

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Experimentální líheň chovného ptactva

Miluše Hopjanová

Bakalářská práce

2014

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miluše Hopjanová**
Osobní číslo: **I11259**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Experimentální líheň chovného ptactva**
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je navrhnout a realizovat líheň pro experimentální líhnutí chovného ptactva. V teoretické části práce bude popsán postup a podmínky líhnutí pro běžně chované druhy ptactva (kur domácí, husa domácí, ...). Dále bude v teoretické části navržena izolace systému od okolí a výběr vhodných topných těles pro ohřev systému. Praktickou částí bakalářské práce bude sestavení a oživení ovládací elektroniky líhně a napájení topných těles. Praktická část bude také obsahovat implementaci doplňkových funkcí. Příklady doplňkových funkcí jsou záznamy teploty v závislosti na čase a monitoring vlhkosti v regulované části systému. Řídící elektronika bude umístěna v samostatné části. Líheň bude experimentálně odzkoušena na vejcích kura domácího.

Práce bude realizována následujícími etapách:

1. Analýza postupů při líhnutí ptactva.
2. Analýza problematiky konstrukce a izolace systému.
3. Návrh řešení izolovaného regulovaného obvodu.
4. Konstrukce líhně a zprovoznění jejích elektronických částí.
5. Implementace doplňkových funkcí líhně (záznam teplot, hlídání data líhnutí, ...).

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR ATmega16. BEN, 2006. ISBN 80-7300-174-8.
- [2] ROUBAL, J. a P. HUŠEK. Regulační technika v příkladech. BEN, 2011. ISBN 978-80-7300-260-2.
- [3] ŠEDA, M., I. ŠVARC a M. VÍTEČKOVÁ. Automatické řízení. CERM, 2011. ISBN 978-80-214-3491-2.
- [4] BRTNÍK, B. Elektrická měření pro bakaláře. BEN, 2011. ISBN 978-80-7300-432-3.
- [5] KREIDL, M. Měření teploty senzory a měřicí obvody. BEN, 2005. ISBN 80-7300-145-4.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Luboš Rejfk
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **20. prosince 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. května 2014**



L.S.

A blue ink signature of prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.

prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan

A blue ink signature of Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2014

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 9. 5. 2014

Miluše Hopjanová

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Lubošovi Rejfkovi za jeho všestrannou pomoc při tvorbě této bakalářské práce.

Dále děkuji všem, kteří mi pomáhali při učení programování nebo shánění studijních zdrojů.

V neposlední řadě děkuji rodině a přátelům, kteří mi v průběhu celého studia na vysoké škole pomáhali a podporovali mé úsilí.

Anotace

Cílem bakalářské práce je návrh a sestavení líhně pro experimentální líhnutí vejcorodých živočichů. Práce popisuje, jak lze realizovat regulaci teploty a vlhkosti v líhni. Dále se práce zabývá postupem vytvoření uživatelského rozhraní pro nastavení líhně i pro rychlý přístup k aktuálním informacím o stavu izolované soustavy. V neposlední řadě je popsán postup při testovacích měřeních a záznam výsledků při nich zjištěných.

Klíčová slova

Líheň; teplotní senzory; vlhkostní čidla; izolovaná soustava; automatická regulace

Title

The experimental brooder for domestic birds

Annotation

The objective of bachelor thesis is aimed to design and construct incubator for hatching of oviparous animals. This work describes how to implement control temperature and humidity in the incubator. Then there is the procedure to create a user interface for setting up a hatchery for quick access to current information on the state of an isolated system. Finally, it describes how to measure and record the test results with their findings.

Keywords

Brooder; temperature sensors; humidity sensors; isolated system; automatic control

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	8
Úvod	9
1 Umělý odchov vejcorodých živočichů	10
1.1 Rozdělení líhni podle typu.....	10
1.2 Líhnutí chovného ptactva	10
1.2.1 Postup a podmínky líhnutí.....	12
2 Izolovaná soustava	13
2.1 Tepelně vodivé materiály a jejich využití v izolované soustavě	13
2.1.1 Součinitel tepelné vodivosti (měrná tepelná vodivost).....	13
2.1.2 Součinitel teplotní vodivosti.....	14
2.2 Tepelně izolační materiály a jejich využití v líhni	14
3 Teplotní senzory	15
3.1 Kovové odporové senzory teploty.....	15
3.2 Polovodičové odporové senzory.....	17
3.2.1 Termistory	17
3.2.2 Monokrystalické PN senzory teploty	20
3.3 Termoelektrické senzory	21
3.4 Bezdotykové měření teplot (pyrometrie).....	22
3.4.1 Radiační pyrometry	22
3.4.2 Spektrální pyrometry	23
4 Čidla pro měření vlhkosti	24
4.1 Základní veličiny použité pro měření vlhkosti.....	24
4.1.1 Absolutní vlhkost.....	24
4.1.2 Relativní vlhkost.....	24
4.1.3 Měrná vlhkost.....	24
4.1.4 Teplota rosného bodu	25
4.2 Metody měření vlhkosti.....	25
4.2.1 Metoda hygrometrická.....	25
4.2.2 Metoda psychrometrická	26

4.2.3	Metoda měření rosného bodu	26
4.2.4	Spektrální metody.....	27
5	Regulace a regulátory.....	28
5.1	Regulátory	28
5.1.1	PID regulace	30
5.2	Relé ve zpětné vazbě	31
6	Praktické řešení	32
6.1	Rozbor dostupných teplotních senzorů.....	32
6.2	Rozbor dostupných vlhkostních čidel.....	33
6.3	Použitý způsob regulace	34
6.4	Koncept elektroniky líhně	35
6.4.1	Řízení.....	35
6.4.2	Blokové schéma zařízení	35
6.5	Návrh a konstrukce líhně.....	39
6.6	Firmware pro řídicí jednotu	40
6.7	Uživatelské rozhraní	41
6.7.1	Rozhraní pro rychlý přístup.....	41
6.7.2	Rozhraní v PC.....	41
7	Testovací měření.....	43
	Závěr	49
	Literatura	51
8	Přílohy	53
	Příloha A – Tabulka	53
	Příloha B – deska zdroje	54
	Příloha C – Řídicí deska líhně	55
	Příloha D – deska s FTDI.....	57
	Příloha E – deska uživatelského rozhraní	58
	Příloha F – Návrh líhně.....	59

Seznam zkratk

REO	Regulovaný elektrický obvod
P regulátor	Proporcionální regulátor
I regulátor	Integrační regulátor
D regulátor	Derivační regulátor
Pt	Platina
K	Kelvin

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 - Principy líhni s přirozeným a řízeným prouděním vzduchu. [1].....	10
Obrázek 1.2 - Prosvětlení vajec. [1]	11
Obrázek 3.1 - Teplotní závislosti odporů různých materiálů. [5].....	15
Obrázek 3.2 - Konstrukce platinových čidel. [5]	16
Obrázek 3.3 - Můstkové zapojení senzorů. (a – Dvouvodičové, b – Trojvodičové) [6]	16
Obrázek 3.4 - Tvary termistorů.[6].....	17
Obrázek 3.5 - Závislost odporu negastoru na teplotě.[6]	18
Obrázek 3.6 - Rozptyl parametrů termistoru.[6]	19
Obrázek 3.7 - Teplotní závislost odporu pozistoru na teplotě.[6]	19
Obrázek 3.8 - Teplotní závislost Volt-Ampérové charakteristiky přechodu PN diody.[6].	21
Obrázek 3.9 - Tranzistorová dioda.(vlevo NPN, vpravo PNP) [6].....	21
Obrázek 3.10 - Zapojení termoelektrického teploměru.[5]	22
Obrázek 3.11 - Termočlánekový radiační pyrometr.	23
Obrázek 4.1 – Psychrometr.	26
Obrázek 4.2 - Princip zapojení automatického přístroje pro měření rosného bodu[7]	27
Obrázek 5.1 - Blokové schéma regulátoru. [10].....	28
Obrázek 5.2 - Podrobnější blokové schéma regulátoru.[10]	28
Obrázek 5.3 - PID regulátory. [10].....	30
Obrázek 5.4 - Relé ve zpětné vazbě [17].....	31
Obrázek 6.1 - Didigitální teplotní čidlo DS18B20.[14]	33
Obrázek 6.2 - Základní zapojení teplotního čidla DS18B20.[14]	33
Obrázek 6.3 - Popis vývodů vlhkostního čidla SHT11.[15]	34
Obrázek 6.4 - Doporučený způsob zapojení vlhkostního čidla SHT11.[15].....	34
Obrázek 6.5 - Relé	35
Obrázek 6.6 - Blokové schéma zařízení.	36
Obrázek 6.7 – Deska napájecího zdroje.	37
Obrázek 6.8 – Řídící deska líhně.....	37
Obrázek 6.9 - Doporučené zapojení FTDI.[16].....	38
Obrázek 6.10 – Deska s FTDI.	38
Obrázek 6.11 - Deska uživatelského rozhraní.	38
Obrázek 6.12 –Sestavená líheň.....	39
Obrázek 6.13 - Blokové schéma programu.	40
Obrázek 6.14 - Uživatelské rozhraní pro rychlý přístup na líhni.	41
Obrázek 6.15 - Uživatelské rozhraní v PC.	42
Obrázek 7.1- Vývoj teploty po odpojení topného tělesa.	44
Obrázek 7.2 – Část kódu programu použitého pro testovací měření.....	45
Obrázek 7.3 - Chybová hláška při výpadku jednoho z teplotních čidel.....	46
Obrázek 7.4 - Měření maximální a minimální teploty v průběhu dne.	47
Obrázek 8.1 - Schéma zapojení desky zdroje.....	54
Obrázek 8.2 - Návrh desky zdroje.	54
Obrázek 8.3 - Schéma zapojení řídicí desky.	55

Obrázek 8.4 - Návrh řídicí desky.....	56
Obrázek 8.5 - Schéma zapojení řídicí desky.	57
Obrázek 8.6 - Návrh řídicí desky.....	57
Obrázek 8.7 - Schéma zapojení desky uživatelského rozhraní.	58
Obrázek 8.8 - Návrh desky uživatelského rozhraní.....	58
Obrázek 8.9 - Návrh - přední strana.	59
Obrázek 8.10 - Návrh - zadní strana.....	60
Obrázek 8.11 - Návrh - vrchní strana.	60
Obrázek 8.12 - Nákres - boční strana	61

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 - Podmínky líhnutí pro vybrané druhy chovného ptactva. [1].....	12
Tabulka 2.1 - Tabulka tepelně vodivých materiálů.	13
Tabulka 2.2 - Tabulka tepelně izolačních materiálů.....	14
Tabulka 3.1 - Vlastnosti nejpoužívanějších pyrometrických snímačů.	22
Tabulka 4.1 - Teplota rosného bodu v závislosti na teplotě vzduchu a vzdušné vlhkosti. [9]	25
Tabulka 4.2 - Výhody a nevýhody psychometrické metody. [7]	26
Tabulka 4.3 - Výhody a nevýhody metody rosného bodu. [7].....	27
Tabulka 4.4 - Výhody a nevýhody spektrální metody. [7].....	27
Tabulka 5.1 - Vlastnosti jednotlivých regulátorů.[10]	29
Tabulka 6.1 - Analogová teplotní čidla.	32
Tabulka 6.2 - Digitální teplotní čidla.	32
Tabulka 6.3 – Porovnání vlhkostních čidel.	33
Tabulka 6.4 - Popis funkcí jednotlivých tlačítek.....	41
Tabulka 7.1 - Porovnání dvou teplotních čidel Dallas DS18B20.	43
Tabulka 7.2 - Klesání teploty v líhni.	43
Tabulka 7.3 - Měření teploty č. 1	44
Tabulka 7.4 – Měření teploty č. 2.....	45
Tabulka 7.5 - Měření max. a min. teploty.	46
Tabulka 7.6 - Měření vlhkosti č.1	47
Tabulka 7.7 - Měření vlhkosti č. 2.	48

Úvod

Historie umělých odchovů ptactva se datuje do doby před dvěma tisíci lety, kdy s umělým odchovem započali Egypťané a Číňané. K vytápění původních líhní se využívalo pářícího hnoje, žhavého uhlí, nebo pálení slámy. Od dob prvních líhní došlo k vynálezu teploměru, vlhkoměru, elektrických topných těles a regulačních obvodů. Spolu s těmito vynálezy se postupně vyvíjeli i líhně. V současnosti jsou již líhně plně automatizované, kdy je regulace teploty, regulace vlhkosti i otáčení vajec řízeno automaticky bez zásahu obsluhy. Líhně lze využít pro líhnutí všech vejcorodých živočichů. Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace experimentální líhně pro líhnutí chovného ptactva. Navrhovaná líheň umožní záznam průběhu líhnutí pro pozdější vyhodnocení obsluhou.

Navrhované zařízení je koncipované jako modulární, to umožní jednoduchou opravu v případě poruchy některého bloku. Z řídicího rozhraní je možné nastavovat teplotu, vlhkost, interval mezi otáčeními vajec délku procesu líhnutí v závislosti na druhu, který je líhnut. V řídicím rozhraní je k dispozici i záznam dat, které je možné uložit pro pozdější vyhodnocení, nebo přímo nechat vykreslit do grafů. Na líhni je umístěn systém pro rychlý přístup, který uživateli umožňuje přístup k aktuální teplotě, vlhkosti, času do otočení vajec a času zbývajících do konce líhnutí.

Bakalářská práce je rozdělena na tři části. V první části je popsán princip líhně, postup líhnutí, principy sledování teploty a vlhkosti a jejich regulace na požadovanou úroveň. Ve druhé části je popsán samotný návrh a konstrukce líhně. V této části jsou dále popsány vybrané metody měření veličin a způsob jejich regulace. Neposlední částí kapitoly je popis řídicích algoritmů pro PC a MCU. Třetí část práce je věnována testovacím měřením, které byly realizovány na navrženém systému. Testovací měření se skládá z měření teploty a vlhkosti.

1 Umělý odchov vejcorodých živočichů

Elektronická líheň je zařízení, které se využívá k líhnutí mláďat vejcorodých živočichů. Líheň pracuje na principu udržování podmínek definovaných pro líhnutí mláďat daného druhu v uzavřené regulované soustavě. Moderní líhně umožňují automatické otáčení vajec, v případě starších typů líhni bylo zapotřebí manuálního otáčení.

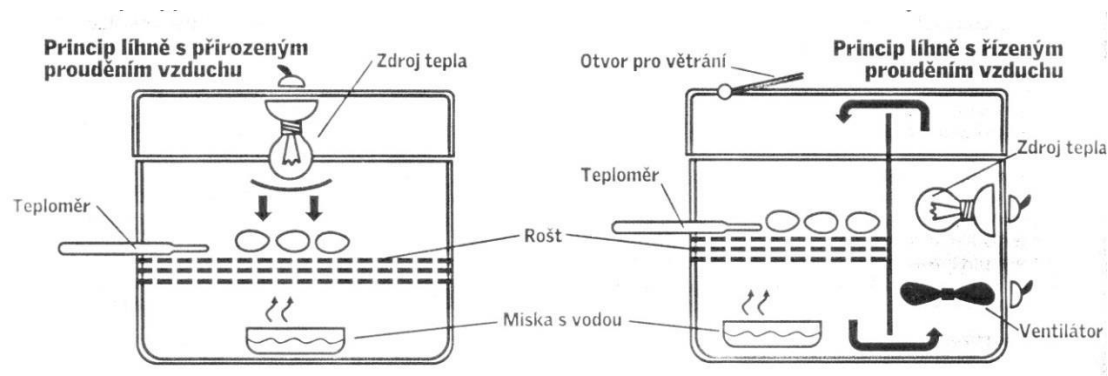
1.1 Rozdělení líhni podle typu

V líhni lze vylíhnout libovolná oplodněná vejce. Líheň je primárně určena pro líhnutí ptactva. Líheň je dále využívána včelaři, kteří využívají líhně k líhnutí včelích matek, a je využívána teraristy, kteří využívají líhně k líhnutí plazů.

V současnosti jsou líhně pro líhnutí ptactva děleny do dvou skupin dle typu cirkulace vzduchu. První skupina využívá přirozeného proudění vzduchu a druhá skupina využívá řízeného proudění vzduchu.

Základem obou typů je izolovaná soustava, ve které je sledována teplota a relativní vlhkost. Teplota je regulována topným tělesem, například odporovým drátem. Vejce jsou v průběhu líhnutí umístěna na roštu uvnitř soustavy. Příklady obou líhni jsou na obrázku 1.1, kde líheň s řízeným prouděním vzduchu je vpravo a líheň s přirozeným prouděním je vlevo.

Základním nedostatkem původních líhni je centrální působení tepelného zdroje, při kterém dochází k nerovnoměrnému zahřívání vajec. Moderní líhně mají tento nedostatek omezen použitím ventilátoru, který umožňuje rovnoměrnější rozložení teplot v soustavě. Tím je dosaženo rovnoměrnějšího zahřívání vajec.



Obrázek 1.1 - Principy líhni s přirozeným a řízeným prouděním vzduchu. [1]

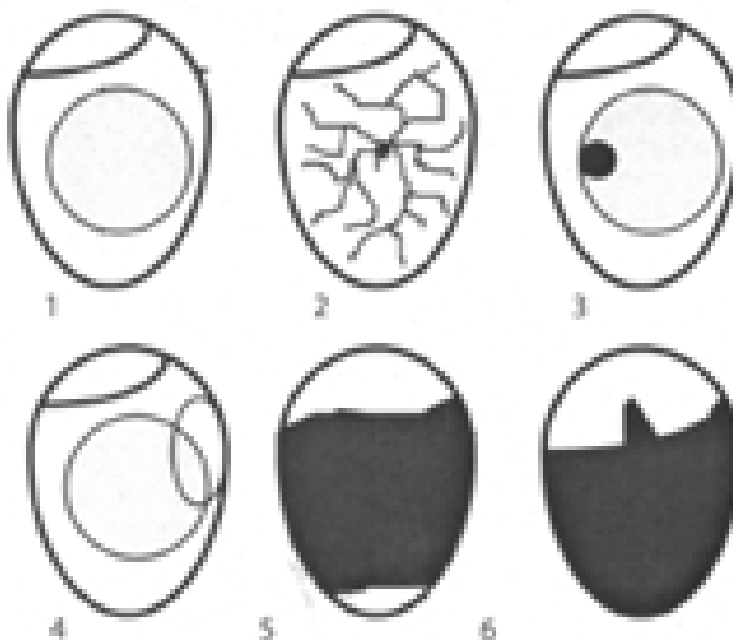
1.2 Líhnutí chovného ptactva

Líhnutí chovného ptactva můžeme rozdělit na dva typy. Prvním typem je přirozené, kdy se využívá samic příslušných druhů ptactva a druhým typem je využití elektronického systému, který udržuje podmínky pro líhnutí automaticky dle nastavených parametrů.

Přirozené líhnutí probíhá tak, že samice, která sedí na vejcích, má přirozeně zvýšenou teplotu. Vejce jsou zahřívány z vrchu a teplota působící na vajíčka z vrchu je větší a směrem dolů klesá. Vejce tedy kvočna otáčí. Také např. husy, které sedí na více vejcích, nemohou zahřívát všechny stejně, proto vejce na stranách jsou chladnější. Aby se snižovaly rozdíly teplot mezi vejci, jsou kvočnou přemísťovány dle potřeby.

Pro nasazení vajec do líhně je třeba vybrat vejce s vysokou pravděpodobností vylíhnutí životaschopných mláďat. Vybraná vejce by měla mít vysokou pravděpodobnost oplodnění (v hejnu se vyskytuje nejméně jeden pohlavně vyspělý samec). Další podmínkou je, aby vejce mělo pravidelný tvar. A v neposlední řadě je důležitým parametrem stáří vajec. S rostoucí dobou skladování u vajec klesá pravděpodobnost úspěšného vylíhnutí.

Vejce by nemělo být starší více než 10 dní. Sedmý den po vložení do líhně, je nutné vejce prosvítit. Prosvícení je důležitý krok při umělém odchovu. Během tohoto kroku jsou vejce rozdělena na vejce, ve kterých se vyvíjí zárodek, tato vejce jsou ponechána v líhni a na vejce s nevyvinutým zárodkem, tato vejce jsou z líhně odstraněna. Učebnicové ukázky prosvícených vajec jsou na obrázku 1.2. První vejce je prosvětleno sedmého dne a je pravděpodobně neoplozené. Druhé vejce je naopak se správně se vyvíjejícím zárodkem. Třetí a čtvrté vejce ukazuje úhyn zárodku. Na pátém vejci, které je prosvětlené až patnáctý den, je vidět temně ohraničený zárodek bez pohybu, je tedy možné očekávat úhyn. Na posledním příkladu je vidět živé mládě se zobáčkem ve vzduchové komůrce, lze rozeznat pohyb.



Obrázek 1.2 - Prosvětlení vajec. [1]

1.2.1 Postup a podmínky líhnutí.

Důležitými prvky při líhnutí je teplota v okolí líhně a dostatečný přísun čerstvého vzduchu. Při návrhu líhně je třeba vyřešit také otázku vlhkosti, bude-li zvyšována automaticky, nebo manuálně a navrhnout systém tak, aby důsledkem vlhkosti nedošlo k poškození zařízení. Při vnějším chlazení samozřejmě dochází i k větrání líhně a tedy přísunu čerstvého vzduchu. U drůbeže je doporučeno chlazení od 10. dne líhnutí. Vejce se však nesmí ochlazovat neúměrně dlouho ani na extrémně nízkou teplotu. Doba ochlazování je doporučena na 10 – 15 minut denně.

Každý druh vejcorodých živočichů žije v různých podmínkách, proto má jiné potřeby pro líhnutí (teplotu, relativní vlhkost, délku procesu líhnutí). V tabulce 1.1 jsou shrnuty potřeby vybraných druhů ptactva, rozšířená tabulka je umístěna v příloze A.

Před vyhledáním parametrů v tabulce je třeba určit, zda se jedná o líheň, dolíheň, nebo odchovnu. Popis rozdílů je shrnut v následujících bodech.

- Líheň je prostor, kde probíhá první fáze líhnutí vajec. Vejce jsou zde kontrolovány, zda se v nich vyvíjí zárodky a před zahájením klubání se přemísťují do dolíhně.
- Dolíheň je prostor který se sice ohřívá, ale vajíčka již není třeba otáčet a už se čeká na vylíhnutí, proto se dává do líhně místo košíčků například plastová deska, nebo dřevěné prkénko, aby se při líhnutí mláďata neporanila. V dolíhni se doporučuje 2x denně lehce mlžit vlažnou vodou, ale voda by neměla z vajec stékat.
- Odchovna pro mláďata je prostor, který je nejčastěji vyhříván infralampou. Mláďata zde mají dostatek vody, krmiva a světla. V tomto místě je v podstatě mláďatům nahrazena matka.

Tabulka 1.1 - Podmínky líhnutí pro vybrané druhy chovného ptactva. [1]

Druh	Celkový čas nutný k inkubaci (dny)	Teplota v líhni (°C)	Vlhkost v líhni (%)	Přesun do dolíhně (dny)	Teplota v dolíhni (°C)	Vlhkost v dolíhni (%)
Husa (různé druhy)	22-30	37,5	60	27	37,5	70-80
Husa domácí	30	37,8	60	27	37,5	70-80
Kachny (většina druhů)	28	37,8	55	25	37,5	70-80
Krůta	28	37,5	45-50	25	37,5	65-70
Páv	28-29	37,5	45-50	25-26	37,0	65-70
Pštros	42	36,4	25-30	39	36,4	60
Kur Domácí	21	37,5	45-50	18	37,3	65-70

2 Izolovaná soustava

Jedná se o soustavu, ve které nedochází k výměně energie ani částic s okolím. Soustava by mohla při výměně energie změnit svůj stav, což je nežádoucí. Reálné soustavy vlastností ideální soustavy nikdy nedosáhnou, ale mohou se k ní libovolně blízko přiblížit.

2.1 Tepelně vodivé materiály a jejich využití v izolované soustavě

Tepelná vodivost je vlastnost materiálu, která zajistí rozvod tepla do vzdálenějších míst. Tepelně vodivé materiály jsou tedy využity z důvodu rovnoměrnějšího rozvedení teploty po izolované soustavě. Tepelně vodivé materiály, které lze využít pro konstrukci požadované soustavy jsou uvedeny v tabulce 2.1.

Tabulka 2.1 - Tabulka tepelně vodivých materiálů.

Látka při 20 °C	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	c
Cín	65	0,22
Železo	80	0,14
Hliník	210	0,9

Kde:

c je měrná tepelná kapacita,
 λ součinitel tepelné vodivosti.

2.1.1 Součinitel tepelné vodivosti (měrná tepelná vodivost)

Měrná tepelná vodivost je značena λ a jednotkou je Watt na metr a Kelvin [$Wm^{-1}K^{-1}$]. Je definován jako množství tepla, které musí za jednotu času projít tělesem. Předpokladem je, že se teplo šíří pouze v jednom směru.

Součinitel tepelné vodivosti je definován podle [3] jako

$$q = \lambda \cdot grad T, \quad (2.1)$$

kde:

q je vektor hustoty tepelného toku,
 T teplota.

Součinitel tepelné vodivosti je v nejjednodušších případech možné vypočítat dle [3] i jednoduchým vztahem

$$\lambda = \lambda_0 [1 + a_w \cdot w + a_t (t - t_0)], \quad (2.2)$$

kde:

λ je hodnota součinitele tepelné vodivosti sledovaného materiálu při vlhkosti w a teplotě t ,
 λ_0 hodnota součinitele tepelné vodivosti sledovaného materiálu při nulové vlhkosti a základní teplotě t_0 (laboratorní – cca 30°C),
 w hmotnostní vlhkost udaná v %,
 t teplota v °C,
 a_w linearizovaný koeficient nárůstu součinitele tepelné vodivosti s vlhkostí materiálu,

a_t linearizovaný koeficient nárůstu součinitele tepelné vodivosti s teplotou materiálu.

2.1.2 Součinitel teplotní vodivosti

Tato veličina se značí a a její jednotkou je metr čtvereční na sekundu [m^2/s]. Součinitel teplotní vodivosti je schopnost daného materiálu při určité vlhkosti vyrovnávat rozdílné teploty při neustálém přísunu tepla. Součinitel teplotní vodivosti je definován v [3] jako

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (2.3)$$

kde:

λ je měrná tepelná vodivost,
 c měrná tepelná kapacita,
 ρ objemová hmotnost při určité vlhkosti.

2.2 Tepelně izolační materiály a jejich využití v líně

Tepelně izolační materiály mají za úkol udržet teplotu ve vymezeném prostoru tak, aby nebylo nutné dodávat zbytečně vysoké množství energie pro uregulování teploty. Izolační materiály musejí splňovat definované podmínky (viz. Tabulka 2.2). Podmínky pro izolační materiály jsou udány pro jejich fyzikální vlastnosti, příklady těchto vlastností jsou: minimální teplotní vodivost, velká objemová hmotnost, vysokou tepelnou kapacitu. V případě použití soustavy v kombinaci se živými tvory je potřeba splnění dalších podmínek, příklady těchto dalších podmínek jsou: nehořlavost, zdravotní a ekologická nezávadnost. Součinitel tepelné vodivosti by měl být menší než $0,17 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Tepelná vodivost je ovlivněna i vlhkostí materiálu, proto je třeba využívat materiály s nízkou nasákavostí, případně je od vlhkosti izolovat.

Tabulka 2.2 - Tabulka tepelně izolačních materiálů.

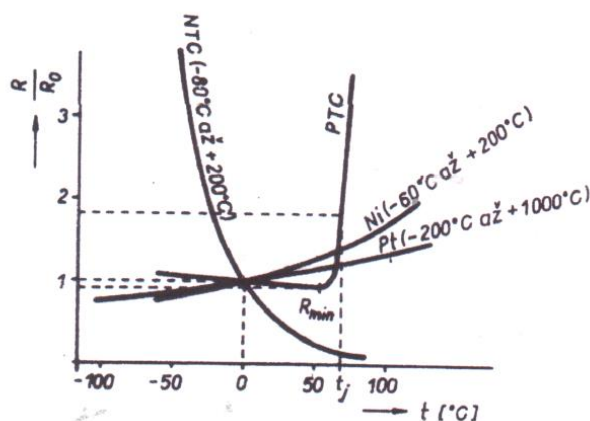
Látka při 20 °C	λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	c
dřevo	0,15	1,6
korek	0,5	-
plexisklo	0,2	1,4
polybutedien	0,1	2,5
polystyren	0,1	1,3
polystyren – pěnový	0,03	-

3 Teplotní senzory

Teplotní senzory jsou používány pro měření teploty materiálů, těles a prostorů. Senzory jsou děleny na bezdotykové (pyrometry) a na dotykové (odporové). Výstupy z teplotních čidel mohou být analogové nebo digitální.[5]

3.1 Kovové odporové senzory teploty

Odporová teplotní čidla jsou založena na změně odporu polovodičových a kovových materiálů, výstupního napětí termoelektrických článků a proudu polovodičových PN přechodů. To znamená, že elektrický odpor se mění vlivem teploty. To je ukázáno na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1 - Teplotní závislosti odporů různých materiálů. [5]

Hlavní výhodou senzorů využívajících změny odporu kovů v závislosti na teplotě je charakteristika blízká lineární. Pro rozsah teplot od 0°-100°C platí dle [5] rovnice

$$R = R_0[1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0)], [\Omega] \quad (3.1)$$

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0}, \quad (3.2)$$

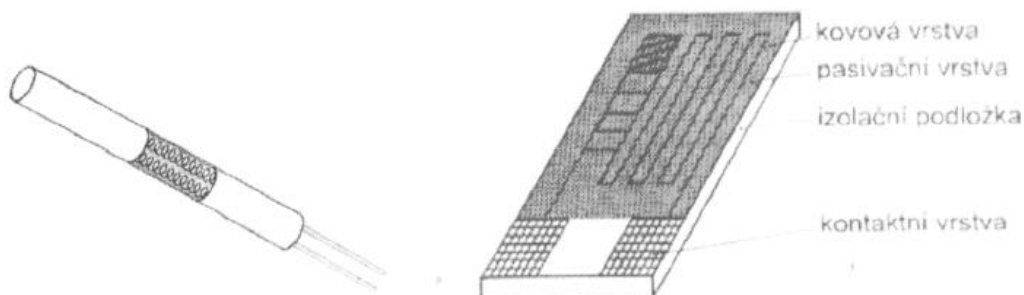
kde:

- $R_{0/100}$ je odpor při teplotě 0 /100°C [Ω],
- α teplotní součinitel odporu [K^{-1}],
- ϑ_0 počáteční teplota [$^{\circ}C$],
- ϑ konečná hodnota teploty [$^{\circ}C$].

Základním materiálem pro stavbu odporových teplotních čidel jsou tzv. čisté kovy např. platina, nikl nebo měď. Nejčastěji je využívána platina, která má dobré vlastnosti (např.: chemická stálost a vysoká teplota tání), konstrukce platinových čidel je zobrazena na

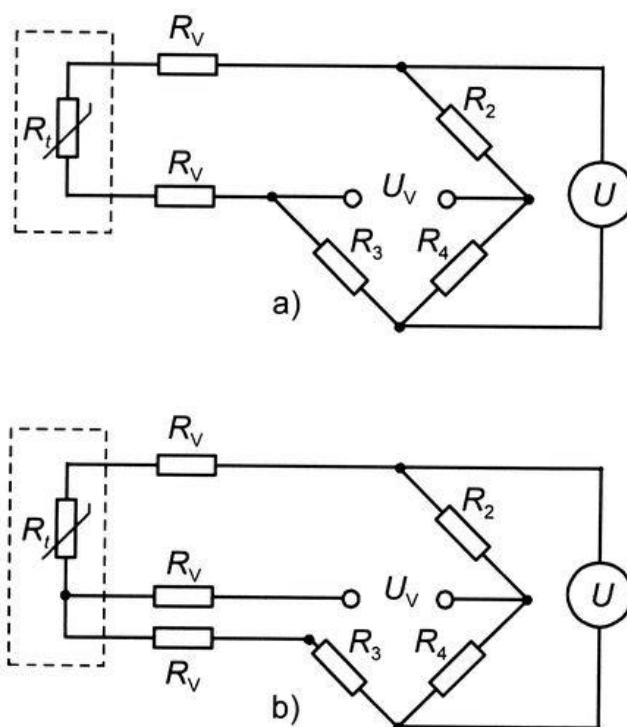
obrázku 3.2. Čidlo samotného odporového teploměru je tvořeno platinovým drátkem navinutým do spirály. Rozsah platinového teploměru je od $-271,15$ do 1000°C .

Na měřicí obvody odporových teploměrů jsou kladeny velké požadavky na minimalizaci vlivu odporu přívodů k senzoru a také na minimalizaci vlivu proudu procházejícího obvodem. Problém u odporových snímačů je oteplování vlastního odporového čidla protékajícím proudem. To zvyšuje chybu měření. Aby bylo možné tuto chybu zanedbat, musí být proud tekoucí odporem menší než 10 mA .



Obrázek 3.2 - Konstrukce platinových čidel. [5]

Odporové snímače teploty se zapojují do můstků. Zapojení odporových snímačů lze provést zapojením dvou vodičů nebo tří vodičů (viz. Obrázek 3.3).



Obrázek 3.3 - Můstkové zapojení senzorů. (a – Dvou vodičové, b – Trojvodičové) [6]

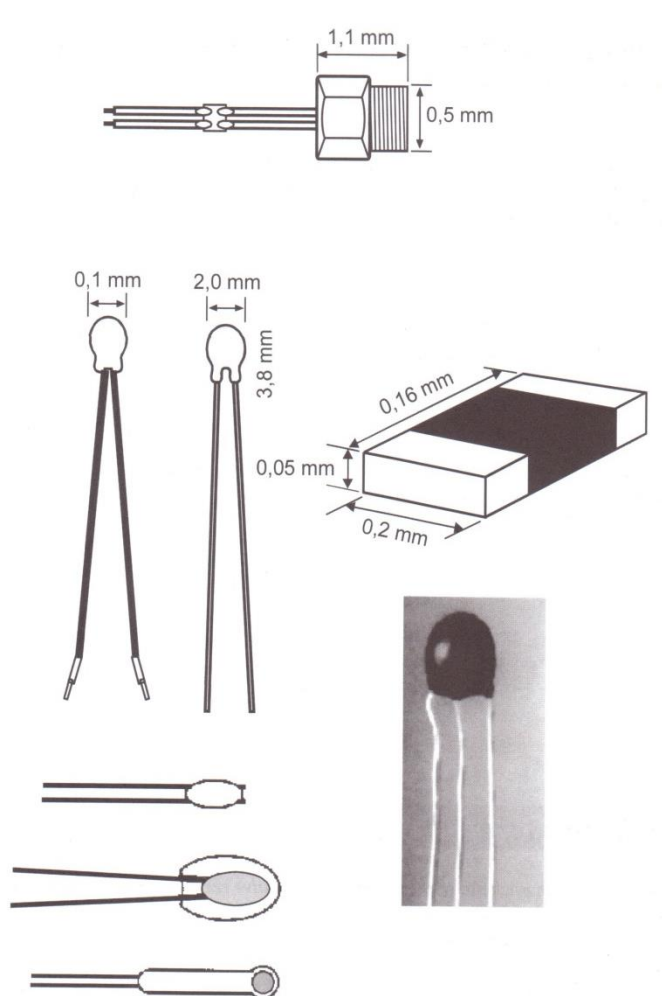
- **Trojvodičové** zapojení se používá ke kompenzaci změny odporu delšího přívodního vedení vlivem kolísání okolní teploty. Chyba měření se tak může pohybovat v rozmezí od 0,1 do 0,5°C.
- **Dvouvodičové** zapojení se používá v případě krátkých přívodů k vlastnímu čidlu.

3.2 Polovodičové odporové senzory

Polovodičové snímače jsou rozděleny podle použitého čidla na polykrystalické (termistory), monokrystalické bez PN přechodu (Ge, Si) a monokrystalické s PN přechodem (diodové teploměry).

3.2.1 Termistory

Termistor je teplotně závislý odpor zhotovený z polovodičových feroelektrických keramických materiálů. Keramická technologie umožňuje výrobu termistorů ve tvaru disku, destičky, kapky nebo válečku (obrázek 3.4). [6]

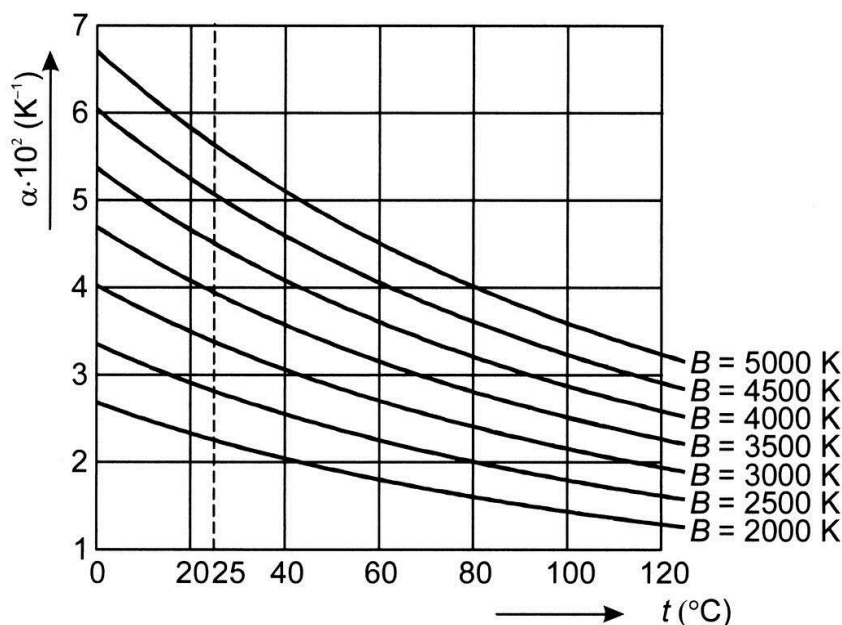


Obrázek 3.4 - Tvary termistorů.[6]

Výhodami jsou velká teplotní citlivost, malé rozměry, jednoduchý převod odporu na elektrické napětí, nebo proud a možnost přímého měření odporu termistoru na větší vzdálenost. Nevýhodou je nelineární charakteristika.

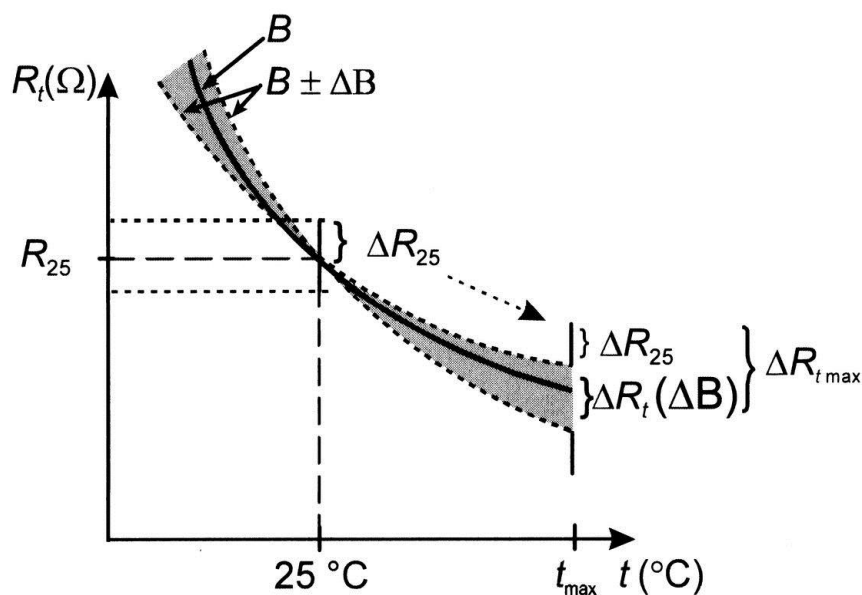
Termistory se dále dělí na monokrystalické a amorfnní. V závislosti na materiálu, ze kterého je termistor vyroben, má buď velký záporný teplotní součinitel odporu, tzv. negastor (NTC termistor) nebo velký kladný teplotní součinitel odporu tzv. pozistor (PTC termistor) Teplotní závislost odporu pozistoru a negastoru v porovnání s teplotní závislostí kovových odporových senzorů (Pt, Ni) je zobrazen na obrázku 3.5.

- **Negastory** se vyrábějí z oxidů kovů jako je oxid chromu, kobaltu, mědi, železa, manganu, niklu a titanu. Teplotní rozsahy negastorů se pohybují od -50 do 150°C v běžném rozsahu nebo od $4,2$ do 1000°C v extrémním rozsahu. [6]



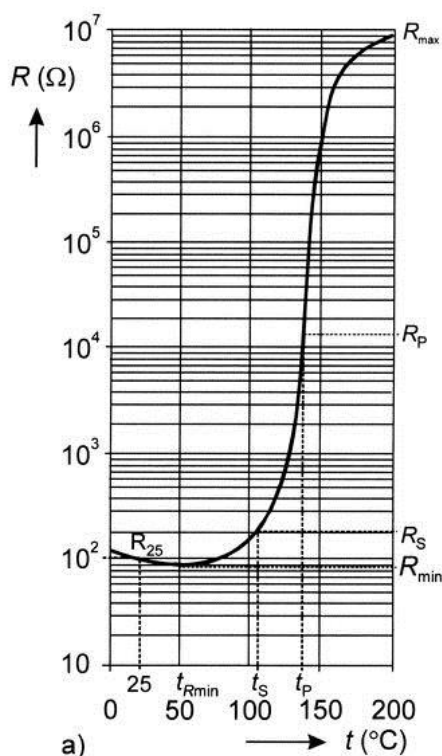
Obrázek 3.5 - Závislost odporu negastoru na teplotě.[6]

Nejistota měření teploty je způsobena nejistotou hodnoty odporu termistoru. Nejistota je způsobena výrobním rozptylem struktury materiálu a nestabilitou hodnoty konstanty B (teplota v Kelvinech) a hodnoty odporu R při vztažné teplotě 20°C Na obrázku 3.6 je znázorněn rozptyl parametrů termistoru.



Obrázek 3.6 - Rozptyl parametrů termistoru.[6]

- **Pozistory** jsou termistory s kladným teplotním součinitelem odporu. Odpor pozistoru nejprve mírně klesá se stoupající teplotou, ale od tzv. Curieovy teploty dochází ke strmému nárůstu rezistivity materiálu dle obrázku 3.7. [6]



Obrázek 3.7 - Teplotní závislost odporu pozistoru na teplotě.[6]

Pozistory se vyrábějí s křemíkem, protože jejich pracovní část charakteristiky je poté přibližně lineární. Využití pozistorů je v elektrických obvodech ve funkci tepelné ochrany, omezovače proudu, teplotní regulace.

3.2.2 Monokrystalické PN senzory teploty

Jsou nejčastěji založeny na teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru. Tyto senzory jsou v rozsahu od -55 do 150°C. Jejich nejistota měření se pohybuje od 0,6 do 2%. Tyto senzory se dále dělí na diodové PN senzory, tranzistorové PN senzory a integrované PN senzory. [6]

- **Diodové PN senzory teploty**

Využívají změny vlastností PN přechodu s teplotou. Pro jejich realizaci se používá germaniových či křemíkových diod. Ze Shockleyovy rovnice (3.3), která platí pro ideální diodu. Platí pro propustný i závěrný směr.

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{U_D}{mU_T}} - 1 \right), \quad (3.3)$$

Vyplývá vztah: (3.4)

$$U_D = mU_T \ln \left(\frac{I_D}{I_S} + 1 \right), \quad (3.4)$$

$$U_T = \frac{kT}{e}, \quad (3.5)$$

kde:

U_D	je	napětí na PN přechodu diody v propustném směru,
I_S		saturační proud PN přechodu diody v závěrném směru,
I_D		saturační proud PN přechodu diody v propustném směru,
m		rekombinační koeficient polovodiče ($1 \leq m \leq 2$),
U_T		teplotní napětí ($J \cdot C^{-1}$),
k		Boltzmannova konstanta $k = 1,38 \cdot 10^{-23} J \cdot K^{-1}$,
T		termodynamická teplota (K),
e		elementární náboj.

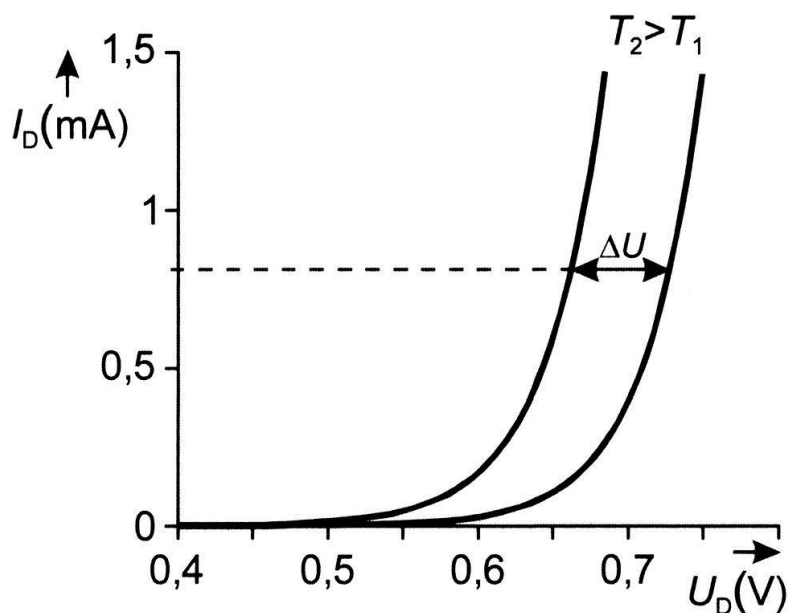
Ve vztahu (3.3) jsou veličiny m , U_T , I_S teplotně závislé. Napětí U_D s rostoucí teplotou klesá. Pro teplotní závislost U_D lze odvodit ze vztahu (3.6), kde T_0 je vztažná teplota a I_{S0} je odpovídající saturační proud. [6]

$$\left(\frac{\partial U_D}{\partial T} \right) = m \frac{k}{e} \ln \left(\frac{I_D}{I_{S0}} \right) - \frac{U_{G0}}{T_0}, \quad (3.6)$$

kde:

U_{G0}	je	napětí zakázaného pásu polovodiče extrapolovaného pro teplotu 0K.
----------	----	---

Teplotní závislost napětí přechodu diody je na obrázku 3.8. [6]



Obrázek 3.8 - Teplotní závislost Volt-Ampérové charakteristiky přechodu PN diody.[6]

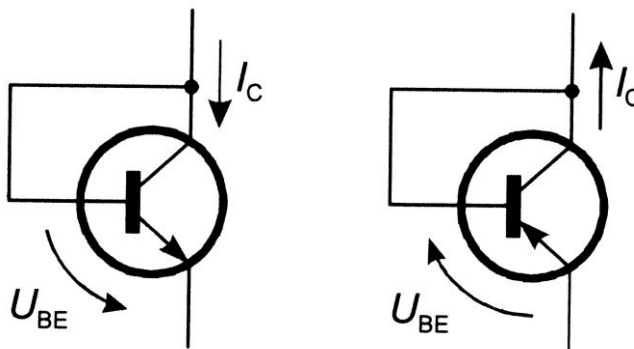
- **Tranzistorové PN senzory teploty**

Tranzistorové PN senzory jsou založeny na podobném principu jako PN-diody. Využívá se jejich teplotní závislost napětí na přechodu báze-emitor v propustném směru. Zapojení tzv. tranzistorové diody (na obrázku 3.9) je rekombinační koeficient $m=1$ a není závislý na termodynamické teplotě T ani na proudu I_C . Vyplývá to ze vztahu:

$$U_{BE} = U_T \ln I_C I_S. \quad (3.7)$$

Kde:

I_c je proud kolektorem



Obrázek 3.9 - Tranzistorová dioda.(vlevo NPN, vpravo PNP) [6]

3.3 Termoelektrické senzory

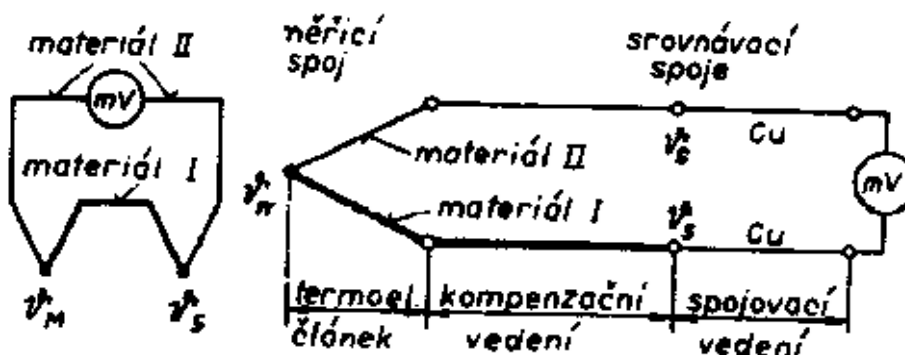
Základem těchto teploměru je termoelektrický článek, který je vyroben ze dvou materiálů, které jsou vodivě spojeny. Pokud je měřící spoj od srovnávacího spoje daleko, je nutné

použít kompenzační vedení. To je patrné na obrázku 3.10. Termoelektrické napětí je definováno podle [5] vztahem:

$$E = a_1(\vartheta_1 - \vartheta_s) + a_2(\vartheta_M - \vartheta_s) \cdot (\vartheta_M - \vartheta_s), \quad (3.8)$$

kde:

- ϑ_M je teplota měřícího spoje,
- ϑ_s teplota srovnávacího spoje,
- a_1 součinitel teplotní vodivosti.



Obrázek 3.10 - Zapojení termoelektrického teploměru.[5]

Nevýhodou je nutnost udržovat konstantní teplotu srovnávacích spojů. Srovnávací spoje mohou být umístěny do termostatu, nebo se může využít kompenzační krabice. Kompenzační krabice je můstek s teplotně závislým odporem.

3.4 Bezdotykové měření teplot (pyrometrie)

Bezdotykové měření je založeno na vyhodnocení intenzity tepelného záření zdroje tepla, které dopadá na povrch čidla. Bezdotykové měření skýtá mnoho výhod např.: rychlé měření, měření teploty u pohybujících se objektů, není ovlivněn měřený objekt.

Popis nejčastěji používaných snímačů je v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 - Vlastnosti nepoužívanějších pyrometrických snímačů.

Vlnově neselektivní tepelné snímače	Selektivní tepelné snímače
Vyznačují se dlouhým čas náběhu	Vyhodnocují teplotu v úzkém pásmu vlnových délek
Hmota čidla před změřením musí být důkladně prohřátá	Vyznačují se krátkou dobou náběhu a velkou citlivostí

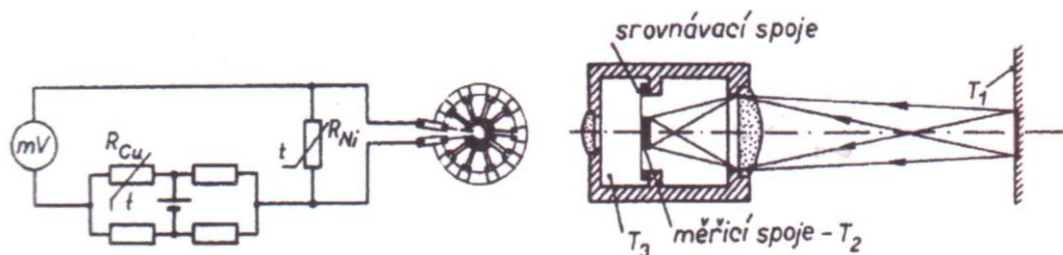
3.4.1 Radiční pyrometry

V pyrometrii vyjadřuje záření těles měrná zářivost L . Je to veličina, která charakterizuje plošný zdroj záření jako velikost zářivosti na jednotku plochy ve směru normály. Pouhá

zářivost je pak definována jako zářivý výkon ve směru normály na jednotkový prostorový úhel.

Radiační pyrometry vyhodnocují teplotu z celého spektra vlnových délek. Čím vyšší je teplota tělesa, tím větší je hodnota měrné zářivosti L .

Termočláňkový radiační pyrometr je nejběžněji používaný, jeho uspořádání je zobrazeno na obr. 3.11, kde je záření soustředěno na plošné čidlo pomocí optické soustavy. Čidlo je zapojeno v můstkovém zapojení.



Obrázek 3.11 - Termočláňkový radiační pyrometr.

Termočláňkové radiační pyrometry mají nastavitelný parametr emisivity, kterou zadává uživatel. Jsou cejchovány kalibrací pomocí černého tělesa.

3.4.2 Spektrální pyrometry

Spektrální pyrometry vyhodnocují teplotu ze spektrální měrné zářivosti. Rozsah se pohybuje v malém pásmu vlnových délek a je dán spektrální citlivostí použitého senzoru. Cejchování spektrálních pyrometrů se realizuje prostřednictvím černého tělesa.

Jasový pyrometr je v současnosti spíše historickou záležitostí. Měří teplotu podle velikosti jasu, na základě vyrovnání jasu objektu jasem pyrometrické žárovky. Je-li jas žárovky vyšší než jas měřeného objektu, potom vlákno žárovky září na temnějším pozadí. Tyto pyrometry měří teplotu v rozsahu 100 - 1500°C. Jasové pyrometry nevyžadují přesné nastavení, ale údaj o teplotě je vždy nižší než je skutečná hodnota teploty, protože se část záření odrazí. Spektrální pyrometry se nehodí pro svůj rozsah měření teplot na realizaci regulace teploty v líhni.

4 Čidla pro měření vlhkosti

Relativní vlhkost vzduchu se mění v závislosti na změně teploty nebo tlaku. S poklesem teploty roste vlhkost. Teplota, při které je vzduch právě nasycen, tj. hodnota $\varphi=100\%$, se nazývá rosný bod. [6] [7]

4.1 Základní veličiny použité pro měření vlhkosti

Pro měření vlhkosti se používají různé veličiny, které mají vždy svůj jedinečný význam. Mezi nejdůležitější patří např.: absolutní vlhkost, relativní vlhkost.

4.1.1 Absolutní vlhkost

Absolutní vlhkost se značí Φ a její jednotkou je gram na metr krychlový $[g/m^3]$. Udává hmotnost vodní páry v jednotce objemu vzduchu. Hodnota závisí především na teplotě. Jednotkou je gram na krychlový metr.

4.1.2 Relativní vlhkost

Relativní vlhkost se značí φ a udává se v procentech. Udává poměr mezi skutečným a maximálním nasyceným obsahem vody ve vzduchu. Vyjadřuje procentní nasycení suchého vzduchu vodní parou při dané teplotě. [9]

Výpočet relativní vlhkosti je definován v [7] následujícím vztahem:

$$\varphi = \frac{P_p}{P_p''} = \frac{\Phi}{\Phi''} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

kde:

P_p	je	parciální tlak par ve vzduchu,
P_p''		tlak sytých par při téže teplotě,
Φ		absolutní vlhkost tlaku,
Φ''		absolutní vlhkost nasyceného vzduchu.

4.1.3 Měrná vlhkost

Měrná vlhkost se značí písmenkem χ jejíž jednotkou je kilogram na kilogram (tj. čte se přesně, co každý kilogram vystihuje - počet kilogramů vodní páry na kilogram suchého vzduchu) to vyplývá z definovaného vztahu (4.2). Hmotové množství vodní páry připadající na 1kg suchého vzduchu.

Výpočet je definován v [7] vztahem:

$$\chi = \frac{m_p}{m_v}, \quad (4.2)$$

kde:

m_p	je	hmotnost vodní páry,
m_v		hmotnost suchého vzduchu.

4.1.4 Teplota rosného bodu

Je to teplota, při které již vzduch není schopen přijímat žádnou páru (tzv. relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100%). Pokud teplota klesne, nastává kondenzace. Teplota rosného bodu je různá pro různé absolutní vlhkosti vzduchu (čím více je vodní páry ve vzduchu, tím vyšší je teplota rosného bodu). V tabulce 4.1 je vidět tato závislost. Je zde teplota vzduchu ve stupních Celsia a vlhkost je v procentech. [9]

Tabulka 4.1 - Teplota rosného bodu v závislosti na teplotě vzduchu a vzdušné vlhkosti. [9]

teplota vzduchu	vlhkost v %							
	20	30	40	50	60	70	80	90
0	-18,22	-13,86	-10,68	-8,16	-6,06	-4,26	-2,68	-1,27
1	-17,45	-13,07	-9,87	-7,33	-5,22	-3,4	-1,82	-0,4
2	-16,69	-12,28	-9,05	-6,5	-4,37	-2,55	-0,95	0,54
3	-15,92	-11,49	-8,24	-5,67	-3,54	-1,7	-0,09	1,52
4	-15,16	-10,7	-7,43	-4,85	-2,7	-0,88	0,87	2,51
5	-14,4	-9,91	-6,63	-4,03	-1,86	-0,01	1,84	3,5
6	-13,64	-9,12	-5,82	-3,2	-1,03	0,95	2,82	4,49
7	-12,88	-8,34	-5,02	-2,39	-0,2	1,91	3,79	5,48
8	-12,13	-7,56	-4,22	-1,57	0,72	2,87	4,77	6,46
9	-11,38	-6,78	-3,42	-0,75	1,66	3,83	5,74	7,45
10	-10,62	-6	-2,62	0,07	2,6	4,79	6,71	8,44
11	-9,87	-5,22	-1,87	0,99	3,54	5,75	7,69	9,42
12	-9,13	-4,45	-1,03	1,91	4,48	6,7	8,66	10,41
13	-8,38	-3,68	-0,24	2,83	5,42	7,66	9,63	11,4
14	-7,64	-2,91	0,63	3,75	6,36	8,62	10,61	12,39
15	-6,89	-2,14	1,52	4,67	7,3	9,58	11,58	13,37
16	-6,15	-1,37	2,42	5,59	8,24	10,53	12,55	14,36
17	-5,41	-0,6	3,31	6,51	9,18	11,49	13,52	15,35
18	-4,67	0,18	4,21	7,43	10,12	12,45	14,5	16,33
19	-3,94	1,05	5,1	8,35	11,06	13,4	15,47	17,32
20	-3,21	1,91	5,99	9,26	12	14,36	16,44	18,31
21	-2,48	2,77	6,89	10,18	12,94	15,32	17,42	19,3
22	-1,75	3,64	7,78	11,1	13,88	16,27	18,39	20,28
23	-1,02	4,5	8,68	12,02	14,81	17,23	19,36	21,27
24	-0,29	5,36	9,56	12,93	15,75	18,19	20,33	22,26
25	0,49	6,22	10,46	13,85	16,69	19,14	21,3	23,24

4.2 Metody měření vlhkosti

Pro měření vlhkosti se používají různé metody např: hygrometrická, psychometrická, metoda rosného bodu, spektrální metody. Podrobněji jsou jednotlivé metody uvedeny níže.

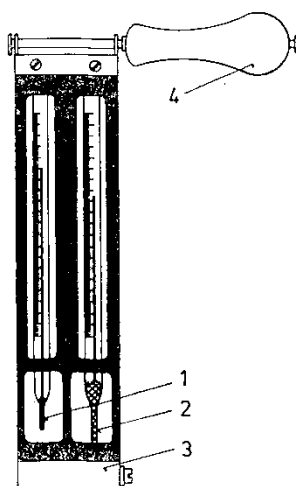
4.2.1 Metoda hygrometrická

Tato metoda využívá tuhých materiálů, které pod vlivem vlhkosti mění svůj elektrický odpor, délku a jiné. Metoda je jednoduchá a citlivá. Na senzory tohoto typu jsou kladeny různé požadavky např.:

- Rychlá odezva ve směru sorpce i desorpce s malou hysterezí.
- Velká změna měřené veličiny, která je lineárně závislá na relativní vlhkosti, nebo rosném bodu.
- Jsou vyžadovány stálé kalibrační křivky.[8]

4.2.2 Metoda psychrometrická

Tato metoda je založena na práci s psychrometry. Psychrometrická metoda pracuje na principu dvou teploměrů. Jeden teploměr je smočený ve vodě a druhý teploměr měří teplotu měřeného vzduchu (viz. obrázek 4.2). Popisek č. 1 je suchý teploměr, popisek č. 2 ukazuje na teploměr s punčoškou odsávající vodu, č. 3 je podstavec, č. 4 je rukojeť.



Obrázek 4.1 – Psychometr.

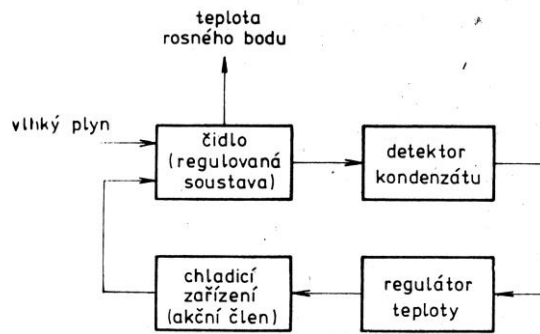
Čím menší je relativní vlhkost, tím intenzivněji se odpařuje voda ze smočeného teploměru. Tato skutečnost zvětšuje rozdíl mezi údaji na teploměrech. Tento rozdíl je označován jako psychrometrický rozdíl, kde se podle tabulek určuje tlak vodní páry ve vzduchu a z ní relativní vlhkost. Zhodnocení kladů a záporů metody je v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2 - Výhody a nevýhody psychrometrické metody. [7]

Výhody	Nevýhody
Jednoduchost	Citlivost s klesající teplotou silně klesá
Při kladných teplotách mají pro většinu aplikací dostatečnou přesnost	Údaj na psychrometru je částečně závislý na atmosférickém tlaku
Mají relativně malou časovou konstantu	Rychlost proudění plynu se musí udržovat na konstantní hodnotě
Nepotřebují zvláštní kalibraci	Citlivost na znečištění

4.2.3 Metoda měření rosného bodu

Určení rovnovážného stavu mezi vodní párou a kondenzátem je spojeno s technickými potížemi. Metoda využívá malé tělísko (kovové zrcátko), které se ochlazuje tak dlouho, dokud se jeho povrch neorosí. Orosení kovového zrcátka značí rosný bod. Princip zapojení automatického přístroje pro měření rosného bodu vidíme na obrázku 4.2. Zhodnocení kladů a záporů metody měření rosného bodu je uvedeno v tabulce 4.3. [7]



Obrázek 4.2 - Princip zapojení automatického přístroje pro měření rosného bodu[7]

Tabulka 4.3 - Výhody a nevýhody metody rosného bodu. [7]

Výhody	Nevýhody
Přesnost měření je dostatečná i při nízkých teplotách	Je nutné zařízení pro ochlazování čidla
Přesnost měření je dostatečná i při malé relativní vlhkosti	Kontinuální automatické přístroje jsou dost složité
Přístroje měřící rosný bod nevyžadují speciální kalibraci	Přesnost měření klesá se vzrůstající relativní vlhkostí

4.2.4 Spektrální metody

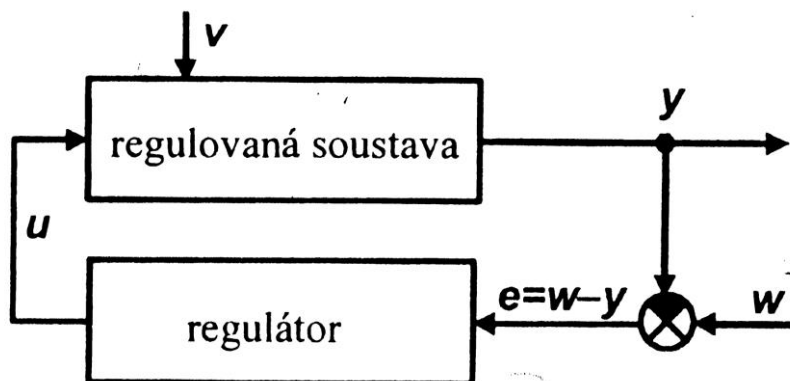
Vodní pára absorbuje záření v mnoha částech spektra. Nejdůležitější jsou absorpční pásma molekul vody v infračervené oblasti. Zeslabení hustoty světelného toku prostupujícího homogenním prostředím závisí na počtu absorbujících částic, s nimiž se světelný tok setkává. Zhodnocení kladů a záporů metody je v tabulce 4.4. [7]

Tabulka 4.4 - Výhody a nevýhody spektrální metody. [7]

Výhody	Nevýhody
Měření je pro většinu aplikací selektivní	Složitost přístrojů
Lze měřit v širokém rozsahu relativní vlhkosti	Měření je závislé na tlaku a teplotě
Přístroje se hodí i ke stanovení jiných plynů	

5 Regulace a regulátory

Regulovaný obvod (REO) je složen z regulátoru a regulované soustavy (obr. 5.1). Člen, pro který se tvoří regulace, je regulovaná soustava. Tato soustava se vždy musí nacházet v REO. Na regulovanou soustavu působí nežádoucím způsobem vnější vlivy. Vnější vlivy způsobují kolísání regulované veličiny. Mezi vnější vlivy patří např.: kolísání napájecí energie. [9]

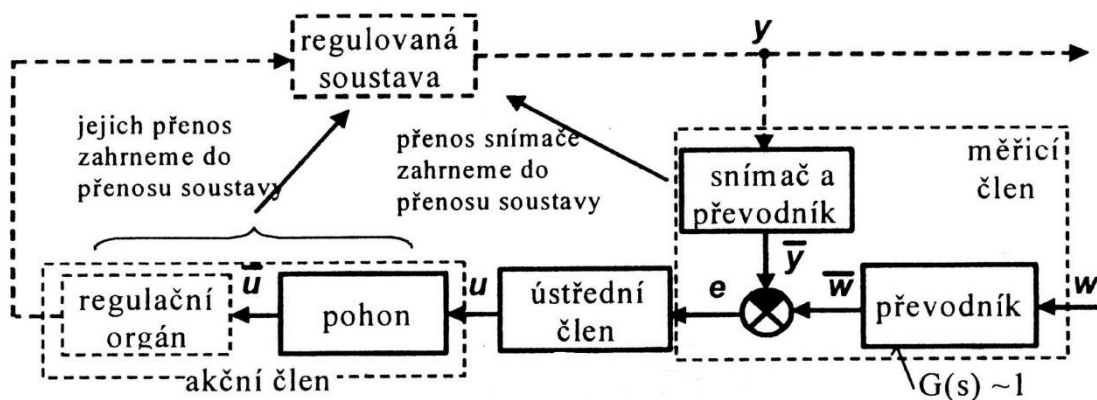


Obrázek 5.1 - Blokové schéma regulátoru. [10]

5.1 Regulátory

Regulátor je zařízení, které provádí regulaci, tzv. působí na regulovanou soustavu tak, že se regulovaná veličina udržuje na požadované hodnotě. Je to zařízení, která má za úkol udržovat minimální regulační odchylku. Úkolem regulátorů je tedy reagovat na poruchové veličiny a ty následně odstranit. [11] [12] [13]

Regulátory, které se dnes používají, vyžadují pomocný zdroj energie. Regulátor se skládá z více členů (viz. Obrázek 5.2), v základu jsou to tři členy – měřicí člen, ústřední člen a akční člen.

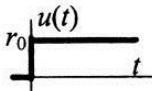
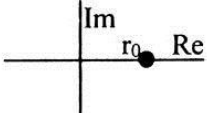
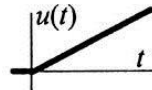
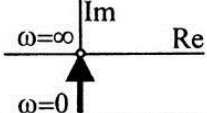
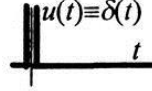
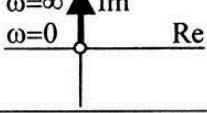
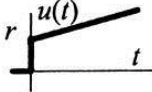
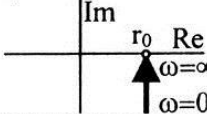
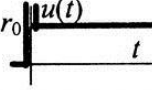
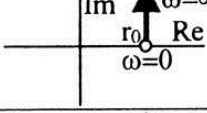
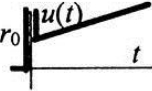
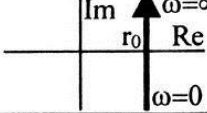


Obrázek 5.2 - Podrobnější blokové schéma regulátoru.[10]

- **Měřící člen** monitoruje skutečnou hodnotu regulované veličiny, kterou převádí na elektrické napětí a vytváří regulační odchylku. Měřící člen se skládá ze snímače s převodníkem, z převodníku řídicí veličiny a z porovnávacího členu.[11]
- **Ústřední člen** zpracovává regulační odchylku. Má rozhodující vliv na postup regulace.
- **Akční člen** se skládá z pohonu a regulačního orgánu, který přímo ovládá akční veličinu. Pohon naopak ovládá polohu, natočení a otevření akčního členu.[11]

Regulátor může regulační odchylku zesilovat, integrovat a derivovat. Z toho také plyne jejich rozdělení (viz. Obrázek 5.3).

Tabulka 5.1 - Vlastnosti jednotlivých regulátorů.[10]

typ	rovnice	přenos $G_R(s)$	přechodová charakteristika	frekvenční charakteristika
P	$u = r_0 e$	r_0		
I	$u = r_{-1} \int e dt$	$\frac{r_{-1}}{s}$		
D	$u = r_1 e'$	$r_1 s$		
PI	$u = r_0 e + r_{-1} \int e dt$	$r_0 + \frac{r_{-1}}{s}$		
PD	$u = r_0 e + r_1 e'$	$r_0 + r_1 s$		
PID	$u = r_0 e + r_{-1} \int e dt + r_1 e'$	$r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s$		

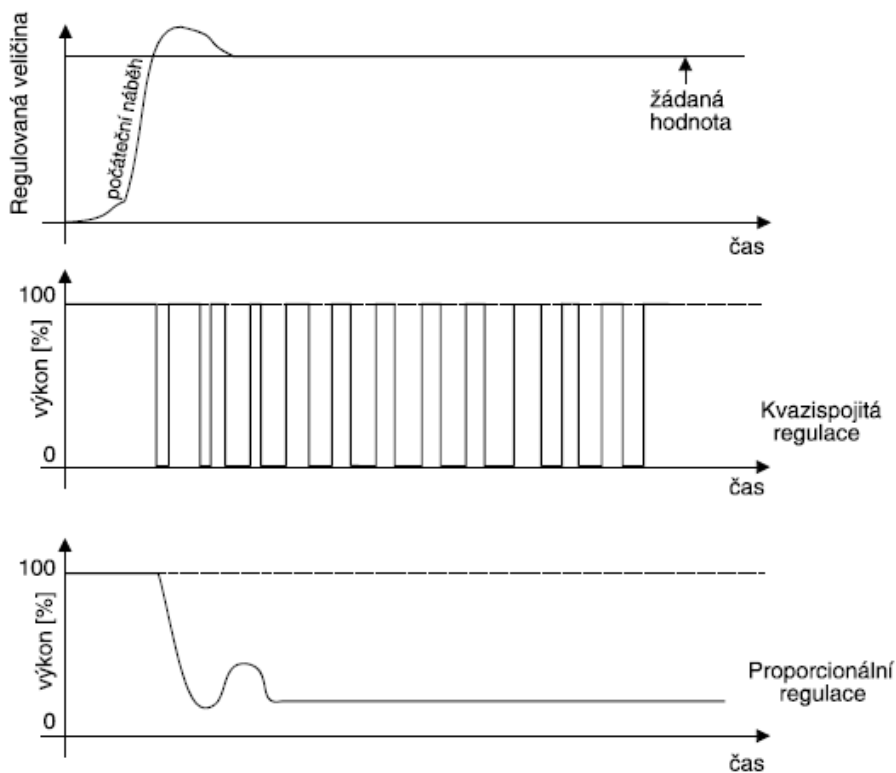
- P regulátor - Je to nejjednodušší případ, kdy regulátor pouze zesiluje regulační odchylku. V tomto případě je akční veličina úměrná regulační odchylce.
- I regulátor - Tento regulátor je integrační, tzv. akční veličina je úměrná integrálu regulační odchylky.
- D regulátor - Jeho technická realizace není možná, protože by došlo k rozpojení regulačního obvodu v ustáleném stavu a navíc by se derivací zesilovaly šumy v obvodu.

- PI regulátor - Má akční veličinu úměrnou regulační odchylce, ale i jejímu integrálu. Vliv regulační odchylky nebo integrátoru se dá zmenšit nebo zvětšit volbou konstant.
- PD regulátor - Má akční veličinu úměrnou regulační odchylce a její derivaci.
- PID regulace - Zajistí přesnější řízení procesu než dvoustavová regulace.

5.1.1 PID regulace

Precizní regulace lze dosáhnout, když je přístroj správně nastaven. Jsou to tzv. PID parametry (viz. Obrázek 5.3):

- P_b – zesílení
 - Zde je šířka pásma proporcionality vyjádřena v měřených jednotkách. Když je $P_b = 0$, pak regulátor pracuje jako dvoustavový (ON/OFF)
- I_t – integrál
 - Eliminuje ztráty regulované soustavy. Je vyjádřen v minutách.
 - Integrační parametr
- dE – derivace
 - Jeho uplatnění najdeme v rychlých změnách hodnot žádaných nebo skutečných.
 - Derivační parametr



Obrázek 5.3 - PID regulátory. [10]

Výhody PID regulace

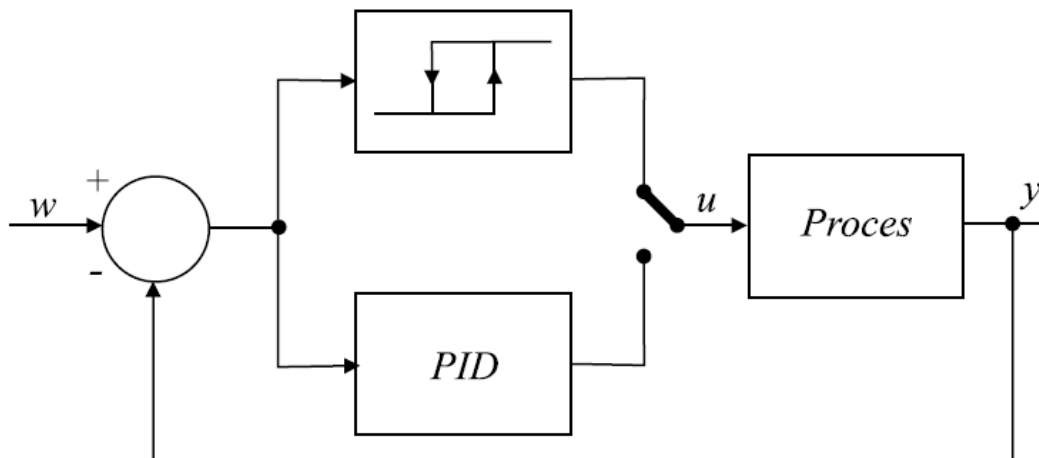
- Vysoká jakost regulace

Nevýhody PID regulace

- Velké nároky na regulátor
- Vyšší nároky na spínače
- Zdlouhavé nastavování regulačních parametrů

5.2 Relé ve zpětné vazbě

Metoda použití relé ve zpětné vazbě je také vhodná pro určení periody vzorkování. Relé může mít nastavitelnou hysterezi. Ta tlumí účinek případného šumu měření regulované veličiny a prodlužuje periodu oscilace. Celou situaci s jednoduchým přepínáním mezi relé (automatické nastavení) a PID regulátorem (normální regulace) ukazuje obr. 5.4. [17]



Obrázek 5.4 - Relé ve zpětné vazbě [17]

6 Praktické řešení

V této kapitole je popsáno vlastní řešení navrhovaného zařízení. V první části kapitoly jsou popsány rozbory dostupných senzorů a akčních členů (topná tělesa, ventilátory). Z porovnaných prvků byly vybrány ty, které nejlépe vyhovovaly požadavkům. V další části kapitoly je popsán koncept zařízení a jeho výrobní postup. V neposlední řadě je v této kapitole popsán řídicí program pro PC a firmware pro mikroprocesor.

6.1 Rozbor dostupných teplotních senzorů

Na trhu jsou teplotní čidla digitální a analogové. Pro analogové teplotní senzory jsou potřeba A/D převodníky, které jejich analogovou hodnotu převedou na digitální pro pozdější zpracování mikrokontrolérem. V tabulce 6.1 je srovnání čidel analogových, a dále v tabulce 6.2 je srovnání čidel digitálních.

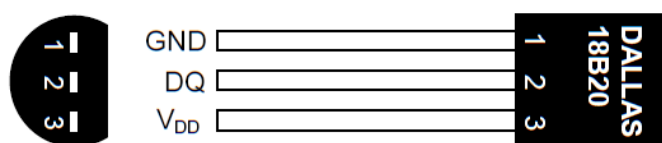
Tabulka 6.1 - Analogová teplotní čidla.

Název součástky	Rozsah [°C]	Přesnost [°C]	Napájecí napětí [V]	Pouzdro	Cena[Kč]
LM35DZ	0 - 100	0,5	4-30	TO92	50
LM335	-40 - 100	1		TO92	20
MCP9701AT-E/LT	-40 - 152	1	3,1-5,5	SO8	40
MCP9700A/TO	-40 - 125	2	2,3-5,5	TO92	-

Tabulka 6.2 - Digitální teplotní čidla.

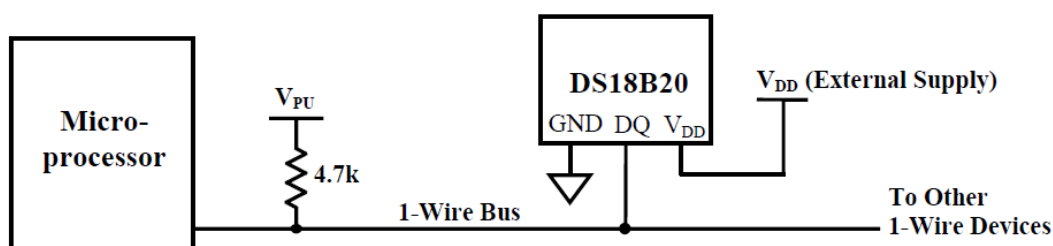
Název součástky	Rozsah [°C]	Přesnost [°C]	Napájecí napětí [V]	Pouzdro	Cena[Kč]
SMT160-30-220	-40 - 130	0,7	4,75-30	TO220	150
SMT160-30-18	-40 - 135	0,7	4,75-7	TO18	140
DS18S20	-55 - 125	0,5	3-5,5	TO92	90
DS18B20	-55 - 125	<0,5	3-5,5	TO92	55

Z důvodu jednoduššího řízení byla vybrána pro realizaci digitální čidla. Pro stavbu líhně je vhodné vybrat čidlo, které bude co nejpřesnější a bude mít vhodný rozsah teplot. Z důvodu konstrukce „LOW COST“ zařízení, bylo zvoleno čidlo DS18B20, kde se jeho cena pohybuje okolo 55Kč/ks. Čidlo v pouzdře TO92 je vidět na obrázku 6.1 i s popisem jednotlivých vývodů.



Obrázek 6.1 - Didigitální teplotní čidlo DS18B20.[14]

Základní zapojení vybraného senzoru popisuje obrázek 6.2. Další výhodou je i jeho snadný přepočítání na teplotu a také možný výběr vhodného rozlišení z řady 0,5; 0,25; 0,125; 0,0625°C.



Obrázek 6.2 - Základní zapojení teplotního čidla DS18B20.[14]

6.2 Rozbor dostupných vlhkostních čidel

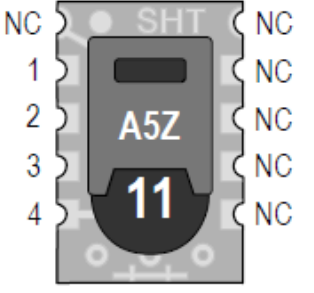
Vlhkostních čidel je na trhu také dostatečné množství (viz tabulka 6.3), ale jsou v podstatě jiných cenových kategoriích než čidla teplotní. Přesnost vlhkostních čidel je pro účely lihně klíčová. Vlhkostní čidla jsou nejčastěji kapacitní, nebo odporová. Výstup je pak realizován analogově, nebo digitálně. Na výstupu analogového kapacitního čidla vzniká elektrický náboj, který se mění podle okolní vlhkosti. Výstup odporového analogového čidla je ovlivňován změnou odporu. U digitálního vlhkostního čidla je informace na výstupu v digitální formě.

Tabulka 6.3 – Porovnání vlhkostních čidel.

Název součástky	Rozsah [%]	Přesnost [%]	typ	Napájecí napětí[V]	Cena[Kč]
HONEYWELL HIH6131-021-001S	0-100	4	digitální	2,3÷5,5	1000
SENCERA SENS-808H5V6	0-100	1	analogové	3,3	500
HIH6131-021-001S	0-100	4	digitální	2,3÷5,5	1000
SHT11	0-100	0,5	digitální	2,4-5,5	400

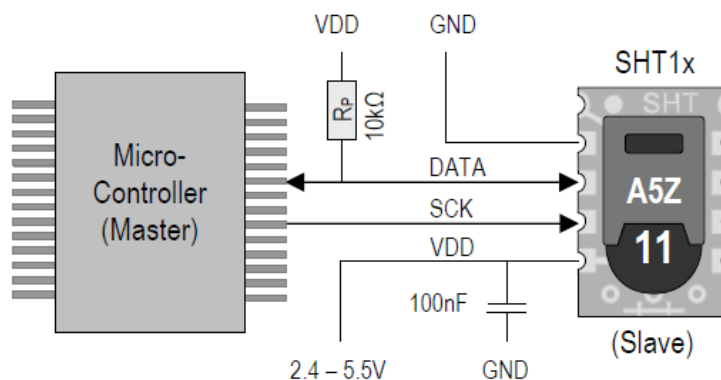
Pro líheň bylo vybráno čidlo SHT11, které má digitální výstup, ten později usnadní práci s programem i samotným návrhem DSP. Čidlo SHT11 není jen vlhkostní, ale i teplotní a má napájecí napětí v rozsahu vyhovujícím navrhovanému systému. Na obrázku 6.3 je zobrazen senzor i s popisem jednotlivých vývodů.

Pin	Name	Komentář
1	GND	Zem
2	DATA	Data
3	SCK	Hodiny
4	VDD	Napájení
NC	NC	Nepřipojeno



Obrázek 6.3 - Popis vývodů vlhkostního čidla SHT11.[15]

Vývod 1 je připojen na zem, vývod 2 je pro sériová data, vývod 3 je pak pro hodiny a poslední vývod je pro napájení obvodu. Doporučené zapojení je ukázáno na obrázku 6.4.



Obrázek 6.4 - Doporučený způsob zapojení vlhkostního čidla SHT11.[15]

6.3 Použitý způsob regulace

Použití relé ve zpětné vazbě bylo vybráno s optickým oddělením řídicí a regulační části. Relé je řízeno TTL signály a v závislosti na logické úrovni spíná, nebo odpojuje topné těleso. Při regulaci je využito hystereze, která eliminuje vlivy šumů a šetří kontakty, jelikož spínání a odpojování zátěže je méně četné. V okamžiku poklesu teploty pod nastavenou spodní mez dojde k sepnutí topného tělesa a při překročení nastavené horní meze dojde k odpojení topného tělesa.

Horní mez má menší odchylku od požadované hodnoty, jelikož je třeba uvažovat setrvačnost systému



Obrázek 6.5 - Relé

Do líhni se vyrábí speciální topná tělesa či topné dráty. Topná tělesa jsou dražší, ale dají se lépe přidělat. Dále se prodávají různé infralampy, které se hodí spíše do menších líhni. Tyto lampy mají výhodu, že při vylíhnutí mláďat jim prohřejí celé tělo. Topné odporové dráty, jsou nejvhodnější do domácích líhni. Topné dráty mají dostatečný výkon a dají se nainstalovat podle potřeby. Pro vyhovující vlastnosti a nízkou cenu je zvolen právě odporový drát.

Odporový drát má výkon 200W. Toto těleso je napájeno 230 V. Na odporové dráty jsou vyráběny keramické korálky, které by měli sloužit proti případnému vzplanutí okolních materiálů. Těleso je připevněno na stropu líhně k nehořlavé desce, kde je nainstalované pod ventilátor, který rozhání oteplený vzduch po líhni.

6.4 Koncept elektroniky líhně

Líheň je koncipována tak, že se hodnoty potřebné pro líhnutí různých druhů ptactva zadávají do řídicí jednotky líhně pomocí rozhraní v PC. Líheň měří teplotu a podle změřené hodnoty reguluje topné těleso a měří relativní vlhkost. Proto jsou potřeba různé hodnoty napětí, pro napájení. Pro regulaci je použit mikroprocesor, který potřebuje napájení 5V. Je potřeba také ventilátor, který je zvolen s napájením na 12V. Pro vytápění je potřeba zdroj napětí 230V. Pro napájení je tedy potřeba implementovat stejnosměrné zdroje 12V a 5V, střídavé napětí 230V je odebíráno přímo ze sítě a spínáno pomocí relé.

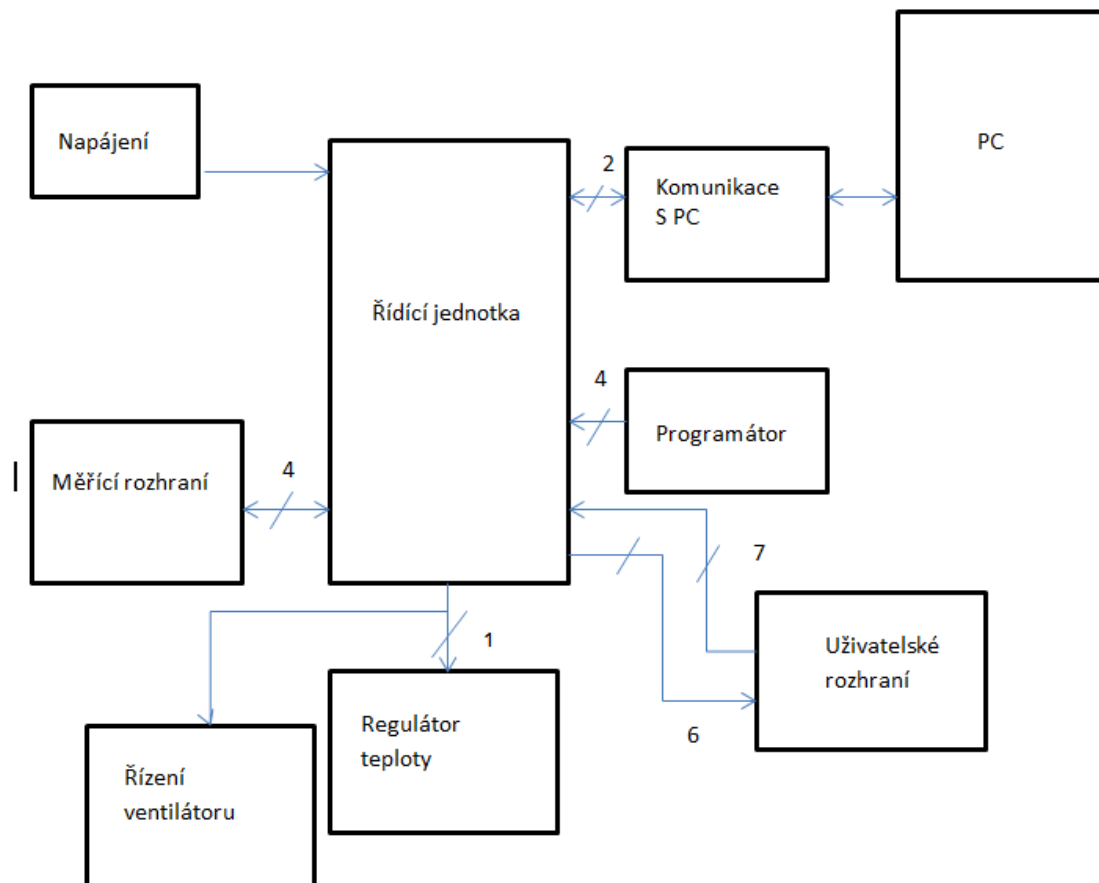
6.4.1 Řízení

Zařízení řídí PC i řídicí jednotka, která je v tomto případě realizována pomocí mikroprocesoru ATmega16. PC zajišťuje komunikaci s uživatelem, rozhraní na PC slouží k výběru nastavení parametrů klíčových pro líhnutí. Řídicí jednotka pak zajišťuje regulaci vytápění, ukládání hodnoty vlhkosti a teploty. Když je řídicí jednotka bez napájení, tak dochází ke ztrátě parametrů nastavených uživatelem a času zbývajících do vylíhnutí. Opětovné doplnění parametrů a nastavení zbývajících času do vylíhnutí je provedeno při spárování PC a řídicí jednotky.

6.4.2 Blokové schéma zařízení

Na obrázku 6.6 je vidět, blokové schéma zařízení. Ze schématu je patrné, že řídicí jednotka komunikuje s uživatelem pomocí rozhraní pro rychlý přístup. Data ze senzorů jsou

zpracovávají v řídicí jednotce a na základě vyhodnocení jsou řízeny akční členy (ventilátor, regulace teploty). Zpracované informace se pak posílají na uživatelské rozhraní v počítači pomocí USB. Za účelem snadného ladění zařízení je vyvedený z řídicí jednotky konektor pro připojení programátoru SPI.



Obrázek 6.6 - Blokové schéma zařízení.

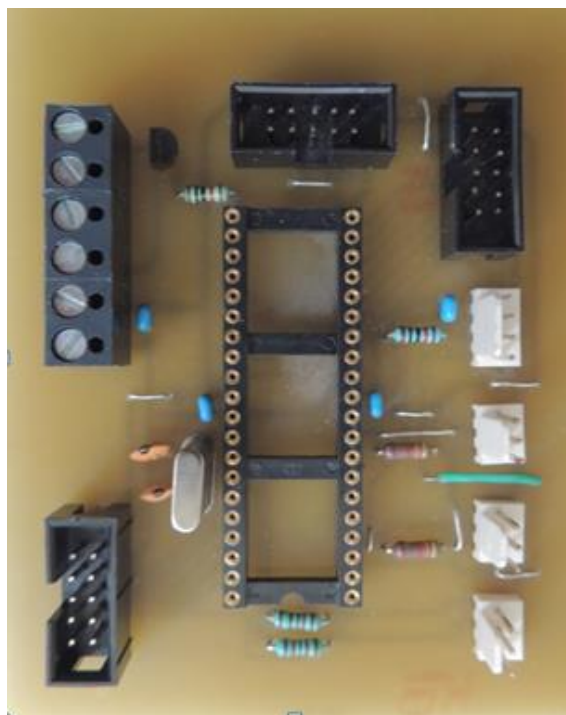
Bloky jsou rozděleny na jednotlivé části pro snazší manipulaci – deska zdroje, řídicí jednotka, uživatelské rozhraní a jednotlivá čidla teploty či vlhkosti.

Deska zdroje (viz. Obrázek 6.7) je potřeba pro napájení mikroprocesoru ATmega16, který potřebuje napájení 5V. V tomto zdroji je samozřejmostí využívat stabilizátor 7805. Schéma zapojení zdroje, návrh desky a osazovací schéma jsou vidět v příloze B.



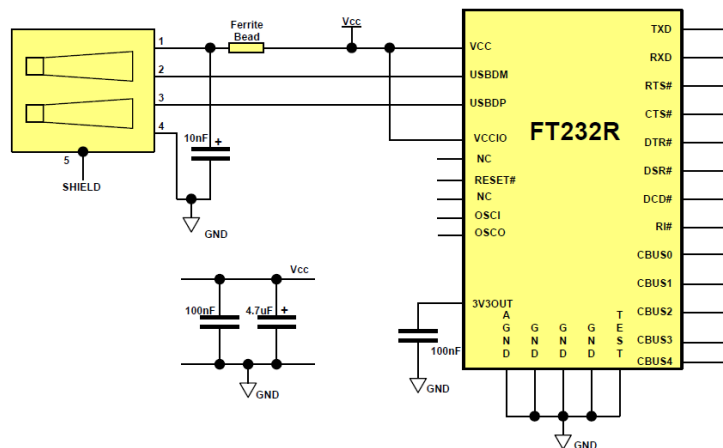
Obrázek 6.7 – Deska napájecího zdroje.

Řídící deska líhně (viz. Obrázek 6.8) má patici pro mikroprocesor ATmega16 a další konektory, které jsou využity pro připojení jednotlivých bloků systému líhně. Jsou zde vývody pro FTDI, řízení ventilátoru a topného tělesa nebo vývody pro jednotlivé teplotní senzory a vlhkostní senzor. Schéma zapojení, osazovací plány a návrh desky jsou vidět v příloze C.

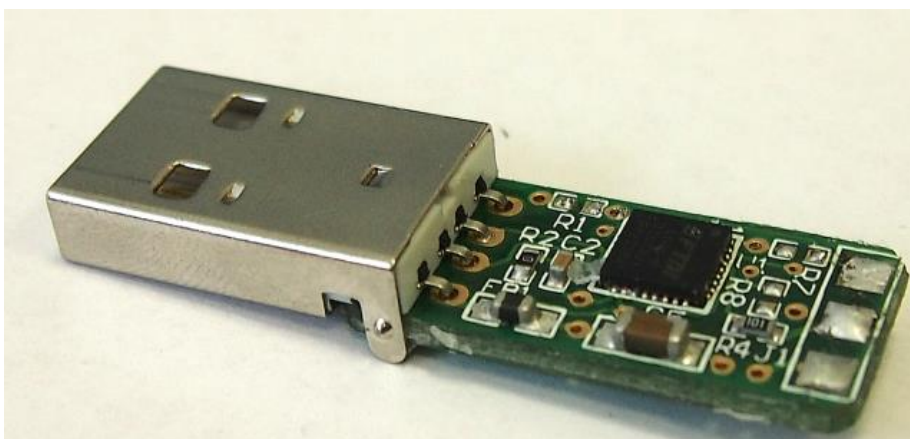


Obrázek 6.8 – Řídící deska líhně.

Deska s FTDI (viz. 6.10) je potřebná pro komunikaci s počítačem. Na obrázku 6.9 je doporučené zapojení, zapojení použité v líhni je pozměněno (viz. Příloha D), pro účely navrhovaného zařízení nejsou všechny vývody potřeba.

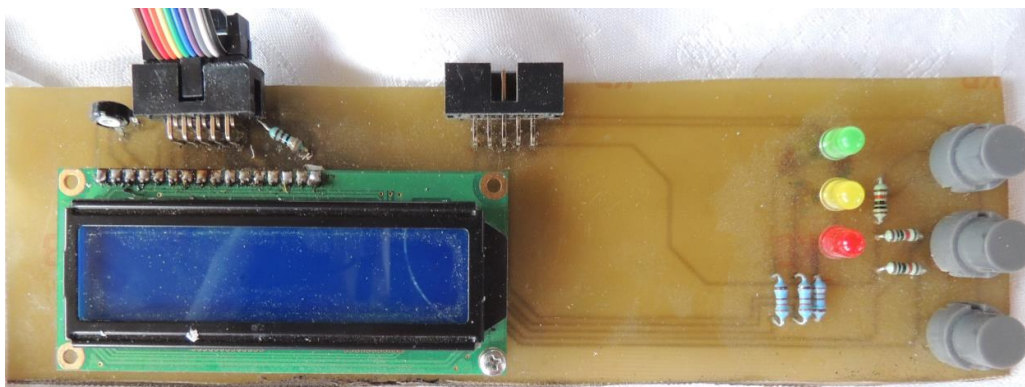


Obrázek 6.9 - Doporučené zapojení FTDI.[16]



Obrázek 6.10 – Deska s FTDI.

Deska uživatelského rozhraní pro rychlý přístup (viz. Obrázek 6.11) zprostředkovává uživateli aktuální informace z líhně. Deska obsahuje tlačítka, LED diody a LCD displej. V příloze E je schéma zapojení, osazovací plány i návrh desky.



Obrázek 6.11 - Deska uživatelského rozhraní.

6.5 Návrh a konstrukce líhně

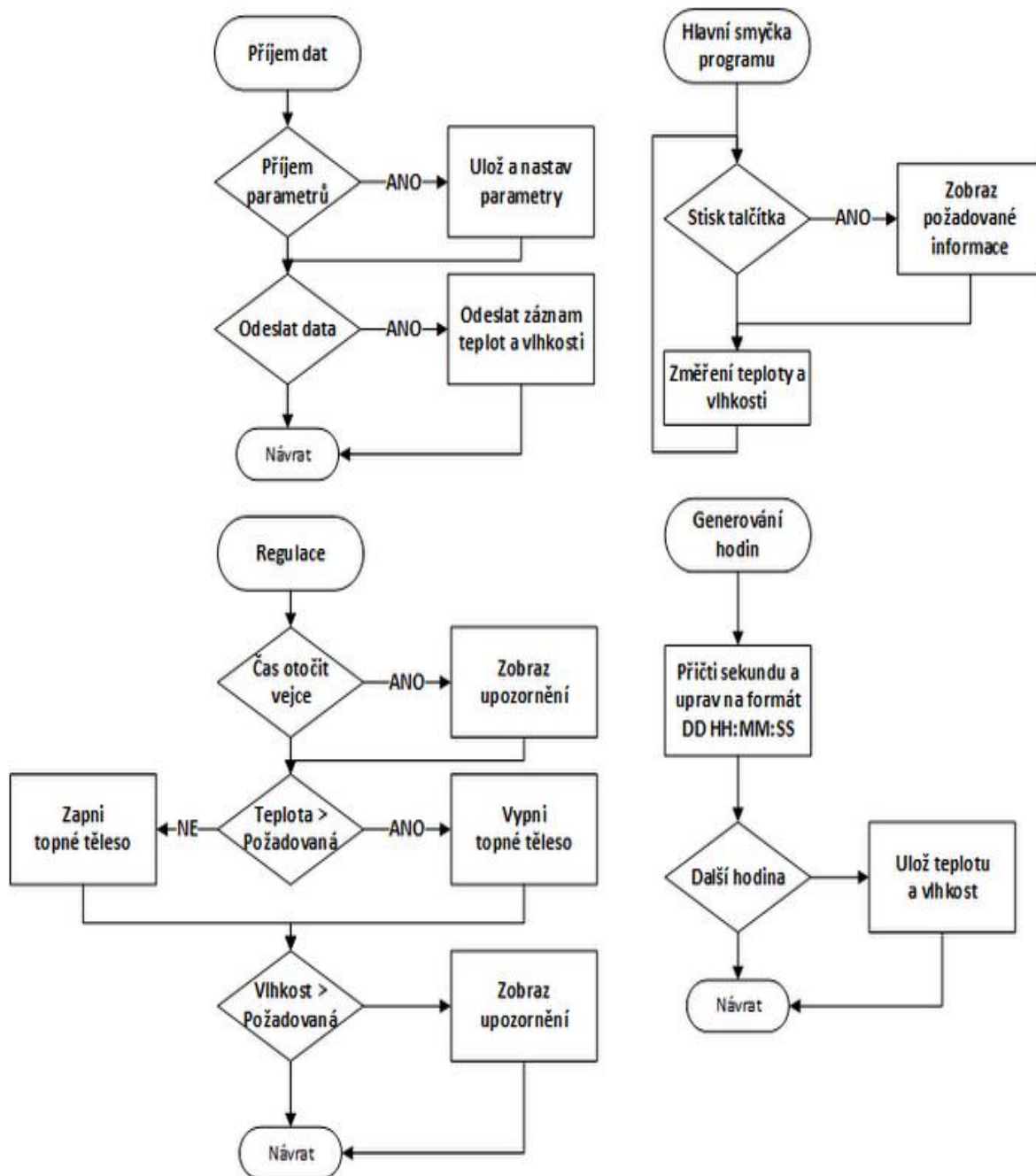
Konstrukce líhně je sestavena ze dřeva. Na líheň je použito dřevo tvrdší, protože měkké dřevo se hůře zpracovává. V horní části je nainstalovaný ventilátor, který do líhně přivádí čerstvý vzduch. Tento vzduch je ohříván a poté je rozháněn po celé líhni. Rošty na vajíčka jsou za účelem zvýšené dostupnosti umístěny na výsuvných pojezdech. Sestavená líheň je na obrázku 6.12. Konstrukční popis líhně je v příloze F.



Obrázek 6.12 –Sestavená líheň.

6.6 Firmware pro řídicí jednotu

Na obrázku 6.13 je umístěno blokové schéma firmware pro řízení líhně. Algoritmus obsahuje jak komunikaci mezi mikroprocesorem a PC, tak komunikaci s uživatelem pomocí rozhraní pro rychlý přístup. Další část algoritmu zpracovává data ze senzorů, počítá odchylky od zadaných parametrů a realizuje regulační zásahy pomocí akčních členů.



Obrázek 6.13 - Blokové schéma programu.

6.7 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní umožňuje uživatelům zařízení používat a nastavovat na něm různé režimy. Rozhraní v počítači slouží k nastavení na počátku líhnutí a záloze záznamu o průběhu líhnutí. Rozhraní pro rychlý přístup slouží ke sdělení aktuálního stavu systému uživateli pomocí jednoduchého rozhraní.

6.7.1 Rozhraní pro rychlý přístup

Rozhraní na líhni je prostředkem pro zjištění aktuálních hodnot v líhni, jako je vlhkost, teplota, čas do vylíhnutí. Další informací poskytovanou rozhraním pro rychlý přístup je čas zbývající do dalšího otočení vajec.

Na obrázku 6.14 je zobrazeno uživatelské rozhraní pro rychlý přístup. Každé ze tří zobrazených tlačítek má svou funkci (viz. Tabulka 13).

Tabulka 6.4 - Popis funkcí jednotlivých tlačítek

Tlačítko	Funkce
1	Aktuální vlhkost, potvrzení otočení vajec
2	Aktuální čas, zbývající čas do vylíhnutí
3	Aktuální teplota

Dále jsou na rozhraní umístěny tři LED diody pro signalizaci stavů. Zelená by měla svítit stále, když je vše v pořádku, žlutá by měla svítit při vyšší i nižší vlhkosti a červená svítí při potřebné synchronizaci s PC a při nevyhovující teplotě.



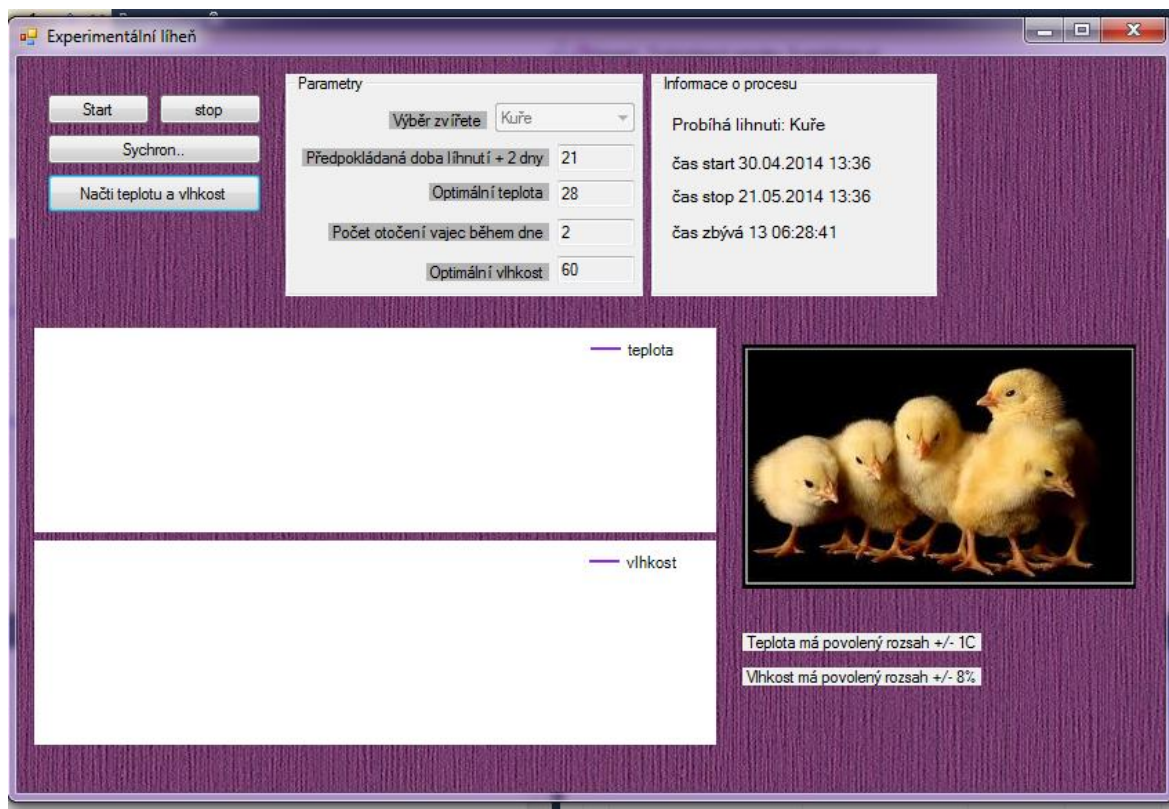
Obrázek 6.14 - Uživatelské rozhraní pro rychlý přístup na líhni.

6.7.2 Rozhraní v PC

Rozhraní v PC (viz. 6.15) je stěžejní pro navržené zařízení, protože si uživatel může vybrat druh daného zvířete, teplotu, vlhkost, dobu líhnutí i počet otočení za den. Jsou zde také grafy pro vykreslení dat, data jsou získávána pomocí USB z řídicí jednotky. Data získaná

z řídicí jednotky lze ukládat do souboru, ze kterého si je uživatel může kdykoli znovu načíst. Grafy jsou vykreslovány stisknutím tlačítka „NAČTI TEPLITU A VLHKOST“.

Dalším důležitým úkolem rozhraní je postarat se o spárování počítače s líhni, které uživatel musí provést vždy po výpadku proudu, stisknutím tlačítka „SYNCHRONIZACE“.



Obrázek 6.15 - Uživatelské rozhraní v PC.

7 Testovací měření

Cílem této kapitoly je ověření funkčnosti navrženého zařízení a kontrola splnění zadaných požadavků.

První měření teploty, bylo realizováno pro porovnání dvou použitých teplotních čidel Dallas. Obě čidla byla umístěna v líhni na stejné místo, aby byla vidět jejich rozdílnost ve změřených teplotách viz. Tabulka 7.1. V následujících měřeních jsou tyto dvě čidla zprůměrována. Z tabulky 7.1 také vyplývá, za jakou dobu se líheň dokáže vytopit na požadovanou teplotu.

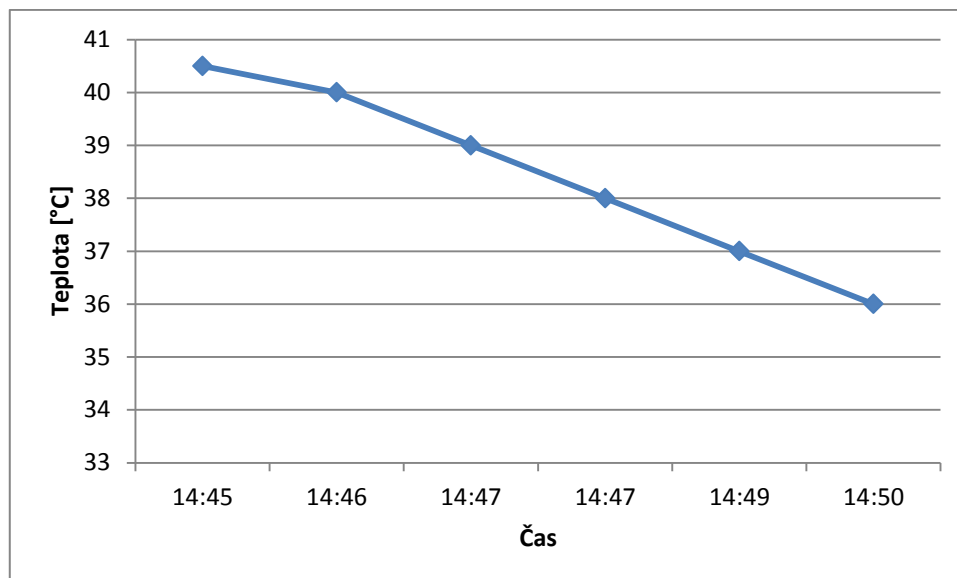
Tabulka 7.1 - Porovnání dvou teplotních čidel Dallas DS18B20.

Čas	1. Čidlo	2. Čidlo
17:10	27	29
17:11	29,5	31,5
17:12	31	33
17:13	32,5	34,5
17:14	36,5	38,5
17:15	37	39
17:16	38	40
17:17	39,5	41,5

Výsledky z testu schopnosti líhně držet teplotu po vypnutí topného tělesa je zaznamenána v tabulce 7.2. Z tabulky plyne, že teplota klesá přibližně lineárně (viz. obrázek 7.1) o jeden stupeň za minutu. To je užitečné například při chlazení vajec, které se provádí od 10. dne. V případě výpadku proudu je však třeba utěsnit větrací otvory, aby se vejce nezachladila.

Tabulka 7.2 - Klesání teploty v líhni.

Čas	Teplota v líhni
14:45	40,5
14:46	40
14:47	39
14:47	38
14:49	37
14:50	36



Obrázek 7.1- Vývoj teploty po odpojení topného tělesa.

Třetí měření teploty, bylo kalibrační, tzv. se porovnávala teplota všech použitých teplotních čidel. Teplota se měřila tak, že všechny teploměry a teplotní čidla se dali na stejné místo v lůžce, aby byly vidět rozdíly. V tabulce 7.2 je vidět, že každý teploměr a teplotní čidlo, měří jinak. Z tabulky je patrné, že použitím průměrování signálů z obou teplotních senzorů a úpravy přičtení dvou stupňů k prvnímu senzoru, bylo dosaženo teploty získané ze senzorů lůžce blízké digitálnímu venkovnímu teploměru, který byl vybrán jako hlavní referenční teploměr.

Tabulka 7.3 - Měření teploty č. 1

Čas	Typ teploměru			
	Dallas DS18B20	Venkovní digitální	Lihový zavařovací	Rtuťový lékařský
16:00	37,75	38,7	35,8	36,9
16:25	38,5	39,6	36,8	37,8
17:00	38,25	39,2	37,6	37,8
17:45	38	39,1	37,2	36,8
18:15	38,6	39,5	37,2	37,9
18:45	38,5	39,7	37,2	37,8
19:15	38,5	39,3	37,4	37,9

Čtvrté testovací měření teploty, probíhalo tak, že byla zvolena požadovaná teplota na 38°C. A odchylka od požadované teploty mohla být 1°C. Při sepnutí vytápění se také sepnul ventilátor, při vypnutí vytápění se ventilátor vypnul také. Každý druh teploměru byl připevněn na různá místa. Čidla Dallas, která jsou v lůžce použita, byla umístěna na dva protilehlé boky lůžce. Venkovní digitální teploměr byl umístěn na nejvyšší místo, tedy těsně pod topení. Lihový a rtuťový teploměr byly umístěny na dno lůžce. Část zdrojového kódu využitá pro měření regulace teploty je umístěna na obrázku 7.2.


```

if (teplota1<(pozadovana_teplota)) //porovnani teplot
{
    PORTD|=(1<<LED2); // rozsviceni led
    PORTB|=(1<<PB0); // zapnuti topeni
    LCD_POZICE(2,1);
    LCD_WRITE_STRING("nizka teplota "); // vypis hlasky na displej
}
else if (teplota1>=pozadovana_teplota) // porovnání teplot
{
    PORTB&=~(1<<PB0); // vypnutí topení
    PORTD|=(1<<LED1); // rozsvícení led
    LCD_POZICE(2,1);
    LCD_WRITE_STRING("akorat teplota");
}
}

```

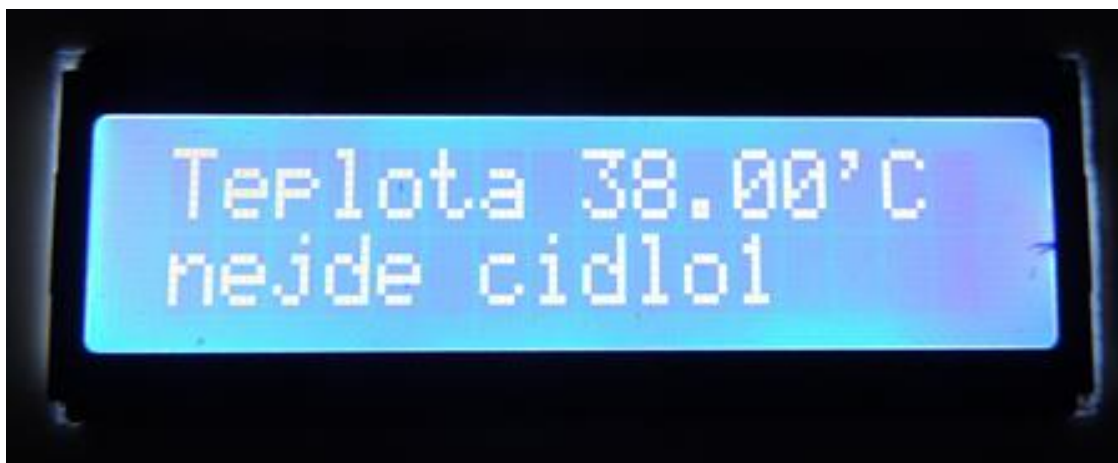
Obrázek 7.2 – Část kódu programu použitého pro testovací měření.

Výsledky měření jsou, v následující tabulce 7.4. Z tabulky je patrné, že tato možnost, kdy se ventilátor spíná se sepnutím vytápění, není nejvhodnější. Protože se líheň nestačí prohřát až do spodní části. Vhodnější bude, když se do líhně dá buď silnější ventilátor, nebo když se přidá ještě jeden ventilátor.

Tabulka 7.4 – Měření teploty č. 2

Čas	Typ teploměru			
	Dallas DS18S20	Venkovní digitální	Lihový zavařovací	Rtuťový lékařský
11:00	38,25	40,6	35,8	34
12:00	38,75	39,8	36,6	35,8
13:15	38	38,2	36,6	35,8
14:15	38,25	38,2	36,6	36,8
15:15	38,25	39,5	36,8	35,8
16:20	38,5	39,1	36,8	35,8
17:15	39	40	36,8	35,8

Důležitou součástí měření a regulace teploty je oznámení o nefunkčnosti jednoho z čidel v případě jeho poruchy. Když jedno čidlo vykáže poruchu, musí se přestat využívat průměrné teploty, v případě pokračování průměrování by mohlo dojít k uvaření, nebo zastydnutí nasazených vajec a následnému úhynu zárodků. Na obrázku 7.3 je vidět chybná hláška, která se vypíše při odejmutí jednoho z čidel. Pro detekci chybného čidla bylo využito hodnoty teploty získané z teploměru integrovaného v senzoru vlhkosti.

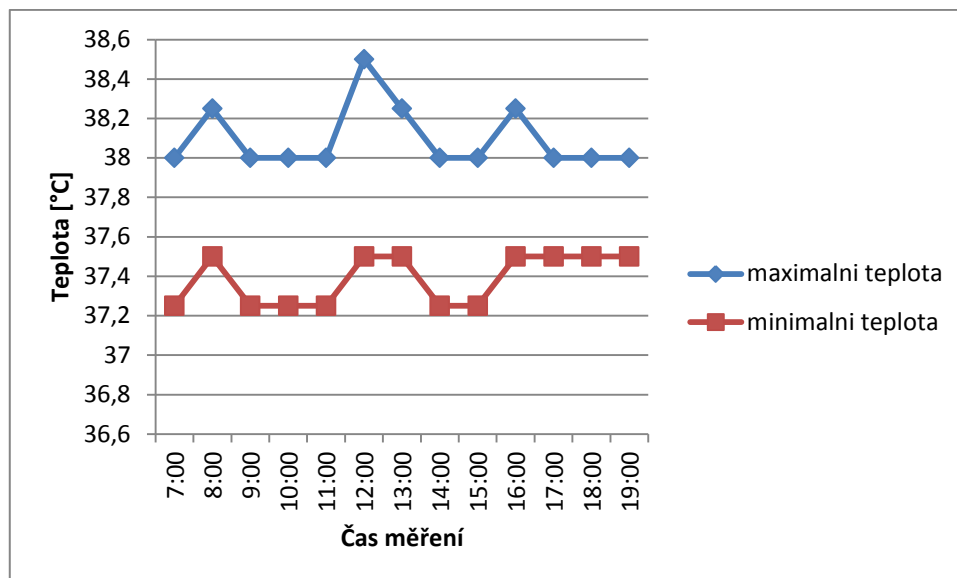


Obrázek 7.3 - Chybová hláška při výpadku jednoho z teplotních čidel.

Regulaci teploty bylo nutné vyzkoušet celodenním měřením, kdy byla zaznamenávána maximální a minimální teplota každou hodinu. Požadovaná teplota je nastavena na 38°C. Odchylka od požadované teploty byla povolena 1°C. V tabulce 7.5 je vidět, že regulace teploty v líhni odpovídá kladeným požadavkům. Na obrázku 7.4 je vidět, jak se teplota měnila, během 12hodin.

Tabulka 7.5 - Měření max. a min. teploty.

Čas	Max. teplota	Min. teplota
7:00	38	37,25
8:00	38,25	37,5
9:00	38	37,25
10:00	38	37,25
11:00	38	37,25
12:00	38,5	37,5
13:00	38,25	37,5
14:00	38	37,25
15:00	38	37,25
16:00	38,25	37,5
17:00	38	37,5
18:00	38	37,5
19:00	38	37,5



Obrázek 7.4 - Měření maximální a minimální teploty v průběhu dne.

Dalším důležitým testovacím měřením je porovnání relativní vlhkosti v líhni pomocí vestavěného vlhkoměru a referenčního vlhkoměru. Záznamy z tohoto měření jsou umístěny v tabulce 7.6. Z hodnot lze vyčíst, že tyto dva vlhkoměry měří sice rozdílně, ale odchylka měření je okolo 2% a je přibližně lineární. Vlhkost má toleranci 8 %, z toho plyne splnění požadavků kladených na toto zařízení.

Tabulka 7.6 - Měření vlhkosti č.1

Čas	Typ vlhkoměru	
	WS350 elektrobock cz [%]	Čidlo SHT11 [%]
17:00	50,6	48
17:05	51,5	48
17:10	51,6	49
17:15	52,5	50
17:20	52,7	50
17:25	53,6	51
17:30	54,5	52
17:35	53,7	52

Dalším cílem bylo zjistit, zda lze vlhkost v líhni ovlivnit bez neustálého rozprašování vody. Pro tento případ byla umístěna do líhně miska s teplou vodou. Rozdíly měření obou čidel se opět pohybují okolo 2%, vlhkost však byla úspěšně zvýšena viz. Tabulka 7.7. Pářící voda však postupně chladla a vlhkost prokázala prvotní nárůst a následný pokles, je

tedy potřeba při řízení vlhkosti použít vodu o stejné teplotě jako je teplota uvnitř líhně a úroveň vlhkosti ovlivňovat velikostí poloměru misky.

Tabulka 7.7 - Měření vlhkosti č. 2.

Čas	Typ vlhkoměru	
	WS350 elektrobock cz [%]	Čidlo SHT11 [%]
17:50	60,7	58
17:55	61,5	58
18:00	61,6	59
18:05	62,5	60
18:10	59,5	57
18:15	59,5	57
18:20	59,5	57
18:25	59,7	58

Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat líheň pro experimentální líhnutí chovného ptactva. Líheň je schopná regulovat teplotu a všechny aktuální informace zobrazuje na uživatelském rozhraní pro rychlý přístup. Dále byly do líhně implementovány některé doplňkové funkce (záznam teplot, měření maximální a minimální teploty v hodinových intervalech, detekce chybného teplotního čidla a jiné).

V teoretické části jsou popsány procesy při líhnutí, principy vlhkostních a teplotních čidel a regulačních obvodů. Procesy líhnutí byly popsány a určeny postupy pro líhnutí různých druhů vejcorodých živočichů. Procesy líhnutí pro vybrané druhy byly vybrány pro přímou implementaci do software líhně. Principy měření teploty a vlhkosti byly v této části popsány a provedeno jejich porovnání pro výběr typu senzorů pro aplikaci do výsledného zařízení. A v neposlední řadě byl v této části proveden rozbor možností regulace teploty. Pro líheň bylo vybráno k řízení teploty relé ve zpětné vazbě s hysterezí. Kde relé použít napětí na odporový drát.

V praktické části se podařilo navrhnout a sestavit líheň tak, aby měla všechny základní i nadstavbové vlastnosti. Uživatel si může nastavit všechny potřebné parametry. Nastavuje si optimální teplotu v líhni, která se může lišit o 1°C. Dále si nastavuje délku líhnutí + dva dny, které jsou potřebné pro osušení vylíhnutých mláďat. Dalším nastavitelným parametrem je vlhkost v líhni, která se může lišit o 8%. Nedílnou součástí je také parametr, kde se zadává počet otočení vajec za den. Upozornění na otočení se zobrazuje na rozhraní pro rychlý přístup, když uživatel vejce otočí, musí potvrdit jejich otočení prvním tlačítkem. Líheň také umí regulovat teplotu. Vlhkost v líhni se zobrazuje na rozhraní pro rychlý přístup, při překročení vlhkosti o 8% se rozsvítí žlutá led dioda.

Při testovacím měření teploty bylo zjištěno, že každé čidlo Dallas měří jinak, proto byla nutná jejich kalibrace. Jinak by uživatel nevěděl, jaká je v líhni teplota a regulátor by nastavoval nevyhovující teplotu. Další měření mělo prokázat, zda je odporový 200W topný drát dost výkonný, aby líheň vytopil. Teplota pro měření byla nastavena na 40°C, aby bylo možné v líhni vylíhnout např.: papoušky nebo jiné exotické druhy ptactva. Líheň se vytopila z teploty 28°C na 40°C za 7minut. Líheň by měla být navržena tak, aby uchovávala co možná nejdéle teplotu. Teplota v naší navržené líhni klesá s každou minutou o 1°C. Při testovacím měření v celé líhni bylo zjištěno, že ve spodní části líhně není tak vysoká teplota, jako v horní polovině líhně. Což je tím, že byl zvolen slabý ventilátor na to, aby dokázal rozehnat teplý vzduch po celé líhni. Poslední měření teploty, které probíhalo celý den, bylo měření maximální a minimální hodnoty teploty za jednu hodinu. Teplota tohoto měření byla nastavena na 38°C. Výsledkem je, že teplota nespadla pod 37,25°C a maximální teplota se nevyšplhala nad 38,5°. Regulace je tedy nastavená správně.

Při měření vlhkosti, bylo zjištěno, že vlhkoměr funguje správně. Dalším zjištěním bylo, že při přidání misky s vodou se nám vlhkost zvýší o 10%. Toto zjištění se hodí pro líhnutí vodního ptactva.

Sestavená líheň je připravena na různé změny. Do roštů lze přidat dřevěné válce, které budou obstarávat automatické otáčení vajec. Je potřebné také vybavit líheň druhým ventilátorem, který pomůže ventilátoru stávajícímu rozhánět teplý vzduch.

Závěrem lze konstatovat, že zadání bakalářské práce bylo splněno, líheň je sestrojena a funkční, což bylo prokázáno sadou testovacích měření.

Literatura

- [1] *Líhně pro drůbež, plazy, papoušky a ostatní ptáky* [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: www.lihne.cz
- [2] Fyzika.jreichl. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006, 2014 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com>
- [3] *Tepelné vlastnosti* [online]. 2000 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/zkousky/tepelne-vlastnosti/tepelne-vlastnosti>
- [4] MIKULČÁK, Jiří, Jura CHARVÁT, Martin MACHÁČEK a František ZEMÁNEK. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Praha: Prometheus, 2007.
- [5] FRIBERT DR., Ing. Miroslav. *Měření technologických veličin: Výukové texty*. 2012.
- [6] KREIDL CSC., Doc. Ing. Marcel. *Měření teploty: senzory a měřící obvody*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-145-4.
- [7] FEXA, CSC., Ing. Josef a Ing. Karel ŠIROKÝ, CSC. *Měření vlhkosti*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983.
- [8] Měření vlhkosti vzduchu. In: *ČVUT* [online]. 2006 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>
- [9] Rosný bod. In: *TermoObraz.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.htprint.cz/termo/rosnybod.html>
- [10] RADA, CSC, Ing. Václav. *Teorie měření a regulace* [online]. [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/> (<http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-02.pdf>)
- [11] Hotset. *Hotset.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.hotset.cz/topne-elementy/>
- [12] ŠVARC, CSC., Doc. Ing. Ivan, Doc. RNDr. Ing. Miloš ŠEDA PH.D. a Prog. Ing. Miluše VÍTEČKOVÁ CSC. *Automatické řízení*. Cerm. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3491-2
- [13] Regulovaný obvod. *Elektrotechnika* [online]. 2005 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: elektrotechnik.wobo.cz
- [14] Datasheet DS18B20. 2008, 22 s. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [15] Datasheet SHT11. 2011, 12 s. Dostupné z: http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf
- [16] Datasheet FTDI FT232R. 2010, 43 s. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf

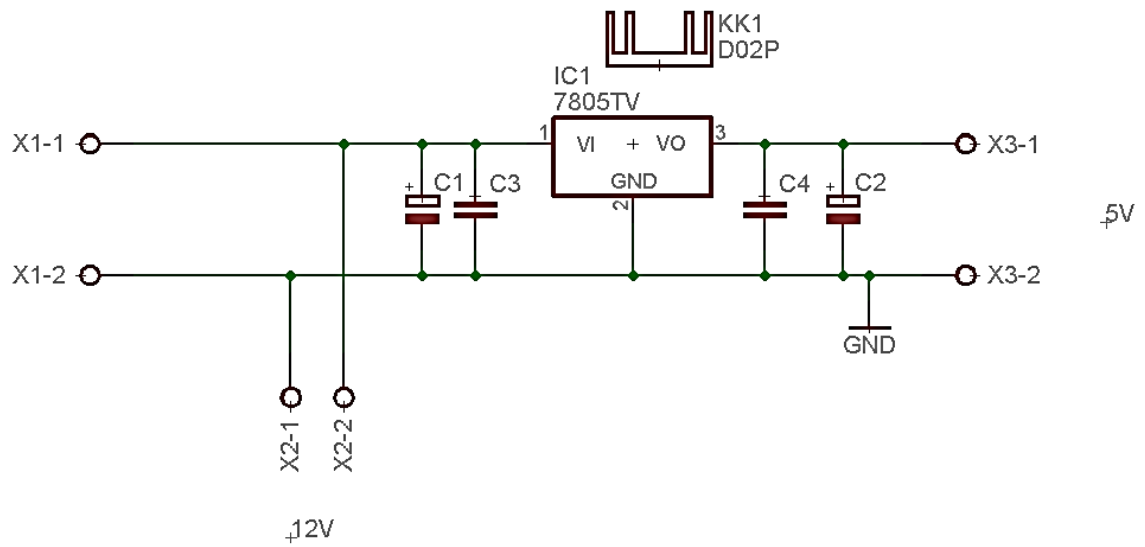
[17] KLÁN, Petr. *Komerční využívané pokročilé metody nastavování PID regulátorů*. 2008, 10 s.
Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/pps/test/automa09.pdf>

8 Přílohy

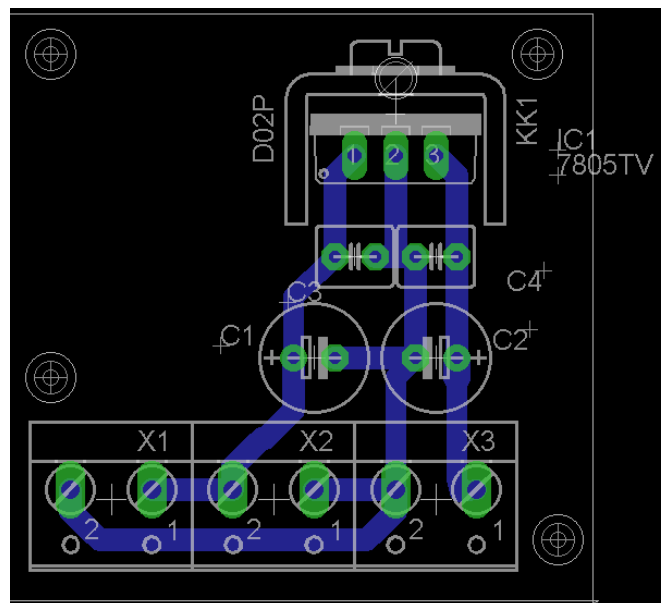
Příloha A – Tabulka

Druh ptactva	Celkový čas nutný k inkubaci (dny)	Teplota v líní(°C)	Vlhkost v líní(%)	Přesun do dolíhne(dny)	Teplota v dolíhni(°C)	Vlhkost v dolíhni(%)
Kanár	13-14	38,05	50-55	11	37,2	65-70
Slepice	21	37,5	45-50	18	37,3	65-70
Krůta	28	37,5	45-50	25	37,5	65-70
Bažant	24-25	37,5	45-50	21	37,5	65-70
Husa domácí	30	37,8	60	27	37,5	70-80
Husa (různé druhy)	22-30	37,5	60	27	37,5	70-80
Páv	28-29	37,5	45-50	25-26	37,0	65-70
Korela chocholátá	18-20	37,5	50-55	15-18	37,2	65-70
Kakadu	22-30	37,3	50-55	20-27	37,2	65-70
Aratinga(zlatý)	28	37,3	50-55	25	37,2	65-70
Aratinga(jiné druhy)	21-30	37,5	50-55	18-27	37,2	65-70
Hrdlička	14	37,5	50	12	36,9	65-70
Kachna(většina druhů)	28	37,8	55	25	37,5	70-80
Kachna pižmová	35-37	37,7	60	31-33	37,5	70-80
Zebříčka	14	37,5	50	12	37,2	65-70
Bělokur	24-25	37,5	45-50	22	37,2	65-70
Perlička	26-28	37,8	45-50	25	37,5	65-70
Alexandr	22-25	37,2	45-50	20-22	37,2	65-70
Ara	26-28	37,3	45-50	23-25	37,2	65-70
Loskuták	14	38	45-50	12	37,2	65-70
Alka	18-26	37,5	45-50	15-23	37,2	65-70
Andulka	18	37,5	45-50	15	37,2	65-70

Příloha B – deska zdroje

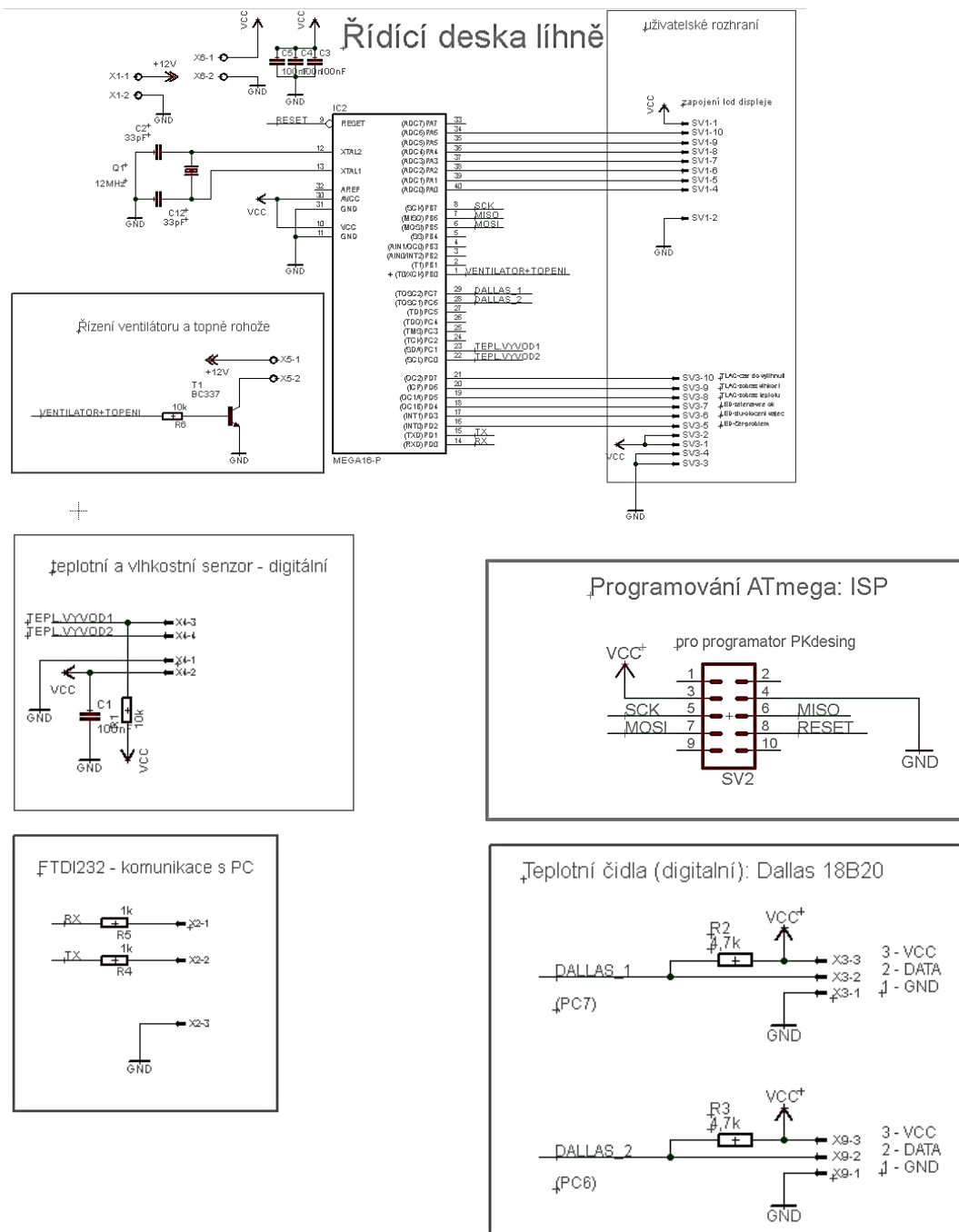


Obrázek 8.1 - Schéma zapojení desky zdroje.

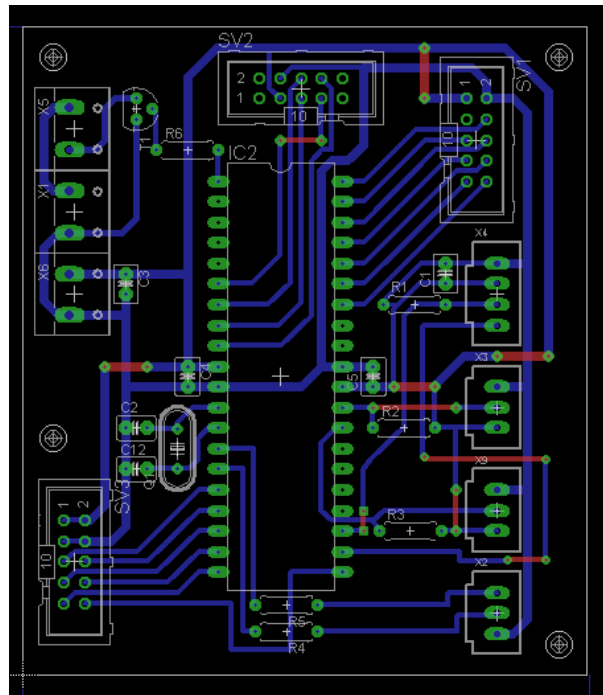


Obrázek 8.2 - Návrh desky zdroje.

Příloha C – Řídící deska lůžně

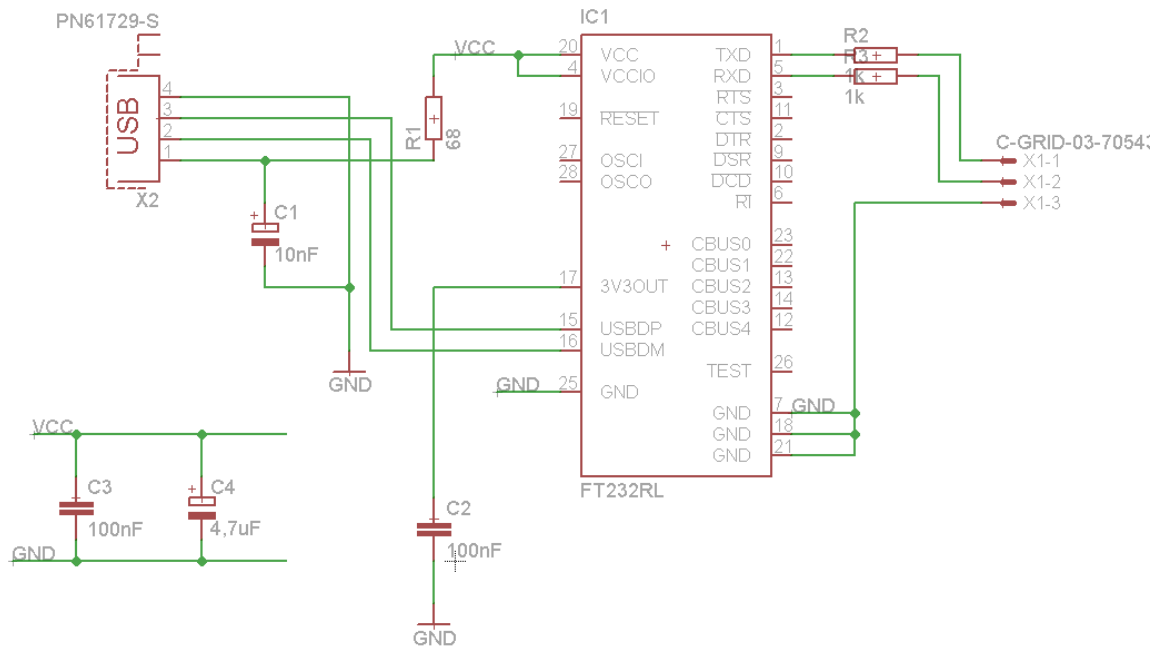


Obrázek 8.3 - Schéma zapojení řídicí desky.

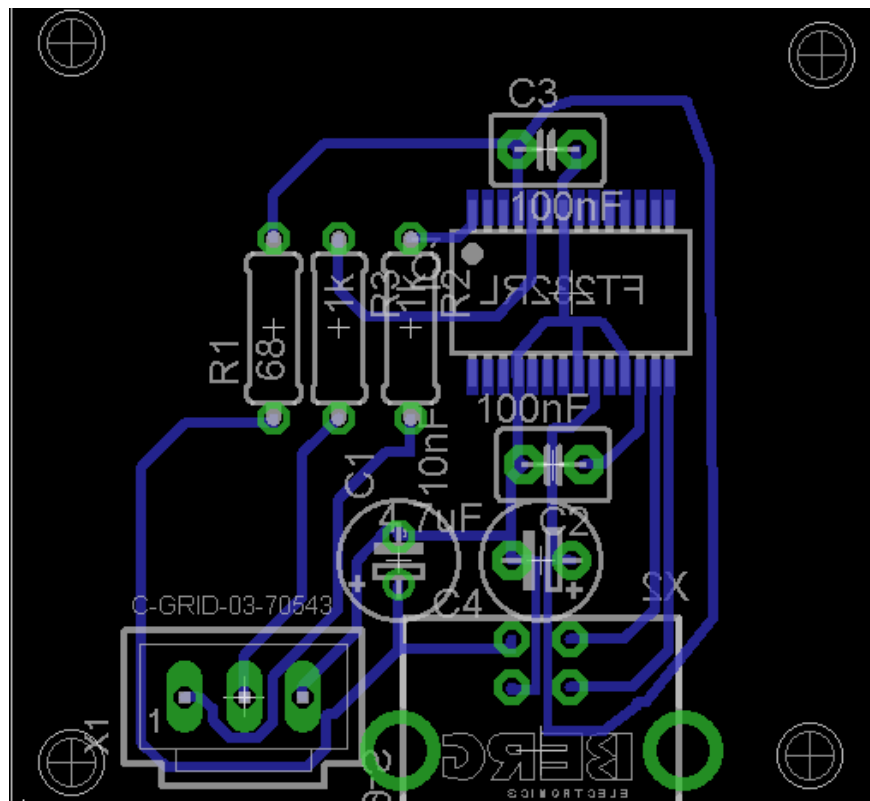


Obrázek 8.4 - Návrh řídicí desky.

Příloha D – deska s FTDI

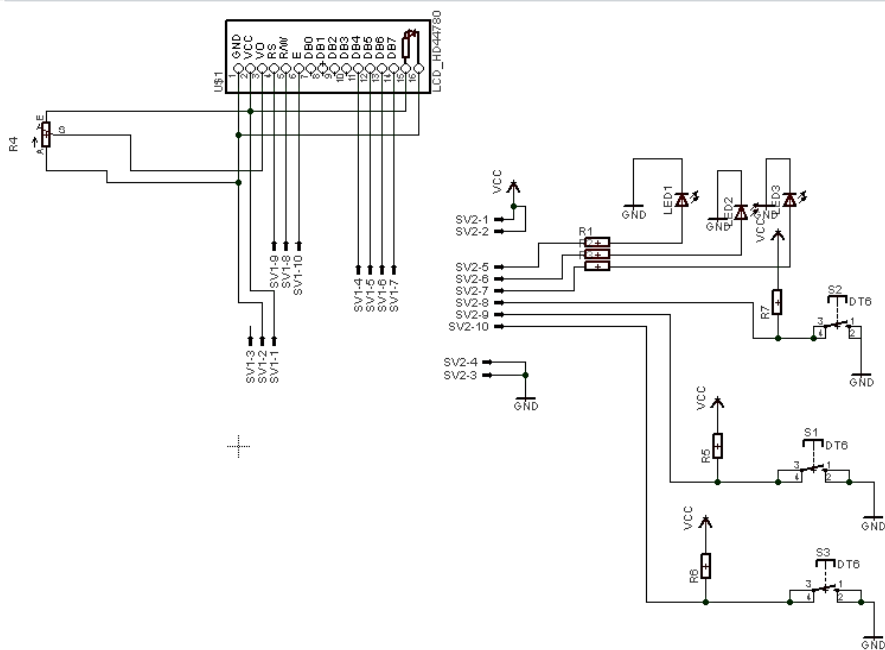


Obrázek 8.5 - Schéma zapojení řídicí desky.

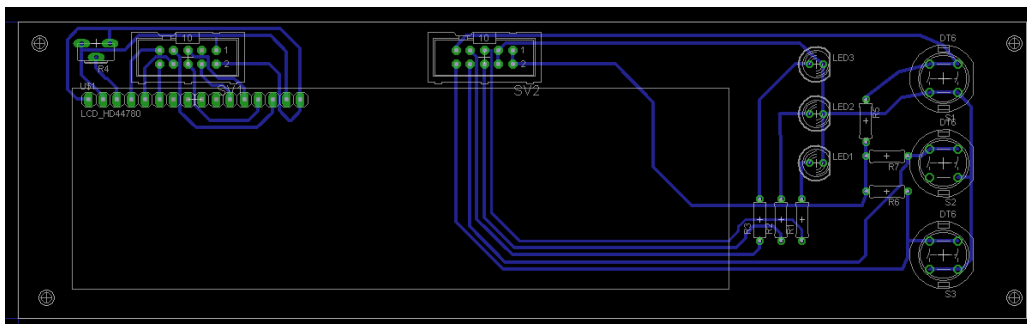


Obrázek 8.6 - Návrh řídicí desky.

Příloha E – deska uživatelského rozhraní

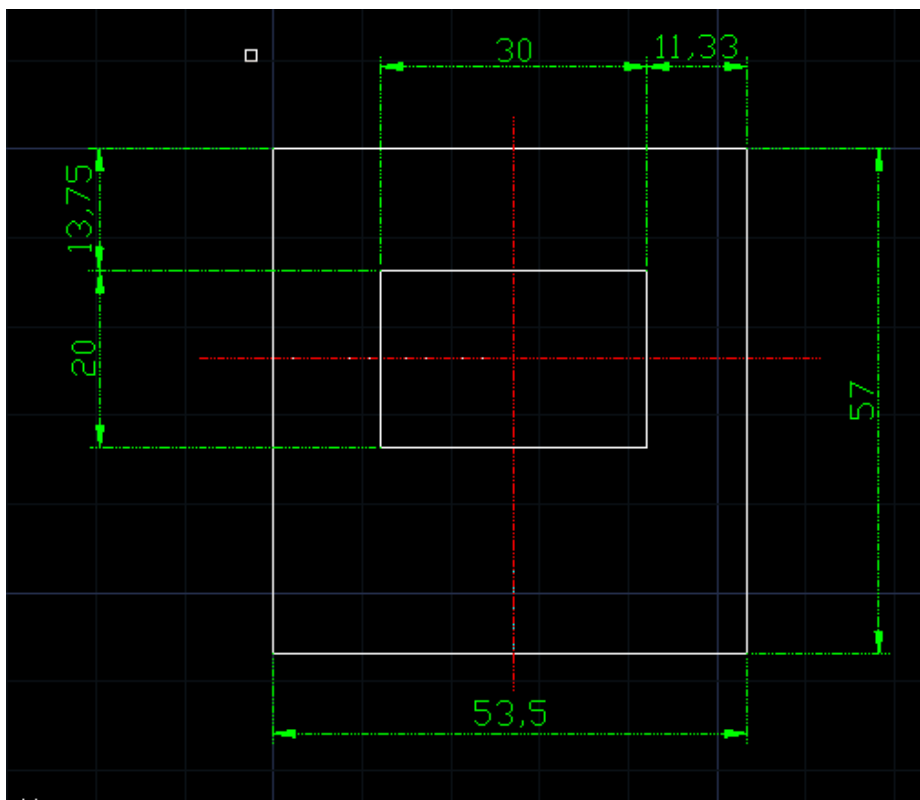


Obrázek 8.7 - Schéma zapojení desky uživatelského rozhraní.

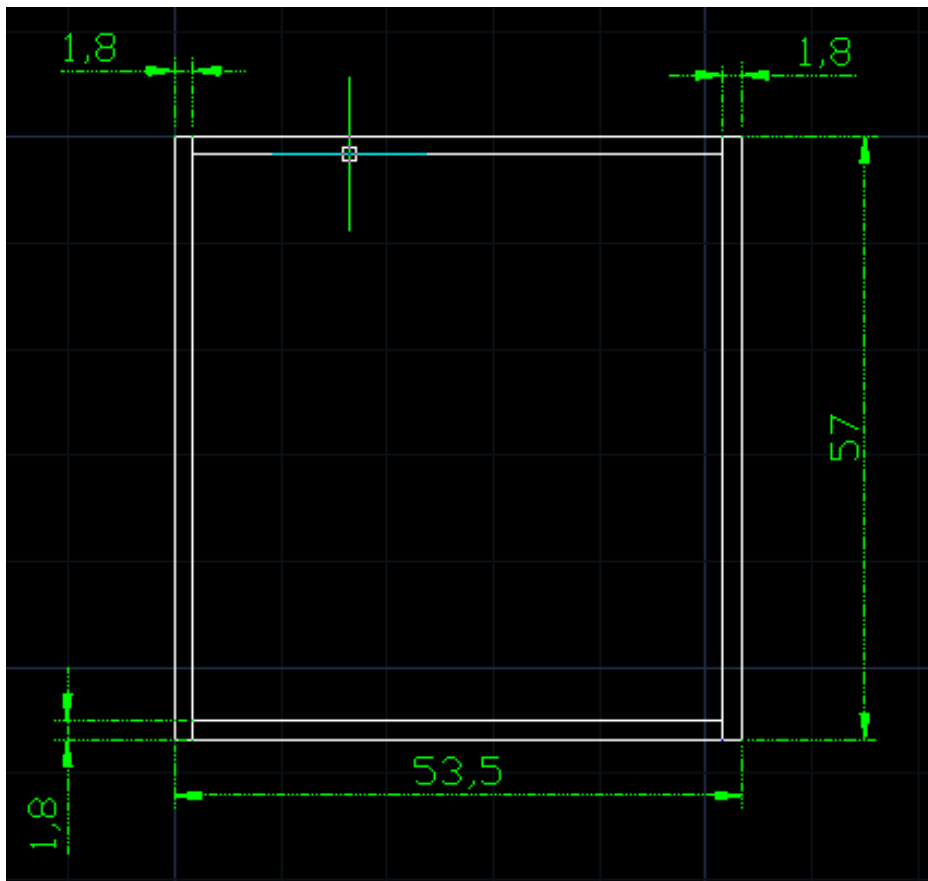


Obrázek 8.8 - Návrh desky uživatelského rozhraní.

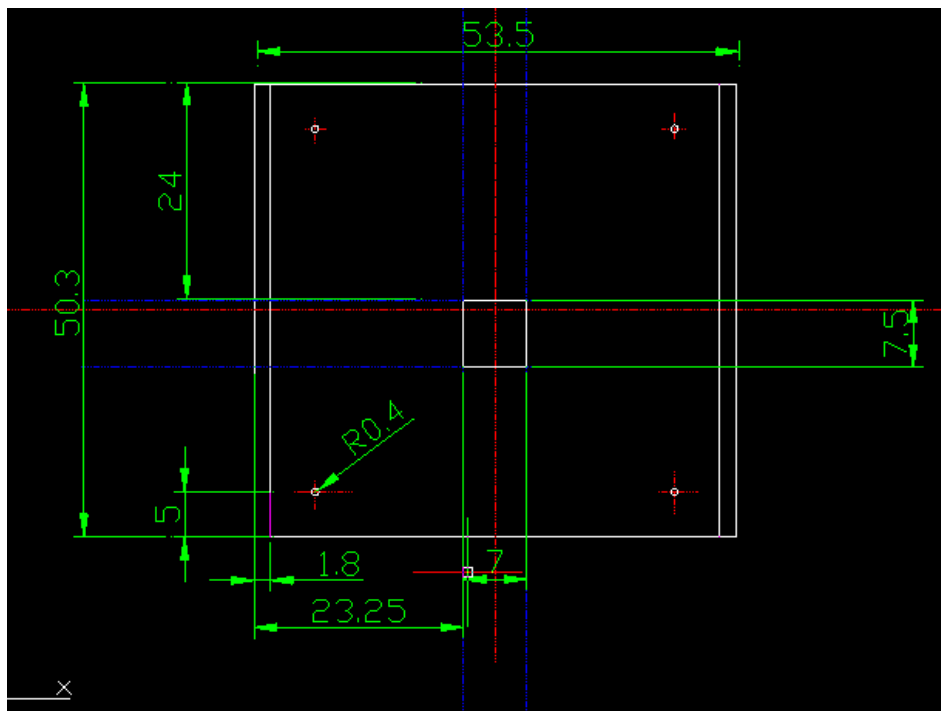
Příloha F – Návrh líhně



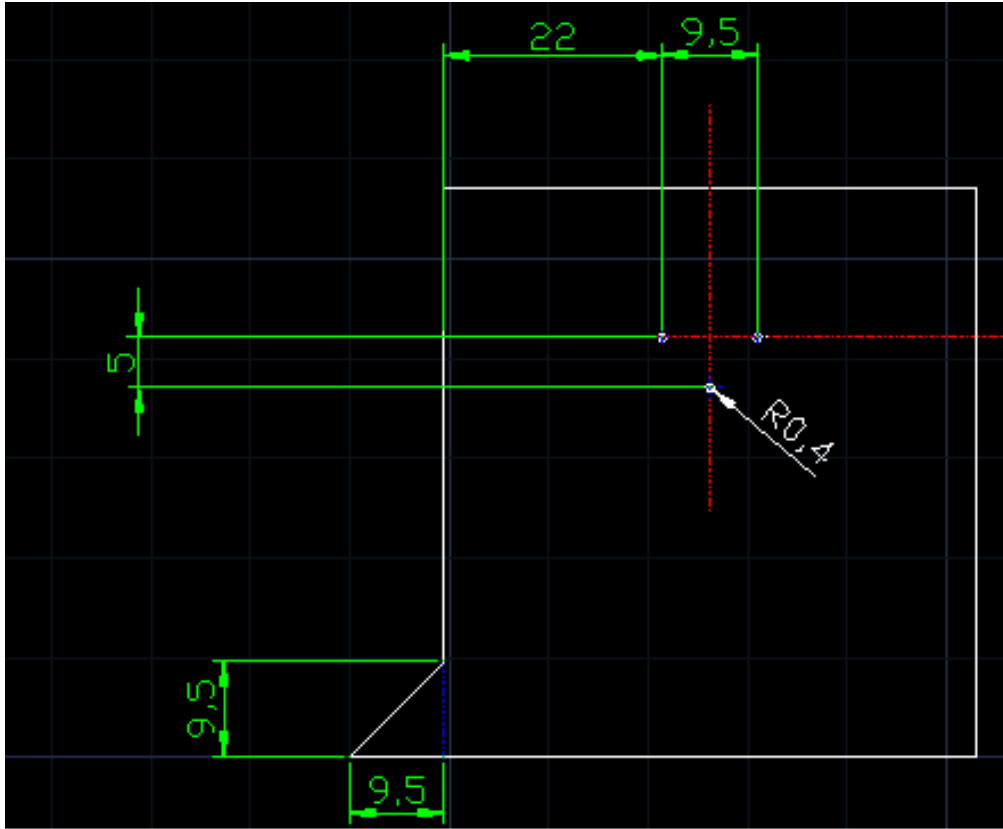
Obrázek 8.9 - Návrh - přední strana.



Obrázek 8.10 - Návrh - zadní strana.



Obrázek 8.11 - Návrh - vrchní strana.



Obrázek 8.12 - Nákres - boční strana