné zvolit kapacitní čidlo, které disponuje měřením v celém rozsahu relativní vlhkosti a navíc mu nevádí orosení, které by bylo u odporového senzoru závažným problémem. Tento senzor má velmi dobrou přesnost a krátkou časovou odezvu, je stabilní a další výhodou je jeho lineární charakteristika.

A tak pro měření teploty a vlhkosti byl použit duální senzor DHT22, který lze najít i pod označením AM2302. Tento senzor v sobě kombinuje měření teploty za pomoci termistoru a měření relativní vlhkosti za pomoci kapacitního senzoru. DHT22 obsahuje v sobě i elektroniku s mikroprocesorem, který už na výstupu dává digitální signál. Senzor má i další výhody – a to přijatelnou cenu, velikost, nízkou spotřebu elektrické energie a v neposlední řadě dokáže signál z výstupu poslat až na vzdálenost 20 metrů. Tak velký dosah zaručí, že celá řídicí elektronika, do které senzor bude zapojen, je umístěna mimo skleník a nebude

trpět zvýšenou teplotou či vlhkostí. Základní parametry duálního senzoru DHT22 jsou popsány v následující tabulce.

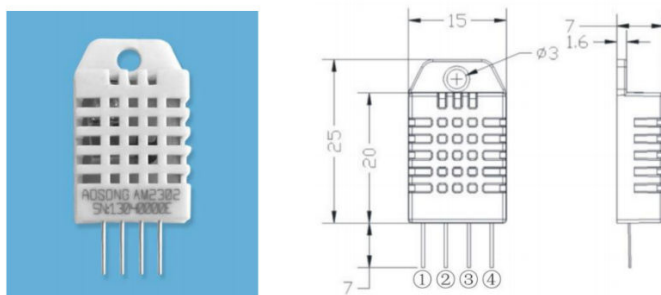
**Tabulka 7: základní parametry duálního senzoru DHT22**

Parametry	Minimální	Maximální	Přesnost	Jednotka
Napájení	3,3	5,5		V
Odběr	10	500		μA
Teplota	-40	80	± 0,5	°C
Vlhkost	0	99,9	± 2	% RH
Rychlost vzorkování	2			s

**Zdroj:** <http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>

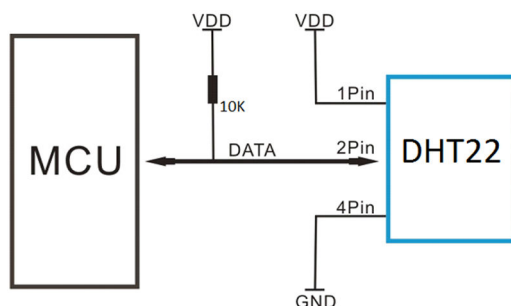
DHT22 se zapojuje pomocí tří vodičů, dva z nich slouží pro napájení a jeden je jako datový vodič. K datovému vodiči je nutno připojit takzvaný pull-up rezistor, v datasheetu se uvádí hodnota tohoto rezistoru 10 kΩ při velikosti napájení 5 V. Jak vypadá DHT22 a jeho zapojení s mikroprocesorem, je na následujících obrázcích.

**Obrázek 14: Duální senzor DHT22**



**Zdroj:** <http://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/AM2302.pdf>

**Obrázek 15: Zapojení duálního senzoru DHT22 k mikroprocesoru s pull-up rezistorem**



**Zdroj:** <https://mlabsbd.files.wordpress.com/2013/08/int.png>

## 5 Návrh a výběr zařízení pro automatizovaný skleník

Jako senzor pro měření teploty a vlhkosti je vybrán DHT22, který bude zapojen do programovatelné desky Arduino Mega 2560. Jedná se o vývojovou desku, která je osazena procesorem ATmega2560 od firmy Atmel. Pro desky Arduino je vyráběno nespočet čidel, modulů, nebo složitějších shieldů, jež se rovnou nasazují na samotnou desku. Tento vývojový kit byl vybrán z důvodu velkého počtu vstupních a výstupních pinů, kterými např. Arduino UNO nedisponuje.

K zobrazení okamžité teploty a vlhkosti ve skleníku, musí být k platformě Arduina zapojený displej. Na tomto displeji se budou zobrazovat nejen naměřené hodnoty, ale i požadované, které si uživatel zvolí pomocí čtyř tlačítek. Kompletní klávesnice se pro účely projektu jeví zbytečně naddimenzovaná a nebyla by plně využita. Jelikož displej bude ukazovat aktuální naměřené hodnoty teploty a vlhkosti ve skleníku, je nutné, aby se starší hodnoty ukládaly do paměti. Proto k platformě Arduina bude připojen modul, do kterého se vloží microSD karta a veškerá potřebná data se do ní zapíše. Aby zapsaná data měla vypovídající charakter je nutno k nim ještě zapsat čas, kdy byla naměřena, to zajistí takzvaný modul reálného času.

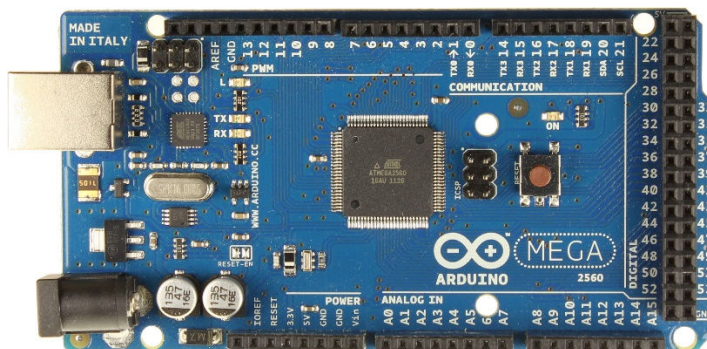
Další možností jak ukládat naměřená data a zachovat si čas i po vypnutí zařízení, by bylo použití takzvaného shieldu, na kterém je umístěn jak slot pro microSD kartu, tak i hodiny reálného času. To však skrývá pro uvažované řešení umístění všech ostatních zařízení s platformou Arduina do plastové krabičky několik negativ. Shield se totiž instaluje přímo na desku Arduina a to by velice znesnadnilo uživateli snadné vkládání a vyjímání microSD karty ze slotu, při každém tomto pokusu by byl uživatel nucen rozebrat krabičku a posléze manipulovat s paměťovou kartou. Další negativum by vzniklo při poruše jedné z částí shieldu, a to buď slotu na microSD kartu, anebo části kde se nacházejí hodiny reálného času. Tato porucha by zapříčinila výměnu celého shieldu, proto bude vybráno modulární řešení, kde při poškození jednoho z modulů postačí jeho výměna a zařízení bude pokračovat ve své funkci. Navíc slot pro microSD kartu půjde lépe zpřístupnit pro uživatele.

**Arduino Mega 2560** – je osazeno 54 programovatelnými digitálními vstupy a výstupy z nichž je možno 14 použít jako PWM výstup. Pro analogový vstup je vyhrazeno 16 pinů s 10-ti bitovým převodníkem. Lze zde najít sériovou linku RS232/RS485 a sériové sběrnice I2C a SPI. Díky nim lze na platformu Arduina připojit velké množství modulů jako je displej,



slot na SD kartu, nebo modul reálného času. Procesor je taktován na 16 MHz a je k dispozici programovatelná flash paměť o velikosti 256 KB.

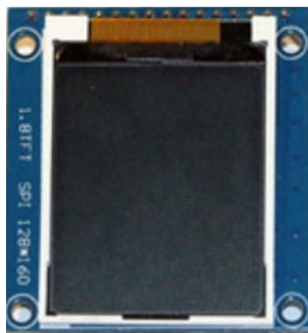
*Obrázek 16: Platforma Arduino Mega 2560*



*Zdroj: <http://www.arduino8.cz/wp-content/uploads/2015/08/Arduino-Mega-2560-Pinout.jpg>*

**Displej** – jako zobrazovací modul je vybrán ST7735R, tento TFT displej s rozlišením 125×160 pixelů je připojený k platformě Arduina za pomoci SPI sběrnice. Displej umožní zobrazit všechna potřebná data na své obrazovce. Při velikosti písma 1, které lze díky použité knihovně nastavit, umožňuje tento displej zobrazit až 16 řádků a podle velikosti jednotlivých znaků se na jeden řádek jich vejde přibližně 22.

*Obrázek 17: TFT displej S7735R*

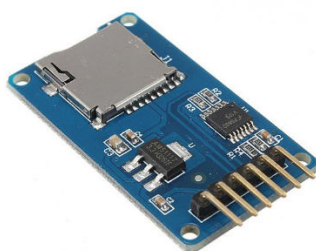


*Zdroj: <http://www.arduino8.cz/lekce-31-arduino-a-spi-tft-displej-128x160/>*

**Slot na microSD kartu** – stejně jako displej komunikuje ten to modul s Arduinem pomocí sběrnice SPI. Díky microSD kartě si uživatel automatizovaného skleníku může stáhnout svá naměřená data do počítače a dále s nimi pracovat. Při realizaci byla použita microSD karta Kingstone o kapacitě 2 GB, formátování FAT32. Systém umožňuje použití

libovolné microSD či microSDHC karty dle volby uživatele, je však nutné dodržet formátování FAT16 či FAT32, protože knihovna používaná platformou Arduino jiné formátování nepodporuje.

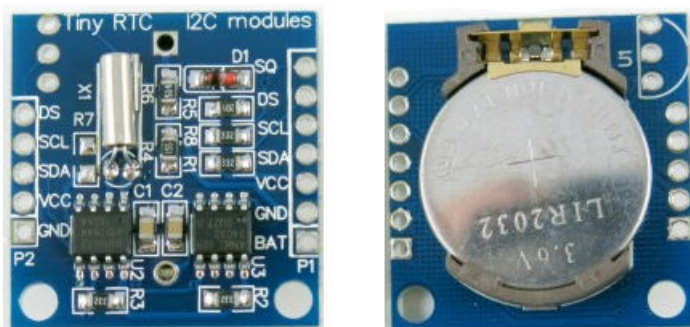
**Obrázek 18: Slot na microSD kartu**



**Zdroj:** <https://www.tindie.com/products/mmm999/micro-sd-tf-card-memory-shield-module-spi-micro-sd-adapter-for-arduino/>

**Modul reálného času** – pro správný čas je vybrán modul DS1307, který umožní k naměřeným datům přiřadit datum a čas, kdy byly naměřeny. S Arduinem komunikuje za pomoci dvou vodičové I2C sběrnici. Modul reálného času je vybrán z prostého důvodu, kdyby vypadlo napájení pro Arduino, čas který by mělo naprogramováno, by byl vzápětí ztracen. I z tohoto důvodu je modul reálného času osazen knoflíkovou baterií CR2032 3V.

**Obrázek 19: Modul reálného času**



**Zdroj:** [https://www.tindie.com/products/Rayshobby/ds1307-rtc-module-with-battery/?pt=full\\_prod\\_search](https://www.tindie.com/products/Rayshobby/ds1307-rtc-module-with-battery/?pt=full_prod_search)

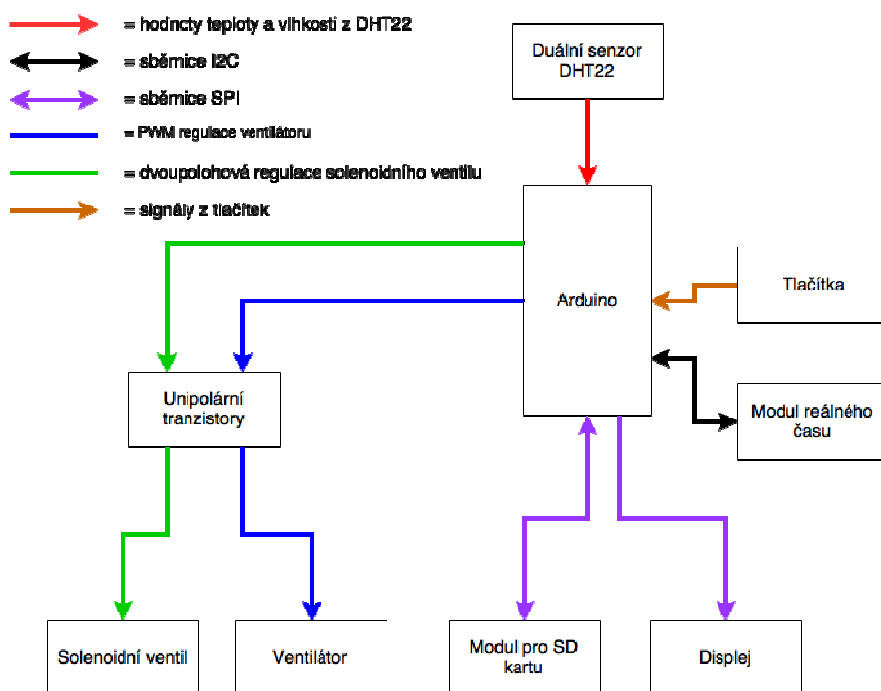
Aby se zajistilo dobré klima pro rostliny ve skleníku, musí se vhodně zvolit odvětrávání a přívod vody pro mlžení, které bude vytvářet vlhkost. Odvětrávání bude zajišťovat PC ventilátor na 12 V řízený PWM signálem a přívod vody bude obsluhovat solenoidní ventil taktéž na 12 V, jež bude ovládán dvupolohově, tedy zapnuto/vypnuto. Jelikož oba prvky spotřebovávají relativně velký proud a vyžadují 12 V napájení, oproti ostatním modulům, je nutné

je ovládat za pomoci dvojice unipolárních tranzistorů IRFZ44. Solenoidní ventil, ale i ventilátor mají v sobě cívku, na nichž je při vypínání naindukováno napětí, které by mohlo zničit citlivou elektroniku Arduina. Proto bylo navrženo zapojení s dvojicí tranzistorů s nulovací diodou (TL207), které jsou od výstupů Arduina odděleny ještě navíc optočleny SFH615-3. Celkový návrh blokového zapojení je na obrázku 20.

**Ventilátor** – vzhledem k navrhované velikosti skleníku byl zvolen PC ventilátor o velikosti 120×120 mm a s průtokem vzduchu až 126 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>.

**Solenoidní ventil** – jak již bylo naznačeno výše napájení pro tento ventil, je stejnosměrné 12 V a odběr proudu je cca 0,5 A. Šroubení na vstupu a výstupu ventilu odpovídá G 1/2". Tento je určen pro tlak od 0,02 MPa do 0,8 MPa a provozní teplotu od 0 °C až do 80 °C.

Obrázek 20: Návrh blokového zapojení



## 5.1 Návrh řídicího obvodu pro solenoidní ventil a ventilátor

Na obrázku číslo 21 je zobrazeno schéma zapojení s optočleny a unipolárními tranzistory. Každý výstupní pin na platformě Arduino může dodávat spolehlivě proud  $I_{\text{výstup}}$  o velikosti 20 mA. Tato velikost proudu je stanovena jako doporučující, avšak lze z pinu odebrat proud o velikosti až 40 mA, ale po překročení této hodnoty by došlo k nenávratnému poškození. Proto je nutno správně zvolit hodnotu rezistoru R1 a R3, přes který poteče proud na

vstup optočlenu. Nejdříve je potřeba vypočítat napětí  $U_R$  (rov. 16) na rezistoru R1 a R2, které se určí odečtením výstupního napětí  $U_{vystup}$  z pinu Arduina od pracovního napětí  $U_f$  LED diody, která je zabudována v optočlenu.

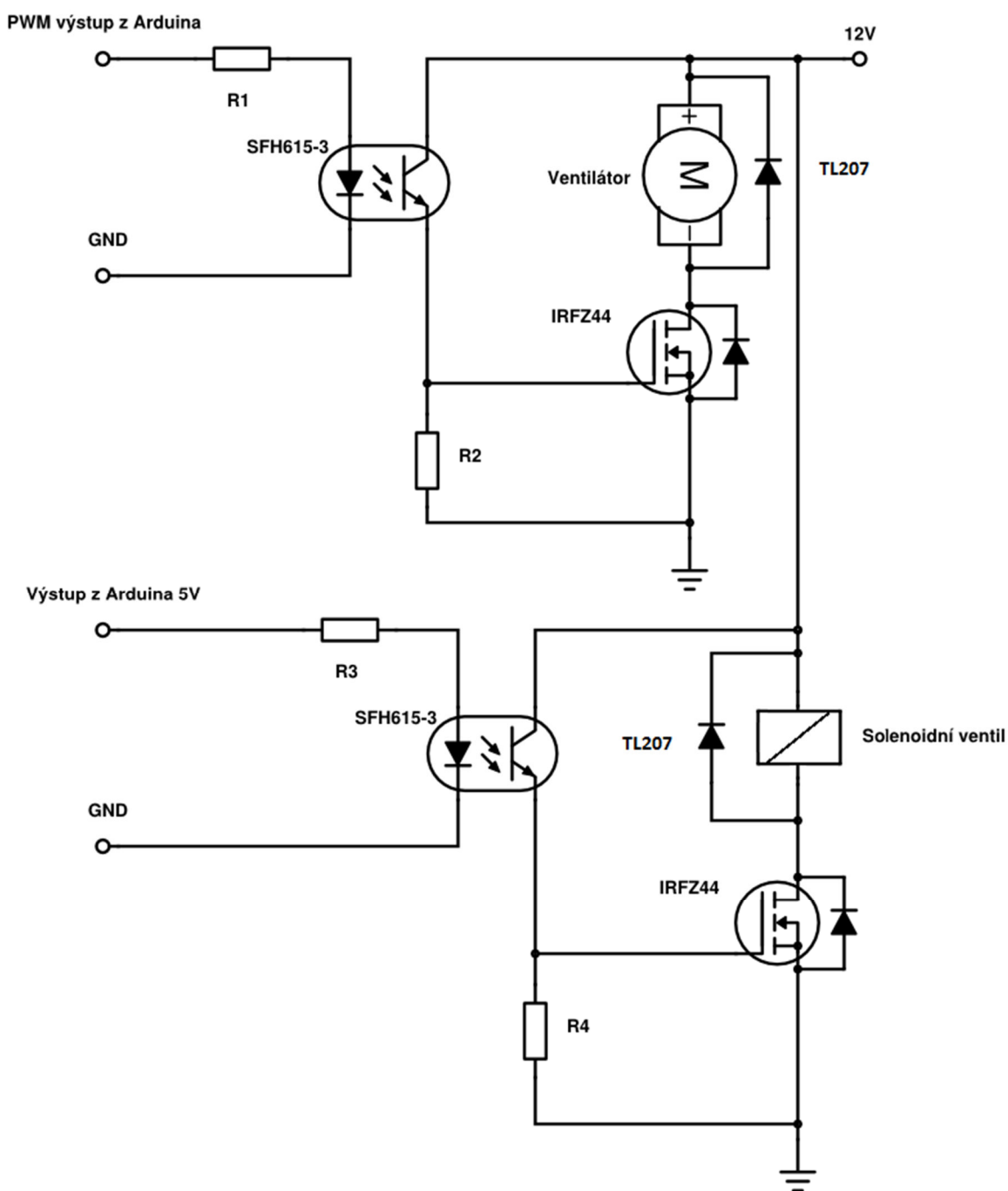
$$U_R = U_{vystup} - U_f = 5 - 1,25 = 3,75 \text{ V} \quad (16)$$

Po vypočítání napětí na rezistoru je nutno vypočítat hodnota rezistoru R1 a R3 (R), ta se určí podílem vypočítaného napětí  $U_R$  a doporučené hodnoty proudu z výstupního pinu, ukázka výpočtu je v následující rovnici.

$$R = \frac{U_R}{I_{vystup}} = \frac{3,75}{0,02} = 187,5 \ \Omega \quad (17)$$

Jelikož se odpor o velikosti  $185,75 \ \Omega$  nevyrobí a dodrží se doporučení o velikosti odebíraného proudu je nutno zvolit nejbližší vyšší hodnotu rezistoru a to je  $200 \ \Omega$ .

Obrázek 21: Schéma zapojení s optočleny a unipolárními tranzistory



Pro spínání solenoidního ventilu a ventilátoru bude vybrán unipolární tranzistor (IRFZ44), který je na rozdíl od bipolárních tranzistorů řízen elektrickým polem (napětím). Sepnutí unipolárního tranzistoru nastane, pokud z řídicí jednotky přijde povel do optočlenu (SFH615-3), kde LED dioda osvítlí fototranzistor a tím dojde k jeho průchodnosti a na rezistoru R2 a R3 se objeví napětí, které sepne unipolární tranzistor. Hodnota rezistorů R2 a R3

je stanovena tak, aby odebíraly relativně malý proud, který bude procházet přes fototranzistor. Navíc se přes tento rezistor vybijí i parazitní kapacita, a dojde ke správnému vypnutí tranzistoru. Hodnota rezistorů je stanovena na 10 k $\Omega$ . Aby nedošlo k poškození unipolárních tranzistorů při vypínání ventilátoru a solenoidního ventilu, je k nim přiřazena paralelně nulovací dioda (TL207).

**Tabulka 8: Parametry optočlenů SFH615-3**

Vstup		Výstup	
$U_f$	1,25 V	$U_{ce}$	70 V
$I_f$	60 mA	$I_c$	50 mA
$P_{max}$	0,1 W	$P_{max}$	0,15 W
Izolační pevnost		5,3 kV	
Provozní teplota		-55 – 100 °C	

**Zdroj:** <http://www.gme.cz/sfh615-3-dip4-vishay-p523-110>

**Tabulka 9: Parametry unipolárních tranzistorů IRFZ44**

$I_{dss}$	50 A
$U_{ds}$	60 V
$U_{gs}$	20 V
$P_d$	150 W
$R_{ds}$	0,028 $\Omega$

**Zdroj:** <http://www.gme.cz/unipolarni-tranzistor-irfz44-to220-p213-071>

**Tabulka 10: Parametry nulovací diody TL207**

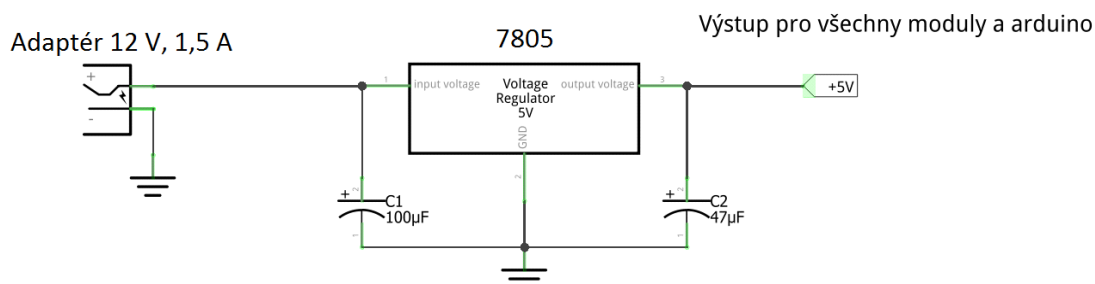
$U_{rrm}$	1000 V
$I_f$	2 A
$U_f$	1,1 V

**Zdroj:** <http://www.gme.cz/dioda-rl207-p221-067>

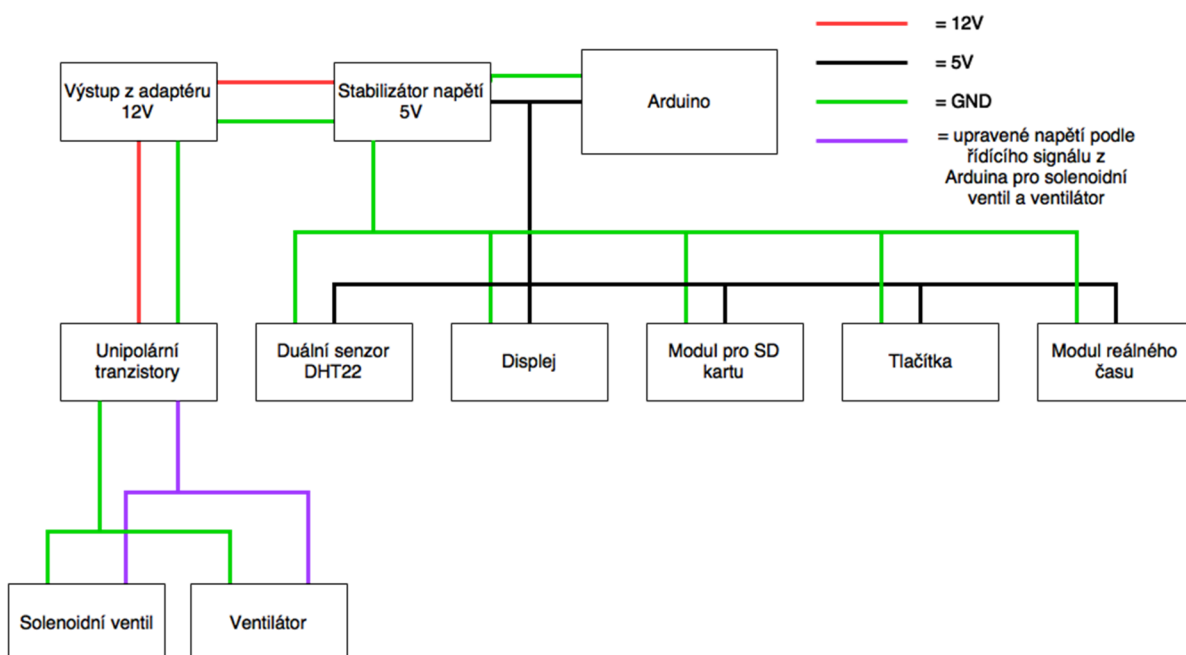
## 5.2 Návrh napájení

Nic by nefungovalo bez vhodného napájení, proto je nutné připojit k celému zařízení adaptér s výstupním napětím 12 V a s minimálním výstupním proudem 1,5 A. Jelikož platforma Arduino a ostatní moduly pracují s napětím 5 V, je nutné snížit napětí z adaptéru. Snížení napětí zajistí stabilizátor napětí (obr. 22), jedná se o integrovaný obvod s názvem 7805, z jeho výstupu budou napájeny jak moduly, tak samotná řídicí deska Arduino Mega 2560. Celkové schéma napájení je znázorněno na blokovém schématu (obr. 23), kde je ukázáno i upravené napětí pro solenoidní ventil a ventilátor. Solenoidní ventil bude řízený dvoupohodově a ventilátor bude roztáčen za pomoci pulzně šířkové modulace (PWM).

**Obrázek 22: Návrh zapojení s integrovaným obvodem 7805**



**Obrázek 23: Blokové schéma napájení**



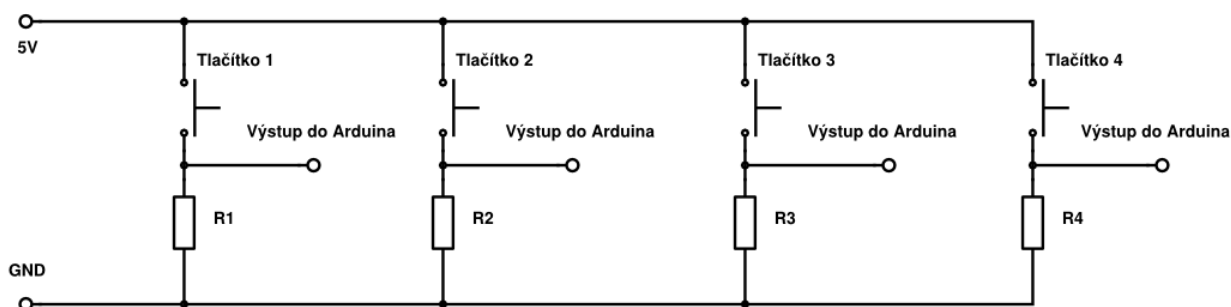
### 5.3 Návrh řídicí jednotky pro skleník

Platforma Arduino s moduly a s ostatní elektronikou budou vloženy do dvoudílné plastové krabičky zhotovené z ABS materiálu. Displej a čtyři tlačítka budou umístěny na vrchním krytu krabičky. Jelikož většina adaptérů má souosý konektor, bude na boku krabičky umístěný protikus (vidlice) pro zasunutí tohoto konektoru. Obdobné konektory (vidlice) budou využity také jako výstup pro ventilátor a solenoidní ventil. Pro snadnou manipulaci s microSD kartou bude vyříznut otvor z boku krabičky a modul umístěn tak, aby se tato karta dala snadno vyjmout.

Jak již bylo zmíněno, uživatel bude moci nastavovat požadovanou vlhkost či teplotu za pomoci čtyř tlačítek, přesně se jedná o mikrosplínače P-B1729 1,27N-NIN. Každý mikrosplínač podle jeho funkce bude mít na sobě umístěný hmatník jiné barvy. Tlačítka budou

připájena na jednovrstvou cuprexitovou destičku a k nim do série připájeny rezistory o velikosti 10 K $\Omega$ . Ze schématu zapojení (obr. 24) lze usoudit, pokud dojde ke stisku některého z tlačítek, začne jím procházet proud a na rezistoru se objeví napětí o hodnotě 5 V. Tuto změnu napětí o hodnotě 5 V zaznamená jeden z příslušných pinů na desce Arduino, do kterého bude za pomoci vodiče přivedeno. Tyto piny musí být nejdříve softwarově nastaveny jako vstupy.

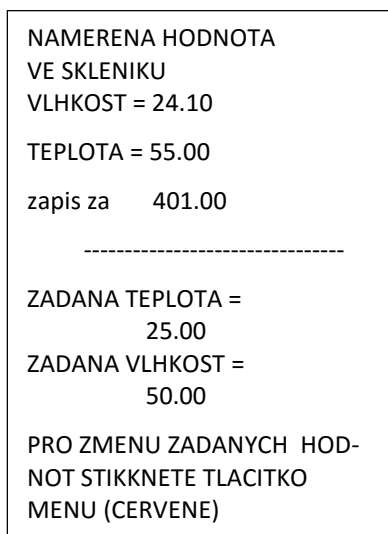
**Obrázek 24: Schéma zapojení tlačítek**



### 5.3.1 Návrh rozhraní

Rozhraní pro uživatele bude velmi jednoduché. Na displeji bude zobrazena hlavní obrazovka (obr. 25), kde budou vypsány aktuální hodnoty teploty a vlhkosti ve skleníku, požadované hodnoty teploty a vlhkosti, dále také odpočet zápisu dat na SD kartu. Pod displejem budou umístěna čtyři tlačítka sloužící k ovládání celého systému. Systém bude na displeji zobrazovat instrukce ke svému ovládání tak, aby obsluha byla co nejjednodušší.

**Obrázek 25: Návrh hlavní obrazovky**





## 5.4 Návrh skleníku

Typů skleníků existuje nespočet variant a to jak v jejich provedení, tak i v materiálu, ze kterého mohou být vyrobeny. Všechny mají přibližně obdélníkovou základnu, ale liší se provedení střechy, ta bývá půlkulatá, sedlová nebo existují skleníky se střechou pultovou. Hlavní materiál, který se kdysi nejčastěji používal na skleníky, byly skleněné desky, v dnešní době se nejčastěji používají desky vyrobené z polykarbonátu. Kostra skleníku se vyrábí buď z hliníkových profilů, anebo z ocelových s pozinkovanou úpravou.

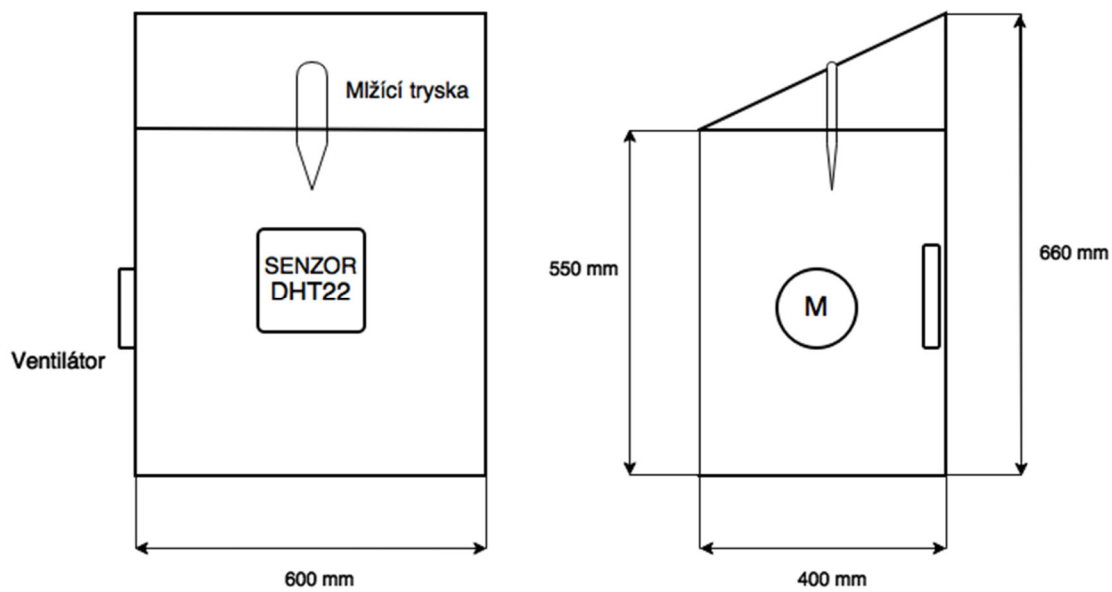
Proto pro návrh a sestavení samotného pěstebního skleníku s pultovou střechou, byly použity hliníkové profily, do kterých jsou sazeny transparentní polykarbonátové (makrolonové) desky. Ty umožní projití slunečních paprsků a ohřívání vzduchu ve skleníku. Mají příznivé vlastnosti, především odolávají slunečnímu svitu a UV záření, umožňují nasazení i v nepříznivých klimatických podmínkách a jsou snadno tvarovatelné. Kvůli snadnější manipulaci s rostlinami ve skleníku bude horní víko opatřeno panty. Skleník bude mít obdélníkovou základnu o velikosti 600×400 mm, výška jeho delší strany bude 660 mm a kratší strana o velikosti 550 mm.

Pro zajišťování dobrých klimatických podmínek rostlinám musí být ve skleníku správná vlhkost a teplota, které jsou měřeny za pomoci duálního senzoru DHT22. Senzor bude umístěn ve středu zadní stěny v malé plastové krabičce, aby bylo lépe chráněno před vodou, především jeho kontakty (obr. 26). Ve skleníku bude nutno zajistit správné odvětrávání, pokud v něm vzroste teplota či vlhkost. Proto z boku pro odvětrání bude umístěn ventilátor a z vrchního víka bude zavedena hadička ukončená rozprašovací tryskou. Návrh skleníku jak bude vypadat, je na obrázku číslo 27.

*Obrázek 26: Senzor DHT22 zabudovaný v krabičce*



*Obrázek 27: Návrh skleníku*



## 6 Realizace

Všechny zakoupené moduly ( displej, slot na microSD kartu a modul reálného času), které jsou použity při realizaci této diplomové práce, byly nejdříve samostatně zapojeny na nepájivém poli a naprogramovány. Pro přibližnou simulaci solenoidního ventilu a ventilátoru posloužily LED diody a zároveň se hodnoty vypisovaly na monitor počítače, ke kterému bylo Arduino zapojeno. Po ověření funkčnosti jednotlivých modulů a jejich chování, mohly být všechny komponenty zapojeny dohromady k platformě Arduina. Před finální realizací a vložením všech modulů do připravené plastové krabičky, bylo nejdříve nutno navržené řešení otestovat, zda funguje, a to včetně zapojení a funkce ventilátoru a solenoidního ventilu. Jednotlivé části kódu byly rozděleny do jednotlivých funkcí, které jsou následně volány z hlavní smyčky vytvořeného programu.

Poté bylo možno přikročit k rozvržení všech modulů do plastové krabičky, tak aby byly umístěny správně s ohledem na vyjímání microSD karty, umístění displeje a tlačítek pro ovládání a sousých konektorů pro napájení nejen samotného zařízení, ale i pro výstup upraveného napájení k ventilátoru a solenoidnímu ventilu. Dále bylo zapotřebí do plastové krabičky vyvrtat a vyříznout příslušné otvory pro výše uvedené komponenty, a v neposlední řadě otvor náležící modulu se slotem pro microSD kartu, tak aby se tato karta dala v případě potřeby snadno vyjmout (obr. 28). Pro uchycení většiny modulů do plastové krabičky, byly využity připravené otvory, které měli již od výrobce.

*Obrázek 28: Bok krabičky osazený sousými konektory a slotem pro microSD kartu*



Skleník byl vytvořen dle návrhu z hliníkových profilů a transparentních polykarbonátových desek, jejichž výhodou je snadné vytvoření otvorů pro ventilátor, přívod vody k mlžící trysce a pro kabel k senzoru DHT22. Skleník má obdélníkovou základnu (obr. 29) o velikosti 600×400 mm, výška jeho delší strany je 660 mm a kratší strana je o velikosti 550 mm.

**Obrázek 29: Model skleníku**



Pro vytváření vlhkosti byla použita mlžící tryska od firmy Gardena, která je součástí systému Micro-Drip. K této mlžící trysce bylo nutno dokoupit i redukční zařízení (obr. 30), které zajišťuje i snížení tlaku z vodovodního řádu a vodu dokonce filtruje, aby nedocházelo k ucpání trysky. Aby se redukční zařízení připojilo k solenoidnímu ventilu, bylo zapotřebí zakoupit jeden metr dlouhý kus hadice, na jehož konce se připevnilly hadicové rychlospojky, ty se na cvakávají ke šroubení, které bylo nutno osadit na solenoidní ventil.

**Obrázek 30: Mlžící tryska, redukční zařízení a solenoidní ventil osazený šroubením**

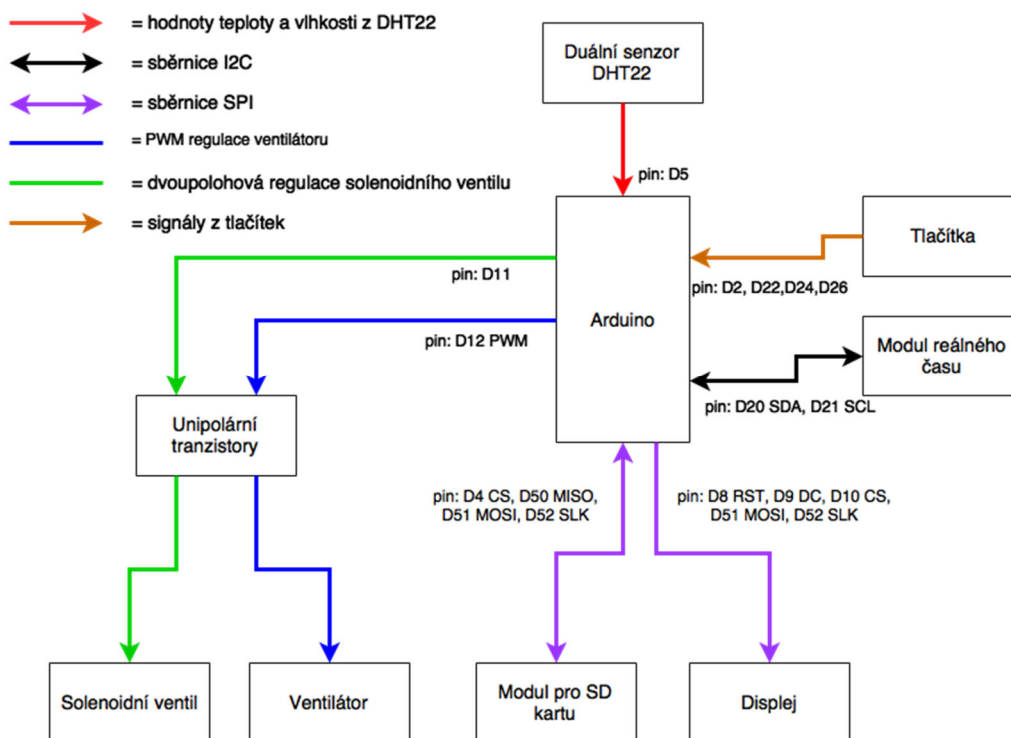


**Zdroj:** <http://www.gardena.com/cz/water-management/micro-drip-irrigation-system/>

## 6.1 Zapojení

Platforma Arduino Mega 2560 disponuje velkým množstvím digitálních vstupů a výstupů, některé z nich lze softwarově nastavit na jinou funkci např. PWM. Právě jeden z výstupů je nastaven pro pulsně šířkovou modulaci a pomocí vodiče propojen na vstup optočlenu, kterým je řízen unipolární tranzistor a díky tomu se řídí otáčky ventilátoru pomocí pinu 12 (PWM). Na řízení solenoidního ventilu byl vyhrazen jeden digitální výstup, a ten je taktéž propojen pomocí vodiče na vstup optočlenu k pinu 11, kterým je řízen unipolární tranzistor. Pro čtveřici tlačítek se vyhradily čtyři digitální vstupy. Modul reálného času je připojen pomocí dvou vodičů přes sběrnici I2C, napájen 5 V. Sběrnice I2C se nachází na pinech 20 (SDA) a 21 (SCL). Slot pro SD kartu komunikuje s Ardiunem přes sběrnici SPI čtyřmi vodiči pomocí pinů 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCLK) a 4 (CS). Displej je stejně, jako slot pro SD kartu, připojen na sběrnici SPI pomocí pinů 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCLK), 10 (CS), dále 9 (DC) a 8 (RST). Oba tyto moduly jsou napájeny 5 V. Na závěr bylo k desce Arduino zapojen duální senzor a jeho datový výstup připojen k pinu 5. Systém zapojení jednotlivých modulů je uváděn výrobcem systému Arduino. Veškeré zapojení je znázorněno v následujícím obrázku.

Obrázek 31: Blokové schéma zapojení



## 6.2 Funkce zařízení

Funkce systému zařízení se dá rozdělit do několika částí. Jednou částí je regulace teploty a relativní vlhkosti ve skleníku pomocí větrání a mlžení na základě údajů získaných z čidla DHT22, dále systém ukládá naměřená data – teplotu a vlhkost, také datum a čas zápisu na SD Kartu a nastavení teploty a vlhkosti uživatelem dle jeho požadavků.

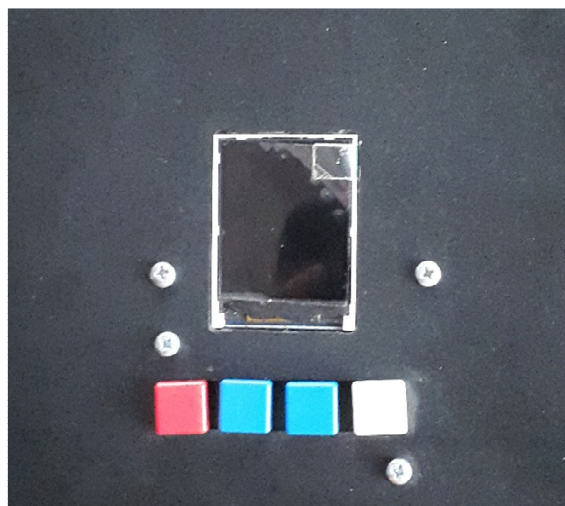
### 6.2.1 Nastavení hodnot

Při manipulaci se zařízením je nejdříve nutno zkontrolovat správné zapojení všech konektorů, a zda je paměťová karta vložena do slotu. Po připojení napájení se na displeji ukáže, zda se podařilo inicializovat SD kartu. Nedojde-li k inicializaci, doporučuje se nejprve zkontrolovat SD kartu, zda nedošlo k jejímu poškození.

Po inicializaci paměťové karty se zobrazí úvodní obrazovka obsahující informace o aktuální teplotě a vlhkosti ve skleníku, dále jsou zobrazeny i požadované hodnoty teploty a vlhkosti. Požadované hodnoty lze za pomoci 4 tlačítek umístěných pod displejem měnit dle požadavků uživatele (obr. 32).

*Obrázek 32: Schéma úvodní obrazovky s ovládacími tlačítky a vpravo zhotovené zařízení se zabudovaným displejem a tlačítky*

```
NAMERENA HODNOTA
VE SKLENIKU
VLHKOST = 0.00
TEPLOTA = 0.00
zapis za 401.00
-----
ZADANA TEPLOTA =
25.00
ZADANA VLHKOST =
50.00
PRO ZMENU ZADANYCH HOD-
NOT STIKNETE TLACITKO
MENU (CERVENE)
```



Po stisku tlačítka menu (červené tlačítko), které je programově ošetřeno jako přerušení (interrupt), se zobrazí menu umožňující výběr změny teploty či změny vlhkosti (obr. 33).

Zde jsou zobrazeny i instrukce, jak tuto změnu provést. Jinak řečeno, systém sám navádí uživatele krok za krokem tak, aby nebylo nutné při používání systému pracovat s externím návodem. Díky tomu je systém snadno ovladatelný i nezkušeným uživatelem. Po celou dobu, kdy není zobrazena hlavní obrazovka, systém sleduje odezvu uživatele. V levém horním rohu je zobrazen odpočet návratu na předchozí obrazovku. Nedojde-li po určité době ke stisku žádného tlačítka, systém se automaticky vrátí na hlavní obrazovku.

**Obrázek 33: Schéma menu pro změnu požadované teploty či vlhkosti**

MENU	656.00
MENU SLOUZI PRO ZMENU REGULOVANYCH HODNOT TEPLOTY A VLHKOSTI. PRO VYBER PRISLUSNEHO RADKU SLOUZI SIPKY NAHORU A DOLU. PRO UKONCENI VYBERU ZMACKNETE TLACITKO OK/ZPET VYBRAT CISLO RADKU 0.00	
1. ZMĚNA TEPLOTY	
2. ZMĚNA VLHKOSTI	

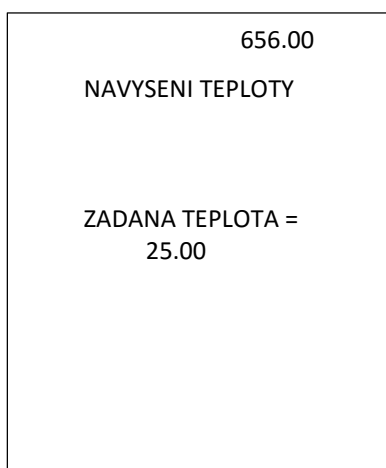
Pomocí modrých tlačítek „nahoru“ a „dolů“ lze vybrat požadovanou změnu – zvolit číselnou hodnotu, která je příslušné změně přiřazena. V našem případě má změna teploty hodnotu 1. Po stisku tlačítka „nahoru“ se na displeji zobrazí „vybrat cislo radku 1.00“ (obr. 34).

**Obrázek 34: Schéma menu pro změnu požadované teploty či vlhkosti, vybrána změna teploty**

MENU	656.00
MENU SLOUZI PRO ZMENU REGULOVANYCH HODNOT TEPLOTY A VLHKOSTI. PRO VYBER PRISLUSNEHO RADKU SLOUZI SIPKY NAHORU A DOLU. PRO UKONCENI VYBERU ZMACKNETE TLACITKO OK/ZPET VYBRAT CISLO RADKU 1.00	
1. ZMĚNA TEPLOTY	
2. ZMĚNA VLHKOSTI	

Po potvrzení vybraného řádku pomocí tlačítka OK/zpět (bílé tlačítko) dojde k zobrazení stránky umožňující změnu teploty (obr. 35). Pomocí tlačítek „nahoru“ a „dolů“ lze zvolit požadovanou teplotu v rozmezí 10 – 50°C odstupňovanou po 0,1°C. Zvolenou hodnotu je nutné potvrdit stiskem tlačítkem OK/zpět. Systém nově zvolenou hodnotu uloží do paměti, dojde k návratu do menu pro změnu regulovaných hodnot teploty a vlhkosti, a v případě potřeby spustí větrání či mlžení. Pro změnu požadované vlhkosti se postupuje obdobným způsobem s tím rozdílem, že v menu pro změnu požadovaných hodnot je nutné zvolit řádek číslo 2. Vlhkost lze volit od 0 % do 100 %, odstupňování je po 1%.

**Obrázek 35: Schéma stránky umožňující změnu teploty**



### 6.2.2 Popis regulace

Jedná se o číslicový obvod s diskretním časem, vzorkování je přibližně 1× za 2 sekundy. Oproti spojitě soustavě má číslicový obvod nevýhodu – mezi jednotlivými měřeními vzorky nejsou informace, co se s měřenou soustavou děje.

Pomocí řídicí jednotky je ovládán dvoupolohovou regulací (vypnuto/zapnuto) solenoidní ventil a ventilátor je roztáčen díky pulsně šířkové modulaci (PWM). Duální senzor DHT22, který měří ve skleníku teplotu a relativní vlhkost vzduchu, je zapojen ve smyčce zpětné vazby. Pokud je uživatelem zadána požadovaná teplota 25 °C a ta vzroste například o 2 °C, tedy na hodnotu 27 °C, objeví se na svorkách ventilátoru 40% napětí z 12 V, díky poklesu střední hodnoty napětí na zmíněných 40 % tedy 4,8 V dojde k poklesu otáček ventilátoru. Jestliže teplota překročí požadovanou teplotu o více jak 5 °C, vzroste tedy na hodnotu 30 °C a více, objeví se na svorkách ventilátoru 100% napětí tedy 12 V a ventilátor se



roztočí na plné otáčky a zároveň dojde k mlžení, aby se co nejrychleji ochladil vzduch ve skleníku.

Frekvence, která je nastavena pro PWM regulaci má hodnotu 976,5625 Hz, každý z pulsů má šířku odstupňovanou od 0 – 255. Pokud je zapotřebí snížit střední hodnotu napětí na 40 %, musí se šířka pulsu nastavit na hodnotu 102. Zjednodušená ukázka výpočtu pro vypočítání střední hodnoty napětí, které se objeví na svorkách ventilátoru, je

$$U_2 = \frac{T_1}{T} \cdot U_1 = \frac{102}{255} \cdot 12 = 4,8 V \quad (18)$$

kde

$U_1$  [V] – vstupní napětí,

$U_2$  [V] – střední hodnota výstupního napětí,

$T$  – maximální šířka pulsu (255),

$T_1$  – skutečná hodnota šířky pulsu.

Pro regulaci je zapotřebí několik proměnných. Do dvou z nich se ukládá číslo příslušných dvou pinů, ze kterých vedou vodiče na vstupy optočlenů, nazývají se „PINventil“ a „PINventilator“. Další dvě proměnné, do kterých se ukládá, jaká hodnota má být na příslušných pinech, tedy u „PINventil“ zda má být úroveň nízká nebo vysoká (0 nebo 255), tedy zapnuto/vypnuto a pro „PINventilator“ je příslušná hodnota od 0 – 255, tedy 0 až 12 V na vstupních svorkách ventilátoru. Proměnné se nazývají „ventil“ a „ventilator“. Důležité proměnné jsou také ty, do kterých se ukládá regulovaná odchylka, tyto proměnné se v kódu nazývají, jako „regulovanaOdchylkaVlhkosti“ a „regulovanaOdchylkaTeploty“.

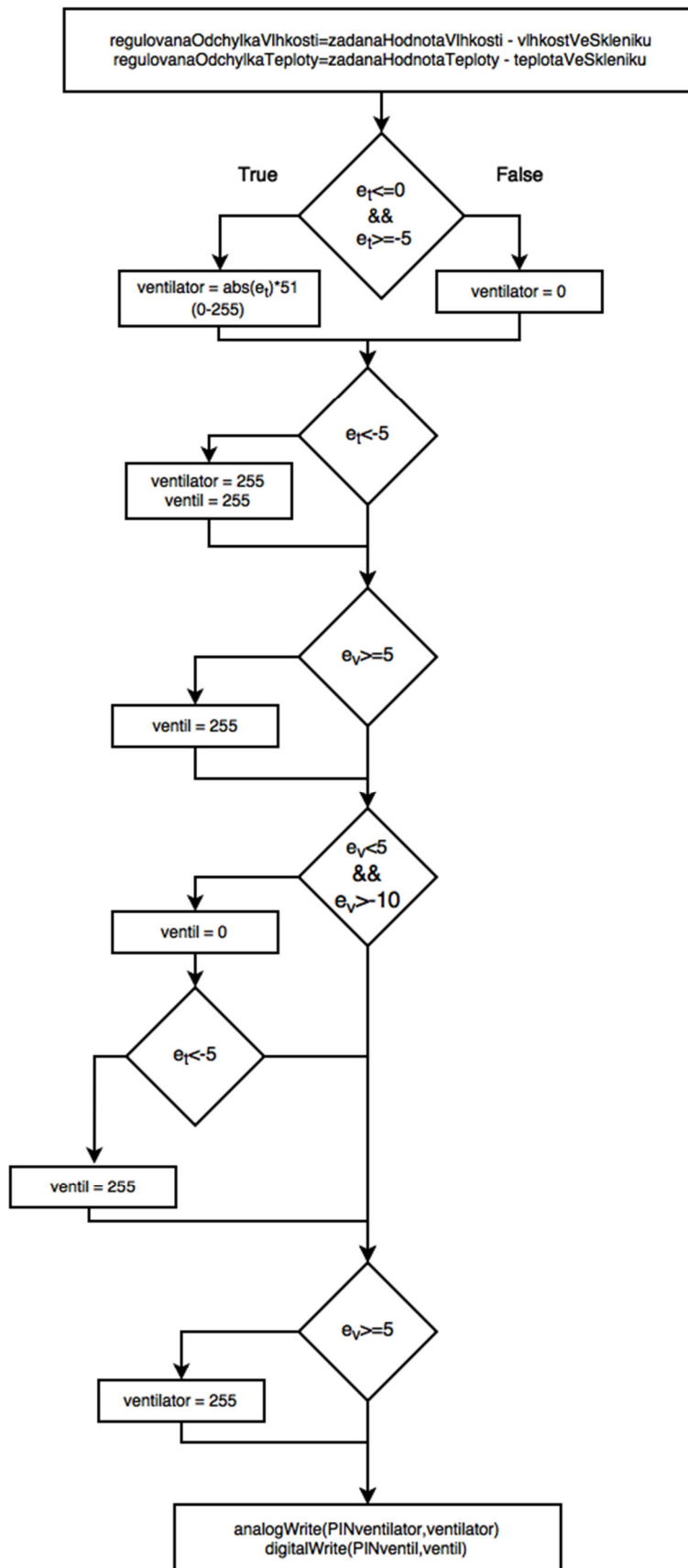
Na začátku regulace se vždy uloží rozdíl mezi žádanou hodnotou a skutečnou naměřenou hodnotou, která je ve skleníku, do příslušné proměnné. Pro zjednodušení je tato proměnná označena ve vývojovém diagramu pro regulovanou odchylku teploty jako  $e_t$  a pro regulovanou odchylku vlhkosti jako  $e_v$ . Po výpočtu regulované odchylky se testuje, zda  $e_t$  není větší než 0 a menší jak  $-5$ , pokud ano bude se přebytečné teplo odvětrávat pomocí ventilátoru, jehož otáčky jsou řízeny za pomoci PWM regulace. Pomocí výpočtu z absolutní hodnoty z  $e_t$ , která se násobí konstantou 51, se vypočítává hodnota, jež se pak zapíše do proměnné „ventilator“. Tato proměnná může nabývat hodnot v rozsahu 0 – 255. Konstanta 51 byla zvolena s ohledem na maximální šířku pulsu, po vynásobení 5 bude výsledek 255,

což je maximální šířka pulsu. Pokud teplota ve skleníku bude nižší, nežli teplota požadovaná, bude po výpočtu  $e_t$  menší jak 0 a do proměnné „ventilator“ se zapíše hodnota 0. Poté se testuje, zda  $e_t$  není větší jak  $-5$ , pokud ano, mělo by to za následek zapsání do proměnných „ventil“ a „ventilator“ hodnotu 255. Tím pádem by se spustilo mlžení a roztočil by se ventilátor. Regulace teploty a vlhkosti je uvedena ve vývojovém diagramu (obr 36).

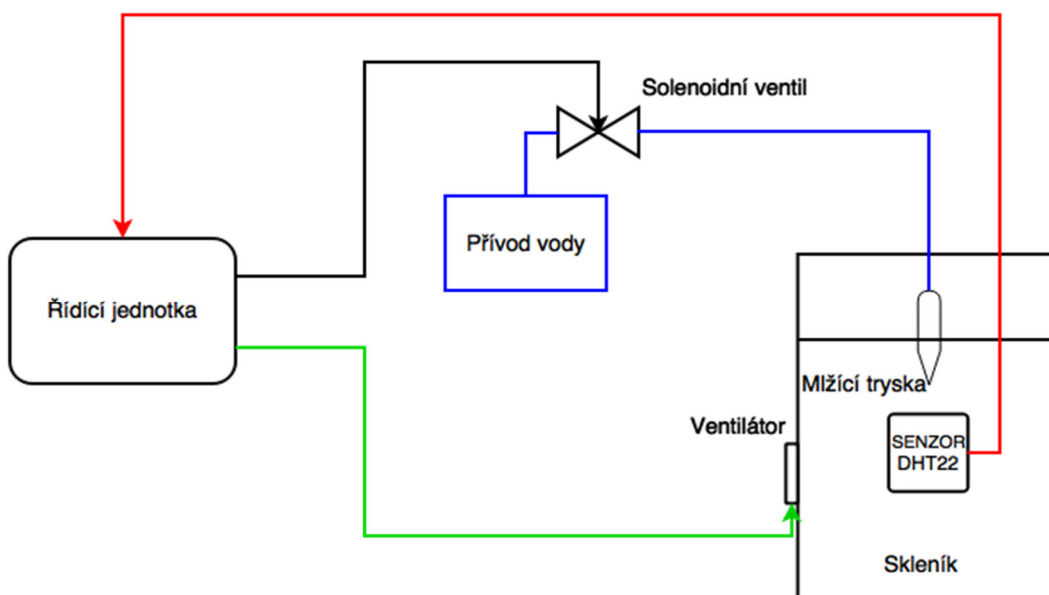
U požadované relativní vlhkosti, například uživatelem nastavena na 50 %, je vytvořena hystereze – pokud vlhkost vzduchu ve skleníku vzroste nad 60 %, začne se odvětrávat pomocí ventilátoru, ten se roztočí na 100 % svých otáček. Jestliže se sníží relativní vlhkost na 45 % a méně, dostane povel z řídicí jednotky solenoidní ventil, aby začal propouštět vodu do mlžící trysky. Celé schéma řízení teploty a vlhkosti vzduchu je na obrázku 37.

Nejdříve se v podmínce testuje zda  $e_v$  je větší nebo rovno jak 5, pokud ano zapíše se do proměnné „ventil“ hodnota 255. Pokud není větší či rovna 5, pokračuje se rovnou na další podmínku, ve které se testuje zda  $e_v$  leží v intervalu od 5 do  $-10$ . Je-li hodnota  $e_v$  v tomto rozmezí, do proměnné „ventil“ se zapsala hodnota 0. Pokud je hodnota  $e_v$  v rozmezí 5 až  $-10$  a zároveň  $e_t$  není větší jak  $-5$ , výsledkem je zapsání do proměnné „ventil“ hodnoty 255. A nakonec se testuje zda  $e_v$  není menší nebo rovno  $-10$ , jestli ano zapíše se do proměnné „ventilator“ hodnota 255 a spustí se odvětrávání. Na závěr celé regulace je nutno nastavit příslušné hodnoty, které se uložily do proměnných „ventil“ a „ventilator“ na výstupní piny. Celý zdrojový kód je umístěn v příloze 2: zdrojový kód.

Obrázek 36: Vývojový diagram regulace teploty a vlhkosti



Obrázek 37: Blokové schéma řízení teploty a vlhkosti vzduchu ve skleníku



### 6.2.3 Ukládání dat

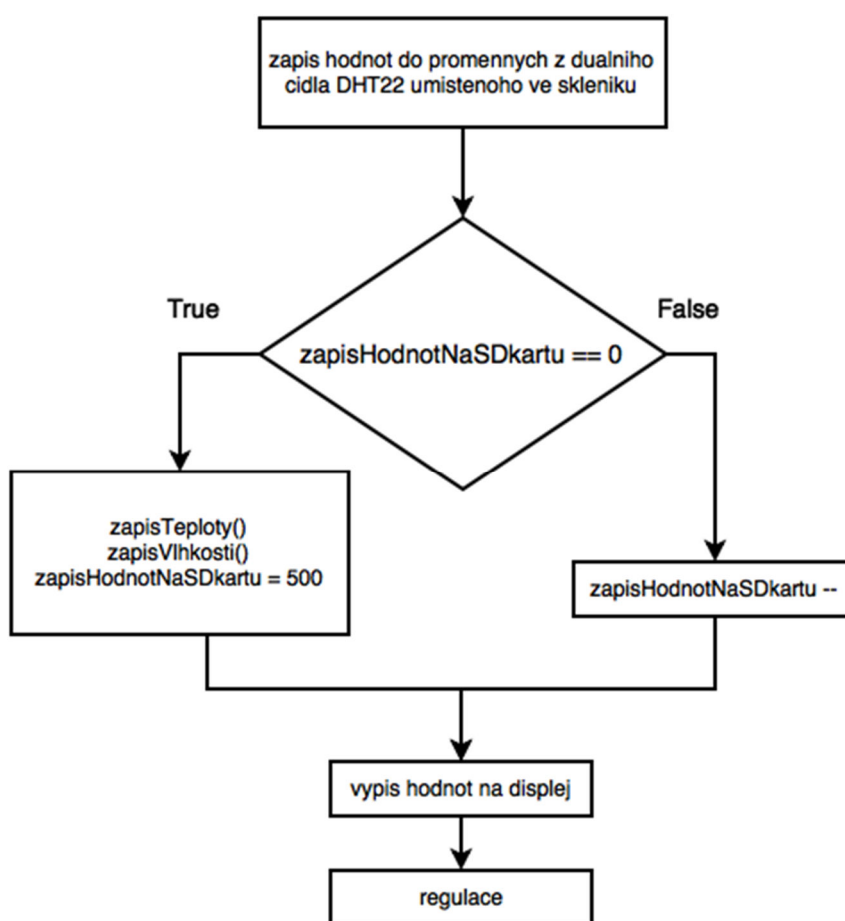
Jednou z dalších funkcí zařízení je ukládání dat na microSD kartu, ta se vkládá do příslušného slotu. Do zařízení byla vložena paměťová karta od firmy Kingston o kapacitě 2 GB, která byla naformátována na systémový soubor FAT 32. Na paměťovou kartu se ukládají dva textové dokumenty (VLHKOST.txt a TEPLOTA.txt). Do každého z nich se zapisuje požadovaná hodnota, naměřená hodnota a čas, kdy hodnoty byly do paměťové karty zapisány. Ukázka jak jsou zapisovaná data strukturována, je v následující tabulce.

Tabulka 11: Ukázka dat uložených na paměťové kartě

TEPLOTA.txt		
Požadovaná teplota	Naměřená teplota	Čas měření
28	28,9	17.9.2015 11:05
28	28,3	17.9.2015 11:08
28	28,2	17.9.2015 11:12
28	28,2	17.9.2015 11:15
28	28,5	17.9.2015 11:18
VLHKOST.txt		
Požadovaná Vlhkost	Naměřená vlhkost	Čas měření
55	58,2	17.9.2015 11:05
55	59,9	17.9.2015 11:08
55	59,1	17.9.2015 11:12
55	58	17.9.2015 11:15
55	53,9	17.9.2015 11:18
55	53,3	17.9.2015 11:22

U paměti typu flash, kam se řadí i paměťové karty, dochází při častém zapisování a hlavně přepisování k nenávratnému vypalování jednotlivých buněk a tím se zkracuje její životnost. Proto by se neměl na paměťovou kartu provádět častý zápis a přepis dat, s ohledem na tuto skutečnost jsou data ukládána cca jednou za 3 minuty. Kvůli regulaci nebylo možno do hlavní části programu vložit například funkci delay(), která pozastaví běh programu a čeká, dokud neuplyne čas, který v ní je nastaven, a stejně tak nešlo použít cyklus for. U obou variant by došlo ke ztrátě možnosti regulace teploty a vlhkosti ve skleníku. Proto byla vytvořena podmínka regulující zápis na paměťovou kartu (obr. 38). Pokud je tato podmínka splněna, dojde k zápisu dat na paměťovou kartu a k zapsání hodnoty do proměnné „zapisHodnotNaSDkartu“. Jestliže splněna není, dojde ke zmenšení zbývající hodnoty proměnné o jedničku. Díky této podmínce se bude hlavní část programu cyklicky opakovat a nedojde ke ztrátě regulace.

**Obrázek 38: Vývojový diagram zápisu naměřených hodnot na paměťovou kartu**



## 7 Zhodnocení výsledků

Pro venkovní měření bylo k zařízení připojeno druhé duální čidlo DHT22, které se umístilo mimo skleník a měřilo venkovní teplotu a relativní vlhkost. Měření proběhlo dne 17. 9. 2015, jednalo se o polojasný den s mírným větrem, který ustával. Požadovaná teplota ve skleníku byla nastavena na 28 °C a relativní vlhkost byla nastavena na hodnotu 55 %. Na začátku měření, to je v 8 hodin a 52 minut, byla naměřena venkovní teplota 16,2 °C a relativní vlhkost 86,2 %. Ve skleníku se na začátku měření pohybovala teplota na hodnotě 17,5 °C a relativní vlhkost na hodnotě 74 %. Po necelé půl hodině vzrostla venkovní teplota na hodnotu 20,1 °C a relativní vlhkost klesla na hodnotu 75 %. Tou dobou se ve skleníku teplota pohybovala okolo 28 °C, dosahovala tedy požadované hodnoty. Relativní vlhkost se pohybovala okolo 55 %.

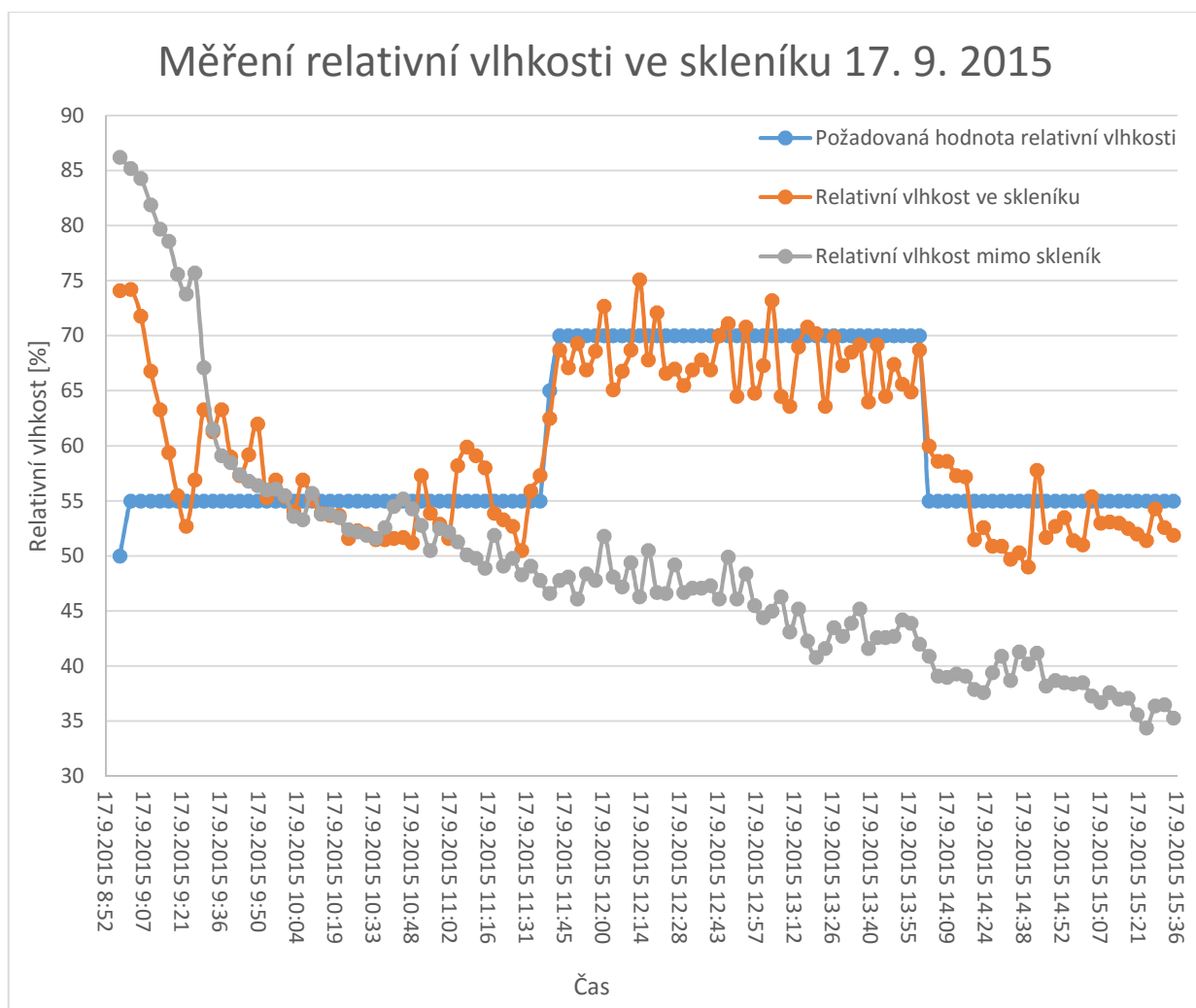
Z grafu na kterém je zobrazena vlhkost (obr. 39) je vidět, jak se relativní vlhkost ve skleníku pohybovala v mezích nastavené hystereze tedy + 10 % a – 5 % od požadované hodnoty. V 11 hodin a 43 minut byla provedena změna požadované relativní vlhkosti ve skleníku a to z 55 % na nových 70 %. Během sedmi minut se relativní vlhkost ve skleníku dostala na hodnotu kolem 70 %. I když venkovní relativní vlhkost neustále klesala, ve skleníku se dařilo držet požadovanou relativní vlhkost v rozmezí nastavené hystereze. V čase 13:58 se podruhé změnila požadovaná relativní vlhkost ve skleníku na původní hodnotu 55 %. Během 2 minut klesla relativní vlhkost ve skleníku na nově požadovanou hodnotu a pohybovala se okolo 55 %. Jak ukázal průběh měření, bylo by vhodné použít mlžící trysku tvořící menší kapky.

V grafu zobrazujícím teplotu (obr. 40), je vidět, že se teplota držela přibližně na požadované hodnotě – tedy 28 °C, v závislosti na výkyvech počasí (zataženo, intenzivní sluneční svit) docházelo k odchýlkám od požadované teploty. V čase 11:29 se hodnota venkovní teploty začala zvyšovat nad požadovanou hodnotu a tím i rostla teplota ve skleníku. V 11:43 došlo k zvýšení relativní vlhkosti a tedy se i více ochlazovalo vodou, díky tomu se teplota dokázala držet v hodnotách okolo 28 °C. Kolem 14:00 došlo ke snížení vlhkosti ve skleníku a tedy i k menšímu přísunu chladnější vody a docházelo k většímu ohřevu vzduchu ve skleníku. I tak se dokázala teplota ve skleníku držet pod 30 °C a tedy jenom o 2 °C výše nad požadovanou hodnotou, i přesto že venkovní teplota byla vyšší nežli ve skleníku požadovaná.

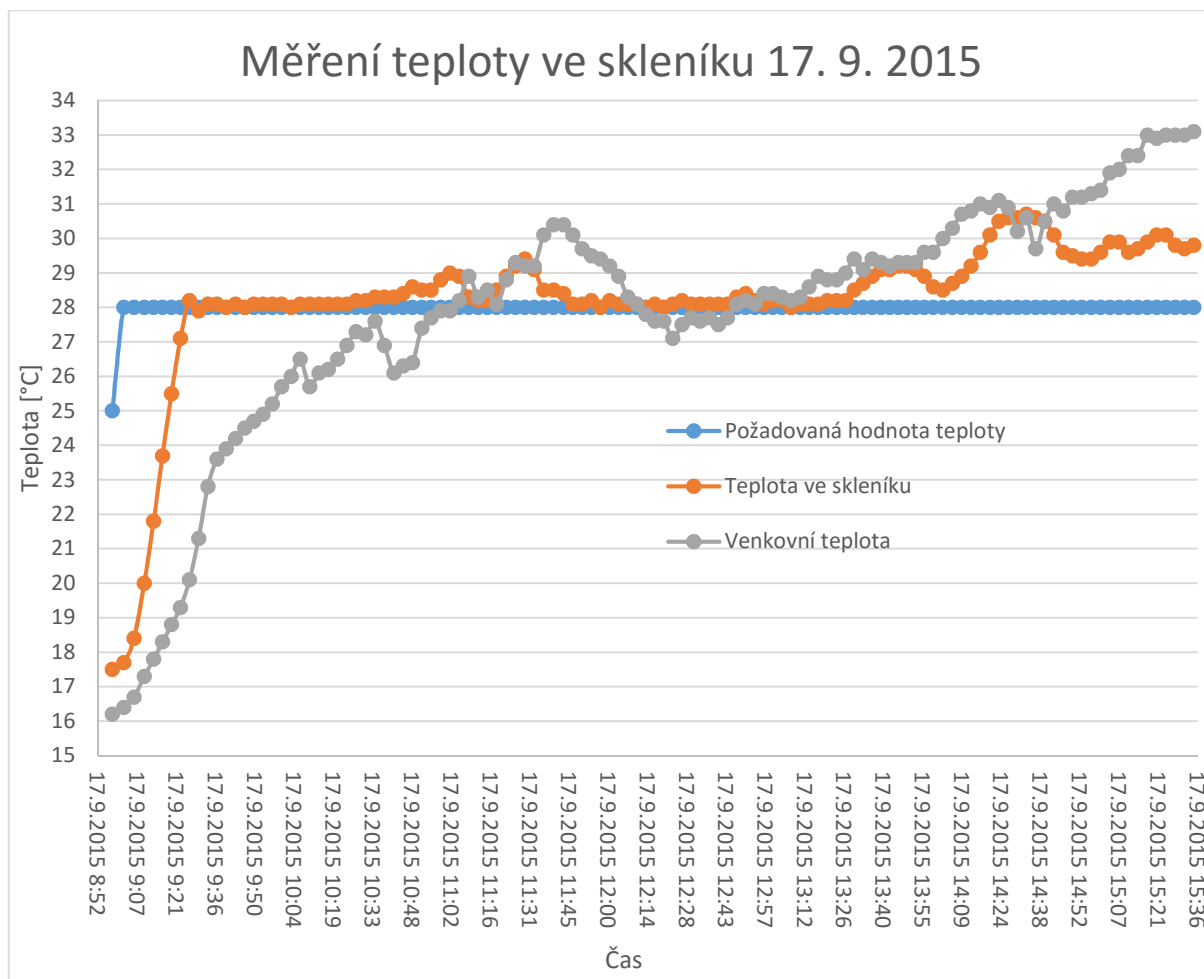
V průběhu měření se ukázalo, že systém má svůj mezní limit, do kterého je schopen udržovat požadované hodnoty teploty a vlhkosti ve skleníku. Pokud je venkovní teplota příliš vysoká, vzroste i teplota ve skleníku, zvláště za intenzivního slunečního svitu, a systému se i přes intenzivní větrání a mlžení nepodaří snížit. To samé platí i pro vlhkost, jestliže je venkovní vlhkost příliš vysoká, není systém schopen ji dostatečně snížit. Z toho důvodu bylo navrženo několik úprav – viz kapitola 7.1 Návrh pro vylepšení zařízení.

Další ukázka naměřených hodnot je vložena do přílohy 1: ukázky měření z jiných dnů. U prvních dvou grafů je ukládání dat na paměťovou kartu přibližně jednou za 7 minut, to se ukázalo jako nevhodné a tento čas byl snížen přibližně na 3 minuty.

**Obrázek 39: Graf měření relativní vlhkosti ve skleníku ze dne 17. 9. 2015**



Obrázek 40: Graf měření teploty ve skleníku ze dne 17. 9. 2015



## 7.1 Návrh pro vylepšení zařízení

Systém má své limity. Z toho důvodu by bylo vhodné skleník osadit dalším systémem pro větrání – otevření víka či zatažení rolety, aby i během intenzivního slunečního svitu dokázal udržet požadovaného hodnoty teploty, vzroste-li venkovní teplota nad určitou mez. Naopak při nízké venkovní teplotě a nedostatečném slunečním svitu, by bylo vhodné skleník vytápět. Topení by zároveň umožňovalo snížení vlhkosti ve skleníku při vysoké venkovní vlhkosti. Další variantou je použití klimatizační jednotky pro regulaci teploty, nevýhodou je následná změna vlhkosti. Jako další by bylo vhodné pro mlžení použít trysky tvořící menší kapky, problémem však je, jejich nedostupnost na trhu.



## 8 Závěr

Existuje mnoho senzorů pro měření teploty. Problematikou těchto senzorů se zabývá první kapitola – jednotlivé senzory teploty jsou rozděleny dle principu, na kterém pracují. Jsou probrány jejich vlastnosti z pohledu rozsahu měřené teploty, stability senzoru v čase i finanční náročnost na jejich výrobu a vliv těchto vlastností na jejich použití. Další kapitola se věnuje senzorům vlhkosti plynu, rozebírá jejich vlastnosti, fyzikální principy jejich fungování, uvádí jejich výhody a nevýhody a jejich použití.

V další části této práce jsou jednotlivé senzory teploty a vlhkosti hodnoceny z pohledu využití pro umístění v automatizovaném skleníku. Sensory jsou hodnoceny s ohledem na snadnou realizaci projektu, cenovou náročnost, hlavně je však kladem důraz na citlivost senzorů, jejich rychlost měření a stabilitu. Velkou roli hraje i rozsah měření, jelikož většina rostlin při teplotách nad 50 °C uvadá, jen některé sukulenty a kaktusy vydrží teplotu nad 60 °C, tudíž není třeba pořizovat senzor, který má zbytečně velký teplotní rozsah. Naopak u senzorů vlhkosti se očekává velký rozsah měřené vlhkosti – v automatizovaném skleníku je možno pěstovat pouštní rostliny vyžadující nízkou vlhkost, či naopak rostliny tropické vyžadující vysokou vlhkost vzduchu.

Další kapitola se zabývá návrhem a výběrem zařízení pro automatizovaný skleník od čidla až po řídicí software. Teplotní čidlo bylo vybráno ze skupiny termistorů, konkrétně se jedná o negastor (NTC termistor). Nejvíce vyhovujícím senzorem vlhkosti je kapacitní senzor měřící relativní vlhkost od 0 % až do 100 %. Pro řízení systému byl zvolen modulární systém platformy Arduino, jehož výhody oproti složitějším shieldům jsou popsány výše. Dále je základní deska Arduino Mega 2560 osazena displejem k zobrazování naměřených hodnot teploty a vlhkosti ve skleníku. Pomocí čtyř tlačítek lze libovolně měnit požadované hodnoty teploty či vlhkosti, které se taktéž zobrazují na displeji. Pro zaznamenávání naměřených dat je určena microSD karta připojená k základní desce Arduina pomocí modulu pro microSD kartu. Modul reálného času přiřazuje k naměřeným hodnotám ve skleníku časový údaj, kdy byly naměřeny. To dovoluje sledovat změny teploty a vlhkosti ve skleníku v čase. Pro odvětrávání přebytečného tepla a vlhkosti slouží ventilátor řízený softwarem na základě údajů z duálního senzoru DHT22. Podle těchto dat je řízen i solenoidní ventil sloužící pro přísun vody k mlžící trysce. Skleník je zhotoven z hliníkových profilů, do kterých jsou sazeny transparentní polykarbonátové (makrolonové) desky.

Veškeré moduly (displej, slot na microSD kartu a modul reálného času) použité při realizaci byly nejdříve samostatně zapojeny pomocí nepájivého pole k Arduinu a naprogramovány. Po ověření funkčnosti jednotlivých modulů, byly tyto komponenty zapojeny k platformě Arduina a odzkoušeny. Finální realizace a vložení všech modulů do připravené plastové krabičky byla provedena s ohledem na možnou manipulaci s microSD kartou, umístění tlačítek, displeje a sousých konektorů pro napájení a ovládání ventilátoru a solenoidního ventilu.

Funkcí celého zařízení je udržování stálé předem nastavené teploty a vlhkosti ve skleníku. Měření teploty a relativní vlhkosti ve skleníku probíhá jednou za dvě sekundy, jedná se tedy o číslicový obvod. Na základě naměřených dat vyhodnocuje systém, zda je potřeba regulovat teplotu a relativní vlhkost ve skleníku. Vzroste-li teplota, systém spustí odvětrávání, při překročení požadované teploty o více jak 5 °C spustí i mlžení, tak aby došlo poklesu teploty. Vysoká vlhkost je snížena odvětráním, její nedostatek naopak vede ke spuštění mlžení. Otáčky ventilátoru jsou regulovány pomocí pulsně šířkové modulace (PWM) a solenoidní ventil je ovládán za pomoci dvupolohové regulace. Dále zařízení umožňuje měnit požadované hodnoty teploty a vlhkosti pomocí čtyř tlačítek umístěných pod displejem dle požadavků uživatele. Uživatelské rozhraní je vytvořeno co nejjednodušším způsobem a obsahuje i pokyny, jak provést změnu teploty či vlhkosti. Díky tomu je systém snadno ovladatelný. Další funkcí systému je ukládání naměřených dat přibližně jednou za 3 minuty na paměťovou kartu.

Pro zhodnocení výsledů funkce zařízení byl zvoleno měření z jednoho dne, kdy bylo polojasno až jasno a foukal mírný vítr. Zařízení dokázalo plnit svou funkci a i přes změny venkovní teploty a vlhkosti udržovalo relativně stabilní prostředí uvnitř skleníku. Toto dokázalo i při změně požadované hodnoty vlhkosti v průběhu dne. Během měření se ukázalo, že zařízení dokáže udržet požadovanou teplotu a relativní vlhkost jen v určitém rozmezí v závislosti na rozdílu venkovní teploty a relativní vlhkosti vůči požadovaným hodnotám ve skleníku. Proto byla navržena vylepšení celého zařízení jako například umístění topení.

## 9 Citovaná literatura

**Ďaďo, Stanislav a Kreidl, Marcel. 1996.** *Senzory a měřící obvody*. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.

**Hanzal, Josef. 2004.** Vlhkoměry. *vyvoj.hw.cz*. [Online] 10. 1 2004. [Citace: 9. 2 2016.] <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>.

**Kreidl, Marcel. 2005.** *Měření teploty - senzory a měřící obvody*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-145-4.

**Lysenko, Vladimír. 2005.** *Detektory pro bezdotykové měření teploty*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-180-2.

**Reichl, Jaroslav a Všeticka, Martin.** *Ecyklopedie fyziky. Online Domain Tools*. [Online] [Citace: 6. 2 2016.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>.

**Ripka, Pavel, a další. 2005.** *Senzory a převodníky*. 1. vyd. Praha : ČVUT , 2005. ISBN 80-01-03123-3.

**Storr, Wayne. 2015.** electronics-tutorials. [Online] 2015. [Citace: 12. Listopad 2015.] [http://www.electronics-tutorials.ws/io/io\\_3.html](http://www.electronics-tutorials.ws/io/io_3.html).

**Špringl, Vít. 2004.** Měření teploty - kovové odporové senzory teploty. *hw.cz*. [Online] 20. Květen 2004. [Citace: 30. 12 2015.] <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>.

**Špringl, Vít. 2004.** Měření teploty - polovodičové odporové senzory teploty. *hw.cz*. [Online] 19. Srpen 2004. [Citace: 12. Prosinec 2015.] <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>.

**Vojáček, Antonín. 2014.** automatizace.hw.cz. *hw.cz*. [Online] 30. Červen 2014. [Citace: 2. 2 2016.] <http://automatizace.hw.cz/rehled-principu-el-mereni-teploty-2-dil-bezdotykove>.

**Zehnula, Karel. 1983.** *Snímače neelektrických veličin*. 2. upr. a dopl. vyd. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1983.

## Seznam obrázků

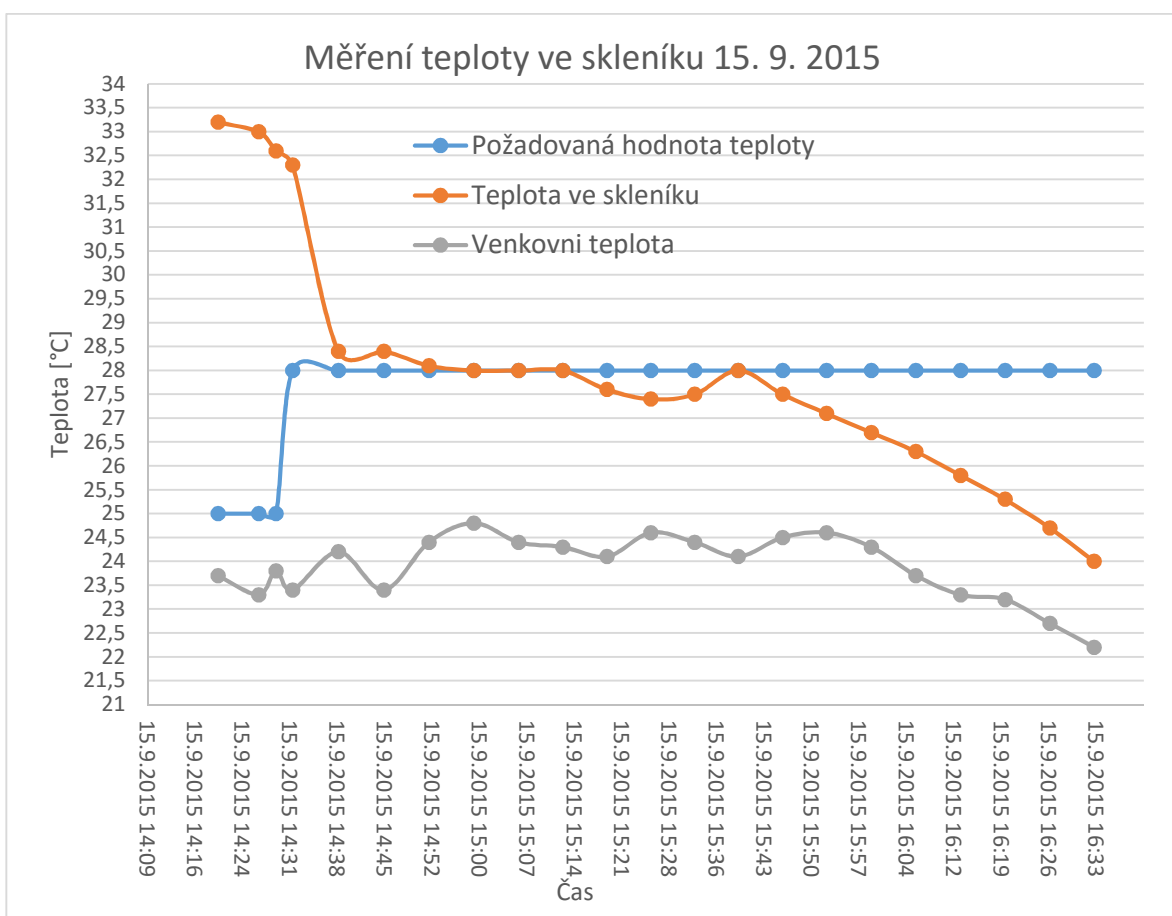
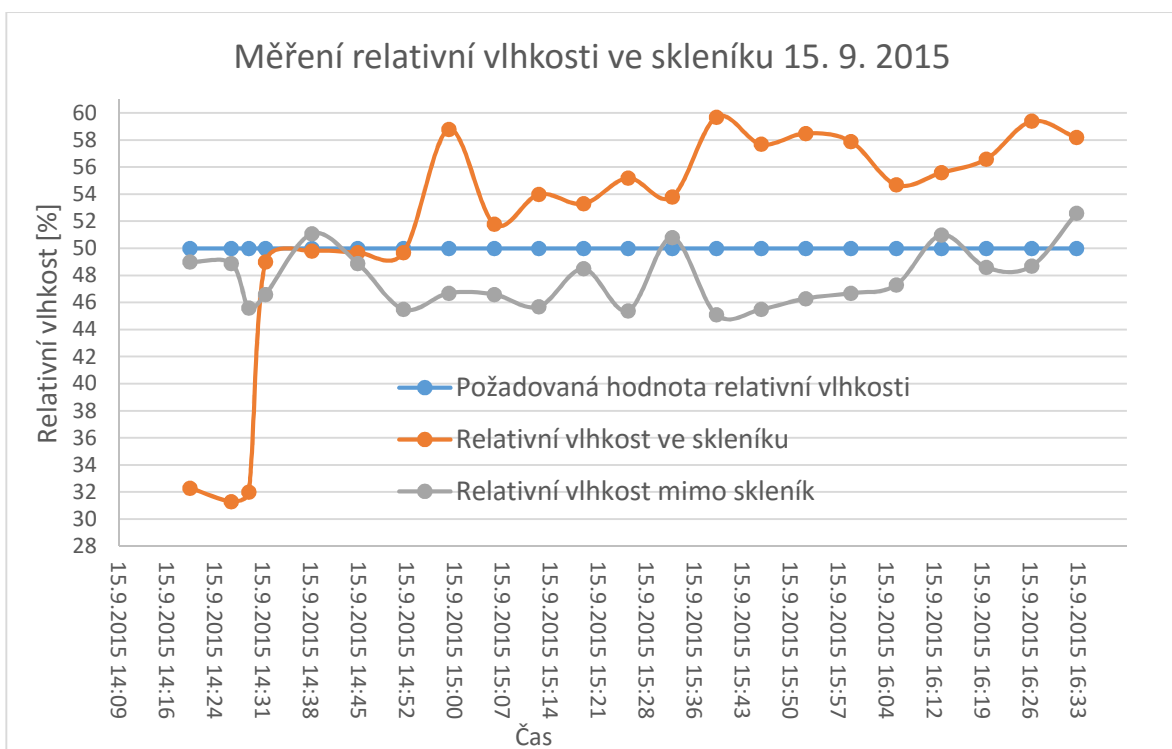
Obrázek 1: Teplotní závislost odporových kovových snímačů	4
Obrázek 2: Nelinearita Pt100 a dovolené tolerance průmyslových Pt měřících odporů	6
Obrázek 3: Porovnání charakteristik teplotní závislosti termistoru NTC a PTC s kovovými odporovými senzory	7
Obrázek 4: Teplotní charakteristika pozistoru	10
Obrázek 5: Charakteristika Si senzoru a jeho uspořádání	11
Obrázek 6: Teplotní závislost charakteristiky přechodu PN diody	12
Obrázek 7: Charakteristika vybraných termoelektrických článků a měření Seebeckova napětí	13
Obrázek 8: Keramické žároměrky	16
Obrázek 9: Teplotní nálepka s kapalnými krystaly	17
Obrázek 10: Blokové schéma měřicího řetězce bezkontaktních (bezdotykových) snímačů teploty	18
Obrázek 11: Kapacitní senzor vlhkosti a jeho charakteristika	24
Obrázek 12: Struktura odporového senzoru vlhkosti	25
Obrázek 13: Uspořádání zrcadlového senzoru teploty rosného bodu	26
Obrázek 14: Duální senzor DHT22	30
Obrázek 15: Zapojení duálního senzoru DHT22 k mikroprocesoru s pull-up rezistorem	30
Obrázek 16: Platforma Arduino Mega 2560	32
Obrázek 17: TFT displej S7735R	32
Obrázek 18: Slot na microSD kartu	33
Obrázek 19: Modul reálného času	33
Obrázek 20: Návrh blokového zapojení	34
Obrázek 21: Schéma zapojení s optočleny a unipolárními tranzistory	36
Obrázek 22: Návrh zapojení s integrovaným obvodem 7805	38
Obrázek 23: Blokové schéma napájení	38
Obrázek 24: Schéma zapojení tlačítek	39
Obrázek 25: Návrh hlavní obrazovky	39
Obrázek 26: Senzor DHT22 zabudovaný v krabičce	40
Obrázek 27: Návrh skleníku	41
Obrázek 28: Bok krabičky osazený souosými konektory a slotem pro microSD kartu	42
Obrázek 29: Model skleníku	43
Obrázek 30: Mlžící tryska, redukční zařízení a solenoidní ventil osazený šroubením	43
Obrázek 31: Blokové schéma zapojení	44
Obrázek 32: Schéma úvodní obrazovky s ovládacími tlačítky a vpravo zhotovené zařízení se zabudovaným displejem a tlačítky	45
Obrázek 33: Schéma menu pro změnu požadované teploty či vlhkosti	46
Obrázek 34: Schéma menu pro změnu požadované teploty či vlhkosti, vybrána změna teploty	46

<i>Obrázek 35: Schéma stránky umožňující změnu teploty</i>	47
<i>Obrázek 36: Vývojový diagram regulace teploty a vlhkosti</i>	50
<i>Obrázek 37: Blokové schéma řízení teploty a vlhkosti vzduchu ve skleníku</i>	51
<i>Obrázek 38: Vývojový diagram zápisu naměřených hodnot na paměťovou kartu</i>	52
<i>Obrázek 39: Graf měření relativní vlhkosti ve skleníku ze dne 17. 9. 2015</i>	54
<i>Obrázek 40 Graf měření teploty ve skleníku ze dne 17. 9. 2015</i>	55

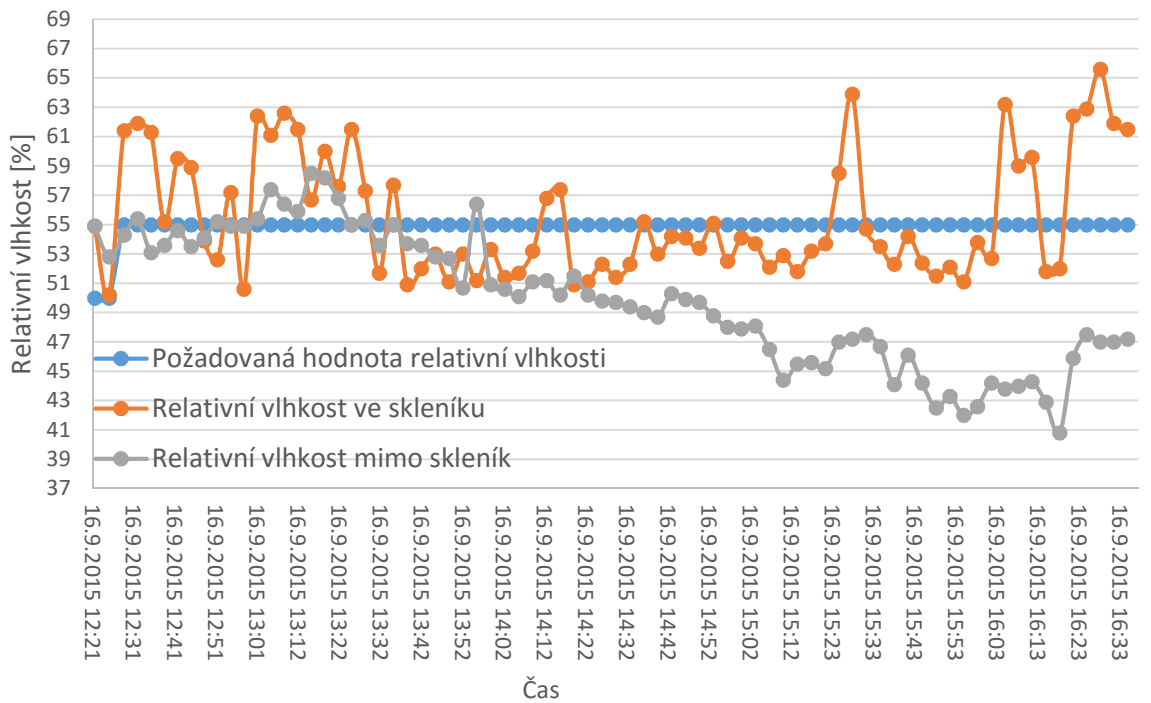
## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Materiály využívané pro kovové odporové senzory teploty</i>	5
<i>Tabulka 2: Typy termoelektrických článků</i>	14
<i>Tabulka 3: Příklady emisivity</i>	19
<i>Tabulka 4: Vybraná teplota rosného bodu</i>	23
<i>Tabulka 5: Porovnání senzorů pro měření teploty</i>	28
<i>Tabulka 6: Porovnání senzorů pro měření vlhkosti</i>	29
<i>Tabulka 7: základní parametry duálního senzoru DHT22</i>	30
<i>Tabulka 8: Parametry optočlenů SFH615-3</i>	37
<i>Tabulka 9: Parametry unipolárních tranzistorů IRFZ44</i>	37
<i>Tabulka 10: Parametry nulovací diody TL207</i>	37
<i>Tabulka 11: Ukázka dat uložených na paměťové kartě</i>	51

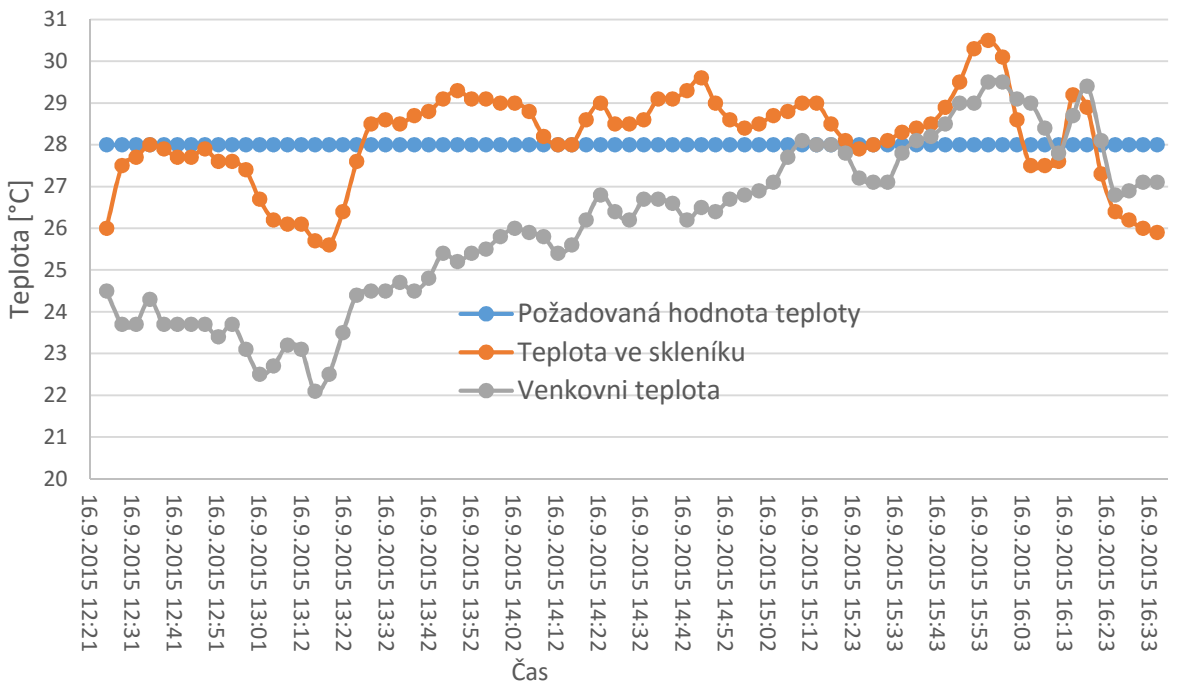
## Příloha 1: ukázky měření z jiných dnů



### Měření relativní vlhkosti ve skleníku 16. 9. 2015



### Měření teploty ve skleníku 16. 9. 2015



## Příloha 2: zdrojový kód

```
#include "DHT.h"
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Adafruit_GFX.h> // Core graphics library
#include <Adafruit_ST7735.h> // Hardware-specific library
#include <WProgram.h>
#include <Wire.h>
#include <DS1307.h>

#define DHTPINsklenik 5
#define DHTTYPE DHT22 //DHT11, DHT21, DHT22

DHT dht22(DHTPINsklenik, DHTTYPE);
//#define DHTPINvenku 6
//DHT dht22venku(DHTPINvenku, DHTTYPE);

#define sclk 52
#define mosi 51
#define miso 50
#define cs 10
#define dc 9
#define rst 8

const int chipSelect = 4; // CS pro ctecku SDkaret na pinu 4

Adafruit_ST7735 tft = Adafruit_ST7735(cs, dc, rst);
int color = 0; // promena pouzita ve funkci DrawValue
int cisloRadku = 0; // promena pouzita v menu
float zadanaHodnotaVlhkosti = 50;
float zadanaHodnotaTeploty = 25;
float teplotaNaDHT22;
float vlhkostNaDHT22;
//float venkovniVlhkost;
//float venkovniTeplota;
int zapisHodnotNaSDkartu = 10;
char cas[22];
boolean zobrazitHlavniMenu = true;

void setup(void) {
  tft.initR(INITR_BLACKTAB); // inicializace displeje
  tft.fillScreen(100) ;
  dht22.begin();
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(53, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);

  if (!SD.begin(chipSelect)) // zkontroluje inicializaci karty
  {
    tft.setCursor(1,1); // prejde na pozici 1 zleva, 1 shora
    tft.print("Karta nenalezena...");
  }
}
```



```

}
else
{
  tft.setCursor(1,1); // prejde na pozici 1 zleva, 1 shora
  tft.print("Karta inicializovana...");
}
attachInterrupt(0, menu, RISING); // preruseni pin2
delay(2000);
tft.fillScreen(100); // vymazani displeje
}
//-----zacatek hlavni funkce-----

void loop(void) {

float regulovnaOdchylkaVlhkosti;
float regulovanaOdchylkaTeploty;

vlhkostNaDHT22 = dht22.readHumidity();// zapise do promenne vlhkost z cidla
teplotaNaDHT22 = dht22.readTemperature();// zapise do promenne teplotu z cidla

//venkovniVlhkost = dht22venku.readHumidity();
//venkovniTeplota = dht22venku.readTemperature();

hlavniDisplej();

//-----zapis hodnot na SD kartu-----
if (zapisHodnotNaSDkartu == 0)
{
  zapisTeploty();
  zapisVlhkosti();
  zapisHodnotNaSDkartu = 500; // priblizne jednou za 8 minut pri hodnote 1000
}
else
{
  zapisHodnotNaSDkartu--;
}
tft.setCursor(1,45);
tft.print("zapis za");
DrawValue(70, 45, 10, zapisHodnotNaSDkartu);
//-----regulace-----
int ventilator;
int ventil;
int PINventil = 11; // nastaveni pinu ventilu
int PINventilator = 12; // PWM vystup!

pinMode(PINventil, OUTPUT);
regulovnaOdchylkaVlhkosti = zadanaHodnotaVlhkosti - vlhkostNaDHT22;
regulovanaOdchylkaTeploty = zadanaHodnotaTeploty - teplotaNaDHT22;

if(regulovanaOdchylkaTeploty <= 0 && regulovanaOdchylkaTeploty >= -5)
{
  ventilator = abs(regulovanaOdchylkaTeploty) * 51; // POMALU ODVETRAVEJ
}

```

```

else
{
    ventilator = 0; // NEVETREJ
}

if(regulovanaOdchylkaTeploty < -5)
{
    ventilator = 255;
    ventil = 255; // RYCHLE CHLAD
}
if(regulovnaOdchylkaVlhkosti >= 5 )
{
    ventil = 255; // MLZ
}
if(regulovnaOdchylkaVlhkosti < 5 && regulovnaOdchylkaVlhkosti > -10)
{
    ventil = 0;
    // odchylka vlhkosti je mensi jak 5 a vetsi jak 10 a odchylka teploty je mensi jak 5 NEMUSI
SE MLZIT
    if(regulovanaOdchylkaTeploty < -5)
    {
        ventil = 255; // MUSI SE MLZIT
    }
}
if(regulovnaOdchylkaVlhkosti <= -10)
{
    ventilator = 255;
    // odchylka vlhkosti mensi jak -10 ODVERAVEJ
}
analogWrite(PINventilator, ventilator);
digitalWrite(PINventil, ventil);
}
// samotná funkce DrawValue
void DrawValue(int odsazeni, int radek, int redValue, float value){
// DrawValue(radek, hodnota pod kterou zmeni barvu, zobrazovana hodnota)

// kdyz je zobrazovana hodnota mensi nez hodnota pod kterou zmeni barvu
// nastav barvu na červenou, jinak bude barva černá
if (value > redValue) color = ST7735_RED; else color = 100;
// nakresli ctverec v nastavene barve
tft.fillRect(odsazeni - 1 ,radek - 1,30,10 ,color);
// nastav kurzor na pozici
tft.setCursor(odsazeni , radek);
// napis hodnotu
tft.print(value);
}
void hlavniDisplej()
{
if (zobrazitHlavniMenu == true)
{
tft.fillScreen(100);
zobrazitHlavniMenu = false;
tft.setCursor(1,1); // přejde na pozici 50 zleva, 1 zhora

```

```

tft.print("NAMERENA HODNOTA");
tft.setCursor(1,10); // přejde na pozici 50 zleva, 1 zhora
tft.print("VE SKLENIKU");
tft.setCursor(5,25);
tft.print("VLHKOST = ");
//DrawValue(70, 15, 10, vlhkostNaDHT22);
tft.print(" %");
tft.setCursor(5,35);
tft.print("TEPLOTA = ");
//DrawValue(70, 25, 10, teplotaNaDHT22);
tft.print(" °C");
tft.setCursor(1,60);
tft.print("_____");
tft.setCursor(1,70);
tft.print("ZADANA TEPLOTA = ");
//DrawValue(50, 80, 0, zadanaHodnotaTeploty);
tft.setCursor(1,90);
tft.print("ZADANA VLHKOST = ");
//DrawValue(50, 100, 0, zadanaHodnotaVlhkosti);
tft.setCursor(1,110);
tft.print("PRO ZMENU ZADANYCH HODNOT STISKNETE TLACITKO MENU ");
}
DrawValue(70, 25, 10, vlhkostNaDHT22);
DrawValue(70, 35, 10, teplotaNaDHT22);
DrawValue(50, 80, 0, zadanaHodnotaTeploty);
DrawValue(50, 100, 0, zadanaHodnotaVlhkosti);
}
void menu()
{
  zobrazitHlavniMenu = true;
  tft.fillScreen(100); // mazani obrazovky
  int tlacZPET = 22; // tlacitko pripojeno na pin 22
  int tlacNAHORU = 24; // tlacitko pripojeno na pin 24
  int tlacDOLU = 26; // tlacitko pripojeno na pin 26
  pinMode(tlacZPET, INPUT);
  pinMode(tlacNAHORU, INPUT);
  pinMode(tlacDOLU, INPUT);
  boolean zpet = false;
  int pocetPruchoduVCyklu = 1000;
  tft.setCursor(5,1); // napise text na pozici 5 zleva, 1 shora
  tft.print("MENU");
  tft.setCursor(1,15);
  tft.print("MENU SLOUZI PRO ZMENU REGULOVANYCH HODNOT TEPLoty A VLH-
KOSTI. PRO VYBER SLOUZI SIPKY NAHORU A DOLU. PO UKONCENI VYBERU ZMA-
CKNETE TLACITKO OK");
  tft.setCursor(5,100); // napise text na pozici 5 zleva, 150 shora
  tft.print("VYBRANE CISLO RADKU");
  tft.setCursor(5,120); // napise text na pozici 5 zleva, 150 shora
  tft.print("1. ZMENA TEPLoty");
  tft.setCursor(5,130); // napise text na pozici 5 zleva, 150 shora
  tft.print("2. ZMENA VLHKOSTI");
  do{
    if (digitalRead(tlacZPET) == true)

```

```

    {
        zpet = true;
    }

    if (digitalRead(tlacNAHORU) == true)
    {
        delay(10000); // aby nedoslo k vicenasobnemu zmacknuti
        cisloRadku++; // navyseni hodnoty o 1
        pocetPruchoduVCyklu = 1000; // navyseni hodnoty
        if (cisloRadku == 5){cisloRadku = 0;}
    }
    if (digitalRead(tlacDOLU) == true)
    {
        delay(10000); // aby nedoslo k vicenasobnemu zmacknuti
        cisloRadku--; // snizeni hodnoty o 1
        pocetPruchoduVCyklu = 1000; // navyseni hodnoty
        if (cisloRadku < 0){cisloRadku = 0;}
    }
    DrawValue(70, 110, 0, cisloRadku);
    pocetPruchoduVCyklu--;
    DrawValue(70, 1, 2000, pocetPruchoduVCyklu);
}while(pocetPruchoduVCyklu > 0 && zpet == false); //
tft.fillScreen(100);
switch(cisloRadku)
{
    tft.fillScreen(100);
    case 1:
        navyseniTeploty();
        break;
    case 2:
        navyseniVlhkosti();
        break;
}
tft.fillScreen(100);
}
void navyseniTeploty()
{
    tft.fillScreen(100);
    cisloRadku = 0;
    int pocetPruchoduVCyklu = 1000;
    int tlacZPET = 22; // tlacitko pripojeno na pin 22
    int tlacNAHORU = 24; // tlacitko pripojeno na pin 24
    int tlacDOLU = 26; // tlacitko pripojeno na pin 26
    pinMode(tlacZPET, INPUT);
    pinMode(tlacNAHORU, INPUT);
    pinMode(tlacDOLU, INPUT);
    boolean zpet = false;
    zadanaHodnotaTeploty = 25.0;
    tft.setCursor(5,15); // napise text na pozici 5 zleva, 15 shora
    tft.print("NAVYSENI TEPLITY");
    do{
        if (digitalRead(tlacNAHORU) == true)
        {

```

```

delay(10000); // aby nedoslo k vicenasobnemu zmacknuti
zadanaHodnotaTeploty = zadanaHodnotaTeploty + 0.1; // navyseni hodnoty o 0,1
pocetPruchoduVCyklu = 1000; // navyseni hodnoty
if (zadanaHodnotaTeploty >= 50){zadanaHodnotaTeploty = 50;}
}

if (digitalRead(tlacDOLU) == true)
{
delay(10000); // aby nedoslo k vicenasobnemu zmacknuti
zadanaHodnotaTeploty = zadanaHodnotaTeploty - 0.1; // snizeni hodnoty o 0,1
pocetPruchoduVCyklu = 1000; // navyseni hodnoty
if (zadanaHodnotaTeploty <= 10){zadanaHodnotaTeploty = 10;}
}
if (digitalRead(tlacZPET) == true)
{
zpet = true;
}
pocetPruchoduVCyklu--;
DrawValue(70, 1, 2000, pocetPruchoduVCyklu);
tft.setCursor(1,70);
tft.print("ZADANA TEPLOTA = ");
DrawValue(50, 85, 0, zadanaHodnotaTeploty);
}while(pocetPruchoduVCyklu > 0 && zpet == false);

tft.fillScreen(100); // mazani obrazovky
}
void navyseniVlhkosti()
{
tft.fillScreen(100);
cisloRadku = 0;
int tlacZPET = 22; // tlacitko pripojeno na pin 22
int tlacNAHORU = 24; // tlacitko pripojeno na pin 24
int tlacDOLU = 26; // tlacitko pripojeno na pin 26
pinMode(tlacZPET, INPUT);
pinMode(tlacNAHORU, INPUT);
pinMode(tlacDOLU, INPUT);
boolean zpet = false;
int pocetPruchoduVCyklu = 1000;
tft.setCursor(5,15); // napise text na pozici 5 zleva, 15 shora
tft.print("NAVYSENI VLHKOSTI");
zadanaHodnotaVlhkosti = 50.0;
do{
if (digitalRead(tlacNAHORU) == true)
{
delay(1000); // aby nedoslo k vicenasobnemu zmacknuti
zadanaHodnotaVlhkosti = zadanaHodnotaVlhkosti + 1; // navyseni hodnoty o 1
pocetPruchoduVCyklu = 1000; // navyseni hodnoty
if (zadanaHodnotaVlhkosti >= 100){zadanaHodnotaVlhkosti = 100;}
}
}
if (digitalRead(tlacDOLU) == true)
{
delay(1000); // aby nedoslo k vicenasobnemu zmacknuti
zadanaHodnotaVlhkosti = zadanaHodnotaVlhkosti - 1; // snizeni hodnoty o 1
}
}

```

```

    pocetPruchoduVCyklu = 1000; // navyseni hodnoty
    if (zadanaHodnotaVlhkosti <= 0){zadanaHodnotaVlhkosti = 0;}
    }
    if (digitalRead(tlacZPET) == true)
    {
        zpet = true;
    }
    pocetPruchoduVCyklu--;
    DrawValue(70, 1, 2000, pocetPruchoduVCyklu);
    tft.setCursor(1,95);
    tft.print("ZADANA VLHKOST = ");
    DrawValue(50, 105, 0, zadanaHodnotaVlhkosti);
}while(pocetPruchoduVCyklu > 0 && zpet == false);

tft.fillScreen(100); // mazani obrazovky
}

void aktualniCas()
{
    int rtc[7];
    // zapise data z modulu do pole cisel rtc
    RTC.get(rtc,true);
    // pripravi pole znaku pro cas

    // zapise do pole znaku cas hodnoty z rtc
    sprintf(cas, "%02d:%02d:%02d %02d.%02d.%02d", rtc[2],rtc[1],rtc[0],rtc[4],rtc[5],rtc[6]);
}

void zapisTeploty()
{
    File dataFile = SD.open("TEPLOTA.txt", FILE_WRITE);
    dataFile.print(zadanaHodnotaTeploty); // zapsani zadane hodnoty
    dataFile.print("\t"); // tabulator
    dataFile.print(teplotaNaDHT22); // zapsani hodnoty z cidla
    dataFile.print("\t");
    //dataFile.print(venkovniTeplota);
    //dataFile.print("\t");
    aktualniCas();
    dataFile.println(cas);
    dataFile.close();
}

void zapisVlhkosti()
{
    File dataFile = SD.open("VLHKOST.txt", FILE_WRITE);
    dataFile.print(zadanaHodnotaVlhkosti);
    dataFile.print("\t");
    dataFile.print(vlhkostNaDHT22);
    dataFile.print("\t");
    //dataFile.print(venkovniVlhkost);
    //dataFile.print("\t");
    aktualniCas();
    dataFile.println(cas);
    dataFile.close();
}

```