



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## PRŮTOKOVÝ OHŘÍVAČ/CHLADIČ NA PRINCIPU PELTIEROVÝCH ČLÁNKŮ

PELTIER ELEMENT BASED TANKLESS HEATER/COOLER

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Lukáš Girt

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Kupařowitz

BRNO 2016



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**  
Ústav telekomunikací

**Student:** Lukáš Girt

**ID:** 164724

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2015/16

## NÁZEV TÉMATU:

### Průtokový ohřivač/chladič na principu Peltierových článků

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku průtokových ohřivačů/chladičů. Zaměřte se na Peltierovy články a zhodnoťte možnosti jejich aplikace pro průtokový ohřev a chlazení. Navrhněte a realizujte mechanickou část konstrukce ohřivače/chladiče používajícího Peltierovy pro použití v potravinářském průmyslu. Zkonstruujte pulsně modulovaný zdroj a navrhněte mikroprocesorové řízení/ovládání napájecího zdroje. Vyvinutý produkt srovnajte s alternativním komerčním řešením a zhodnoťte možnosti jeho reálného nasazení.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Pollock, Daniel D. /The Theory and Properties of Thermocouple Elements/. ASTM International, 1971.
- [2] Rowe, D. M. /CRC Handbook of Thermoelectrics/. CRC Press, 1995.
- [3] Whitman, William C., William M. Johnson, and John A. Tomczyk. /Refrigeration & Air Conditioning Technology/. Cengage Learning, 2005.

**Termín zadání:** 1.2.2016

**Termín odevzdání:** 1.6.2016

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Kupařowitz

**Konzultant bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc., předseda oborové rady**

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom 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**

Bakalářská práce se zabývá možnostmi návrhu průtokového chlazení a ohřevu s využitím Peltierových článků. V teoretické části jsou rozebrány konvenční možnosti chlazení, princip a možnosti nasazení Peltierových článků a zvážení problematiky konstrukce zařízení pro použití v potravinářském průmyslu. V praktické části se autor zaměřuje na návrh a konstrukci mechanické části, návrhu a konstrukci procesorem řízeného zdroje. Hotové zařízení je porovnáno s alternativním komerčním řešením a jsou zhodnoceny možnosti jeho reálného nasazení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Arduino, Peltierův článek, průtokové chlazení, průtokový ohřev, tepelný výměník

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis focuses on the design of tankless heating and cooling using Peltier elements. The theoretical part deals with conventional cooling capabilities, principles and options of using Peltier elements and considerate issues of design for use in the food industry. In the practical part, author focuses on the design and construction of mechanical parts, design and construction of processor controled power source. Final device is compared to the alternative commercial product and possibilities of real usage are considered.

## **KEYWORDS**

Arduino, heat exchanger, Peltier element, tankless cooler, tankless heater

GIRT, Lukáš *Průtokový ohřivač/chladič na principu Peltierových článků*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2016. 63 s. Vedoucí práce byl Ing. Tomáš Kupařowitz

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Průtokový ohřívač/chladič na principu Peltierových článků“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora(-ky)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomáši Kupařowitzi, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

podpis autora(-ky)

# OBSAH

Úvod	11
<b>1 Teorie ohřevu a chlazení</b>	<b>12</b>
1.1 Základní pojmy termodynamiky . . . . .	12
1.2 Způsoby přenosu tepla . . . . .	13
1.2.1 Přenos vedením . . . . .	13
1.2.2 Přenos prouděním . . . . .	13
1.2.3 Přenos zářením . . . . .	14
1.3 Oteplovací a ochlazovací děj . . . . .	14
1.4 Elektrický ohřev . . . . .	14
1.4.1 Odporové teplo . . . . .	15
1.5 Technika chlazení . . . . .	15
1.5.1 Způsoby chlazení . . . . .	16
<b>2 Termoelektrika</b>	<b>18</b>
2.1 Termoelektrické jevy . . . . .	18
2.1.1 Seebeckův jev . . . . .	18
2.1.2 Peltierův jev . . . . .	19
2.1.3 Thomsonův jev . . . . .	20
2.2 Peltierovy články . . . . .	21
<b>3 Návrh zařízení</b>	<b>24</b>
3.1 Možnosti využití v potravinářském průmyslu . . . . .	24
3.2 Volba materiálů . . . . .	24
3.3 Výběr Peltierových článků . . . . .	25
3.4 Návrh a konstrukce výměníku . . . . .	29
3.5 Návrh a konstrukce napájecího obvodu . . . . .	34
3.5.1 Návrh procesorového řízení . . . . .	36
3.6 Návrh a konstrukce vnější části . . . . .	39
3.6.1 Finální kompletace . . . . .	39
3.7 Měření parametrů zařízení . . . . .	40
3.8 Porovnání s komerčními výrobky . . . . .	46
<b>4 Závěr</b>	<b>48</b>
<b>Literatura</b>	<b>50</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratek</b>	<b>52</b>

<b>Seznam příloh</b>	<b>53</b>
<b>A Výkresy, schémata a fotografie finálního výrobku</b>	<b>54</b>
<b>B Obsah přiloženého CD</b>	<b>63</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Oteplovací a ochlazovací křivka.[21]	15
2.1	Seebeckův jev [16]	18
2.2	Peltierův jev	19
2.3	Samostatný polovodičový termoelektrický článek	21
2.4	Peltierův článek	22
2.5	Závislost součinitele Z na teplotě	22
3.1	Komerčně dostupný chladicí šnek z nerezavějící oceli [3]	25
3.2	Přibližný návrh měřicí soustavy	27
3.3	Graf závislosti chladicího výkonu dvou článků na teplotě v chlazeném okruhu	28
3.4	Detailní snímek Peltierova článku	29
3.5	Porovnávací snímek devíti článků	30
3.6	Hrubě spájený svitek měděné trubky – bez kontaktních ploch	31
3.7	Ilustrační nákres tepelného výměníku	32
3.8	Ilustrační nákres provedení kontaktní plochy článku	33
3.9	Nákres řezu hliníkovým vodním blokem	33
3.10	Obvod buzení výkonového tranzistoru	36
3.11	Arduino Uno [20]	37
3.12	Základní rozhodovací schéma programu	38
3.13	Fotografie řešení chlazení	40
3.14	Rozmístění prvků zadní strany	41
3.15	Teplota protékající vody měřená v čase	42
3.16	Teplota smyčky měřená v čase - bez hystereze	43
3.17	Teplota smyčky měřená v čase - s hysterezí 2°C	43
3.18	Chlazení smyčky s využitím 3 úrovní modulace	44
3.19	Ohřev smyčky	45
3.20	Ohřev 2,5 litru protékající vody.	46
A.1	Schéma zapojení napájecího bloku	54
A.2	Předloha pro výrobu DPS napájecího bloku	55
A.3	Osazovací výkres napájecího bloku	55
A.4	Schéma zapojení Arduino shieldu	56
A.5	Předloha pro výrobu DPS Arduino shieldu – strana 1	57
A.6	Předloha pro výrobu DPS Arduino shieldu – strana 2	57
A.7	Schéma zapojení ovládací a signalizační části	58
A.8	Předloha pro výrobu DPS ovládací a signalizační část	58
A.9	Osazovací výkres ovládací a signalizační části	59
A.10	Rozkreslené části kovové konstrukce	60



A.11 Boční pohled do nitra zařízení . . . . .	61
A.12 Detail umístění signalizačních a ovládacích prvků . . . . .	61
A.13 Celkový pohled na finální výrobek . . . . .	62

## SEZNAM TABULEK

1.1	Tabulka hodnot měrného tepla pro různé látky . . . . .	12
1.2	Tabulka koeficientů tepelné vodivosti látek . . . . .	13
3.1	Tabulka parametrů měřených článků . . . . .	28
3.2	Porovnávací tabulka chladicích zařízení[12] . . . . .	47

# ÚVOD

Termoelektrický jev je znám již od 19. století, kdy byl poprvé popsán německým fyzikem Thomasem Seebeckem. Od té doby jev nenalézal širšího uplatnění, vyjma měření teploty. Až v druhé polovině 20. století, bylo pokrokem polovodičových materiálů dosaženo dostatečné účinnosti pro praktické použití. Díky těmto materiálům tak mohly být zkonstruovány Peltierovy články určené pro chlazení a ohřev s využitím tzv. Peltierova jevu. Peltierovy články dosahují v dnešní době stále lepších parametrů – vyšších chladících výkonů, kompaktnějších rozměrů i snižující se ceny. Tyto články se tak stávají dostupnější a možností jejich využití stále přibývá.

Jedna z možností, která dnes není příliš rozšířená, je právě průtokové chlazení a ohřev kapalin. V této práci navrhuji a konstruuji zařízení pro ohřev a chlazení, ve kterém bude využito více Peltierových článků pro dosažení jeho dostatečného výkonu.

Zařízení se skládá z vnitřního výměníku, který je konstruován s ohledem na možnost využití v potravinářském průmyslu, a vnějšího výměníku, který bude sloužit pro případný odvod tepla. O přenos tepla mezi těmito výměníky se budou starat právě Peltierovy články.

Jelikož zařízení obsahuje větší množství těchto článků a jejich důsledný výběr je klíčový pro správnou funkci zařízení, bude navržena a sestrojena aparatura pro porovnávací měření článků, ze které pak bude možné zjistit, jak se konkrétní článek bude v zařízení chovat. Pro analýzu rozdílů mezi články bude využito i termovizní kamery.

Pro správnou funkci a využití vlastností Peltierových článků bude navržen a sestrojen zdroj využívající pulzně šířkovou modulaci s procesorovým řízením. Procesor umožní vysokou variabilitu systému, a bude tak možno nalézt optimální nastavení.

V práci se také zaměřuji na finální podobu výrobku, kde je dbán důraz na kvalitní provedení vnější části, aby bylo možno zařízení využívat i v běžném provozu. Výsledný produkt bude porovnán s výrobky běžně dostupnými na trhu.

# 1 TEORIE OHŘEVU A CHLAZENÍ

## 1.1 Základní pojmy termodynamiky

### Teplo

Teplo je forma energie, která se navenek projevuje v makroskopickém měřítku jen teplotou tělesa, v němž je akumulována. Mezi tělesy s různými teplotami dochází ke sdílení (přenosu) tepla vždy z tělesa teplejšího na těleso chladnější. [21]

### Teplota

Teplota patří k centrálním pojům termodynamiky, je jednou ze základních veličin soustavy SI. Teplota materiálu je stanovena její tepelnou energií, která se projevuje pohybem molekul. Měříme ji teploměrem obsahujícím vhodnou látku s vlastností, která se pravidelně mění, když se teploměr zahřeje nebo ochladí. [9] Používaná jednotka je kelvin [K] nebo stupeň Celsia [°C].

### Tepelná kapacita

Tepelná kapacita  $C$  [J/K] je množství tepla, které je potřeba na ohřání tělesa o 1[K] nebo o 1[°C]. Množství tepla potřebné na ohřátí tělesa je dáno vztahem: [7]

$$Q_o = c_p \times m \times \Delta T. \quad (1.1)$$

Tab. 1.1: Tabulka hodnot měrného tepla pro různé látky

Materiál	Měrné teplo[Jkg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
železo	450
cín	227
měď	383
hliník	896
alkohol	2495
voda	4198
vzduch	1006

## 1.2 Způsoby přenosu tepla

### 1.2.1 Přenos vedením

Jestliže jedna stěna pevného tělesa má vyšší teplotu než jeho druhá stěna, pak teplo (tepelný tok  $I_t$ ) prochází tělesem od teplejší stěny ke stěně s nižší teplotou. Stěnou o ploše  $S[m^2]$  a tloušťky  $d[m]$ , při teplotním rozdílu  $\Delta T = T_2 - T_1$  [ $^{\circ}C$ ], prochází tepelný tok  $I_t[W]$ . Někdy bývá tento tepelný tok značen jako přenášený výkon  $P[W]$ . [7]

$$I_t = S \frac{\lambda}{d} (T_1 - T_2) \quad (1.2)$$

Kde  $\lambda$  je koeficient určující tepelnou vodivost materiálu. Množství tepla  $Q_t$  prošlého průřezem tělesa je dáno součinem tepelného toku  $I_t$  a času  $t$ .

$$Q_t = I_t \times t \quad (1.3)$$

Tab. 1.2: Tabulka koeficientů tepelné vodivosti látek

Materiál	$\lambda$ [ $Wm^{-1}.K^{-1}$ ]
železo	80
olovo	34
měď	384
hliník	201
cín	67
voda	0,651
vzduch	0,01–0,02

### 1.2.2 Přenos prouděním

Přenos tepla prouděním se uplatňuje především při přechodu tepla z tuhého tělesa do plynného nebo kapalného prostředí, které tuhé těleso obklopuje a obráceně.

Volné proudění okolo tělesa nazýváme konvencí. Nucenou konvencí pak nazýváme proudění kapaliny nebo plynu podporované ventilátorem (čerpadlem).

Teplotní tok  $I_t[W]$  mezi tělesem a chladicím médiem je přímo úměrný ploše povrchu tělesa  $S[m^2]$  a součiniteli přenosu tepla  $k[W/m^2K]$ . [7]

$$I_t = k \times S \times \Delta T \quad (1.4)$$

### 1.2.3 Přenos záření

Přenos tepla zářením (též nazýváno radiací nebo sáláním) se uskutečňuje formou vlnění. Energie tohoto vlnění se při dopadu na těleso mění na teplo. Při dopadu tepelného záření na těleso mohou nastat tři následující případy[7]:

- tepelné záření bude tělesem částečně propuštěno. Tepelná propustnost tělesa závisí na druhu látky, ze které je těleso vyrobeno, a na vlnové délce záření. Značí se  $\alpha$ .
- tepelné záření bude tělesem částečně odraženo. Odrazivost závisí na druhu látky, ze které je těleso vyrobeno, dále na struktuře povrchu a vlnové délce tepelného záření a značí se  $\sigma$ .
- tepelné záření bude tělesem pohlceno. Pohltivost tělesa závisí na barvě jeho povrchu. Značí se  $\delta$ .

Pro celkové množství záření dopadnuvší na těleso platí:

$$\delta + \sigma + \alpha = 1 \quad (1.5)$$

## 1.3 Oteplovací a ochlazovací děj

Při ohřívání tělesa konstantním, tepelným výkonem je závislost teploty tělesa na čase (době ohřívání) dána rovnicí: [21]

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{max} \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}). \quad (1.6)$$

Při ochlazování tělesa platí obdobně :

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{max} \times e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (1.7)$$

kde  $\Delta\vartheta$  je změna teploty a  $\tau$  je tzv. oteplovací (ochlazovací) časová konstanta

## 1.4 Elektrický ohřev

Elektrický ohřev je proces, při kterém je přiváděná tepelná energie (potřebná k ohřevu) získávána z elektrické energie: [21]

$$W_{el} = \int_0^T U \times i \times dt. \quad (1.8)$$

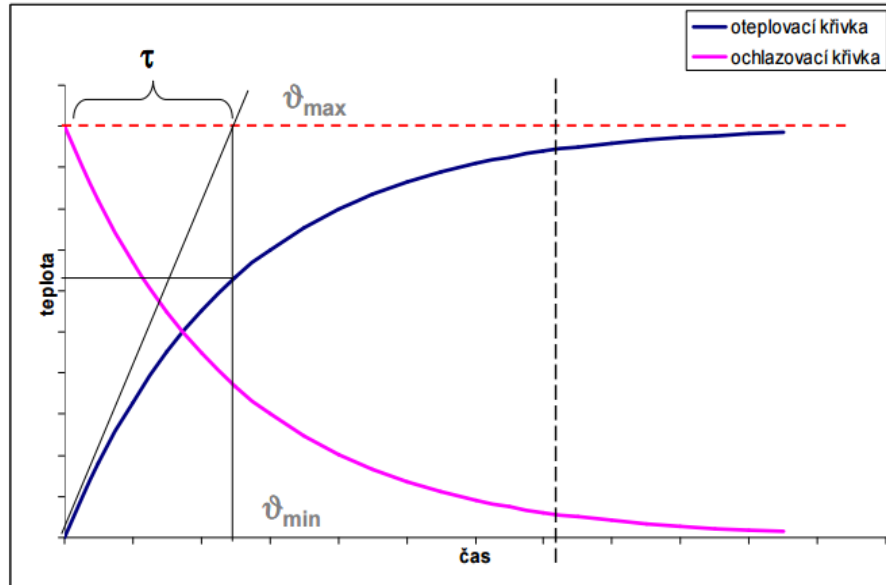
Výhody elektrického ohřevu:

- vysoká účinnost,
- nízká investiční náročnost,
- malé rozměry a tím i nároky na prostor,

- dobrá regulovatelnost.

Nevýhody elektrického ohřevu:

- vysoká cena elektrické energie oproti jiným formám energie.



Obr. 1.1: Oteplovací a ochlazovací křivka.[21]

### 1.4.1 Odporové teplo

Elektrické odporové teplo zde vzniká průchodem elektrického proudu  $I$  v elektricky vodivém prostředí. Přeměna elektrické energie v teplo je dána Joulovým zákonem, dle kterého lze určit množství tepla  $Q$  ze vztahu: [21]

$$Q = R \times \int_0^T i^2 dt. \quad (1.9)$$

## 1.5 Technika chlazení

Technikou chlazení se má odnímat tělesu tolik tepla, aby jeho teplota klesla až na žádanou hodnotu, která je obvykle značně nižší než teplota okolí i teplota chladičí vody, jež je k dispozici. Abychom toho dosáhli, musíme mít jiné těleso, výrobník chladu, jehož teplota je ještě nižší, takže na tento výrobník chladu lze odvádět teplo z tělesa, které chceme zchladit. Vytvořit takový výrobník chladu je primárním úkolem techniky chlazení. Jejím sekundárním úkolem je snížit teplotu chlazeného tělesa pomocí tohoto výrobníku.[1]

### 1.5.1 Způsoby chlazení

Chceme-li snížit teplotu určitého tělesa, musíme mu odnímat teplo. Toho se dá dosáhnout tepelnými pochody, při nichž se teplo přijímá – tzv. pochody endotermické:[1]

1. přeměna tuhého skupenství v kapalném,
2. přeměna tuhého nebo kapalného skupenství ve skupenství plynné,
3. chemické pochody, u nichž se přivádí teplo,
4. molekulární změny vázané na elektrické nebo magnetické pochody při nichž je zapotřebí tepla.

#### 1. Přeměna tuhého skupenství v kapalném:

Tepla odnímaného při přeměně tuhých těles v kapalinu (tepla tání) se využívá u chladicích směsí, u nichž může být zachována rovnováha mezi ledem a vodou a chladicí soli. Přechází-li led do roztoku, odebírá při tom teplo potřebné k tání celé chladicí směsi. V technice chlazení se ve větší míře nepoužívá.[1]

#### 2. Přeměna tuhého nebo kapalného skupenství ve skupenství plynné:

Pochodů založených na přechodu látky ze skupenství kapalného do plynného lze využít několika způsoby:

- Můžeme snížit tlak nad hladinou nějaké kapaliny tak, že kapalina začne vřít, aby se vyrovnala porušená rovnováha mezi tlakem parní fáze a teplotou kapaliny. Výparné teplo při tom vznikající musíme odebírat kapalině i nádobě která ji obsahuje. Na tomto principu je založena většina chladicích strojů, a to jak kompresorové chladicí stroje, tak i stroje absorpční.
- Jiný způsob jak přinutit kapalinu, aby přešla ve skupenství plynné, tkví v tom, že se kapalina odpařuje. Děje se tak, že ovzduší nad kapalinou není nasyceno parami kapaliny, takže parciální tlak par na hladině kapaliny je větší než v ovzduší.
- Třetí způsob, záleží ve vypuzování plynu rozpuštěného v určité kapalině. Je-li plyn rozpuštěn v nějaké kapalině, můžeme předpokládat, že je v ní obsažen v kapalném stavu. Přidáme-li do roztoku látku, která změní rozpustnost plynu, je zkapalněný plyn přinucen opustit roztok v plynném stavu, při čemž odebírá výparné, teplo potřebné ke změně skupenství.
- U čtvrtého způsobu je vypuzováno chladivo, které je absorbováno tuhými absorpčními (pohlcujícími) nebo adsorpčními (látky hromadící na povrchu jiné látky – adsorbátu) látkami. Dosáhne se tím snížení tlaku pod hodnotu rovnovážného stavu. Takto pracují zařízení plněná absorpčními nebo adsorpčními látkami.
- Tuhý oxid uhličitý (suchý led) je jediný známý případ bezprostřední přeměny tuhého skupenství v plynné, jehož se využívá v technice chlazení.[1]



Všechny pochody vyjmenované v bodě (2) můžeme označit jako vypařování.

### **3. Chemické endotermické děje:**

Chemické pochody tohoto druhu probíhají zřídka za nízkých teplot, které jsou nutné v technice chlazení. Jsou sice takové případy, avšak řadíme je obvykle ke způsobu chlazení chladicími směsmi, neboť snížením teploty se u nich dosáhne smíšením dvou látek.

### **4. Elektrické a magnetické pochody:**

V termoelektrických člancích vzniká elektrický proud mezi studeným a teplým spojením. Na principu Peltierova jevu se ochlazuje spájený spoj, prochází-li jím elektrický proud stejným směrem. Různé aplikace tohoto jevu jsou popsány v patentové literatuře a lze jím skutečně dosáhnout určitého chladicího výkonu.3.3

## 2 TERMOELEKTRIKA

### 2.1 Termoelektrické jevy

Fyzikální podstatou termoelektrického jevu je přímá přeměna tepelné energie na elektrickou a naopak. Využití termoelektrického jevu je dnes široké, termoelektrické články pro měření teploty jsou pouze jeho částí. Základy pro využívání termoelektrického jevu pro měření teploty položili Seebeck, Becquerel a Le Chatelier.

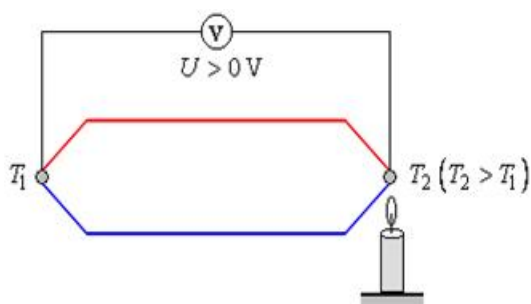
Seebeck roku 1822 popsal termoelektrický jev a sestavil termoelektrickou řadu kovů. Becquerel roku 1826 připravil obvody s různými kovy a změřil jejich charakteristiky. Le Chatelier připravil a v cementárenském provozu začal používat termoelektrický článek platinarhodium-platina, který se prakticky v nezměněné formě užívá dodnes.[2]

#### 2.1.1 Seebeckův jev

Mají-li dva spoje dvou kovů, které tvoří termočlánek, rozdílnou teplotu, jsou i kontaktní napětí obou rozhraní různá. Proto výsledné napětí měřené mezi těmito rozhraními je nenulové a termočlánek lze využít jako zdroj elektrického napětí. Obvodem prochází elektrický proud a nastává tzv. Seebeckův jev.[16] Velikost termoelektrického napětí, zvaného Seebeckovým  $U_S$ [V], v obvodu tvořeném dvěma různými vodiči, mezi jejichž spoji je teplotní rozdíl  $\Delta T$  lze vyjádřit vztahem:

$$U_s = \Delta T \times \alpha, \quad (2.1)$$

kde  $\alpha$ [ $VK^{-1}$ ] je Seebeckův součinitel termoelektrického napětí, který udává velikost termoelektrického napětí (obvykle v  $\mu V$ ) vyvolaného teplotním rozdílem jeden stupeň.[8]



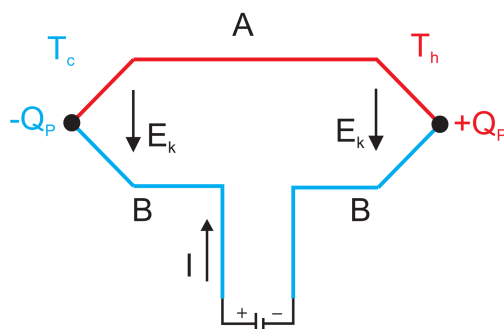
Obr. 2.1: Seebeckův jev [16]

## 2.1.2 Peltierův jev

Peltierův termoelektrický jev je ve své podstatě inverzní k termoelektrickému jevu Seebeckovu. Prochází-li stejnosměrný proud obvodem, který se skládá z různých kovových vodičů, pak se spoje těchto vodičů buď zahřívají, nebo ochlazují.

### Základní princip jevu

Při s stejných teplotách je koncentrace volných elektronů i jejich kinetická energie v různých kovech stejná. V místě dotyku kovů vzniká kontaktní napětí, které dává vznik elektrickému poli směřujícímu z kovu o menší výstupní práci do o kovu s větší výstupní práci. Zapojíme-li takový kontakt do obvodu stejnosměrného proudu, přecházejí volné elektrony kontaktem z jednoho vodiče do druhého a působením elektrického pole  $E_k$  vyvolaného kontaktním napětím jsou při přechodu kontaktem buď urychlovány, nebo zpomalovány. Kinetická energie urychlovaných elektronů by měla vzrůstat (tím i elektrický proud), ale protože v elektrickém obvodu je velikost proudu v kterémkoli místě stejná, musejí elektrony přírůstek energie předávat ve formě tepla, kterým se spoj zahřívá. Pokud elektrické pole elektrony zpomaluje, nahrazuje se úbytek kinetické energie elektronů odnímáním tepla kovů vytvářejícím kontakt, který se v důsledku toho ochlazuje. Při průchodu stejnosměrného proudu tímto obvodem se budou elektrony v jednom spoji pohybovat proti směru  $E_k$  a spoj se bude zahřívát. V druhém spoji se elektrony pohybují souhlasně s orientací  $E_k$  tohoto elektrického pole a spoj se bude ochlazovat 2.2. Při reverzaci proudu se ochlazování změní v ohřev a naopak.



Obr. 2.2: Peltierův jev

Ve spojích se tak uvolňuje nebo pohlcuje určité množství tepla  $Q_P[J]$ , které se po objeviteli tohoto jevu nazývá stejně jako jev sám, teplem Peltierovým.[8] Na spoji se tedy kromě obvyklého Jouleova tepla  $Q_J[J]$  uvolňuje nebo pohlcuje Peltierovo teplo  $Q_P$ , které v případě uvolňování (ohřívání spoje), označujeme jako kladné ( $+Q_P$ ),

v případě pohlcování (ochlazování spoje), jako záporné ( $-Q_P$ ). Celkové množství tepla, které vzniká průchodem stejnosměrného proudu je tedy rovno:

$$Q = Q_J \pm Q_P, \quad (2.2)$$

přičemž se kladné znaménko vztahuje k ohřívání a záporné k ochlazování spoje Peltierovým teplem.[8]

Pro množství Peltierova tepla se podařilo odvodit empirický vztah ve tvaru:

$$Q_P = \Pi \times I \times t, \quad (2.3)$$

v němž  $\Pi[V]$  je tzv. Peltierův součinitel a  $t[s]$  je doba, po kterou proud spojem procházel. Dle vztahu se Peltierův součinitel číselně rovná množství tepla, které se ve spoji uvolní nebo pohltí za jednu sekundu, prochází-li spojem proud 1A.

Souvislost Peltierova jevu s jevem Seebeckovým zjistil až William Thomson, a pro Peltierův součinitel  $\Pi$  odvodil na základě termodynamických zákonů vztah:

$$\Pi = \alpha \times T, \quad (2.4)$$

kde  $T$  je absolutní teplota spoje a  $\alpha$  je Seebeckův koeficient. Tímto vztahem je zcela prokázána souvislost Peltierova a Seebeckova termoelektrického jevu.

### 2.1.3 Thomsonův jev

Termoelektrické napětí vzniká i v každém homogenním vodiči, jsou-li na něm místa o nestejných teplotách. Máme-li homogenní tyč délky  $l$ , kterou na jednom konci zahříváme na teplotu  $T_1$  a na druhém konci udržujeme stálou teplotu  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ). Po určité době nastane v tyči takový stav, kdy teplota v ní bude klesat spojitě a rovnoměrně od teplejšího konce k chladnějšímu. Na tyči vznikne tzv. teplotní gradient  $\nabla T$ , který se rovná:

$$\nabla T = \frac{T_2 - T_1}{l}. \quad (2.5)$$

Mezi oběma konci vodivé kovové tyče vznikne v důsledku teplotního rozdílu Thomsonovo termoelektrické napětí  $U_T$ :

$$U_T = \tau \times \nabla T, \quad (2.6)$$

kde  $\tau[VK^{-1}]$  je tzv. Thomsonův součinitel.[8]

## 2.2 Peltierovy články

Polovodičový termoelektrický článek, se skládá ze dvou polovodičových sloupků (hranolů) s odlišným typem vodivosti. Na jednom konci jsou oba hranolky spolu vodivě spojeny připájeným kovovým můstkem. K druhým koncům obou sloupků jsou opět pomocí kovových můstků připájeny vodiče pro připojení článků do obvodu. Označíme-li  $\alpha_p$  součinitel termoelektrického napětí polovodiče typu p a  $\alpha_n$  součinitel termoelektrického napětí polovodiče typu n, pak použitím vztahu 2.1 obdržíme výraz pro elektromotorické napětí článku:

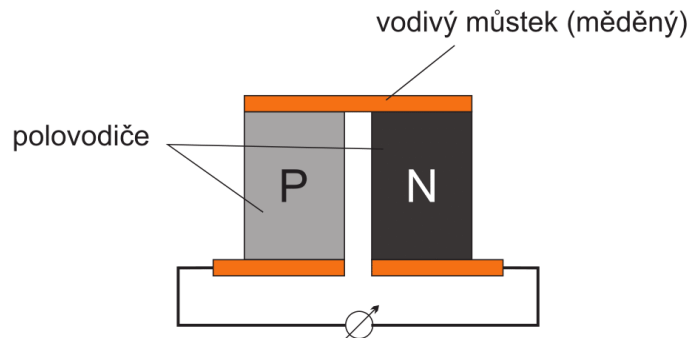
$$U_s = (\alpha_p - \alpha_n) \times (T_1 - T_2), \quad (2.7)$$

pro Peltierův součinitel

$$\Pi = (\alpha_p - \alpha_n) \times T, \quad (2.8)$$

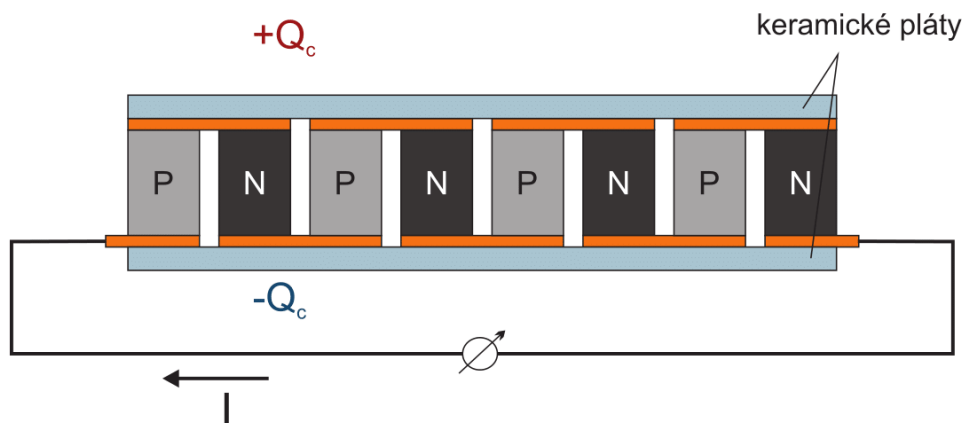
a Peltierovo teplo

$$Q_P = (\alpha_p - \alpha_n) \times T \times I \times t \quad (2.9)$$



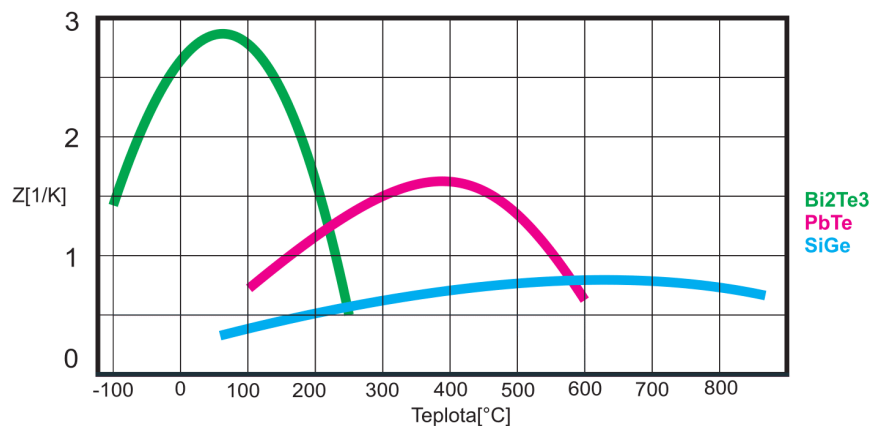
Obr. 2.3: Samostatný polovodičový termoelektrický článek

Jelikož elektromotorické napětí jednoho článku se pohybuje v řádech mV, tak se Peltierovy články většinou skládají z většího počtu polovodičových sloupků typu N a P. Tyto sloupky jsou pak střídavě spojené vodivými můstky (obvykle z mědi) a zapojeny do série. Série článků se umísťuje mezi dva pláty tvořené keramikou, nejčastěji oxidem křemičitým. Tyto pláty slouží k mechanickému spojení celé soustavy a elektrické izolaci jednotlivých článků. Rozměry takto složených článků se nejčastěji pohybují od 2,5x2,5mm do 50 x 50mm, a jejich výška se pohybuje mezi 2,5mm a 5mm.[5][17][8][13]



Obr. 2.4: Peltierův článek

Celkovou efektivitu Peltierova článku určuje součinitel efektivity  $Z$ , který je určen fyzikálními vlastnostmi materiálů termoelektrických článků. Aby termoelektrický článek měl velké součinitele  $Z$ , a byl vhodný pro termoelektrická chladicí zařízení, je třeba, aby měl pokud možno velké termoelektrické napětí, velkou elektrickou vodivost, ale naopak malou tepelnou vodivost svého materiálu. [13]



Obr. 2.5: Závislost součinitele  $Z$  na teplotě

Peltierova jevu se v praxi používá stále častěji. Pro chlazení je tento způsob provozně spolehlivý a pro některé aplikace jediný možný. [13][5]

Výhody termoelektrického chlazení jsou především:

- Neobsahují žádné pohyblivé části
- Malé rozměry a hmotnost
- Schopnost chlazení a ohřevu v jednom článku

- Možnost přesného řízení teploty
- Dlouhá životnost
- Vysoká spolehlivost s životností až 200000 hodin

## 3 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Cílem v bakalářské práci je navrhnout a zkonstruovat zařízení, které bude určeno pro průtokový ohřev a chlazení kapalin, s využitím Peltierových článků. Využití zařízení pro potravinářské účely, např. chlazení a ohřev nápojů, je zcela závislé na jeho konstrukci a především konstrukcí vnitřního výměníku, ve kterém dochází k přímému kontaktu potravin s materiálem. Zařízení by mělo kombinovat schopnost ohřevu a chlazení díky snadné reverzibilitě Peltierova jevu.

### 3.1 Možnosti využití v potravinářském průmyslu

Základním právním předpisem určujícím pravidla pro materiály a předměty přicházející do styku s potravinami je nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004 ze dne 27. října 2004 o materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami a o zrušení směrnice 80/590/EHS a 89/109/EHS.

Toto nařízení se vztahuje na materiály a předměty, včetně aktivních a inteligentních materiálů a předmětů určených pro styk s potravinami (dále jen „materiály a předměty“), které v konečném stavu:

1. jsou určeny pro styk s potravinami;
2. již jsou ve styku s potravinami a jsou pro tento účel určeny;
3. se u nich dá důvodně očekávat, že přijdou do styku s potravinami nebo že při jejich běžném nebo předvídatelném použití dojde k přenosu jejich složek do potravin.[14]

Materiály a předměty, včetně aktivních a inteligentních materiálů a předmětů, musí být vyrobeny v souladu se správnou výrobní praxí tak, aby za obvyklých nebo předvídatelných podmínek použití neuvolňovaly své složky do potravin v množstvích, která by mohla:

1. ohrozit zdraví lidí;
2. způsobit nepřijatelnou změnu ve složení potravin;
3. způsobit zhoršení organoleptických vlastností potravin.[14]

### 3.2 Volba materiálů

Část průtokového zařízení, kde bude probíhat výměna tepla (tepelný výměník) bude konstruován z kovu, a to z důvodu jeho vysoké tepelné vodivosti.

S ohledem na použití v potravinářském průmyslu jsou vhodné především nerezavějící oceli. Na trhu jsou běžně k dostání již hotové nerezové šneky, které jsou ideální do průtokových chladičů nápojů. Pro použití s peltierovými články, je však



potřeba ideálně rovná styčná plocha pro nejúčinnější vedení tepla. Vytvoření takové styčné plochy na nerezovém výměníku se v domácích podmínkách jeví jako příliš náročné.



Obr. 3.1: Komerčně dostupný chladič šnek z nerezavějící oceli [3]

Dalším vhodným materiálem je měď. Pro obecné použití v potravinářství je vhodná (rozvody pitné vody, kuchyňské nádobí, pivovarnický průmysl). Měděné výměníky pro průtokové chlazení/ohřev nejsou běžně dostupné na trhu. Pro konstrukci tkví výhody především ve snadné zpracovatelnosti - tvarování (ruční ohýbání), pájení cínovou pájkou a vysokou tepelnou vodivostí 1.2. Na výrobu měkké trubky byla použita vysoce kvalitní měď s odmaštěným vnitřním povrchem, určená pro použití v systémech chladičích a mrazicích zařízení, rozvodech pitné vody, zdravotnictví, potravinářství apod.

Jako pájka byla využita S-Sn97Cu3 na měkké pájení dle EN ISO 9453 vhodná pro nerezavějící oceli, rozvody pro pitné vody, potravinářský průmysl, elektrotechniku.

### 3.3 Výběr Peltierových článků

Pro výběr soustavy Peltierových článků jsem si stanovil tyto hlavní parametry:

1. chladič výkon
2. napájecí napětí
3. elektrický příkon
4. vnitřní odpor článku
5. celková cena sestavy

## 6. rozměry článku

1. Jako minimální chladicí výkon byl stanoven  $P_c > 300W$ , což odpovídá ochlazení 1kg vody nejméně o  $4,2^\circ C$  za minutu.

$$\Delta T = \frac{P_c \times t}{c_p} = \frac{400 \times 60}{4198} \doteq 5.7^\circ C \quad (3.1)$$

2. Vzhledem k potřebnému chladicímu výkonu a účinnosti Peltierových článků by měl být napájecí zdroj dostatečně dimenzován. Pro udržení finanční nenáročnosti jsem zvolil usměrněné a filtrované napájení ze sítě 230V. Výsledná soustava Peltierových článků by měla být navržena pro napětí pohybující se od 290V až do 360V ( $230V \times \sqrt{2} \pm 10\%$ )
- 3;4. Z bodu 2 máme stanovené pracovní napětí soustavy článku. Nyní je třeba zvolit články s vnitřním odporem takovým, aby výsledná soustava pracovala v proudovém rozsahu vhodném pro tyto články.

Jako vhodný výběr se nabízí na trhu velmi rozšířená řada článků s obchodním označením TEC1-127xx, kde xx značí právě velikost maximálního pracovního proudu I[A]. Články s označením 12707 – 12714, jsou určeny pro vysoké proudy (7-14A) a jejich vnitřní odpor je nízký ( $0,94 - 1,5\Omega$  pro  $T_h = 25^\circ C$ ). Při použití článků této řady by byl třeba jejich vysoký počet a cena soustavy i její rozměry by tak příliš vzrostla.

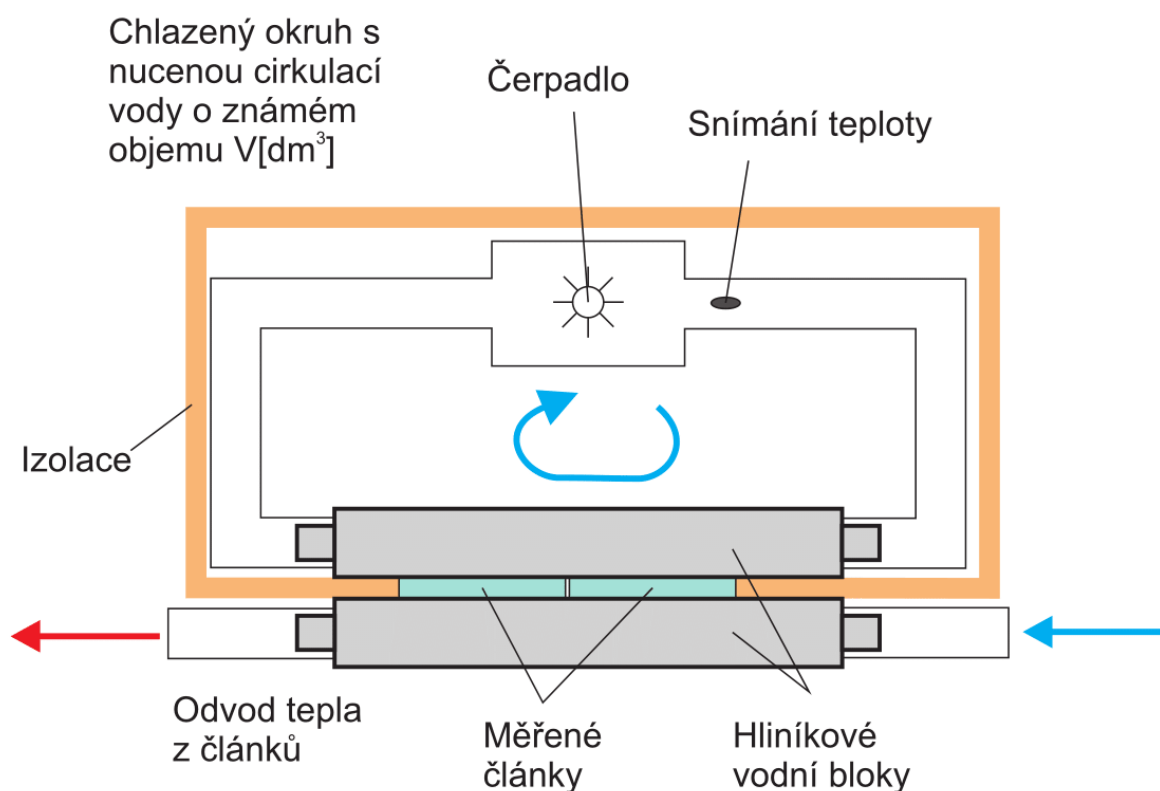
Ideální pro použití se jeví články 12705 (5A-2,  $51\Omega$ ) a 12706 (6A-2,  $25\Omega$ ), kde při jednoduché aplikaci Ohmova zákona zjistíme minimální počet článků. Při použití TEC1-12705 – 29 článků a pro 12706 28 článků.

5. Po podrobnějším průzkumu trhu s články TEC-12706 byl nalezen přímý dodavatel z Číny. Cena článků TEC-12706 od tohoto dodavatele je přibližně 4x nižší, než u českého distributora. Tyto články však disponují poměrně velkými výrobními odchylkami, např. až dvojnásobný vnitřní odpor a tloušťka článku se pohybuje mezi 3,5 – 4mm. Vzhledem k těmto skutečnostem, bylo rozhodnuto provést porovnávací měření.
6. Rozměry článku TEC-12706 jsou 4x4cm a tloušťka 3,8mm. Celková chladicí – topící plocha je  $384cm^2$

## Porovnání chladicího výkonu článků měřením

K porovnání článků jsem navrhl a vytvořil měřicí aparaturu 3.2 pro porovnání chladicích výkonů různých článků. Soustava spočívá ve využití dvou hliníkových vodních bloků, mezi které jsou sevřeny 1 – 3 Peltierovy články. Pro zlepšení tepelného kontaktu je na rozhraní článek – hliník aplikovaná teplovodivá pasta. Teplá strana je chlazená průtokem studené vody z vodovodního řádu. Chladicí strana článku je skrz hliníkový blok tepelně napojena na izolovaný okruh, kde je čerpadlem zajištěna

cirkulace známého objemu vody. Měřením úbytku teploty vody v tomto okruhu je možno vypočítat teplo odebrané Peltierovými články



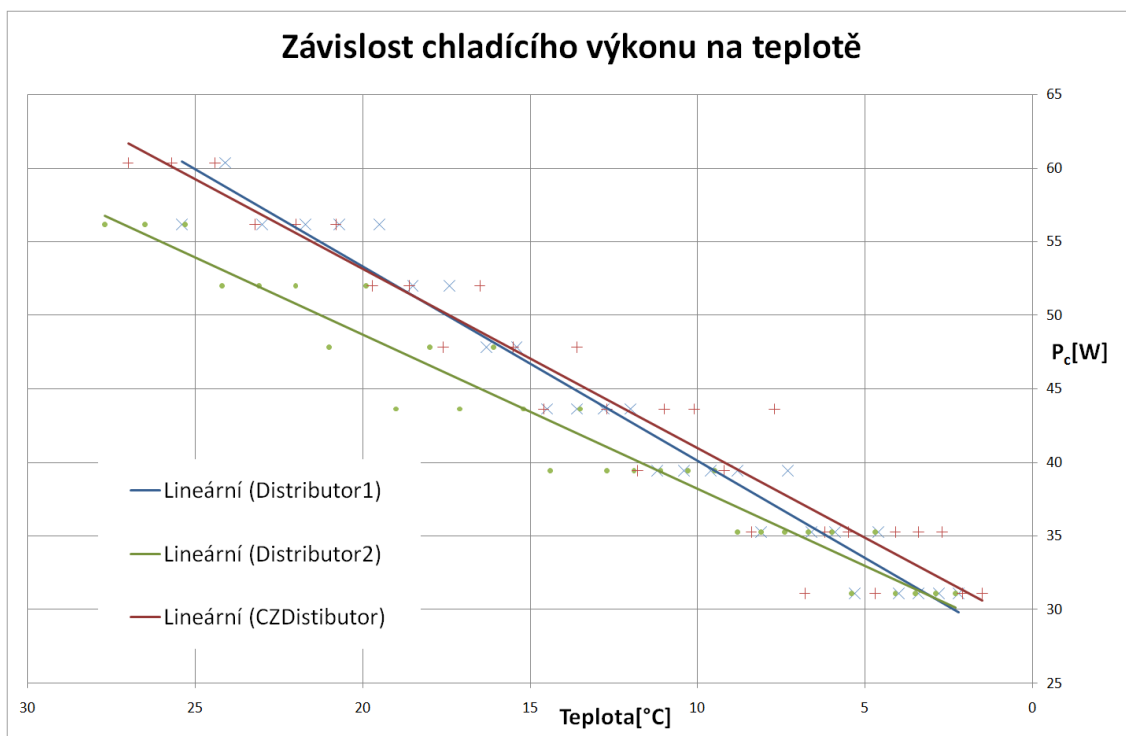
Obr. 3.2: Přibližný návrh měřicí soustavy

Při měření byly použity dva totožné články zapojeny v sérii, napájeny konstantním proudem o velikosti 4A pomocí laboratorního zdroje Korad KA3005P. Vstupní teplota chladicí vody se při měření vždy pohybovala mezi 13 – 15 °C. Objem vody v chlazeném okruhu byl zvolen 0,3l. Teplota byla měřena běžným digitálním termoměrem s přesností na desetiny stupně. Měření proběhlo pro tři dvojice Peltierových článků TEC-12706, jedna od českého distributora, zbylé dvě od dvou různých distributorů z Číny.

V grafu 3.3 vidíme měřená data (body) v čase, kdy klesala teplota vody v chlazeném okruhu. Pro lepší názornost jsou body lineárně proloženy a celé měření je vztaženo ke klesající teplotě. chladič výkon  $P_c[W]$  je vypočítán z poklesu teploty za měřený časový interval (30s).

Příklad výpočtu  $P_c$  pro  $\Delta t = 30s$ ,  $\Delta T = 0.7^\circ C$  a objem vody  $V_v = 0.3l$  :

$$P_c = \frac{c_p \times V_v \times \Delta T}{\Delta t} = \frac{4200 \times 0.3 \times 0.7}{30} = 35.26W \quad (3.2)$$



Obr. 3.3: Graf závislosti chladicího výkonu dvou článků na teplotě v chlazeném okruhu

Tab. 3.1: Tabulka parametrů měřených článků

Článek	Napětí [V]	Odpor [ $\Omega$ ]	Průměrný $P_c$ [W]	Příkon[W]
Distributor1	18.6	4.66	41.6	74.4
Distributor2	24.8	6.2	40.2	99
CZDistributor	17.5	4.56	43.2	70

Z porovnávacího měření bylo zjištěno, že články od distributora 1 mají parametry velmi blízké článkům od tuzemského distributora. Především nízká cena a ucházející kvalita tak rozhodly o volbě článků od zahraničních prodejců. Jejich finální počet byl vzhledem k rozměrům a výsledné ceně sestavy stanoven na 24 kusů.

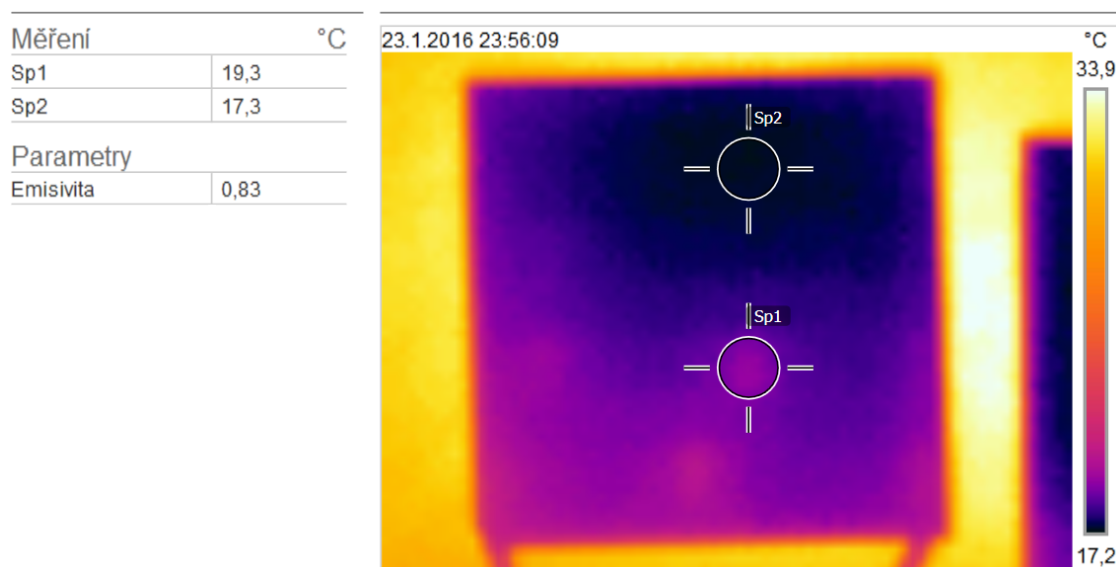
### Porovnání kvality článků termokamerou

Z důvodu značné kolísavosti kvality Peltierových článků od zahraničního distributora se ukázalo, že je nezbytně nutné provést porovnávací měření a vytrídění vadných kusů. Pro porovnání většího počtu Peltierových článků je výše popsána metoda časově příliš náročná.

Byla zvolena metoda, kdy jsou články přímo porovnány pomocí termovizní kamery. Na úkor rychlejšího měření však nezískáme konkrétní hodnoty chladicího výkonu. Pro měření byla využita kamera FLIR T420. Termočlánky byly zapojeny elektricky do série, umístěny na kovovou teplo-vodivou podložku a následně byly jejich chladné strany snímány termovizní kamerou. Proud sérií článků byl nastaven na 0,5A tak, aby příkon jednoho článku byl přibližně 1W a nedocházelo k nadměrnému ohřevu.

Měření kamerou se ukázalo jako velmi účinné a časově nepříliš náročné. Byly nalezeny mnohé vady na člancích, a to jak vadné spoje jednotlivých polovodičů v článku 3.4, tak celkové nekvalitní provedení, které se projevilo nadměrnou produkcí tepla. Na snímku 3.5, lze snadno rozeznat kvalitní články (tmavě modré), které dosahují nižších teplot, než méně kvalitní (modrofialové). Při nastaveném nízkém příkonu článků rozdíly teplot dosahují více než 3°C.

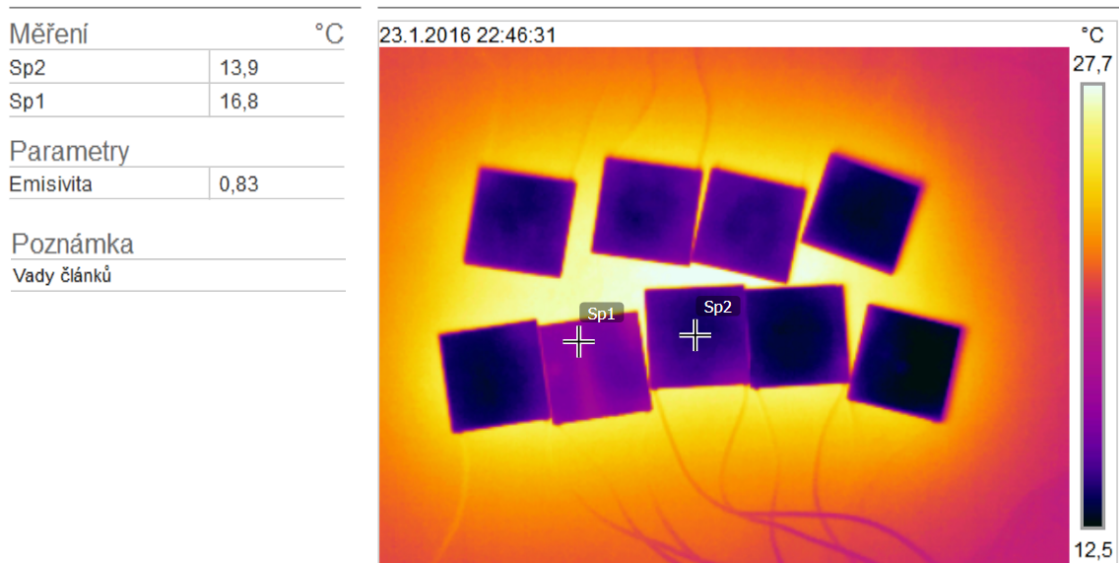
Pomocí této metody bylo z celkového počtu 40 kusů vybráno 24 s nejvyšší kvalitou provedení. Vyřazené články byly zaslány k reklamaci.



Obr. 3.4: Detailní snímek Peltierova článku

### 3.4 Návrh a konstrukce výměníku

Navrhovaný tepelný výměník bude tvořen ze dvou částí. Vnější výměníkem, který bude sloužit převážně pro odvod tepla z článků a vnitřním výměníkem sloužícím k chlazení/ohřevu požadované kapaliny. Návrh vnitřního výměníku bude proveden s ohledem na možnost použití v potravinářství 3.1.



Obr. 3.5: Porovnávací snímek devíti článků

Po rozvaze v kapitole 3.2 byla jako materiál pro vnitřní výměník tepla zvolena měkká měděná trubka. Zvolený průměr trubky má vliv na celkový objem výměníku, minimální poloměr ohybu a výslednou délku trubky. Na výměníku je třeba vytvořit rovnou plochu pro 24 článků o rozměrech 4x4cm. Výsledný tvar měděného svitku bude tvořit ovál s rovnými boky, kde z vnější strany budou umístěny vždy 3 články nad sebou a 4 vedle sebe. Na každé straně tohoto svitku tak bude umístěno 12 článků.

Pro dosažení kompaktních rozměrů je vhodné dosáhnout co nejmenšího poloměru ohybu, který je pro ruční ohýbání měkkých měděných trubek roven šestinásobku vnějšího průměru[18]. Zvolená trubka má vnější průměr 8mm a tloušťka stěny činí 1mm. Průměr 8mm je kompromis mezi dostatečným vnitřním průměrem (6mm) a minimálním poloměrem ohybu ( $r=96\text{mm}$ ). Pro umístění tří článku nad sebe je třeba minimálně 15 závitů ( $N = 120/8$ ). Potřebnou délku trubky zjistíme výpočtem:

$$l = N(2 * 16\text{cm} + 2\pi r) \doteq 930\text{cm} \quad (3.3)$$

Rozměr vnitřního měděného výměníku je dán výškou potřebnou pro 3 peltierovy články nad sebou – 12cm, délka je dána potřebnou plochou pro 4 články vedle sebe – 16cm a minimálním průměrem ohybu – 9,6cm a šířka pouze průměrem ohybu. Přibližné rozměry výměníku tak činní 10x12x26cm (Š×V×H) 3.6.

### Provedení kontaktní plochy

Pro dostatečně vysoký přenos tepla je třeba zajistit pokud možno největší plochu kontaktu Peltierova článku s výměníkem. Svitek z měděné trubky však nedisponuje





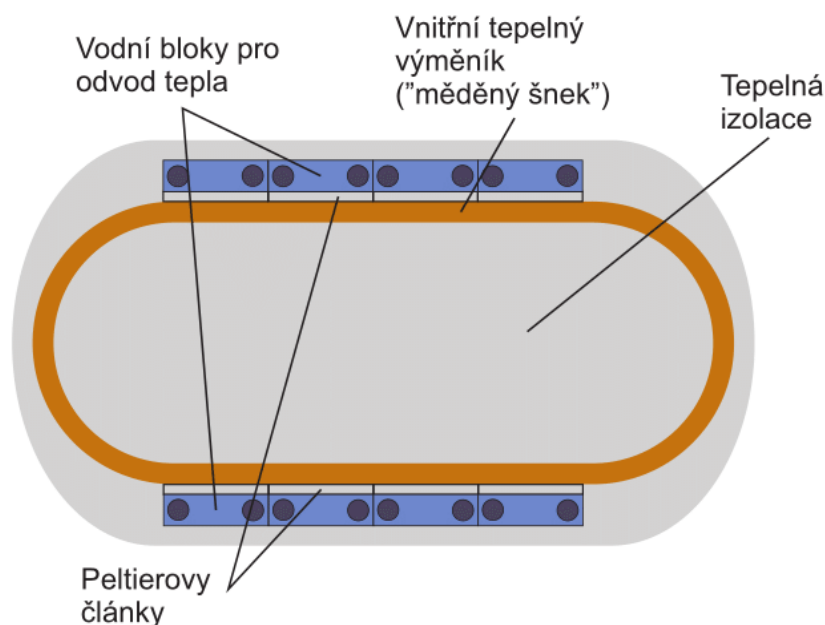
Obr. 3.6: Hrubě spájený svitek měděné trubky – bez kontaktních ploch

rovnou plochou jak je tomu u Peltierova článku. Pro zajištění vysokého přenosu tepla je třeba plochy vyrovnat. Pro podobné účely se v praxi často používají teplovodivé pasty, které mají až stonásobně vyšší tepelnou vodivost než vzduch[4]. V případě svitku z měděné trubky je prostor k vyplnění příliš velký a použití teplovodivé pasty by nebylo efektivní jak po stránce přenosu tepla tak po stránce ekonomické. Byla tak zvolena alternativa v přiletování rovné měděné plochy za použití cínu. Tepelná vodivost cínu je řádově vyšší než u teplovodivých past 1.2. Rovné plochy jsou tvořeny měděným plechem šířky 4cm nařezaným na 12cm dlouhé kusy, které odpovídají rozmístění tří článků nad sebou. Plech je tlustý 3 mm, aby nedošlo k deformaci (kroucení) při letování plamenem.

### Konstrukce výměníku

Konstrukce započala navinutím 9,5 metrů dlouhé měděné trubky na dřevěnou šablonu vytvořenou podle požadovaných rozměrů 3.4. Tím se docílilo pouze hrubého tvaru, který byl následně vyrovnán pomocí svěrek a sletován cínem. Dalším krokem bylo přiletování kontaktních ploch 3.8. Kontaktní plochy byly řezány z 1m měděné pásoviny po 12cm délky, celkově 8 ploch. Tyto plochy byly následně přiletovány ke svitku a prolity množstvím cínu. Celková hmotnost vnitřního výměníku je 2,75kg, z toho 1,5kg tvoří měděná trubka, 1kg měděná pásovina a 250g cín. Objem činní přibližně 250ml. Výpočet tepelné kapacity  $C_v$ :

$$C_v = m_{cu}c_{cu} + m_{sn}c_{sn} = 2,5 \times 383 + 0,25 \times 227 = 1014,25 \text{ J.K}^{-1} \quad (3.4)$$



Obr. 3.7: Ilustrační nákres tepelného výměníku

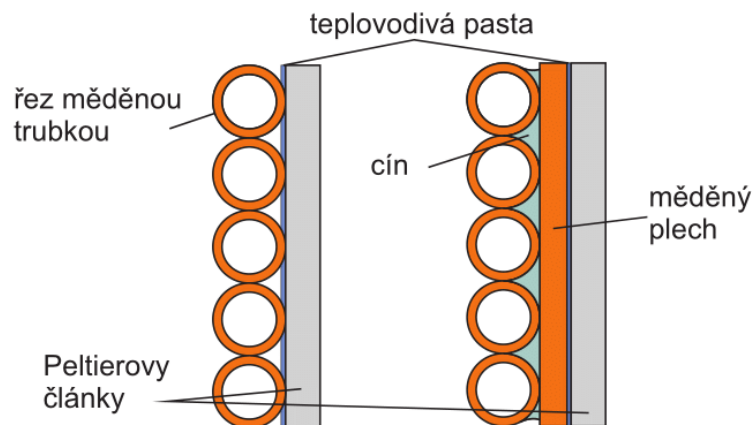
Vnější část výměníku sloužící pro odvod tepla bude tvořena hliníkovými vodními bloky. Tyto bloky nabízí zahraniční distributor jako příslušenství k Peltierovým článkům. Bloky jsou široké 40mm a vysoké 12mm, délky se liší podle požadovaného počtu článku od 40mm do 160mm pro 1 – 4 články. Při rozložení 3 článků nad sebou je vhodná délka 120mm právě pro 3 články. Hliníkové bloky mají na straně dva vývody pro napojení 10mm hadice. Pro zvýšení odvodu tepla je vnitřní struktura opatřena žebrováním, ve směru toku chladicího média. Hmotnost bloku jednoho je 86g.

### Osazení článků a hliníkových bloků

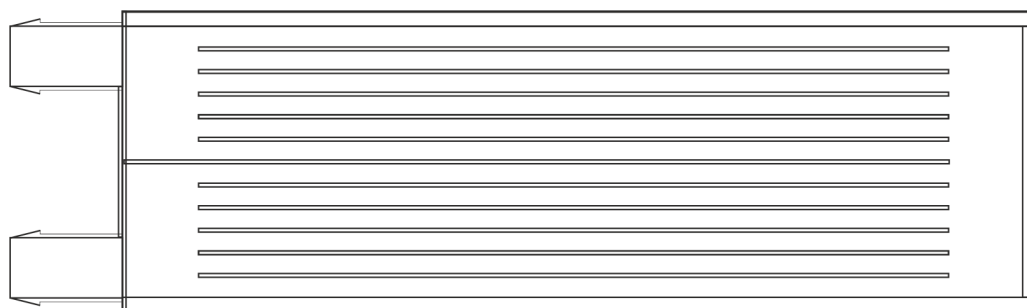
Proces osazování článků započal finální úpravou měděných kontaktních ploch. Plochy byly pomocí jemného smirku přebroušeny pro vyrovnání drobných nerovností a následně vyleštěny do vysokého lesku. Před nanášením teplovodivé pasty byly očištěny od prachu a odmaštěny. Byla použita teplovodivá pasta od výrobce Halzkiye s označením HY700, výrobcem udávaná tepelná vodivost činí  $3,17 \text{ Wm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Pasta je elektricky nevodivá.

Během osazování článku se ukázalo jako nezbytné provést dodatečné izolace v ohybech vývodů z článků. Ve vnitřních řadách bylo nutné provést pravoúhlý ohyb vývodů. U některých článků originální izolace ohyb nevydržela a došlo k odhalení vo-





Obr. 3.8: Ilustrační nákres provedení kontaktní plochy článku



Obr. 3.9: Nákres řezu hliníkovým vodním blokem

diče u vstupu do článku. Články jsou již od výrobce izolovány bílým silikonem, proto dodatečná izolace byla provedena stejným materiálem, který byl napojen na původní.

Pro odvod tepla z článků byly následně osazeny hliníkové vodní bloky 3.9. Dostatečný přítlak na články byl zajištěn využitím polyamidového stahovacího pásku. Výrobce udávaná nejmenší přídržná síla je 225N. Propojení hliníkových vodních bloku zajistila čirá PVC hadice s průměrem 10mm. Pro zajištění spolehlivého odvodu tepla byly hliníkové bloky hadicí propojen do série, chlazení je sice méně rovnoměrné (články u vstupu chladicí vody jsou chlazené lépe než u výstupu), ale spolehlivé, jelikož nemůže dojít k zavzdušnění hliníkového bloku. Při paralelním zapojení by mohly zavzdušněné články obtékat paralelní cestou a zůstat tak zcela nechlazené.

### Osazení teplotních čidel

Pro snímání teploty byly vybrány NTC termistory, a to vzhledem k jejich spolehlivosti, vysoké přesnosti, nízké ceně a poměrně snadné programové implementaci pro navrhované procesorové řízení. Teplotní čidla byly před osazením vodotěsně izolo-

vány. Pro snímání teplot z výměníku byly použity 3 termistory. Dva byly umístěny z vnitřní strany měděné smyčky, jeden v blízkosti vstupu a druhý u výstupu. Třetí termistor je umístěn mezi hliníkovými bloky v blízkosti teplé strany článku, kde slouží pro kontrolu odvodu tepla a jako ochrana proti přehřátí.

### **Izolace tepelného výměníku**

Pro zamezení výměny tepla vnitřní měděné smyčky s okolím a snížení tím způsobených ztrát chladu–tepla, bylo nutné provést tepelnou izolaci výměníku.3.7

Vnitřní část měděné smyčky byla vyplněna expanzní polyuretanovou pěnou. Tyto pěny dosahují velmi nízkých koeficientů tepelné vodivosti  $0,032\text{--}0,033 \text{ Wm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a jako izolační materiál jsou lepší než polystyren či minerální vata.[15] Další výhodou je také účinné vyplnění prostoru a přizpůsobení tvaru výměníku. Z důvodu případné rozebíratelnosti byl mezi pěnu a výměník umístěn prošitý plstěný pás, který zabrání přilepení pěny na smyčku a umožní vyjmutí vnitřní izolace. Vnější část je izolována pouze pomocí izolačního plstěného pásu. Plstěné izolační pásy se využívají proti kondenzaci vodovodního potrubí, stejnou funkci zastávají i zde.

## **3.5 Návrh a konstrukce napájecího obvodu**

V kapitole 3.3 bylo již zmíněno, že sestava 24 kusů Peltierových článků bude napájena usměrněným síťovým napětím. Je tak nutno navrhnout obvod pracující se síťovým napětím s dostatečným výkonovým dimenzováním pro napájení takového množství článků. Základní bloky jsou :

1. Usměrňovač
2. Vyhlazovací filtr
3. Výkonový spínač
4. Vstup pro buzení z procesoru

### **1. Usměrňovač**

Jako usměrňovací člen je využit Graetzův můstek. Klíčové parametry pro výběr můstku jsou především závěrné napětí  $U_{ac}[V]$  a proud  $I_f[A]$ . Závěrné napětí volíme dle napětí v síti, které může dosahovat až 360V 3.3. Proud dle parametrů zátěže. S dostatečnou rezervou bude stačit diodový můstek KBU808 s parametry:

$$U_{ac} = 560V \text{ a } I_f = 8A.$$

## 2. Vyhlašovací filtr

Vyhlašovací filtr tvoří filtrační kondenzátor s dostatečnou kapacitou, aby vyfiltroval usměrněné napětí na úroveň požadovaného zvlnění[10]:

$$p = \frac{U_{p-p}}{U_0} \times 100\%. \quad (3.5)$$

Minimální filtrační kapacita se pak určí:

$$C_{min} = \frac{60 \times I}{f \times p \times U_0} [F] \quad (3.6)$$

Pro účely napájení Peltierových článků nám stačí pouze hrubé vyfiltrování. Při výpočtu minimální filtrační kapacity dle vztahu 3.6 pro zvlnění 20% stačí kapacita  $300\mu F$ , s rezervou volíme filtrační kapacitu  $400\mu F$ . Použijeme kondenzátor s dostatečným jmenovitým napětím – 400V.

## 3. Výkonový spínač

Sekci výkonový spínač tvoří především hlavní výkonový tranzistor. Na tento člen budou kladeny nároky podobné jak na usměrňovací člen, a to v podobě maximálního závěrného napětí  $U_{ce}$  a proudu  $I_c$ . Dále nesmíme opomenout maximální ztrátový výkon  $P_d$ .

Vhodným kandidátem je bipolární tranzistor s izolovaným hradlem (IGBT), který je kombinací unipolárního a bipolárního tranzistoru, a tak umožňuje rychlé spínání, napěťové řízení, velké blokovací napětí a relativně malý úbytek napětí v propustném směru.[10]

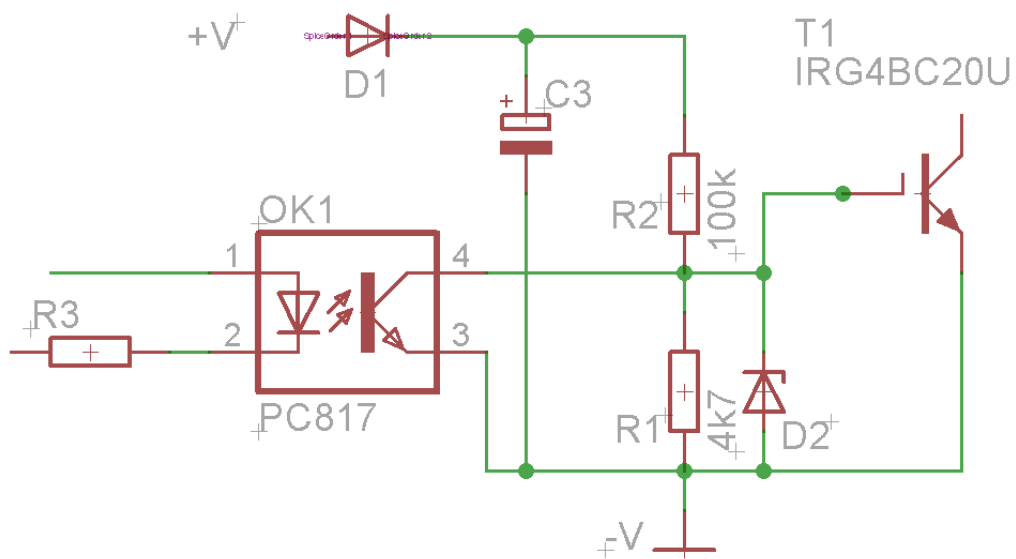
Tranzistor IRG4BC20U v pouzdře TO220AB s parametry  $I_c = 13A$ ,  $U_{ce} = 600V$  a ztrátovým výkonem  $P_d = 60W$  splňuje s rezervou nároky na spínání zátěže.

### Vstup pro buzení z procesoru

Vstup pro signál z procesoru je vhodné galvanicky oddělit od síťové části. Ideální se jeví využití optočlenu s integrovaným tranzistorem pro přímé buzení výkonového členu, který vyžaduje napětí  $U_{ge} = 15V$ .

Optočlen BPC-817 s parametrem  $U_{ce} = 35V$  je vyhovující pro buzení tranzistoru IRG4BC20U.

Na obrázku 3.10 vidíme zapojení buzení výkonového tranzistoru. Kondenzátor C3 udržuje konstantní napětí na odporovém děliči R1/R2. Dioda D1 zabraňuje toku proudu z kondenzátoru C3 do zátěže. Při sepnutí tranzistoru integrovaného v optočlenu BPC-817 dojde k poklesu napětí na vstupu IGBT na úroveň blízkou nule a výkonový tranzistor se zavře. Zenerova dioda D2 stabilizuje napětí na 15V. Rezistor R3 nastavuje pracovní bod LED diody optočlenu.



Obr. 3.10: Obvod buzení výkonového tranzistoru

### 3.5.1 Návrh procesorového řízení

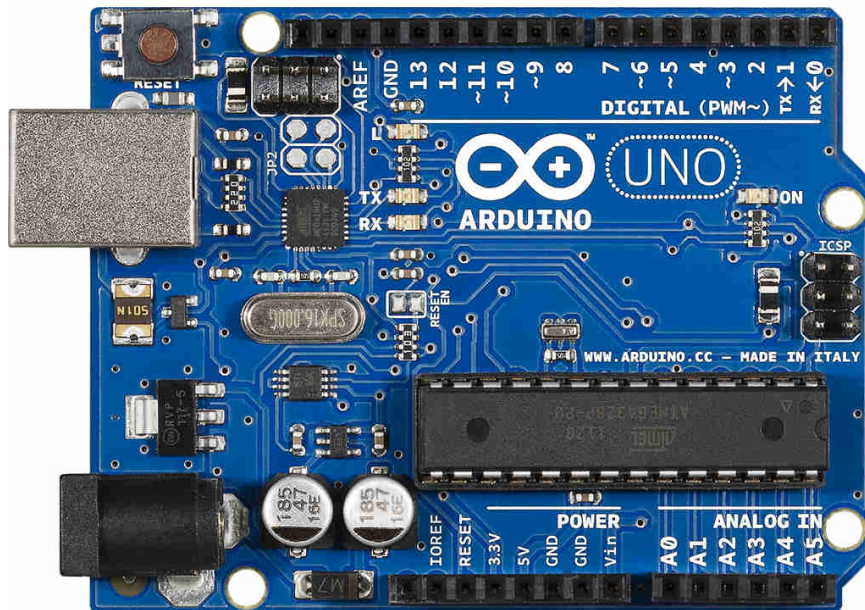
Pro řízení průtokového chlazení/ohřevu byla zvolena platforma Arduino. Arduino je v dnešní době jedna z nejrozšířenějších open-source platform založených na jednoduše desce a vývojářském prostředí Arduino IDE. Arduino je možné programovat v jazyce C nebo C++, nejjednodušší je však používat knihovnu Wiring. Ta je v současné době pro programování Arduina velmi rozšířená. Kvůli její komplexnosti se o ní občas mluví jako o samostatném programovacím jazyku.[20]

#### Arduino Uno

Arduino Uno je v současné době asi nečastěji používaný typ desky. Na desce je procesor ATmega328 a klasické USB včetně sériového převodníku.[20] Arduino uno má dostatek analogových vstupů (6) pro termistory na snímání teploty a případné potenciometry k nastavení parametrů. Obsahuje také dostatek digitálních výstupů včetně několika podporujících PWM modulaci.

#### Vstupy arduina:

1. Přepínač ohřev/chlazení
2. Potenciometr pro nastavení teploty
3. Termistor u vstupu chladicí smyčky
4. Termistor u výtupu chladicí smyčky



Obr. 3.11: Arduino Uno [20]

5. Termistor na straně pro odvod tepla

#### **Výstupy arduina:**

1. PWM výstup pro řízení Peltierových článků
2. Přepínací relé pro otočení polarity Peltierových článků
3. Signalizační LED modrá
4. Signalizační LED žlutá
5. Signalizační LED červená
6. Relé pro spínání elektromagnetického ventilu.

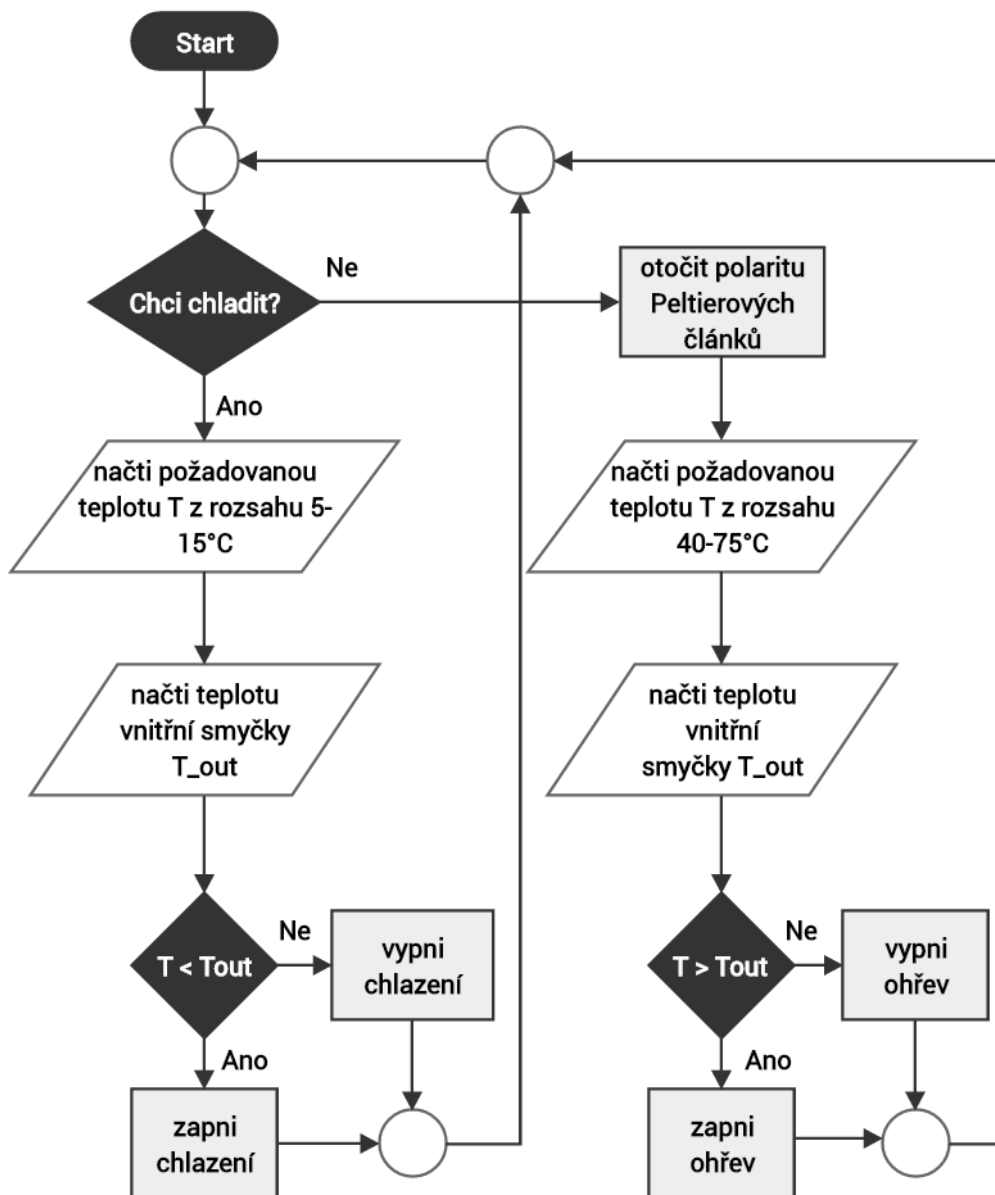
Ovládací potenciometr a indikační diody jsou umístěny na samostatnou DPS. Na této desce je také umístěno relé pro ovládání elektromagnetického ventilu, vstup z volby chlazení/ohřevu, vstupy z měřících termistorů. Na Arduino je vytvořena propojovací deska s konektory (tzv. shield), vznikla tím možnost použití plochého kabelu a čistého vedení propojů.

#### **Řídící program**

Z vývojového diagramu 3.12 lze vyčíst základní fungování programu. Na startu programu se vždy nastaví vypnutí hlavního výkonového tranzistoru. V dalším kroku se testuje podmínka, zda-li některé z teplotních čidel nevykazuje teploty vyšší než provozní (nastaveno na 80°C). Snímá se poloha volby chlazení/ohřevu, podle které

se nastaví přepínač polarity – relé (vždy před přepnutím relé se odpojí zátěž). Následně se porovnává teplota nastavena potenciometrem s teplotou výměníku, podle výsledku se spíná/vypíná přívod proudu k článkům.

Pro signalizaci stavu teploty ve výměníku jsou určeny 3 barevné LED diody. Červená dioda indikuje, že rozdíl nastavené teploty oproti výměníku je více než 5°C. Pokud je rozdíl mezi 2°C a 5°C, svítí žlutá LED dioda. Při rozdílu menším než 2°C svítí dioda modrá.



Obr. 3.12: Základní rozhodovací schéma programu

## 3.6 Návrh a konstrukce vnější části

Při konstrukci Vnější části se zaměřujeme především na:

- umístění ovládacích a signalizačních prvků,
- mechanickou pevnost, nízkou hmotnost
- rozebíratelnost
- tvar a přenositelnost
- vkusný design

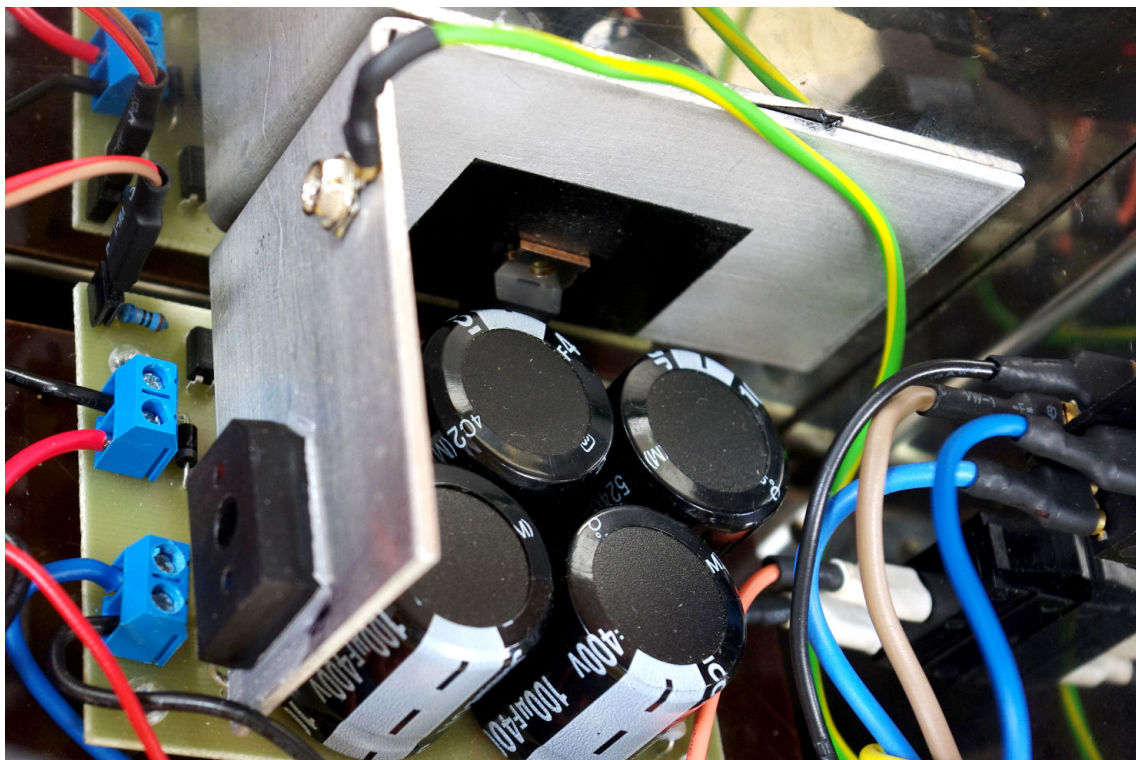
Bylo rozhodováno mezi konstrukcí ze dřeva nebo z nerezavějící oceli. Jelikož oba materiály splňují potřebné parametry, výsledná konstrukce je vyhotovena z jejich kombinace. Tělo konstrukce je na míru zkonstruováno z nerezavějící oceli vysokého lesku. Pro zjednodušení kovové konstrukce byla horní část s držadlem vyrobena z bukové desky. Kovovou část tvoří 4 rozebíratelné díly:

- Kostra, spodní a zadní část nám tvoří základní díl. Umožňuje snadnou instalaci tepelného výměníku, rozvodu chladicí a chlazené kapaliny a potřebných ovládacích prvků
- Přední panel s otvory na signalizační LED, potenciometr a kohout pro zastavení průtoku
- Dva boční panely

Jelikož se jedná o zařízení, které je svou konstrukcí vhodné i pro použití v potravinářství, byla konstrukce přístroje inspirována přístroji podobného účelu. Hmotnost kovové konstrukce je 3,7kg a vnější rozměry jsou  $17 \times 35 \times 30$  cm (Š×V×H).

### 3.6.1 Finální kompletace

Zadní část kovové konstrukce byla osazena hlavním vypínačem, přepínačem ohřevu a chlazení, držákem hlavní pojistky, napájecím kabelem a třemi průchodkami na kapaliny 3.14. Pro napojení měděného výměníku na kohout a dodatečné rozvody, bylo využito potravinářských spojek a hadic. K přední části konstrukce je připevněn hlavní kohout a deska s ovládacími a signalizačními prvky. Desky plošných spojů byly pomocí distančních sloupků umístěny na panel z texgumoidu. Tento panel byl umístěn do vrchní části konstrukce těsně nad tepelný výměník. Pro chlazení usměrňovacího můstku a výkonového tranzistoru byl využit 2mm silný hliníkový plech tvaru L, kde jedna ze stran je pro lepší odvod tepla přitlačena ke kovové bočnici 3.13. Tranzistor bylo nutné elektricky oddělit od chladiče, pro tento účel byla využita teplo-vodivá oboustranná páska. Všechny kovové části jsou z bezpečnostního důvodu uzemněny, jedná se tak o zařízení I třídy ochrany.



Obr. 3.13: Fotografie řešení chlazení

### 3.7 Měření parametrů zařízení

Pro potřeby měření byl zajištěn nepřetržitý průtok vody pro chlazení Peltierových článků. Pro zajištění konstantního průtoku byla smyčka pro odvod tepla napojena z vodovodního řádu, teplota vody činila  $15,5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Teplota byla měřena pomocí tří interních teplotních čidel a jednoho externího, pro měření teplot mimo výměník, zapojených do procesorové jednotky. Příkon zařízení při plném výkonu se pohyboval mezi 720 – 780W podle aktuální teploty Peltierových článků. Příkon byl měřen domácím zásuvkovým wattmetrem. Případné odchylky a nepřesnosti mohou být způsobeny měnícími se faktory okolí, jako jsou: teplota vody ve vodovodním řádu, vzdušná teplota, napětí v síti.

#### Celkový chladicí výkon

Na grafu 3.15 vidíme časové závislosti teplot z 3 čidel. Čidlo  $T_{\text{out}}$  je umístěno v blízkosti výstupu z výměníku,  $T_{\text{celk}}$  je umístěn v nádobě s chlazenou vodou a čidlo označené  $T_{\text{hot}}$  je umístěné na teplé straně článků. Graf vychází z ustáleného stavu, kde jsou teploty vyrovnány na  $26^{\circ}\text{C}$ . Průtok chlazené vody je zajištěn ponorným čerpadlem proto je nutno počítat s jeho vyvíjeným teplem  $P_{\text{cerp}}$ . Pokles  $T_{\text{hot}}$





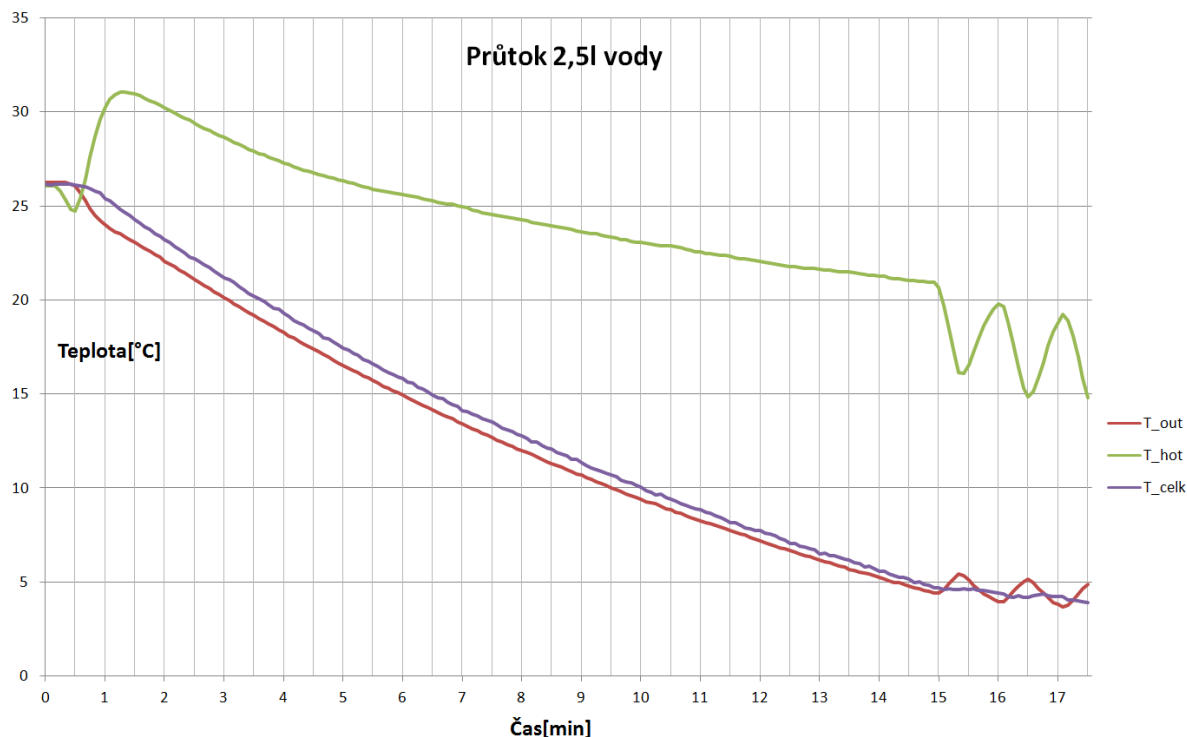
Obr. 3.14: Rozmístění prvků zadní strany

v čase 0,5 je způsoben spuštěním chladicí vody před zapnutím chlazení. V čase 0,5 bylo spuštěno chlazení, během 30s vznikl na chladicí smyčce teplotní rozdíl  $2^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{celk}} - T_{\text{out}}$ ). V čase 15min došlo k prvnímu vypnutí, jelikož teplota výstupní vody klesla na  $4^{\circ}\text{C}$ , následné vlnění je způsobeno nastavenou hysterezi(3.17).

Z grafu 3.15, lze podle rychlosti poklesu teploty vypočítat chladicí výkon  $P_c[\text{W}]$  za pomoci výpočtu 3.2.

Výpočet průměrného chladicího výkonu na intervalu  $22^{\circ}\text{C} - 7^{\circ}\text{C}$ :

$$P_c = \frac{c_p \times V_v \times \Delta T}{\Delta t} + P_{\text{cerp}} = \frac{4200 \times 2.5 \times 15}{600} + 35 = 297,5\text{W} \quad (3.7)$$



Obr. 3.15: Teplota protékající vody měřená v čase

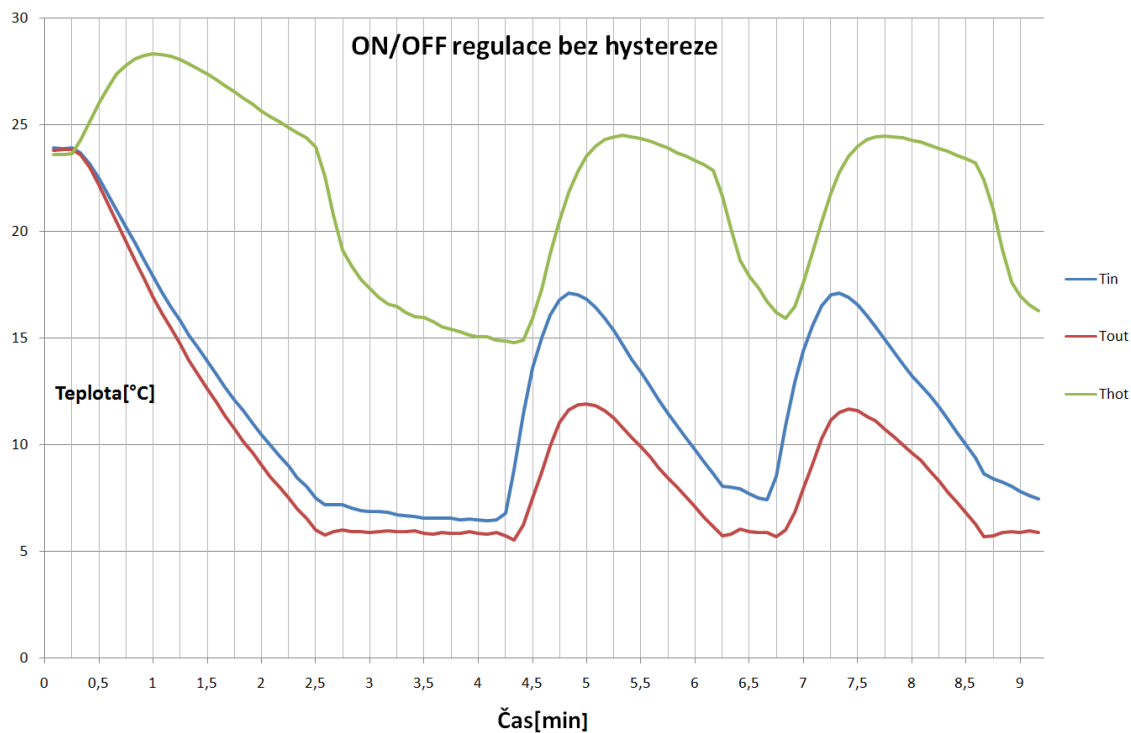
### Nachlazení uzavřené smyčky

Při měření nachlazení smyčky je výstupní kohout uzavřen a smyčka je naplněna vodou. Vychází se opět z ustáleného stavu, kde teploty jsou vyrovnány. Po zchlazení na požadovanou teplotu je možné aplikovat různé metody na její udržování.

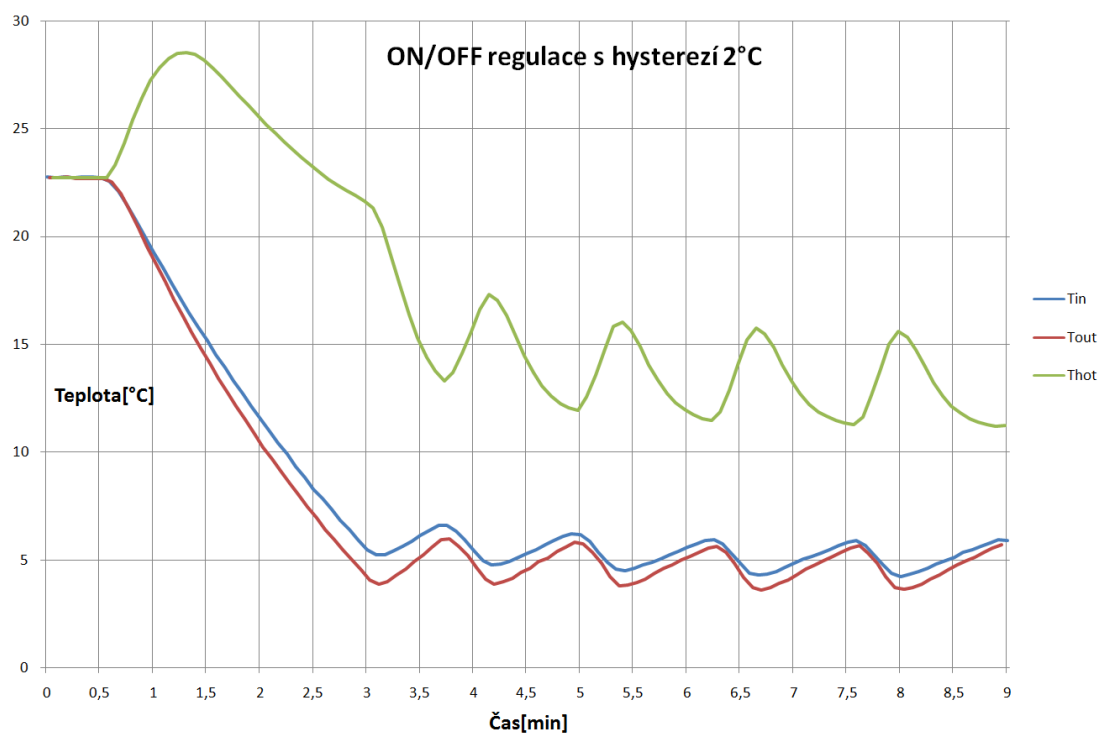
**Udržování teploty pomocí ON/OFF regulace.** Pro lepší stabilitu systému je nastaveno zpoždění tak, aby procesor snímal teploty přibližně 10x za sekundu. V podobném intervalu je možné provádět zapínání/vypínání chlazení. Pro omezení prudkého spuštění je využita PWM modulace s postupnou změnou střídy 0-100% během krátkého okamžiku.

V grafu 3.16 vidíme, že nachlazení měděné smyčky s vodou z 24°C na 6°C zabere přibližně 2 minuty. V čase mezi 3. a 4. minutou můžeme vidět velmi přesné udržování teploty na nastavené hodnotě 6°C. V čase 4,25–4,75 byl otevřen kohout a během 30s proteklo smyčkou 0,5l vody, poté byl kohout uzavřen. Stejný proces se opakuje v čase 6,75. Po průtoku 0,5l vody opětovné dochlazení smyčky zabere 2 minuty.

V grafu 3.17 je znázorněno nachlazení uzavřené smyčky a následné udržování s nastavenou hysterezí 2°C. Po nachlazení na 4°C trvá oteplení na 6°C asi 1 minutu, poté je opět spuštěno chlazení.



Obr. 3.16: Teplota smyčky měřená v čase - bez hystereze



Obr. 3.17: Teplota smyčky měřená v čase - s hysterezí 2°C

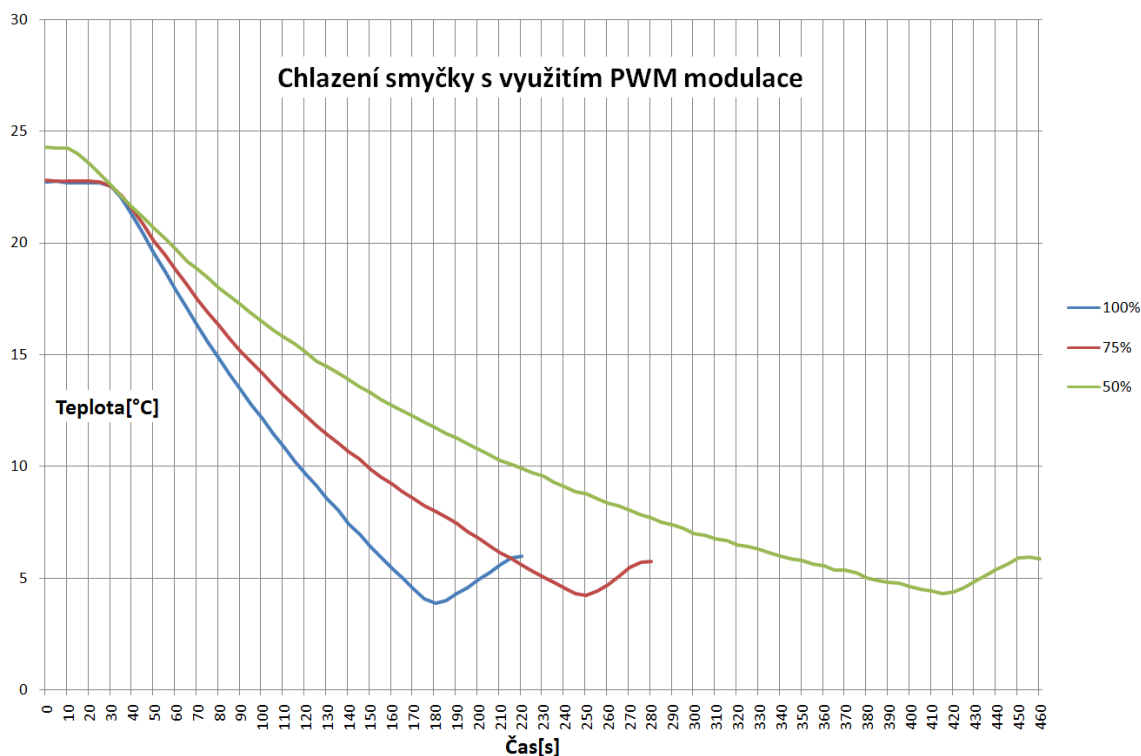
**Chlazení s využitím PWM modulace.** V grafu 3.18 jsou znázorněny 3 průběhy chlazení s různou střídou PWM. Výchozí bod nastává v čase 0,5, kdy se teploty začínají rozcházet. Při plném výkonu zchlazení na 6°C trvá 150s, při 75% 220s a při 50% 385s. Z rychlosti poklesu teploty můžeme pro jednotlivé úrovně modulace vypočítat chladicí výkon. Hodnotu chladicího výkonu se střídou 100% na podobném intervalu již známe a za pomoci nepřímé úměry ho lze dopočítat i pro dvě zbylé úrovně.

$$P_{c75} = \frac{\Delta t_{100}}{\Delta t_{75}} \times P_c = \frac{150}{220} \times 297,5 = 202,8W \quad (3.8)$$

$$P_{c50} = \frac{\Delta t_{100}}{\Delta t_{50}} \times P_c = \frac{150}{385} \times 297,5 = 115,9W \quad (3.9)$$

Pokud budeme uvažovat, že příkon článků se úměrně snižuje s úrovní modulace, lze pozorovat nezanedbatelný pokles efektivity Peltierových článků, a to přibližně o 9,1% pro 75% modulaci a o 22% pro 50% modulaci.

Nezanedbatelný pokles účinnosti při využití pulzně šířkové modulace je důvod, proč nebude pro řízení teploty dále využívána.



Obr. 3.18: Chlazení smyčky s využitím 3 úrovní modulace

## Ohřev

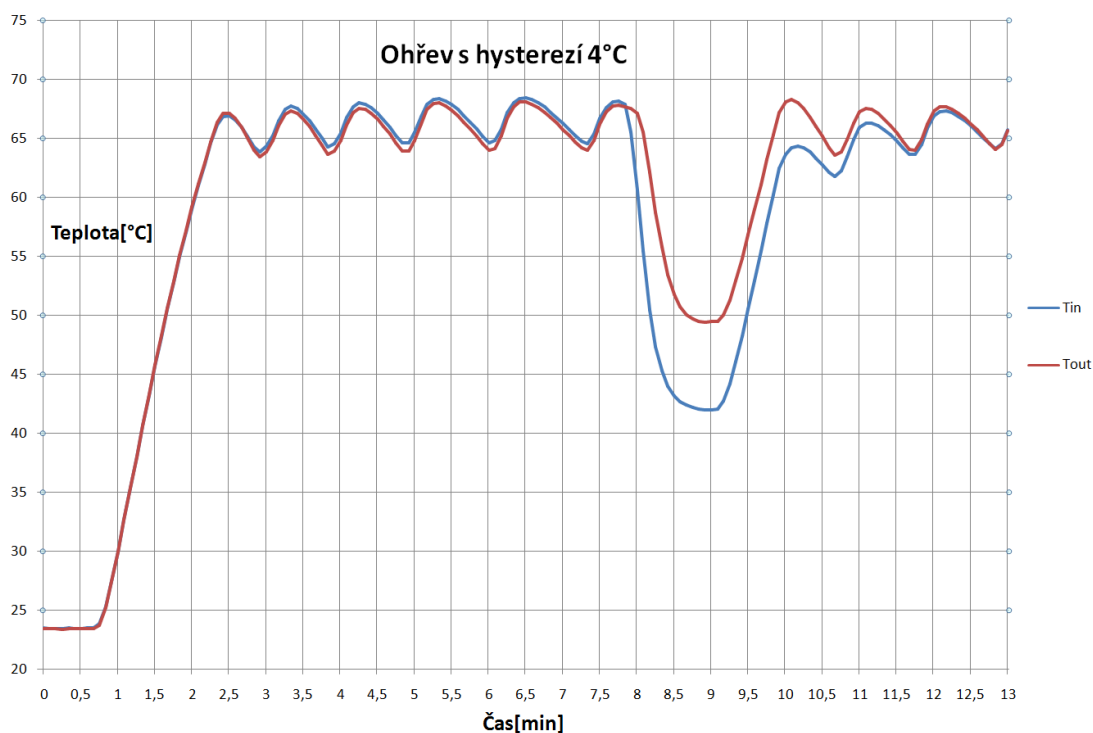
Díky snadné reverzibilitě Peltierova jevu, lze pouhým otočením polarity napětí na Peltierových člancích docílit opačného jevu a ohřevu měděné smyčky. Průtok vody hliníkovými bloky není nutný, vzniklý chlad je zde vzhledem ke značnému prostupu tepla články postupně eliminován.

Měření 3.19 probíhalo s nastavenou hysterezí 4°C a cílovou teplotou 65°C. V čase krátce před 8. minutou došlo k otevření kohoutu a smyčkou přibližně minutu protékala voda. Vzniklý rozdíl teploty smyčky u vstupu a výstupu se srovnal po 2 minutách.

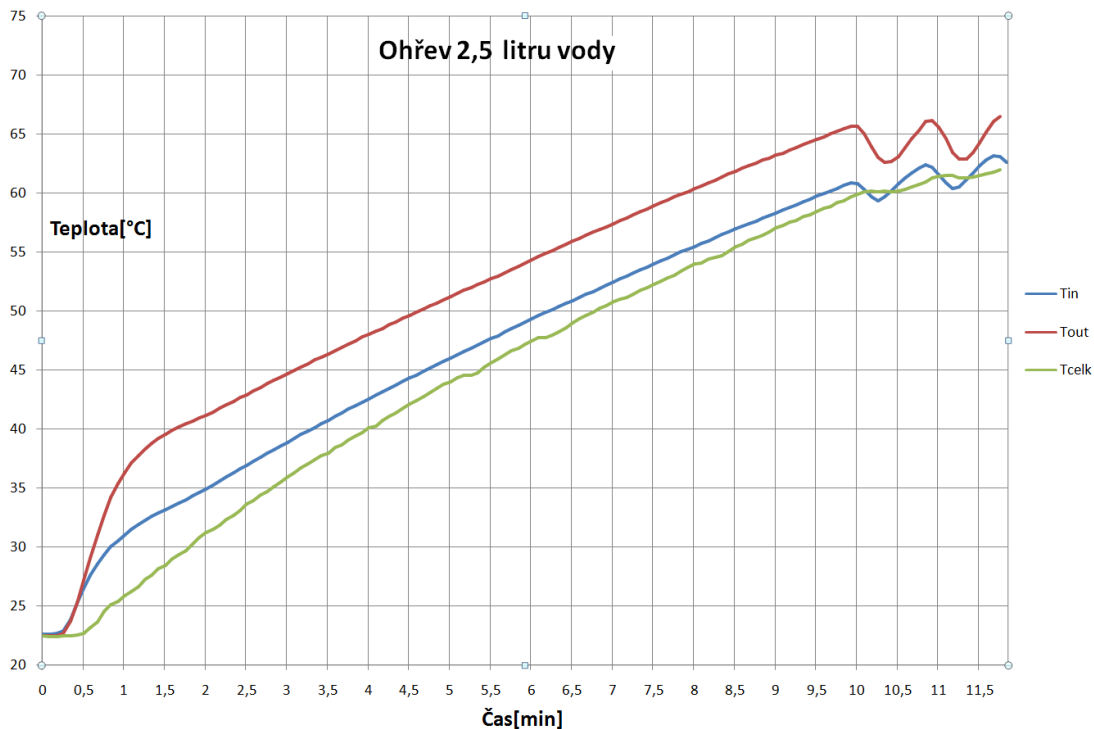
Na obrázku 3.20 vidíme závislost teploty 2,5 litru cirkulující vody v čase. Během 9,5 minut stoupla teplota vody z 23°C na 60°C, tj  $\Delta T = 37^\circ\text{C}$ , z čehož můžeme vypočítat průměrný tepelný výkon:

$$P = \frac{37 \times 4200 \times 2.5}{9,5 \times 60} = 681\text{W} \quad (3.10)$$

Správnost měření potvrzují i údaje z wattmetru, který ukazoval hodnoty mezi 700W a 720W.



Obr. 3.19: Ohřev smyčky



Obr. 3.20: Ohřev 2,5 litru protékající vody.

### 3.8 Porovnání s komerčními výrobky

Finální výrobek je možné srovnat s chladicími zařízeními české firmy Lindr. Pro porovnání byly vybrány modely s podobnými parametry, především s podobným chladicím výkonem. V tabulce 3.2 vidíme porovnání navrhovaného chlazení s dvěma modely firmy Lindr. Navržené zařízení se chladicím výkonem zařazuje mezi model Pygmy 20 a Pygmy 25. Zařízení má srovnatelné rozměry, k nachlazení smyčky vyžaduje poloviční dobu a je o 2kg lehčí. Mezi další výhodou patří bezhlučný provoz a možnost ohřevu. Hlavní nevýhodou je však vysoký příkon a tím způsobená vysoká spotřeba elektrické energie, navíc je zařízení nutno chladit proudem vody. Provoz navrženého zařízení je tak výrazně nákladnější a nevyplatí se jej provozovat dlouhodobě. Spotřeba vody pro chlazení se dá eliminovat např. napojením na cirkulaci do bazénu, kde se odpadní teplo dá s výhodou využít.

Náklady na výrobu zařízení nepřevyšují pořizovací cenu komerčních chladičů nápojů. V klíčových parametrech navržené zařízení nezaostává za konkurencí a mimo dlouhodobý provoz jsou energetické náklady zanedbatelné.

Tab. 3.2: Porovnávací tabulka chladicích zařízení[12]

Model/Parametry	<b>Pygmy 20</b>	<b>Pelt. chlazení</b>	<b>Pygmy 25</b>
Chladicí výkon (22–7°C)	262,5W	297,5W	437,5W
Čas nachlazení	2–4 min	1–2 min	2–4 min
Příkon	267W	750W	267W
Hmotnost	13,4	11,5	14,5
Rozměry (Š×V×H) (mm)	170×325×280	170×350×300	170×325×280

## 4 ZÁVĚR

Během tvorby teoretické části práce jsem nabyt poznatků týkajících se problematiky chlazení, ohřevu a termoelektrických jevů. Tyto poznatky jsem uplatnil během realizace celého projektu. Byla provedena rešerše problému průtokového ohřevu/chlazení a problematiky Peltierových článků. Zhodnotil jsem možnost aplikace Peltierových článků pro průtokový ohřev a chlazení.

Pro výběr vhodných článků byla vytvořena funkční měřicí aparatura, pomocí které bylo možné porovnat Peltierovy články od různých dodavatelů. Při tomto měření jsem zjistil výhodu použití levnějších článků od zahraničních distributorů z Číny, jejichž chladicí parametry se příliš neliší například od těch, které jsou dostupné na českém trhu. Vzhledem k použití velkého množství článků bylo využito termovizní kamery pro vytrídění nekvalitních a defektních kusů.

Byl navržen a zkonstruován vnitřní tepelný výměník s možností použití v potravinářství. Tento výměník je tvořen svitkem z měděné trubky a jeho celková hmotnost činí 2,75kg. Po osazení Peltierových článků na výměník byla provedena tepelná pro zamezení tepelných ztrát. O napájení soustavy článků se stará navržený zdroj s IGBT tranzistorem umožňující PWM modulaci. Řízení celého systému zajišťuje Arduino Uno. Využití řízení procesorem je výhodné právě při výrobě prototypů, jelikož umožňuje širokou škálu nastavení a tím možnost odladění celého systému.

Celé zařízení je ukryto v na míru vyrobeném nerezovém obalu s povrchovou úpravou do vysokého lesku, zařízení je tak nejen snadno ovladatelné a mobilní, ale i velice vkusné.

Po finální kompletaci bylo zařízení podrobně proměřeno a otestováno jeho chování. Při plném výkonu dosahuje chladicího výkonu 297,5W. Jako ideální se ukázalo použití ON/OFF regulace, která vykazovala vysokou rychlost odezvy a přesné udržení teploty. PWM modulace pro napájení Peltierových článku je neefektivní a docházelo ke snížení účinnosti chlazení. Pouhým přepnutím tlačítka se zařízení uvede do opačného módu, kdy se vnitřní měděný výměník nahřívá na nastavenou teplotu.

Termoelektrické chlazení je stále se rozvíjející obor, kde neustále dochází k pokrokům. Alternativa v podobě průtokového chlazení nápojů na termoelektrickém principu v podobném měřítku dosud neexistovala, konstrukcí a otestováním takového zařízení jsem dokázal jeho proveditelnost a funkčnost. Domnívám se, že zařízení je velmi vhodné například pro osobní použití v nekomerční sféře, tedy pro občasné a krátkodobé využití.

Zařízení je konkurenceschopné komerčně dostupným produktům, kde nezaostává svým chladicím výkonem. V některých parametrech jako je např. možnost ohřevu, hmotnost, rychlost nachlazení a případně i pořizovací cena, tyto produkty dokonce předčí. V otázce energetické náročnosti provozu však zcela zaostává, při srovnatel-



ném chladícím výkonu je jeho příkon až trojnásobný a jeho častý provoz se tak stává neekonomickým. Nevýhodou je také nutnost chlazení průtokem vody, kde se však vzniklé teplo dá využít například cirkulací do bazénu. Nutno však podotknout, že mnou navržené zařízení na rozdíl od léty prověřených a odladěných na trhu nabízených řešení, je stále jen prototyp otevřený dalším úpravám a možnostem vylepšení.

## LITERATURA

- [1] BÄCKSTRÖM, M. *Technika chlazení*: Určeno inž., technikům, mistrům a montérům v chladiřnictví a stud. prům. a vys. škol. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. 679 s.
- [2] ČERNÝ, Miloš *Termoelektrické články* Běchovice: Ústav pro výzkum a využití paliv, 1985 112s.
- [3] Driml *Chlazení* 2015 [5-12-2015]. Dostupné z URL: <<http://www.driml-napajecky.cz/cz/mlekarstvi/chlazení-183/chladici-ponorny-snek-nerez-2012915.html>>
- [4] EMPRESA MEDIA, a.s., *Velký test teplovodivých past* 2009 - 2015 [4-12-2015]. Dostupné z URL: <<http://pctuning.tyden.cz/hardware/skrine-zdroje-chladice/24061-velky-test-teplovodivych-past-vyplati-se-priplacet>>
- [5] Ferrotec Corporation *Thermoelectir Techical Reference – Principles of Thermoelectric Materials* , [2-12-2015]. Dostupné z URL: <<https://www.ferrotec.com/technology/thermoelectric/thermalRef02/>>
- [6] Foodnet Informační systém PK ČR *Materiály a předměty určené pro styk s potravinami*. 2002 - 2012. [22-11-2015]. Dostupné z URL: <<http://www.foodnet.cz/slozka/?jmeno=Materi%C3%A1ly+a+p%C5%99edm%C4%9Bty+ur%C4%8Den%C3%A9+pro+styk+s+potravinami&id=1083>>
- [7] FUKÁTKO, Jaroslav, Jiří ŠINDELKA a Tomáš FUKÁTKO. *Teplo a chlazení v elektronice*. 14. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1997, 30s. ISBN 80-86056-24-4
- [8] GOLAB, František a František KAMENČÁK. *Termoelektrické jevy a jejich užití*. Vyd. 1. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1975, 83 s.
- [9] KHEILOVÁ, M. *Termodynamika* Brno 2003. 66 s. [2-11-2015] Dostupné z URL: <[https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/149261/Termodynamika\\_S.pdf](https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/149261/Termodynamika_S.pdf)>.
- [10] Novotný V. Vorel P. Patočka M. *BNEZ - Napájení elektronických zařízení* [2-5-2016] Dostupné z URL: <[https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/189671/mod\\_resource/content/1/Skripta\\_BNEZ.pdf](https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/189671/mod_resource/content/1/Skripta_BNEZ.pdf)>.
- [11] Lindr *O firmě Chladicí a výčepní technika*, 2015 [5-12-2015]. Dostupné z URL: <<http://www.lindr.cz/o-firme>>

- [12] Lindr *Návod k použití* Průtokové kontaktní chlazení Lindr, 2015 [5-5-2016]. Dostupné z URL: <<http://www.lindr.cz/download/navody>>
- [13] MIKYŠKA, Ladislav *Termoelektrické články* 1. vyd. Praha:Státní nakladatelství technické literatury, 1964 152s.
- [14] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004 ze dne 27. října 2004 o materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami a o zrušení směrnic 80/590/EHS a 89/109/EHS.*[22-11-2015] Dostupné z URL: <[www.szu.cz/uploads/documents/czpzp/Legislativa/Narizeni\\_EU\\_1935\\_2004.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/czpzp/Legislativa/Narizeni_EU_1935_2004.pdf)>. [22-11-2015].
- [15] PUR IZOLACE s.r.o. *Polyuretanová pěna - termoizolace* [12-5-2016] Dostupné z URL: <<http://www.pur.cz/userfiles/file/F%20Publicistika/STRECHY%20Polyuretanová%20pěna.pdf>>.
- [16] REICHL J, VŠETIČKA M. *Encyklopedie fyziky* [7-11-2015] Dostupné z URL: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/909-termoelektricke-clanky>>.
- [17] ROWE, David Michael *CRC Handbook of Thermoelectrics* Boca Raton, FL: CRC Press, 1995, 701 p. ISBN 0849301467.
- [18] Středisko mědi *Projektování a instalace mědi – Ruční ohýbání* 2001–2015 [2-12-2015]. Dostupné z URL: <<http://medenerozvody.cz/rucni-ohybani>>
- [19] Šumavský pramen a.s *Výdejníky vody* 2015 [7-12-2015]. Dostupné z URL: <<http://www.sumavskypramen.cz/vydejniky-vody>>
- [20] VODA, Zbyšek *Průvodce světem arduina*Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7. [4-11-2015] Dostupné z URL: <[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FMMI/Prednasky/TEPLO\\_bc\\_08.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FMMI/Prednasky/TEPLO_bc_08.pdf)>.
- [21] VRÁNA, Václav *Elektrické teplo: Určeno pro studenty bakalářských programů*, 2008. [4-11-2015] Dostupné z URL: <[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske\\_FMMI/Prednasky/TEPLO\\_bc\\_08.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FMMI/Prednasky/TEPLO_bc_08.pdf)>.

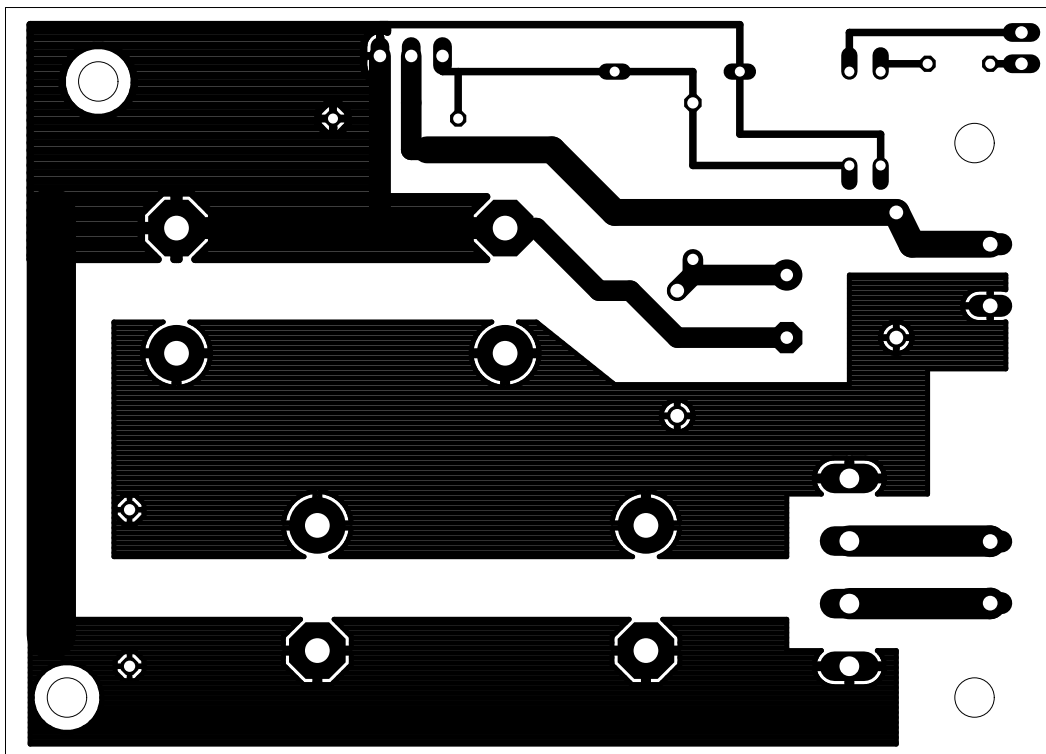
## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

IGBT	bipolární tranzistor s izolovaným hradlem – Insulated-gate bipolar transistor
LED	dioda emitující světlo – Light-emitting diode
NTC	negativní teplotní koeficient – Negative temperature coefficient
PVC	polyvinylchlorid
PWM	pulzně šířková modulace – Pulse width modulation
Š×V×H	šířka, výška, hloubka
TEC	termoelektrický chladič – Thermoelectric cooler

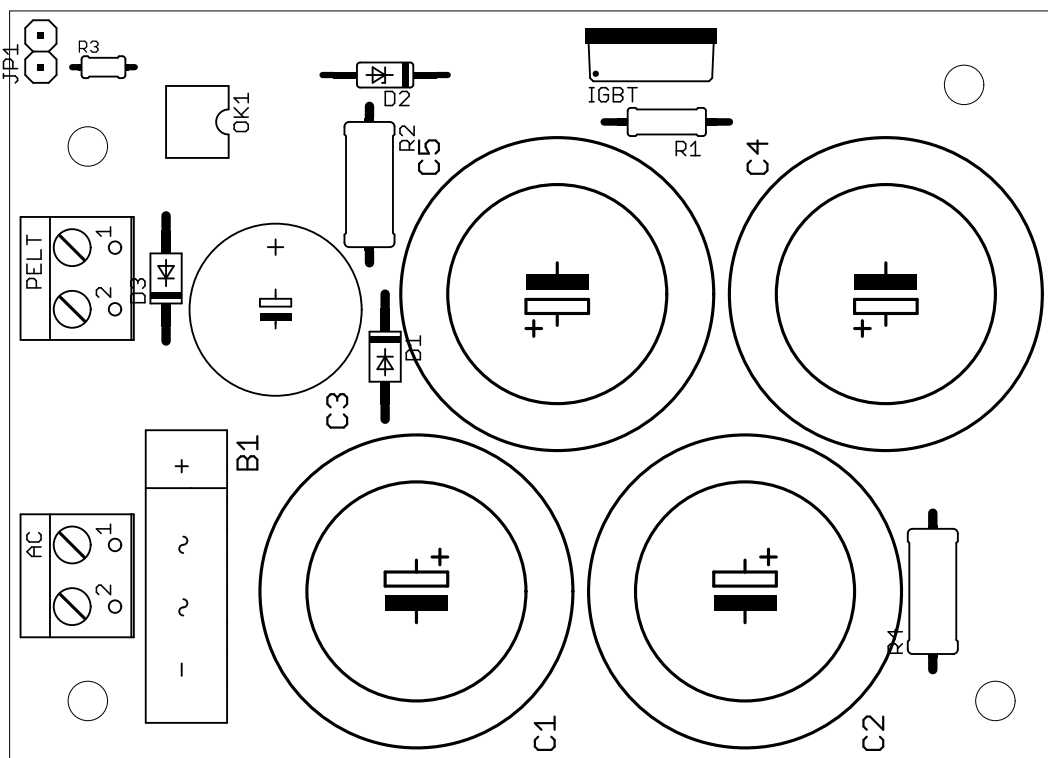
## SEZNAM PŘÍLOH

A	Výkresy, schémata a fotografie finálního výrobku	54
B	Obsah přiloženého CD	63

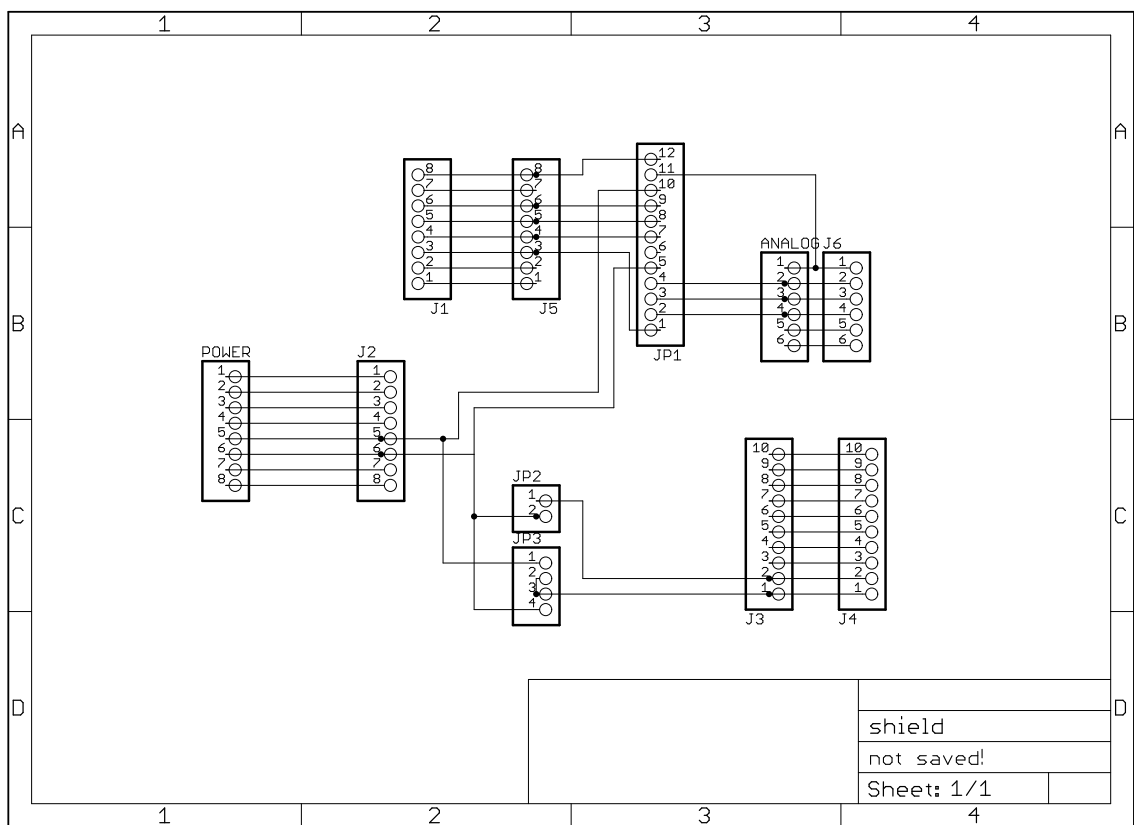




Obr. A.2: Předloha pro výrobu DPS napájecího bloku

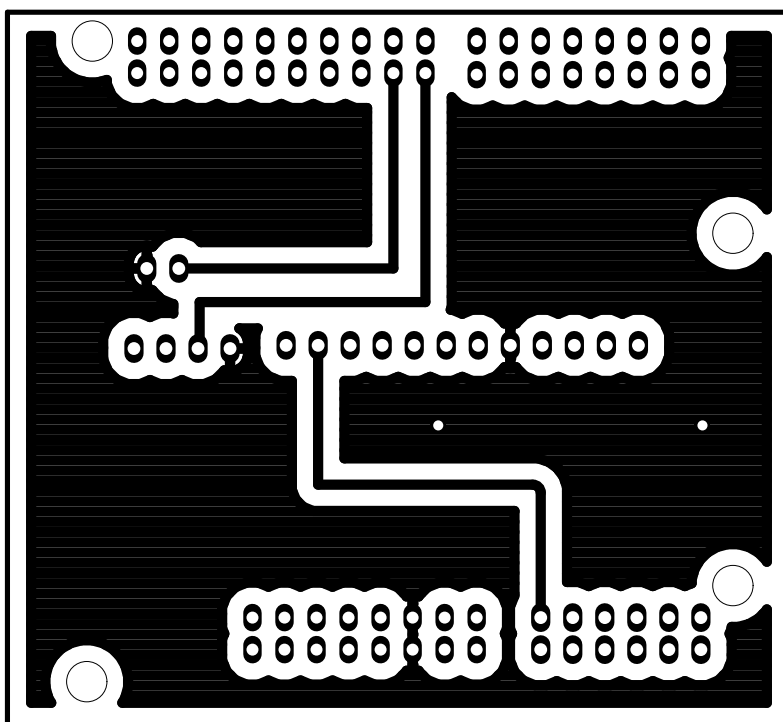


Obr. A.3: Osazovací výkres napájecího bloku

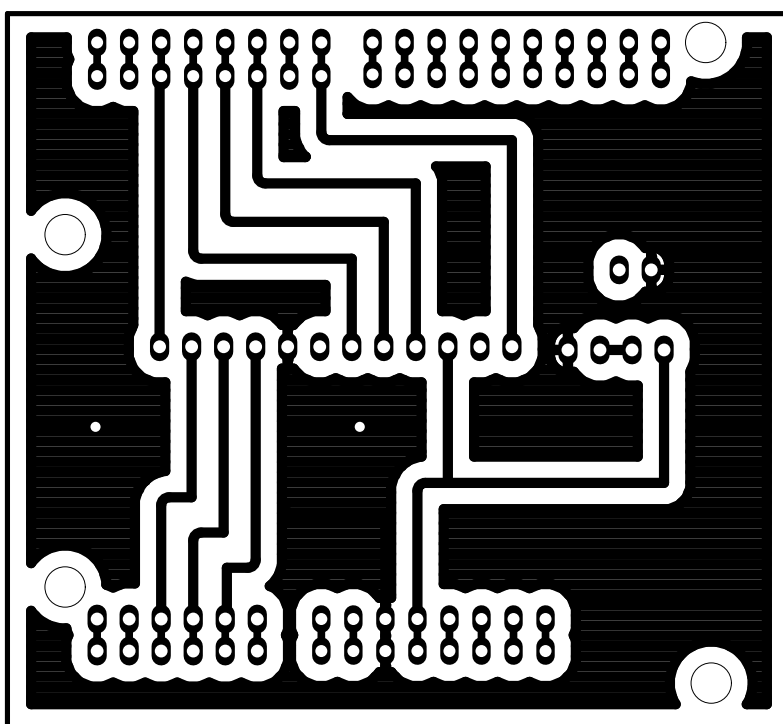


Obr. A.4: Schéma zapojení Arduino shieldu

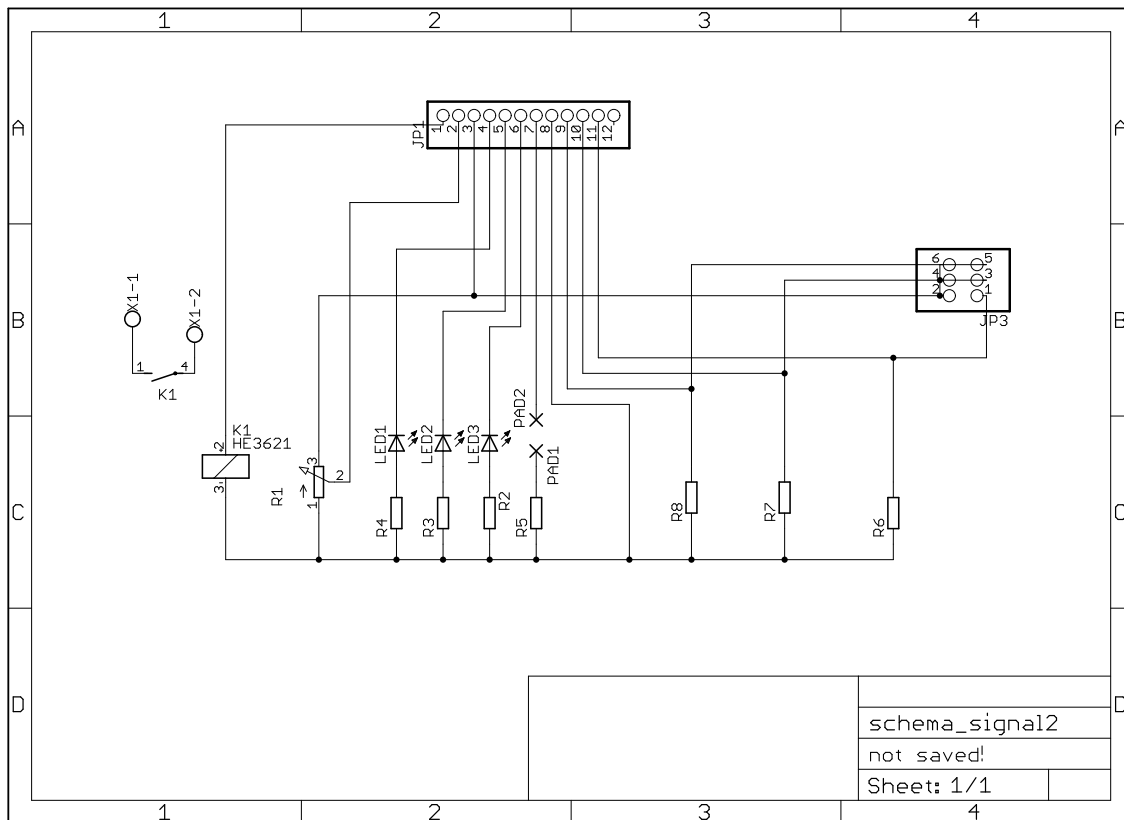




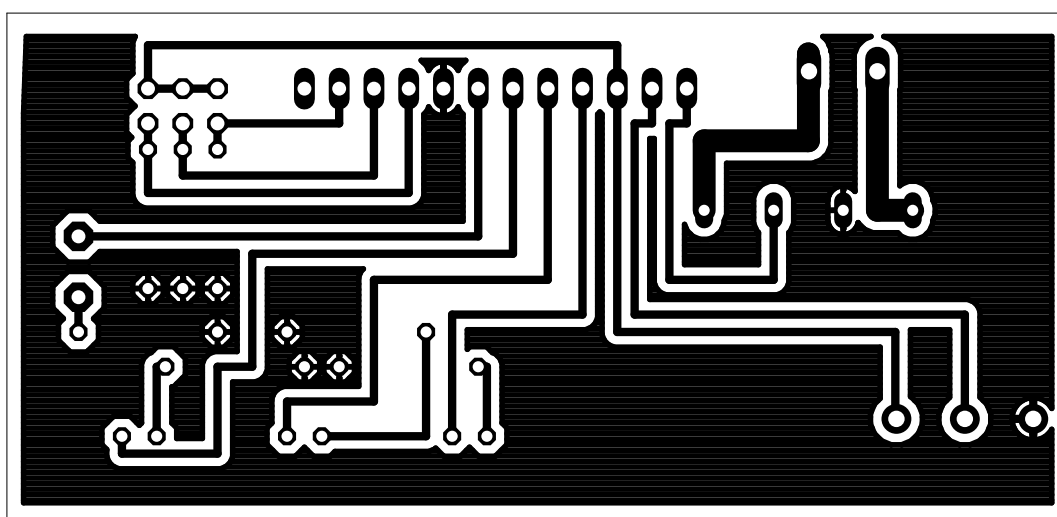
Obr. A.5: Předloha pro výrobu DPS Arduino shieldu – strana 1



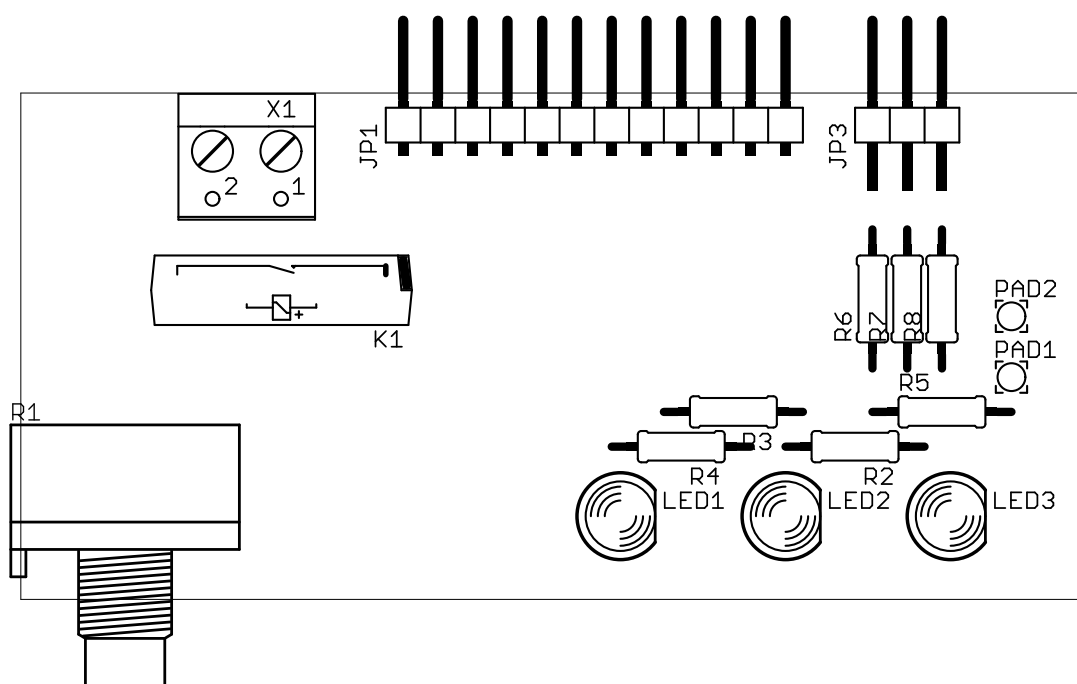
Obr. A.6: Předloha pro výrobu DPS Arduino shieldu – strana 2



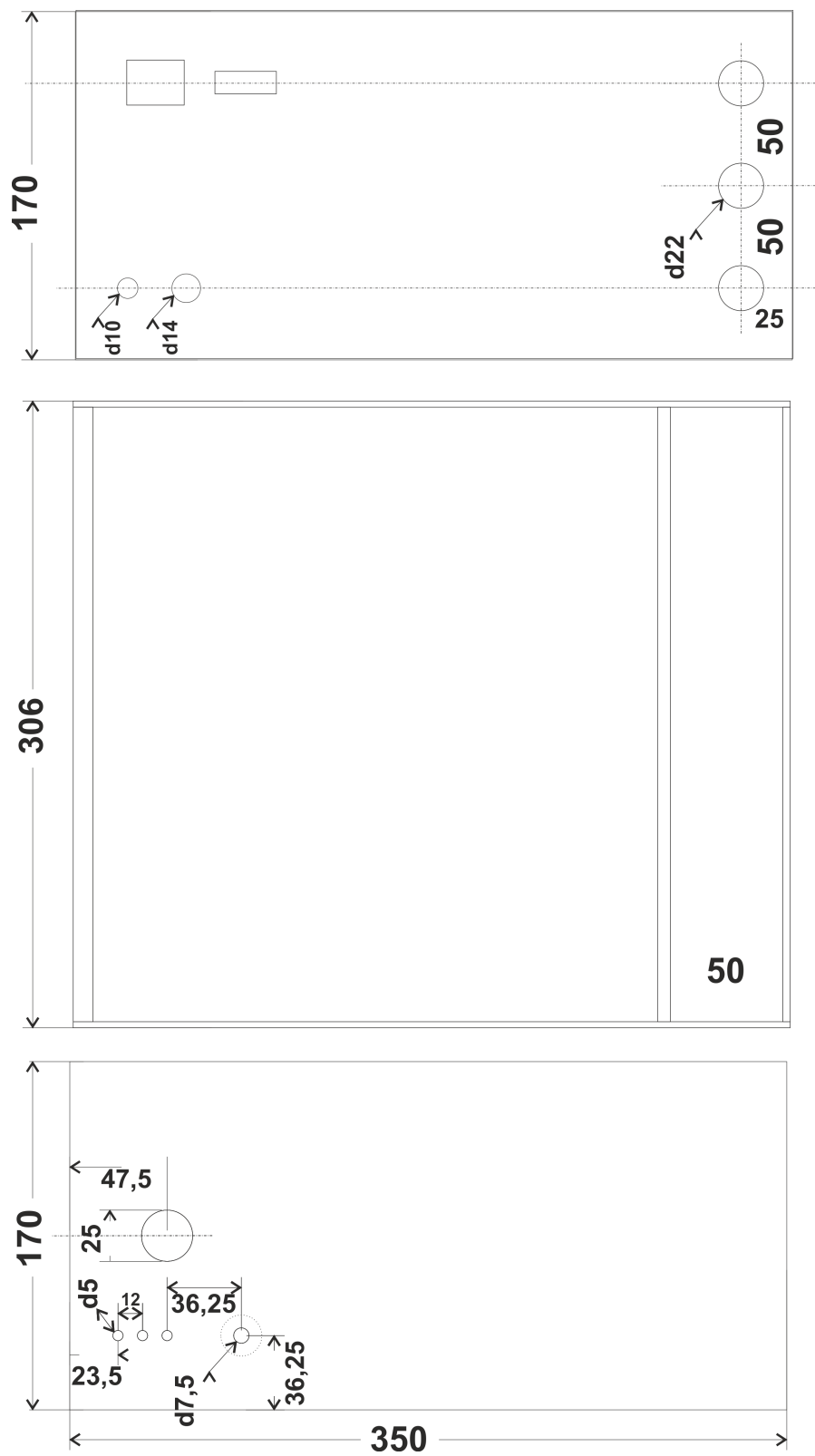
Obr. A.7: Schéma zapojení ovládací a signalizační části



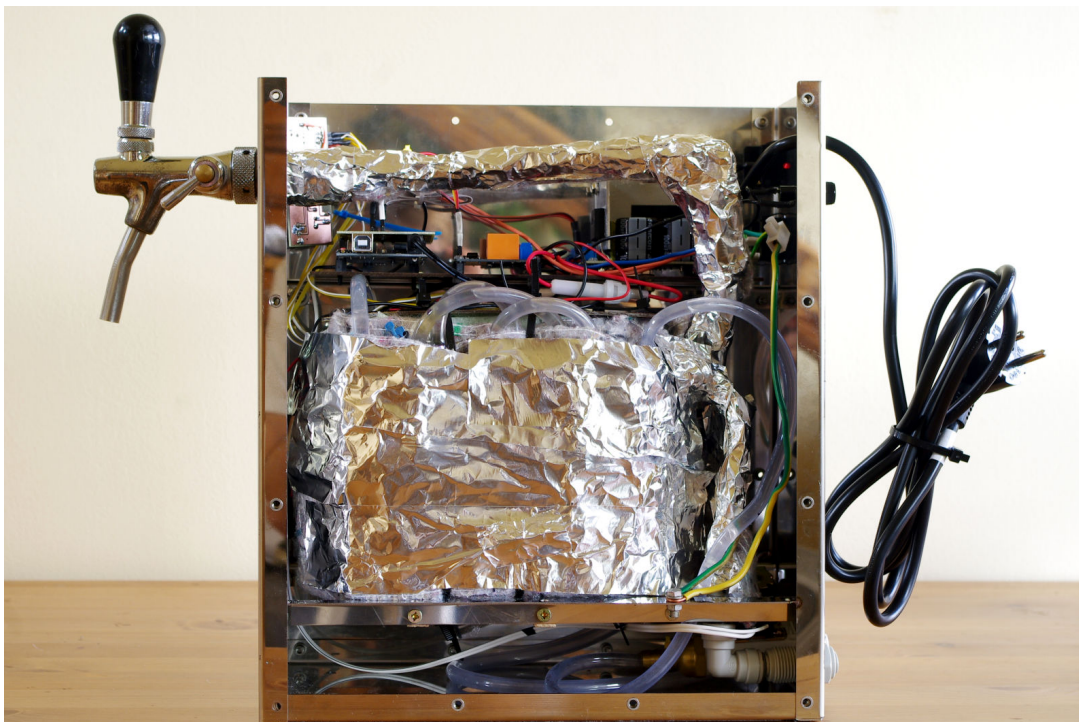
Obr. A.8: Předloha pro výrobu DPS ovládací a signalizační část



Obr. A.9: Osazovací výkres ovládací a signalizační části



Obr. A.10: Rozkreslené části kovové konstrukce



Obr. A.11: Boční pohled do nitra zařízení



Obr. A.12: Detail umístění signalizačních a ovládacích prvků



Obr. A.13: Celkový pohled na finální výrobek

## **B OBSAH PŘILOŽENÉHO CD**

- BakalarskaPrace\_xgirtl00.pdf
- ovl\_program.cpp
- fotografie.zip