



# 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

# AUTOMATIZOVANÁ PRAŽÍRNA KÁVY SE SENZORICKÝM SYSTÉMEM

AUTOMATED COFFEE ROASTER WITH A SENSOR SYSTEM

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Halaš

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Adrián Tomašov

BRNO 2023



# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

**Student:** Marek Halaš

**ID:** 221274

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Automatizovaná pražírna kávy se senzorickým systémem**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Tato práce se zaměřuje na sestavení malé přenosné automatizované pražírny kávy obohacené o senzorický systém pro zvýšení kvality výsledného produktu. Práce obnáší nastudování problematiky pražení a automatizace procesu. Výsledkem je návrh celého systému a seznam potřebných komponent. Student popíše různé alternativy a doporučí jednu optimální s adekvátním odůvodněním. V bakalářské práci student sestaví a zprovozní pražírnu dle vlastního návrhu s plně automatickým provozem. Pro vyhodnocení jednotlivých kroků pražení bude využita umělá inteligence. V rámci automatizace implementuje alespoň dva profily pro různé chutě a typy kávy.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] BAGGENSTOSS, Juerg, et al. Coffee roasting and aroma formation: application of different time-temperature conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56.14: 5836-5846.
- [2] MUMTAZ, Zain, et al. An automation system for controlling streetlights and monitoring objects using Arduino. *Sensors*, 2018, 18.10: 3178.

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 26.5.2023

**Vedoucí práce:** Ing. Adrián Tomašov

**prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**  
předseda rady studijního programu

### **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**

Cieľom tejto práce je navrhnuť a zostrojiť prenosnú pražiareň kávy so sensorickým systémom. Najskôr práca popisuje typy pražiarní a popis čo sa deje s kávovým zrnom počas praženia. Ďalšia časť je zameraná na samotný návrh, a zostrojenie. Sú tu vydiť návrhy a tiež sú tu popísané jednotlivé komponenty a ich zapojenie k vývojovej doske. Súčasťou je aj software, ktorý ovláda praženie a dokáže previesť celé praženie, od začiatku, až do konca.

## **KĽÚČOVÉ SLOVÁ**

ESP32, Arduino, Káva, Pražiareň kávy, Sensory

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to design and build a portable coffee roaster with a sensory system. First, the work describes the types of roasters and a description of what happens to the coffee beans during roasting. The next part is focused on the actual design and construction. Designs are given here, and individual components and their connection to the development board are also described here. It also includes software that controls roasting and can perform the entire roasting process, from start, to finish.

## **KEYWORDS**

ESP32, Arduino, Coffee, Coffee roaster, Sensors



HALAŠ, Marek. *Automatizovaná pražírna kávy se senzorickým systéme*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2023, 55 s. Bakalárska práca. Vedúci práce: Ing. Adrián Tomašov



## Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

**Meno a priezvisko autora:** Marek Halaš  
**VUT ID autora:** 221274  
**Typ práce:** Bakalárska práca  
**Akademický rok:** 2022/23  
**Téma záverečnej práce:** Automatizovaná pražírna kávy se senzorickým systéme

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.



## POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedoucemu bakalárskej práce panovi Ing. Adrianovi Tomašovi, za odborné vedenie, konzultácie, pomoc pri výbere komponentov, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci. Ďalej by som sa chcel poďakovať svojim rodičom, za psychickú a aj technickú podporu. Tiež by som sa chcel poďakovať Fakulte strojného inžinierstva a Fakulte výtvarných umení, za pomoc pri zváraní a úprave materiálu. Ďalej by som sa chcel poďakovať Fakulte elektrotechniky a komunikačných technológií za financovanie tejto práce. Tiež by som chcel poďakovať aj pražiarni MotMot, za kávové zrná a pomoc po technickej strane. V závere sa chcem poďakovať všetkým, ktorý mi pomohli s drobnými vecmi, ako sú napríklad rady na vyladenie pražiarne alebo pomoc s prevozom.



# Obsah

Úvod	17
<b>1 Pražička</b>	<b>19</b>
1.1 Bubnové pražičky . . . . .	19
1.2 Vzduchové pražičky . . . . .	19
<b>2 Praženie</b>	<b>23</b>
2.1 Priebeh praženia . . . . .	23
2.2 Typy praženia. . . . .	24
2.3 Hodnotenie praženia – cupping . . . . .	26
<b>3 Návrh pražičky</b>	<b>27</b>
3.1 Návrh pražiaceho bubna . . . . .	27
3.2 Návrh chladičky . . . . .	29
<b>4 Výber materiálu a komponentov</b>	<b>31</b>
4.1 Bubon . . . . .	31
4.2 Topné teleso . . . . .	32
4.3 Motor . . . . .	32
4.4 Modul PWM regulátoru . . . . .	33
4.5 Modul ôsmich relé . . . . .	33
4.6 Vývojová doska . . . . .	33
4.7 Ventilátory . . . . .	34
4.8 Senzory . . . . .	35
4.8.1 Teplotný senzor . . . . .	35
4.8.2 Zvukový senzor . . . . .	36
4.9 Úložisko . . . . .	36
<b>5 Zapojenie a komunikácia s programom</b>	<b>37</b>
5.1 Zapojenie všetkých relé k vývojovej doske . . . . .	37
5.2 Topné teleso . . . . .	38
5.3 Zapojenie ventilátorov . . . . .	38
5.4 Zapojenie motora . . . . .	39
5.5 Zapojenie modulu MAX6675 . . . . .	40
5.6 Zapojenie modulu čítačky micro SD kariet . . . . .	41
<b>6 Ovládanie celého praženia s programom</b>	<b>43</b>
<b>7 Konštrukcia pražiarne</b>	<b>45</b>

<b>8 Výber zrn a hodnotenie praženia</b>	<b>47</b>
8.1 Testovacie zrná . . . . .	47
8.2 Prvé praženie . . . . .	47
<b>Záver</b>	<b>49</b>
<b>Literatúra</b>	<b>51</b>
<b>Zoznam symbolov a skratiek</b>	<b>53</b>
<b>A Obsah elektronickej prílohy</b>	<b>55</b>

# Zoznam obrázkov

1.1	Princíp praženia pražičkou typhon. Obrázok prevzatý z [5]. . . . .	20
1.2	Pražička typhon model 2.5. Obrázok prevzatý z [6]. . . . .	21
2.1	Farby zrn podľa typu praženia. Obrázok prevzatý z [4]. . . . .	25
2.2	Ako vyzerá cupping. Obrázok prevzatý z [3]. . . . .	26
3.1	Návrh pražičky z predného pohľadu. . . . .	27
3.2	Návrh pražičky z bočného pohľadu. . . . .	28
3.3	Návrh chladičky z bočného pohľadu. . . . .	29
3.4	Pohľad z hora na chladičku zrn. . . . .	30
4.1	Topné teleso ako zdroj ohrevu. Obrázok prevzatý z [9]. . . . .	32
4.2	Motor na otáčanie bubna. . . . .	32
4.3	Modul PWM regulátora. . . . .	33
4.4	Modul ôsmich relé. . . . .	33
4.5	Piny ESP32-DevKitC 38pin. Prevzaté z [11]. . . . .	34
4.6	Naľavo ventilátor k chladičke, napravo k pražiarni. . . . .	35
4.7	Termočlánok typu K a modul MAX6675. . . . .	36
4.8	Modul čítačky micro SD kariet. . . . .	36
5.1	Celé zapojenie. . . . .	37
5.2	Zapojenie relé modulu k ESP. . . . .	38
5.3	Zapojenie motora cez relé a pwm modul. . . . .	39
5.4	Zapojenie modulu MAX6675 k ESP. . . . .	40
5.5	Zapojenie modulu čítačky micro SD kariet. . . . .	41
7.1	Celá pražiareň. . . . .	45
7.2	Vnútro pražiaceho bubna. . . . .	46
7.3	Výhrev pražiaceho bubna topným telesom. . . . .	46
8.1	Znázornenie chyby počas praženia. . . . .	48
8.2	Vľavo bubon naklonený k motoru. Vpravo bubon naklonený k upína- ciemu ložisku. . . . .	48



# Úvod

V poslednej dobe sa kávový trh posunul smerom k lepšiemu. Konzumenti sa začali v kávových chutiach orientovať a začali vyhľadávať výberové kávy. Milovníci výberovej kávy si pripravujú svoje nápoje na kávových setoch, ktoré môžu dosahovať cenu aj 3 000€. Avšak títo konzumenti sa stále musia spoliehať na pražiarene. Výberové kávy sa pražia v pražiarniach na pražiacich strojoch, ktoré presahujú cenu 20 000€. Trh ponúka aj malé pražičky do domácností, ktoré pražia 150 gramov kávy a ich cena dosahuje 5 000€. Tieto pražičky sú dosť drahé a neponúkajú veľa možnosti úprav praženia. Toto praženie je veľmi nepresné a kávové zrná majú stále podobnú chuť. Hlavným cieľom tejto práce je zostrojiť celú pražičku kávy so senzorickým systémom. Aby pražiareň bola kvalitná je hlavné v prvom rade pochopiť teóriu praženia. V prvých dvoch častiach sú popísané typy pražičiek a samotný priebeh praženia. V tretej kapitole je popísaný samotný návrh, ktorý je rozdelený na dve časti. Časť ktorá je zameraná na pražičku a časť, ktorá je zameraná na chladičku. Vo štvrtej kapitole je popísaný výber materiálu a komponentov, ktoré sú použité v samotnej pražiarni. V ďalšej kapitole je popísaný spôsob zapojenia a komunikácia s programom. V šiatej kapitole je popísané celé ovládanie pražiarene a komunikácia s programom. V ďalšej kapitole je popísaná celá konštrukcia pražiarene. V poslednej kapitole je popísaný problém ktorý nastal počas praženia. Súčasťou je aj teoretický návrh riešenia tohto problému.



# 1 Pražička

V 15. storočí sa káva konzumovala len ako odvar zeleného zrna. Podľa legendy sa začalo kávové zrno pražiť až po tom, čo vznikol požiar, pri ktorom obhoreli aj kávovníky. Všetkých uchvátila vôňa obhoreného zrna a tu začala cesta praženia. Dnes máme veľké množstvo pražičiek od malých až po veľké. Ale sú len dva základné typy pražičiek: vzduchové a bubnové.

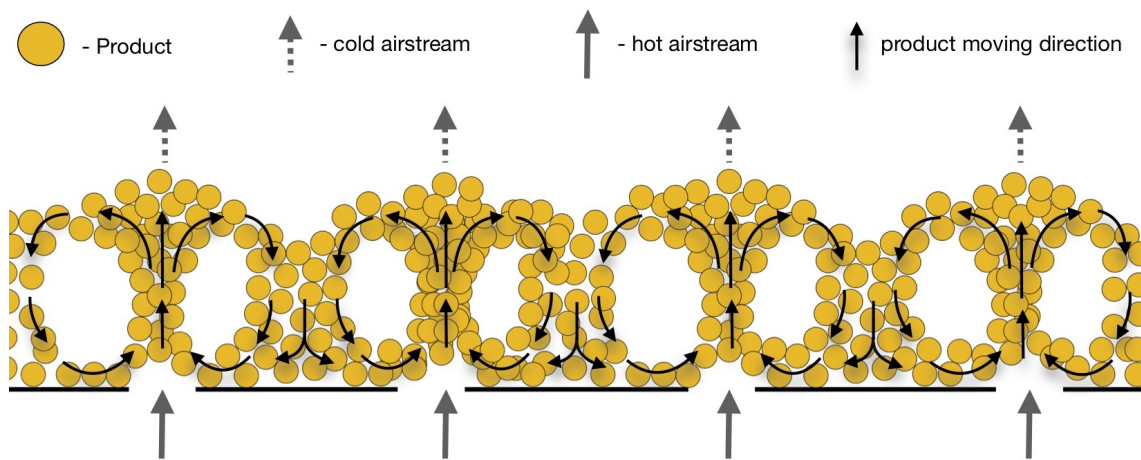
## 1.1 Bubnové pražičky

Tieto pražičky sa používajú po celom svete. Praženie týmto spôsobom by sa dalo rozdeliť na dve časti. Praženie kondukciou a praženie konvekciou. Praženie tvorí primárne kondukcia, tvorí až 70 % praženia. Nastáva pri dotyku zrna o bubon, ktorý je horúci. Zvyšných 30% tvorí konvekcia. Zrno sa praží vplyvom horúceho vzduchu, ktorý okolo neho prechádza. Pražičky sa skladajú z bubna, ktorý sa otáča rýchlosťou 40–70 otáčok za minútu. Uprostred tohto bubna sa nachádzajú lopatky, ktoré neustále miešajú kávu. Takisto sa tu nachádzajú aj rôzne senzory, aby pražiar vedel, čo má upraviť. Každá pražička by mala mať aj svoj vlastný software, pomocou ktorého môže pražiar upravovať rôzne parametre ako sú teplota, prísun vzduchu, rýchlosť otáčania bubna a dobu praženia. Káva sa praží od 10 minút, kedy nastáva prvé praskanie až do 18 minút, kedy nastáva druhé praskanie. Tento čas sa môže trochu odlišovať v závislosti od veľkosti pražičky a od vybraného zrna. Tieto pražičky majú aj zopár nevýhod. Jednou z nich je roztriešenie zrna. Počas praženia stúpa v zrne tlak, a ak je tento tlak veľký a v tom momente narazí zrno do lopatky, môže sa roztrieštiť. Ďalšou nevýhodou je oblastné prepálenie. Keďže sa tu praží najmä pomocou kondukcie, tak občas je zrno dlhšiu dobu na bubne a trochu sa prepáli [2].

## 1.2 Vzduchové pražičky

Menej sa používajú vzduchové pražičky. Doba praženia tejto kávy je výrazne kratšia ako u bubnovej pražičky. Na jednu stranu je to rýchlejšie, ale naopak na druhú stranu nemá pražiar toľko možností upraviť praženie a nájsť potenciál zrna. Prevrat spravila česká pražička od spoločnosti Typhoon. Vytvorili novú pražičku, ktorá praží zrná výhradne pomocou konvekcie. Model typhoon 2.5 je možné vidieť na obr. 1.2. Zo spodu prúdi do valca veľmi silný a teplý vzduch. Princíp tohto praženia je možné vidieť na obr. 1.1. Tu nastávajú výhody a nevýhody. Jedinou nevýhodou je, že každé zrnko kávy má inú hmotnosť a veľkosť, preto sa musí vždy nájsť optimálna sila prúdenia vzduchu, aby sa zrná stále točili. Táto pražička má software, pomocou ktorého si vie zapamätať minulé praženia. Takže ak sa už raz nejaká káva pražila, tak sa už

vie prúdenie prispôbiť. Túto malú nevýhodu prevažuje veľa výhod. Jednou z nich je minimalizácia defektov, ktoré vznikajú počas praženia. Tým, že zrno naráža maximálne do ďalšieho zrna, tak sa znižuje šanca na roztriešenie. Ďalšia výhoda je, že tu nieje takmer žiadna kondukcia a zrno sa neprepaľuje. Táto pražička vie znížiť počet týchto defektov o 70 percent. Veľkou výhodou je zmena teploty zo sekundy na sekundu. Zatiaľ čo u bubnových pražičiek bol bubon nahriaty a nedal sa behom sekundy zchladit' alebo ohriať napr. o 5°C, tu je to možné. Tým že sa dá teplota prúdu meniť v reálnom čase, tak má pražiar viac možností upravovať profily kávy [5].



Obr. 1.1: Princíp praženia pražičkou typhon. Obrázok prevzatý z [5].



Obr. 1.2: Pražička typhon model 2.5. Obrázok prevzatý z [6].



## 2 Praženie

Praženie je proces, pri ktorom sa zrno v podstate len suší. Ale je zatým oveľa viac. Z kávového zrna je vždy cieľom zvýrazniť jedinečnú chuť. Toto však závisí od každého malého detailu v priebehu praženia a spôsobe praženia.

### 2.1 Priebeh praženia

Či sa už používa vzduchová pražička alebo bubnová, priebeh praženia je podobný. Popstupnosť fáz je stále rovnaká len nastávajú v iných časových intervaloch.

Praženie prebieha v týchto fázach:

**Predhriatie bubna** Na začiatku sa predohreje bubon. Keď teplota uprostred bubna dosiahne teplotu 185°C, tak sa do bubna nasypú kávové zrná ktoré majú izbovú teplotu 23°C.

**Drop.** Keďže vsypané zrná majú len izbovú teplotu, tak hneď po vsypaní začnú tieto zrná nasávať teplo z pražičky. Keď zrná nasiaknu všetko teplo do seba, tak vzniká tkz. drop teploty. Tento drop ide až na 60-80°C záleží od odrody a veľkosti zrna.

**Sušenie.** V tejto fáze začína rýchlo vzrastať teplota a káva sa začína sušiť. Počas tohto sa v kávovom zrne otvoria póry a začne sa cez ne vyparovať vlhkosť. Tu je dôležité, aby teplota nestúpala veľmi pomali, inak by bola v zrne stále veľká vlhkosť a káva by mala trávovú chuť, čo je nežiaduce. A zároveň nemôže teplota stúpať veľmi rýchlo inak by sa spálila. Táto fáza končí, keď teplota presiahne 150°C. V tomto rozmedzí musí klesnúť vlhkosť zrna z pôvodných 12% na 3-4% [2].

**Maillardova reakcia.** Počas praženia vzniká veľmi veľa chemických reakcií. Zelené zrná majú približne 7-8 percent cukrov. V tejto fáze sa vytvorí reakcia medzi cukrami a aminokyselinami, ktorá sa nazýva Maillardova reakcia. Táto reakcia má najväčší vplyv na výslednú chuť a vôňu kávy. Káva tu začína karamelizovať a začína byť cítiť príjemná kávová vôňa. Počas tejto reakcie vzniká aj kyselina octová, ktorá je zodpovedná za príjemnú kyslosť v káve. Počas tejto reakcie vznikajú aj nechcené látky ako akrylamid. Našťastie sa po prvom praskaní začne vyparovať a zníži sa na minimálne množstvo [7].

**Prvé prasknutie.** Prvé praskanie má zvuk pripomínajúci praskanie puknacov. Nastáva kvôli hromadiacej sa pare a čiastočne aj oxidu uhličitého. Tieto plyny nevedeli uniknúť počas sušenia a zachytili sa v útrobach zrna. Para už nemá viac miesta na hromadenie, a tak uniká cez celulózu. Tento rýchly únik pary je sprevádzaný hlasným prasknutím, ktoré zároveň aj rozbije a zväčší štruktúru

zrna. Kávové zrna sa môže zväčšiť až o 50 percent. Počas tejto a predchádzajúcej fáze sa zo zrna odlupuje veľmi tenká šupina. Preto musí byť ventilácia dostatočná, aby šupiny nezostali v bubne a nezačali sa páliť. Ak by sa spálili, káva by nasiakla dym a zničilo by to kvalitu zrna. Je dôležité si poznačiť čas prvého prasknutia, pretože ovplyvňuje zvyšnú dobu praženia. Tento čas sa označuje ako  $t_{fc}$  [14].

**Vývoj zrna.** Nasleduje vývoj zrna. V tejto fáze káva síce vyzerá, že je upražená, ale vnútri je ešte zrno surové a chute niesu rozvynuté a vyvážené. Dĺžka tohto vývoja je individuálna. Záleží aký typ praženia použijeme a aké chute chceme rozvynúť [2]. Viac v kapitole 2.2.

**Druhé prasknutie.** Táto fáza väčšinou nenástava. Je to preto, lebo v čase druhého prasknutia káva už stratí všetku kyslosť a je veľmi horká. Zrno sa tu začína prepalovať a púšťa na povrch oleje. Tu už môže nejaké zrno aj začať horieť. Ale niekomu to tak vyhovuje. Ako sa hovorí „Sto ľudí, 100 chutí“.

**Ukončenie praženia a ochladenie kávy.** Keď je káva dostatočne rozvynutá, praženie je u konca. Tu je dôležité, aby sa káva čo najrýchlejšie ochladila a zastavil sa vývoj. Využíva sa k tomu nádoba, v ktorej sa káva neustále mieša a zospodu prúdi studený vzduch.

**Rozvynutie zrna.** Keď sú zrná ochladené do izbovej teploty, sa premiestnia do otvorených boxov, kde sa nechajú rozvinúť. Rovnomerne sa tu rozložia všetky chute a ešte viac sa zvýraznia. V otvorených boxoch býva približne 24-30 hodín. Následne sa dá do menších uzatvorených balíčkov, kde sa ešte rozvíja ďalší týždeň. Zo zrna stále vychádza oxid uhličitý, preto je nutné, aby balíčky mali otvor na výstup tohto plynu. Avšak nemôže do balíčku vstupovať vzduch z vonku. Káva má najlepšiu chuť a vôňu v období od 7 až do 16 dní od upraženia. Záleží aj od spôsobu prípravy.

## 2.2 Typy praženia.

Typ praženia nám určí výslednú chuť, telo, aciditu, horkosť a dochuť kávy. Poznáme niekoľko typov praženia od úplne svetlého až po úplne tmavé. Veľmi svetlé praženie preferujú najmä severné krajiny, naopak, veľmi tmavé je napoužívané vo Francúzsku a Taliansku. Farby zrn podľa typu praženia sú zobrazené na obr. 2.1.

**Cinnamon.** Tento typ praženia sa ukončuje v priebehu prvého praskania alebo ešte pred ním. Táto káva má veľmi slabé telo, aciditu a je trochu trpké. Takto upražená káva môže mať aj negatívny vplyv na zdravie. Je to tým, že počas Maillardovej reakcie vzniklo veľa akrylamidu a keďže sa nepražilo ďalej, tak sa nevyparilo.

- City.** Tento typ upraženej kávy má krásnu hnedú farbu. Tohto praženia dosiahneme tak, že vývojová fáza nám trvá približne 13% času  $t_{fc}$ . Takto upražená káva sa používa väčšinou na filter. Má slabšie telo, je sladká, má výraznú aciditu a v chuti nám prevládajú najmä ovocné chute a chute kvetov.
- City+.** Je to asi najpoužívanejší typ praženia. Zrno je o niečo málo tmavšie ako city a je ideálne na espresso, ale zároveň dobré aj pre filter. Vývoj u tohto typu je do 25%  $t_{fc}$ . Tým, že vývoj trvá dlhšie, káva má mohutnejšie telo a trochu slabšiu aciditu. Tento typ praženia je akýsi stred. V pozadí je stále cítiť ovocie, ale už prevládajú chute čokolády, perníka a orieškov.
- Full city.** Toto praženie sa ukončuje tesne pred druhým praskaním. Tieto zrná majú veľmi silné telo a minimálnu aciditu. V chuti už nenájdeme ovocie, ale cítime už len čokoládu, oriešky a karamel. Takto upražená káva sa používa už len na espresso. Počas extrakcie kávy z týchto zrn sa uvoľňujú aj olejové škvrnky.
- Dark.** Tento typ praženia sa používa najmä vo Francúzsku a v Taliansku. Praženie sa zastavuje počas druhého praskania. Toto zrno je už úplne tmavé a celé od oleja. Telo je veľmi silné, ale už sa tu nič potenciál kávy. V tejto káve už nie je cítiť žiadna acidita, ale je veľmi trpká. Prevláda už len chuť horkej čokolády. Tu už cítime aj nežiaduce chute ako sú guma, dym, popol alebo tabak. V pražiarňach, čo pražia výberovú kávu nájdeme málokedy takto upraženú kávu. Naopak, takýmto spôsobom pražia komoditné pražiarne. Keďže kupujú nekvalitné alebo menej kvalitné zrná, ktoré majú nežiaduce chute, pražia ich pražia až na tento typ praženia. To preto, aby sa tieto defekty „stratili“ [1].



Obr. 2.1: Farby zrn podľa typu praženia. Obrázok prevzatý z [4].

## 2.3 Hodnotenie praženia – cupping

Keď sa praží nová káva, nikdy sa nevie, aký je najlepší profil. Preto sa káva upraží podľa niekoľkých profilov. Keď je táto káva upražená podľa viacerých profilov a je už aj plne rozvynutá, nasleduje cupping. Pri cuppingu sa postupuje podľa inštrukcií a zapisujú sa každé poznatky ako napr. suchá vôňa, mokrá vôňa, prvý dojem z ochutnania, dochuť, atď.. Týmto by sme mali nájsť optimálny profil praženia. Samozrejme, môže nasledovať ďalšie praženie, kde budú len minimálne zmeny v priebehu praženia. Týmto postupom sa nájde najlepší profil praženia, kde z kávového zrna dostaneme maximum. Cupping môže vyzeráť ako na obr. 2.2.



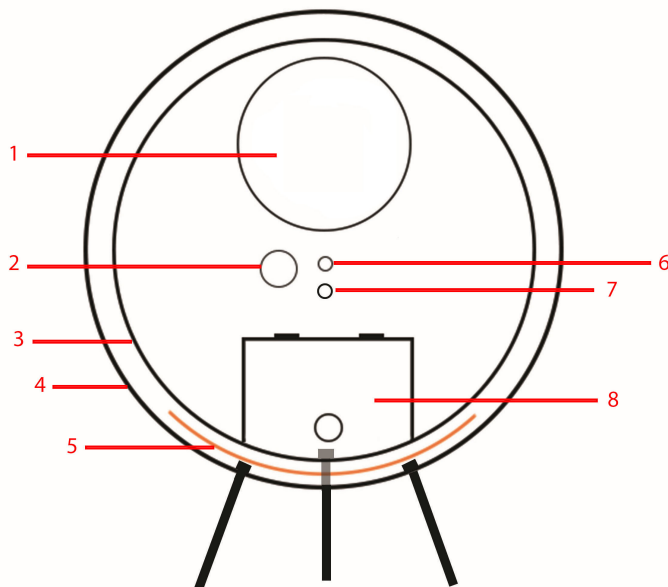
Obr. 2.2: Ako vyzerá cupping. Obrázok prevzatý z [3].

### 3 Návrh pražičky

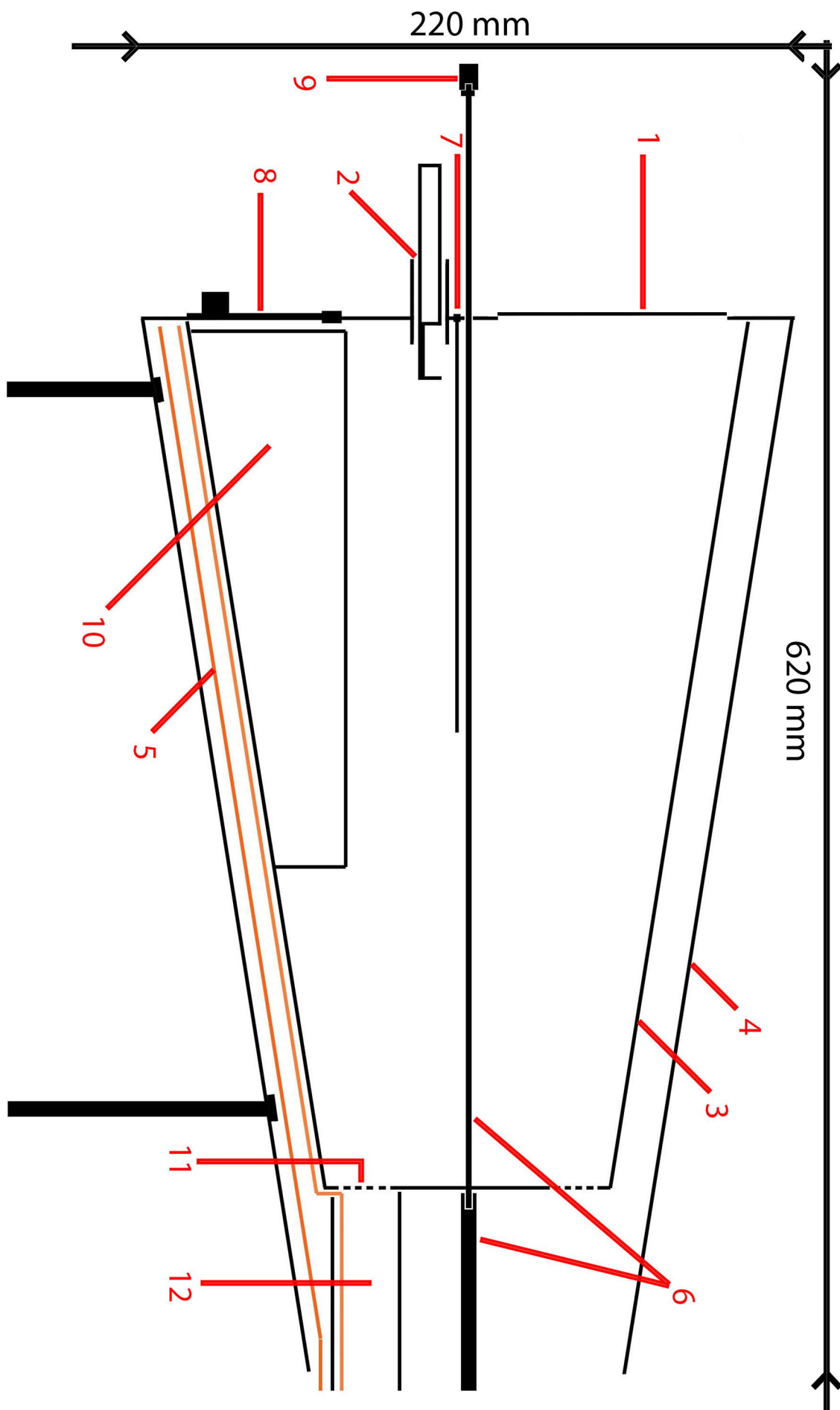
Každé zrná po upražení potrebujú rýchlo ochladiť, preto musí byť zhotovená aj chladička. Tento návrh je rozdelený na návrh pražičky a návrh chladičky.

#### 3.1 Návrh pražiaceho bubna

Tento návrh sa skladá z dvoch bubnov uložených v sebe. V strednom bubne sa praží káva. Tento bubon je z jednej strany otvorený a z druhej strany je čelo, v ktorom sú však výrezy ktoré majú veľkosť 1 mm. Týmito výrezmi prúdi vzduch z ventilátora ktorý je umiestnený pred bubnom. Po vnútorných stenách tohto bubna sú umiestnené štyri lopatky, pomocou ktorých sa káva mieša. Uprostred tohto bubna sa nachádza senzor teploty. Druhý bubon je väčší, na spodnej časti je umiestnené topné teleso. Na tento bubon je pripevnené hlavné čelo, na ktorom sa nachádza otvor pre sypanie kávy. Tento otvor zároveň slúži na vyfukovanie vzduchu a šupín z praženia. Na tomto čele sa tiež nachádza otvor ktorým sa káva sype von. Aby sa tieto zrná sypali von, bol zvolený uhol vnútorného bubna 9°. Celá pražiareň je postavená na troch nohách. Cez oba bubny je vedená závitová tyč, ktorá je z jednej strany pripevnená k motoru a z druhej strany je pripevnená k upínaciemu ložisku. Toto nám zmenší záťaž na motor a udrží vnútorný bubon v strede. Tento návrh je možné vidieť na nasledujúcich obrázkoch. Pohľad z boku je na obr. 3.2 a pohľad z predu je na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Návrh pražičky z predného pohľadu.



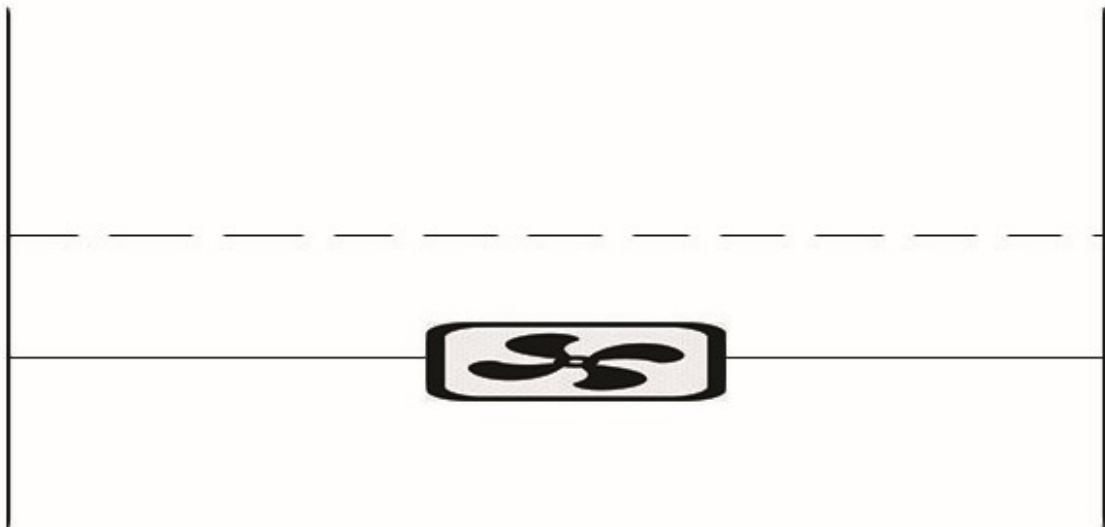
28  
Obr. 3.2: Návrh pražičky z bočného pohľadu.

Popis častí pražiarne:

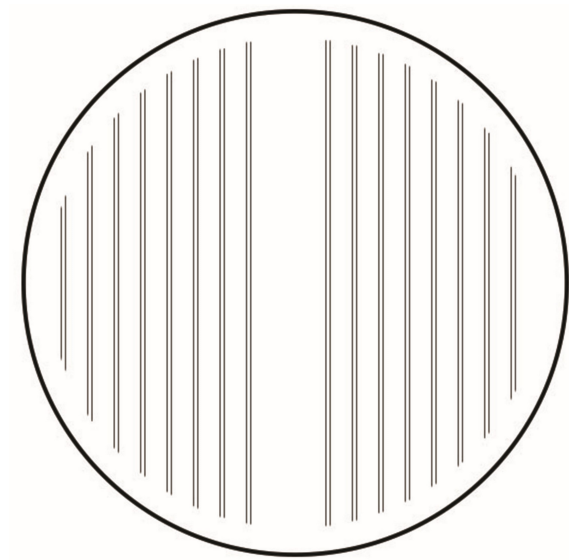
1. otvor na vsypanie kávy a vyfukovanie šupín,
2. otvor na kontrolu praženia,
3. vnútorný bubon,
4. vonkajší bubon,
5. topné teleso,
6. vodiaca tyč k motoru,
7. termočlánok typu K,
8. otvor na vsypanie kávy,
9. upínacie ložisko na vodiacu tyč,
10. lopatka na miešanie kávy,
11. menšie čelo vnútorného bubna s dierami,
12. valec na prúdenie vzduchu do bubna.

## 3.2 Návrh chladičky

Chladička bude samostatná, teda nebude pevne spojená s pražičkou. Chladička sa skladá z jedného valca a dvoch patier plechu. V hornom patre sú vyrezané pásy, ktorými prúdi vzduch. Tieto diery majú šírku 2mm, tak aby neprepadlo upražené zrno. Pod týmto patrom sa nachádza ďalšie, kde je pripevnený ventilátor, ktorý bude zrná zo spodu ochladzovať. Väčšie pražiarne majú v chladičkách zabudovaný motor s lopatkami, ktoré kávu pri chladení miešajú. Avšak pri takomto malom množstve kávy to nie je nutné. Tento návrh je možné vidieť na obr.3.3 a pohľad zhora je možný vidieť na obr. 3.4.



Obr. 3.3: Návrh chladičky z bočného pohľadu.



Obr. 3.4: Pohľad z hora na chladičku zrn.

## 4 Výber materiálu a komponentov

Počas výberu materiálu je dôležité poznať správanie celej pražiarne, aby sa vedeli zvoliť vhodné komponenty. Ak by bol nejaký z komponentov nedostatočný alebo veľmi silný, utrpelo by tým celé praženie.

### 4.1 Bubon

Oba bubny sú tvorené rovnakou oceľou, konkrétne za studena lisovanou oceľou 1.4301. Je to oceľ s veľmi dobrou odolnosťou voči vodnej pare. Celá pražička bude spojená zvaraním. Zváratelnosť elektrickým oblúkom pri použití všetkých metód zvarovania je veľmi dobrá [8]. Táto oceľ je navyše leštená. Je to kvôli tomu, aby sa znížilo trenie pri dotyku zrna o bubon. Veľkosť bubna je určená na základe množstva kávy, ktorá sa bude pražiť. Bubon by mal byť zaplnený maximálne do 2/7. Je nutné počítať s tým, že zrno počas praženia zväčší svoj objem o 25-50 % v závislosti od zrna. Táto vlastnosť bola overená pri kávových zrnách z pražiarne Motmot (viac o tomto overení v kapitole 8.1). 400 gramov upražennej arabiky má objem maximálne 1 liter. Na základe toho je zvolená veľkosť bubna o objeme 6,5 litra. Strana u motora bude mať priemer 9 cm, druhá strana bude mať priemer 18 centimetrov a teda dĺžka tohto bubna na základe zvoleného uhla 9 stupňov bude 27 centimetrov. Objem tohto bubna sa vypočítal nasledovne:

Objem kužela s podstavou 18 centimetrov a uhlom 9 stupňov je:

$$V_1 = \frac{1}{3}\pi r^2 v, \quad (4.1)$$

$$V_1 = \frac{1}{3}\pi 18^2 93, \quad (4.2)$$

$$V_1 = 7,9l. \quad (4.3)$$

Objem kužela s podstavou 9 centimetrov a uhlom 9 stupňov je:

$$V_2 = \frac{1}{3}\pi 9^2 66, \quad (4.4)$$

$$V_2 = 1,4l. \quad (4.5)$$

Pri odčítaní týchto dvoch hodnôt sa získa objem pražiaceho bubna

$$V = V_2 - V_1, \quad (4.6)$$

$$V = 7,9 - 1,4, \quad (4.7)$$

$$V = 6,5l. \quad (4.8)$$

## 4.2 Topné teleso

Väčšina pražičiek ako zdroj ohrevu používa plyn, ktorý sa zmesuje so vzduchom. Avšak v poslednej dobe sú viac a viac populárne elektrické pražičky. Zdrojom ohrevu u tejto pražičky je topné teleso. Jedná sa o špirálu, ktorá je izolovaná v keramických korálikoch, aby sa zamädzilo dotyku s povrchom bubna. Táto špirála má výkon 2000W. Toto topné teleso je upevnené na spodnej stene vonkajšieho bubna. Tým že sa bude vnútorný bubon stále otáčať, teplo bude rozvíjané rovnomerne. Zároveň toto topné teleso bude vedené aj do časti kadiaľ prúdi vzduch do vnútorného bubna.



Obr. 4.1: Topné teleso ako zdroj ohrevu. Obrázok prevzatý z [9].

## 4.3 Motor

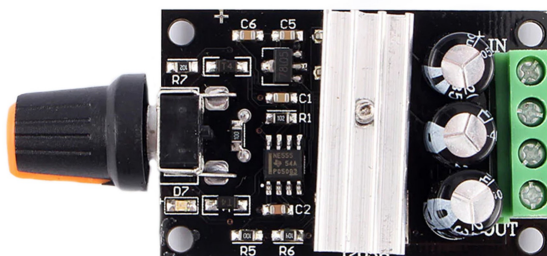
V celej pražičke je len jeden motor. Maximálne vstupné napätie tohto motora je 24V a maximálny prúd 3A. Výkon tohto motora je obmedzený kovovou prevodovkou v pomere 150:1 a výsledný výkon je 6W [10].



Obr. 4.2: Motor na otáčanie bubna.

## 4.4 Modul PWM regulátoru

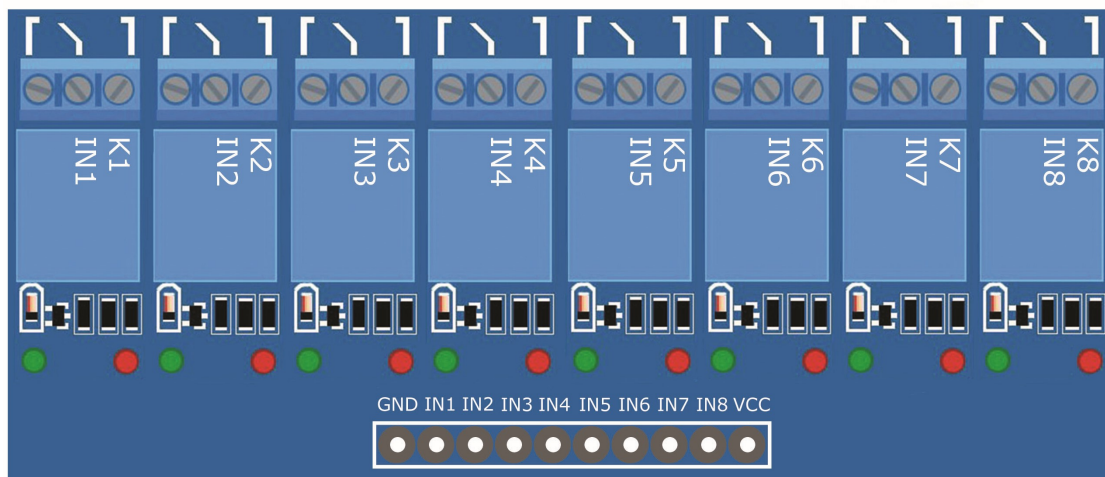
Dôležité je, aby sa dala meniť rýchlosť otáčania motora. Pre toto ovládanie tejto rýchlosti je zvolený modul PWM regulátoru. Tento modul regulovať napätie od 6V do 28V. Maximálna záťaž tohto modulu je 3A.



Obr. 4.3: Modul PWM regulátora.

## 4.5 Modul ôsmich relé

Celá pražiareň sa skladá z niekoľkých zdrojov napájania. Každý komponent sa zapína v len určitom čase. Pre zapnutie a vypnutie sa využíva modul ôsmich relé.

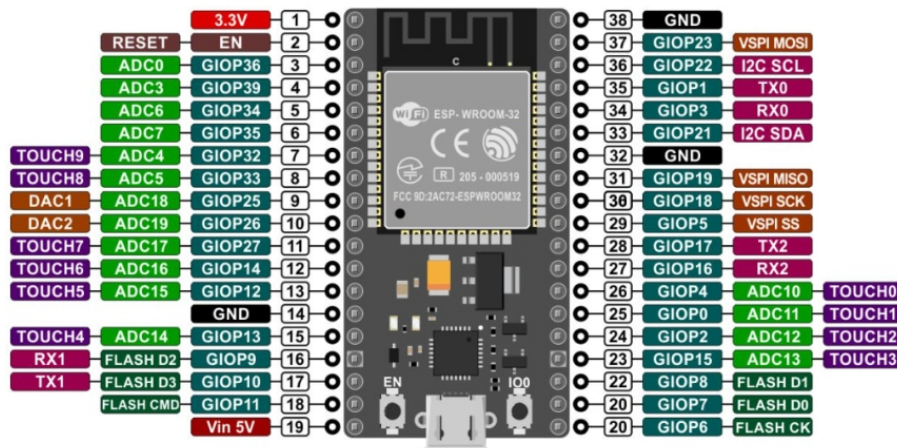


Obr. 4.4: Modul ôsmich relé.

## 4.6 Vývojová doska

Keďže je potrebné mať kontrolu nad pražením, je nutné mať program, v ktorom sa nastavuje celý priebeh praženia. Zároveň tu musí byť možnosť sledovať praže-

nie, prípadne upravovať priebeh praženia. Pre tento účel je vybraný mikrokontroler ESP32-DevKitC 38pin. Tento mikrokontroler obsahuje 34 GPIO pinov. Využíva dvojjadrový procesor s frekvenciou až do 240MHz. Ďalej má 4MB internú flash pamäť pre uloženie kódu [11]. ESP a jeho jednotlivé piny je možné vidieť na obr. 4.5.



Obr. 4.5: Piny ESP32-DevKitC 38pin. Prevzaté z [11].

## 4.7 Ventilátory

V celej pražiarni sa nachádzajú dva ventilátory, jeden v chladičke a jeden v pražičke. V strede spodného patra pražičky sa nachádza silnejší ventilátor. Konkrétne Ebmpapst 3218 JN. Ide o ventilátor, ktorý sa napája zo zdroju 48V. Tento ventilátor má rýchlosť otáčania 6000 za minútu a dokáže pretlačiť až 130m<sup>2</sup> za hodinu. Vďaka tomuto budú upražené zrná schladené veľmi rýchlo [12]. Druhý ventilátor sa nachádza pred pražiacim bubnom. Tento ventilátor je slabší, aby veľmi neochladil pražičku, ale zároveň aby pretlačil vzduch cez rotujúci bubon. Je napájaný zo zdroju 12V a má rýchlosť otáčania 1400 za minútu.



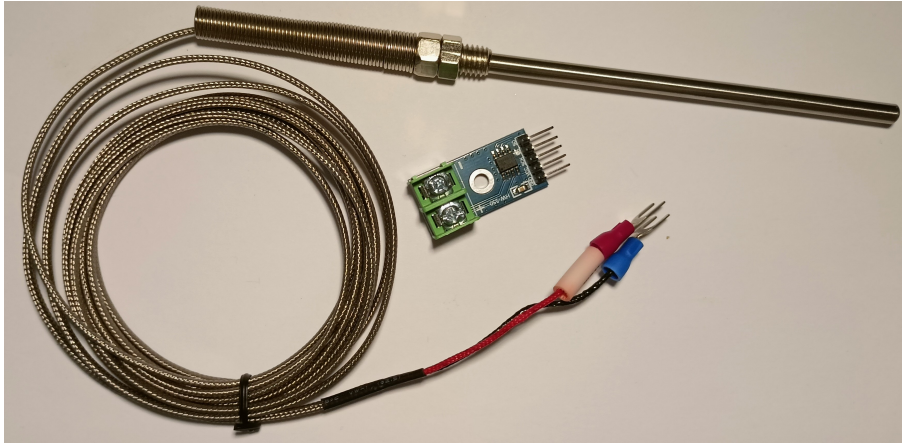
Obr. 4.6: Naľavo ventilátor k chladičke, napravo k pražiarni.

## 4.8 Senzory

Aby sa vedelo optimalizovať praženie, je potrebné vedieť, čo sa deje v samotnom bubne počas celého praženia. Preto sa tam nachádza jeden teplotný senzor a jeden zvukový. Drobné zmeny pri pražení môžu nastať aj vplyvom tlaku v miestnosti. Ak by boli rovnaké zrná a totožný čas praženia, ale jednu várku by sme upražili v lete a druhú v zime, výsledný profil kávy by bol odlišný. Preto je nutné mať aspoň 2 profily pre jednu kávu. Jeden pre praženie v zime a druhý pre praženie v lete. Nie je teda nutné tu mať senzor tlaku, pretože tlak v zime a tlak cez leto je každý rok takmer podobný.

### 4.8.1 Teplotný senzor

Nezbytnosťou tejto pražičky je teplotný senzor, ktorý je umiestnený v strede pražiacieho bubna. Pre meranie je použitý termočlánok typu K, ktorý nám umožní merať teploty do vyše 1000°C, čo je v prípade tejto pražičky dostatočné. Tento termočlánok je napojený na modul MAX6675. Pomocou tohto modulu sa zapisujú hodnoty do textového súboru, z ktorého sa vypisuje graf, aby bol vidieť profil praženia. Zároveň sa vďaka tomuto modulu v spojení s relé ovláda topné teleso. Tento termočlánok v spojení s modulom MAX6675 je vidieť na obr. 4.7.



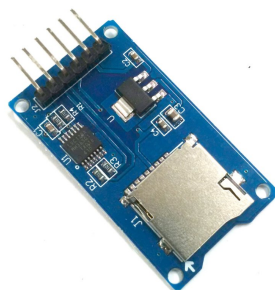
Obr. 4.7: Termočlánok typu K a modul MAX6675.

### 4.8.2 Zvukový senzor

Prvé praskanie má vyšší akustický signál ako druhé praskanie a zároveň má menšiu frekvenciu ako druhé praskanie. Aby sa vedelo detekovať praskanie, je potrebné spraviť niekoľko spektier akustického tlaku. Potom sa použije 512 bodová rýchla Fourierove transformácia (FFT) s Hannovým oknom, ktoré sa potom spriemerujú. Týmto sa zistí, u akého akustického tlaku nastáva prvé prasknutie [14].

## 4.9 Úložisko

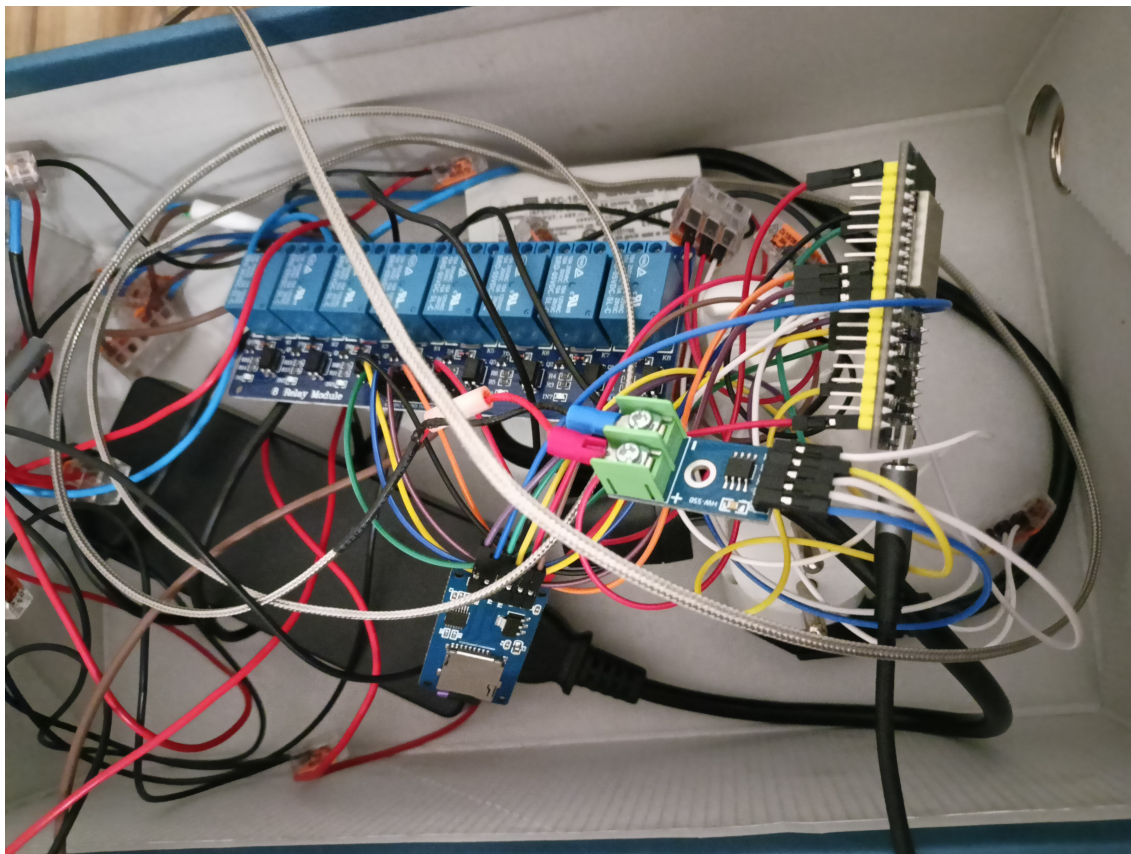
Aby sa dalo praženie zopakovať, je nutné zaznamenávať hodnoty praženia. Tieto hodnoty sa zapisujú do textového súboru, ktorý sa počas praženia vytvorí. Problémom je, že celý software je vyvíjaný v prostredí Arduino IDE. Toto prostredie neumožňuje ukladať hodnoty do zariadenia, v ktorom je spustené, ale len na SD kartu, ktorá je vo vývojovej doske. ESP32-DevKitC 38pin neumožňuje vložiť SD kartu. Preto je nutné mať aj čítačku micro SD kariet, pomocou ktorej dostaneme hodnoty z vývojovej dosky.



Obr. 4.8: Modul čítačky micro SD kariet.

## 5 Zapojenie a komunikácia s programom

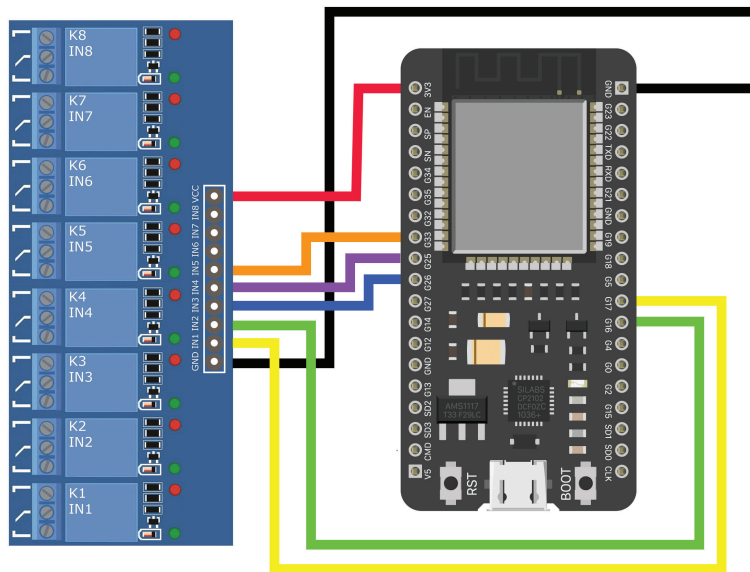
V tejto časti je popísaný spôsob zapojenia k vývojovej doske a prepojenie so softwarom. Celé zapojenie je možné vidieť na obr. 5.1.



Obr. 5.1: Celé zapojenie.

### 5.1 Zapojenie všetkých relé k vývojovej doske

Keďže sa všetky veci nezapínajú naraz, je potrebné to ovládať. K zapojeniu sa používa modul, ktorý ovláda 8 relé. Každá relé je označené názvom (K1, K2, ...). Tento názov je len informačný a slúži k popisu pri zapájaní. Zapojenie relé modulu je vidieť na obr. 5.2.



Obr. 5.2: Zapojenie relé modulu k ESP.

## 5.2 Topné teleso

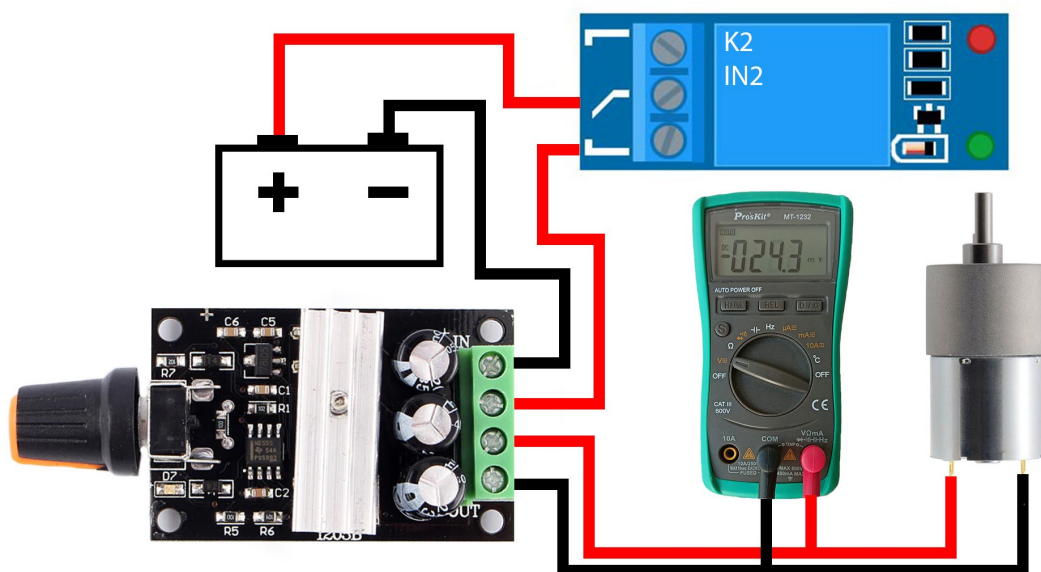
Topné teleso je zapojené zo zdroja 230V cez relé K2. Schéma zapojenia je ukázaná na nasledujúcom obrázku. Relé sa zapína alebo vypína podľa teploty v pražiacom bubne. Pre proces praženia je definovaný priebeh, ktorý sa dá meniť. Tento priebeh sa skladá z 60 podmienok na udržanie stúpania teploty. Ak je teplota väčšia ako je požadované pre daný časový úsek, tak sa relé vypne. Ak je teplota v danom časovom úseku naopak nízka, relé sa zapne. Program kontroluje teplotu každých šesť sekúnd, tým sa zabezpečí, že teplota nezačne veľmi rýchlo stúpať alebo naopak veľmi rýchlo klesať.

## 5.3 Zapojenie ventilátorov

Prvý ventilátor je zapojený zo zdroja 48V a cez relé K4. Úlohou tohto ventilátora je, aby chladil upražené zrná v chladičke. Druhý ventilátor je zapojený zo zdroja 12V cez relé K3. Úlohou tohto ventilátora je, aby prúdil do bubna čerstvý vzduch a vyfukoval dym a škrupiny von. Toto relé sa spustí hneď na začiatku praženia.

## 5.4 Zapojenie motora

Motor na otáčanie bubna je zapojený zo zdroja pomocou relé K1 a PWM modulu s reguláciou. Rýchlosť otáčania tohto motora je ovládaná ručne. Aby sa vedela nastaviť presná rýchlosť otáčania motora, výstupné napätie z PWM modulu je možné zmerať pomocou externého multimetra. Podľa nameraného napätie je možné zistiť presnú rýchlosť otáčania motora podľa prevodovej tabuľky 5.1. Otáčanie motora sa spustí hneď na začiatku. To preto, aby sa bubon neprepaloval a teplota bola rovnomerne rozložená. Toto zapojenie je vidieť na obr. 5.3.



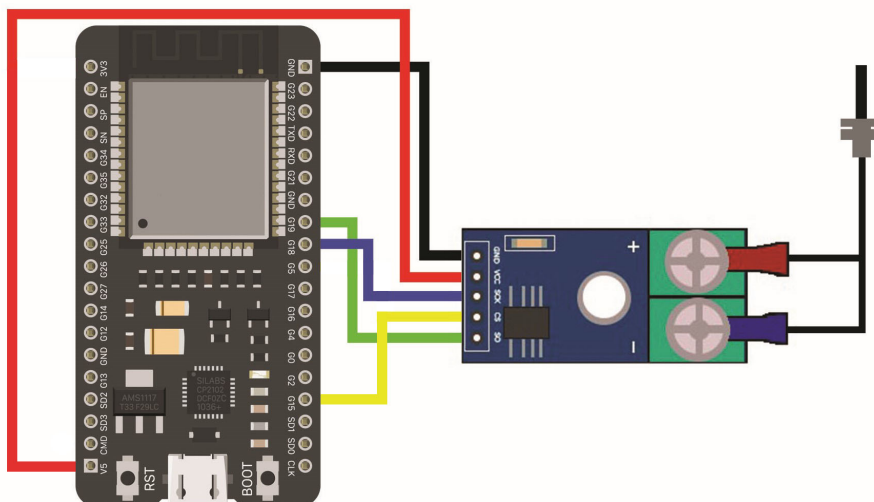
Obr. 5.3: Zapojenie motora cez relé a pwm modul.

Tab. 5.1: Tabulka prevodu vstupného napätia na rýchlosť otáčania motora.

Vstupné napätie [V]	Rýchlosť otáčania za minútu [rpm]	Vstupné napätie [V]	Rýchlosť otáčania za minútu [rpm]
14,50	40	19,61	55
14,80	41	20,00	56
15,00	42	20,32	57
15,40	43	20,61	58
15,85	44	20,90	59
16,23	45	21,23	60
16,60	46	21,63	61
17,00	47	22,06	62
17,28	48	22,47	63
17,61	49	22,80	64
17,91	50	23,15	65
18,14	51	23,34	66
18,48	52	23,57	67
18,88	53	23,81	68
19,25	54	-	-

## 5.5 Zapojenie modulu MAX6675

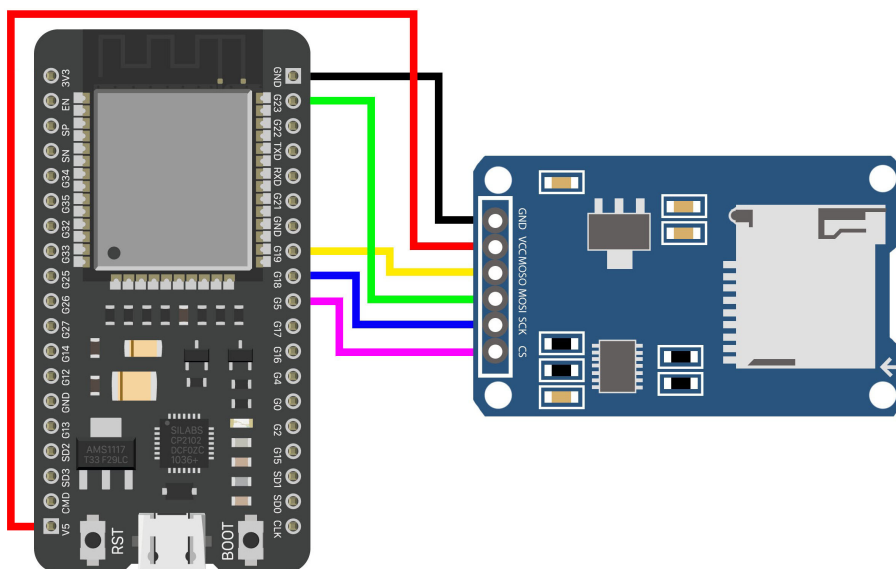
Zapojenie tohto senzoru k vývojovej doske je vidieť na obr. 5.4. Termočlánok, ktorý je napojený k modulu, je umiestnený v strede bubna, odkiaľ sa meria teplota.



Obr. 5.4: Zapojenie modulu MAX6675 k ESP.

## 5.6 Zapojenie modulu čítačky micro SD kariet

Zapojenie tejto čítačky je vidieť na obr. 5.5. Počas praženia sa do tejto micro SD karty zapisujú hodnoty praženia. Po dokončení praženia sa táto karta vloží do notebooku, z ktorej sa hodnoty prepíšu do pripravenej tabuľky.



Obr. 5.5: Zapojenie modulu čítačky micro SD kariet.



## 6 Ovládanie celého praženia s programom

Na začiatku sa v súbore main.ino upravujú vstupné parametre cieľu praženia. Mení sa tu napr. typ praženia, ktorý nám ovplyvní dobu praženia. Tiež sa tu nastavuje počiatočná teplota a cieľová teplota v jednotlivých fázach. Potom sa zapojí vývojová doska k notebooku. Keď sú vstupné parametre nastavené a doska pripojená, kód sa nahraje do dosky. Hneď po nahratí sa spustí točenie bubna, ohrev, a prúdenie vzduchu. Potom sa začnú spúšťať jednotlivé fázy programu. Na monitore je možné sledovať celý stav praženia v reálnom čase. Sú tam hodnoty ako teplota, čas a aktuálna bežiacia fáza.

**Fáza štartu.** V tejto fáze sa sa cyklicky volajú funkcie, ktoré čítajú teplotu zo senzora a porovnávajú ju s podmienkou. Po dosiahnutí prednastavenej teploty sa spustí a prejde do fázy praženia.

**Fáza praženia.** V tejto fáze sa volajú funkcie na čítanie teploty zo senzora a počítanie času od vstúpenia do tejto fázy. Zároveň sú už tieto dáta dôležité, preto sa aj ukladajú na SD kartu.

**Fáza koncu.** Po vstupe do tejto fázy sa vypne topné teleso a zapne sa ventilátor v chladičke. Potom sa spustí signalizácia, ktorá prepína relé. Táto signalizácia trvá 30 sekúnd, a to preto, aby sa za tento čas vysypali kávové zrná z pražičky. Po týchto 30 sekundách sa vypne motor a ventilátor v pražičke. V tomto stave je už pustený len ventilátor v chladičke. Toto chladenie prebieha ešte 200 sekúnd a následne sa vypne aj ventilátor.

Po ukončení praženia sa z čítačky modulu micro SD karty zoberie karta a vloží sa do notebooku. Tieto dáta sa prekopírujú do excelovej tabuľky, kde sa z nich vykreslí graf.



## 7 Konštrukcia pražiarne

Konštrukcia pražiarne sa v podstate skladá zo štyroch častí:

1. podstava k upínaciu ložisku,
2. podstava pre motor,
3. pražička,
4. chladička.

Aby pražiareň správne fungovala, je nutné mať všetky časti vyladené. Celá pražiareň je umiestnená na drevenej konštrukcii. Z jednej strany je na podstave pripevnené upínacie ložisko, ktoré drží vodiacu tyč. Táto tyč vedie stredom pražiarne až k motoru, ktorý je pripevnený k ďalšej podstave. Medzi týmito podstavami je umiestnená pražička. Aby pražiareň správne fungovala, je nutné mať všetky tri časti presne vystredené. Vnútroň bubon pražičky musí byť úplne blízko čela vonkajšieho bubna. Súčasťou je aj samotná chladička. Tá je však odnímateľná, aby sa mohli vysypať upražené zrná. Celé zapojenie je vydiť na nasledujúcich obrázkoch.



Obr. 7.1: Celá pražiareň.



Obr. 7.2: Vnútro pražiacého bubna.



Obr. 7.3: Výhrev pražiacého bubna topným telesom.

## 8 Výber zrn a hodnotenie praženia

Pred samotným pražením musí pražiar vybrať vhodnú kávu. Na začiatku, keď pražiareň nemá žiadne kontakty s farmármi, musí kávu nakupovať pomocou importérov. S výberom pomáha bodové hodnotenie z CoE. Ak bodové hodnotenie je nad 80 bodov z možných 100, táto káva sa už nazýva výberová. Na základe toho sa vie, že kávové zrná sú kvalitné a s minimálnym počtom defektov. Káva sa vyberá podľa mnohých parametrov, ako napr. pôvod kávy, odroda, nadmorská výška pestovania, spôsob sušenia a chuť kávy. Všeobecne sa hovorí, že čím je káva pestovaná vyššie, tým je kvalitnejšia. Hlavným cieľom praženia je dostať z kávového zrna tie najlepšie chute. Po každom upražení nasleduje cupping, podľa ktorého sa upravuje ďalšie praženie. Aby sa tento proces urýchlil, kávy určené na praženie boli vybrané na základe odporúčaní pražiarní MotMot a Kolonial. Vyberali sa tak, aby pokryli všetky typy praženia. Každý pražiar si stráži svoje know-how, a preto cieľom týchto pražení je aspoň trochu sa priblížiť k niektorým chutiam [1].

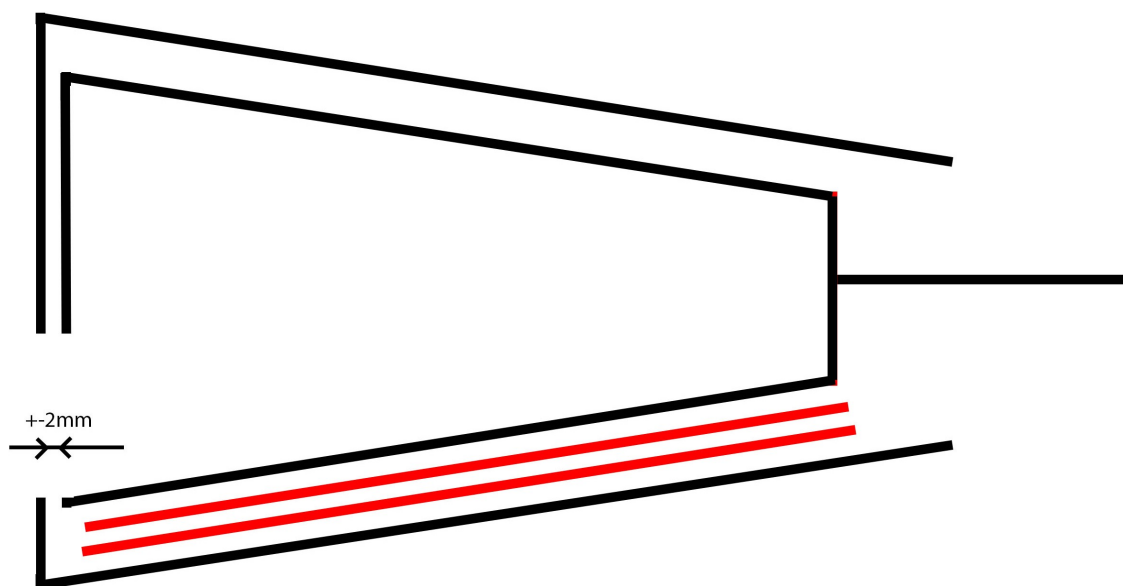
### 8.1 Testovacie zrná

Na testovanie boli použité zrná z Rwandy, konkrétne z oblasti Kilimbi. Tieto zrná sú odrody red bourbon a teda majú najmenšie zrná. Keďže má najmenšie zrná, tak sa podľa tejto veľkosti určili aj veľkosti dier v bubne a v chladičke. Pri tejto káve boli overené aj 2 vlastnosti, strata na váhe po pražení a nárast objemu po pražení. Porovnávali sa zelené zrná a zrná upražené v pražiarni Motmot. Pri pražení 100 gramov zelenej kávy bolo po upražení už len 88,4 gramov. Objem zelenej kávy bol 140 ml a po upražení mali kávové zrná už objem 200 ml.

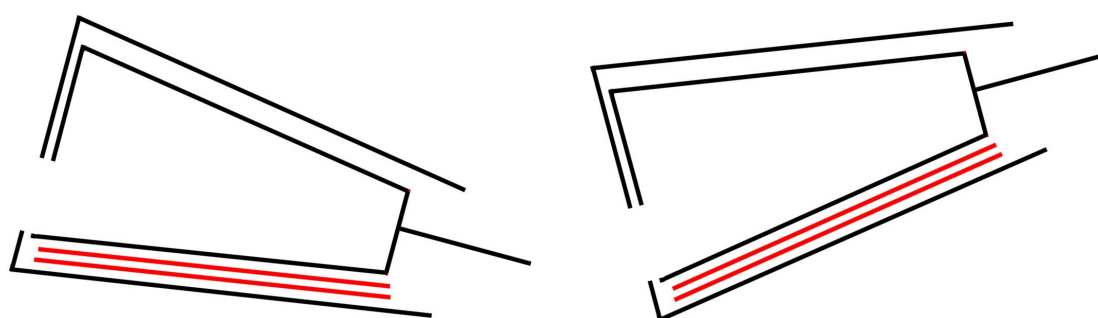
### 8.2 Prvé praženie

Prvé praženie vyzeralo fajn. Praženie postupovalo podľa programu. Teplota predhriatia bola dosiahnutá po necelých 10 minútach. Problém nastal v druhej fáze. Kvôli zvaraniu sa hlavné čelo pražičky trochu zdeformovalo. Počas dlhej doby ladenia, vnútorný bubon dokázal priblížiť na 2 mm. Bližšie sa nedalo. Po vsypaní kávy sa niektoré zrná prepadli k topnému telesu, kde začali horieť. Tu bolo praženie núdzovo ukončené. Tento problém je možné vydiť na obr. 8.1.

Riešením tohto problému by mohlo byť vytvorenie konštrukcie, ktorá by dokázala otáčať celú podstavu s pražiarnou. Na začiatku praženia by sa pražiareň naklonila smerom k motoru. Tým pádom by sa zrná pražili viac v zadnej časti pražiarne. Po ukončení praženia by sa pražiareň naklonila smerom k upínaciemu ložisku, kde by sa kávy vysypala. Pre orientovanie je toto vydiť na obr. 8.2.



Obr. 8.1: Znárodnenie chyby počas praženia.



Obr. 8.2: Vľavo bubon naklonený k motoru. Vpravo bubon naklonený k upínaciu ložisku.

## Závěr

Zostrojiteľ pražiareň z ničoho vyžadovalo veľa úsilia. V prvom rade bolo nutné naštudovať všetko o káve a pražení. To preto, lebo od zeleného zrna vsypaného do pražičky až po vysypanie sprevádza proces reakcií, ktoré je nutné poznať.

Po naštudovaní problematiky bola navrhnutá celá pražička a chladička. Na zostrojenie bola objednaná veľká tabuľa ocele, z ktorej sa pražička skladá. Z tabule plechu boli vyrezané na CNC stroji všetky tvary podľa návrhu. Veľmi zložitým krokom bolo nájsť niekoho, kto by dokázal tento plech upraviť. Tým, že bola zvolená veľmi kvalitná oceľ, znemožňovalo to ľahkú úpravu materiálu. Asi 90 percent opýtaných firiem toto nedokázalo spraviť podľa potrieb. Keď bola nájdená firma, ktorá by to dokázala spraviť, čakacia doba bola veľmi dlhá. Potom k tejto práci prišla podpora od Fakulty strojného inžinierstva, kde dokázali zkrúžiť túto oceľ a vytvoriť potrebné bubny. Zároveň pomohli so zvaraním niektorých častí pražiarne.

Veľkou výhodou tejto ocele bola aj vodivosť tepla. Toto sa neskôr ukázalo, že je aj nevýhoda. Počas zvarania sa tieto plechy začali ohýbať a tým narušili celý návrh. Návrh pražičky sa z tohto dôvodu musel prerábať niekoľkokrát. Nasledovalo upevnenie celej pražiarne k konštrukcii. Toto upevnenie muselo byť veľmi presné, kvôli čelu pražičky, ktoré sa vplyvom zvarania prehlo. Tieto kalibrácie sa však počas praženia ukázali ako nedostatočné.

Nasledovalo vytvorenie programu, ktorý by sám dokázal ovládať celé praženie. Tu sa postupne vytvárali funkcie, ktoré riadili jednotlivé časti praženia. Týmito funkciami boli ovládané všetky komponenty ako motor, topné teleso, ventilátory, teplotný senzor, čas, stav praženia a ukladanie dát. V závere sa vytvorila hlavná funkcia, ktorá podľa určitých podmienok volá jednotlivé funkcie a tým ovládala celé praženie. Súčasťou tejto práce mal byť aj senzor zvuku, ktorý by dokázal detekovať praženie. Tento senzor sa však nepodarilo implementovať. Preto sa čas prvého prasknutia určuje pred začatím praženia, na začiatku programu.

Problém nastal keď sa vsypali zrná. Tieto zrná prepadli a začali horieť. Riešením by možno bola konštrukcia, ktorá by nakláňala celú pražiareň a tým by sa zamedzilo prepadávaníu zrn. Táto konštrukcia však nie je vytvorená.

Po odstránení chyby prepádajúceho zrna by praženie prebiehalo podľa pražiacieho plánu. Program bol mnohokrát testovaný bez zapojenia. Cena celej pražičky sa pohybuje okolo 600€. V porovnaní s malými profesionálnymi pražičkami to je o dosť nižšia cena. Tým pádom by po opravení chyby bola vhodná pre domácich milovníkov kávy, ktorý si chcú svoju kávu pražiť sami. Zároveň by mohla slúžiť aj pre pražiarne ako vzorková pražička pre hľadanie profilu.



# Literatúra

- [1] DAVIES VESELÁ, Petra. *Velká kniha o kávě*. Praha: Smart Press, 2018. ISBN 978-80-88244-05-9.
- [2] SZABÓ, Peter. *Cesta kávy*. 2. vydání. Coffeein, 2017. ISBN 978-80-89731-26-8
- [3] Charleston Coffee Roasters [online]. *How we taste coffee* 2018 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.charlestoncoffeeroasters.com/how-we-taste-coffee/>
- [4] Caffeine solution [online]. *Coffee bean color chart*. 2020 [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.caffeinesolution.com/coffee-bean-color-chart/>
- [5] Typhoon coffee. *Inovativní metoda pražení kávy* [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://typhoon.coffee/cz/technology/1>
- [6] Typhoon coffee. *Typhoon 2.5* [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://typhoon.coffee/cz/roasters/typhoon-2-shoproaster>
- [7] Pubmed. *Studies of acrylamide level in coffee and coffee substitutes: influence of raw material and manufacturing conditions* [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24325083/>
- [8] Novel. *Materiálové normy* [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <http://www.novel.sk/materialove-normy/>
- [9] Backer Elektro. *Topné těleso do pečicích zařízení* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.backer-elektro.cz/produkty/topne-teleso-do-pecicich-zarizeni-remoska>
- [10] Popolu. *Metal Gearmotor* [online]. [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/4687>
- [11] HW Kitchen. *Esp32-DevKitC* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/esp32-devkitc-38pin-espwroom32-wifi-bt/>
- [12] Ebmpapst. *3218 JN* [online]. [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.ebmpapst.com/at/en/products/compact-fans/axial-compact-fans/p/3218JN.html>
- [13] Random nerd tutorials. *ESP32: Guide for MicroSD Card Module using Arduino IDE* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-microsd-card-arduino/handlefilesmicrosdcard>

- [14] AIP Publishing. *Coffee roasting acoustics* [online]. [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://pubs.aip.org/asa/jasa/article/135/6/EL265/607104/Coffee-roasting-acoustics>

## Zoznam symbolov a skratiek

$t_{fc}$	čas prvého prasknutia
<b>defekt</b>	poškodenie zrna
<b>CoE</b>	Cup of Excellence, ide o súťaž kde sa hodnotí zelená káva z danej krajiny
<b>FFT</b>	rýchla Fourierova transformácia
<b>GPIO</b>	univerzálny vstupno/výstupný pin



## **A Obsah elektronickej prílohy**

Príloha obsahuje kód k ovládaniu pražiarne. Tento kód je možné otvoriť v software-i Arduino IDE. Pre nahratie kódu je potrebné pridať dosku do zoznamu podporovaných dosiek. Zároveň je nutné mať všetky knižnice. Ďalej je tu excelová tabuľka, v ktorej sa po pridaní hodnôt z praženia vykreslí výstupný graf praženia.