

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

INKUBÁTOR S REGULACÍ TEPLoty A VLHKOSTI

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

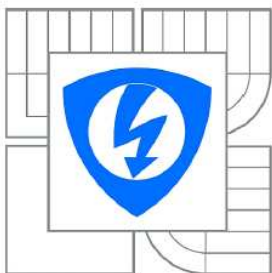
Bc. MATÚŠ HIKANÍK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## INKUBÁTOR S REGULACÍ TEPLoty A VLHKOSTI

INCUBATOR WITH ADJUSTABLE TEMPERATURE AND HUMIDITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

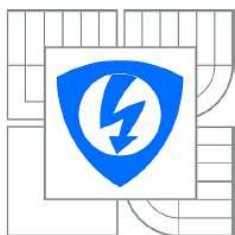
Bc. MATÚŠ HIKANÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILOSLAV STEINBAUER,  
Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

## Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor

**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Bc. Matuš Hikaník

**Ročník:** 2

**ID:** 98507

**Akademický rok:** 2010/2011

**NÁZEV TÉMATU:**

**Inkubátor s regulací teploty a vlhkosti**

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Obsahem práce je návrh konstrukce inkubátoru s možností měření a regulace teploty a vlhkosti. Prostudujte parametry komerčně vyráběných inkubátorů a navrhněte řešení elektronického měření a regulace termostatu a hygrostatu.

Navrhnete mechanické uspořádání inkubátoru s ohledem na homogenitu teplotního pole. Navrhnete řešení termostatu a hygrostatu. Realizujte funkční vzorek a experimentálně ověřte dosaženou přesnost a stabilitu regulace. Předpokládaný rozsah regulace teploty 20-38 °C a vlhkosti 25 až 80% r.v. Komunikace s PC přes USB a LAN.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FUKÁTKO, J., FUKÁTKO, T. Teplo a chlazení v elektronice. Praha: BEN – technická literatura, 2006
- [2] Odchovny - online na <http://www.odchovny.cz>
- [3] Brinsea - incubation specialists - online na <http://www.brinsea.co.uk>
- [4] Termoelektrické chlazení - online na <http://www.supercool.cz>
- [5] BALÁTE, J. Automatické řízení. Praha: BEN - technická literatura, 2004
- [6] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje I, II, III. Praha: BEN – technická literatura, 1999

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 20.5.2011

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D.

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Táto práca sa zaoberá porovnaním typov a vlastností dostupných komerčne vyrábaných inkubátorov pre odchov exotického vtáctva. Snaží sa o nájdenie, čo možno najlepšie riešenie v tejto oblasti. Uvádza porovnania a výber jednotlivých komponentov určených pre realizáciu vlastného zariadenia, ako aj riešenie regulácie teploty a vlhkosti v zariadení a zistenie parametrov daného prostredia. Ďalej je vypracované riešenie termostatu a hydrostatu pre konkrétny navrhovaný prípad. Zmena teploty je pomocou Peltierovho článku vo vhodnej sústave. Vlhkosť je regulovateľná pomocou odporového odparovača. Na riadenie celého systému slúži mikrokontrolér. Zariadenie komunikuje s PC cez rozhrania USB a LAN. Výsledkom práce je zhotovený funkčný prototyp.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Inkubátor, odchov, regulácia teploty a vlhkosti, komunikácia s PC, USB, LAN, automatizované riadenie, Peltierov článok, ultrazvukový odparovač, odporový zvlhčovač, tepelná kapacita, tepelný odpor, h-mostík,

## **ABSTRACT**

This project deals with comparing types and properties of commercial produced incubators for exotic birds. It searches the best solution from these area. In this project are compared individual components and their choice for realization in this project. Then in this project is solution of regulation temperature and humidity in engineered mechanism and discovered parameters of specifically space. Then is developed solution of thermostat and hydrosatat for this prototype. Temperature is changed by Peltier module, who is involved in correct system. Humidity is regulated by resistor humidifier. Complex system is managed by microcontroler. System communicates with PC via USB interface and Ethernet. Solution of this project is maked functional prototyp.

## **KEYWORDS**

Incubator, rearing, temperature and humidity regulation, communication with PC, USB, LAN, automated operating, peltier module, ultrasonic atomizer, resistor humidifier, thermal capacity, thermal resistance, h-bridge.

## **PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému Inkubátor s reguláciou teploty a vlhkosti som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedeného semestrálneho projektu ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č.40/2009 Sb..

V Brne dňa .....

.....

(podpis autora)

## **POĎAKOVANIE**

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Miloslavovi Steinbauerovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce.

V Brne dňa .....

.....

(podpis autora)

HIKANÍK, M. *Inkubátor s regulací teploty a vlhkosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 72 s. Vedúci diplomovej práce doc. Ing. Miloslav Steinbauer, Ph.D.

# OBSAH

|                                                         |             |
|---------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Zoznam obrázkov.....</b>                             | <b>V</b>    |
| <b>Zoznam tabuliek.....</b>                             | <b>VIII</b> |
| <b>1 Úvod.....</b>                                      | <b>1</b>    |
| <b>2 Inkubátory.....</b>                                | <b>2</b>    |
| 2.1 Význam inkubátorov.....                             | 2           |
| 2.2 Prehľad vyrábaných typov .....                      | 3           |
| <b>3 Návrh vlastného zariadenia.....</b>                | <b>8</b>    |
| 3.1 Principiálne zapojenie elektroniky zariadenia ..... | 8           |
| 3.2 Senzory .....                                       | 9           |
| 3.2.1 Senzory teploty .....                             | 9           |
| 3.2.2 Senzory vlhkosti .....                            | 10          |
| 3.2.3 Vybraný senzor .....                              | 12          |
| 3.3 Regulátory teploty a vlhkosti .....                 | 13          |
| 3.3.1 Regulácia teploty .....                           | 13          |
| 3.3.2 Regulácia vlhkosti.....                           | 14          |
| 3.4 Riadenie .....                                      | 17          |
| 3.4.1 Zapojenie mikrokontroléra .....                   | 18          |
| 3.5 Pamäť .....                                         | 19          |
| 3.6 RTC.....                                            | 20          |
| 3.7 Displej .....                                       | 21          |
| 3.8 Napájací zdroj .....                                | 22          |
| 3.9 Akumulátor .....                                    | 23          |
| 3.10 LED signalizácia.....                              | 23          |
| 3.11 Tlačidlá .....                                     | 23          |
| 3.12 Komunikácia s PC .....                             | 24          |
| 3.12.1 Komunikácia cez USB.....                         | 24          |
| 3.12.2 Komunikácia cez LAN .....                        | 26          |
| 3.13 Svetlo .....                                       | 27          |

|           |                                                                           |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.14      | Princíp cirkulácie vzduchu.....                                           | 27        |
| <b>4</b>  | <b>Termoelektrické chadenie a ohrev.....</b>                              | <b>29</b> |
| 4.1       | DA systém (kontakt - vzduch) .....                                        | 29        |
| 4.2       | Parametre použitého boxu .....                                            | 29        |
| 4.2.1     | Objem.....                                                                | 29        |
| 4.2.2     | Tepelný odpor a tepelná kapacita .....                                    | 29        |
| 4.3       | Výber vhodného Peltierovho článku.....                                    | 33        |
| 4.3.1     | Náhradný model Peltierovho článku.....                                    | 33        |
| 4.3.2     | Podmienky výberu Peltierovho modulu .....                                 | 33        |
| 4.3.3     | Parametre vybraného modelu .....                                          | 34        |
| <b>5</b>  | <b>Zvlhčovanie.....</b>                                                   | <b>38</b> |
| 5.1       | Porovnanie odporového zvlhčovača s ultrazvukovým .....                    | 38        |
| 5.1.1     | Zvyšovanie vlhkosti pomocou ultrazvukového atomizéru .....                | 38        |
| 5.1.2     | Zvyšovanie vlhkosti pomocou odporu.....                                   | 39        |
| 5.1.3     | Porovnanie výsledkov meraní odporového zvlhčovača<br>s ultrazvukovým..... | 40        |
| <b>6</b>  | <b>Zapojenie a ovládanie termostatu a hydrodtatu.....</b>                 | <b>43</b> |
| 6.1       | Zapojenie DA systému s Peltierovým článkom.....                           | 43        |
| 6.2       | Zapojenie odparovača vody .....                                           | 44        |
| 6.3       | Zapojenie teplomeru a vlhkomeru .....                                     | 44        |
| <b>7</b>  | <b>Dosiahnuté parametre.....</b>                                          | <b>45</b> |
| 7.1       | Regulácia teploty .....                                                   | 45        |
| 7.2       | Regulácia vlhkosti.....                                                   | 46        |
| <b>8</b>  | <b>Záver.....</b>                                                         | <b>47</b> |
| <b>9</b>  | <b>Literatúra.....</b>                                                    | <b>49</b> |
| <b>10</b> | <b>Zoznam symbolov a skratiek.....</b>                                    | <b>51</b> |
| <b>11</b> | <b>Prílohy.....</b>                                                       | <b>55</b> |

# ZOZNAM OBRÁZKOV

|            |                                                                                                         |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 2.1:  | Inkubátor model Klasik.....                                                                             | 3  |
| Obr. 2.2:  | Inkubátor model Comfort .....                                                                           | 3  |
| Obr. 2.3:  | Inkubátor Brinsea TLC-4                                                                                 |    |
| Obr. 2.4:  | Inkubátor Brinsea TLC-5.....                                                                            | 4  |
| Obr. 2.5:  | Inkubátor AICU Standard 100-S .....                                                                     | 5  |
| Obr. 2.6:  | Inkubátor AICU Electronic 100-E.....                                                                    | 6  |
| Obr. 2.7:  | Inkubátor AICU Electronic 200E .....                                                                    | 6  |
| Obr. 2.8:  | Inkubátor Grumbach Compact SA.....                                                                      | 7  |
| Obr. 3.1:  | Principiálne zapojenie elektroniky zariadenia .....                                                     | 8  |
| Obr. 3.2:  | Bloková schéma čidla SHT75.....                                                                         | 12 |
| Obr. 3.3:  | Peltierov článok ako zdroj tepelné čerpadlo (Peltierov jav) .....                                       | 13 |
| Obr. 3.4:  | Peltierov článok ako zdroj el. prúdu (Seebackov jav) .....                                              | 14 |
| Obr. 3.5:  | Odporový zvlhčovač vzduchu: a) na princípe napájadla,<br>b) so savý knôtom .....                        | 15 |
| Obr. 3.6:  | Odporový zvlhčovač vzduchu s nádržkou s plavákom.....                                                   | 16 |
| Obr. 3.7:  | Ultrazvukový zvlhčovač vzduchu[14] .....                                                                | 16 |
| Obr. 3.8:  | Zapojenie výstupov mikrokontroléra .....                                                                | 18 |
| Obr. 3.9:  | Zapojenie výstupov EEPROM.....                                                                          | 20 |
| Obr. 3.10: | Schéma zapojenia RTC.....                                                                               | 21 |
| Obr. 3.11: | LCD displej MC1602E-SYL/H.....                                                                          | 22 |
| Obr. 3.12: | Štvorica tlačidiel na nastavovanie .....                                                                | 24 |
| Obr. 3.13: | Zapojenie prevodníka z USB na RS-232.....                                                               | 25 |
| Obr. 3.14: | XPort.....                                                                                              | 26 |
| Obr. 3.15: | Princíp prúdenia a výmeny vzduchu i inkubátore .....                                                    | 28 |
| Obr. 4.1:  | Graf nameraných a vypočítaných hodnôt zvyšujúcej sa teploty v čase.....                                 | 31 |
| Obr. 4.2:  | Náhradný model schémy zapojenia .....                                                                   | 32 |
| Obr. 4.3:  | Grafická závislosť zvyšujúcej sa teploty na čase simulovaná<br>pomocou programu Micro-cap 9 .....       | 32 |
| Obr. 4.4:  | Náhradný model Peltierovho článku .....                                                                 | 33 |
| Obr. 4.5:  | Závislosť max. výkonu na teplotnom rozdieli DA systému<br>s Peltierovým článkom DA-075-12-02 [13] ..... | 34 |
| Obr. 4.6:  | Rozmery DA systému s Peltierovým článkom DA-075-12-02 [13] .....                                        | 35 |

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 4.7: Náhradný model vybraného Peltierovho článku .....                                           | 36 |
| Obr. 4.8: Náhradný model zvyšovania teploty v boxe inkubátora pri $T_{AMB}=10^{\circ}\text{C}$ .....  | 36 |
| Obr. 4.9: Grafická závislosť zvyšujúcej sa teploty na čase pri $T_{AMB}=10^{\circ}\text{C}$ .....     | 36 |
| Obr. 4.10: Náhradný model znižovania teploty v boxe inkubátora pri $T_{AMB}=40^{\circ}\text{C}$ ..... | 37 |
| Obr. 4.11: Grafická závislosť znižujúcej sa teploty na čase pri $T_{AMB}=40^{\circ}\text{C}$ .....    | 37 |
| Obr. 5.1: Ultrazvukový rozprašovač JR-24 [15] .....                                                   | 38 |
| Obr. 5.2: Závislosť zmeny vlhkosti a teploty na čase pre atomizér SE-24 .....                         | 39 |
| Obr. 5.3: Principiálne zapojenie elektroniky zariadenia [13] .....                                    | 39 |
| Obr. 5.4: Závislosť zmeny vlhkosti a teploty na čase pre odporový odparovač .....                     | 40 |
| Obr. 5.5: Porovnanie zmeny vlhkosti v čase pre oba spôsoby zvlhčovania .....                          | 41 |
| Obr. 6.1: Zapojenie Peltierovho článku .....                                                          | 43 |
| Obr. 6.2: Zapojenie odporového odparovača .....                                                       | 44 |
| Obr. 6.3: Zapojenie senzoru SHT-15 k mikrokontroléru .....                                            | 44 |
| Obr. 7.1: Ochladzovanie .....                                                                         | 45 |
| Obr. 7.2: Ohrievanie + zmena RH .....                                                                 | 46 |
| Obr. 7.3: Zvyšovanie RH .....                                                                         | 46 |
| Obr. 11.1: Box inkubátora s rozmermi (pohľad spredu) .....                                            | 57 |
| Obr. 11.2: Dvierka inkubátora s rozmermi .....                                                        | 58 |
| Obr. 11.3: Vnútna štruktúra boxu inkubátora (pohľad spredu) .....                                     | 58 |
| Obr. 11.4: Box inkubátora s rozmermi (pohľad zboku) .....                                             | 59 |
| Obr. 11.5: Rez boxu priestorom pre elektroniku a zvlhčovanie (pohľad zboku) .....                     | 59 |
| Obr. 11.6: Box inkubátora s rozmermi (pohľad zhora) .....                                             | 60 |
| Obr. 11.7: Schéma zapojenia č.1 (Riadiaci obvod) .....                                                | 61 |
| Obr. 11.8: Schéma zapojenia č.2 (Ovládanie Pel. článku + tranzistory) .....                           | 62 |
| Obr. 11.9: Schéma zapojenia č.3 (LCD displej + tlačidlá) .....                                        | 63 |
| Obr. 11.10: Schéma zapojenia č.4 (Diódy) .....                                                        | 63 |
| Obr. 11.11: Schéma zapojenia č.5 (Svetlo) .....                                                       | 63 |
| Obr. 11.12: Doska plošných spojov č.1 (zhora) .....                                                   | 64 |
| Obr. 11.13: Doska plošných spojov č.1 (zdola) .....                                                   | 64 |
| Obr. 11.14: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.1 (zhora) .....                                        | 65 |
| Obr. 11.15: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.1 (zdola) .....                                        | 65 |
| Obr. 11.16: Doska plošných spojov č.2 (zhora) .....                                                   | 66 |
| Obr. 11.17: Doska plošných spojov č.2 (zdola) .....                                                   | 66 |
| Obr. 11.18: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.2 (zhora) .....                                        | 67 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 11.19: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.2 (zdola) .....     | 67 |
| Obr. 11.20: Doska plošných spojov č.4 .....                        | 67 |
| Obr. 11.21: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.4.....              | 67 |
| Obr. 11.22: Doska plošných spojov č.3 (zhora) .....                | 68 |
| Obr. 11.23: Doska plošných spojov č.3 (zdola).....                 | 68 |
| Obr. 11.24: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.3.....              | 69 |
| Obr. 11.25: Doska plošných spojov č.5 .....                        | 69 |
| Obr. 11.26: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.5.....              | 69 |
| Obr. 11.27: Popisovacie nálepky (mierka 1:2) .....                 | 70 |
| Obr. 11.28: Fotka vyrobeného inkubátora (spredy).....              | 71 |
| Obr. 11.29: Fotka vyrobeného inkubátora (zboku).....               | 71 |
| Obr. 11.30: Fotka vyrobeného inkubátora (otvorený bočný kryt)..... | 72 |

# ZOZNAM TABULIEK

|           |                                                                                   |    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 2.1  | Závislosť teploty od veku mláďaťa.....                                            | 2  |
| Tab. 2.2  | Technické údaje inkubátorov Klasik a Comfort .....                                | 3  |
| Tab. 2.3  | Technické údaje inkubátorov Brinsea TLC-4 a Brinsea TLC-5.....                    | 4  |
| Tab. 2.4  | Technické údaje inkubátora AICU Standard 100-S.....                               | 5  |
| Tab. 2.5  | Technické údaje inkubátora AICU Electrnic 100 E .....                             | 6  |
| Tab. 2.6  | Technické údaje inkubátora Grumbach Compact SA.....                               | 7  |
| Tab. 3.1  | Parametre teplotného senzoru LM35DZ.....                                          | 9  |
| Tab. 3.2  | Parametre teplotného senzoru DS18B20 .....                                        | 10 |
| Tab. 3.3  | Parametre teplotného senzoru SMT 160-30-92 .....                                  | 10 |
| Tab. 3.4  | Parametre senzoru vlhkosti HIH-4000-004 .....                                     | 11 |
| Tab. 3.5  | Parametre senzoru vlhkosti SENS-HYD1 .....                                        | 11 |
| Tab. 3.6  | Parametre senzoru vlhkosti SYS-2S .....                                           | 11 |
| Tab. 3.7  | Parametre senzoru vlhkosti a teploty SHT75.....                                   | 12 |
| Tab. 3.8  | Parametre mikrokontroléra ATmega128A .....                                        | 17 |
| Tab. 3.9  | Význam zapojených pinov mikrokontroléra.....                                      | 19 |
| Tab. 3.10 | Parametre pamäte EEPROM 24C16K .....                                              | 20 |
| Tab. 3.11 | Parametre vybraných typov obvodov RTC.....                                        | 21 |
| Tab. 3.12 | Parametre vybraných typov obvodov RTC.....                                        | 21 |
| Tab. 3.13 | Najdôležitejšie parametre použitého LCD displej .....                             | 22 |
| Tab. 3.14 | Najdôležitejšie parametre použitého prevodníka XPort .....                        | 26 |
| Tab. 4.1  | Vypočítané hodnoty vychádzajú zo zistených veličín $R_t$ a $c_t$ .....            | 30 |
| Tab. 4.2  | Ekvivalentné veličiny a zákony tepelno-elektrickej analógie [11].....             | 30 |
| Tab. 4.3  | Parametre vybraného modelu DA-075-12-02 [13] .....                                | 34 |
| Tab. 5.1  | Parametre ultrazvukového rozprašovača JR-24 [15] .....                            | 38 |
| Tab.5.2   | Parametre modelov vysokoúčinný ultrazvukových rozprašovacích prevodníkov[15]..... | 42 |
| Tab. 11.1 | Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.1 .....                                  | 55 |
| Tab. 11.2 | Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.2 .....                                  | 55 |
| Tab. 11.3 | Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.3 .....                                  | 56 |
| Tab. 11.4 | Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.4 .....                                  | 56 |
| Tab. 11.5 | Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.5 .....                                  | 56 |

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Tab. 11.6 Zoznam ostatných použitých súčiastok ..... | 56 |
|------------------------------------------------------|----|

# 1 ÚVOD

Táto práca sa zaoberá vyriešením problému umelého odchovu mláďat exotických vtákov. Exotickým vtáctvom sú v tomto prípade myslené papagáje. Papagáje majú často krát problém s hniezdením a preto je nevyhnutný zákrok chovateľa.

Zakročiť sa dá viacerými spôsobmi. Bud' chovateľ odoberie vajce a podsadí ho inému hniezdiacemu páru, najlepšie s vajcami rovnakého veku a rovnakého druhu. Druhým spôsobom je umiestnenie vajec do liahne a následne ručný odchov mláďat.[1]

Pre úspešný ručný odchov je dôležité viacero faktorov. Samozrejme odhodlanie, trpezlivosť a skúsenosti chovateľa. Ďalším nemenej dôležitým je vytvorenie správneho a čo možno najviac sa realite približujúceho prostredia pre mláďa. To je po vyliahnutí veľmi krehké a zraniteľné. Sebemenšia chyba môže privodiť jeho smrť.

Preto sa kladie veľký dôraz na kvalitu zariadenia pre jeho odchov. Inkubátor, alebo odchovňa, ako sa toto zariadenie nazýva, musí spĺňať radu požiadaviek. V prvom rade musí byť zabezpečená dostatočná sterilita, potrebná teplota a vlhkosť prostredia.

Inkubátory, ako je ďalej v práci uvedené sú rôzneho druhu a vyhotovenia. Niektoré sú rozmernejšie, iné zase menšie a prenosné. Pri niektorých druhoch je potrebné neustále manuálne prestavovanie požadovaných parametrov, iné sú zase viac, či menej automatizované. Čím viac je zariadenie prepracované tým menej má potom užívateľ starostí z jeho ovládaním. Samozrejme všetko závisí od výrobcu a hlavne od ceny prístroja.

Táto práca je vlastne experiment, ktorý sa snaží spojiť čo možno najlepšie z vlastností komerčne vyrábaných inkubátorov v rámci možností a v závislosti na dostupnosti a cene jednotlivých komponentov potrebných k jeho zostaveniu.

Obsahom práce je konštrukcia inkubátoru s reguláciou teploty a vlhkosti. Porovnanie komerčne vyrábaných inkubátorov. Mechanické usporiadanie inkubátoru je navrhnuté s ohľadom na homogenitu teplotného poľa. Kapitoly 4 a 5 pojednávajú o návrhu termostatu a hydrostatu pre konkrétny návrh a požiadavky. Ostatná problematika týkajúca sa zhotovenia funkčného prototypu a jeho správneho fungovanie je riešená postupne v nasledujúcich kapitolách.



## 2 INKUBÁTORY

### 2.1 Význam inkubátorov

Inkubátor je teda zariadenie, ktoré má simulovať podmienky prirodzeného prostredia pre mladých papagájov. Ako bolo uvedené už v úvode, čím je zariadenie viac prepracované, tým je chovateľ viac odbremený pri dosť náročnom odchove. Napr. je omnoho jednoduchšie používanie zariadenia aspoň z časti automatizované, pretože v opačnom prípade musí chovateľ veľmi dôkladne nastavovať a merať jednotlivé parametre zariadenia. Nesporná výhoda pri inkubátore riadenom nejakým procesorom je aj presnosť a rýchlosť nastavovania a merania veličín. To je veľmi dôležité, pretože mláďatá sú veľmi zraniteľné, hlavne v prvých dňoch po vyliahnutí. Čím sú staršie, tým ich obranyschopnosť rastie a zraniteľnosť samozrejme klesá. Približné požadované hodnoty teploty v inkubátore sú uvedené v tab.2.1 . Každý druh má inú dĺžku vývoja, preto nie sú v tabuľke uvedené presne dni kedy sa má teplota meniť, ale vývojové stavy mláďaťa. Tabuľka je teda všeobecná. Vlhkosť by sa mala pohybovať na úrovni 50-60 % RH. Tiež je závislá od veku. Ďalšie podrobné informácie ohľadom problematiky sú uvedené [1].

| Vek                                      | Teplota    | Poznámka                     |
|------------------------------------------|------------|------------------------------|
| od vyliahnutia do oschnutia              | 37 °C      |                              |
| prvé 4 dni života                        | 36–36,5 °C |                              |
| slepé mláďatá, do veku 14 dní            | 33–36 °C   |                              |
| mláďatá holé, bez páperia                | 31-32 °C   |                              |
| mláďatá pokryté jemným páperím           | 29-31 °C   |                              |
| mláďatá čiastočne operené a operujúce sa | 27-29 °C   |                              |
| operené mláďatá                          | 25-27 °C   | už nie je potreba inkubátoru |
| po odstave                               | 20–24 °C   | mláďa na bydle               |

Tab. 2.1 Závislosť teploty od veku mláďaťa

## 2.2 Prehľad vyrábaných typov

Výrobca: **Josef Urban**

<http://www.odchovny.cz/>



Obr. 2.1: Inkubátor model Klasik



Obr. 2.2: Inkubátor model Comfort

| Technické údaje            |                                                    |                                                    |
|----------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Model                      | Klasik                                             | Comfort                                            |
| Napájanie                  | 220V/60W,<br>12V DC - akumulátor,<br>auto konektor | 220V/60W,<br>12V DC - akumulátor,<br>auto konektor |
| Príkon ohrievania          | 50W                                                | 50W                                                |
| Rozsah nastavenia teploty  | 26 - 38°C                                          | 26 - 38°C                                          |
| Rozsah nastavenia vlhkosti | bez regulácie                                      | 30 - 90%RH                                         |
| Objem zásobníka s vodou    | cca 1,2l                                           | cca 1,2l                                           |
| Vonkajšie rozmery          | 500x400x400mm                                      | 500x400x400mm                                      |
| Vnútorne rozmery           | 476x376x376mm                                      | 476x376x376mm                                      |
| Váha                       | cca 5kg                                            | cca 5kg                                            |
| Bezpečnostný termostat     | áno                                                | áno                                                |
| Vnútorne osvetlenie        | áno                                                | áno                                                |
| Cena                       | <b>7900 Kč</b>                                     | <b>11400 Kč</b>                                    |

Tab. 2.2 Technické údaje inkubátorov Klasik a Comfort

Výrobca: **Brinsea**

<http://www.brinsea.com/>



Obr. 2.3: Inkubátor Brinsea TLC-4



Obr. 2.4: Inkubátor Brinsea TLC-5

| Technické údaje             |                                              |                                            |
|-----------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Model                       | TLC-4                                        | TLC-5                                      |
| Napájanie                   | 230V/50Hz, 115V/60Hz, 12V DC auto konektor   | 230V/50Hz, 115V/60Hz, 12V DC auto konektor |
| Príkon                      | 60 W, 120W (max)                             | 100 W, 200 W (max)                         |
| Rozsah nastavenia teploty   | áno                                          | áno                                        |
| Rozsah nastavenia vlhkosti  | bez regulácie                                | bez regulácie                              |
| Zásobníka s vodou (vlhkosť) | áno                                          | áno                                        |
| Vonkajšie rozmery           | 475mm výška x 450mm priemer                  | 600mm x 760mm x 510mm                      |
| Vnútorne rozmery            | 370mm priemer                                | 470mm x 680mm x 430mm                      |
| Váha                        | 5.5 kg                                       | 10 kg                                      |
| Bezpečnostný termostat      | nie                                          | nie                                        |
| Vnútorne osvetlenie         | áno                                          | áno                                        |
| Konštrukcia                 |                                              |                                            |
| Vrchná a spodná stena       | konštrukčný, izolovaný PUR                   | konštrukčný, izolovaný PUR                 |
| Oblé steny                  | dvojitý spojený ABS s vnútornou izoláciou    | dvojitý spojený ABS s vnútornou izoláciou  |
| Otváracie rámy dverí        | eloxovaný hliník                             | eloxovaný hliník                           |
| Priehľadné dvere            | Plexisklo, alebo oderu odolná plastová fólia | PETG priehľadný plast s držadlami          |
| Mreža dverí                 | nie                                          | M3 pochrómovaná oceľ                       |
| <b>Mreža dverí</b>          | <b>\$419 (7760 Kč)</b>                       | <b>\$659 (12203 Kč)</b>                    |

Tab. 2.3 Technické údaje inkubátorov Brinsea TLC-4 a Brinsea TLC-5

Výrobca: **LYON TECHNOLOGIES,INC.**

<http://www.lyonelectric.com/>



Obr. 2.5: Inkubátor AICU Standard 100-S

| Technické údaje             |                                                |
|-----------------------------|------------------------------------------------|
| Napájanie                   | 230V/50Hz                                      |
| Príkon                      | 215W                                           |
| Rozsah nastavenia teploty   | okolitá - +36°C                                |
| Stabilita teploty           | do -16,8°C                                     |
| Rozsah nastavenia vlhkosti  | regulácia pomocou misky z vodou a odvetrávaním |
| Zásobníka s vodou (vlhkosť) | nie                                            |
| Vonkajšie rozmery           | 800x368x330mm                                  |
| Vnútorne rozmery            | 610x305x305mm                                  |
| Váha                        | -                                              |
| Bezpečnostný termostat      | nie                                            |
| Vnútorne osvetlenie         | nie                                            |
| <b>Cena</b>                 | <b>\$920 (17260 Kč)</b>                        |

Tab. 2.4 Technické údaje inkubátora AICU Standard 100-S



Obr. 2.6: Inkubátor AICU Electronic 100-E



Obr. 2.7: Inkubátor AICU Electronic 200E

| Technické údaje                   |                          |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Model                             | AICU Electronic 100-E    | AICU Electronic 200 E    |
| Napájanie                         | 230V/50Hz                | 230V/50Hz                |
| Príkon                            | 215W                     | 215W                     |
| Rozsah nastavenia teploty         | okolitá - 38°C           | okolitá - 38°C           |
| Stabilita teploty                 | do -16,8°C               | do -16,8°C               |
| Rozsah nastavenia vlhkosti        | áno                      | áno                      |
| Zásobník s vodou (vlhkosť)        | nie                      | nie                      |
| Vonkajšie rozmery                 | 800x368x330mm            | 813x476x502mm            |
| Vnútorné rozmery                  | 610x305x305mm            | 603x445x426mm            |
| Váha                              | -                        | -                        |
| Bezpečnostný termostat            | nie                      | nie                      |
| Vnútorné osvetlenie               | nie                      | nie                      |
| Elektrostatická filtrácia vzduchu | áno                      | áno                      |
| Alarmy                            | áno (zvukové, LED)       | áno (zvukové, LED)       |
| <b>Cena</b>                       | <b>\$1040 (19512 Kč)</b> | <b>\$1205 (22607 Kč)</b> |

Tab. 2.5 Technické údaje inkubátora AICU Electrníc 100 E

Výrobca: **Grumbach**

<http://www.grumbach-brutgeraete.de/english/>



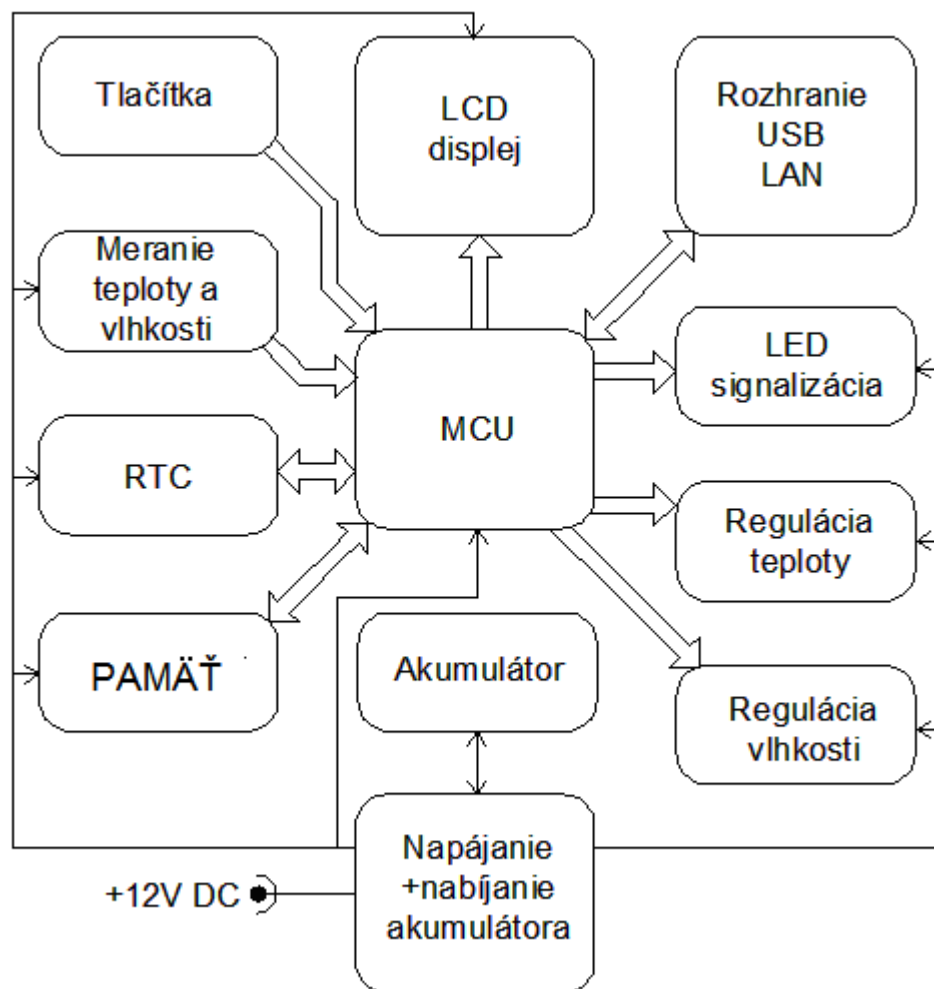
Obr. 2.8: Inkubátor Grumbach Compact SA

| Technické údaje             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| Model                       | <b>Compact SA</b>       |
| Napájanie                   | 230V/50Hz               |
| Príkonn                     | 330W                    |
| Rozsah nastavenia teploty   | 25- 37°C                |
| Stabilita teploty           | -                       |
| Rozsah nastavenia vlhkosti  | áno                     |
| Zásobníka s vodou (vlhkosť) | áno                     |
| Vonkajšie rozmery           | 660x470x450mm           |
| Vnútorne rozmery            | -                       |
| Váha                        | 22kg                    |
| Bezpečnostný termostat      | áno                     |
| Vnútorne osvetlenie         | áno                     |
| Prachový filter             | áno                     |
| Alarmy                      | -                       |
| <b>Cena</b>                 | <b>1045€ (26448 Kč)</b> |

Tab. 2.6 Technické údaje inkubátora Grumbach Compact SA

## 3 NÁVRH VLASTNÉHO ZARIADENIA

### 3.1 Principiálne zapojenie elektroniky zariadenia



Obr. 3.1: Principiálne zapojenie elektroniky zariadenia

## 3.2 Senzory

### 3.2.1 Senzory teploty

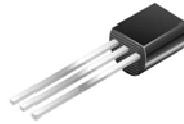
Senzor je funkčný prvok tvoriaci vstupný blok meraného reťazca, ktorý je v priamom styku z meraným prostredím. Senzor sa nazýva aj snímač alebo čidlo.[1]

Senzory teploty sa delia podľa rôznych princípov. Z fyzikálneho princípu sa delia na: odporové, termoelektrické, dilatčné, optické polovodičové s PN prechodom, radiačné, šumové, akustické, chemické a ďalšie [6].

Podľa styku s prostredím, ktoré sa meria, sa čidlá delia na dotykové a bezdotykové.[6] Pre účely merania v inkubátore, kde je potrebné meranie teploty vzduchu je nutné použiť čidlo bezdotykové.

Ďalej sa delia podľa transformácie signálu na aktívne a pasívne. V pasívnych je potrebné elektrické napätie pre transformáciu na inú fyzikálnu veličinu. Meranie teploty je teda nepriame. Senzory aktívne sa chovajú ako zdroje elektrickej energie[6].

Pre výber čidla do zariadenia, bol kladený dôraz na presnosť jeho merania, potrebný rozsah teploty, ktorú dokáže odmerať ako aj na rozmery, cenu, výstupný signál, pre následné spracovanie procesorom a samozrejme jeho dostupnosť.



|                |                        |
|----------------|------------------------|
| LM35DZ         |                        |
| Výrobca        | National Semiconductor |
| Presnosť       | 0,5°C                  |
| Rozsah merania | 0 - +100°C             |
| Výstup         | napätie                |
| Napájanie      | 4 - 30V                |
| Spotreba       | 60 µA                  |
| Približná cena | 45 Kč                  |

Tab. 3.1 Parametre teplotného senzoru LM35DZ



|                |              |
|----------------|--------------|
| DS18B20        |              |
| Výrobca        | Maxim        |
| Presnosť       | 0,5°C        |
| Rozsah merania | -55 - +125°C |
| Výstup         | 1-Wire®      |
| Napájanie      | 3.0V - 5.5V  |
| Spotreba       | 1,5mA (1µA)  |
| Približná cena | 50 Kč        |

Tab. 3.2 Parametre teplotného senzoru DS18B20



|                |                |
|----------------|----------------|
| SMT160-30-92   |                |
| Výrobca        | Smartec        |
| Presnosť       | 0,5°C          |
| Rozsah merania | -45°C - +130°C |
| Výstup         | PWM            |
| Napájanie      | 4.75 - 7V      |
| Spotreba       | 200µA          |
| Približná cena | 83 Kč          |

Tab. 3.3 Parametre teplotného senzoru SMT 160-30-92

### 3.2.2 Senzory vlhkosti

Vlhkým vzduchom sa rozumie zmes suchého vzduchu a vodných pár. Vlhkosť vzduchu sa dá vyjadriť rôznymi spôsobmi či už ako absolútnu vlhkosť v  $\text{kg/m}^3$  alebo relatívnu vlhkosť v %, ďalej sa používa pre vyjadrenie vlhkosti teplota rosného bodu a merná vlhkosť [7]. Najbežnejšie používaným spôsobom vyjadrenia je relatívna vlhkosť.

Podľa fyzikálnych princípov sa delia senzory pre meranie vlhkosti na dilatčné hygrometre, odporové a kapacitné hygrometre, psychometre, vlhkomery na princípe rosného bodu. Pre meranie vlhkosti sa využíva aj kondenzačná metóda [7].

Podobne ako u teplotných čidiel som aj u senzorov vlhkosti z dostupných typov na základe ich vlastností vybral, ten ktorý je pre zostavované zariadenie najvhodnejší.



|                  |               |
|------------------|---------------|
| HIH-4000-004     |               |
| Výrobca          | HONEYWELL S&C |
| Presnosť         | 3.5% RH       |
| Rozsah merania   | 0% - 100% RH  |
| Výstup           | Napätie       |
| Spotreba         | 500 $\mu$ A   |
| Odozva           | 15s           |
| Napájanie        | 4V to 5.8V    |
| Pracovná teplota | 40°C to +85°C |
| Približná cena   | 804 Kč        |

Tab. 3.4 Parametre senzoru vlhkosti HIH-4000-004



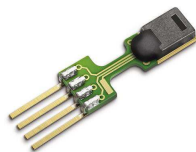
|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| SENS-HYD1        |                       |
| Výrobca          | Philips               |
| Presnosť         | 0.4 $\pm$ 0.05 pF/%RH |
| Rozsah merania   | 10 - 90% RH           |
| Výstup           | Kapacita              |
| Spotreba         |                       |
| Odozva           | 3 min                 |
| Napájanie        | 15 V <sub>max</sub>   |
| Pracovná teplota | 0 to +85°C            |
| Približná cena   | 318.15 Kč             |

Tab. 3.5 Parametre senzoru vlhkosti SENS-HYD1



|                  |             |
|------------------|-------------|
| SYH - 2S         |             |
| výrobca          | Syhtec      |
| Presnosť         | $\pm$ 5% RH |
| Rozsah merania   | 20 - 95% RH |
| Výstup           | Napätie     |
| Spotreba         | 0,22mA      |
| Odozva           |             |
| Napájanie        | 1V AC       |
| Pracovná teplota | 0 to 60°C   |
| Približná cena   | 51 Kč       |

Tab. 3.6 Parametre senzoru vlhkosti SYS-2S

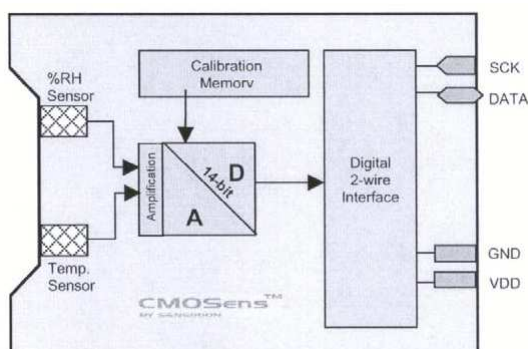


| SHT75            |                              |
|------------------|------------------------------|
| výrobca          | SENSIRION                    |
| Presnosť         |                              |
| teploty          | $\pm 0,5\%$                  |
| vlhkosti         | $\pm 2\%$                    |
| Rozsah merania   |                              |
| teploty          | $-40 - +125^{\circ}\text{C}$ |
| vlhkosti         | $0 - 100\% \text{ RH}$       |
| Výstup           | digitálny                    |
| Odozva (vlhkosť) | 8s                           |
| Napájanie        | 2,4 - 5,5 V                  |
| Spotreba         | 0.9mA (5 $\mu$ A)            |
| Približná cena   | 655 Kč                       |

Tab. 3.7 Parametre senzoru vlhkosti a teploty SHT15

### 3.2.3 Vybraný senzor

Z porovnávaných druhov senzorov som sa rozhodol pre model SHT75 od Sensirionu, pretože spája ako meranie teploty, tak aj meranie vlhkosti. Čidlo má dvojvodičový digitálny výstup, je založené na technológii CMOSens®. Za hlavné výhody by som označil aplikáciu bez použitia externých súčiastok, nízka spotreba a pomerne rýchla odozva pri meraní vlhkosti. Na obr. 3.8. je znázornená bloková schéma tohto čidla.



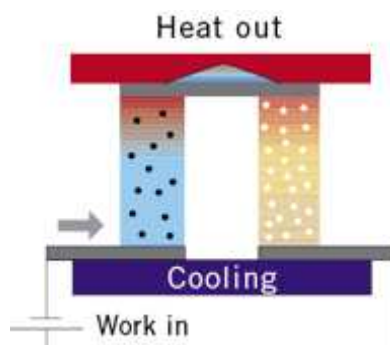
Obr. 3.2: Bloková schéma čidla SHT75

## 3.3 Regulátory teploty a vlhkosti

### 3.3.1 Regulácia teploty

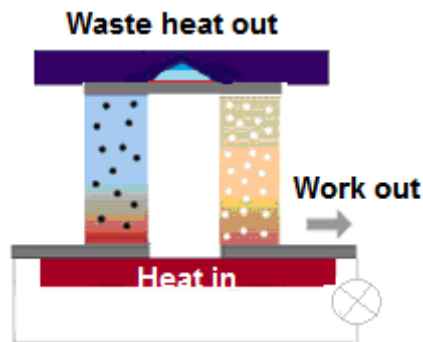
Na reguláciu teploty sa využívajú rôzne spôsoby. Najčastejšie je to ohrievanie odporový drôtom a chladenie ventilátorom. Oboje sa dajú spojiť do jedného v prípade, že použijeme Peltierov článok.

Peltierov článok je polovodičový prvok, pracujúci na nasledujúcom princípe Peltierovho javu. Elektrický prúd pôsobí na materiál, čím sa jeho vnútorná energia zväčšuje (čierne bodky na obrázku) a pritom je absorbované teplo – dochádza k chladeniu. Na druhej strane článku dochádza k uvoľneniu energie (ohrevu) a pritom aj klesá vnútorná energia látky (biele bodky). Účinnosť chladenia alebo ohrievania sú úmerné elektrickému prúdu a Peltierovej konštante [12]. Rozdiel teplôt, ktorý môžu obe strany článku dosiahnuť je až  $110^{\circ}\text{C}$ [8]. Keď zmeníme na svorkách článku polaritu, môžeme chladiť tou stranou, ktorou sme pred tým ohrievali.



Obr. 3.3: Peltierov článok ako zdroj tepelné čerpadlo (Peltierov jav)

Opačným k Peltierovmu javu je Seebeckov, kedy sa časť tepelnej energie privedené na článok premení na elektrický prúd, ak sa vnútorná energia látky mení z vyššej hodnoty (čierne bodky) na nízku hodnotu (biele bodky). Výstupná práca elektrického prúdu je úmerná teplotnému rozdielu a Seebeckovej konštante [12].



Obr. 3.4: Peltierov článok ako zdroj el. prúdu (Seebackov jav)

Peltierove články majú nespočet výhod:

- žiadne pohyblivé časti
- malé rozmery a nízka váha
- pomerne robustná konštrukcia
- nevyžaruje žiadny hluk ani EMI
- zabezpečuje zároveň ohrev aj chladenie
- bez údržbových prevádzok
- široký rozsah pracovnej teploty
- nízke napájacie napätie
- lokálne chladenie
- pracujú v ľubovoľnej polohe
- pracujú aj pri vysokých preťaženiach
- nezaťažujú životné prostredie

Takže hlavnou časťou sústavy pre tepelnú reguláciu je Peltierov článok umiestnený na strope inkubátora. Sústava, ako aj presný typ článku sú uvedené v kapitole 4 Termoelektrické chladenie a ohrev, kde je tento výber podložený meraním a výpočtami.

### 3.3.2 Regulácia vlhkosti

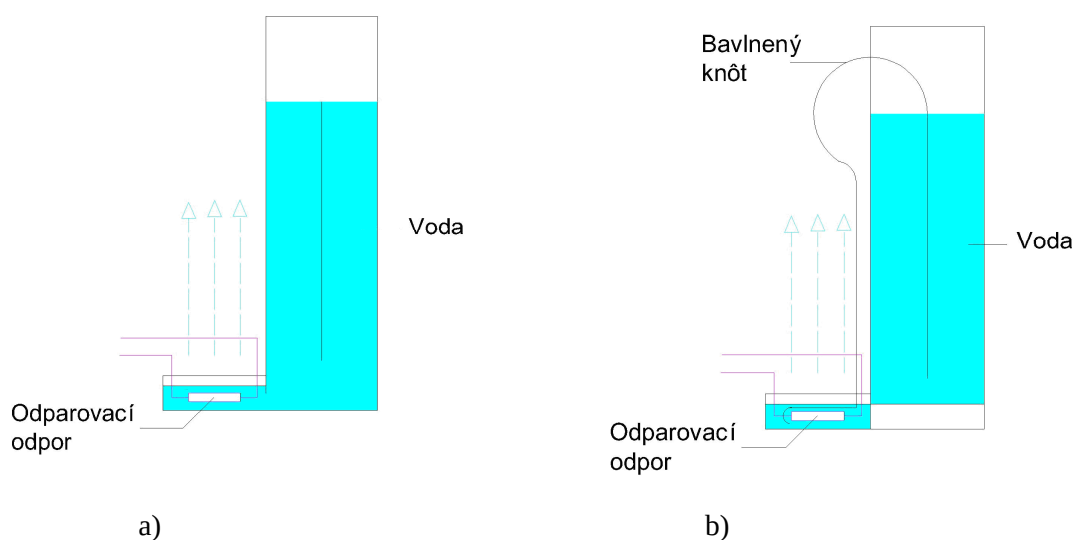
V inkubátoroch, prípadne aj liahňach sa používa na zvyšovanie vlhkosti miska z vodou umiestnená v zariadení. Týmto spôsobom sa vlhkosť dá zvyšovať, resp. udržiavať na nejakej úrovni zmenou odparovacej plochy. Problémom ale je, že v prípade dynamickej regulácie toto nestačí.

Preto pri riešení zvlhčovania v boxe inkubátoru prichádzali do úvahy dve riešenia. Prvým je zvyšovanie pomocou rezistora, ktorým sa odparuje voda z odparovacej misky. Do odparovacej misky je voda privádzaná zo zásobníka. Toto sa môže previesť tiež viacerými spôsobmi.

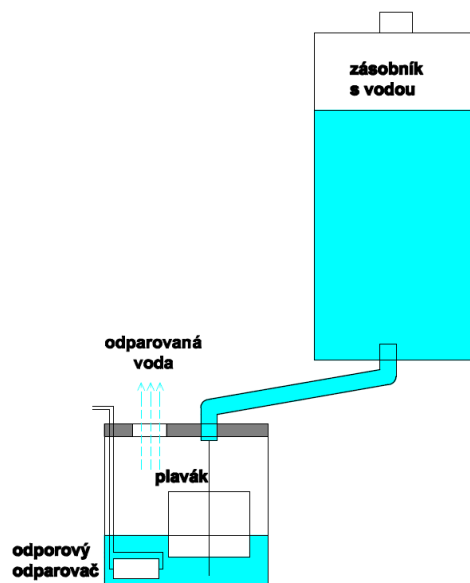
Buď by zariadenie pracovalo ako napájadlo pre vtáky, čiže by bola voda držaná v zásobníku podtlakom, a v prípade ubudnutia, v odparovacej miske by sa uvoľnilo množstvo vody na naplnenie misky (Obr. 6.1a). Toto jednoduché riešenie má ale nevýhodu. Tou je, že pri plnení zásobníka by sa stratil podtlak a všetka voda by vytekla alebo by bolo plnenie zásobníka značne komplikované.

Ďalším riešením by bolo získavať vodu so zásobníka pomocou savého knôtu z bavlny. Takéto riešenie je tiež jednoduché a aj využívané v podobných zariadeniach (inkubátoroch). Z pokusov som ale dospel k záveru, že knôt saje málo vody, čiže regulácia vlhkosti by bola veľmi pomalá. V prípade otvorenia dvierok inkubátora pri manipulácii so zvieratkom a z toho vyplývajúcim vyvetraním, by zvýšenie vlhkosti mohlo trvať zbytočne dlho (Obr. 6.1 b).

Tieto problémy sa dajú vyriešiť spôsobom, že voda sa zo zásobníka dostáva do odparovacej misky hadičkou, a regulácia množstva vody je pomocou plaváku (Obr.6.2).

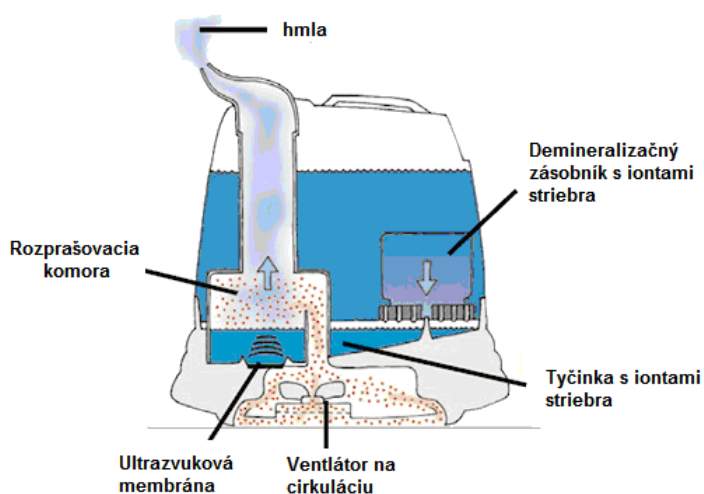


Obr. 3.5: Odporový zvlhčovač vzduchu: a) na princípe napájadla, b) so savým knôtom



Obr. 3.6: Odporový zvlhčovač vzduchu s nádržkou s plavákom

Ďalším riešením, ako zvýšiť vlhkosť je použitie ultrazvukového piezoelektrického meniča (ultrazvukového rozprašovača). Princíp, ako zariadenie funguje je na obr.6.3. Skladá sa zo zásobníka na vodu, ďalšieho menšieho zásobníka, ktorý slúži na demineralizáciu vody. Z neho sa voda dostáva do ďalšej nádržky, v ktorej je tyčinka s iontami striebra. Tá slúži na likvidáciu baktérií, ktoré sa môžu nachádzať vo vode. Ďalej je tu ultrazvuková membrána, ktorá kmitá s frekvenciou jednotiek MHz a tým vytvára nad hladinou hmlu z čiastočiek tekutiny. Hmla sa vytvorí v rozprašovacej komore. Nádržka, v ktorej sa nachádza ultrazvukový menič, je potrebná z dôvodu udržiavania konštantnej hladiny vody nad membránou, pretože ak by bola hladina príliš vysoká, membrána by nedokázala vytvoriť hmlu. Hmla je do priestoru vyvádzaná pomocou cirkulačného ventilátora.



Obr. 3.7: Ultrazvukový zvlhčovač vzduchu[14]

Porovnanie jednotlivých spôsobov a následný výber zvlhčovača sú v kapitole 5 Zvlhčovanie.

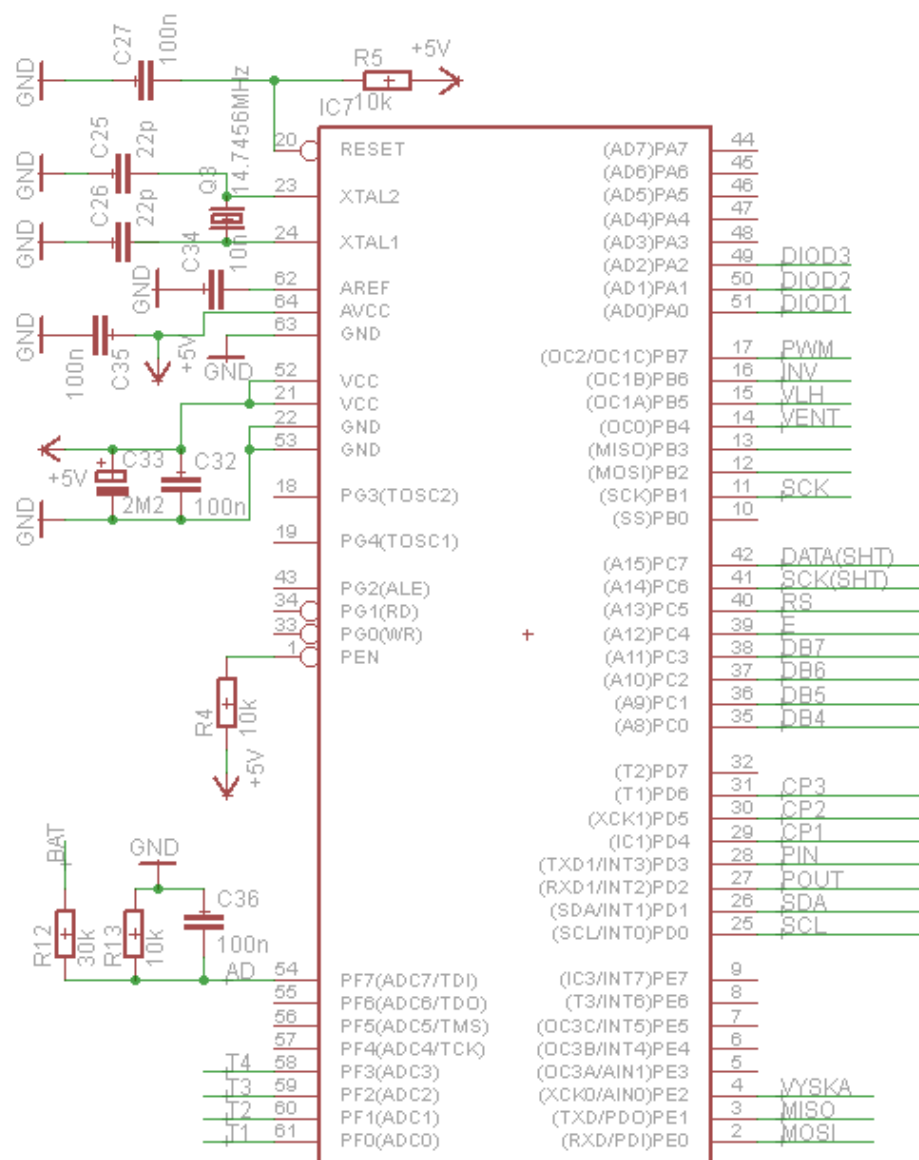
### 3.4 Riadenie

Riadenie celého zariadenia je pomocou mikrokontroléra. Firmy, ktoré sa zaoberajú výrobou mikrokontrolérov je dnes niekoľko. Napr. Texas Instruments, Toshiba, Motorola, Microchip, Analog Devices, Freescale Semiconductor, Atmel a ďalšie. Ja som si z ponúkaných typov vybral práve mikrokontrolér od firmy Atmel, kvôli jeho vlastnostiam, cene a hlavne kvôli predchádzajúcim skúsenostiam s týmto MCU. Zvolil som konkrétne model ATmega128A. V tab.3.8 je zaznamenaných niekoľko najdôležitejších parametrov vybraného modelu.

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Označenie            | ATmega128A      |
| Výrobca              | Atmel           |
| Napájanie            | 4,5 - 5,5V      |
| Flash pamäť          | 128kB           |
| EEPROM               | 4kB             |
| RAM                  | 4kB (SRAM)      |
| A/D prevodníky       | 8x10bit         |
| Čítače/časovače      | 2x8bit, 2x16bit |
| Počet IO pinov       | 53              |
| Interný RC oscilátor | áno             |
| PWM                  | 2x8-bit kanály  |
| SPI                  | áno             |
| JTAG                 | áno             |
| Puzdro               | TQPF-64         |
| Cena                 | 145 Kč          |

Tab. 3.8 Parametre mikrokontroléra ATmega128A

### 3.4.1 Zapojenie mikrokontroléra



Obr. 3.8: Zapojenie výstupov mikrokontroléra

| PIN | Označenie | Význam                 | PIN | Označenie | Význam                   |
|-----|-----------|------------------------|-----|-----------|--------------------------|
| 1   |           | PEN                    | 37  | DB6       | LCD dát. výstup          |
| 2   | MOSI      | UART0/ MOSI ISP        | 38  | DB7       | LCD dát. výstup          |
| 3   | MISO      | UART0/ MISO ISP        | 39  | E         | LCD Eneable              |
| 11  | SCK       | SCK ISP programátora   | 40  | RS        | LCD Register Select      |
| 14  | VENT      | ventilátor na Pel. čl. | 41  | SCK(SHT)  | čidlo SHT75              |
| 15  | VLH       | zapínanie odparovania  | 42  | DATA(SHT) | čidlo SHT75              |
| 16  | INV       | ohrev/chladenie        | 49  | DIOD3     | dióda (alarm 1)          |
| 17  | PWM       | spúšťanie Pel. Článku  | 50  | DIOD2     | dióda (alarm 2)          |
| 20  |           | resetovací obvod       | 51  | DIOD1     | dióda (alarm 3)          |
| 21  |           | napájanie +5V          | 52  |           | napájanie +5V            |
| 22  |           | napájanie GND          | 53  |           | napájanie GND            |
| 23  |           | kryštál                | 54  | AD        | delič (stav batérie)     |
| 24  |           | kryštál                | 58  | T4        | tlačidlo 4               |
| 27  | POUT      | UART1 XPORT            | 59  | T3        | tlačidlo 3               |
| 28  | PIN       | UART1 XPORT            | 60  | T2        | tlačidlo 2               |
| 29  | CP1       | XPORT výstup. Port 1   | 61  | T1        | tlačidlo 1               |
| 30  | CP2       | XPORT výstup. Port 2   | 62  |           | analógová referencia     |
| 31  | CP3       | XPORT výstup. Port 3   | 63  |           | napájanie GND            |
| 35  | DB4       | LCD dát. výstup        | 64  |           | napájanie +5V pre port F |
| 36  | DB5       | LCD dát. výstup        |     |           |                          |

Tab. 3.9 Význam zapojených pinov mikrokontroléra

### 3.5 Pamäť

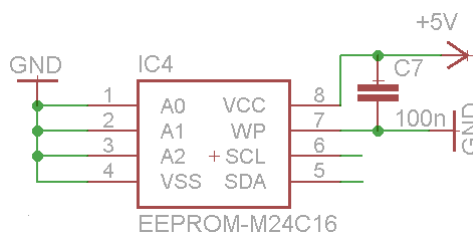
Ako pamäť je použitá sériová EEPROM model AT24C16 od firmy Atmel. Pôvodne som zamýšľal využiť pamäť väčšiu, pretože som chcel ukladať prijímané údaje z PC, ktorými sa zariadenie automaticky nastavuje, ako aj zberať namerané dáta v určitom období. Tie by sa mohli následne posielat' naspať do PC.

Nakoniec som sa rozhodol, že je to zbytočné a pre zariadenie bude postačovať pamäť o menšej veľkosti, pretože bude komunikácia jednostranná. T.j. z PC do inkubátora. Ukladajú sa tu teda údaje o mesiaci, dni, hodine, nastavenej teplote a vlhkosti. Kapacita vybranej EEPROM postačuje približne na 20 zmien v nastaveniach.

Pamäť má 3 adresovacie vstupy A0, A1 a A2, ktoré sú pripojené na zem rovnako ako aj výstup WP (povolené normálne operácie čítanie/zápis). SDA (Serial data) a SCK (Serial clock) sú pripojené k mikrokontroléru. Pamäť s ním komunikuje cez I<sup>2</sup>C rozhranie. K obom vodičom sú pripojené pull-up rezistory 4,7 kΩ

|                      |                |
|----------------------|----------------|
| Označenie            | AT24C16        |
| Výrobca              | Atmel          |
| Napájanie            | 2.7-5.5V       |
| Veľkosť pamäte       | 16K (2048 x 8) |
| Rýchlosť zapisovania | 5 ms max.      |
| Počet E/W cyklov     | 1M             |
| Hodinová frekvencia  | 400 kHz max.   |
| Pracovná teplota     | -55°C - +125°C |
| Puzdro               | SOIC-8         |
| Cena                 | 6 Kč           |

Tab. 3.10 Parametre pamäte EEPROM 24C16K



Obr. 3.9: Zapojenie výstupov EEPROM

## 3.6 RTC

Na archiváciu dát je potrebný záznam času a dátumu [10]. To sa dá vyriešiť použitím obvodu RTC.

Real-Time Clock alebo RTC je obvod reálneho času, ktorý je možné zálohovať pomocou batérie alebo kondenzátora pre nepretržité fungovanie. RTC je možné softvérovo kalibrovať a dosiahnuť tým maximálnu presnosť [8]. Ako pri predchádzajúcich komponentoch, aj tu uvediem na porovnanie niektoré modely od svetových výrobcov. Pre konštruované zariadenie som vybral DS1307 od firmy Maxim, pretože som mal tento obvod vo vlastníctve. Dá sa získať ako vzorka zdarma na stránkach výrobcu.

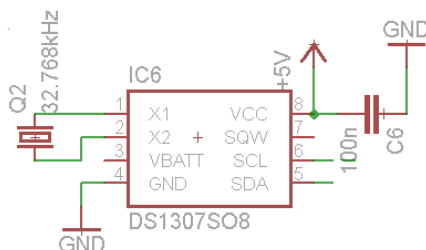
|                  |                 |                  |
|------------------|-----------------|------------------|
| Označenie        | <b>DS1307</b>   | <b>RTC8564JE</b> |
| Výrobca          | Maxim           | Epson            |
| Napájanie        | 2,5 - 5,5V      | 1,8 - 5,5V       |
| Spotreba         | 1,5mA           | 1mA (275nA)      |
| Vnútný alarm     | 2x              | 1x               |
| Komunikácia      | I2C             | I2C              |
| Pracovná teplota | -40°C - +85°C   | -30°C - +70°C    |
| Vlastnosti       | hodiny/kalendár | hodiny/kalendár  |
| Cena             | 91 Kč           | 70 Kč            |

Tab. 3.11 Parametre vybraných typov obvodov RTC

|                  |                 |                       |
|------------------|-----------------|-----------------------|
| Označenie        | <b>PCF8593T</b> | <b>M41T94MQ6E SMD</b> |
| Výrobca          | Philips         | ST Microelectronics   |
| Napájanie        | 2,5 - 6V        | 2,7 - 5,5V            |
| Spotreba         | 3mA (1μA)       | 2mA                   |
| Vnútný alarm     | 1x              | 1x                    |
| Komunikácia      | I2C             | SPI                   |
| Pracovná teplota | 0 - +70°C       | -40 - +85°C           |
| Vlastnosti       | hodiny/kalendár | hodiny/kalendár       |
| Cena             | 60 Kč           | 69 Kč                 |

Tab. 3.12 Parametre vybraných typov obvodov RTC

Zapojenie vybraného typu obvodu reálneho času je podľa obr.3.10. Na X1 a X2 je pripojený kryštál o frekvencii 32,768 kHz. Na pin VBATT je možné pripojiť štandardnú 3V lítiovú batériu. Tá pri výdrži 48mAh vydrží viac ako 10 rokov [19]. Slúži v prípade poklesu napájanie pod 3V na uchovanie informácie o nastavenom čase. Výstup SQW je nepripojený, pretože nie je potrebný pre činnosť zariadení. SDA a SCL sú rovnako ako pri EEPROM rozhrania I<sup>2</sup>C.

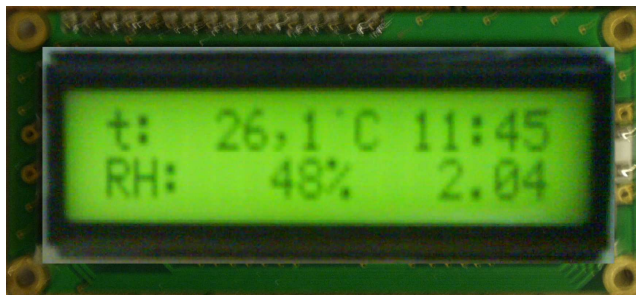


Obr. 3.10: Schéma zapojenia RTC

### 3.7 Displej

Displej bol zvolený znakový LCD so žltozeleným podsvietením. Parametrami úplne postačuje na všetky potrebné zobrazenia. Je dvojriadkový. V prvom sa zobrazujú

ako je možné z obr.3.11 vidieť, teplota v °C a čas. V druhom je údaj o relatívnej vlhkosti (RH) v % a dátum v poradí: deň.masiac. V tab. 3.13 sú vypísané základné vlastnosti vybraného modelu.



Obr. 3.11: LCD displej MC1602E-SYL/H

|                          |                                                     |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| Označenie                | MC1602E-SYL/H                                       |
| Výrobca                  | BOLYMIN                                             |
| Typ                      | Znakový LCD displej                                 |
| Veľkosť modulu           | 80x36x12,1 mm(d x š x v)                            |
| Veľkosť viditeľ. oblasti | 66 x16 mm                                           |
| Veľkosť bodu             | 3,51 x 5,75mm                                       |
| Rozstup bodov            | 0,56 x 5,75mm                                       |
| LCD radič/ovládač        | KS0066, 5x8 s kurzorovými bodkami, 16znakov/1riadok |
| Druh polarizátora        | transreflexný                                       |
| Typ podsvietenia         | LED podsvetľovacie pole                             |
| Farba podsvietenia       | žltá-zelená                                         |
| LCD panel                | Typ STN (žltý, kontrast 2 až 4)                     |
| Smer pohľadu             | spodný (od číslice 6 na ciferníku hodín)            |
| Pracovná teplota         | -20 / + 70 °C                                       |
| Znaková sada             | základná (anglická abeceda)                         |
| Približná cena           | 160 Kč                                              |

Tab. 3.13 Najdôležitejšie parametre použitého LCD displej

### 3.8 Napájací zdroj

Napájací zdroj nie je do zariadenia zakomponovaný, nič menej zariadenie je na jeho inštaláciu pripravené. Pri bežnej prevádzke je potrebný na napájanie zariadenia jednosmerným napätím 12V. Pri vývoji inkubátora bol nahradený externým laboratórnym zdrojom. Pri výbere by som odporúčal použiť sieťový spínaný zdroj s výkonom 120 – 150 W, pretože zariadenie má odber približne 9,2 A pri maximálnom výkone. Vhodný by bol napríklad model PS-150-12 s P = 150W. Výber napätia 12 V je z dôvodu, aby bolo možné pri transporte využívať zástrčku v aute.

### 3.9 Akumulátor

Akumulátor je potrebný na prípadný transport. Napríklad, keď bude treba dopraviť papagája na vyšetrenie k zverolekárovi, alebo niekam inam z jeho pôvodného umiestnenia. Prípadne, ak nastane výpadok napájania zo siete.

Pri výbere akumulátora je prihliadané na 3 kritériá. Prvým z nich je napätie. To ako bolo spomínané v predchádzajúcej podkapitole musí byť 12 V. Druhým je kapacita, ktorá súvisí s tretím kritériom váhou. Je potrebné zvoliť kompromis medzi dostatočnou kapacitou a čo možno najmenšou váhou. Príkon na napájanie celého inkubátora je približne 110W (kapitoly 5 a 6). Napájanie je 12V, teda prúd pri maximálnom výkone je približne 9,2A. Akumulátor by mal byť schopný pokryť výpadok na 1 hodinu, teda je potrebné, aby jeho kapacita bola minimálne 9,2Ah. Preto je vybraný nasledovný typ akumulátora: B-WP 10-12 K. Je to olovený akumulátor s kapacitou 10Ah. Rozmery sú 151x98x95mm (dxšxv), váha 3,05kg a jeho cena je približne 584 Kč. V prípade potreby pokrývania dlhších výpadkov napájania, je možné nahradiť vybraný akumulátor iným s väčšou kapacitou, ale na úkor váhy, ceny a v neposlednom rade rozmerov. Pretože miesto na jeho umiestnenie má obmedzené rozmery.

### 3.10 LED signalizácia

Led signalizácia pozostáva zo 5 LED diód umiestnených na prednom paneli zariadenia o priemere 3mm. Tieto kontrolky zospodu nahor majú nasledovný význam. 1. s označením POWER signalizuje, že zariadenie je v prevádzke. Je zelenej farby.

Ostatné diódy sú výstražné, preto majú červenú farbu. 2. s označením LOW BATTERY signalizuje zníženie napätia na batérii (týmto spôsobom teda indikuje, že batériu treba nabiť). V súčasnej podobe, ale je mimo funkciu, keďže sa v zariadení žiaden akumulátor nenachádza. 3. v poradí je označená LOW TEMPERATURE. Tá sa rozsvetuje v prípade, že by zlyhala kontrola Peltierovho článku alebo by tento nestíhal ohrievať obývaný priestor v zariadení. To by však nemalo nastať. 4 dióda HIGH TEMPERATURE je zas alarm opačný. Teda signalizuje prehrievanie. Hranice alarmov sú nastavené na 3 °C . Posledná kontrolka informuje, že v zásobníku na vodu je nízka hladina a pri včasnom nedoplnení, môže dôjsť k jej úplnému vyčerpaniu. Tým pádom by samozrejme nebolo možné prostredie zvlhčovať.

### 3.11 Tlačidlá

Tlačidlá sú rovnako ako aj signalizačné diódy umiestnené na prednom paneli zariadenia pod LCD displejom. Pripojenie k mikrokontroléru je ošetrené proti zákmitom

hardvérovo pomocou keramických kondenzátorov o hodnote 100 nF.

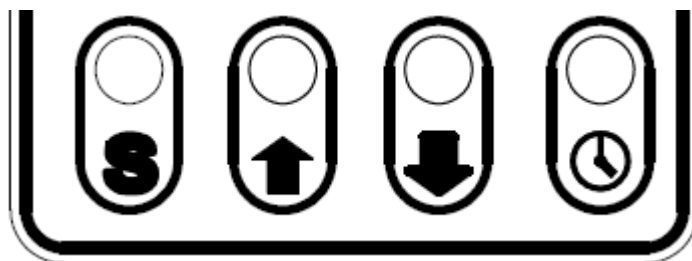
Poradie tlačidiel je na obr.3.12. Sú 4 a ich funkcie sú nasledovné. Zľava doprava je prvým tlačidlo označené písmenom S. Týmto sa nastavuje teplota a relatívna vlhkosť. Čas a dátum sa nastavujú pomocou tlačidla posledného s označením hodín. Stredné dve, ako ukazujú šípky sú určené na zvyšovanie a znižovanie všetkých nastavovaných veličín.

Počiatkové nastavené hodnoty teploty a RH sa vyčítajú z pamäte EEPROM. Ak sa tu nenachádzajú žiadne údaje, potom sú brané ako počiatkové  $t = 25^{\circ}\text{C}$  a  $\text{RH} = 40\%$ .

Menu potom funguje nasledovne:

Po stlačení tlačidla S začne namiesto zobrazovanej aktuálnej hodnoty teploty preblikávať hodnota nastavená. Pomocou šípok ju je možné zvýšiť, prípadne znížiť. Po ďalšom stlačení S sa uloží nastavená teplota, na jej mieste sa znova zobrazí teplota aktuálna. Spolu s tým sa užívateľ prepne do druhého riadku displeja na nastavovania vlhkosti, kde to funguje rovnako. Nastavená RH sa zobrazí namiesto aktuálnej a po ďalšom stlačení S sa uloží a na displeji je znova aktuálna hodnota vlhkosti. Teplota sa zobrazuje s presnosťou na 1 desatinné miesto a RH s presnosťou 1%.

Nastavovanie času a dátumu je obdobné, ako pri zmenách predošlých 2 veličín. Avšak sú tu 2 rozdiely. Namiesto tlačidla S sa používa tlačidlo so symbolom hodín a nastavovaný čas a dátum pri prestavovaní vychádzajú z aktuálnych hodnôt. Rozmiestnenie jednotlivých údajov je zrejme z obr.3.11.



Obr. 3.12: Štvorica tlačidiel na nastavovanie

## 3.12 Komunikácia s PC

### 3.12.1 Komunikácia cez USB

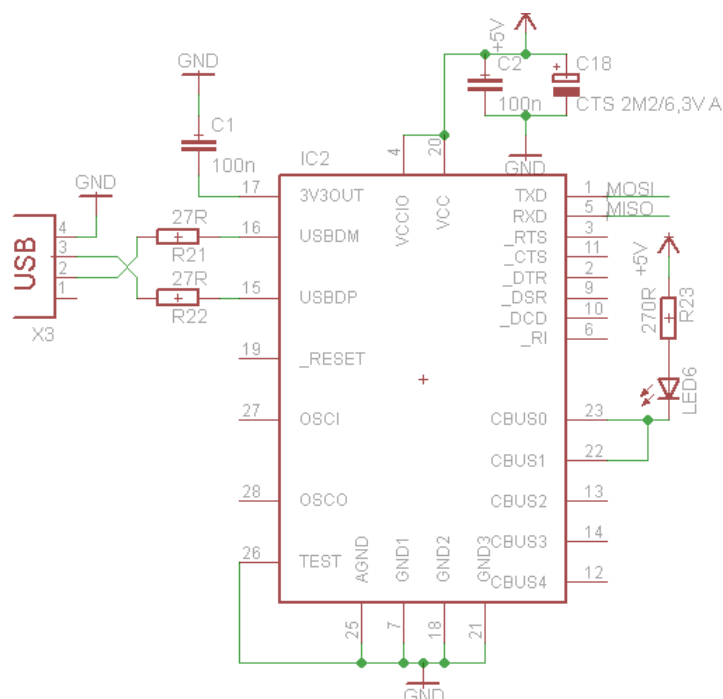
Jednou s podmienok zadania bola komunikácia cez inkubátora s PC. Je riešená 2 spôsobmi. Prvým z nich je prepojenie cez USB. K tomuto účelu je použitý obvod FT232RL od firmy FTDI. Ten prevádza štandardnú komunikačnú linku USB na rozhranie RS-232 v TTL úrovniach. Užívateľ tak nemusí poznať detailný spôsob komunikácie cez USB zbernicu a nemusí sa tak zaoberať programovaním obslužných

algoritmov. K obvodu FT232RL sa pristupuje ako k štandardnému rozhraniu RS-232 [30]. Vývody TXD a RXD sú pripojené k mikrokontroléru na USART0. Dióda LED6 je signalizuje prebiehajúcu komunikáciu (Obr.3.13). Dáta sa z PC posielajú cez program Terminal.

Po pripojení káblu USB k PC a inkubátoru, je pred zahájením úspešnej komunikácie najskôr potrebné nastavenie parametrov. Baud Rate = 9600, Data bits = 8, Parity = none, Stop bits = 1, Handshaking = none. Keď sa toto prevedie, je potrebné stlačenie tlačidla ReScan a v kolónke COM Port sa vyberie port, na ktorom je zariadenie pripojené. Nakoniec treba stlačiť Connect a zariadenia sú pripravené medzi sebou komunikovať.

Z PC je možné zapisovať dáta, alebo ju vymazať. Pre mazanie je potrebné napísať a odoslať príkaz: **#002#001**. Ak sa príkaz vykoná, vráti sa zo zariadenia hodnota: **01**. Ak nie, tak príde hodnota **FF**.

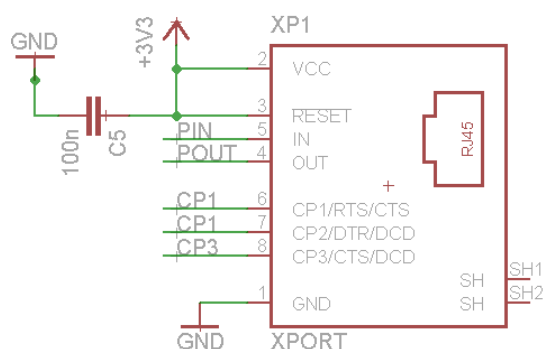
Tvar zápisu dát je nasledovný: **#001#den#mes#hod#tep#vlh** . Napríklad, užívateľ chce zapísať, že 21.marca o 12 hodine treba zmeniť teplotu na 28°C a RH na 46%. Potom bude zápis vyzeráť takto: **#001#021#003#012#028#046**. Pri úspešnom odoslaní a zápise príde znova správa **01**. V prípade, že je nejaký z údajov v zlom formáte vráti sa hodnota **EE** a zápis sa neprevedie. Rovnako ako v prípade mazania aj tu, ak sa zápis neprevedie, je vrátená hodnota **FF**.



Obr. 3.13: Zapojenie prevodníka z USB na RS-232

### 3.12.2 Komunikácia cez LAN

Na tento typ komunikácie bolo použité zariadenie XPort od firmy Lantronix. Je to kompletný prevodník Ethernet na klasickú sériovú linku RS-232 s úrovňou TTL. Prevodník je zabudovaný priamo v ethernetovom konektore [20][21]. Vlastnosti modulu sú uvedené v tab. 3.14 a jeho zapojenie v zariadení je na obr.3.14 . Pin PIN a POUT sú pripojené k USART1 mikrokontroléra na TxD a RxD. CP1 až CP3 sú vstupno-výstupné porty pripojené taktiež k MCU na port D.



Obr. 3.14: XPort

|                    |                                                                                      |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Sériové rozhranie  | CMOS (asynchrónny, 5V tolerancia)                                                    |
|                    | bitová rýchlosť: 300 Bd až 921600 Bd                                                 |
| Sieťové rozhranie  | Konektor: RJ45                                                                       |
|                    | Protokoly: TCP/IP, UDP/IP, ARP, ICMP, SNMP, TFTP, Telnet, DHCP, BOOTP, Auto IP, HTTP |
|                    | Ethernet 10Base-T alebo 100Base-TX (Automatické rozpoznanie)                         |
| Zabezpečenie       | Ochrana heslom                                                                       |
|                    | SE so šifrovaním (256-bit AES Rijndael)                                              |
| Interný web server | 384KB pre webové stránky                                                             |
| Napájanie          | 3,3V                                                                                 |
| Architektúra       | CPU(12 MIPS, založený na rozšírenom 16 bit DSTni-EX, 48MHz)                          |
|                    | pamäť: 256KB SRAM a 512KB flash                                                      |
| Rozmery            | 33.9 x 16.25 x 13.5mm                                                                |
| Pracovná teplota   | 0° až 70°C                                                                           |

Tab. 3.14 Najdôležitejšie parametre použitého prevodníku XPort

Nastavenie: V moduli XPort je nutné pred použitím urobiť sieťové nastavenie IP

adresy a masky podsiete. Rovnako treba nastaviť klienta, ktorému bude dovolené s modulom komunikovať. To sa prevedie pomocou programu DeviceInstaller.

Sériovú linku som už nastavil na 9600dB.

Keď je pridelená IP adresa, potom je možné pripojiť pomocou internetového prehliadača na porte 80. Potom je potrebné zadať užívateľské meno a heslo. A následne je možné nastaviť parametre pre klientov, ktorý sa môžu so zariadením komunikovať a tiež je možné nastaviť komunikáciu cez RS-232 [20],[21].

Podrobnejšie je nastavenie na stránkach výrobcu [20]. Následná komunikácia je podobná ako v prípade USB.

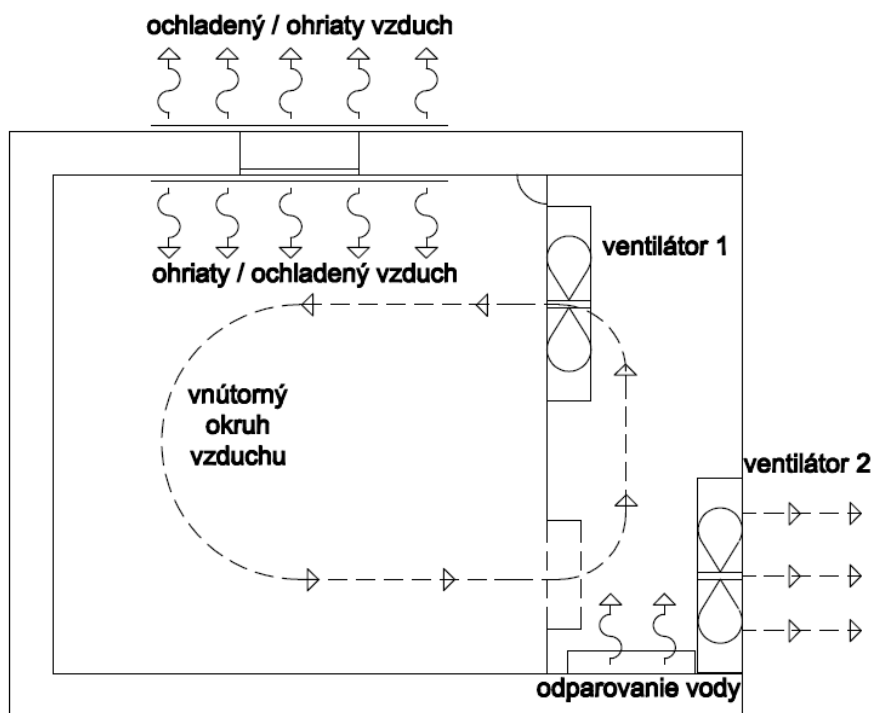
### 3.13 Svetlo

Svetlo je v inkubátore umiestnené ako aj celá elektronika za polykarbonátovou priečkou, aby bolo oddelené od obytného priestoru. Je zložené z troch vysoko svietivých diód bielej farby o priemere 5mm. Podmienkou bolo, aby sa svetlo rozzínalo a zhasínalo postupne, nie naraz. Pretože živočíchy, ktoré budú umiestnené v inkubátore sú citlivé na svetlo a mohli by teda utrpieť šok. To je samozrejme neprípustné, keďže sa zariadenie snaží čo možno najviac spohodliť dobu, kedy zviera inkubátor obýva.

Postupné zvyšovanie a znižovanie intenzity osvetlenia je pomocou 2 elektrolytických kondenzátorov o kapacite  $2 \times 270 \mu\text{F}$  zapojených do bázy tranzistora BC338. Pri zapnutí sa pomocou prepínača pripojí k báze VCC a pri vypnutí sa pripojí GND. Schéma zapojenia je v prílohách (Obr.11.11).

### 3.14 Princíp cirkulácie vzduchu

Na obr.3.15 je ukázaný princíp prúdenia a výmeny vzduchu v boxe. Ohriaty vzduch sa drží pod stropom obytnej časti zariadenia a je rozháňaný ventilátorom, umiestneným v separovanom priestore (zvlhčovacej komore). Pri studenom vzduchu by samozrejme nebol ventilátor nevyhnutný, pretože studený vzduch sám klesá. Na ventilátore je obyčajný prachový filter, ktorý sa dá vymeniť za antibakteriálny. Tým by sa dosiahlo sterilizácie obytného priestoru zariadenia. V zvlhčovacej komore nastáva odparovanie vody, ako aj prívod čerstvého vzduchu, teda aj vetranie. Na strope boxu inkubátoru je Peltierov článok umiestnený medzi dvoma chladičmi resp. ohrievačmi. Externý chladič je podporovaný druhým ventilátorom. V prípade potreby zníženia vlhkosti sa spína tretí ventilátor (na obr.3.15 vpravo dole) a odsáva vlhký vzduch preč zo zariadenia. Tomu dopomáha vysušanie vzduchu Peltierovým článkom.



Obr. 3.15: Princíp prúdenia a výmeny vzduchu i inkubátore

## 4 TERMOELEKTRICKÉ CHADENIE A OHREV

### 4.1 DA systém (kontakt - vzduch)

Direct-to-Air zostavy ponúkajú spoľahlivú a kompaktný výkon chladenia objektov vedením. Teplo sa absorbuje chladiacou doskou, prečerpá sa cez termoelektrický článok čerpanie tepla a odvedie sa chladičom s ventilátorom do vzduchu. Typické využitia tohto systému sú: chladenie elektroniky, laserov a komerčné chladenie. [13] Pri zmene polarít kontaktov sa zmení aj funkcia na ohrievanie.

### 4.2 Parametre použitého boxu

#### 4.2.1 Objem

Zariadenie má vonkajšie rozmery v mm(dĺžka x šírka x výška): 395 x 494 x 396. Vnútorne rozmery sú 335 x 434 x 336.

$$V = d * š * v = 0,335 * 0,434 * 0,336 = 0,049 \text{ m}^3 = 49 \text{ l}$$

Objem inkubátora je teda 49 litrov.

#### 4.2.2 Tepelný odpor a tepelná kapacita

Na získanie týchto vlastností sústavy bolo prevedené meranie.

Použité pomôcky:

- laboratórny rezistor o hodnote 50W ako vyhrievacie teleso.
- ventilátor
- meraná sústava ( box inkubátora)
- multimeter na meranie teploty

Namerané a vypočítané hodnoty:

|        | Namerané hodnoty | Vypočítané hodnoty |
|--------|------------------|--------------------|
| čas[s] | teplota[°C]      | teplota[°C]        |
| 0      | 22,3             | 22,3               |
| 600    | 28,5             | 30,26              |
| 1200   | 35,2             | 36,6               |
| 1800   | 41,1             | 41,5               |
| 2400   | 45,3             | 45,4               |
| 3000   | 48,5             | 48,5               |
| 3600   | 51,3             | 50,92              |
| 4200   | 53,5             | 52,8               |
| 4800   | 55               | 54,4               |
| 5400   | 56,1             | 55,6               |
| 6000   | 57,1             | 56,5               |
| 6600   | 57,7             | 57,23              |
| 7200   | 58,2             | 57,8               |
| 7800   | 58,8             | 58,27              |
| 8400   | 59               | 58,64              |

Tab. 4.1 Vypočítané hodnoty vychádzajú zo zistených veličín  $R_t$  a  $c_t$

Teória:

Pri výpočtoch chladenia/ohrievania v elektrotechnike sa používa analógia medzi obvodom chladenia/ohrievania a chladiacou/ohrievacou sústavou. Metóda spočíva v nájdení elektrických veličín, ktoré sú analogické k veličinám tepelným.[11]

| Tepelný systém   |                                                                                                                    | Elektrický systém   |                                      |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| teplota          | $T$ [K], $\vartheta$ [°C]                                                                                          | potenciál           | $V$ [V]                              |
| teplotný rozdiel | $\Delta T = T_2 - T_1$ [K]<br>$\Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$ [°C]                                  | elektrické napätie  | $U = U_2 - U_1$ [V]                  |
| tepelné množstvo | $Q_t$ [J]<br>$I_t = Q_t = P_t \cdot t$ [J, W, s]                                                                   | elektrické množstvo | $Q$ [C]<br>$Q = I \cdot t$ [C, A, s] |
| tepelný tok      | $P = Q_t/t$ [W, J, s]                                                                                              | elektrický prúd     | $I = Q/t$ [A, C, s]                  |
| tepelný odpor    | $R_t = T/I_t = T/P$ [K.W <sup>-1</sup> , K, W]<br>$R_t = \vartheta/I_t = \vartheta/P$ [°C.W <sup>-1</sup> , °C, W] | elektrický odpor    | $R = U/I$ [W, V, A]                  |
| tepelná kapacita | $c_t = Q_t/T$ [J.K <sup>-1</sup> , J, K]<br>$c_t = Q_t/\vartheta$ [J.°C <sup>-1</sup> , J, °C]                     | elektrická kapacita | $C = Q/U$ [F, C, V]                  |

Tab. 4.2 Ekvivalentné veličiny a zákony tepelno-elektrickej analógie [11]

Výpočty:

$$\vartheta_A = 22,3^{\circ}\text{C}$$

$$\vartheta_{\max} = 60^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{\max} - \vartheta_A = 59 - 22,3 = 37,7^{\circ}\text{C} \quad (4.1)$$

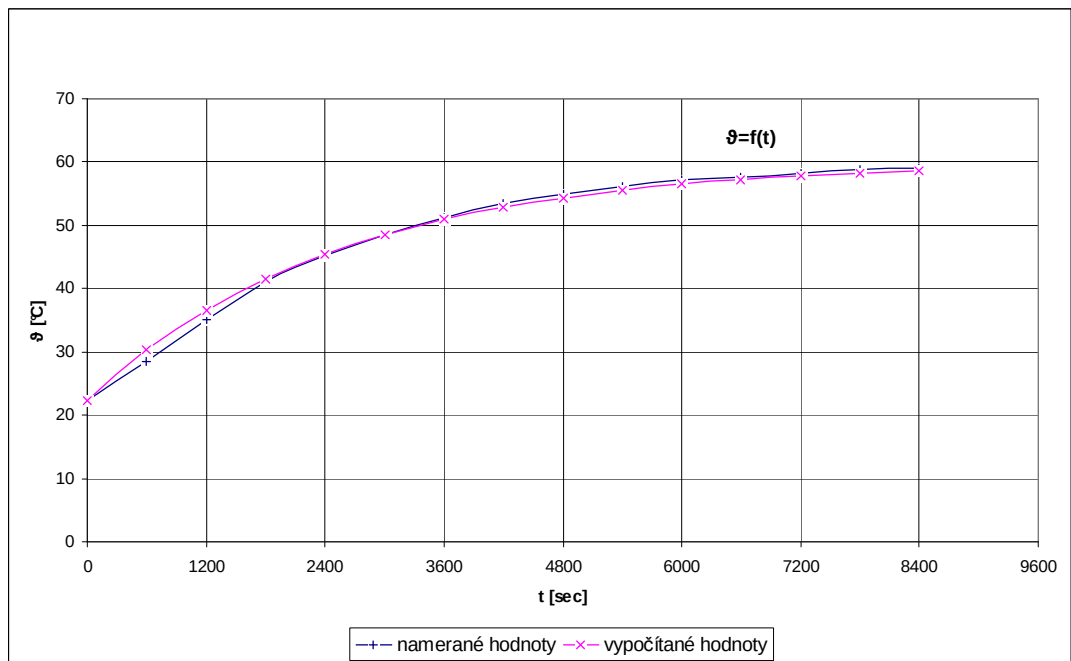
$$R_t = \frac{\Delta\vartheta}{P} = \frac{37,7}{50} = 0,75^{\circ}\text{C/W} \quad (4.2)$$

$$\vartheta = \vartheta_A + (\vartheta_{\max} - \vartheta_A) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 22,3 + (60 - 22,3) \cdot (1 - e^{-\frac{3000}{\tau}}) \quad (4.3)$$

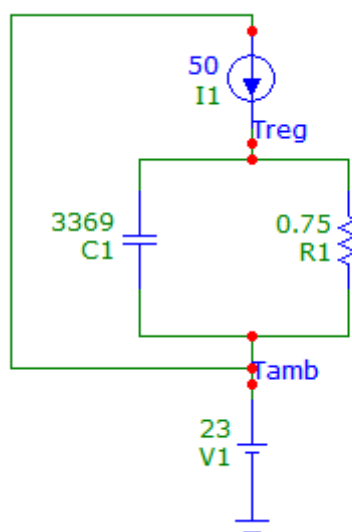
$$\Rightarrow \tau = 2526,7\text{s}$$

$$\tau = R_t \cdot c_t \quad (4.4)$$

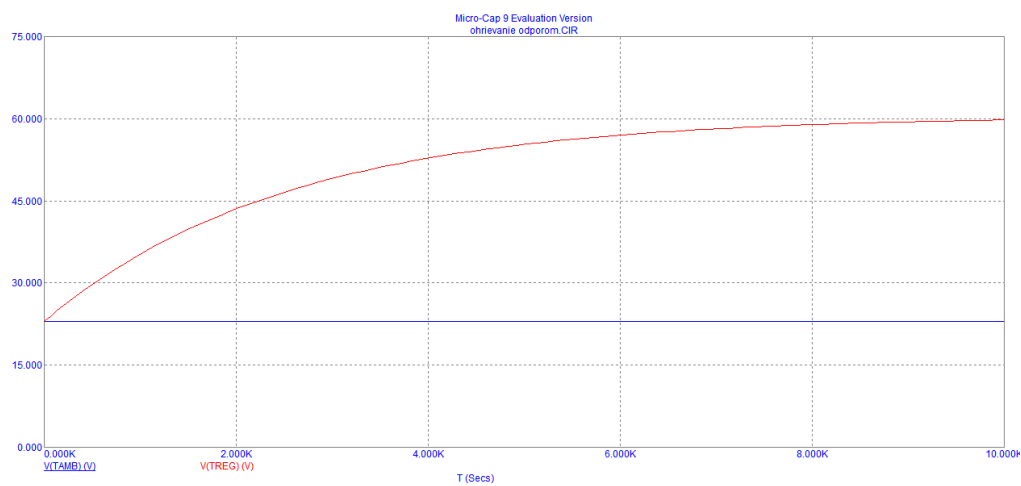
$$\Rightarrow c_t = \frac{\tau}{R_t} = \frac{2526,7}{0,73} = 3369\text{J}/^{\circ}\text{C}$$



Obr. 4.1: Graf nameraných a vypočítaných hodnôt zvyšujúcej sa teploty v čase



Obr. 4.2: Náhradný model schémy zapojenia

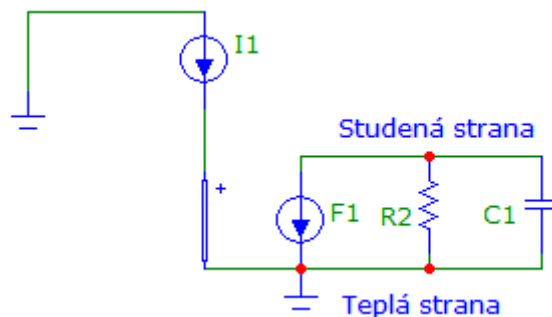


Obr. 4.3: Grafická závislosť zvyšujúcej sa teploty na čase simulovaná pomocou programu Micro-cap 9

## 4.3 Výber vhodného Peltierovho článku

### 4.3.1 Náhradný model Peltierovho článku

Peltierov článok sa pri svojej činnosti v elektrickej analógii chová ako zdroj prúdu riadený prúdom. Má vlastný tepelný odpor  $R_t$ , ktorý sa dá zistiť z grafu závislosti chladiaceho výkonu  $P_c$  na rozdieli teplôt  $\Delta\theta$  ( $\Delta T$ ). Ďalej má tepelnú kapacitu medzi chladiacou a ohrievacou stranou. Tepelná kapacita sa určuje z rozmerov chladiča mernej tepelnej kapacity materiálu, z ktorej je chladič vyrobený.



Obr. 4.4: Náhradný model Peltierovho článku

### 4.3.2 Podmienky výberu Peltierovho modulu

Zo sústav, ktoré sa vyrábajú som sa rozhodoval, medzi DA a AA systémom. Chladiaci systém bude umiestnený na strope inkubátoru, preto by bol vhodnejší AA, aby ohriaty/ochladený vzduch rozháňal pre homogénnu teplotu v celom inkubátore. Týmto ventilátorom by sa však nedalo dobre realizovať odparovanie vody a správna cirkulácia vzduchu, preto je použitý ďalší ventilátor a potreba ventilátora v AA systéme odpadá. Z tohto dôvodu je použitý DA systém (kontakt - vzduch).

Systémy DA majú niekoľko modelov. Z tejto ponuky som vybral DA-075-12-02. Dôvody sú nasledovné:

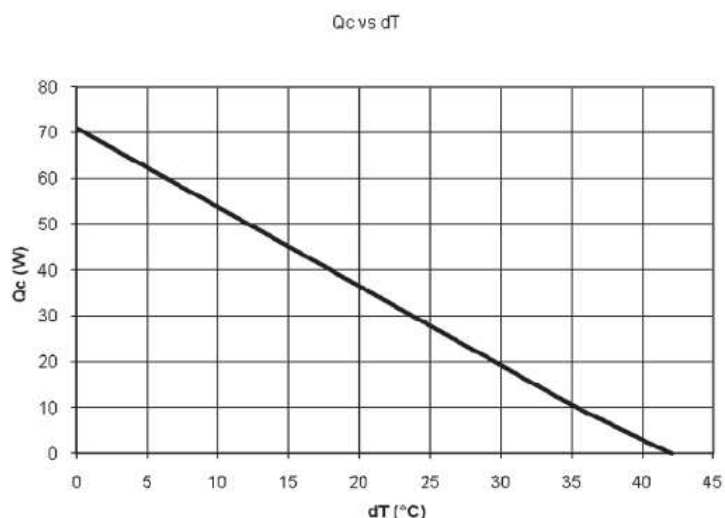
- napájanie 12V
- treba zaručiť rozsah regulácie teploty od 20°C do 38°C, pri okolitej teplote 10°C pri ohrievaní a 40°C pri ochladzovaní v extrémnych prípadoch.

Obe tieto podmienky zvolený typ splňuje, čo je možno vidieť vo výsledkoch simulácií.

### 4.3.3 Parametre vybraného modelu

| chladiaci výkon<br>$P_{c \max}$ [W] | $P_c$<br>typ krivky | prúd<br>[A] | príkon<br>[W] | max. okolitá teplota<br>[°C] | váha<br>[kg] |
|-------------------------------------|---------------------|-------------|---------------|------------------------------|--------------|
| 71                                  | C                   | 7,2         | 86            | 49                           | 1,7          |

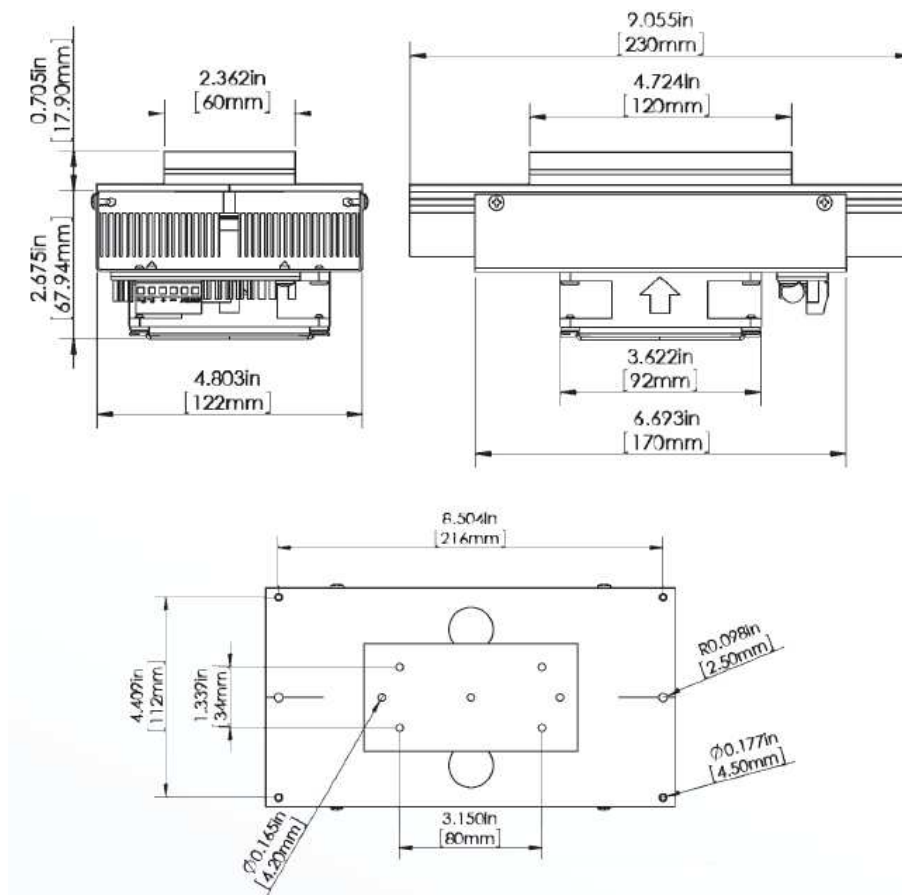
Tab. 4.3 Parametre vybraného modelu DA-075-12-02 [13]



Obr. 4.5: Závislosť max. výkonu na teplotnom rozdieli DA systému s Peltierovým článkom DA-075-12-02 [13]

$$R_1 = R_1 = \frac{\Delta T}{Q_c} = \frac{30}{19} = 1,58^\circ\text{C/W} \quad (4.5)$$

$$F1 = \frac{P_{c \max}}{\text{príkon}} = \frac{71}{86} = 0,8256 \quad (4.6)$$



Obr. 4.6: Rozmery DA systému s Peltierovým článkom DA-075-12-02 [13]

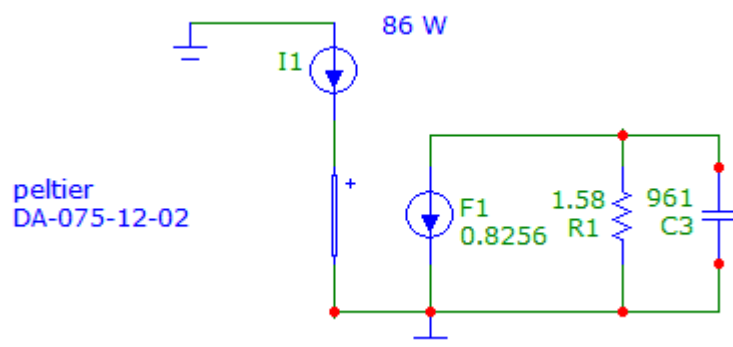
Pri výpočte  $c_t$  vybraného modelu chladenia/ohrievania vychádzame z rozmerov jednotlivých častí, mernej tepelnej kapacity a hustoty materiálu, z ktorých sú zostrojené. V danom prípade boli komponenty z hliníku. Merná tepelná kapacita hliníku je  $c_p=896\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , hustota  $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$ . A objem vypočítaný z rozmerov je približne  $V = 0,0003973 \text{ m}^3$ .

hmotnosť:

$$m = \rho.V = 2700.0,0003973 = 1,07\text{kg} \quad (4.7)$$

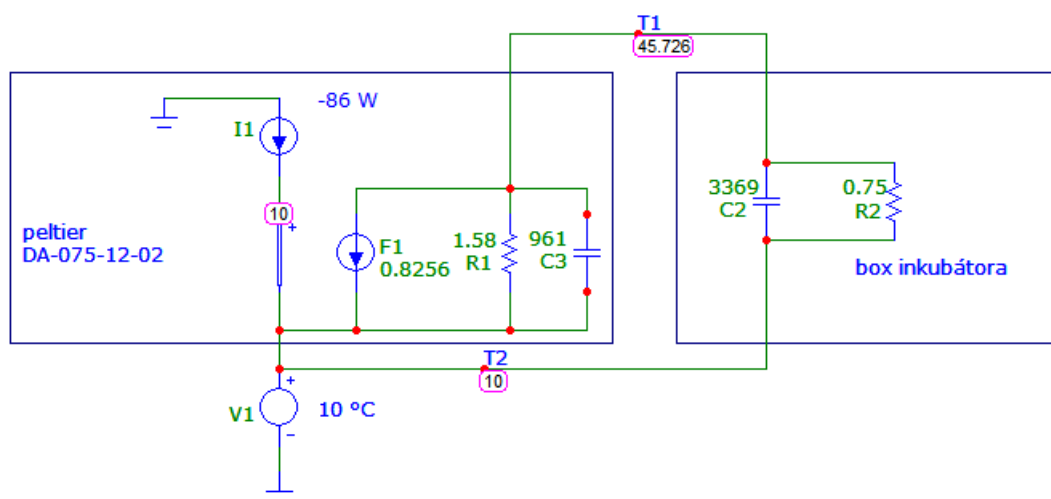
merná tepelná kapacita:

$$c_t = C3 = m.c_p = 1,07.896 \cong 961\text{J/K} \Leftrightarrow 961\text{F} \quad (4.8)$$

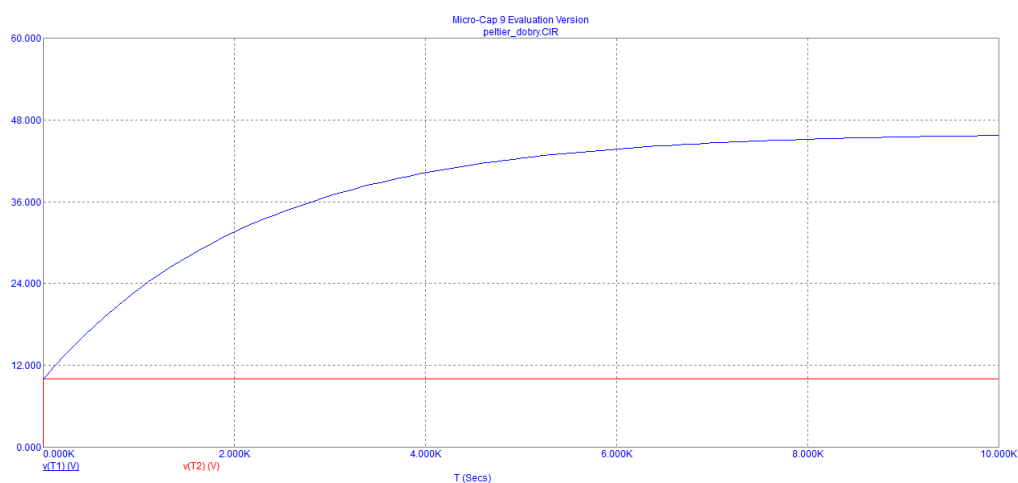


Obr. 4.7: Náhradný model vybraného Peltierovho článku

Simulácia ohrievania pri okolitej teplote 10°C (extrém):

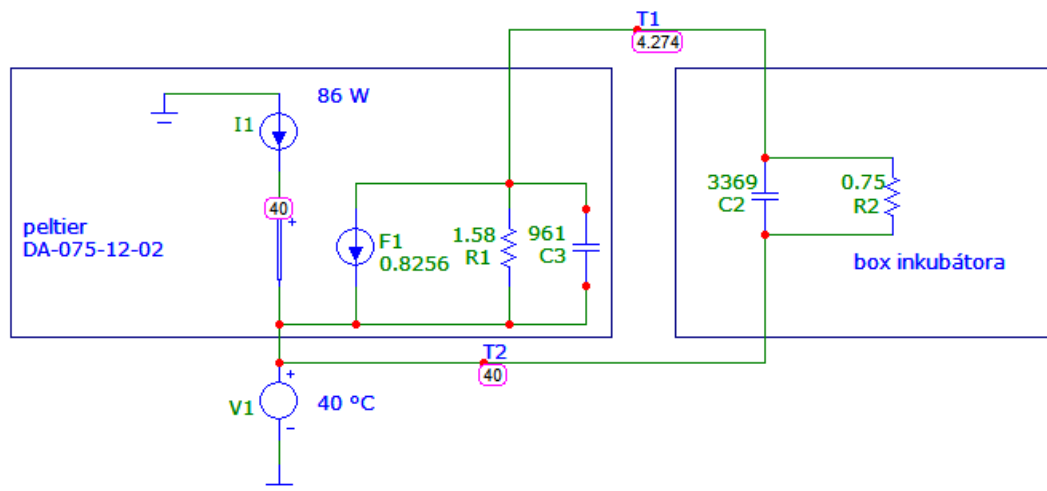


Obr. 4.8: Náhradný model zvyšovania teploty v boxe inkubátora pri  $T_{AMB}=10^{\circ}\text{C}$

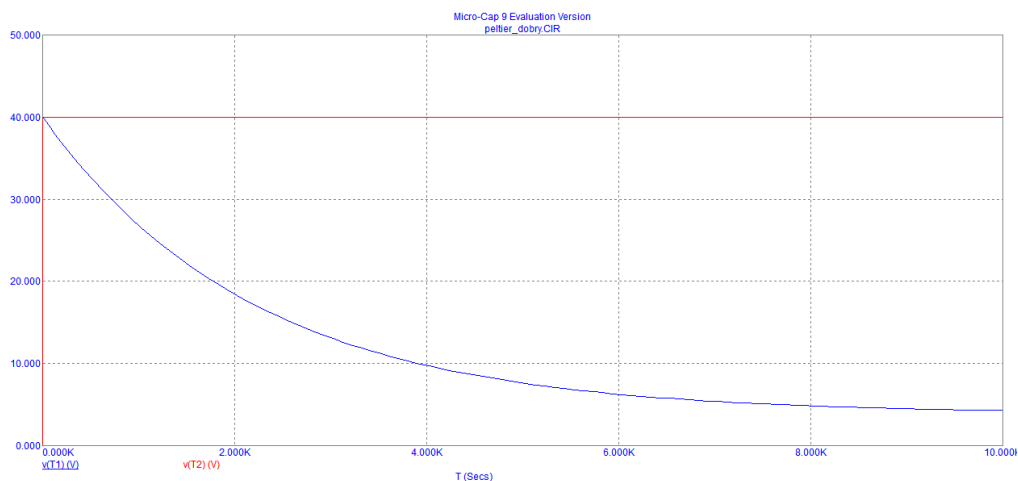


Obr. 4.9: Grafická závislosť zvyšujúcej sa teploty na čase pri  $T_{AMB}=10^{\circ}\text{C}$

Simulácia chladenia pri okolitej teplote 40°C (extrém):



Obr. 4.10: Náhradný model znižovania teploty v boxe inkubátora pri  $T_{AMB}=40^{\circ}\text{C}$



Obr. 4.11: Grafická závislosť znižujúcej sa teploty na čase pri  $T_{AMB}=40^{\circ}\text{C}$

## 5 ZVLHČOVANIE

### 5.1 Porovnanie odporového zvlhčovača s ultrazvukovým

Zrovnanie týchto dvoch spôsobov bolo prevedené meraním. Na meranie vlhkosti a teploty bol použitý prístroj USB humidity/temp. logger VOLTcraft DL-120TH a k nemu priložený software USB-Feuchte/Temp.Logger Version 3.0.

#### 5.1.1 Zvyšovanie vlhkosti pomocou ultrazvukového atomizéru

Použitý typ atomizéru bol SE24, čo odpovedá modelu JR-24 od čínskej firmy Siansonic. Jeho výkon je 28W. Ďalšie parametre sú uvedené v tabuľke 6.1. Dĺžka merania bola približne 4 minúty.

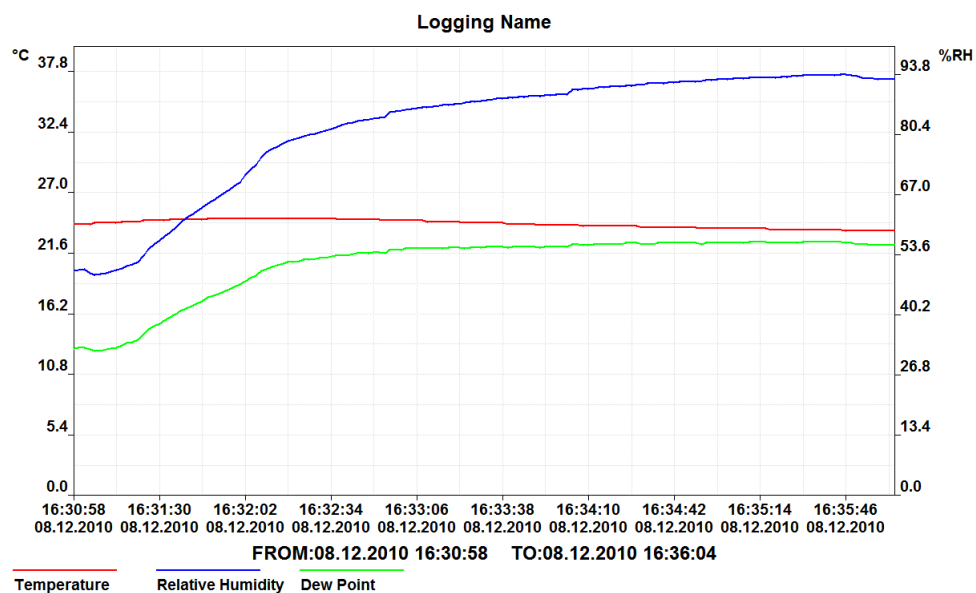


Obr. 5.1: Ultrazvukový rozprašovač JR-24 [15]

|                        |              |
|------------------------|--------------|
| model                  | SE24 (JR-24) |
| napájanie              | 24V AC       |
| výkon                  | 28W          |
| kmitočet               | 1700±50 kHz  |
| pracovná výška hladiny | 30~55mm      |
| pracovná teplota       | 0~40℃        |
| produkcia hmly         | >300ml/h     |

Tab. 5.1 Parametre ultrazvukového rozprašovača JR-24 [15]

Výsledky merania:



Obr. 5.2: Závislosť zmeny vlhkosti a teploty na čase pre atomizér SE-24

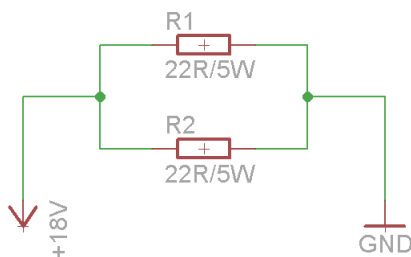
Zhodnotenie:

Relatívna vlhkosť v uzavretom boxe inkubátora stúpala z pôvodných 49% , po vyvetraní na 94% za približne 4 minúty. Teplota sa zmenila počas merania nepatrne (klesla o 0,7°C).

### 5.1.2 Zvyšovanie vlhkosti pomocou odporu

Zapojenie prípravku bolo jednoduché. Dva metal oxidové rezistory z odporom 22Ω, zapojené paralelne. Napájacie napätie bolo +18V jednosmerné. Výkon ohrievača bol teda 29,46W. Dĺžka merania bola približne 30 minút.

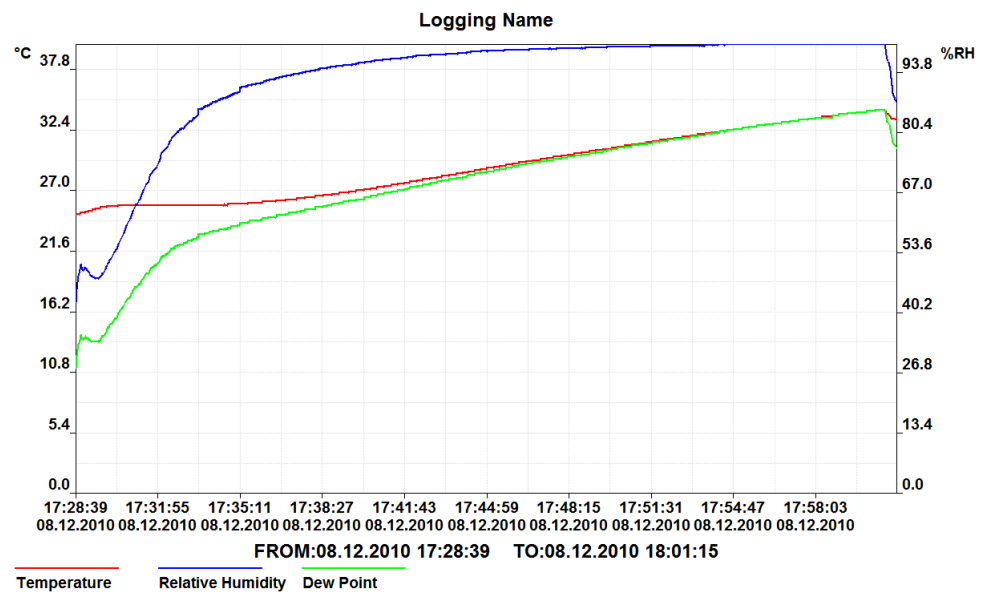
Schéma zapojenia:



Obr. 5.3: Principiálne zapojenie elektroniky zariadenia [13]

$$\text{Výkon: } P = 2 * \left( \frac{U^2}{R} \right) = 2 * \left( \frac{18^2}{22} \right) = 29,46 \text{ W} \quad (4.9)$$

Výsledky merania:



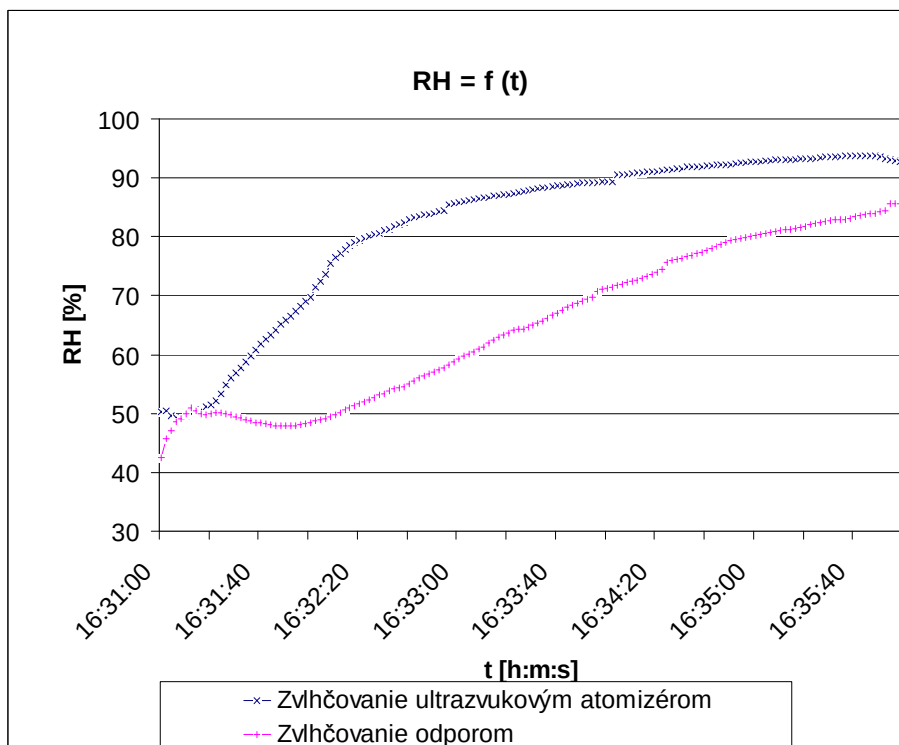
Obr. 5.4: Závislosť zmeny vlhkosti a teploty na čase pre odporový odparovač

Zhodnotenie:

Relatívna vlhkosť v uzavretom boxe inkubátora stúpala z pôvodných 46% , po vyvetraní na 100% za približne 20 minút. Zo zvyšujúcou sa vlhkosťou rástla aj teplota.

### 5.1.3 Porovnanie výsledkov meraní odporového zvlhčovača s ultrazvukovým

Z porovnaní z grafu je vidno, že pri približne rovnakom výkone v oboch metódach, spôsobuje tá s použitím ultrazvukového atomizéru, rýchlejší nárast relatívnej vlhkosti. To platí do času 1 a pol minúty. Od toto času stúpa relatívna vlhkosť zvyšovaná atomizérom pomalšie ako pri druhej metóde odparovania odporom. Obe metódy pri danom výkone (približne 29W) dokážu zvýšiť RH nad požadovaných 80%. Preto sú pre použitie v inkubátore vhodné.



Obr. 5.5: Porovnanie zmeny vlhkosti v čase pre oba spôsoby zvlhčovania

Ja som sa teda rozhodol pre spôsob zvyšovania vlhkosti pomocou rezistorového odparovača. Dôvody boli nasledovné: plynulejší nárast vlhkosti, síce pomalší ako pri druhom riešení. Ďalej jednoduchosť zapojenia. Pri použití ultrazvukového meniča by nebolo možné použiť hladinový rozprašovač, aký bol použitý v meraní, pretože napájanie v inkubátore bude 12V jednosmerných a vyrábané hladinové atomizéry, ktoré sú dostupné pracujú na najnižšie napätie 24V striedavé

Preto by sa musel použiť iný typ rozprašovačov. Napríklad od firmy Siansonic rada QF, čo sú vysokoúčinné ultrazvukové rozprašujúce prevodníky. Spodná polovica tabuľky 5.2. V tomto prípade je ale potrebný vytvoriť napájací obvod prevodníka. A v neposlednom rade zložitejšia konštrukcia zariadenia.

Pri odparovaní vody odporom, sa vyrieši aj problém dezinfekcie vody od baktérií, ktoré by mohli obyvateľovi inkubátoru uškodiť. Voda sa prevára. V ultrazvukovom zvlhčovači býva tento problém riešený tyčinkou s iontami striebra. Na druhej strane, priestor odparovania je oddelený od obytného priestoru zariadenia, a otvory, ktoré ich prepájajú sú vybavené filtrom, zabráňujúcim prechodu baktérií. Tieto môžu tiež obsahovať ióny striebra, a používajú sa na do vzduchotechniky. Ich účinnosť zachytávania by nemusela byť postačujúca na daný účel.

Pre vyrábaný prototyp zariadenia bol teda zvolený odporový odparovač s plavákom. Plavák a plavákový uzáver je v tomto prípade zo starého mopeda. Otvorená miska, v tomto prípade už nádržka, má otvor určitej veľkosti, aby bolo možné primerané zvyšovanie vlhkosti.

| CHARACTERISTICS      |           |               |       |                |
|----------------------|-----------|---------------|-------|----------------|
| Model <sup>[1]</sup> | Frequency | Input Voltage | Power | Flow Rate      |
|                      | MHz       | V(DC)         | W     | ml/h $\pm$ 20% |
| QFX20-20X60          | 2.0       | 24            | 8-20  | 80-400         |
| QFX20-20X50          | 2.0       | 24            | 8-20  | 80-400         |
| QFX20-20X40          | 2.0       | 24            | 8-20  | 80-400         |
| QFX15-20X50          | 2.0       | 24            | 8-13  | 80-250         |
| QFX15-20X40          | 2.0       | 24            | 8-13  | 80-250         |
| QFX15-20X30          | 2.0       | 24            | 8-13  | 80-250         |
| QFX15-25X50          | 2.5       | 12            | 3-8   | 20-200         |
| QFX15-25X40          | 2.5       | 12            | 3-8   | 20-200         |
| QFX15-25X30          | 2.5       | 12            | 3-8   | 20-200         |
| QFX15-30X30          | 3.0       | 12            | 2.5-8 | 10-80          |
| QFX12-25X30          | 2.5       | 12            | 2-6   | 8-60           |
| QFX12-30X30          | 3.0       | 12            | 2-6   | 7-50           |

Tab. 5.2 Parametre modelov vysokoúčinný ultrazvukových rozprašovacích prevodníkov[15]

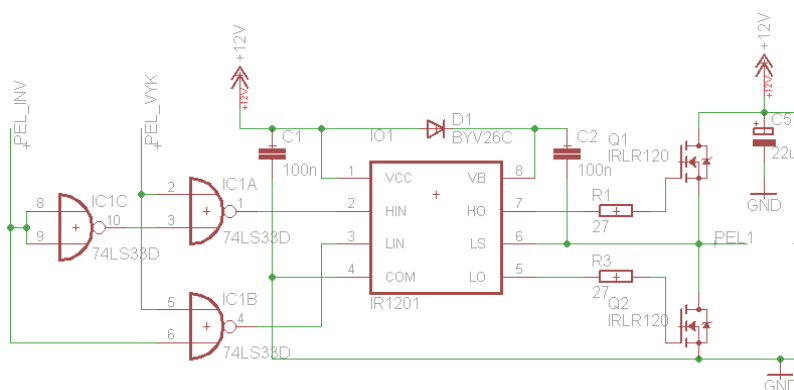
## 6 ZAPOJNIE A OVLÁDANIE TERMOSTATU A HYDRODTATU

### 6.1 Zapojenie DA systému s Peltierovým článkom

Použitý systém s Peltierovým článkom je DA-075-12-02 s príkonom 86W a výkonom  $P_{C_{max}}=71W$ . Napätie je 12V a prúd 7,2A. Na jeho ovládanie je použité zapojenie z MOSFET tranzistormi. Tranzistory sú zapojené v H-mostíku (H-bridge). Ten slúži na zmenu polaritu na výstupoch PEL1 a PEL2. Zmena polaritu je potrebná na zmenu funkcie Peltierovho článku ohrievanie/chladenie. Na tento konkrétny účel bola zvolená štvorica typu N, model IRLR120 SMD (HEXFET 100V 0,27 $\Omega$  7,7A TO252 LogLev).

H-Bridge je riadený dvoma ovládačmi typu IR2101. V prípade log.1 (resp. PWM signálu) na vstupe HIN otvára tranzistor Q1. Úroveň výstupného signálu HO je totožná s VB (v tomto prípade 12V). Ak je HIN privedená log. 0, tak na HO má úroveň LS (0 V). Obdobne to platí aj pre vstup LIN, ktorým sa otvára, resp. zaviera tranzistor Q2. Ak je na LIN log.1, tak na výstupe LO je úroveň signálu o veľkosti VCC (12V). Po privedení log.0 je na výstupe 0V.

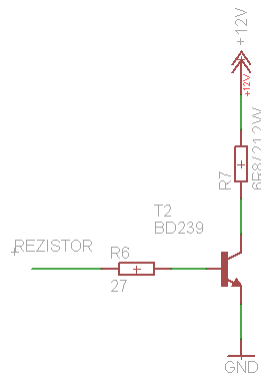
Riadenie vstupov IR2101 je pomocou obvodu 74HC02SMD. Jedná sa o 4 hradlá NOR. Z nich sú využité 3. Vstupy NOR-ov sú pripojené k 2 výstupom z mikrokontroléra ATmega128. Jedným je privádzaný signál PWM a druhým sa riadi inverzia vstupov. Pri log.1 je otvorený Q2 a pri log.0 sa otvorí Q1.



Obr. 6.1: Zapojenie Peltierovho článku k mikrokontroléru

## 6.2 Zapojenie odparovača vody

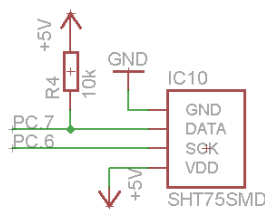
Odpor o veľkosti  $6,8\Omega$  je riadený výstupom mikrokontroléra PB5. Výkonová časť obvodu je spínaná cez tranzistor BD239 ( $U_{CE0}=100V$ ,  $I_C=2A$ ,  $P_d=30W$ , puzdro TO220). Odparovač má výkon 21,2W. Prúd prechádzajúci tranzistorom je teda maximálne 1,8A. Zapojeniu tento tranzistor preto vyhovuje.



Obr. 6.2: Zapojenie odporového odparovača k mikrokontroléru

## 6.3 Zapojenie teplomeru a vlhkomeru

Ako bolo spomínané už v tretej kapitole, na meranie vlhkosti, ako aj teploty je použité čidlo SHT75 od firmy Sensirion. Senzor má digitálny výstup a jeho pripojenie k mikrokontroléru je znázornené na obr.6.3. Senzor je teda zapojený priamo na jeho piny. K vodiču DATA je navyše pripojený pull-up rezistor o hodnote  $10k\Omega$ .



Obr. 6.3: Zapojenie senzoru SHT-15 k mikrokontroléru

## 7 DOSIAHNUTÉ PARAMETRE

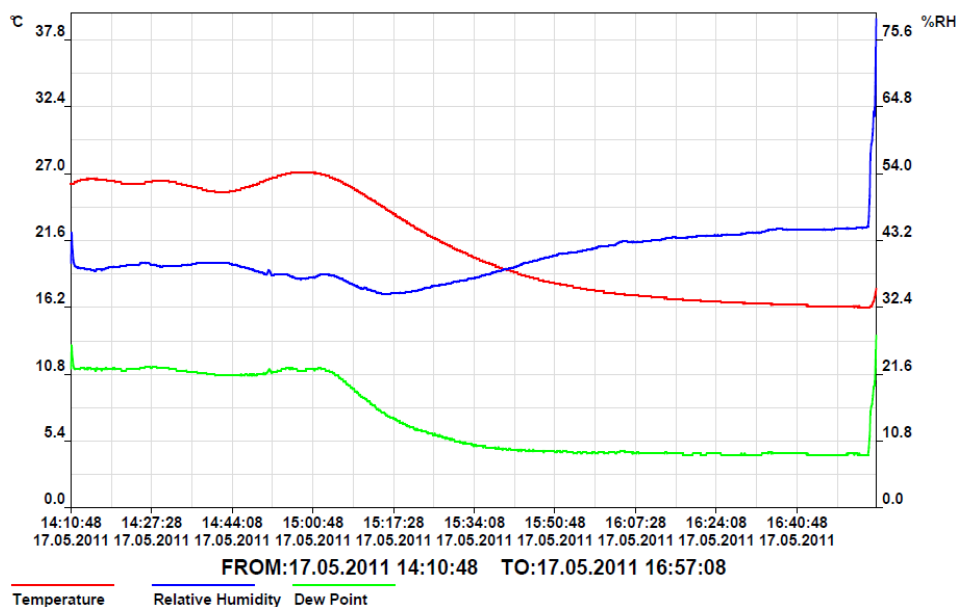
### 7.1 Regulácia teploty

Na meranie v hotovom zariadení bol ako merací prístroj znova použitý USB humidity/temp. logger VOLTcraft DL-120TH. Zo softvéru k nemu dodávanom, boli vyexportované nasledujúce grafy: obr.7.1, obr. 7.2 a obr. 7.3.

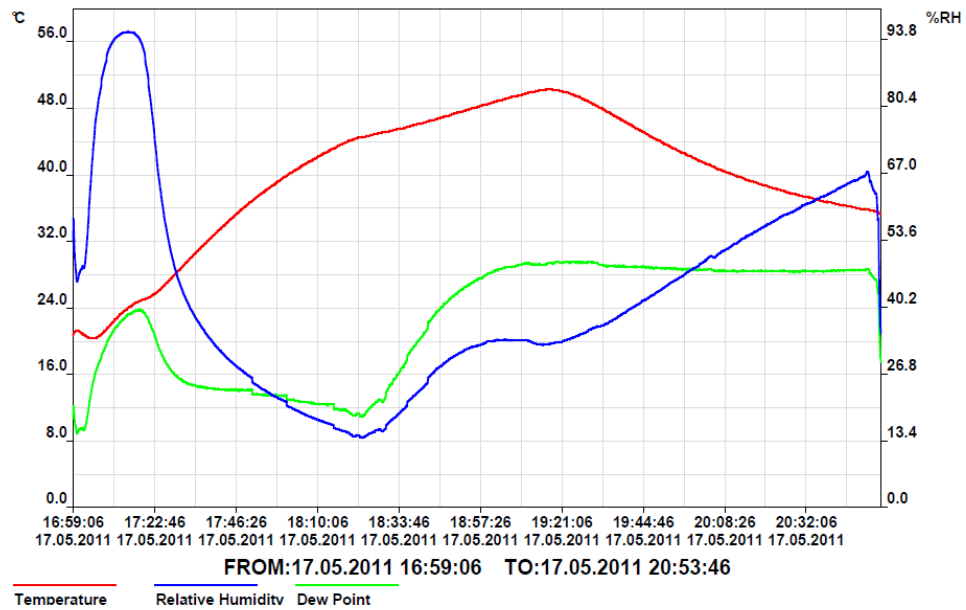
Požiadavky: ochladenie pod 20°C. Ohriatie nad 38°C.

Najskôr prebiehalo ochladzovanie (pribeh grafu na obrázku 7.1 od času 15:00). Podmienky na pred započatím boli nasledovne:  $T_{poč} = 27^{\circ}\text{C}$ ,  $RH_{poč} = 38\%$ . Meranie bolo zastavené v čase 17:00, kedy bola aktuálna hodnota teploty 16,2°C. Výsledkom toho je, že za približne 2 hodiny sa dokázalo zariadenie ochladiť o 10,2°C.

Ďalším meraním bolo treba dokázať schopnosť zvýšenia teploty nad 38°C. V tomto prípade boli počiatočné podmienky  $T_{poč} = 21,3^{\circ}\text{C}$ ,  $RH_{poč} = 45\%$ . Pribeh zmien znázorňuje obr.7.2. Ohrievanie začalo v čase 17:00 a skončilo 19:17, kedy bola hodnota teploty 50,3°C. Výsledok: za 2 hodiny 15 minút bola zmena teploty skoro 30°C a ďaleko presiahla požadovanú hranicu 38°C.



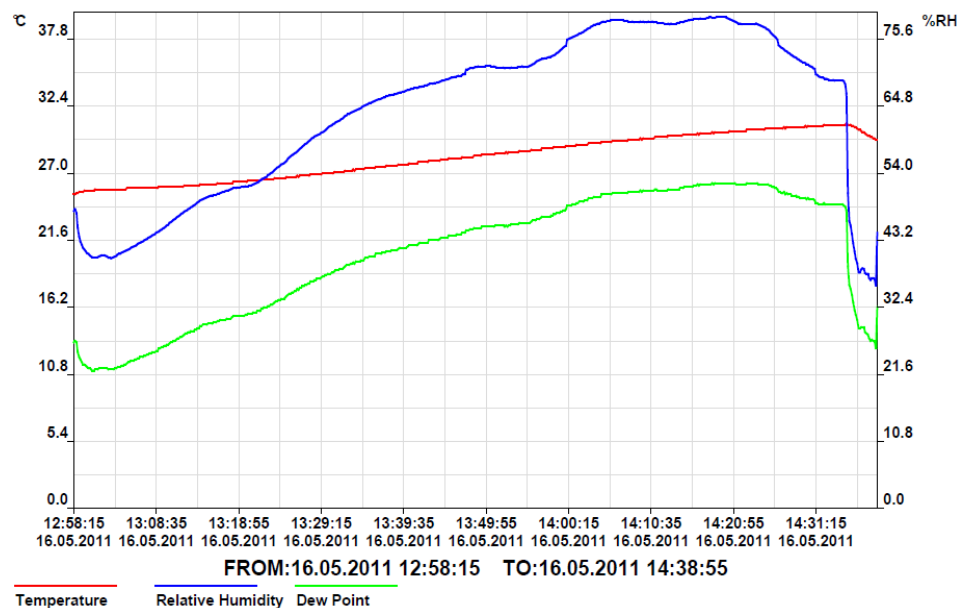
Obr. 7.1: Ochladzovanie



Obr. 7.2: Ohrievanie + zmena RH

## 7.2 Regulácia vlhkosti

Podmienky regulácie vlhkosti sú od 25% do 80%. To že to zariadenie dokáže zvládnuť dokazujú obr.7.2 a obr.7.3. Na prvom z nich je to časť od času 17:28 po 18:21. Počiatočná hodnota RH bola 45,5% a konečná 14,1. Potom bolo zapnuté zvlhčovanie. Je to časť krivky od 17:28 po 20:50. V tomto čase stúpila RH o cca 53%. Potom bolo meranie zastavené. To že dokáže prístroj zvlhčiť vzduch na požadovaných 80% graf tretieho merania na obrázku 7.3.



Obr. 7.3: Zvyšovanie RH

## 8 ZÁVER

Cieľom tejto diplomovej práce bol návrh konštrukcie inkubátora pre odchov exotického vtáctva s možnosťou merania a regulácie teploty a vlhkosti.

Práca začína porovnaním komerčne vyrábaných typov zariadení tohto druhu. Z dostupných inkubátorov bol podľa môjho názoru najviac prepracovaný model Compact SA od firmy Grumbach, ale keďže jeho cena je približne 26 tisíc Kč, myslím, že vhodnejšou voľbou výberu je model Comfort od českého výrobcu pána Josefa Urbana. Tento typ má podobné vlastnosti ako Compact SA, ale cena je o 14 tisíc nižšia.

Ďalšia časť práce sa zameriava na porovnanie a výber komponentov potrebných na zostavenie zariadenia. Postupne sú vyberané časti ako: senzor teploty a vlhkosti, regulátor teploty, mikrokontrolér pre riadenie, pamäť na ukladanie dát, obvod reálneho času, displej, akumulátor alebo zdroj. Batéria a zdroj nie sú súčasťou zariadenia, ale inkubátor je na ich dodatočnú inštaláciu pripravený. K jednotlivým komponentom je uvedená vždy uvedená aj schéma ich zapojenia. Použitý box zariadenia je rovnaký ako pri modeloch Klasik a Comfort. Nákrasy prípravku sú v prílohách.

4. kapitola sa zaoberá návrhom termostatu. Ako meracie čidlo bolo zvolené SHT75 s digitálnym výstupom. Regulácia teploty je vyriešená pomocou Peltierovho článku v sústave DA. Merania a výpočty na použitom boxe určili ako vhodný model DA-075-12-02 s výkonom 71W.

O návrhu hydrostatu pojednávajú podkapitola 3.3 a kapitola 5, kde je vybraný pravdepodobne najvhodnejší spôsob regulácie vlhkosti. Ako merací prvok, je už spomínaný senzor SHT75. Ako teleso zvyšujúce vlhkosť je použitá odparovacia miska s regulovaným prívodom vody a výkonový odpor, pomocou ktorého sa voda odparuje. Výkon tohto odporu bol stanovený na 21,2W. Zníženie vlhkosti je zabezpečené spustením prídavného ventilátora a zvýšením teploty, ktorá vzduch vysuší. Zásobník vody má v tomto zariadení objem 0,9 litra.

Riešenie komunikácie je v podkapitole 3.12. Základom spojenia cez USB rozhranie je obvod FT232RL, ktorý je prevodník USB na RS-232. Podobne je to aj v prípade komunikácie cez LAN, kde sa zase využíva prevodník Ethernet <=>RS-232 XPort. Sériová linka z USB je pripojená na USART0 a z prevodníka XPort na USART1. Komunikácia spočíva v posielaní dát na reguláciu teploty a vlhkosti v inkubátore, ktoré sa ukladajú do EEPROM. Pri zvolenej veľkosti pamäti je možnosť záznamu pre 20 zmien.

Box inkubátora je rozdelený na 3 časti polykarboátovými doskami, ktoré oddeľujú obytný priestor, priestor pre elektroniku a priestor odparovania vody. Rezistor na zvlhčovanie obsahuje aj Zásobník s vodou s objemom 900ml.

Nakoniec bolo prevedené meranie, ktoré potvrdilo splnenie požiadaviek, čo sa týka rozsahu regulácie teploty od 20°C do 38°C. Požiadavky na reguláciu RH boli v rozsahu 25 až 80%. Namerané rozsahy boli u teploty od 16°C do 53°C a u vlhkosti od 14,5% do cca 80%. Presnosť regulácie teploty je nastavená na 0,5°C a vlhkosti na 1%.

Zariadenie je napájané jednosmerným napätím 12V, jeho maximálny výkon je približne 110W.

Pri práci bol použitý nasledovný softvér. Na kreslenie elektických schém a návrhy dosiek plošných spojov Eagle v.5.7.0. Na simulácie Micro-cap v. 9.0.5.0. Na progamovanie mikrokontroléra AVR Studio4 v.4.18 a na spracovanie dát z meracieho prístroja VOLTCRAFT DL-120TH softvér USB-Feuche/Temp.Logger v.3.0.

## 9 LITERATÚRA

- [1] <http://www.milanbartl.cz/>
- [2] <http://www.odchovny.cz/>
- [3] <http://www.brinsea.com/>
- [4] <http://www.lyonelectric.com/>
- [5] <http://www.grumbach-brutgeraete.de/english/>
- [6] KREIDL, Marcel . Měření teploty : senzory a měřicí obvody . 1. Praha : BEN-technická literatura, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [7] <http://vetrani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3137>
- [8] <http://www.sos.sk/>
- [9] [http://www.odetka.cz/net20/cz/eshop\\_detailvyrobku.aspx?id=225](http://www.odetka.cz/net20/cz/eshop_detailvyrobku.aspx?id=225)
- [10] Amatérské rádio : Praktická elektronika. AMARO spol. s.r.o. roč. 02/2010, č. 20
- [11] FUKÁTKO, Tomáš; FUKÁTKO, Jaroslav. *Teplo a chlazení v elektrotechnice II.*. 1.vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 120 s. ISBN 80-7300-199-3.
- [12] Supercool AB. *Thermoelectric solutions*, 2004. 20 s. Dostupné z WWW: <[www.supercool.com](http://www.supercool.com)>.
- [13] <http://www.lairdtech.com/Products/Thermal-Management-Solutions/Thermoelectric-Assemblies/>
- [14] <http://www.airoswiss.net>
- [15] <http://www.siansonic.com>

- [16] [http://www1.appstate.edu/~schwabad/Schwab\\_Thermoelectric\\_Controller.pdf](http://www1.appstate.edu/~schwabad/Schwab_Thermoelectric_Controller.pdf)
- [17] MALÝ, Pavel. *Systém pro stabilizaci teploty*. Brno, 2008. 52 s. Diplomová práce. VUT Brno. Dostupné z WWW: <www.vutbr.cz>.
- [18] <http://www.sensirion.com/>
- [19] <http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/2688>
- [20] <http://www.lantronix.com/device-networking/embedded-device-servers/xport.html>
- [21] ŠVÁB, J. *Systém pro vzdálené měření a ukládání dat v centrální databázi*. Brno, 2009. 52 s. Diplomová práce. VUT Brno. Dostupné z WWW: <www.vutbr.cz>.
- [22] [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2467.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf)
- [23] [http://www.atmel.com/dyn/products/product\\_card.asp?part\\_id=2808](http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?part_id=2808)
- [24] [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232R.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf)
- [25] BUKHARD, Mann. *C pro mikrokontroléry*. 1.vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2004. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.
- [26] PK Design. *Uživatelský manuál: MB-ATmega128 v 3.0*, 2007. 22 s. Dostupné z WWW: <http://www.pk-design.net>.
- [27] PK Design. *Uživatelský manuál: Modul LED a LCD displeje s maticovou klávesnicí v 2.0*, 2007. 13 s. Dostupné z WWW: <http://www.pk-design.net>.
- [28] PK Design. *Uživatelský manuál: Modul 8 LED diod a 8 tlačítek v 2.0*, 2007. 12s. Dostupné z WWW: <http://www.pk-design.net>.
- [29] ROUBAL, Zdeněk; FREIDL, Martin. *Mikrokontroléry ATMEL AVR*. Brno : [s.n.], 2009. 54 s.
- [30] PK Design. *Uživatelský manuál: Modul USB2xxR-DIP16 v 1.0*, 2007. 11s. Dostupné z WWW: <http://www.pk-design.net>.

## 10 ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

|                  |                                                                                       |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| DA               | Direct to Air (Systém kontakt - vzduch)                                               |
| RTC              | Real Time Clock (Obvod reálneho času)                                                 |
| LED              | Light Emitted Diode (Dióda emitujúca svetlo)                                          |
| PC               | Personal Computer (Osobný počítač)                                                    |
| USB              | Universal Serial Bus (Univerzálna sériová zbernica)                                   |
| LAN              | Local Area Network (Lokálna sieť)                                                     |
| LCD              | Liquid Crystal Display (Displej z tekutých kryštálov)                                 |
| T <sub>AMB</sub> | Teplota okolia                                                                        |
| EEPROM           | Elektricky mazateľná volatilná pamäť                                                  |
| RS-232           | Sériová linka                                                                         |
| RH               | Relative Humidity (Relatívna vlhkosť)                                                 |
| MCU              | Mikrokontrolér                                                                        |
| DC               | Direct Current (Jednosmerný prúd)                                                     |
| CMOS             | Complementary Metal-Oxid-Semiconductor (Doplňujúci sa kov-oxid-polovodič)             |
| EMI              | Elektromagnetická interferencia                                                       |
| PEN              | Programovateľný povoloovací pin pre SPI mód                                           |
| MOSI             | Master Output/ Slave input                                                            |
| MOSI             | Master Input/ Slave output                                                            |
| USART            | Universal Synch./Asynch. Receiver and Transmitter (Synch./ Asynch. sériové rozhranie) |
| SCK              | System Clock (Systémové hodiny)                                                       |
| ISP              | In system programming (Programovanie bez nutnosti vyjmutia)                           |
| PWM              | Pulzne šírková modulácia                                                              |
| VENT             | Výstup na ovládanie ventilátora                                                       |
| VLH              | Výstup na zvyšovanie vlhkosti                                                         |
| INV              | Výstup na zmenu polarity                                                              |
| GND              | Nulový potenciál                                                                      |
| POUT             | Výstup prevodníka XPort (RxD1 na MCU)                                                 |
| PIN              | Výstup prevodníka XPort (TxD1 na MCU)                                                 |
| E                | Povoľovací bit                                                                        |
| RS               | Register Select (0=inštrukcie, 1=dáta)                                                |

|                  |                                                                                                          |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DATA             | Dátový vstup/výstup                                                                                      |
| DIODn            | Výstupy na diódy                                                                                         |
| AD               | Vstup AD prevodníku                                                                                      |
| Tn               | Výstupy na tlačidlá                                                                                      |
| SDA              | Serial Data (Dáta sériovej linky)                                                                        |
| WP               | Write Protect (Ochrana zápisu)                                                                           |
| I <sup>2</sup> C | Inter-Integrated Circuit (Multi mastrová sériová zbernica)                                               |
| An               | Adresovacie vstupy/výstupy                                                                               |
| SOIC-8           | Označenie puzdra súčiastky SMD                                                                           |
| TTL              | Transistor-transistor logic (Tranzistorová logika)                                                       |
| VBATT            | Vstup na pripojenie batérie                                                                              |
| Xn               | Vstupy na pripojenie kryštálu                                                                            |
| SQW              | Square Wave/Output Driver (Ovládač výstupu signálu obdĺžnikového priebehu)                               |
| STN              | Super-Twisted Nematic display                                                                            |
| LOW              | Nízka úroveň                                                                                             |
| HIGH             | Vysoká úroveň                                                                                            |
| S                | Set (Nastavenie teploty a vlhkosti)                                                                      |
| FTDI             | Výrobca elektronických súčiastok                                                                         |
| TxD              | Transmitt Data ( Odosielanie dát)                                                                        |
| RxD              | Read Data (Príjem dát)                                                                                   |
| TCP/IP           | Transmission Control Protocol/ Internet Protocol (Primárny transportný protokol/ protokol sieť. vrstvy ) |
| UDP/IP           | User Data Protocol (Protokol transportnej vrstvy orientovaný na správy)                                  |
| ARP              | Address Resolution Protocol (Sieťový protokol na zisťovanie MAC adresy)                                  |
| ICMP             | Internet Control Message Protocol (Protokol na odosielanie chybných správ)                               |
| SNMP             | Simple Network Management Protocol (Protokol slúžiaci k potrebám správy siete)                           |
| TFTP             | Trivial File Transfer protocol (Protokol pre prenos správ obsahujúci základné funkcie FTP)               |
| DHCP             | Dynamic Host Configuration Protocol (Aplikačný protokol slúžiaci na automatické pridelovanie IP adries)  |
| BOOTP            | Sieťový protokol na nastavenie parametrov pre stanice používajúce TCP/IP                                 |
| HTTP             | Hypertext Transfer Protocol (Protokol na výmenu hypertextových dokumentov vo formáte HTML)               |
| SE               | Security (Zabezpečenie)                                                                                  |
| SRAM             | Static Acces Memory (Statická pamäť)                                                                     |

|                    |                                                                                               |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| CPU                | Control Processor Unit (Procesor)                                                             |
| MIPS               | Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages (Mikroprocesor bez organizovanej Pipeline) |
| VCC                | Napájacie napätie                                                                             |
| Pel. čl.           | Peltierov článok                                                                              |
| V                  | Objem                                                                                         |
| d                  | Dĺžka                                                                                         |
| š                  | Šírka                                                                                         |
| T                  | Teplota v Kelvinoch                                                                           |
| $\vartheta$        | Teplota v °C                                                                                  |
| $\Delta T$         | Teplotný rozdiel                                                                              |
| $\Delta \vartheta$ | Teplotný rozdiel                                                                              |
| $Q_t$              | Tepelné množstvo                                                                              |
| $I_t$              | Tepelné množstvo                                                                              |
| P                  | Tepelný tok                                                                                   |
| $R_t$              | Tepelný odpor                                                                                 |
| $c_t$              | Tepelná kapacita                                                                              |
| V                  | Potenciál                                                                                     |
| U                  | Elektrické napätie                                                                            |
| Q                  | Elektrické množstvo                                                                           |
| I                  | Elektrický prúd                                                                               |
| R                  | Elektrický odpor                                                                              |
| C                  | Elektrická kapacita                                                                           |
| t                  | Čas                                                                                           |
| $\vartheta_A$      | Teplota okolia                                                                                |
| $\vartheta_{max}$  | Maximálna teplota                                                                             |
| $\tau$             | Teplotná konštanta                                                                            |
| $T_{amb}$          | Teplota okolia                                                                                |
| $T_{reg}$          | Regulovaná teplota                                                                            |
| $P_c$              | Chladiaci výkon                                                                               |
| $P_{cmax}$         | Maximálny chladiaci výkon                                                                     |
| F1                 | Pomer medzi maximálny chladiacim výkonom a príkonom                                           |
| $c_p$              | Merná tepelná kapacita látky                                                                  |
| $\rho$             | Hustota látky                                                                                 |

|           |                                                 |
|-----------|-------------------------------------------------|
| $m$       | Hmotnosť                                        |
| $U_{CE0}$ | Napätie medzi kolektorom a emitorom tranzistora |
| $I_C$     | Kolektorový prúd                                |
| $P_D$     | Maximálny celkový výkon                         |

# 11 PRÍLOHY

| Kondenzátory |      |          | Odpory                    |               |       | Konektory       |            |
|--------------|------|----------|---------------------------|---------------|-------|-----------------|------------|
| C1           | 100n | C0805    | R1                        | 10k           | R0805 | CON1            | MLW20      |
| C2           | 100n | C0805    | R2                        | 30k           | R0805 | CON2            | MLW10      |
| C3           | 100n | C0805    | R3                        | 10k           | R0805 | K1              | PSH02-04P  |
| C4           | 100n | C0805    | R7                        | 4k7           | R0805 | K2              | PSH02-05P  |
| C5           | 100n | C0805    | R8                        | 4k7           | R0805 | K3              | PSH02-04P  |
| C6           | 100n | C0805    | R16                       | 10k           | R0805 |                 |            |
| C7           | 100n | C0805    | R17                       | 15k           | R0805 | <b>Diódy</b>    |            |
| C8           | 10u  | el/16V   | R18                       | 15k           | R0805 | D1              | 1N4007     |
| C9           | 22u  | el/16V   | R19                       | 15k           | R0805 | D2              | BAS40      |
| C10          | 330n | C0805    | R20                       | 15k           | R0805 | LED6            | LED1206    |
| C11          | 100n | C0805    | R21                       | 27R           | R0805 |                 |            |
| C12          | 22p  | C0805    | R22                       | 27R           | R0805 | <b>Kryštály</b> |            |
| C13          | 22p  | C0805    | R23                       | 270R          | R0805 | Q1              | 14.7456MHz |
| C14          | 100n | C0805    |                           |               |       | Q2              | 32.768kHz  |
| C15          | 100n | C0805    | <b>Integrované obvody</b> |               |       |                 |            |
| C16          | 100n | C0805    | IC1                       | MEGA128-A     |       |                 |            |
| C17          | 100n | C0805    | IC2                       | FT232RL       |       |                 |            |
| C18          | CTS  | 2M2/6,3V | IC3                       | 7805T         |       |                 |            |
| C19          | 2M2  | C0805    | IC4                       | EEPROM-M24C16 |       |                 |            |
| C20          | 10u  | el/16V   | IC5                       | LF33CV        |       |                 |            |
| C21          | 10u  | el/16V   | IC6                       | DS1307        |       |                 |            |
| C22          | 10n  | C0805    |                           |               |       |                 |            |
| C23          | 100n | C0805    |                           |               |       |                 |            |
| C24          | 100n | C0805    |                           |               |       |                 |            |

Tab. 11.1 Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.1

| Kondenzátory |           |        | Odpory                    |            |       | Tranzistory  |           |
|--------------|-----------|--------|---------------------------|------------|-------|--------------|-----------|
| C1           | 100n      | C0805  | R1                        | 10         | R0805 | Q1           | IRLR120   |
| C2           | 100n      | C0805  | R2                        | 27         | R0805 | Q2           | IRLR120   |
| C3           | 100n      | C0805  | R3                        | 10         | R0805 | Q3           | IRLR120   |
| C4           | 100n      | C0805  | R4                        | 10         | R0805 | Q4           | IRLR120   |
| C5           | 22u       | el/50V | R5                        | 10         | R0805 | T1           | BD239     |
|              |           |        | R6                        | 27         | R0805 | T2           | BD239     |
| Konektory    |           |        |                           |            |       |              |           |
| X1           | AK500/3   |        | <b>Integrované obvody</b> |            |       | <b>Diódy</b> |           |
| X2           | AK500/3   |        | IC1                       | 74HC02 SMD |       |              | D1 BYV26C |
| X3           | AK500/2   |        | IO1                       | IR2101     |       |              | D2 BYV27  |
| K1           | PSH02-06P |        | IO2                       | IR2101     |       |              |           |

Tab. 11.2 Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.2

| Odpory |     |       | Spínače |         | Konektory                    |              |
|--------|-----|-------|---------|---------|------------------------------|--------------|
| R2     | 10k | R0805 | S1      | P-DT6SW | CON1                         | MLW20        |
| R3     | 10k | R0805 | S2      | P-DT6SW | CON2                         | MLW10        |
| R4     | 10k | R0805 | S3      | P-DT6SW |                              |              |
| R6     | 10k | R0805 | S4      | P-DT6SW | <b>Zobrazovacie jednotky</b> |              |
| R11    | 15R | R0805 |         |         | LCD1                         | LCD_2X16_SIL |
| R13    | 10k | R0805 |         |         |                              |              |

Tab. 11.3 Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.3

| Odpory |      |       | Diódy |              | Konektory |       |
|--------|------|-------|-------|--------------|-----------|-------|
| R1     | 200R | R0805 | LED1  | LED3mm/red   | CON1      | MLW10 |
| R2     | 200R | R0805 | LED2  | LED3mm/red   |           |       |
| R3     | 200R | R0805 | LED3  | LED3mm/red   |           |       |
| R4     | 200R | R0805 | LED4  | LED3mm/red   |           |       |
| R5     | 200R | R0805 | LED5  | LED3mm/green |           |       |

Tab. 11.4 Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.4

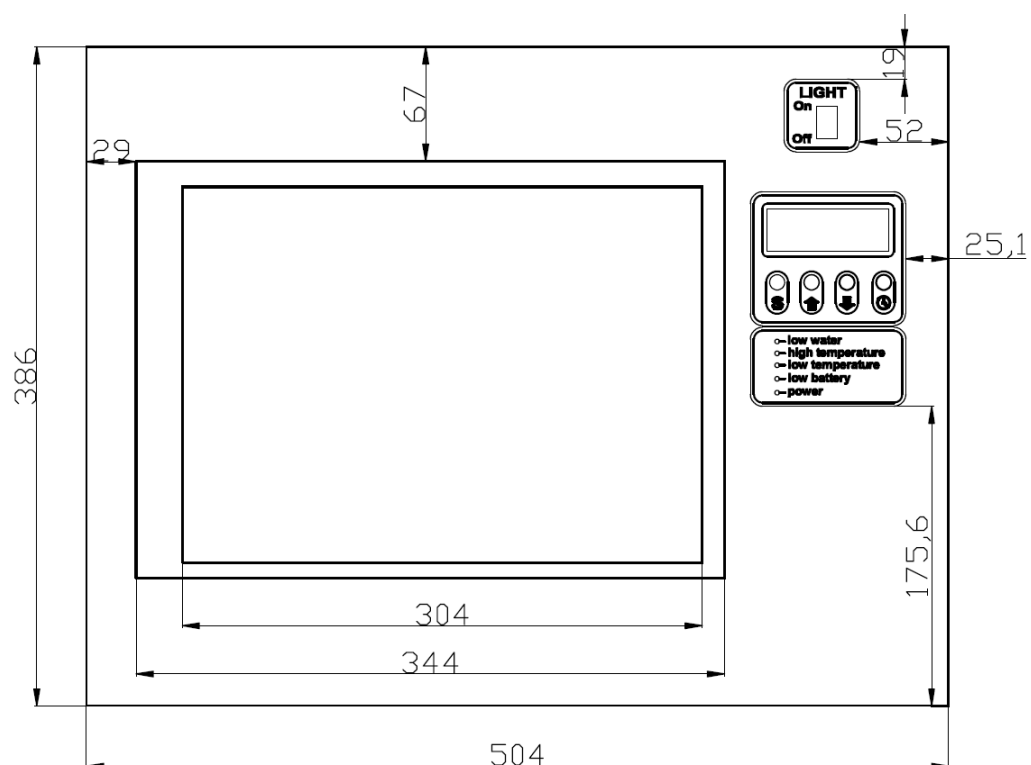
| Kondenzátory |       |         | Odpory       |              | Konektory          |         |
|--------------|-------|---------|--------------|--------------|--------------------|---------|
| C1           | 270u  | el./16V | R1           | 170k         | X1                 | AK500/2 |
| C2           | 270u  | el./16V |              |              |                    |         |
| C5           | 0.33u | el./16V | <b>Diódy</b> |              | <b>Tranzistory</b> |         |
| C6           | 0.1u  | el./16V | LED1         | LED5mm/white | T1                 | BC338   |
| IC1          | 7812L |         | LED1         | LED5mm/white |                    |         |

| Spínače |
|---------|
| JP1     |

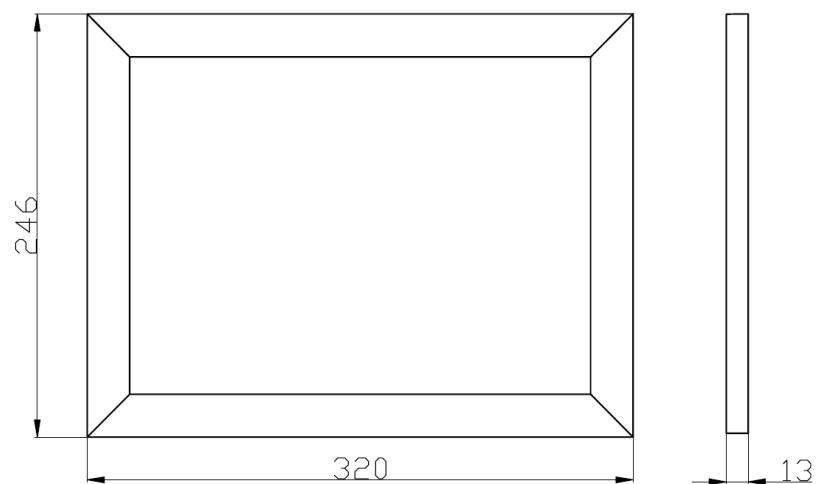
Tab. 11.5 Zoznam súčiastok dosky plošných spojov č.5

| Ostatné súčiastky |               |         |              |
|-------------------|---------------|---------|--------------|
| Konektory         |               | Spínače |              |
| CON1              | GSD781        | S1      | PB-100H      |
| CON2              | K207023       | S2      | P-H8600VB01T |
|                   |               | S3      | P-B173B      |
| Ventilátory       |               |         |              |
| VENT1             | 0,31A,60x60mm | Odpory  |              |
| VENT1             | 0,2A,50x50mm  | R1      | RR W5-6R8    |

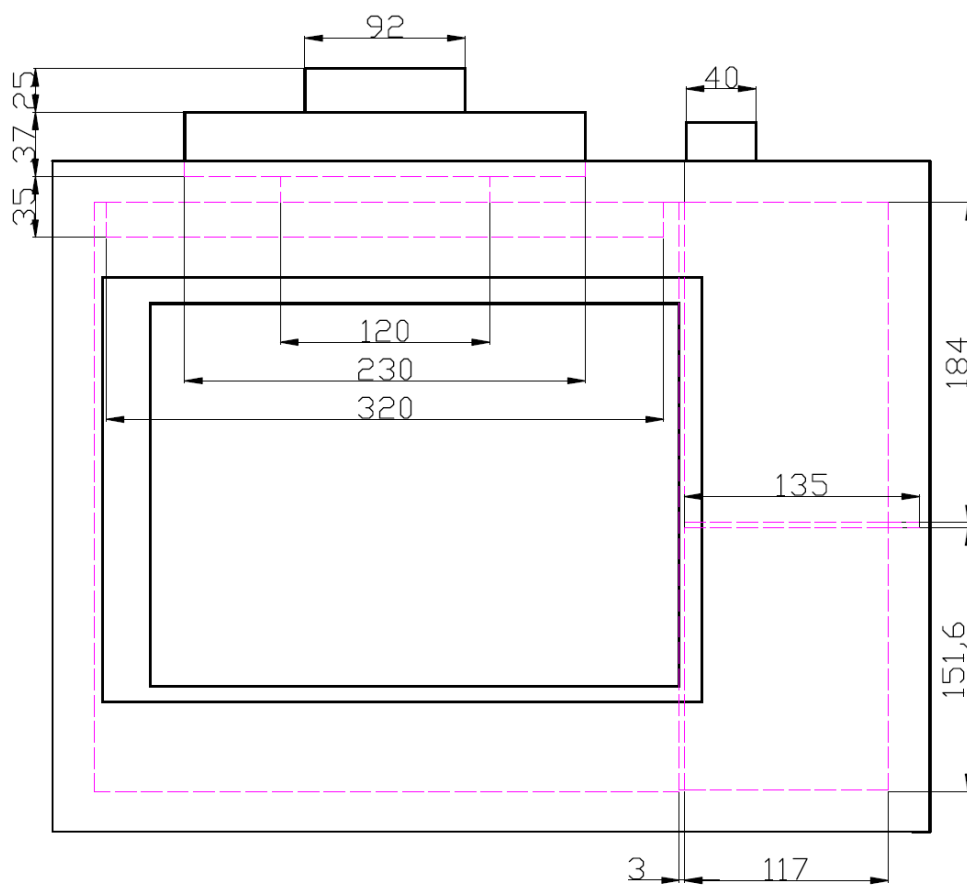
Tab. 11.6 Zoznam ostatných použitých súčiastok



Obr. 11.1: Box inkubátora s rozmermi (pohľad spredu)

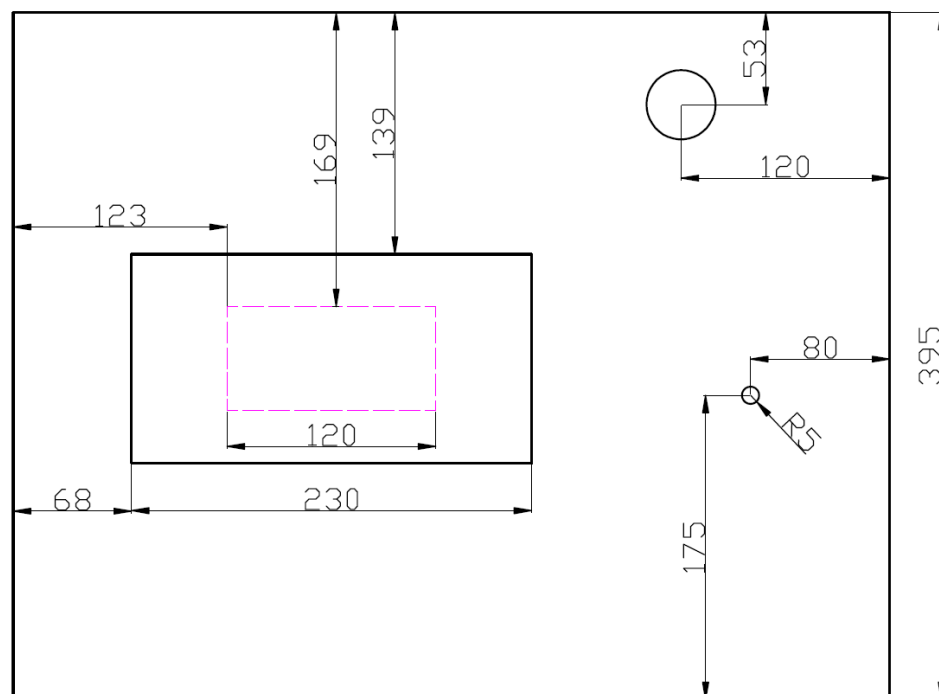


Obr. 11.2: Dvierka inkubátora s rozmermi



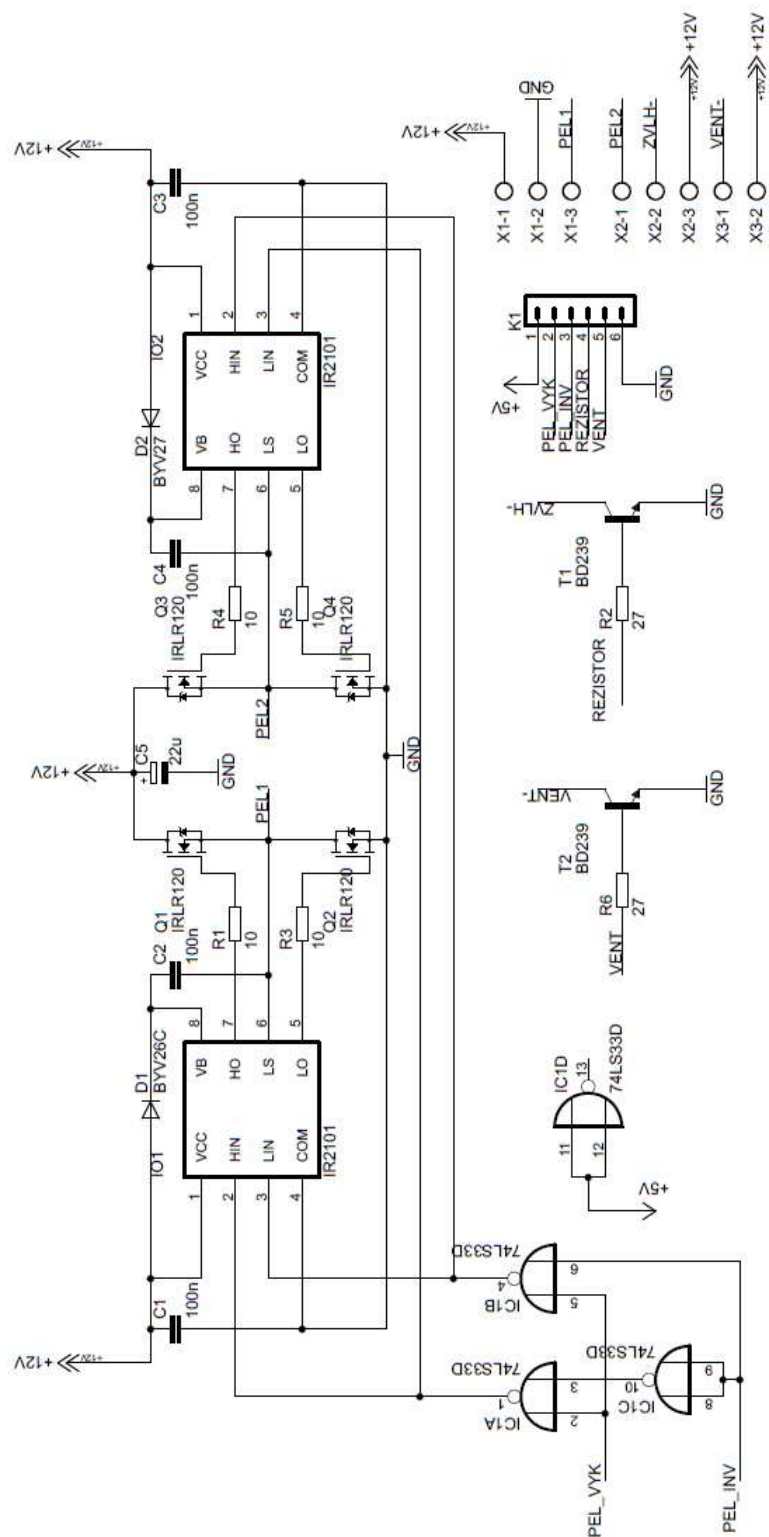
Obr. 11.3: Vnútorná štruktúra boxu inkubátora (pohľad spredu)



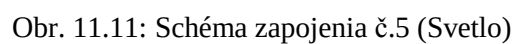
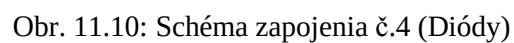
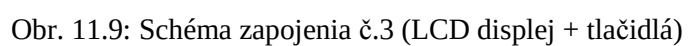


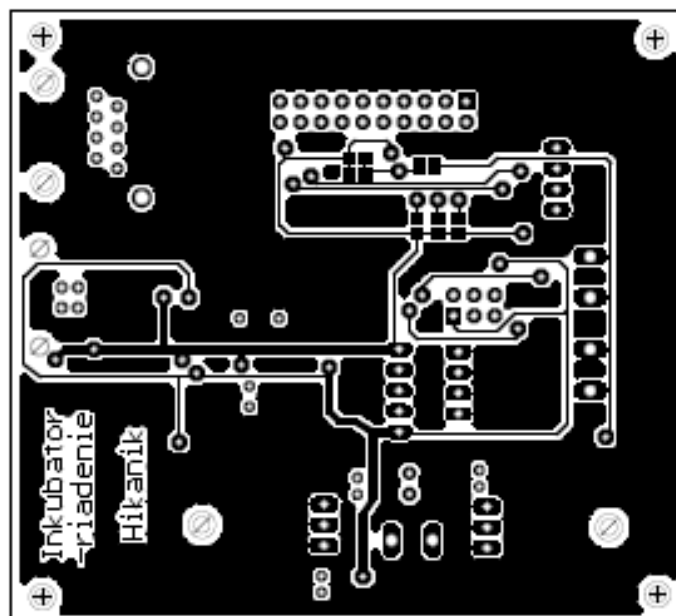
Obr. 11.6: Box inkubátora s rozmermi (pohľad zhora)



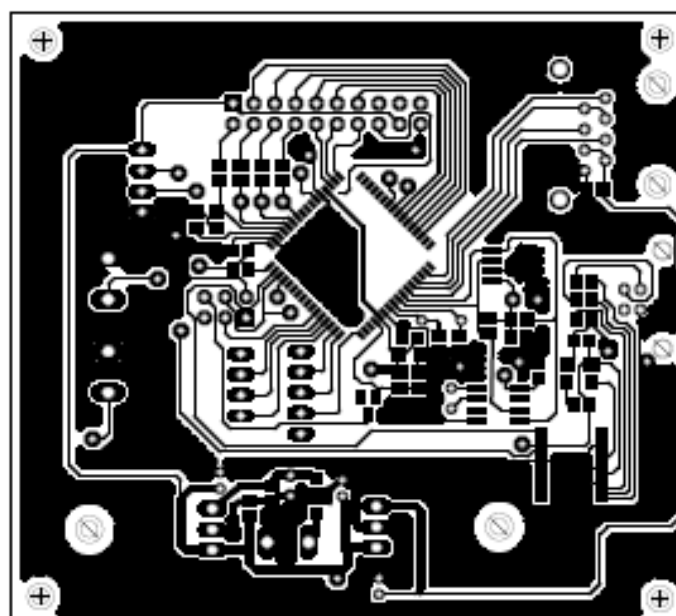


Obr. 11.8: Schéma zapojenia č.2 (Ovládanie Pel. článku + tranzistory)

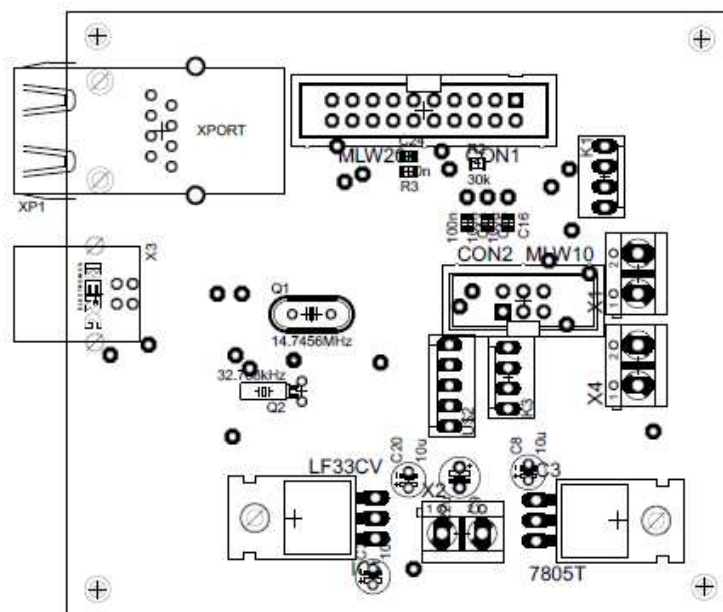




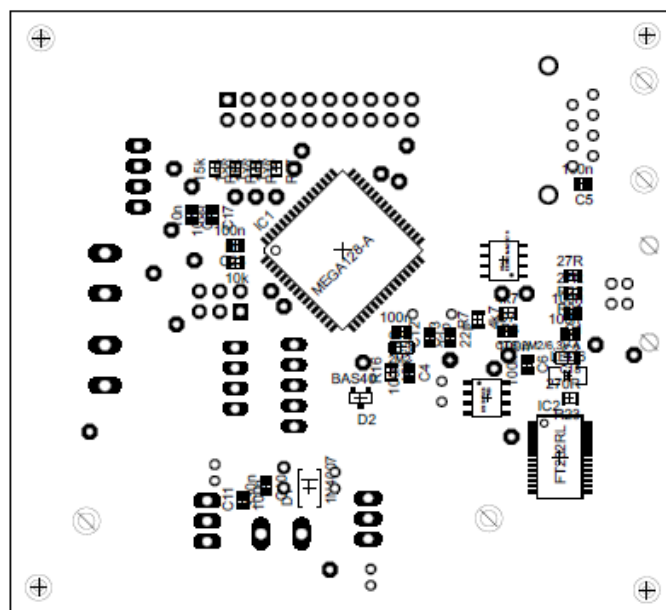
Obr. 11.12: Doska plošných spojov č.1 (zhora)



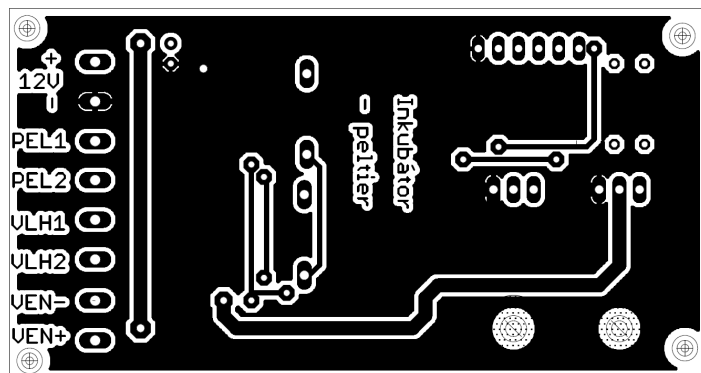
Obr. 11.13: Doska plošných spojov č.1 (zdola)



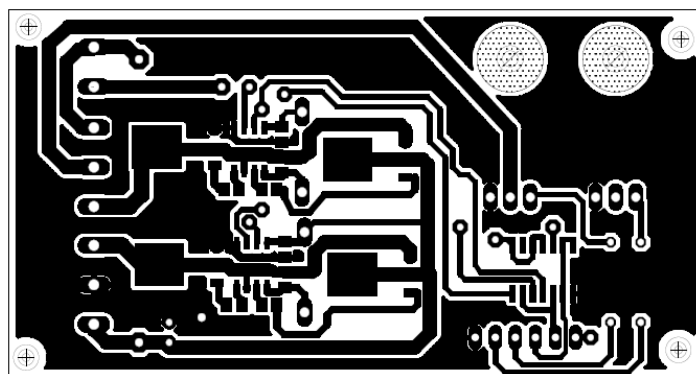
Obr. 11.14: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.1 (zhora)



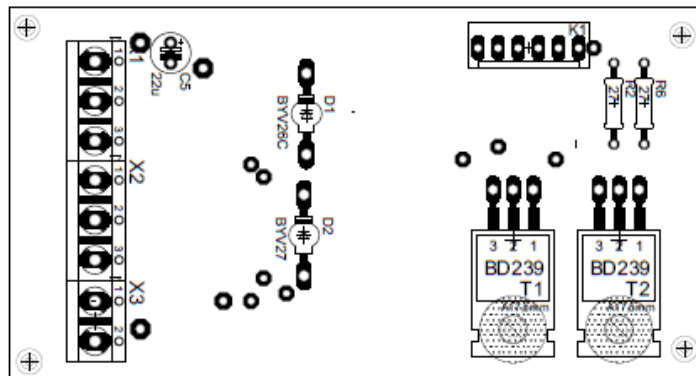
Obr. 11.15: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.1 (zdola)



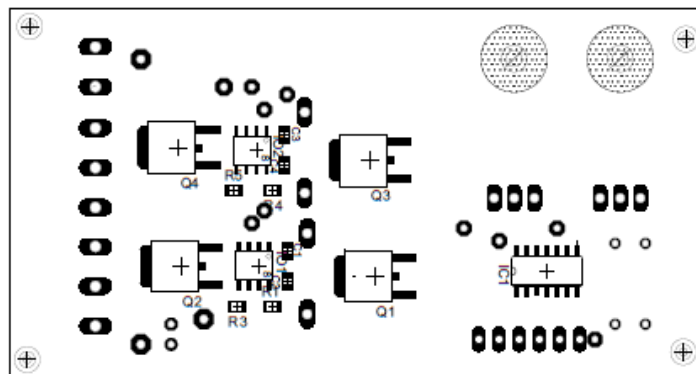
Obr. 11.16: Doska plošných spojov č.2 (zhora)



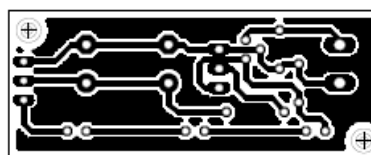
Obr. 11.17: Doska plošných spojov č.2 (zdola)



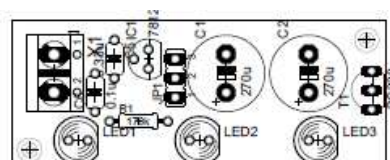
Obr. 11.18: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.2 (zhora)



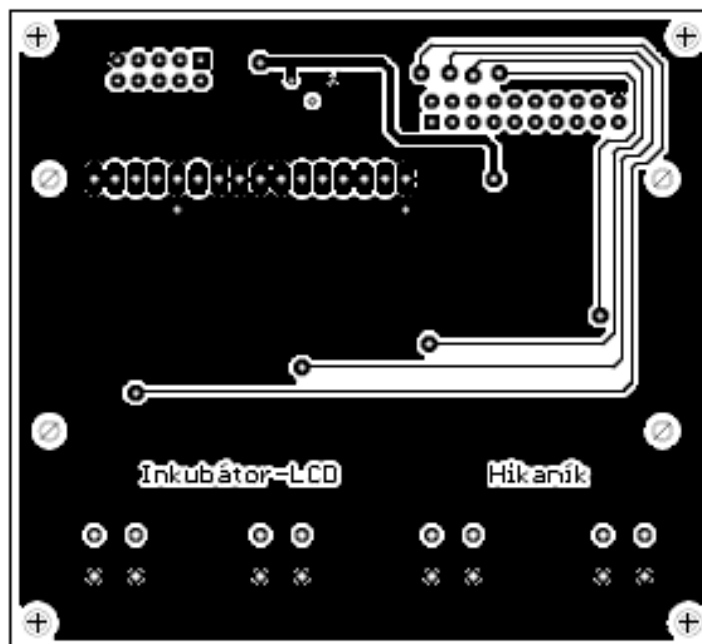
Obr. 11.19: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.2 (zdola)



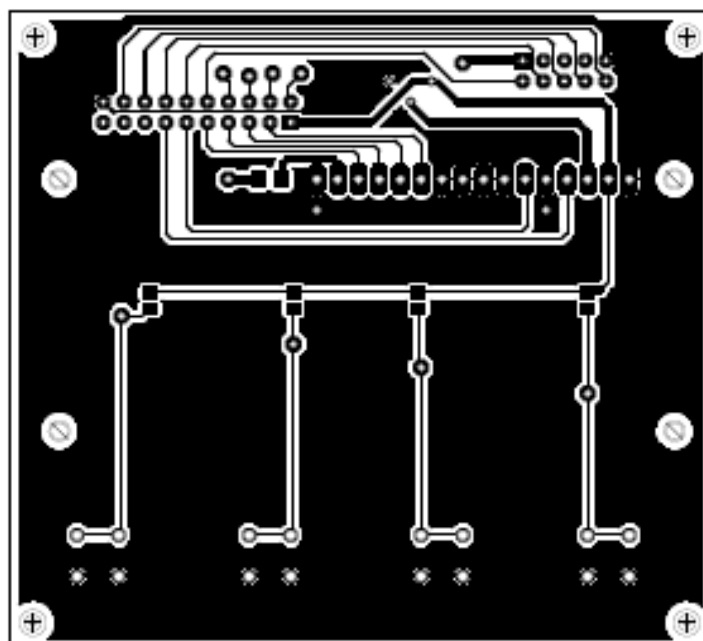
Obr. 11.20: Doska plošných spojov č.4



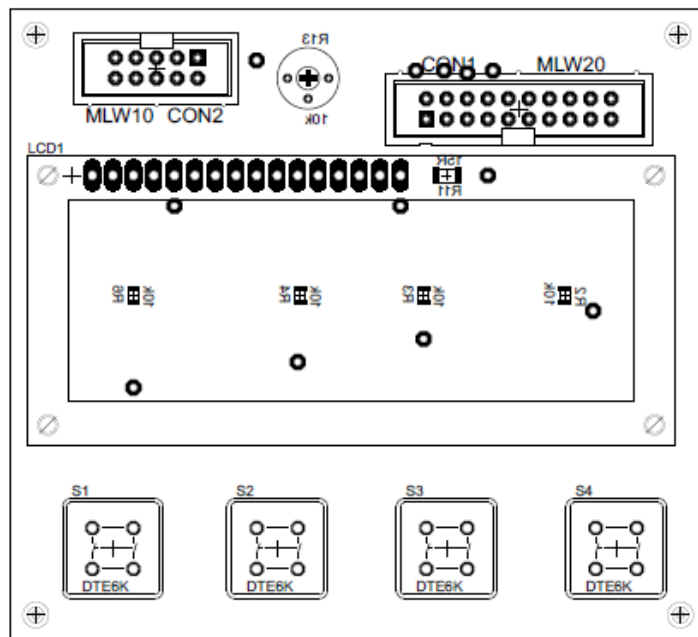
Obr. 11.21: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.4



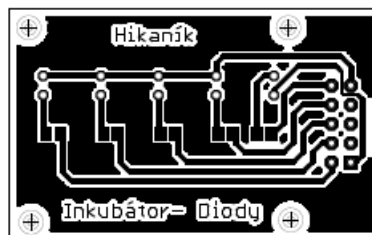
Obr. 11.22: Doska plošných spojov č.3 (z hora)



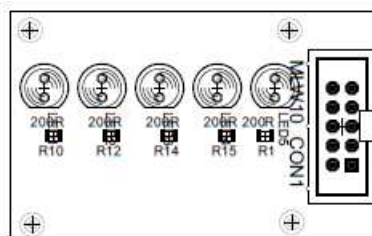
Obr. 11.23: Doska plošných spojov č.3 (zdola)



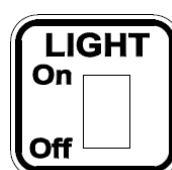
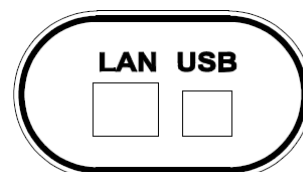
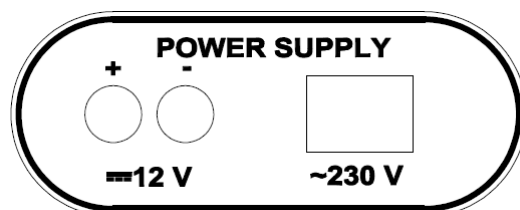
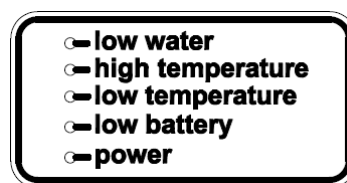
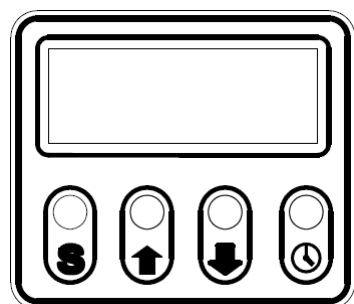
Obr. 11.24: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.3



Obr. 11.25: Doska plošných spojov č.5



Obr. 11.26: Rozmiestnenie súčiastok na doske č.5



Obr. 11.27: Popisovacie nálepky (mierka 1:2)



Obr. 11.28: Fotka vyrobeného inkubátora (spředu)



Obr. 11.29: Fotka vyrobeného inkubátora (zboku)



Obr. 11.30: Fotka vyrobeného inkubátoru (otvorený bočný kryt)