



## **Středoškolská technika 2017**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Elektrická Pec Electric Furnace**

**Albert Mlčoch**

Sřední průmyslová škola Brno, Purkyňova, příspěvková organizace  
Purkyňova 2832/97, Brno

**Abstract:** This work is about practical use of electric and electronics equipment for a home metalworking workroom. The main result is an electric furnace regulated by Arduino. It is suitable for warming metals as subsequent hardening, tempering and other processing. For metals with a low melting point, it could be used as a melting furnace. The furnace is powered from a home power line.

**Keywords:** Furnace; regulation; microcontroller; thermal probe; heater.

## 1. ÚVOD

Na trhu jsou běžně dostupné regulovatelné elektrické pece v cenovém rozmezí zhruba od 12 000 Kč, kde se jedná o bazarový prodej, u nových výrobků jde minimálně o 20 000 Kč. Můj projekt si dal za cíl sestavit regulovatelnou pec pro dílenské použití za přijatelnou cenu. Nároky byly kladeny zejména na udržení požadované teploty, snadné ovládání a energetickou nenáročnost.

## 2. TEORETICKÝ ÚVOD

Metalurgie je věda a výrobní odvětví zabývající se získáváním a zpracováním kovů a jejich slitin. Má práce se zabývá výhradně procesem zahřátí materiálu na požadovanou teplotu, což je nejdůležitějším procesem v metalurgii. Cílem mé práce bylo vytvořit regulovatelnou pec, která by byla schopna udržovat požadovanou teplotu od zhruba 100 °C až do teploty 1200 °C. Pro mou aplikaci jsem zvolil metodu s odporovým topným tělesem. Její výhodou oproti jiným metodám elektrického ohřevu je mizivá parazitní indukčnost, snadná regulovatelnost a možné měření teploty pomocí běžných měřících přístrojů.

### 2.1. MATERIÁLY A KONSTRUKCE

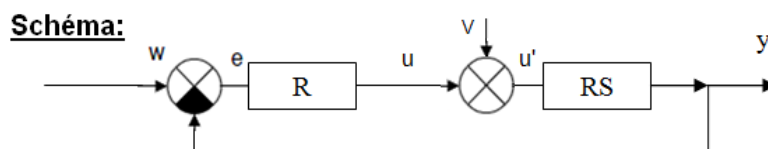
Teplota je měřena napěťovou sondou typu K (Ni-NiCr), ta je vhodná pro teploty od -40 °C do 1000 °C, krátkodobě i do 1200 °C. Při teplotách nad 1000 °C se již projevují negativní vlastnosti, tj. nižší přesnost měření a zkrácení životnosti sondy. Sonda je však relativně levná a komerčně dostupná. Pro přepočítání na stupně celsia je použit převodník MAX6675 K, jedná se o dvanáctibitový převodník s přesností na 0,25 °C, rozsah 0 až 1024 °C. Nelze tedy plně využít potenciál čidla. [1]

Topné těleso je tvořeno odporovým drátem z Kanthalu A-1, což je slitina železa, chromu a hliníku. Pracovní teplota se pohybuje okolo 1400 °C, materiál je také velmi odolný vůči korozi a jeho odpor je teplotně stabilní. [2]

Izolace musí odolávat pracovní teplotě topného tělesa, a zároveň perfektně izolovat. Nízká spotřeba je jednou z priorit projektu. Ideální jsou izolační jílové hlíny. Mezi ně se řadí šamot. Šamot je vhodným materiálem pro vyzdívkou pecí v průmyslu hutnickém, keramickém a sklářském, dále se používá k výrobě tavicích kelímků, pánví a podobně. [3] V mém případě byl použit ve formě odlehčených izolačních cihel.

## 2.2. REGULACE A ŘÍZENÍ

K regulaci je využit číslicový regulátor, ten je realizovaný procesorem ATmega328P. [4] Jeho úkolem je spínat polovodičový výkonový prvek SSR na vypočtenou dobu z pevně daného časového intervalu. Jedná se tedy o PWM modulaci.

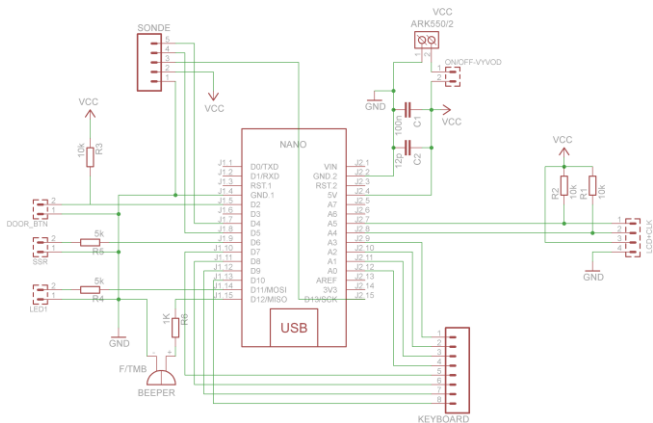


Obr. 1: Schéma jednoduchého regulačního obvodu, vlastní archiv

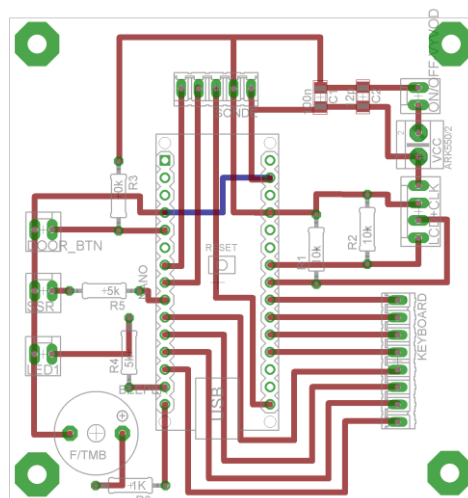
Vstupem  $w$  je zadaná požadovaná teplota,  $v$  představuje poruchy v podobě úniků tepla, regulovaná soustava  $RS$  je statická soustava druhého řádu, dopravní zpoždění zanedbáme. Výstupem regulátoru je čas sepnutí silového obvodu. Samotný regulátor je proporcionální s minimalizovanou trvalou regulační odchylkou.

## 3. SESTAVENÍ

Zaměřím se především na elektrickou a programovou část. Procesor na platformě Arduino je s ostatními obvody propojen pomocí ručně vyrobeného plošného spoje. Schéma je jednoduché, jde čistě o propojení jednotlivých komponent.



Obr. 2: Schéma plošného spoje, vlastní archiv



Obr. 3: Konstruktivní návrh, vlastní archiv

Programování proběhlo v prostředí Arduino IDE. Program sestává ze dvou hlavních smyček: nastavení a pečení. Ve smyčce nastavení lze pomocí klávesnice zadat hodnotu požadované teploty a čas pečení. Menu je jednoduché a přehledné, po potvrzení nastavení jsou na display vypsány nastavené hodnoty. Ve smyčce Pečení dochází ke spuštění topného tělesa, to vyhřeje pec na požadovanou hodnotu. Poté dá pec pípáním a blikáním LED znamení o dosažení požadované teploty. Dále udržuje teplotu a čeká na potvrzení uživatelem. Po potvrzení spustí odpočet času. Ukončení vytápění po doběhnutí času opět zvukově i světelně signalizuje. Teplotu čidlo vypisuje neustále, jde tedy sledovat i proces chladnutí.

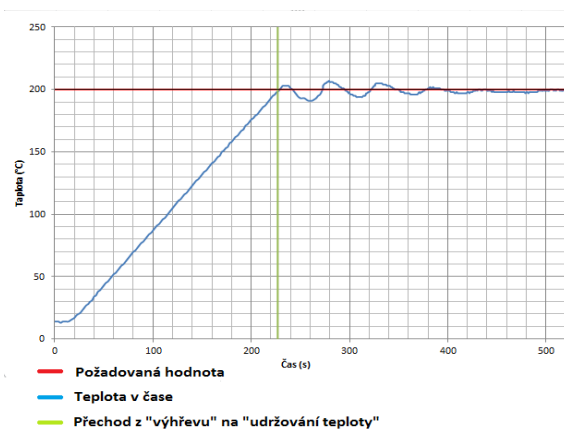
## 4. MĚŘENÍ

### 4.1. MĚŘENÍ VÝKONU

Vypočtený výkon byl, po sestavení topného tělesa, stanoven na 1706 W. Při měření skutečného výkonu odebíraného ze sítě byla ovšem naměřena hodnota výrazně nižší, 1520 W. Výrazným faktorem zde je přechodový odpor spojů a svorek. Měření proběhlo zásuvkovým měřicím přístrojem, je tedy nutné počítat i s odchylkou v řádu procent.

### 4.2. DATA Z USB

Pomocí USB rozhraní bylo možné zaznamenat a dále zpracovat teplotní závislosti. Zde uvádím naměřené hodnoty pro ohřev na 200 °C, tato hodnota je v grafu zvýrazněna červenou přímkou, zelená příмка zobrazuje čas dosažení požadované teploty, tedy i předěl mezi vyhříváním a regulací.



Obr. 4: Ohřev na 200 °C, vlastní archiv



Obr. 5: Ohřev na 750 °C, vlastní archiv

## 5. ZÁVĚR

Projekt je plně funkční a splnil očekávání. I přes to je zde možnost dalších zlepšení. Především zvýšením výkonu by došlo ke zkrácení času ohřevu, dále například vyladění regulátoru, který by rychleji odstranil výkyvy teploty.

Co se týká cenové dostupnosti, která byla za funkčnosti druhým nejdůležitějším kritériem, lze říct, že projekt dopadl výborně. Cena nepřesáhla 4000 Kč, z toho zhruba 1500 Kč za elektroniku a 2000 Kč za konstrukční materiály, především izolační cihly.

## REFERENCE

- [1] [www.mmspektrum.com](http://m.mmspektrum.com), *Měření teplot tavenin kovů* [online], © 2017, [citováno 26. 01. 2017] <http://m.mmspektrum.com/clanek/mereni-teplot-tavenin-kovu>
- [2] *Kanthal A-1 (Resistance heating wire and resistance wire)* [online], Copyright © Sandvik AB, Datasheet updated 2016-10-06 11:32:30, [citováno 27. 01. 2017] <http://www.kanthal.com/en/products/material-datasheets/wire/resistance-heating-wire-and-resistance-wire/kanthal-a-1/>
- [3] [leporelo.info](https://leporelo.info), *šamot* [online], [citováno 27. 01. 2017], <https://leporelo.info/samot>
- [4] *ARDUINO PRODUCTS > Arduino Nano* [online], ©2017 Arduino, [citováno 27. 01. 2017], <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>