

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Pavel Jičinský

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Modulární systém líhni pro malou farmu

Pavel Jičínský

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Jičínský**  
Osobní číslo: **I14007**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**  
Název tématu: **Modulární systém líhni pro malou farmu**  
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhněte a realizujte modulární systém líhni pro malou farmu. Každá líheň je řízena vhodným typem mikrokontroléru, který udržuje zvolenou teplotu a zajišťuje naklápění vajec. Mikrokontrolér také zaznamenává aktuální teplotu v líhni do EEPROM. Napájení líhně je zálohováno akumulátorem tak, aby při výpadku napájení sítě nebyla činnost narušena. Líhně jsou připojeny k počítači vhodnou sběrnici. Počítač neřídí činnost líhni, pouze sleduje stav líhni a zobrazuje průběhy líhnutí.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **40 stran A4**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**MATOUŠEK, David. Aplikace mikrokontrolérů ATmega644. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2013, ca 200 s. v různém stránkování. ISBN 978-80-7300-492-7.**

**VÁŇA, Vladimír. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C : popis a práce ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR C. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 215 s. ISBN 80-730-0102-0.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. David Matoušek**

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **31. října 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **12. května 2017**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.  
děkan



L.S.



Ing. Jan Pidanič, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2016

## Prohlášení autora

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

Byl jsem seznámen 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

podpis autora  
Pavel Jičínský

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu Ing. Bc. Davidu Matouškovi za cenné rady při návrhu elektronického zařízení líhně a především svým rodičům za pomoc při obstarávání materiálu a za pomoc při návrhu a konstrukci mechanické části projektu.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací modulárního systému líhni drůbeže. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývá stručným popisem požadavků na líhně, popisem procesu líhnutí a možnostmi řešení dílčích úloh spojených s líhnutím. Praktická část se zabývá samotnou realizací projektu, programováním a výběrem vhodných součástí a technologií.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

líheň, drůbež, vejce, líhnutí, vývoj, mikrokontrolér

## **TITLE**

Modular system of egg incubators for small farm

## **ANNOTATION**

The bachelor thesis deals with designing a realization of modular system of egg incubators for poultry. The thesis is divided into theoretical and practical parts. The theoretical part deals with brief description of requirements for incubators, incubating process and possibilities of choosing suitable components and technologies. The practical part deals with the physical realization of the project, programming and choosing suitable components and technologies.

## **KEYWORDS**

incubator, poultry, egg, development, microcontroller

# OBSAH

Úvod.....	13
1 Teoretická část .....	14
1.1 Líhnutí.....	14
1.1.1 Líhně .....	14
1.1.2 Požadavky pro správné líhnutí.....	14
1.1.3 Líhnutí v přírodě .....	15
1.1.4 Průmyslové líhnutí.....	15
1.1.5 Domácí líhnutí .....	16
1.1.6 Parametry líhnutí pro jednotlivé druhy .....	16
1.1.7 Vhodná vejce pro líhnutí.....	16
1.2 Možnosti realizace .....	18
1.2.1 Vytápění líhně.....	18
1.2.2 Napájení líhně .....	20
1.2.3 Regulace teploty .....	21
1.2.4 Měření teploty.....	23
1.2.5 Naklápění vajec.....	26
1.2.6 Řídicí obvod.....	27
2 Praktická část .....	29
2.1 Návrh a realizace.....	29
2.1.1 Koncepce modulárního systému líhni.....	29
2.1.2 Napájecí systém .....	29
2.1.3 Topné těleso .....	32
2.1.4 Teplotní senzor .....	33
2.1.5 Systém naklápění vajec.....	34
2.1.6 Mechanická část.....	35
2.1.7 Návrh a popis funkce obvodů .....	36



2.1.8	Programové vybavení .....	42
2.1.9	Komunikace s PC.....	49
2.1.10	Monitorovací aplikace .....	50
2.2	Porovnání s komerčními líhněmi .....	52
Závěr	.....	54
Seznam zdrojů.....		55
PŘÍLOHA – CD.....		58

## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 - Průmyslová líheň [2].....	15
Obrázek 2 - Tvar vajec [3].....	17
Obrázek 3 – Základní blokové schéma líhně.....	18
Obrázek 4 - Příklad domácí líhně s vyhříváním žárovkou [4].....	19
Obrázek 5 – Příklad dvoustavového regulátoru teploty [5].....	22
Obrázek 6 - VA charakteristika tyristoru [6].....	22
Obrázek 7 - Triaková regulace – princip [7].....	23
Obrázek 8 – Teploměr s termočlánkem [10].....	25
Obrázek 9 - Závislost odporu termistorů na teplotě [11].....	26
Obrázek 10 - Automatické naklápění vajec [13].....	27
Obrázek 11 - Blokové schéma napájecího systému.....	30
Obrázek 12 - Použitý spínaný zdroj [14].....	30
Obrázek 13 - Obvod přepínače [15].....	31
Obrázek 14 - Topná fólie [16].....	33
Obrázek 15 - Systém otáčení vajec.....	34
Obrázek 16 - Vejce v líhni.....	35
Obrázek 17 - Hliníkový rám líhně.....	36
Obrázek 18 - Schéma napájecího zdroje.....	37
Obrázek 19 - DPS napájecího zdroje.....	38
Obrázek 20 - Schéma řídicího obvodu.....	40
Obrázek 21 – DPS řídicího obvodu.....	41
Obrázek 22 - Režim nového líhnutí.....	48
Obrázek 23 - Pokračování v líhnutí.....	48
Obrázek 24 - Informace o líhnutí.....	48
Obrázek 25 - UART sběrnice [22].....	49
Obrázek 26 - Komunikace po UART.....	49
Obrázek 27 - Komunikační obvod.....	50
Obrázek 28 - Dotaz na líhně na sběrnici.....	51
Obrázek 29 - Monitorování stavu líhně.....	51

## **SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK**

I2C	Inter-integrated circuit
MCU	Microcontroller unit
OZ	Operační zesilovač
PWM	Pulse width modulation
SPI	Serial peripheral interface
UART	Universal asynchronous receiver transmitter

## SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1 - Index tvaru vejce .....	17
Rovnice 2 - Ztrátový výkon rezistoru .....	20
Rovnice 3 - Závislost odporu kovu na teplotě .....	24
Rovnice 4 - Vyjádření teploty z rovnice 3 .....	24
Rovnice 5 - Napětí na termočláncu .....	25
Rovnice 6 - Schockleyho rovnice diody .....	26
Rovnice 7 - Požadovaná kapacita EEPROM .....	41
Rovnice 8 - Frekvence PWM signálu .....	42
Rovnice 9 - Výpočet UBRR .....	44
Rovnice 10 - Nastavení CTC režimu .....	44

## ÚVOD

Hlavním cílem této práce je návrh a zhotovení plnohodnotného řešení pro líhnutí drůbeže v domácích podmínkách. Realizované řešení by mělo dosahovat vysoké účinnosti líhnutí, mělo by disponovat snadnou obsluhou a mělo by umožňovat zálohování napájení v případě výpadku dodávek elektrického proudu. Dále by se mělo jednat o plně automatické líhně, vyžadující jen minimální zásahy obsluhy v době líhnutí. Realizované zařízení by mělo umožňovat připojení k PC, které by sloužilo k monitorování stavu líhnutí a zobrazení průběhu teploty v líhni. Zařízení by samozřejmě mělo být zkonstruováno v souladu se zásadami bezpečnosti práce s elektrickými zařízeními a mělo by být schopné nepřetržitého provozu po celou dobu líhnutí, čili zhruba měsíc nepřetržitého provozu.

Osobním cílem této práce je zkonstruovat zařízení tak jednoduché na obsluhu, aby jej mohly provozovat i osoby neznalé práce s elektrickými zařízeními. Dále je cílem sestavit většinu realizovaného zařízení za použití pouze běžně dostupných prostředků a náradí. Posledním osobním cílem je zařízení sestavit tak, aby jeho výsledná cena byla menší, nebo srovnatelná s běžně dostupnými komerčními řešeními dané problematiky. Jinými slovy je cílem se zbavit závislosti na kupovaných líhních, které často nedosahují dobrého poměru cena/výkon a často není možné je v domácích podmínkách v případě poruchy opravit.

Teoretická část práce se zabývá stručným popisem procesu líhnutí. Je v ní popsán proces líhnutí v přírodě, ze kterého byly odvozeny postupy pro líhnutí v umělých podmínkách, ať už v průmyslu, nebo v domácím prostředí. Teoretická část dále popisuje požadavky pro správné líhnutí, například z jakých vajec je výhodné líhnout. Poslední částí teoretické části je rešerše možných řešení jednotlivých funkčních bloků líhně, například řešení vytápění líhně.

Praktická část obsahuje kompletní postup návrhu a realizace systému líhni. Je uspořádána přesně tak, v jakém sledu byly řešeny jednotlivé dílčí problémy. Zabývá se konkrétním výběrem dílčích prvků na základě rešerše z teoretické části a programování použitých mikrokontrolérů. Poslední částí je porovnání realizovaného řešení pro líhnutí drůbeže v domácích podmínkách s běžně dostupnými komerčními řešeními.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část obsahuje stručný popis procesu líhnutí a rešerši možností realizace jednotlivých funkčních bloků automatické líhně.

## 1.1 Líhnutí

Následující kapitola stručně popisuje proces líhnutí drůbeže, požadavky pro správný vývoj mláďat a procesy k nimž dochází při líhnutí v různých podmínkách.

### 1.1.1 Líhně

Pod pojmem líheň se rozumí elektromechanické zařízení, jehož hlavním cílem je zajistit správný a ekonomicky výhodný vývoj vajec, ať už drůbeže, nebo jiných, z vajec rozených živočichů. Správným vývojem se rozumí správnost z biologického hlediska. Vhodnými zásahy do fyzikálních vlastností prostředí, v němž se zvířata z vajec vyvíjí, a jemuž se říká líheň, lze dosáhnout vysoké *líhivosti* [1], což se dá chápat jako poměr dobře vyvinutých jedinců k počtu líhnutých vajec. Je jasné, že z ekonomického hlediska je zapotřebí zajistit líhivost co nejvyšší.

### 1.1.2 Požadavky pro správné líhnutí

K zajištění správného vývoje je především nutné udržovat v líhni, nebo jiném prostředí, kde probíhá líhnutí, konstantní a předem definovanou teplotu. Doporučená teplota pro správný vývoj drůbeže, především slepic, hus a kachen se pohybuje v rozmezí 37,1 – 37,9 °C. Dále je nutné říci, že teplota v líhni nesmí, za žádných okolností, přesáhnout teplotu 42 °C, při níž dochází k úhynu takřka všech nasazených vajec, a to v řádu jednotek minut. Vejce se musí také někdy chladit, aby se zárodky nepřehřály, nejčastěji jednoduchým odstavením topného elementu, nebo přirozenou cirkulací vzduchu.

Další nezbytnou částí vývoje vajec je jejich obracení, případně naklápění. To je zapotřebí provádět pravidelně v průběhu celého líhnutí. Důvodem je fakt, že se zárodek, který je dlouho v jedné poloze, přilepí na vnitřní povrch skořápky. Při ponechání vejce a zárodku v tomto stavu dochází k odumírání přilepeného zárodku z důvodu nedostatečného prokrvení, nebo vylíhnutí neduživého, či jinak handicapovaného mláděte. V prvních dnech vývoje, kdy zárodek ještě nemá vyvinutý oběhový systém, navíc obracení vajec napomáhá správnému vývoji, protože dochází k promíchávání žloutku a tím k rovnoměrné distribuci potřebných živin.

Dalším, ale už méně důležitým krokem je udržování vlhkosti v prostřední líhnutí, čehož se běžně dosahuje vložení misky s vodou, nebo zavěšením vodou nasáklého hadru, z něhož se voda v průběhu líhnutí odpařuje a zvlhčuje vzduch. Běžně se také vejce ručně kropí rozprašovačem na vodu.

### 1.1.3 Líhnutí v přírodě

Veškeré znalosti, které lidé o problematice umělého líhnutí získali, byly z pozorování líhnutí v přírodě. Při líhnutí drůbeže v přírodě, nebo dnes lépe říci ve volném chovu, se o celý proces líhnutí stará samice, která vejce snesla. Samice snese vejce do slámy, nebo jiným přírodním izolantem vystlaného hnízda, kde se o ně stará až do vylíhnutí. Svým tělem udržuje teplotu vajec tím, že na nich sedí a zahřívá je. Vejce navíc pravidelně zobákem a pařáty obrací, aby nedocházelo k odkrvení zárodků. Je zajímavé, že samice dokáže v průběhu líhnutí identifikovat vejce, ze kterých se nic nevylíhne a vyčlení je.

### 1.1.4 Průmyslové líhnutí

Průmyslové líhnutí přesně kopíruje průběh líhnutí v přírodě, jen se tak děje v mnohem větším měřítku a s mnohem vyšší líhivostí, protože jsme například schopni udržovat teplotu v přesném rozmezí, což slepice nedokáže. V průmyslovém líhnutí se také vejce občas musí chladit, aby se zárodky nepřehřály, což má analogii také u přírodního líhnutí, kdy slepice občas odběhne od hnízda, aby se najedla a podobně. Průmyslová líheň je nejčastěji zařízení, které zabírá plochu několika běžných místností. Uvnitř se nachází naklápěcí police se sloty na vejce. Tyto police jsou uspořádány jako regály.



Obrázek 1 - Průmyslová líheň [2]

Místnosti v nichž se líhnutí provádí jsou opatřeny systémy důmyslného vyměňování a ohřívání vzduchu. Mládě po vylíhnutí v takovéto líhni putuje do tzv. dolíhně, kde se udržuje nižší teplota, než při líhnutí. Mláďata zde zakončí svůj vývoj.

### 1.1.5 Domácí líhnutí

V domácích podmínkách se při použití správné líhně můžeme přiblížit líhivosti průmyslových líhní. Nejčastějšími problémy domácího líhnutí je nemožnost udržování správné teploty a především výpadky napájení líhně. Oba problémy se již na naší farmě staly příčinou ztráty kompletní nakládky vajec. Dále je nutné dodržovat pravidelný režim naklápění vajec. To platí především pro líhně s poloautomatickým naklápěním, nebo bez naklápění. Líhně s poloautomatickým naklápěním obsahují kompletní mechanismus pro naklápění vajec, který však není automaticky řízen a vyžaduje zásah obsluhy. Obsluha tedy musí dodržovat časové intervaly mezi otáčením vajec a ve správnou chvíli vejce otočit. Tyto líhně jsou většinou vybaveny pákou, která se nachází na těle líhně a jejímž otočením se najednou otočí všechna vejce. U líhní bez naklápění vajec je třeba každé vejce fyzicky otočit. Je vhodné si u vajec označit jednotlivé strany a tím zamezit chybě při zapomenutí otočení vejce. U těchto líhní má tedy na výslednou líhivost největší vliv lidský faktor.

### 1.1.6 Parametry líhnutí pro jednotlivé druhy

Různé druhy drůbeže vyžadují různé parametry líhnutí. V tabulce 1 [1] jsou shrnuty nejdůležitější parametry líhnutí pro nejčastěji líhnuté druhy na naší farmě.

Tabulka 1 – přehled parametrů pro líhnutí jednotlivých druhů drůbeže

Druh drůbeže	Teplota líhnutí [°C]	Délka inkubace [dny]
Slepice	37,6 - 37,8	21-22
Husy	37,1 - 37,7	28-31
Kachny	37,4 - 37,9	26-28

Z tabulky 1 je patrné, že teplota je téměř stejná pro všechny uvedené druhy. Dále je vidět, že líhnutí probíhá téměř celý měsíc, což klade na líheň velké požadavky, co se týče spolehlivosti.

### 1.1.7 Vhodná vejce pro líhnutí

Pro správné líhnutí je po bezvadně fungující líhni nejdůležitější výběr vajec pro líhnutí. Tato zdánlivě banální věc má při zanedbání fatální následky v podobně úhynu zárodku během líhnutí, nebo bezprostředně po vylíhnutí, nebo vylíhnutí mláděte s různými tělesnými vadami.



Před každým líhnutím je třeba vejce po vejci prohlédnout a nevyhovující vyřadit. Nejdůležitějšími parametry násadových vajec jsou velikost, tvar vajec, stav skořápky a stáří vajec.

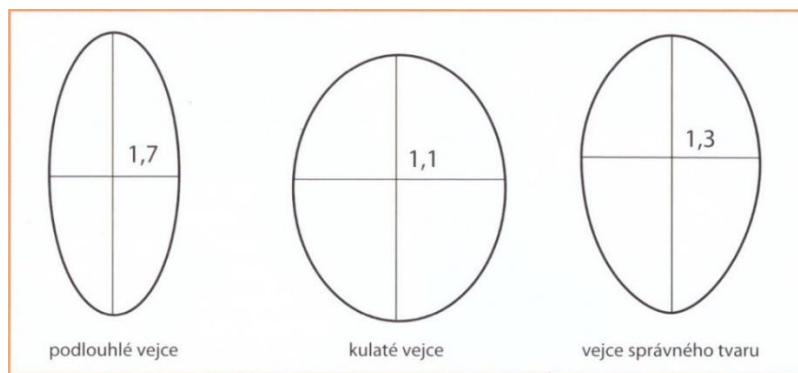
**Velikost vejce** by měla odpovídat předem dané hmotnosti uvedené ve vzornících plemen. Pro líhnutí není vhodné vybírat vejce ani malá, ani velká. Z malých vajec se vyvíjí malá a neduživá mláďata. Tato mláďata mají menší tělo, tím pádem i vnitřní dutiny a menší vnitřní orgány. Když se takovému mláděti podaří dospět, snáší opět malá vejce a kruh se uzavírá. Obdobně nevhodná jsou vejce velká, u nichž hrozí že mohou obsahovat dva žloutky.

**Tvar vajec** musí opět splňovat předepsané parametry podle vzorníků. Vejce musí mít správný, tzv. „vejčitý“ tvar, což znamená, že nejsou ani kulatá, ani podlouhlá. Tvar vajec se posuzuje pomocí indexu tvaru vejce, který se stanoví podle rovnice 1.

**Rovnice 1 - Index tvaru vejce**

$$\text{index tvaru vejce} = \frac{\text{podélný průměr vejce}}{\text{příčný průměr vejce}}$$

Nejvhodnější index tvaru násadových vajec je 1,32 [3]. Na obrázku 2 jsou zobrazeny možnosti tvaru vajec, z nichž vybíráme pro líhnutí.



*Tvar vajec. K líhnutí používáme vejce, jejichž tvar se co nejvíc podobá optimálnímu tvaru s poměrem délky a šířky 1,3. Někdy se ale nevyhneme zařazení kulatějších nebo podlouhlejších vajec.*

**Obrázek 2 - Tvar vajec [3]**

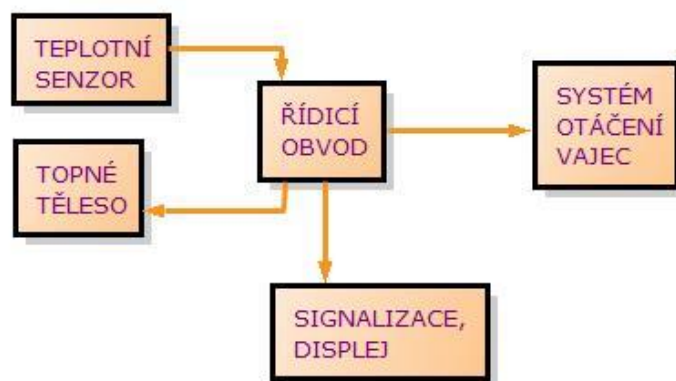
**Stav skořápky** je dalším důležitým ukazatelem vhodnosti vejce k líhnutí. Skořápka nesmí být nijak porušena ani zdeformována. Měla by být hladká, bez jakýchkoliv degenerativních změn, jako jsou vroubky, prstence, pigmentace a další. Samozřejmě nesmí být perforována. Skořápka totiž zárodek v průběhu líhnutí chrání před vnějšími vlivy a drží živiny v okolí zárodku. Skořápka dále nesmí být nijak znečištěna. Je-li vejce znečištěné, například trusem, je vhodné skořápku opatrně obrousit brusným papírem, nebo velmi opatrně otřít vlhkým

hadrem. Vejce jsou totiž po snesení pokryta vrstvou hlenu, který ucpává póry ve skořápce a chrání zárodky před mikroorganismy a vnějšími vlivy.

**Stářím vajec** se rozumí uplynulá doba od snesení vajec. S rostoucím stářím vajec se snižuje líhivost. Nedoporučuje se začínat s líhnutím vajec starších 7 dnů. Dochází potom k úhynu zárodku na počátku líhnutí, nebo se rodí slabá a neduživá mláďata.

## 1.2 Možnosti realizace

Následující kapitola obsahuje rešerši možností realizace jednotlivých funkčních bloků elektronického systému líhně.



Obrázek 3 – Základní blokové schéma líhně

### 1.2.1 Vytápění líhně

Vytápění líhně se stará o nejdůležitější parametr líhnutí, tedy o udržování předepsané teploty. Vytápění líhni lze zajistit mnoha způsoby, kdy všechny převádí elektrickou energii na teplo. Tuto přeměnu zajišťuje známá fyzikální vlastnost všech látek, kterou je elektrický odpor. Průchodem elektrického proudu se na odporu ztrácí výkon ve formě tepla. Odporová topná tělesa lze dále dělit podle pracovního napětí, maximální dovolené teploty, ztrátového výkonu a ceny.

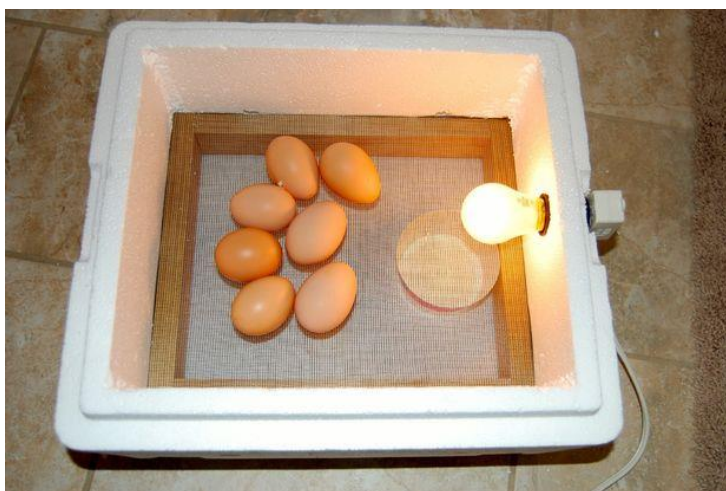
Pro domácí líheň je vhodné, aby vybrané topné těleso splňovalo následující požadavky: možnost regulace teploty, malá teplotní setrvačnost, bezpečné napájecí napětí a vhodné rozměry.

Možností regulace teploty se rozumí, jestli je možné regulovat ztrátový výkon topného tělesa. Malá teplotní setrvačnost topného tělesa je vhodná vlastnost, zejména při použití dvoustavové

regulace, kdy je topné těleso provozováno na maximální výkon, nebo je plně vypnuté. Topné těleso se setrvačností totiž reaguje na změny regulace, čili na sepnutí a odepnutí tělesa od napájení, pozvolnou změnou teploty. Při sepnutí tělesa chvíli trvá, než se dostatečně ohřeje celý objem tělesa a začne se předávat teplo do okolí. Podobně při rozepnutí topného tělesa dochází stále k přenosu naakumulovaného tepla do okolí. Tento stav může ohrozit průběh líhnutí, protože je možnost, že se vzduch v líhni vlivem setrvačnosti tělesa přehřeje a zvýšená teplota zahubí zárodky. Z tohoto důvodu je vhodné volit topná tělesa, která mají malou teplotní setrvačnost, čili mají malý objem aktivní části.

Bezpečné napájecí napětí topného tělesa je vhodné zabezpečit zejména z toho důvodu, že líheň mohou obsluhovat i osoby neznalé zákonitostí práce s elektrickými spotřebiči. Topné těleso je navíc umístěno uvnitř líhně, kde se po vylíhnutí nacházejí mláďata, která mohou, například vlivem špatné konstrukce líhně, přijít do styku s nebezpečným napětím. Přesně toto se stalo na naší farmě, kdy kuře zkratovalo topné těleso napájené ze síťového napětí. Kuře okamžitě zemřelo a došlo k poškození řídicí elektroniky a ztrátě zbylých kuřat.

Cenově nejvýhodnějším způsobem vytápění líhni je obyčejná žárovka, která stojí běžně pár desítek korun. Zároveň představuje nejjednodušší možnost vytápění. Žárovka svítí díky rozžhavenému vláknu, které kromě viditelného světla produkuje spoustu tepla, které je právě nejčastěji využíváno v podomácku vyráběných líhních. Méně vhodná je žárovka, když uvážíme regulaci, při které dochází k častému zapínání a vypínání. Právě při zapínání je vlákno žárovky nejvíce namáháno a dochází často k jeho přepálení. Tato nespolehlivost řadí žárovku mezi topná tělesa vhodná maximálně pro velmi amatérské domácí líhně, jako například na obrázku 4.



**Obrázek 4 - Příklad domácí líhně s vyhříváním žárovkou [4]**

Dalším cenově dostupným řešením vytápění líně jsou topná tělesa ze staré horkovzdušné trouby. Tato tělesa je možné zakoupit za cenu šrotu ve sběrných dvorech. Nevýhodou bývá fakt, že mají zbytečně veliký výkon, až v řádech kW, což je pro vytápění malého boxu, jakým domácí líheň bývá, naprosto zbytečné.

Dále se velmi často používají různé topné kabely a spirály, což jsou dráty z odporového materiálu. Tyto kabely a spirály mají velmi malý ohřívavý objem, díky čemuž vynikají velmi malou teplotní setrvačností a hodí se proto tam, kde není vhodné přetápění v důsledku teplotní setrvačnosti. Jsou navíc velmi levné.

Mezi méně časté patří použití různých topných patron, topných fólií a podobně. Tyto bývají už, ve srovnání s předchozími možnostmi, velmi drahé.

Topné těleso je dokonce možné si zhotovit doma sérioparalelní kombinací výkonových rezistorů. Je jasné, že je možné dosáhnout jakýchkoliv výkonů. Takovou kombinaci odporů volíme tak, abychom dostali požadovaný výkon daný rovnicí 2, kde P je výkon, R je výsledná kombinace odporů, I je proud a U napětí. Při návrhu je třeba dbát na dodržení maximálního ztrátového výkonu každého použitého odporu.

**Rovnice 2 - Ztrátový výkon rezistoru**

$$P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

### 1.2.2 Napájení líně

Na napájení líně jsou během celého procesu líhnutí kladeny velké požadavky. Mezi hlavní parametry, podle nichž je třeba vybírat líheň, nebo systém napájení, patří zejména velikost napětí napájecí soustavy, maximální možný výkon a možnost zálohování napájení při výpadku dodávky elektrické energie. Napájecí systémy pro líně lze dělit na dvě skupiny, a to na síťové napájení a bezpečné stejnosměrné napájení.

**Síťové napájení** využívá přímo energii z rozvodné sítě 230 V/50 Hz. Je tedy nejjednodušší na realizaci, protože není potřeba nijak měnit napětí. Je možné se tedy vyhnout použití těžkých transformátorů, nebo složitých a drahých spínaných zdrojů, jako u bezpečného stejnosměrného napájení. Tento systém bývá nejčastější u komerčních líní pro domácí použití a u podomácku zhotovených líní. Napájecí systém totiž, jak již bylo zmíněno, vyjde nejlevněji. I topná tělesa určená na provoz na síťovém napětí vycházejí levněji. Je zde

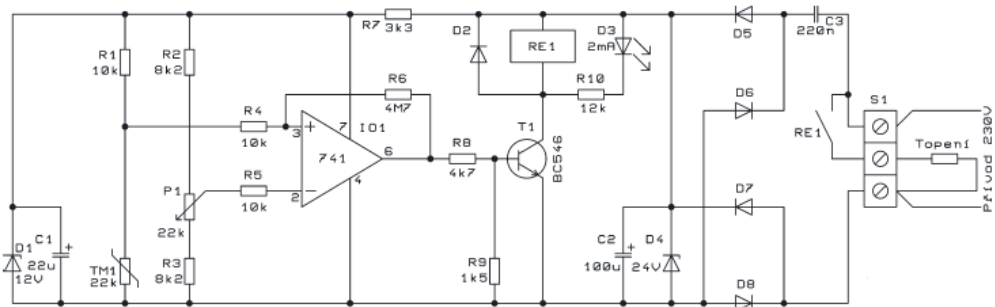
i možnost použít topné těleso ze staré horkovzdušné trouby, nebo elektrické pánve a podobně. Při návrhu líhně využívající síťového napájení je třeba dbát bezpečnostních předpisů. Síťové napětí je životu nebezpečné a je třeba dbát opatrnosti při práci na takovém zařízení. Další nevýhodou použití síťového napájení je nemožnost jednoduchého zajištění zálohování napájení při výpadku dodávky energie.

**Bezpečné stejnosměrné napájení** už podle názvu využívá stejnosměrné napájení malé hodnoty, při které je možné se bez úhony dotýkat jakýchkoliv částí zařízení, i těch pod napětím. Výhodou použití tohoto napájení ve možnost velice jednoduchého zálohování v podobě autobaterií, nebo vhodněji trakčních baterií (viz. 2.1.2). Nevýhodou použití tohoto napájení je vyšší cena topných těles a především nutnost upravit vstupní napájecí napětí, které je většinou z rozvodné sítě, na napětí nižší hodnoty. Není jiná možnost, než použití těžkých transformátorů, nebo složitých spínaných zdrojů.

### 1.2.3 Regulace teploty

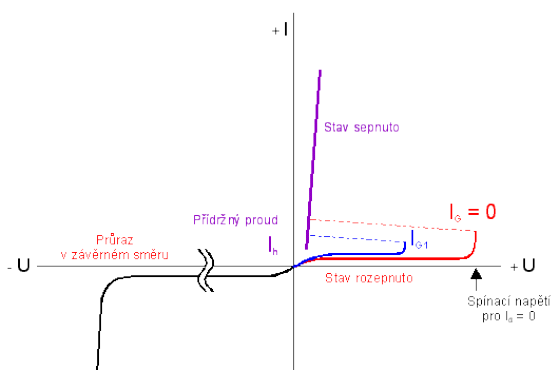
Pod pojmem regulace teploty rozumíme proces, při kterém vhodnými zásahy do činnosti topného tělesa řídíme teplotu v líhni. Na výběr je více možností, podle toho, jaký je zvolen systém napájení.

U líhni se síťovým napájením jsou na výběr dvě možnosti: dvoustavová regulace a triaková, nebo tyristová regulace. Dvoustavová regulace je nejjednodušší na realizaci. Nejjednodušeji se dá realizovat pomocí zapojení operačního zesilovače jako komparátoru, popřípadě komparátoru s hysterezí. Komparátor porovnává napětí na teplotním senzoru s přednastaveným napětím na děliči. Je-li napětí na senzoru vyšší než napětí na výstupu děliče, výstup operačního zesilovače je vybuzen do záporného napětí, nebo do nuly, a topné těleso je vypnuté. Je-li napětí na senzoru nižší, než napětí na děliči, vybudí se výstup OZ do kladného napájecího napětí a topné těleso se připne k napájení. Operační zesilovač však vyžaduje k provozu stejnosměrné napájecí napětí nižší hodnoty, než 230 V, čehož lze bez problému dosáhnout zapojením regulátoru napětí se zenerovou diodou. Schéma takového regulátoru je na obrázku 5. Diody D5-D7 slouží k usměrnění střídavého napětí. Napětí je následně sníženo zenerovou diodou D4 na 24V. Jako teplotní sensor slouží teplotně závislý odpor TM1. Požadovaná teplota se nastavuje potenciometrem P1. OZ je zapojen jako komparátor s hysterezí.

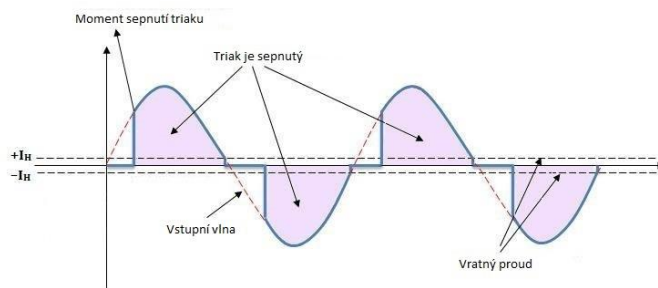


Obrázek 5 – Příklad dvoustavového regulátoru teploty [5]

**Pro střídavé napájení** vhodnější alternativou jsou regulátory s triakem, nebo tyristorem. Triak a tyristor jsou polovodičové součástky vhodné ke spínacím účelům. Rozdíl mezi triakem a tyristorem je ten, že triak umožňuje regulaci obou půlvln střídavého napětí, kdežto tyristor pouze jednu a to tu, při níž je anoda tyristoru na kladném napětí a katoda na záporném. Principem triakové a tyristorové regulace je řízení úhlu otevření triaku, respektive tyristoru, a tím i celkového výkonu dodávaného do zátěže. Z obrázku 6 je patrné, že s rostoucím proudem do gejtu  $I_G$  se snižuje napětí mezi anodou a katodou  $U_{AK}$  potřebné k sepnutí tyristoru. Triak má charakteristiku stejnou, ale umožňuje vedení proudu i v záporné půlvlně. Má tedy symetrickou charakteristiku podle počátku os. Úpravou proudu do gejtu  $I_G$  lze tedy měnit střední hodnotu napětí na topném tělese a tím i výkon topného tělesa. I dvoustavový regulátor je možné zhotovit s užitím triaku, nebo tyristoru. Řídicí proud však nebude plynule regulován. Tyristor bude buď plně otevřen, nebo zavřen. Stejně tak se bude chovat triak.



Obrázek 6 - VA charakteristika tyristoru [6]



**Obrázek 7 - Triaková regulace – princip [7]**

**Pro stejnosměrně napájené líhně** připadají v úvahu také dva způsoby regulace teploty. Těmito způsoby jsou PWM regulace výkonu a opět dvoustavová regulace. Dvoustavová regulace je totožná s výše zmíněnou možností u střídavého napájení. Je však nemožné použít tyristor, nebo triak. Tyto součástky totiž nelze tak jednoduše ovládat ve stejnosměrném obvodu. Pro rozepnutí tyristoru je třeba, aby zanikl anodový proud, nebo došlo k prepólování napětí mezi anodou a katodou  $U_{AK}$ , nebo došlo ke zkratování anody a katody [8]. Ani jedna situace u stejnosměrného obvodu nemůže běžně nastat. Ke spínání topného tělesa je tedy třeba použít jiné součástky, například tranzistory, relé.

PWM regulace spočívá v periodickém spínání topného tělesa. Šířkou pulzu PWM je řízena střední hodnota napětí na topném tělese a tím i jeho výkon. Frekvence PWM obvykle vylučuje použití elektromagnetických relé, protože ta obvykle nejsou schopna tak častého spínání, dochází k opalu kontaktů relé a může dojít k jejich zničení. Tento způsob regulace je tedy nejsložitější, ale je možné, s použitím PID regulátorů, dosáhnout prakticky konstantní teploty v líhni.

Všechna uvedená řešení vyžadují teplotní senzor zařazený ve zpětné vazbě nějakého řídicího obvodu. Dále je třeba zmínit, že všechna uvedená řešení je možné realizovat čistě s použitím analogových součástek, čili bez použití mikroprocesorů.

#### **1.2.4 Měření teploty**

Jak bylo zmíněno výše, všechny regulátory vyžadují nějaký kontakt s regulovanou veličinou. V případě regulace teploty v líhni je třeba, aby regulátor přesně „věděl“, jaká je aktuální teplota v líhni a jaká teplota by tam být měla. Toho se dosahuje použitím teplotních čidel, neboli teplotních senzorů. Pro elektronickou regulaci je třeba, aby teplotní senzor umožňoval převod teploty na některou elektricky měřitelnou veličinu, jako je například napětí a odpor. Elektrická teplotní čidla poté dělíme na odporová, termoelektrická a polovodičová.

**Odporová teplotní čidla** využívají společnou vlastnost pro všechny vodivé materiály vykazující odpor a tou je závislost odporu na teplotě. Každý vodivý kov vykazuje určitou závislost odporu na teplotě. Pro účely měření teploty je zapotřebí, aby byl zvolen materiál senzory tak, aby se odpor teplotního senzoru se změnou teploty zvýšil, či snížil co nejvíce. Naopak pro materiály určené pro výrobu rezistorů je třeba, aby se odpor rezistoru s teplotou pokud možno neměnil. Konstanta postihující závislost odporu na teplotě se nazývá teplotní součinitel elektrického odporu  $\alpha$  [9]. Závislost odporu kovového vodiče na teplotě popisuje rovnice 3, kde  $R_t$  je odpor kovu při teplotě  $t$ ,  $R_{t_0}$  je odpor kovu při teplotě  $t_0$  (obvykle 20 °C) a  $\alpha$  součinitel odporu.

**Rovnice 3 - Závislost odporu kovu na teplotě**

$$R_t = R_{t_0} [1 + \alpha(t - t_0)]$$

Z rovnice je patrné, že pro materiály s kladným teplotním součinitelem odporu se jejich odpor se zvyšující teplotou zvyšuje. Vyjádřením teploty  $t$  z rovnice 3 dostaneme vztah pro určení teploty ze znalosti odporu. Abychom byli schopni určit teplotu, zbývá změřit odpor. Toho se docílí použitím různých převodníků odpor-proud, nebo odpor-napětí, popřípadě voltampérovou metodou, nebo přímo ohmmetrem.

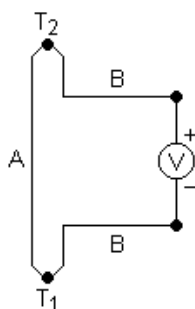
**Rovnice 4 - Vyjádření teploty z rovnice 3**

$$t = \frac{R_t - R_{t_0}}{R_{t_0} \alpha} + t_0$$

Odporová čidla představují jednoduchou možnost, jak elektronicky změřit teplotu a s naměřenou hodnotou dále pracovat. Nejsou však vhodná pro vzdálené měření teploty (v jednotkách cm a více), zejména měříme-li napětí na odporu, protože může lehce dojít k zarušení a není možné určit původní velikost napětí. Často se můžeme setkat s odporovými teploměry integrovanými v integrovaných obvodech, kde je měření napětí převedeno na digitální komunikaci, například I<sup>2</sup>C, nebo SPI, čímž je zamezeno zarušení užitečného signálu. Odporová teplotní čidla vynikají širokou oblastí provozních teplot, jednoduchostí a nízkou cenou.

**Termoelektrická teplotní čidla** využívají termoelektrický, nebo také Seebeckův jev (podle objevitele T. Seebecka). Seebeckův jev popisuje vznik napětí mezi dvěma rozdílnými kovy, jehož velikost je úměrná rozdílu teplot v místech, kde se kovy stýkají.





**Obrázek 8 – Teploměr s termočlánekem [10]**

Velikost napětí je možno stanovit podle rovnice 5 [10], kde  $U$  je napětí na výstupu termočláнку,  $S_B$  a  $S_A$  jsou Seebeckovy koeficienty,  $T_2$  a  $T_1$  jsou teploty v místech styku kovů.

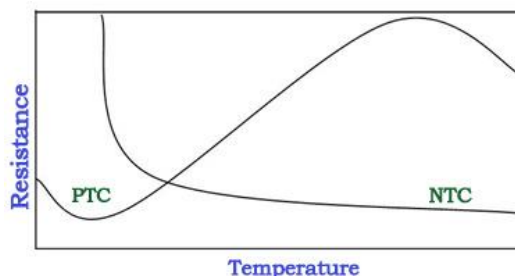
**Rovnice 5 - Napětí na termočláнку**

$$U = (S_B - S_A)(T_2 - T_1)$$

Na obrázku 8 je uveden teploměr využívající dva termočláanky, kdy je jeden přiveden do prostředí o definované, nebo známé a neměnné teplotě. Tomuto konci se říká studený konec. Problémem termočláanky je jejich extrémně nízká citlivost, čili napětí se s teplotou mění jen velmi málo. Například běžný termočlánek typu K (železo-konstantan) má citlivost  $40,8\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , čili napětí vzroste s každým stupněm celsia o zhruba 41 mikrovoltů. Je tedy třeba měřit extrémně nízká napětí s tím, že je třeba, aby bylo napětí měřeno přesně na termočláнку a zamezilo se vlivu odporu přívodních vodičů. Dále je třeba si uvědomit, že k termoelektrickému jevu dochází na styku všech kovů. To znamená, že vzniká napětí i na připojovacích svorkách termočláanky. To řeší zapojení z obrázku 8, kdy je termočlánek k měřicímu zařízení připojen pouze jedním druhem kovu (kov B). Připojíme-li takovýto termočlánek například pomocí měděných vodičů, vzniknou další dvě místa styku různých kovů, na kterých vznikne napětí. Tato napětí se však odečtou a výsledek neovlivní. Všechny tyto problémy dnes řeší integrované obvody rozhraní pro termočláanky. Obrovskou výhodou termočláanky je, že je možné je provozovat v obrovských rozmezích teplot, což je předurčuje k použití například v metalurgii.

**Polovodičová teplotní čidla** se rozdělují na odporová polovodičová čidla a čidla s PN přechodem. Změna odporu polovodičových odporových čidel je způsobena teplotní závislostí koncentrace volných nosičů náboje v polovodiči. Křivka závislosti odporu na teplotě je nelineární, bývá tedy problém správně výsledný odpor interpretovat. Odporové polovodičové senzory dělíme dále na negasty (NTC), které mají záporný teplotní koeficient odporu a

pozistory (PTC), které nejprve také vykazují záporný koeficient, od určité teploty však jejich odpor prudce narůstá. Pro měření teploty jsou vhodné NTC termistory. PTC termistory se používají jako vratné tepelné pojistky. Tvar charakteristik zachycuje obrázek 9.



Obrázek 9 - Závislost odporu termistorů na teplotě [11]

Polovodičová čidla s PN přechodem využívají závislost prahového napětí PN diody na teplotě. Tato závislost je patrná z Schockleyho rovnice diody (Rovnice 6), která popisuje VA charakteristiku diody s PN přechodem, kde  $I$  je proud diodou,  $I_0$  je saturační proud,  $U_D$  je napětí na diodě,  $n$  je koeficient emisivity a konečně  $U_T$  je teplotní napětí. [12]

**Rovnice 6 - Schockleyho rovnice diody**

$$I = I_0 \left( e^{\frac{U_D}{nU_T}} - 1 \right)$$

Právě teplotní napětí je veličina, která se s teplotou mění. Změna teplotního napětí zapříčiní posun prahového napětí diody k nižším hodnotám pro vyšší teploty. Citlivost takového teploměru je 2 až 2,5 mV/K, což znamená, že prahové napětí PN diody se s každým stupněm Kelvina (Celsia) změní o 2 až 2,5 mV. Tento druh teplotních čidel je v dnešní době prakticky nejrozšířenější a bývá často součástí all-in-one integrovaných termostatů a dalších různých integrovaných obvodů, protože jej lze realizovat přímo v polovodičové struktuře integrovaných obvodů. Cenově jsou nejzajímavější z uvedených metod, protože při stejné ceně, jako odporová čidla, nebo termočláanky, v sobě zmíněné integrované verze těchto senzorů často zahrnují obvody pro sériovou komunikaci, nezřídka i základní termostatické funkce a teplotní alarmy. Limitujícím faktorem čidel s PN přechodem je jejich relativně nízké rozmezí pracovních teplot.

### 1.2.5 Naklápění vajec

Jak již bylo řečeno v kapitole 1.1.2, obracení vajec je nezbytnou součástí procesu líhnutí drůbeže. Bez zajištění pravidelného otáčení se prudce snižuje líhivost, nebo se rodí deformovaná mláďata.

Líhně se podle naklápění dělí na líhně s automatickým naklápěním, líhně s poloautomatickým naklápěním a líhně bez naklápění, neboli s manuálním naklápěním. Tato kapitola pojednává o možnostech realizace systému automatického naklápění.

Systémy automatického naklápění se zpravidla dělí na dva druhy. První možností je otáčení vajec, která jsou ve vodorovné poloze. Otáčení takto uspořádaných vajec se obvykle řeší posuvným dnem. Vejce jsou volně držena na svém místě v děrovaném roštu a dotýkají se dna. Tím, jak se posouvá dno, vejce rotuje podél své dlouhé osy. Mechanismus může fungovat i obráceně s tím, že se místo dna posouvá rošt.

Druhou možností je kolébání vajec, kdy jsou vejce umístěna ve slotech na špičce. Vejce mohou být uspořádána do řad, které se kolébají každá zvlášť, nebo na společném děrovaném roštu, který otáčí všechna vejce najednou stejně.



Obrázek 10 - Automatické naklápění vajec [13]

### 1.2.6 Řídicí obvod

Řídicí obvod pro líheň by měl zajišťovat řízení a kontrolu nad všemi konstrukčními bloky líhně. Měl by tedy zajišťovat systém regulace teploty, čili měřit vhodným senzorem teplotu uvnitř líhně, teplotu zpracovat a na základě znalosti teploty regulovat činnost topného tělesa. Při volbě analogového teplotního senzoru, tedy senzoru, který převádí teplotu na jinou měřitelnou veličinu, je možné systém teplotní regulace realizovat za pomoci operačního zesilovače, jako je uvedeno v kapitole 1.2.3. Častěji se však setkáme s teplotními čidly s digitálním výstupem. Takováto čidla je třeba obsluhovat mikroprocesorem. To je vhodné zejména proto, že samotný operační zesilovač není schopen zajišťovat další nezbytnou část líhně – naklápění vajec. Řídicí obvod tedy volíme podle toho, jakou líheň máme v úmyslu realizovat. Pro líhně s manuálním, nebo poloautomatickým naklápěním vajec bohatě postačí operační zesilovač jako regulátor teploty (obr. 4), protože kromě regulace teploty není třeba

nic dalšího řešit. Naproti tomu, když realizujeme líheň s automatickým naklápěním, které je třeba ovládat v přesných časových intervalech, je jedinou možností mikroprocesor, dále jen MCU. Dále je třeba použít MCU pro plně automatické líhně, které monitorují čas líhnutí a podle něj mění parametry líhnutí. MCU nám navíc umožní použití například LCD displeje pro signalizaci teploty, nebo použití různých možností komunikace například s počítačem pro monitorování stavu líhně.

Na výběr je obrovské množství mikroprocesorů od různých firem. Liší se samozřejmě použitou architekturou, ale především se liší cenou, dostupností a druhem a počtem periférií.

Patrně nejběžnějšími mikrokontroléry jsou 8-bitové procesory od firmy Atmel, dnes již Microchip. Vynikají především jednoduchou obsluhou, obrovskou podporou v podobě různých diskuzních fór a databází kódů a knihoven, velkým množstvím periferních obvodů integrovaných přímo v pouzdru mikrokontroléru a nízkou cenou a dostupností. Dále jsou tyto mikrokontroléry často součástí různých vývojových a výukových kitů, které jsou často doplněny o různé další podpůrné a periferní obvody, jako například různá čidla. Toto vše umožňuje konstruktérovi opravdu rychle porozumět funkcím mikrokontroléru a jeho periférií.

Mezi další běžně dostupné mikrokontroléry patří procesory PIC, od firmy Microchip, nebo 32-bitové procesory od firmy STMicroelectronics.

## **2 PRAKTICKÁ ČÁST**

Praktická část popisuje vlastní návrh zařízení a jeho funkci.

### **2.1 Návrh a realizace**

Následující kapitola obsahuje výběr konkrétních součástí a návrh a realizaci líhně pro drůbež.

#### **2.1.1 Koncepce modulárního systému líhni**

Modularita systému líhni, jehož realizací se zabývá tato práce, spočívá především v připojitelnosti množství malých líhni k jednomu napájecímu a komunikačnímu systému. Důvodů, proč je pro malou farmu vhodnější zkonstruovat několik menších líhni, než jednu, nebo dvě velké, je několik.

Především je problém se zaplněním líhně vejci při malém množství nosných slepic (kachen/hus). V kapitole 1.1.7 je uvedeno, že pro nakládku do líhně nejsou vhodná vejce starší 7 dnů. U systémů automatických líhni, kdy je třeba kontrolovat čas líhnutí a podle něj upravovat parametry líhnutí je třeba, aby byla všechna vejce pokud možno stejně stará. Není možné vejce, která jsou v procesu inkubace už například 2 dny doplnit o nová, čerstvě snesená vejce. Pro malou farmu je tedy vhodnější zaplnit více menších líhni stejně starými vejci.

Dalším důvodem je bezpečnost systému. Když, z jakéhokoliv důvodu, selže řídicí obvod velké líhně, přijde farmář o celou nakládku vajec. Kapacity běžně dostupných velkých líhni dosahují až stovky vajec (slepice). Naproti tomu, když selže jedna malá líheň, přijde farmář jen o polovinu násadových vajec v případě systému o dvou líhních. Důvodů, proč může řídicí obvod selhat je několik. Především se u domácích návrhů jedná o poddimenzování některých prvků líhně, nebo o závadu v programu, kdy například přestane obvod regulovat teplotu atd. Další možností je samozřejmě závada některé z komponent, například neodbornou manipulací.

V tomto projektu byly zhotoveny dvě líhně, zejména kvůli nedostatku materiálu na stavbu dalších a kvůli malému rozpočtu.

#### **2.1.2 Napájecí systém**

Jak již bylo řečeno v kapitole 1.2.2, existují dvě možnosti pro napájení líhni, síťové napájení a stejnosměrné napájení. V tomto projektu bylo zvoleno stejnosměrné napájení, konkrétně o velikosti napětí 12 V. Důvody jsou následující. Stejnosměrné napájení o takto nízkém napětí nepředstavuje žádná zdravotní rizika. Je možné se dotknout holou rukou všech vodičů, aniž

by došlo k úrazu elektrickým proudem. Především je však možné zajistit jednoduché zálohování napájení v případě výpadku dodávky energie. U střídavých napájecích systému to lze také, jen je třeba použít dalších obvodů, střídačů.



Obrázek 11 - Blokové schéma napájecího systému

Z blokového schématu na obrázku 11 je patrné, že napájecí systém je rozdělen na dvě větve. V horní větvi se nachází spínaný zdroj 12 V/20 A. Jedná se o průmyslový spínaný zdroj s aktivním chlazením určený pro montáž do rozvaděčů. Spínaný zdroj byl zvolen především pro své kompaktní rozměry a nízkou hmotnost, ale také kvůli nízké ceně v porovnání se zdroji s transformátory. Mezi další přednosti tohoto zdroje patří nastavitelnost výstupního napětí v rozmezí 11-14 V, a především možnost zdroje pracovat do nulové zátěže. To není úplně běžné u levných spínaných zdrojů. Velká část komerčně dostupných spínaných zdrojů produkuje na svém výstupu napětí daleko větší velikosti, než je jejich jmenovité při provozu naprázdno.

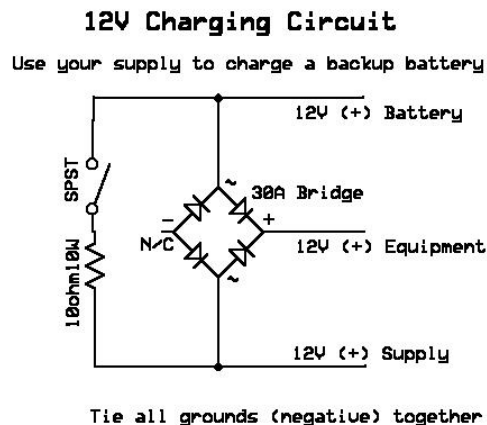


Obrázek 12 - Použitý spínaný zdroj [14]

Ve spodní větvi se nachází prvek pro zálohování napájení, trakční baterie. Trakční baterie na první pohled vypadá jako běžná startovací autobaterie. Při obtěžkání je však patrný velký rozdíl hmotností. To je způsobeno zesílením vnitřních olověných desek v akumulátoru, které tak lépe odolávají hlubokému vybití baterie, které je pro běžné autobaterie extrémně

nežádoucí a dochází u nich k poklesu kapacity. Trakční baterie jsou tedy vhodné všude tam, kde je očekáván dlouhodobý odběr proudu s možností využití až 100% kapacity akumulátoru, jako například u pohonu elektrických vozidel, napájení karavanů, lodí, nebo právě zálohování napájení.

Obě větve se sbíhají do bloku přepínače. Přepínač je v tomto případě obvod, který zajistí, že při výpadku dodávek elektrické energie, převezme úlohy napájení trakční baterie. Dále tento obvod zajišťuje, že baterie pracuje pouze tehdy, ne-li v provozu spínaný zdroj. Použit byl přepínač, který je zobrazen na obrázku 13, u něhož k přepínacím účelům slouží diody jednofázového usměrňovacího můstku. Bylo by možné použít i klasické diskrétní diody, avšak v tomto případě umožňuje použití tzv. graetzova můstku realizaci přepínače bez nutnosti návrhu desky plošných spojů, protože je můstek přímo vybaven kontakty pro faston konektory, na které je možné také přímo připájet vodiče. Dále je v obvodu přepínače větev pro dobíjení akumulátoru, který se dobíjí přes odpor  $10\Omega/10W$ .



Obrázek 13 - Obvod přepínače [15]

Použité diody jsou součástí usměrňovacího můstku KBPC35000, který je dimenzován na propustný proud 35 A, závěrné napětí 1000 V a s úbytkem napětí 1,1 V. Jedná se o nejlevnější usměrňovač s takto vysokým propustným proudem. Obvod v klidu, tedy při provozu ze spínaného zdroje, funguje za předpokladu, že výstupní napětí spínaného zdroje je větší, než napětí trakční baterie. V tomto stavu je otevřena pouze dioda mezi spodní svorkou ~ a svorkou + můstku a výstupní obvod je napájen ze spínaného zdroje. Výstupní napětí spínaného zdroje je sníženo o úbytek napětí na jedné diodě, je tedy vhodné výstupní napětí doladit tak, aby po průchodu můstkem bylo napětí přesně 12 V. V momentě, kdy je přerušena dodávka energie, tedy když se vypne spínaný zdroj, klesá postupně výstupní napětí z můstku

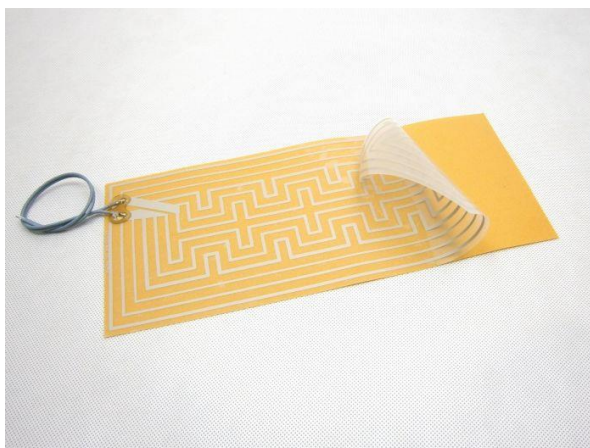
( svorka + ) až do doby, než se otevře dioda mezi horní svorkou ~ a svorkou +, která výstupní obvod připojí na trakční baterii, která tím převezme úlohu napájení. Po obnovení dodávek energie a spuštění spínaného zdroje roste napětí na spodní svorce ~ do doby, než se dioda otevře a úlohu napájení výstupního obvodu opět převezme spínaný zdroj.

Kompletní obvod napájecího systému je z bezpečnostního a estetického hlediska uložen v plastové montážní krabičce o rozměrech 295x215x120 mm. Výstupní napětí je vyvedeno na čtyři výkonové konektory, pro připojení až čtyř líní. Každý výstup je jištěn pojistkou 6,3A umístěnou nad jištěným vývodem v pojistkovém pouzdru. Konektory použitého systému Harting jsou vybaveny zámkem, který vylučuje nechtěné odpojení přívodních vodičů. Uvnitř krabičky je na chladiči umístěn diodový můstek.

### **2.1.3 Topné těleso**

Po zvolení napájecího napětí 12 V se výběr topných těles velice zužuje. Topná tělesa určená pro provoz při 12 V jsou obvykle dražší, než tělesa určená pro síťové napájení. Na topné těleso jsou kladeny veliké nároky, protože právě topné těleso spolu s regulačním obvodem má za úkol udržovat, pokud možno konstantní, teplotu v líní. Zvolena byla polovodičová topná fólie 12 V/36 W o rozměrech 320x136 mm. Tato fólie je určena k vytápění terárií a akvárií, nebo například k ohřevu talířů a podobně. Fólie je umístěna na hliníkový plech, který zvyšuje teplotní kapacitu topného tělesa a zároveň zvětšuje vyzařovací plochu. Samotná topná fólie má velice malou teplotní kapacitu, takže se velice rychle ohřeje a po vypnutí také velice rychle vychladne. To by, při použití dvoustavové regulace, vedlo k příliš častému spínání topné fólie a časem k možnému zničení spínacího prvku. Fólie je velice ohebná, takže se přizpůsobí jakémukoliv podkladu a je samolepící, takže její montáž je velice snadná. Dále disponuje krytím IP64, je tedy odolná vůči vlhkosti, která je v líní v průběhu línutí značná. Z udávaných parametrů 12 V/36 W je jasné, že při provozu na 12 V bude topná fólie odebírat ze zdroje až 3 A.





**Obrázek 14 - Topná fólie [16]**

Z obrázku 14 je patrná podobnost použité topné fólie se systémem vyhřívání oken u automobilu. Jedná se totiž o stejnou technologii. Na desce s topným tělesem je umístěna kovová miska s vodou, která se během línutí odpařuje a zvyšuje vlhkost vzduchu.

#### **2.1.4 Teplotní senzor**

Jak již bylo řečeno v kapitole 1.2.4, je pro regulaci teploty uvnitř líhně třeba znát aktuální teplotu v líhni. K tomu slouží teplotní senzory. Na výběr je velké množství senzoru, které využívají různé fyzikální jevy. Jako nejvhodnější se jeví polovodičová teplotní čidla, která vynikají nízkou cenou, kompaktními rozměry, a především velkým množstvím doplňkových funkcí, jako je například tzv. overtemperature alarm, čili výstup, který se nastaví při překročení nastavené teploty a mnohé další funkce. Zvoleno bylo polovodičové teplotní čidlo LM75A, které bylo dříve hojně využíváno k měření teplot na základních deskách počítačů. Z datasheetu [17] je patrné, že čidlo využívá měření změny prahového napětí PN přechodu v závislosti na teplotě, viz. kapitola 1.2.4. Čidlo pro komunikaci využívá sériovou linku I<sup>2</sup>C s maximální frekvencí 400 kHz, je tedy možné jej do řídicího obvodu připojit pouze čtyřmi vodiči (VCC, GND, SDA, SCL). Částečně nevýhodné je mechanické provedení tohoto čidla, které je možné pořídit pouze v SMD pouzdru, montáž na desku plošných spojů je tedy ztížena miniaturními rozměry, což je však z dobré z hlediska teplotní kapacity samotného čidla, kdy se malé čidlo rychleji vyhřeje na okolní teplotu a reaguje tedy lépe na rychlé změny teploty. Čidlo obsahuje 11 bitový A/D převodník, kdy je výsledek převodu uložen ve formě dvojkového doplňku s tím, že spodní 3 bity představují desetinnou část teploty. Rozlišení tohoto teplotního čidla je tedy  $2^{-3}$ , čili 0,125 °C. Dále je čidlo vybaveno již zmíněným výstupem pro signalizaci překročení nastavené teploty. Tento výstup však není v tomto

projektu k ničemu využít. Čidlo je umístěno na samostatné DPS uvnitř líhně a je připevněno k hřídeli pod vejci.

### 2.1.5 Systém nakládání vajec

Z kapitoly 1.1.2 je patrné, že kromě zajištění konstantní teploty v líhni je třeba zajistit i pravidelné nakládání, nebo otáčení vajec. V kapitole 1.2.5 jsou stručně popsány některé možnosti realizace systému nakládání. V tomto projektu bylo použito automatické nakládání vajec, která jsou uložena na kyvné desce o rozměrech 310x190 mm, která je připevněná na hřídel. V desce je vyvrtáno 22 otvorů o průměru 40 mm (slepice), v kterých je vejce volně položeno na špičce, čili užším koncem dolů. Jedna líheň má tedy kapacitu 22 vajec slepic. Pro každý líhnutý druh jsou zhotoveny různé desky, protože se vejce různých druhů liší rozměry, liší se tedy i kapacity pro různé druhy. Desky lze jednoduše vyměnit a líhnout jiný druh, než slepice. Dále je třeba zmínit, že vejce jsou uložena podél osy otáčení, tedy podél hřídele, umístěna symetricky. Samotné otáčení hřídele je zajištěno servomotorem. Výstupní hřídel servomotoru je přišroubována na hřídel, na které je umístěna deska s vejci. Při výběru servomotoru bylo třeba si uvědomit, že je třeba volit servomotor s dostatečným tahem, protože je třeba manipulovat se značnou hmotností. Vejce jsou umístěna podél hřídele symetricky zejména proto, že se navzájem kompenzují síly potřebné pro otáčení vajec. Servomotor totiž nemusí překonávat celou hmotnost vajec na jedné straně, protože mu vejce z druhé strany svou hmotností pomáhají, protože jsou tažena gravitací dolů. Tah servomotoru je tedy využit až při zastavení hřídele a její stabilizaci na místě.



Obrázek 15 - Systém otáčení vajec



**Obrázek 16 - Vejce v líhni**

Servomotor je řízen PWM signálem, kdy je šířkou pulzu řízen úhel otočení servomotoru. Šířka pulzu 1 ms znamená otočení servomotoru zcela vlevo, 1,5 ms na střed a 2 ms zcela vpravo. Pro otáčení zcela vpravo a vlevo však není v líhni místo, navíc by docházelo k vypadávání vajec z děr. Proto jsou délky pulzů upraveny na hodnoty 1,3 a 1,7 ms, což odpovídá kyvu zhruba  $40^\circ$  na každou stranu. Zvolený systém naklápění vajec umožňuje závěrečnému procesu líhnutí, tedy klubání mláďat z vajec, aby probíhal přímo v líhni a to buď přímo na desce, nebo na kusu pletiva, které se položí na desku, a který zabraňuje znečištění kusy vajec a jiným materiálem. Není tedy třeba vejce na poslední dva dny líhnutí umísťovat do dolíhně. Z obrázku 16 je patrné naklonění desky s vejci. Zvolen byl servomotor Himoto Servo plynu (9kg) s tahem  $9 \text{ kg/cm}^{-1}$  při napájecím napětí 6 V. Servomotor je schopen se otočit z jedné polohy do druhé velmi rychle, což by vedlo k uvolnění vajec z desky. Je tedy třeba zajistit, aby se vejce otáčela pomalu.

### **2.1.6 Mechanická část**

Mechanickou částí se v tomto případě rozumí samotné tělo líhně. Základ tvoří konstrukce sestavená z velice lehkých profilů o délce čelních hran 20 mm z hliníkových slitin od firmy item. Jelikož jsou tyto profily vybaveny montážními drážkami na všech čtyřech stranách, je možné z nich sestavit opravdu cokoliv. Využívají se převážně pro konstrukci beden, nebo rámu pro výrobní automaty. Vzniklý rám sestavený z profilů má rozměry 360x240x200 mm. Rozměry byly určeny tak, aby se dovnitř rámu vešel jak hliníkový plech s topnou fólií, tak děrovaná deska pro vejce. Zároveň byla zvolena délka hran profilů 20 mm zejména proto, že se současně jedná o běžnou tloušťku polystyrenových izolačních desek, které jsou použity pro izolaci líhně od okolí. Polystyrenové desky byly seříznuty tak, aby měly přesný rozměr pole, kam mají být vloženy a tím pádem není třeba je nijak lepit, či jinak zafixovat. Polystyrenové desky jsou rozmístěny na všech stranách vzniklého kvádrů s výjimkou horní strany, kde se nachází víko. Na zaizolovaný box líhně jsou dále zvenčí připevněny desky z kompozitního

plastu, které tvoří vnější schránku. Plastové desky mají tloušťku 4 mm a zvětšují tedy rozměry hliníkového rámu o 8 mm. V bočních stranách jsou vyvrtány otvory pro průchod hřídele pro otáčení vajec, jejíž průměr je 6 mm a na koncích je opatřena 3 cm závitu M3. Nad otvory pro hřídel jsou na obou stranách připevněna madla usnadňující přenos líhně. Víko je zhotoveno pouze z kompozitního plastu, tedy bez polystyrenové izolace a je k rámu připevněno pomocí 4 pantů, které umožňují jeho vyklápění. Víko není izolováno proto, aby docházelo k úniku teplého vzduchu, který proudí vzhůru kolem vajec a dovnitř se dostává studený čerstvý vzduch. K víku je taktéž připevněno madlo, které umožňuje snadné otevírání líhně.



Obrázek 17 - Hliníkový rám líhně

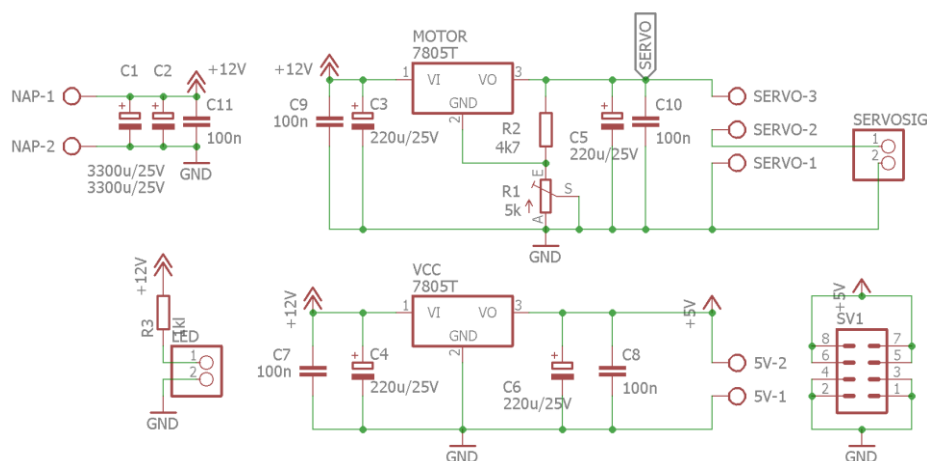
K přední stěně je připevněna montážní krabička o rozměrech 190x135x45 mm, v níž je umístěno elektronické vybavení líhně, napájecí zdroj a řídicí obvod. Chlazení vajec je zajištěno samovolnou výměnou vzduchu a otevíráním víka při kontrole obsluhou, například při doplnění vody do misky.

### 2.1.7 Návrh a popis funkce obvodů

Jak bylo řečeno v předchozí kapitole, montážní krabička na přední stěně líhně obsahuje dvě větší desky plošných spojů, dále jen DPS, a to desku napájecího zdroje a desku řídicího obvodu. Dále obsahuje menší DPS pro panelovou montáž ovládacích tlačítek líhně. Zařízení je rozděleno na dílčí desky zejména proto, aby se snížila složitost návrhu jedné velké desky a také proto, že při selhání jedné části zařízení stačí vyměnit, nebo opravit pouze jednu desku. Desky byly od začátku navrhovány tak, aby je bylo možné zhotovit doma v amatérských podmínkách. Především byl kladen důraz, aby výsledný návrh obsahoval pouze jednovrstvé desky.

Desky DPS byly zhotoveny doma použitím metody tzv. fotocesty. Metoda fotocesty využívá přenos navrženého motivu DPS na podkladový materiál pomocí UV záření. Mezi podkladový materiál, který je potažen vrstvou fotocitlivého laku, a zdroj UV záření je vložena předloha

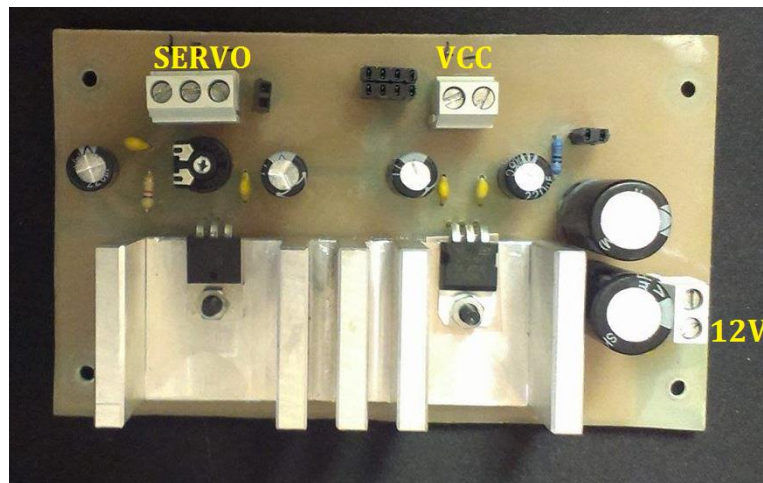
vytištěná na průhledné fólii pro laserové tiskárny s tím, že místa zakrytá tonerem jsou po vyvolání ve vývojcce chráněna vrstvou vytvrzeného fotocitlivého laku. Zdrojem UV záření je v tomto případě podomácku zhotovená osvitová jednotka s UV LED pásky opatřená časovačem s procesorem ATmega8. Po vložení takto upraveného podkladového materiálu do leptací lázně, která obsahuje chlorid železitý, zůstanou na desce pouze měděné cesty, které byly chráněny lakem. Návrh DPS byl vytvořen v aplikaci Eagle 7.6.0. Aplikace využívá dva další podprogramy, a to program pro návrh schématu a program pro návrh DPS ze schématu. Jako první byl navržen obvod napájecího zdroje, jehož schéma je zobrazeno na obrázku 18. Napájecí zdroj byl navržen tak, aby byl schopen dodávat dvě různá napětí, 5 V pro procesory a 6 V pro servomotor.



**Obrázek 18 - Schéma napájecího zdroje**

Výstup z přepínače z obrázku 11 v kapitole 2.1.2 je přiveden na vstupní napájecí svorkovnici, která je ve schématu označena NAP-1 a NAP-2. Napájecí terminály jsou přivedeny na dva filtrační kondenzátory o kapacitě 3,3 mF, které slouží k pokrytí krátkodobých špičkových odběrů výstupních obvodů. Výstupy z této desky jsou tři. Prvním výstupem je svorkovnice 5V-1 a 5V-2, z jejíhož názvu je patrné, že se jedná o napájení pro procesory, tedy 5 V. Regulaci a stabilizaci tohoto napětí zajišťuje velmi známý obvod LM7805, v tomto případě v zesíleném provedení LM7805S, které je schopno dodávat do zátěže proud až 2 A. Druhým výstupem je svorkovnice SERVO-1 až 3, ke které se přímo připojují vývody servomotoru. Stabilizace a regulace napětí je opět zajištěna obvodem LM7805S, v tomto případě však doplněným o zpětnovazební obvod pro nastavení požadovaného výstupního napětí, které je možné doladit trimrem R1. Oba napěťové stabilizátory jsou doplněny o blokovací kondenzátory, a to jak na vstupní straně obvodu, tak na výstupní straně. Posledním výstupem je opět napětí 5 V, vyvedené na tzv. dutinkové liště (angl.: female pin header), které slouží

pro vývojové a debugovací účely. K desce je pomocí dutinkové lišty SERVOSIG připojen také signál pro řízení servomotoru, který je vyveden na prostředním pinu svorkovnice SERVO-1 až 3. Z desky je vyvedena signalizační dioda, která slouží pro signalizaci zapnutí napájení.



**Obrázek 19 - DPS napájecího zdroje**

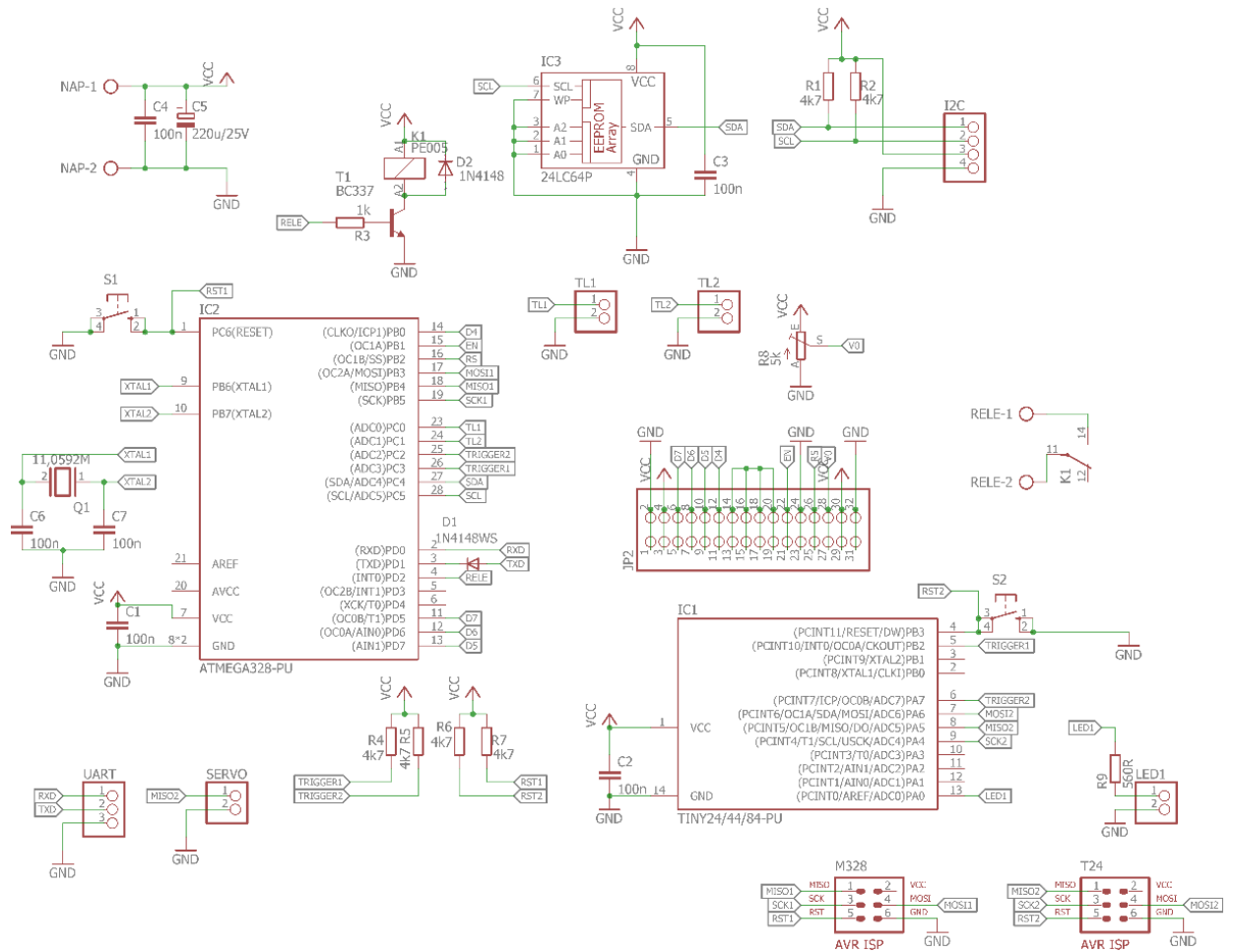
Z obrázku 19 je patrné, že oba napěťové stabilizátory jsou připevněny ke společnému hliníkovému chladiči. To představuje problém, protože na zadní ploše pouzdra TO-220, v kterém je umístěn obvod 7805, je vyveden vývod GND, tedy prostřední svorka. Chladič tedy zkratuje oba vývody GND stabilizátorů a vyřazuje zpětnou vazbu stabilizátoru označeného MOTOR 7805T tvořenou odporem R2 a trimrem R1. Řešením je odizolovat pouzdra od chladiče. Možností izolace je více. Zvolena byla plastová průchodka na šroub, kterým se stabilizátor připevňuje k chladiči a zároveň byla pod stabilizátor vložena slídová podložka, která vede teplo, ale není elektricky vodivá. Představuje však dodatečný teplotní odpor, snižuje tedy účinnost chlazení. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že izolační podložka bude umístěna pouze pod stabilizátor VCC 7805, jež slouží k napájení procesorů, protože je u něj předpokládán menší proudový odběr, a tím i menší ztrátový výkon a teplo.

Následujícím krokem byl návrh řídicího obvodu. Jelikož bylo třeba obsluhovat zvolené digitální čidlo LM75, které komunikuje prostřednictvím sběrnice I<sup>2</sup>C, současně bylo třeba ovládat servomotor pomocí signálu PWM, komunikovat s počítačem a zajistit funkci časovače, který hlídá dobu líhnutí, bylo rozhodnuto, že řídicí obvod bude obsahovat mikroprocesory, a to hned dva. Původní návrh obsahoval pouze jeden mikroprocesor ATmega328PB [18], který má dostatečné množství periférií a dostatečný výpočetní výkon. Obsahuje 2 obvody pro sériovou linku UART, 2 obvody pro sériovou linku SPI, 2 obvody pro

sériovou linku I<sup>2</sup>C, dále disponuje 5 časovači, kterými je možné ovládat PWM výstupy, 32 kB paměti FLASH a 2 kB paměti RAM. Jelikož je však třeba ovládat servomotor, jehož obsluha, tedy naklonění z jedné polohy do druhé, trvá několik sekund, je použití jednoho procesoru nevhodné, protože během naklápění vajec nelze dělat nic jiného, například měřit teplotu. To a zejména fakt, že procesor ATmega328PB je jedním z nejnovějších procesorů z rodiny ATmega, takže jsou jeho katalogové listy neúplné, nepřesné, nebo se vzájemně jednotlivé verze vylučují, učinilo jednoprocessorový návrh řídicí desky nevhodný. Bylo rozhodnuto, že je třeba rozdělit kontrolu mezi periferními obvody mezi dva procesory. První menší procesor obsluhuje pouze servomotor. Stará se tedy o plynulý přechod z jedné úvratě desky s vejci do druhé. Tento procesor je s hlavním procesorem spojen jednoduchou komunikační linkou. Hlavní procesor prostřednictvím této linky předává pokyny k otočení vajec.

Hlavní procesor řídí veškeré činnosti líně. Obsluhuje teplotní čidlo na I<sup>2</sup>C sběrnici na níž je dále připojena EEPROM paměť 24LC64 s kapacitou 8 kB, realizuje dvoustavový regulátor teploty, obsluhuje LCD displej, ovládací tlačítka a komunikaci s PC prostřednictvím sériové linky UART. Schéma řídicího obvodu je na obrázku 20. Jako procesor obsluhující servomotor byl zvolen procesor ATtiny24. Jedná se procesor s nejmenším počtem pinů, který disponuje 16-bitovým časovačem pro obsluhu servomotoru. Protože tento procesor nic jiného neobsluhuje, není potřeba, aby měl spoustu periférií a pinů. Podle tohoto parametru byl procesor vybrán pomocí webového nástroje Atmel product selector.

Jako hlavní procesor byl zvolen procesor ATmega328, dále jen MCU1, který disponuje většinou periférií jako již zmíněný procesor ATmega328PB, který má komunikační periférie zdvojené oproti tomuto procesoru, má více časovačů a obsahuje další vylepšení. Kromě počtu periférií a drobných rozdílů jsou tyto procesory shodné co se týče velikostí paměti [19]. Jako zdroj hodinového signálu slouží MCU1 krystalový oscilátor s frekvencí krystalu 11,0592 MHz. Tato hodnota umožňuje nastavení bezchybné sériové komunikace a přesných sekundových a ms časovačů, protože pro nastavení příslušných registrů vycházejí celá čísla. Ze schématu na obrázku 20 je patrné spojení obou procesorů pomocí jednoduché komunikační linky sestávající ze dvou GPIO pinů opatřených pull up rezistory R4 a R5.

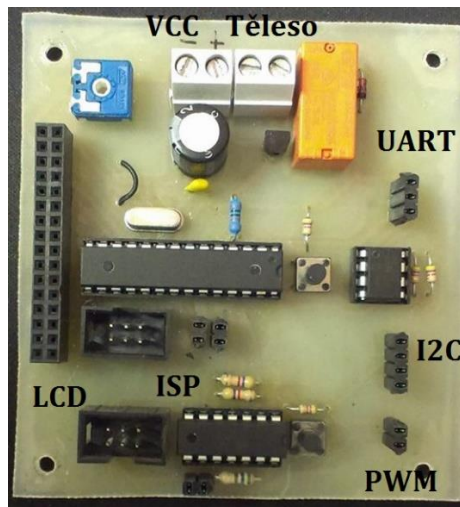


Obrázek 20 - Schéma řídicího obvodu

Tyto signály jsou ve schématu označeny TRIGGER1 a 2. Signál TRIGGER1 je přiveden na vstup externího přerušení INT0 procesoru ATtiny24, dále jen MCU2. Přerušení je nastaveno na sestupnou hranu signálu na INT0. Při odpálení přerušení se zároveň testuje, zda je do nízké logické úrovně stažen i signál TRIGGER2. Je-li tomu tak, MCU2 zajistí, aby se deska s vejci otočila tak, aby byla ve vodorovné poloze. Toho se využívá při spuštění líhně, kdy je třeba vejce do líhně naložit a během posledních dvou dnů líhnutí, kdy je očekáváno vylíhnutí mládřat. Je-li signál TRIGGER2 ve vysoké logické úrovni, MCU2 pouze otočí desku do opačné polohy, než v které se právě nachází. Dále je ze schématu patrné, že k I<sup>2</sup>C sběrnici je kromě teplotního senzoru LM75 připojena také paměť EEPROM 24LC. Ta slouží především k zálohování aktuálního času líhnutí. Ve finální verzi programu je nastaveno zapisování teploty do paměti každou minutu. Po 60 minutách je v paměti tedy 60 záznamů. Je-li v tuto chvíli líheň z nějakého důvodu vypnuta, je po zapnutí načten pomocí paměti opět čas 60 minut. Je jasné že rozlišení 1 minuta není nikterak přesné, ve srovnání s dobou líhnutí (22-30



dnů) je však naprosto dostačující a šetří místem v EEPROM paměti. Paměť zároveň slouží k realizaci funkce jednoduchého dataloggeru, tedy zapisovače teploty.



Obrázek 21 – DPS řídicího obvodu

Požadovaná velikost paměti závisí především na frekvenci zapisování do paměti a délce líhnutí. Je jasné, že je třeba pro výpočet uvažovat nejdelší líhnutí, čili líhnutí hus (31 dnů). Výpočet požadované kapacity paměti je proveden podle následující rovnice.

**Rovnice 7 - Požadovaná kapacita EEPROM**

$$kapacita = \frac{dnů\ líhnutí \cdot 1440}{MINUTDOZAPISU}$$

Pro zápis každou minutu a dobu líhnutí 31 dnů vychází požadovaná kapacita 44640 bytů. Zvolena byla tedy paměť 24LC512 s kapacitou 65536 bytů. Snížením frekvence zápisů na 10 minut, což je pro potřeby zálohování času dostatečné, vychází kapacita 4464 bytů a je tedy možné použít 24LC64 s kapacitou 8192 bytů. Cenový rozdíl je však zanedbatelný a je lepší tedy zvolit paměť s vyšší kapacitou.

Z obrázku 21 je vidět, že periferní obvody, tedy LCD displej, LM75, signál pro servomotor a UART linka jsou vyvedeny na dutinkových lištách, což umožňuje snadnou montáž obvodu. Dále je vidět, že oba procesory je možné programovat přímo na desce pomocí ISP konektorů. S výhodou je užito vývodových provedení integrovaných obvodů, protože se očekává, že při poruše některého z nich budou obsluhou jednoduše nahrazeny, což SMD provedení neumožňuje. Z bezpečnostního důvodu neobsahuje řídicí deska žádný vypínač, nebo vyvedená tlačítka pro resetování procesorů. Líheň je možné vypnout pouze odpojením od zdroje.

### 2.1.8 Programové vybavení

Protože je řízení líhně distribuováno mezi dva procesory, je i programová část rozdělena na dvě. Prvním, jednodušším programem je program pro MCU2, tedy ovladač servomotorů. K ovládání servomotorů využívá MCU2 integrovaný 16-bitový čítač/časovač TIMER1. Ten je nastaven na mód Fast PWM s vrcholem čítání v registru ICR1. Servomotory jsou ovládány PWM signálem o frekvenci 50 Hz, je možné je však přetaktovat až na 200 Hz, čímž se zlepší jejich chod, ale zvýší se jejich spotřeba. Nastavenou frekvenci PWM signálu je možné spočítat pomocí rovnice 8 [20], kde  $f_{CPU}$  je frekvence procesoru a  $N$  je předdělič frekvence.

**Rovnice 8 - Frekvence PWM signálu**

$$f_{OCR1A} = \frac{f_{CPU}}{N(1 + ICR1)}$$

Pro žádanou hodnotu 50 Hz byla zvolena hodnota předděliče 1, čítač/časovač 1 je tedy provozován na frekvenci procesoru MCU2, který je provozován na interním RC oscilátoru s frekvencí 1 MHz. Výpočtem podle rovnice 7 je možné určit hodnotu ICR1, která pro 50 Hz signál vychází 19999. Porovnáním s periodou PWM signálu, tedy 20 ms, je jasně vidět vztah pro okamžité určení hodnot OCR1A registru, kterým se nastavuje šířka pulzů, protože 20 ms odpovídá zhruba hodnotě ICR1 20000. Pro nastavení šířky pulzu v ms stačí hodnotu ICR1 vydělit 20 a poté vynásobit žádanou délkou v ms. Dalším krokem je nastavení externího přerušování INT0. To je pomocí nastavení registru MCUCR nastaveno na sestupnou hranu. Kdykoliv tedy přejde signál na vstupu INT0 z vysoké logické úrovně do nízké, odpálí se přerušování od INT0. Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole 2.1.7, testuje se při odpálení přerušování od INT0 je-li do logické nuly nastaven i druhý signál TRIGGER2. Je-li nastaven pouze TRIGGER1 je deska otočena do opačné polohy, než v které se právě nachází. Otáčení servomotoru je třeba zajistit plynulé, a především dostatečně pomalé, aby vejce nevypadla z desky. To je řešeno postupnou inkrementací hodnoty v registru OCR1A, čímž se posouvá aktuální poloha servomotoru. Zapisovat do OCR1A registru je vhodné pouze při jeho přetečení, respektive komparaci s ICR1, čímž se zabrání chybě PWM při zapsání nižší hodnoty, než do které aktuálně OCR1A načítal. To způsobuje to, že v aktuálním taktu nenastane komparace a PWM výstup je držen po celou dobu taktu v logické 1, což vlastně představuje PWM se střídou 100 %, což by vedlo k nedefinovanému stavu na servomotoru. Zápis nové hodnoty se provádí v přerušování od komparace OCR1A s ICR1.

Druhým programem je program pro MCU1, tedy pro obsluhu zbylých periférií, komunikace a regulaci teploty. Protože je třeba obsluhovat více různých periférií, je tento program členěn

do knihoven, kde pro každou periférii je jedna knihovna. Většina knihoven je vlastního návrhu, jen knihovna pro obsluhu I<sup>2</sup>C rozhraní je od známého autora AVR knihoven Petera Fleuryho [21]. Knihovny pro obsluhu zařízení na I<sup>2</sup>C sběrnici právě tuto knihovnu využívají. Nejdůležitější částí programu je 1 sekundový časovač, který v podstatě udává takt všem operacím líhně. Především však realizuje časování doby líhnutí. V přerušení od tohoto časovače, tedy každou sekundu, je vyčtena teplota z LM75, která je převedena z dvojkového doplňku a uložena v datovém typu float, a je přičtena 1 sekunda do systémového času, při překonání hodnoty 60 je inkrementována hodnota minut atd. Dále je v přerušení testován systémový čas, je-li počet hodin dělitelný 12. Je-li tomu tak, je vyslán příkaz „otoč vejce“ do MCU2. Dále je testováno, zbývají-li pouze dva dny do konce líhnutí, je-li tomu tak, je do MCU2 vyslán příkaz „vejce na střed“, protože poslední dva dny se očekává klubání mláďat, která se klubou vždy vzhůru a není dobré jimi otáčet. Dále se testuje, je-li počet minut dělitelný hodnotou MINUTDOZAPISU, která udává periodu zapisování do paměti EEPROM. Při pozitivním testu se do paměti uloží hodnota teploty převedena z desetinného čísla na jeden byte a je inkrementována adresa pro zápis dalšího čísla. Zbytek programu je prováděn ve smyčce while. Je zde provedeno dvoustavové regulování teploty, obsluha LCD displeje a menu, které se zobrazuje po spuštění.

Inicializace programu:

```
int main(void)
{
    IO_Init(); //GPIO piny
    UART_Init(76800,1,1,1,1); //UART komunikace
    Timer1Init(); //čítač/časovač 1
    LCD_Init(); //LCD 4 bitově
    i2c_init(); //I2C knihovna Peter Fleury [21]
    Menu1(); //Startovní menu (Nové líhnutí, Pokračovat v líhnutí)
    _delay_ms(100);
    SendTrigger(0); //Otoč vejce
    sei(); //povolení přerušení
    timeoutStart = 1; //timeout UART - připojením kabelů mohou vznikat falešná
vybrání líhní
    uint8_t menu = 0;

    while (1)
    {...
```

Po spuštění mikrokontroléru jsou inicializovány jednotlivé periférie. Nejprve funkcí IO\_Init jsou inicializovány použité vstupně výstupní piny. Jedná se o piny pro tlačítka, piny pro komunikaci s druhým kontrolérem (TRIG1 a TRIG2) a pin pro řízení tranzistoru, který spíná relé a tím i topné těleso. Dále je funkcí UART\_Init nastaven chod UART rozhraní. Parametry této funkce označují baudrate, povolení vysílání, povolení přijímání, povolení přerušení

a počet stop bitů. Pro nastavení baudrate je třeba vypočítat hodnoty registru UBRR, což je provedeno podle rovnice 9, kde  $f_{CPU}$  je frekvence krystalového oscilátoru a BAUD je požadovaná modulační rychlost.

#### Rovnice 9 - Výpočet UBRR

$$UBRR = \frac{f_{CPU} + (BAUD \cdot 8)}{(BAUD \cdot 16) - 1}$$

Výpočet UBRR:

```
int baud = ((F_CPU + BaudRate * 8L) / (BaudRate * 16L) - 1);
UBRR0H = (uint8_t)(baud>>8);
UBRR0L = (uint8_t)baud;
```

Výsledek je obecně 16-bitové číslo a je třeba jej rozdělit do dvou příslušných registrů UBRRL a UBRRH. To je provedeno pomocí operace bitového posunu.

Následuje funkce Timer1Init, kde je nastaven čítač/časovač na režim CTC (Clear timer on compare [19]). Předdělička je nastavena na 1024, vrchol čítání OCR1A = 10799 (podle rovnice 10, kde  $f_{CPU}$  je frekvence krystalového oscilátoru, N je předdělička a t je perioda přerušení) a je povoleno přerušení při komparaci TCNT1 s OCR1A.

#### Rovnice 10 - Nastavení CTC režimu

$$t = \frac{OCR1A}{\frac{f_{CPU}}{N} - 1} = \frac{10799}{\frac{11059200}{1024} - 1} = \frac{10799}{10799} = 1 \text{ s}$$

Další funkcí je inicializace dvouřádkového 16 znakového LCD displeje. Ten je provozován ve 4-bitovém režimu, kdy jsou zapojeny pouze čtyři horní datové piny LCD a komunikace probíhá po nibblech, čili po polovinách bytů. Kód pro obsluhu LCD vychází z datasheetu displeje (zejména časování mezi operacemi – není totiž použit R/W pin)

Obsluha přerušení od čítače/časovače 1:

```
ISR(TIMER1_COMPA_vect)
{
    if(timeoutStart) //Timeout UART komunikace
    {
        timeout ++;
        if(timeout > 4)
        {
            timeout = 0;
            timeoutStart = 0;
            jeVybran = 0;
            bytuPrijato = 0;
        }
    }
}
```

```

    }
}
sekundy++;
if(sekundy >= 60)
{
    sekundy = 0;
    minuty++;

    if(minuty%MINUTDOZAPISU == 0) //Každých MINUTDOZAPISU zapiš do EEPROM
    {
        zapisEEPROM = 1;
    }

    if((dobaLihnuti - dny) <=2) //poslední dva dny líhnutí vejce na střed
    {
        SendTrigger(1); //TRIG1 a TRIG2 LOW
    }

    if(minuty>=60)
    {
        minuty = 0;
        hodiny++;

        if(dny<(dobaLihnuti-2)) //kromě posledních dvou dnů líhnutí...
        {
            if(hodiny%12 == 0) //každých 12 hodin otoč vejce
            {
                SendTrigger(0); //TRIG1 LOW
            }
        }

        if(hodiny >=24)
        {
            hodiny = 0;
            dny++;
            if((dobaLihnuti - dny) == 0)
            {
                konecLihnuti = 1; //Zobrazení hlášky o konci
                líhnutí, udržování nastavené teploty, bez otáčení vajec
            }
        }
    }
}
teplota = LM75TempF(); //Načtení teploty z LM75
}

```

Obsluha přerušení od UART:

```

ISR(USART_RX_vect)
{
    timeoutStart = 1; //Start timeoutu
    uint8_t data = UDR0;
    bytuPrijato++;
    if(bytuPrijato == 1) //Test, je-li líheň adresována
    {
        if(data == ADRESALIHNE)
        {
            jeVybran = 1;
        }
        else
        {
            jeVybran = 0;
        }
    }
}

```

```

    }
}
else if(bytuPrijato == 2)
{
    if(jeVybran)
    {
        if(data >0 && data <= 3)
        {
            operace = data; //Načtení požadované operace
            provedOperaci = 1;
        }
    }
    jeVybran = 0; //Po přijetí 2 bytů reset stavových proměnných
    bytuPrijato = 0;
}
}

```

Výše uvedené zdrojové kódy obsluhují nejdůležitější části programu. Především přerušení od čítače/časovače 1 je důležité, protože udává „rytmus“ celému kontroléru. Jak již bylo řečeno, zbytek operací je prováděn v nekonečné smyčce while.

Dvoustavová regulace:

```

if(teplota <= ((TEPLOTA) - HYSTDOLNI))
{
    RELEPORT |=1<<RELEPIN;
    sepnuto = 1;
}
else if(teplota >= ((TEPLOTA) + HYSTHORNI))
{
    RELEPORT &=~(1<<RELEPIN);
    sepnuto = 0;
}

```

Líheň je možné spustit dvěma způsoby. Prvním způsobem je zahájení nového líhnutí. V prvním menu je pomocí tlačítka DALŠÍ na předním panelu zvolena položka Nove lihnuti a potvrzena tlačítkem ZVOLIT. V dalším menu je pomocí tlačítka DALŠÍ zvolen druh, který chceme líhnout a je potvrzen tlačítkem ZVOLIT. Při vybírání v menu je deska ve vodorovné poloze, takže je snadné ji zaplnit vejci. Po zvolení druhu se vymaže paměť EEPROM a na adresu 0 se zapíše číslo 1 až 3 podle zvoleného druhu (slepice, kachny, husy). Po tomto kroku se deska s vejci otočí do krajní polohy a začíná líhnutí.

Vymazání EEPROM (sekvenční zápis hodnoty 255 po stránkách – 128 bytů sekvence):

```

void VymazEEPROM()
{
    for(uint32_t i = 0; i<ROMLENGTH;i+=128)
    {
        i2c_start_wait(EEPROMWRITE);
        i2c_write(i>>8);
        i2c_write(i);
        for(uint8_t j = 0;j<128;j++)
        {

```

```

        i2c_write(255);
    }
    i2c_stop();
    _delay_ms(5);
}
_delay_ms(10);
}

```

Druhým způsobem je zvolení pokračování v líhnutí (funkce VypocitejCas). V prvním menu je zvolena položka Pokr. v líhnutí. Po tomto kroku je spuštěna funkce, která prohledává v cyklu FOR paměť EEPROM a hledá první prázdnou adresu (obsah 255). Pokud je adresa nenulová, tedy různá od 255, je čas inkrementován o hodnotu MINUTDOZAPISU. Po nalezení nulového záznamu je vypočtena celková doba líhnutí a ze znalosti líhnutého druhu (adresa 0 v EEPROM) i zbývající doba potřebná k líhnutí. Po zvolení této možnosti deska s vejci opět putuje k jedné z úvratí a je tedy znovu obnoveno líhnutí. Tento způsob je vhodný zejména proto, že je občas nutné líheň odpojit od zdroje z důvodu aktualizace firmwaru, vyčistit líheň, nebo ji přenést na jiné místo.

Funkce VypocitejCas:

```

void VypocitejCas()
{
    uint16_t adresa = 0;
    uint8_t data = 0;

    druh = EEprom_Read(adresa); //Načtení líhnutého druhu z adresy 0
    adresa = 1;
    switch(druh) //Upravení doby líhnutí podle druhu
    {
        case 1:
            dobaLihnuti = 22;
            break;

        case 2:
            dobaLihnuti = 28;
            break;

        case 3:
            dobaLihnuti = 31;
            break;
    }
    while(1) //Hledání nulového (255) záznamu
    {
        data = EEprom_Read(adresa);
        if(data != 255)
        {
            data = 0;
            adresa++;
            minuty+=MINUTDOZAPISU;
            if(minuty >= 60)
            {
                minuty = 0;
                hodiny ++;
            }
        }
    }
}

```

```

        if(hodiny >= 24)
        {
            hodiny = 0;
            dny++;
        }
    }
else
{
    break;
}
}
adresaZapisu = adresa; //Po nalezení nulového záznamu pokračuje líhnutí
}

```



Obrázek 22 - Režim nového líhnutí



Obrázek 23 - Pokračování v líhnutí

V průběhu líhnutí je možno pomocí tlačítka DALŠÍ přepnout mezi zobrazení teploty, času, stavu regulátoru a líhnutého druhu a zbývajících času.

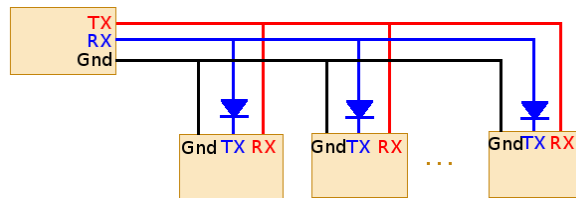


Obrázek 24 - Informace o líhnutí



## 2.1.9 Komunikace s PC

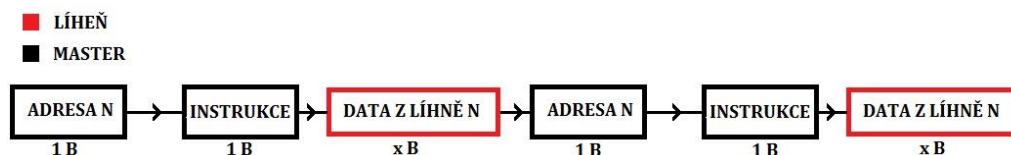
Zajímavou částí práce je komunikace lání s PC pomocí UART linky. Ta je primárně určena pro propojení dvou zařízení. V této práci je však UART linka provedena jako sběrnice, jejíž uspořádání je na obrázku 25. Toto zapojení se označuje jako Multidrop.



Multidrop network for RS232

Obrázek 25 - UART sběrnice [22]

PC neřídí chod lání. Zcela vlevo nahoře je zařízení sloužící jako master, v tomto případě obvod CP2102, který slouží jako převodník UART/USB, a nepřímo tedy PC. Ostatní zařízení jsou v tomto případě láně. Ze schématu je patrné, že každá láně na sběrnici „vidí“ jen master a master „vidí“ všechny láně. Dále láně sdílejí jednu přijímací RX linku. Master tedy musí zajistit adresování. Komunikace mastera s lání probíhá následovně. Master vyšle na RX linku lání adresu láně, s kterou chce komunikovat. Všechny láně odpálí přerušení od UART linky a testují, je-li tento první byte roven jejich adrese. Je-li tomu tak, láně naslouchá dál, tedy na další byte, v opačném případě láně následující byte ignoruje a nic nedělá. Druhý byte obsahuje kód operace, kterou má láně provést, kde 1 znamená ACK (nahlášení se), 2 znamená požadavek na aktuální teplotu a 3 znamená požadavek na obsah EEPROM. Láně v přerušení podle druhého bytu nastaví proměnnou operace a poté ve smyčce while jednou provede zvolenou operaci. Po odeslání dvou bytů z mastera se všechny láně dostanou do výchozího stavu, jen zvolená láně vysílá data. Na masterovi je, aby po ukončení tohoto přenosu znovu adresoval další láně.



Obrázek 26 - Komunikace po UART

Master tedy musí detekovat konec vysílání láně a až poté odeslat další požadavek. To je zajištěno tím, že láně odesílá na konci záznamu znak pro ukončení řádku `\r\n`. Láně jsou navíc vybaveny časovým timeoutem, který zajistí, že se sběrnice po 5 sekundách uvolní. Po

přijetí prvního bytu čekají líně na druhý. Když ten nepřijde, tak nastává deadlock, čili zaseknutí programu, což řeší právě timeout.

Převodník CP2102 je umístěn v samostatné montážní krabici. S PC je spojen USB kabelem. Spojení s líněmi je realizováno audio kabely 3.5 Jack. Maximální možná modulační rychlost UART komunikace s rostoucím počtem připojených líní klesá z důvodu rostoucí kapacity sběrnice. Pro jednu líň je maximální rychlost 115200 Bd. Pro dvě líně už je to jen 76800 Bd.

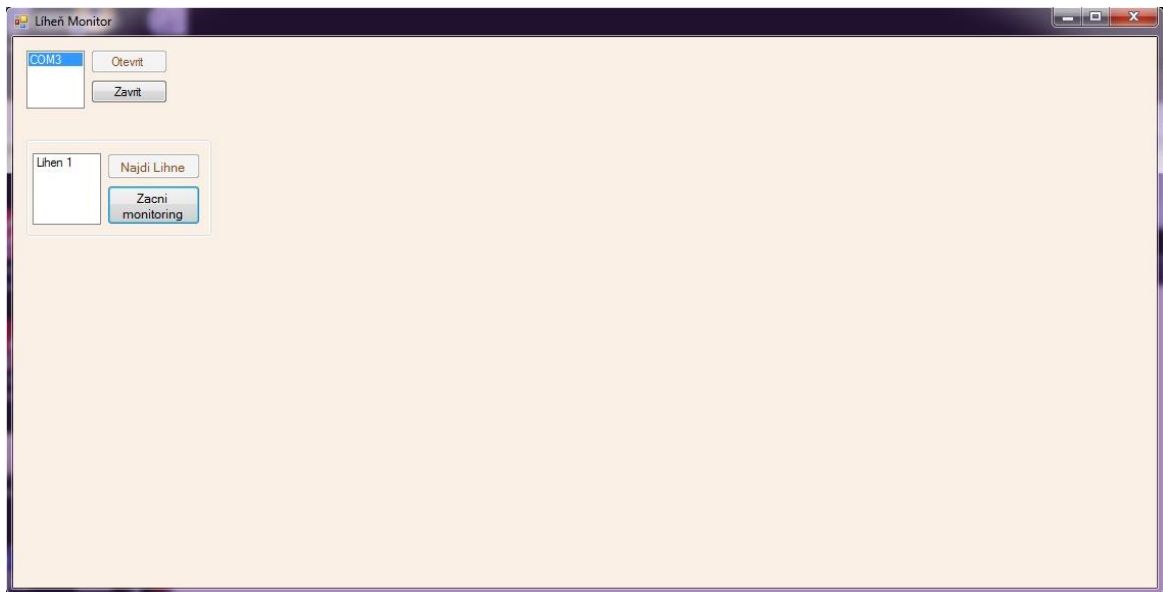


Obrázek 27 - Komunikační obvod

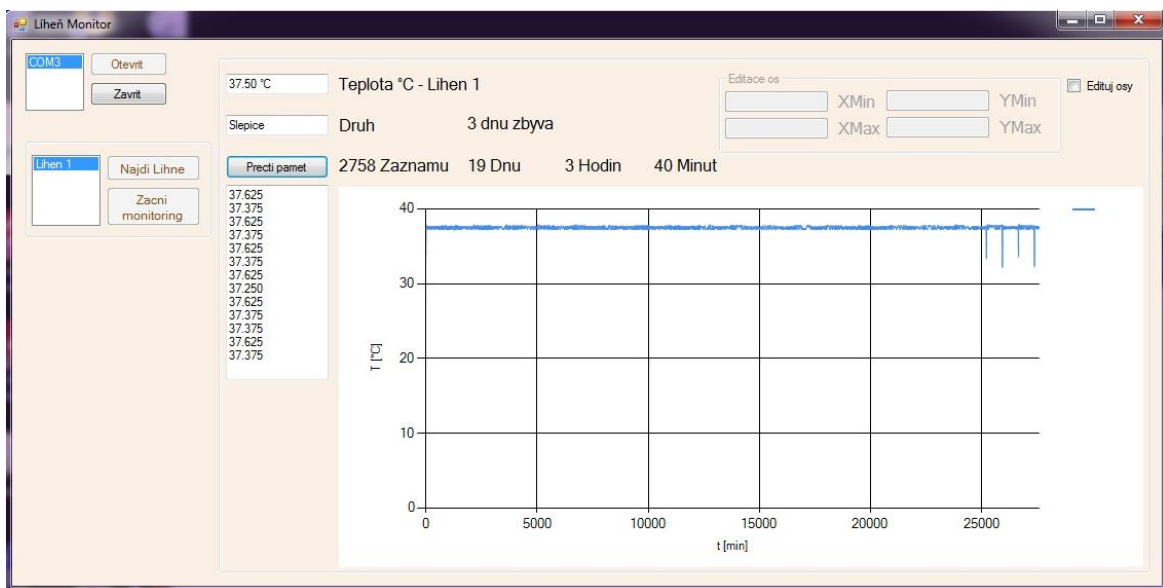
### 2.1.10 Monitorovací aplikace

Z předchozí kapitoly je patrné, že veškerou aktivitu na sběrnici UART řídí zařízení master, čili nepřímo skrze CP2102 počítač. Je tedy nutné navrhnout aplikaci, která toto řízení obsluhuje. Aplikace byla navržena ve vývojovém prostředí Visual Studio 2015 v jazyce C#. Byla navržena jako uživatelsky přátelská terminálová aplikace s GUI. Samotnou funkci aplikace lze rozdělit na dvě části. První částí je obsluha sériového portu. Ten je, kvůli připojení dvou líní, nastaven na modulační rychlost 76800 Bd (viz. 2.1.9). Po spuštění aplikace se v combo boxu zobrazí dostupné sériové porty. CP2102 se v defaultním nastavení zobrazí jako COM3. Po vybrání příslušného portu je možné komunikaci otevřít tlačítkem Otevřít. Aplikace vyhodnotí, zda byl vybrán port a v případě že nebyl, neumožní otevření komunikace. Po vybrání portu a otevření komunikace se zpřístupní další část menu. V ní se nachází dvě tlačítka. Tlačítko Najdi líně slouží k prohledání sběrnice a zjištění, které líně jsou připojeny. Funkce, která tuto operaci obsluhuje vysílá na sběrnici postupně adresy líní s požadavkem na ACK, tedy nahlášení se. Obdrží-li aplikace informaci ve tvaru Lihen N OK\r\n, kde N je adresa líně, přidá do dalšího combo boxu adresu líně, která odpověděla. Neobdrží-li po určitém časovém intervalu odpověď, adresu inkrementuje a dotazuje se další líně. Po proběhnutí této dotazovací funkce se zpřístupní tlačítko Začni monitoring, které umožní monitorovací funkce aplikace. Především vyčtení aktuální teploty z vybrané líně

s intervalem aktualizací 500 ms a vyčtení kompletního obsahu paměti EEPROM, tedy zobrazení teploty v průběhu líhnutí v grafu.



Obrázek 28 - Dotaz na líhně na sběrnici



Obrázek 29 - Monitorování stavu líhně

Z obrázku 29 je patrné, že se v průběhu líhnutí teplota drží okolo nastavené hodnoty 38 °C. Z počtu záznamů (zde 2758) a ze znalosti hodnoty MINUTDOZAPISU (zde 10) je možné vypočítat čas líhnutí a zbývající dobu líhnutí. Z paměti je z adresy 0 načten líhnutý druh a po vypočtení času je dopočítán zbývající čas. Zaškrtnutím tlačítka Edituj osy je možné upravit rozsah zobrazených informací v grafu a je možné si například přiblížit průběh teploty, nebo vyšetřovat, jak dlouho trvá náběh teploty v líhni na požadovanou teplotu.

## 2.2 Porovnání s komerčními líhněmi

Porovnání s komerčními řešeními pro líhnutí drůbeže je provedeno podle pořizovací ceny. Do pořizovací ceny líhni zhotovených v rámci tohoto projektu nejsou započítány ceny materiálu, které byly dostupné v domácí dílně. Jedná se zejména o hliníkové profily, plastové desky, Harting konektory, kabely a chladiče. Sečtením celkových nákladů na zhotovení kompletního systému vychází částka 5593,- Kč. To zahrnuje dvě plně automatické líhně a zdrojovou část zálohovanou trakční baterií. Odečtením nákladů na zhotovení zdrojové části, které činí 3145,- Kč vychází cena jedné líhně 1224,- Kč. Líheň však bez zdroje provozovat nelze. Lze ji však provozovat bez zálohování napájení. Cena napájecího zdroje bez akumulátoru činí 845,- Kč. Celkem tedy stojí pořízení jedné kompletní líhně bez akumulátoru 2069,- Kč, což je výchozí cena pro porovnání. Cena jedné líhně s akumulátorem je 4369,- Kč. K porovnání byly vybrány tři běžně dostupné automatické líhně s otáčením vajec.

První líheň [23] je automatický inkubátor s kapacitou 15 slepičích vajec s pořizovací cenou 1899,- Kč. Je napájen ze síťového napětí, je tedy třeba dbát zvýšené pozornosti při jeho provozu a nelze jej jistit akumulátorovým záložním zdrojem. Vejce jsou naklápěna každé dvě hodiny, což není vhodné, zejména v posledních dnech líhnutí, kdy mládě neví, kterým směrem se má klubat ven, protože se chce klubat vždy směrem vzhůru, ale relativně často se otáčí, takže ztrácí orientaci. Dále líheň neumožňuje líhnutí jiných druhů kromě slepic, protože se do lísky větší vejce nevejdou. Poslední nevýhodou je absence monitorování času líhnutí. Jedinou výhodou uvedené líhně je její nižší pořizovací cena.

Druhá líheň [24] je automatická líheň drůbeže Covina super 24 s dolíhni s pořizovací cenou 4740,- Kč. Líheň je opět napájena ze síťového napětí, tedy neumožňuje zálohování napájení. Kapacitou tato líheň převyšuje zhotovené líhně o dvě slepičí vejce. Líheň umožňuje líhnutí i jiných druhů, než slepic. Vejce se opět otáčí každé dvě hodiny. Líheň opět nehlídá čas líhnutí. Výhodou oproti zhotoveným líhním je nucená cirkulace vzduchu v líhni zajištěná ventilátorem a nádržka na vodu, která se odpařuje a zvlhčuje vejce. Srovnáním parametrů je jasné, že zhotovené líhně se vyrovnají, nebo spíše převyšují uvedenou líheň s více jak o polovinu menší pořizovací cenou.

Poslední líheň [25] je líheň Janoel 24 digitální automat s pořizovací cenou 3990,- Kč. Líheň je opět napájena ze sítě. Kapacita líhně je 24 slepičích vajec. Vejce se otáčí každé 4 hodiny, což je lepší, než u předchozích uvedených líhni, ale stále nevhodné, zejména během klubání mláďat. Výhodou této líhně je vybavení ventilátorem, který zajišťuje cirkulaci vzduchu a

nádržka na vodu. Líheň opět není vybavena zobrazením času líhnutí. Opět je jedná o líheň srovnatelných parametrů s téměř dvojnásobnou pořizovací cenou.

Porovnáním uvedených líhni se zhotovenými líhněmi je vidět, že za téměř stejnou pořizovací cenu je možné sestavit plně automatickou líheň zálohovanou akumulátorem. Výjimku tvoří samozřejmě první porovnávaná líheň, která je ovšem už od pohledu zhotovena z méně kvalitních materiálů a jeví se spíše jako hračka, než opravdová líheň.

## ZÁVĚR

Výsledkem bakalářské práce je modulární systém o dvou líhních, jehož napájení je plně zálohováno trakčními bateriemi o dostatečné kapacitě 74 Ah. Při průměrném proudovém odběru celého systému 5 A je možné líhně z akumulátoru provozovat přibližně 15 hodin, což výsoce převyšuje běžnou dobu výpadku energie [26]. Vytyčené cíle byly bez výjimek naplněny. Líhně jsou během procesu inkubace plně autonomní a vyžadují pouze minimální zásahy obsluhy, především v podobě doplnění vody do misky pro odpařování. Vodu je třeba doplnit jednou za dva dny. Líhně jsou napájeny zdrojem o bezpečném napětí 12 V, což umožňuje manipulaci s líhni i neznalým osobám, protože riziko úrazu elektrickým proudem je minimální. Konektory pro rozvod napájecího napětí jsou vybaveny zámkem, což eliminuje možnost nechtěného odpojení líhni od napájení.

Líhně jsou řízeny 8-bitovými procesory Atmel ATmega328p a ATtiny24. První zmíněný procesor obsluhuje LCD displej na předním panelu, teplotní senzor LM75, zálohování času ukládáním hodnot teploty v EEPROM a komunikaci s PC prostřednictvím sériové linky UART zapojené ve sběrnicovém režimu označovaného jako Multidrop. Druhý procesor obsluhuje servomotor, který je použit pro otáčení vajec. Pro komunikaci s PC slouží obvod CP2102, což je převodník UART/USB.

Monitorovací aplikace v PC neřídí chod líhni. Slouží pouze k zobrazení aktuálních teplot v připojených líhních a k zobrazení průběhů teplot v závislosti na čase líhnutí. Aplikace je vybavena přehledným uživatelským rozhraním, takže její obsluhu zvládne každý.

Výsledné zařízení má kompaktní rozměry a je vybaveno madly pro jednoduchý přenos na místo líhnutí. Celý systém je možné umístit na desku stolu o ploše 1 m<sup>2</sup>.

Osobní cíle práce byly rovněž splněny. Porovnání s komerčními řešeními ukázalo, že zhotovený systém je stejně dobrý, nebo i lepší než cenově srovnatelné komerční líhně. Veškeré desky DPS byly zhotoveny v domácích podmínkách metodou fotocesty s užitím podomácku vyrobené osvitové jednotky.

Do budoucna je třeba jednotlivé líhně především vybavit obvodem pro ochranu proti přepólování napájení. Dále by bylo vhodné na desky DPS umístit popisy jednotlivých konektorů, což by zlehčilo zapojení. Dalším vhodným vylepšením by byl systém pro řízení vlhkosti v líhni.

## SEZNAM ZDROJŮ

- [1] I. Prombergerová, „Líhnutí v líhni,“ v *Drůbež na vašem dvoře*, Praha, Brázda, 2012, pp. 59-62.
- [2] „Egg Incubators in Kenya: How to Hatch Your Own Chicks,“ *HowToDIYs*, 3 Říjen 2016. [Online]. Available: <http://www.howtodiy.com/egg-incubators-in-kenya/>. [Přístup získán 20 Duben 2017].
- [3] I. Prombergerová, „Násadová vejce,“ v *Drůbež na vašem dvoře*, Praha, Brázda, 2012, pp. 56-58.
- [4] TheGrovesteads, „The \$3, 30-Minute Egg Incubator,“ *Instructables*, 2016. [Online]. Available: <http://www.instructables.com/member/TheGrovestead/>. [Přístup získán 20 Duben 2017].
- [5] P. Hořínek, „Regulátor teploty,“ [Online]. Available: <http://www.elektronikacz.borec.cz/Data/Regulator%20teploty.htm>. [Přístup získán 18 Duben 2017].
- [6] D. Prof. RNDr. Milan Tichý, „Fyzikální sekce Matematicko-fyzikální fakulty UK,“ 7 Květen 1998. [Online]. Available: <http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/>. [Přístup získán 19 Duben 2017].
- [7] „Wikipedia - Triak,“ Wikimedia Foundation, 18 Leden 2017. [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Triak>. [Přístup získán 20 Duben 2017].
- [8] „Wikipedia - Tyristor,“ Wikimedia Foundation, [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tyristor>.
- [9] J. Košťál, „Teplotní závislost odporu kovových vodičů,“ Leden 2008. [Online]. Available: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36489.pdf>.
- [10] N. W. E. contributors, „Thermoelectric effect,“ *New World Encyclopedia*, 25 Listopad 2015. [Online]. Available: [http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Thermoelectric\\_effect](http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Thermoelectric_effect).

- [11] „Thermistors Types and Applications,“ ElectronicsHub.org, 13 Srpen 2015. [Online]. Available: <http://www.electronicshub.org/thermistors-types-and-applications/>. [Přístup získán 20 Duben 2017].
- [12] L. Kohout, „Snímače teploty,“ 2008. [Online]. Available: <http://www.edumat.cz/texty/teplota.pdf>.
- [13] „Automatická líheň na drůbež,“ [Online]. Available: <http://www.lihnuti.cz/Automaticka-lihen-na-drubez-kapacita-39-vajec-d12.htm>. [Přístup získán 19 Duben 2017].
- [14] „Spínaný zdroj P-250-12 12V 20A 240W,“ HotAir.cz, [Online]. Available: <http://www.hotair.cz/detail/prumyslove-zdroje/modulove-pro-vestavbu/spinany-zdroj-p-250-12-12v-20a-240w.html>. [Přístup získán 24 Duben 2017].
- [15] I. McMinn County Amateur Radio Club, „McMinn County Amateur Radio Club,“ [Online]. Available: <http://www.mcminnarc.com/helps/charge/charge.html>. [Přístup získán 24 Duben 2017].
- [16] „12V/ 36W topná folie ohebná, samolepící, PES (320x 136mm) TF03,“ Malapa, [Online]. Available: <http://malapa.cz/produkty/topne-folie-a-pasy/TF03/#>. [Přístup získán 24 Duben 2017].
- [17] Philips, „LM75 - Digital Temperature Sensor,“ 2007. [Online]. Available: [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/LM75A.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LM75A.pdf). [Přístup získán 24 Duben 2017].
- [18] „ATmega328PB Complete datasheet,“ Říjen 2015. [Online]. Available: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42397-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328PB\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42397-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328PB_Datasheet.pdf). [Přístup získán 25 Duben 2017].
- [19] „ATmega328/P Complete datasheet,“ Listopad 2016. [Online]. Available: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf). [Přístup získán 25 Duben 2017].
- [20] „ATtiny24 Complete datasheet,“ 2010. [Online]. Available: <http://www.atmel.com/images/doc8006.pdf>. [Přístup získán 27 Duben 2017].



- [21] P. Fleury, „Peter Fleury online,“ 25 Červenec 2016. [Online]. Available: <http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/avr-software.html>. [Přístup získán 27 Duben 2017].
- [22] „MojeHobby,“ 16 Říjen 2008. [Online]. Available: <http://www.mojehobby.cz/diskuze/strom2.php?idforum=17&potec=999995>. [Přístup získán 27 Duben 2017].
- [23] „Automatický inkubátor pro 15 slepičích vajec,“ VidaXL Europe B.V., 2017. [Online]. Available: <https://www.vidaxl.cz/e/8718475935490/automaticky-inkubator-pro-15-slepich-vajec?gclid=CNzOqfGZytMCFcyRGwod-xQIog>. [Přístup získán 29 Duben 2017].
- [24] „Automatická digitální líheň kuřat, drůbeže COVINA SUPER 24 s dolíhni,“ [Online]. Available: [https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz/automaticka-digitalni-lihen-kurat-drubeze-covina-super-24-s-dolihni-p16260/?utm\\_source=Google+n%C3%A1kupy&utm\\_medium=ppc&utm\\_campaign=Automatic%C3%A1+digit%C3%A1ln%C3%AD+1%C3%ADhe%C5%88+ku%C5%99at,+dr%C5%AFbe%C5%BE](https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz/automaticka-digitalni-lihen-kurat-drubeze-covina-super-24-s-dolihni-p16260/?utm_source=Google+n%C3%A1kupy&utm_medium=ppc&utm_campaign=Automatic%C3%A1+digit%C3%A1ln%C3%AD+1%C3%ADhe%C5%88+ku%C5%99at,+dr%C5%AFbe%C5%BE). [Přístup získán 29 Duben 2017].
- [25] M. Hradský, „Líheň Janoel 24 digitální automat,“ Plugo, [Online]. Available: <http://www.hradsky-sunk.cz/lihne-a-ohrivani/lihen-janoel-24-digitalni-automat?gclid=CJXW04ehytMCFWgq0wodwmgLbQ>. [Přístup získán 29 Duben 2017].
- [26] „Energetický regulační úřad - Roční zpráva o provozu ES ČR,“ 2015. [Online]. Available: [http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2015.pdf/](http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf/). [Přístup získán 7 Květen 2017].

## **PŘÍLOHA – CD**

Přiložené CD obsahuje:

- Kompletní program pro MCU1 a MCU2 (projekty v Atmel Studiu 7)
- Monitorovací aplikaci pro PC (projekt ve Visual Studiu 15)
- Kompletní projekt z EAGLE
  - Schéma a DPS kontroléru
  - Schéma a DPS napájecího zdroje
  - Schéma a DPS adaptéru pro LM75
  - Schéma a DPS adaptéru pro CP2102
  - Schéma a DPS tlačítkového panelu
- Elektronickou verzi práce ve formátu PDF
- Obrázky hotového systému líhni
- Odkaz na předváděcí video na Youtube