

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

Pavel Soukal

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Udírna 4.0  
Bakalářská práce

2024

Pavel Soukal

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Pavel Soukal**  
Osobní číslo: **I22028**  
Studijní program: **B0714A150008 Automatizace**  
Téma práce: **Udírna 4.0**  
Zadávající katedra: **Katedra automatizace a matematiky**

## Zásady pro vypracování

Cílem práce je zařízení pro monitorování, případně řízení udíčího procesu na klasické udírně s manuálním příkládáním. Teoretická část práce popíše proces uzení na klasické udírně, vliv teplot, vlhkosti, kvality spalování, typů kouře, proudění vzduchu a dalších parametrů na výsledný produkt a možnosti jejich monitorování a ovlivňování. Součástí by měla být rešerše možných řešení, přičemž by bylo vhodné prostudovat možnosti využití cloudových služeb pro přístup k datům, jako thingspeak, případně pro automatizaci událostí jako ifttt.com. Praktická část práce pak bude obsahovat návrh zařízení pro monitorování udíčího procesu s případnou možností řízení průtoku vzduchu a detekcí stavu hoření (upozornění na nutnost přiložit). Zařízení bude dostupné vzdáleně, ideálně online za využití cloudových služeb, případně vhodnou alternativou. Práce bude obsahovat kompletní popis použitého HW a dokumentaci použitého software. Jako ověření, bude práce obsahovat záznam měřených veličin z průběhu alespoň jednoho udíčího procesu.

Rozsah pracovní zprávy: **30-50**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN technická literatura, 2003. 336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.
- [2] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.
- [3] VLACH, J. Řízení a vizualizace technologických procesů. Praha: BEN technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 978-80-86056-66-X.
- [4] BRTNÍK, B. Základní elektronické obvody. Praha: BEN technická literatura, 2011. 156s. ISBN 978-80-7300-408-8
- [5] RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha : BEN, 2003. ISBN 0-12-752184

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Rozsival**  
Katedra elektroniky a rádiových systémů

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2024**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

**prof. Ing. Petr Doležel, Ph.D.** v.r.  
děkan

L.S.

**Ing. Libor Kupka, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. ledna 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem Udírna 4.0 jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15. 5. 2025

Pavel Soukal v.r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Pavlu Rozsivalovi za odborné vedení, lidský přístup, ochotu a čas, který mi v průběhu práce věnoval. Dále děkuji své rodině, přátelům za jejich podporu a motivaci v průběhu celého studia.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se zabývá regulací teploty domácí udírny s ručním příkládáním. V teoretické části je popsány proces uzení. Také je popsán vliv teplot a možnosti jejich měření. Dále je popsán vliv proudění vzduchu a kvality spalování dřeva na výsledný produkt. Praktická část se zaměřuje na návrh systému pro monitorování teplot v udící komoře a ohniště, regulaci teploty udících komor a přenos měřených dat.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

měření teploty, udírna, Fuzzy regulace, ON/OFF regulace

## **TITLE**

Smokehouse 4.0

## **ANNOTATION**

This bachelor's thesis focuses on temperature regulation in a home smokehouse with manual wood stoking. The theoretical part describes the smoking process, the influence of temperature, and the available temperature measurement methods. It also addresses the impact of airflow and the quality of wood combustion on the final product. The practical part concentrates on designing a system for monitoring temperatures in the smoking chamber and firebox, regulating the chamber temperature, and transmitting the measured data.

## **KEYWORDS**

temperature measurement, smokehouse, fuzzy control, ON/OFF control

# OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	11
ÚVOD.....	12
TEORETICKÁ ČÁST .....	13
1 Metody uzení různými teplotami kouře.....	13
1.1 Uzení studeným kouřem .....	13
1.2 Uzení teplým kouřem.....	13
1.3 Uzení horkým kouřem .....	13
2 Kvalita spalování dřeva .....	15
3 Vliv vlhkosti .....	16
4 Dopad rozdílných teplot a proudění vzduchu .....	18
5 Možnosti monitorování a řízení.....	19
5.1 Možné teploměry pro snímání ohniště.....	19
5.2 Možné teploměry pro snímání udíací komory.....	20
5.3 Řízení teploty v udícím procesu .....	21
5.4 Rozdělení podle místa snímání teploty .....	22
5.4.1 Řízení na základě teploty ohniště .....	22
5.4.2 Řízení na základě teploty udírny .....	22
5.4.3 Dvouúrovňová regulace teploty.....	23
5.5 Rozdělení podle typu řídicího algoritmu .....	23
5.5.1 ON/OFF regulace.....	23
5.5.2 Vícepolohová regulace .....	24
5.5.3 Fuzzy regulace .....	24
5.5.4 PID regulace .....	25
5.6 Možnosti bezdrátového přenosu mezi částmi systému.....	25
5.6.1 Přenos dat pomocí Wi-Fi .....	25
5.6.2 Přenos dat pomocí ZigBee .....	26
5.6.3 Přenos dat pomocí RF modulů.....	27
PRAKTICKÁ ČÁST .....	28

6 Řízení celého systému .....	29
6.1 Arduino Uno .....	31
6.2 Arduino Mega .....	32
7 Měření teplot.....	34
7.1 Měření teploty ohniště .....	34
7.2 Měření teploty udírny .....	35
7.3 Regulace teploty .....	36
8 Mechanické ovládání klapky .....	37
8.1 Algoritmy regulace .....	38
8.1.1 ON/OFF regulace.....	39
8.1.2 Fuzzy regulace .....	40
9 Bezdrátová komunikace.....	42
10 Zobrazování teplot .....	44
10.1 Přenášení teplot na cloudovou službu.....	44
10.2 Softwarové čtení teplot .....	46
11 Softwarová práce s RF modulem.....	48
12 Softwarová práce s krokovým motorem.....	51
13 Softwarové řízení ESP8266 .....	53
14 Softwarové ovládání displeje.....	54
ZÁVĚR .....	55
POUŽITÁ LITERATURA .....	57
PŘÍLOHY .....	58

## **SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK**

Tabulka 1: Přehled využitých součástí.....	30
Obrázek 1: Schéma zapojení vnitřní části systému .....	31
Obrázek 2: Schéma zapojení vnější části systému.....	33
Obrázek 3: Graf průběhu teploty udíací komory bez regulace.....	38
Obrázek 4: Graf průběhu teploty udíací komory s ON/OFF regulací .....	39
Obrázek 5: Graf průběhu teploty udíací komory s fuzzy regulací .....	39

## **SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK**

CLK – Clock

MISO – Master In Slave Out

MOSI – Master Out Slave In

SS – Slave Select

CS – Chip Select

UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

RX – Receiver

TX – Transmitter

I2C – Inter-Integrated Circuit

SDA – Serial Data Line

SCL – Serial Clock Line

LCD – Liquid Crystal Display

AT – Attention

PA – Power Amplifier

LNA – Low Noise Amplifier

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

SRAM – Static Random Access Memory

USB – Universal Serial Bus

## ÚVOD

Proces uzení masa v domácích podmínkách klade vysoké nároky na kontrolu a udržení stabilních teplotních podmínek. Přestože je uzení s ručním přikládáním tradiční metodou, neustálé sledování teploty a regulace přívodu kouře bývá časově náročné a nepřesné. Cílem této bakalářské práce bude navrhnout a realizovat systém, který tento proces částečně automatizuje a zároveň zpřístupní důležitá data uživateli v reálném čase.

Navržené řešení bude využívat dvojici termočlánků typu K, které budou měřit teplotu v udicí komoře a ohništi. Tyto snímače budou připojeny pomocí převodníků MAX6675 k mikrokontroleru Arduino Mega. Na základě měřených hodnot bude systém ovládat krokový motor 28BYJ-48 prostřednictvím driveru ULN2003, který mechanicky nastaví polohu klapky regulující přístup horkého kouře do udírny. Současně budou teplotní data bezdrátově přenášena pomocí modulu nRF24L01+PA+LNA na jednotku Arduino Uno, odkud budou dále odesílána prostřednictvím Wi-Fi modulu ESP8266 ESP-01 na cloudovou službu ThingSpeak. Hodnoty teploty se budou zároveň zobrazovat lokálně na LCD displeji.

Práce bude rozdělena do dvou částí. V teoretické části se popíše princip uzení, se zaměřením na metodu uzení horkým kouřem, a dále se rozebere vliv teplotních parametrů a proudění kouře na kvalitu výsledného produktu. Součástí bude také rešerše dostupných technologií pro měření, přenos a vizualizaci dat. Praktická část se zaměří na návrh, sestavení a otestování funkčního systému pro řízení uzení horkým kouřem. Systém se následně vyhodnotí na základě porovnání dat ze dvou procesů uzení – prvního bez použití regulační klapky a druhého s jejím aktivním řízením. Cílem bude zhodnotit vliv automatického ovládání přívodu kouře na stabilitu teplotních podmínek a kvalitu uzení.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 Metody uzení různými teplotami kouře

Uzení lze rozdělit do několika kategorií na základě teploty použitého kouře, přičemž každá metoda má své specifické vlastnosti, technologické nároky a vliv na výslednou strukturu i chuť masa. Základní rozdělení zahrnuje uzení studeným kouřem, teplým kouřem a horkým kouřem.

### 1.1 Uzení studeným kouřem

Studené uzení probíhá při teplotě kouře do 25 °C (často v rozmezí 15–30 °C) a obvykle trvá několik dní až týdnů, podle typu suroviny. Tento způsob uzení má výhradně konzervační charakter – maso se tepelně neupravuje, ale pouze nasákne kouřové aroma a získá delší trvanlivost. Výsledné produkty, jako např. trvanlivé klobásy nebo uzené sýry, si zachovávají syrový střed a vyžadují další skladování v chladu. (VšeProGril.cz, 2023)

### 1.2 Uzení teplým kouřem

Teplé uzení probíhá při teplotách v rozmezí 40–60 °C, přičemž dochází k částečné tepelné úpravě masa. Doba uzení je kratší (řádově několik hodin) a maso je po dokončení obvykle konzumovatelné až po dalším krátkém dovaření nebo pečení. Tato metoda se používá např. pro ryby nebo uzené drůbeží maso. (VšeProGril.cz, 2023)

### 1.3 Uzení horkým kouřem

Horké uzení, které je stěžejní metodou této bakalářské práce, je nejrozšířenější v domácích podmínkách a probíhá při teplotách 60–90 °C, přičemž horní hranice se může krátkodobě pohybovat až kolem 100 °C. Na rozdíl od předchozích metod dochází k plné tepelné úpravě masa, což znamená, že je ihned po uzení připravené ke konzumaci. Tento způsob kombinuje konzervaci kouřem s tepelným zpracováním. (VšeProGril.cz, 2023)

Proces uzení horkým kouřem je rozdělen do několika fází:

1. Osušení masa v udírně (bez kouře, teplota cca 50–60 °C),
2. Uzení s kouřem (zvýšení teploty na 60–90 °C),

3. Dovaření/douzení (konec procesu na vyšší teplotě, často až 100 °C).

Doba uzení se liší podle druhu a velikosti masa. Celý proces se pohybuje v rozmezí 8–12 hodin. Neexistují však žádné oficiální teploty ani doby uzení, všechny tyto doby vycházejí z tradičních postupů a technologický postupů úpravy potravin a také ČSN norem, jako jsou například ČSN 57 7115 a ČSN 56 9601.

## 2 Kvalita spalování dřeva

Při metodě uzení horkým kouřem je velmi důležité zajistit pomalé a kontrolované spalování dřeva, které probíhá za omezeného přístupu vzduchu. Nejedná se o klasické plamenové hoření, ale o pozvolné doutnání dřeva, při němž dochází k tzv. pyrolýze – tedy k tepelnému rozkladu dřevní hmoty bez přímého kontaktu s plamenem. Omezením přívodu kyslíku, například uzavřením nebo přiškrcením vzduchových otvorů v ohništi, se podporuje vznik hustého kouře bohatého na aromatické látky. Tento typ hoření obvykle probíhá při teplotách v rozmezí 300–500 °C. (Hui, 2001)

Pro tento způsob spalování jsou ideální tvrdá dřeva, jako je dub, buk, habr, javor nebo třešeň. Tvrdé dřevo hoří pomaleji, rovnoměrněji a produkuje stabilní kouř s požadovaným chemickým složením. Naopak měkká dřeva, která obsahují vyšší podíl pryskyřic, nejsou vhodná – výsledný kouř by mohl negativně ovlivnit chuť a vůni masa.

Dalším důležitým faktorem je vlhkost dřeva. Ideální je použít dobře proschlé dřevo s obsahem vlhkosti kolem 15–20 %, které umožňuje čistší spalování a minimalizuje tvorbu dehtu a nežádoucích usazenin. Použití vlhkého nebo čerstvě naštípaného dřeva může vést k nadměrnému kouření, nedokonalému hoření a uzení masa štiplavým kouřem s nepříjemným aroma. (Nizio, *n.d.*)

### 3 Vliv vlhkosti

Před samotným vložením připraveného masa do udírny je nezbytné zajistit její důkladné vyhřátí. Tento krok má několik důležitých funkcí, které přispívají k vyšší kvalitě výsledného produktu. Prvním efektem je minimalizace teplotního šoku, kterému by maso čelilo při vložení do chladné udírny. Prudká změna teploty může narušit strukturu masa a negativně ovlivnit rovnoměrnost jeho tepelného zpracování, což se může projevit mimo jiné zvýšenou kyselostí nebo nestejnou konzistencí. Předehřátí navíc napomáhá stabilizaci teplotních podmínek v komoře ještě před zahájením samotného uzení.

Druhou důležitou funkcí předehřevu je odstranění nadbytečné vlhkosti, která se může v udírně akumulovat v důsledku změn počasí, kondenzace nebo předchozího provozu. Vysoká relativní vlhkost může negativně ovlivnit proces uzení, prodloužit dobu sušení masa a snížit efektivitu přenosu kouřových složek na povrch produktu. (VšeProGril.cz, 2023)

Neméně podstatným důvodem pro předehřev je zajištění, že maso nepříjde do kontaktu s tzv. „špinavým kouřem“, který vzniká v prvních fázích zatápění v ohništi. V této fázi spalování ještě nedochází ke stabilnímu doutnání dřeva, a výsledný kouř obsahuje zvýšené množství nežádoucích složek – jako je dehet, saze a zbytky nespálených pryskyřic. Tyto látky mohou negativně ovlivnit chuť, barvu i zdravotní nezávadnost výsledného produktu. Zahřátí udírny tedy slouží jako důležitý krok pro nastavení optimálních podmínek pro kvalitní a rovnoměrné uzení. (Nizio, *n.d.*)

Vlhkost vzduchu v udící komoře hraje zásadní roli při formování chuti, barvy, textury a celkové kvality výsledného produktu. Optimální úroveň relativní vlhkosti napomáhá rovnoměrnému osazení povrchu masa kouřovými složkami a zabraňuje příliš rychlému vysušení povrchu, které by mohlo uzavřít póry a tím ztížit průnik kouře do hlubších vrstev masa. Při příliš nízké vlhkosti dochází k ztvrdnutí povrchové vrstvy, což vede k nevyváženému uzení a menší hloubce penetrace kouřových látek. (Nizio, *n.d.*; Hui, 2001)

Naopak příliš vysoká vlhkost může zpomalit proces vysoušení a zvyšuje riziko růstu nežádoucích mikroorganismů, čímž snižuje trvanlivost a bezpečnost produktu. Nadměrná vlhkost v komoře rovněž ovlivňuje chemické reakce mezi složkami kouře a povrchem masa, čímž může dojít ke zhoršení barvy (např. šednutí povrchu) a potlačení typického uzeného aroma.

Optimální vlhkost se v závislosti na konkrétní fázi uzení a typu masa pohybuje obvykle mezi 60–80 %. Udržení správné rovnováhy mezi teplotou, vlhkostí a prouděním vzduchu je tedy zásadní pro dosažení kvalitního a sensoricky atraktivního uzeného produktu.(Nizio, *n.d.*)

## **4 Dopad rozdílných teplot a proudění vzduchu**

V moderních udírnách je pro zajištění rovnoměrné distribuce teplého vzduchu v celém prostoru využíváno nucené proudění prostřednictvím ventilátorů, které rozvádějí teplý vzduch z horní části komory do jejích nižších úrovní. Oproti tomu v případě domácích udíren dochází k proudění vzduchu přirozeným vzestupem teplého vzduchu a kouře z ohniště směrem vzhůru a následně ven z komory. Toto proudění je však silně závislé na teplotě v ohništi, a proto nelze přívod tepla zcela regulovat či přerušit. Zaručení dobrého proudění vzduchu v domácích udírnách není zdaleka tak nutné jako v průmyslových případech vzhledem k jejich menším rozměrům a menších požadavků na kvalitu finálního produktu. (Hui, 2001)

Nerovnoměrné rozložení teploty, zejména rozdíly mezi horní a dolní částí udírny, může vést k nerovnoměrné tepelné úpravě výrobků. Mezi možné negativní důsledky patří zejména zvýšená tuhost a celkově nežádoucí struktura výsledného produktu. (Duma-Kocan, *n.d.*)

## 5 Možnosti monitorování a řízení

Klasické domácí udrny nejsou v základu vybaveny mnoha možnostmi pro monitorování a řízení důležitých parametrů, jako jsou teploty ohniště a samotné udrny, proudění vzduchu a tepla. Teplota udrny je monitorována pouze analogovým dilatačním teploměrem, který měří teplotu na základě tepelné roztažnosti materiálu. Stav ohniště je monitorován pouze jeho pravidelnou kontrolou, což vede k nekonstantní teplotě a velkým teplotním výkyvům. Stav ohně také plně ovlivňuje proudění vzduchu a je jednou formou regulace. Tato část práce se tedy bude zabývat možnostmi monitorování a regulací těchto parametrů.

### 5.1 Možné teploměry pro snímání ohniště

Teploty v ohništi při klasickém hoření mohou dosahovat až 1000 °C. Klasické hoření se v procesu uzení dlouhodobě nevyužívá, ale jedná se o přechodovou fázi při přípravě ohniště do požadovaného stádia pouhého doutnání. Je tedy nutné, aby teploměr využitý v této části byl schopen těmto vysokým teplotám odolat.

Tyto vysoké teploty znemožňují využití odporových teploměrů, které využívají pro měření změnu odporu kovů v závislosti na teplotě, jako je například široce rozšířený Pt100. Odporové teploměry dosahují doporučeného měřicího rozsahu kolem 850 °C, což je pro toto využití nevyhovující. Vzhledem k nevyhovujícímu teplotnímu rozsahu odporových teploměrů nad 1000 °C nejsou tyto teploměry konstrukčně přizpůsobené na takto vysoké teploty. Samotné měřicí materiály, jako je platina, dokáží vysokým teplotám odolat, problémem jsou však zbývající části teploměru jako je plášť, izolace a spojovací vodiče. (Ripka, 2003)

Ze stejných důvodů nelze využít pro měření teplot polovodičové teploměry, které využívají změny napětí na PN přechodu v závislosti na teplotě. Tyto teploměry mají teplotní měřicí rozsah pouze do 200 °C. (DSPE (Dutch Society for Precision Engineering), *n.d.*)

Jako využitelný typ teploměru se jeví bezkontaktní teploměry, které snímají množství vyzářeného infračerveného záření. Infračervené teploměry mají dostatečný teplotní rozsah, který přesahuje 1000 °C. Tyto teploměry jsou také velice rychlé a dokáží měřit rychlé změny teplot. Další výhodou těchto teploměrů je jejich bezkontaktnost, která umožňuje měření v dostatečné vzdálenosti od zdroje tepla. Tato měřicí vzdálenost však tvoří problém se zaměřením zdroje tepla. V tomto případě je oheň v uzavřeném topeništi, které umožňuje regulaci proudění vzduchu. Tento uzavřený prostor znemožňuje měřit teplotu celého ohniště

z takto malé vzdálenosti. Vzhledem k postupnému pohybu zdroje tepla nelze využít jednobodový infračervený teploměr. Dalším problémem s využitím infračervených teploměrů je požadovaný vznikající kouř. Tento přítomný kouř zkresluje přesnost měření a také by mohl zanášet čidlo nečistotami. Naměřené výsledky by tak byly nepřesné a zkreslené. (Ripka, 2003)

Za vhodné řešení se dá považovat využití termočlánu. Termočlánu generují malé elektrické napětí díky rozdílné teplotě na spojích dvou rozdílných kovů. Teplotní rozsah termočlánu závisí na kombinaci využitých kovů. Pro teploty přesahující 1000 °C je vhodný termočlánek typu K. Termočlánek typu K je vyroben z chromelu a alumelu a jeho teplotní rozsah dovoluje měření teplot až 1300 °C. Jednou z nevýhod je nutnost kontaktního měření termočlánekem, což v tomto případě znamená přímé vystavení ohni, který může způsobit snížení životnosti termočlánu. Snížení životnosti může být způsobené zejména oxidací kovů. Další nevýhodou ve srovnání s infračervenými teploměry je větší reakční doba, která se u termočlánu s ochranným pláštěm pohybuje okolo 5 sekund. Tato reakční doba je však v tomto případě dostačující vzhledem k pomalejším změnám teploty ohniště. Další nevýhodou využití termočlánu je nutnost kompenzace studeného spoje termočlánu. Tento problém je však lehce řešitelný pomocí kompenzační elektroniky, jako je například modul MAX6675. (Ripka, 2003)

## **5.2 Možné teploměry pro snímání udíací komory**

Monitorování teploty v samotné udírně je nejdůležitější částí celého systému a je tedy potřebné zajistit co nejpřesnější měření. Teploty zde nedosahují takových velikostí jako v případě samotného ohniště, ale přesto je nutné zvolit dostatečně tepelně odolnou metodu měření. Teploty udíací komory se mohou vyšplhat až na 200 °C.

Takto vysoká teplota netvoří příliš velký problém při výběru vhodného teploměru. Stále se však jedná o dostatečně vysokou teplotu, aby polovodičové teploměry byly přesně na okraji jejich měřicího rozsahu. Vzhledem k malému rozdílu maximální teploty v udíací komoře a maximálního měřicího rozsahu těchto teploměrů není zcela vhodné jejich využití.

Infračervená teploměry se v udíací komoře potýkají se stejnými problémy, jako v případě měření teploty ohniště. Jejich hlavní nevýhodou je zanášení optického čidla dýmem a také zkreslení přesnosti jeho vlivem. (Ripka, 2003)

Jednou z využitelných variant jsou odporové teploměry. Jejich teplotní rozsah, který umožňuje měření teplot o velikosti až 850 °C, je dostatečný pro měření teplot v udíací komoře. Jednou

z nevýhod těchto teploměrů je jejich vyšší cena ve srovnání s termočládky. Za další nevýhodu se dá považovat jejich větší odezva oproti termočládkům, která se pohybuje mezi 3 a 10 sekundami při použití teploměru s ochranným pláštěm. Nejde však o rozhodující faktor a tato časová odezva by byla dostačující. (Ripka, 2003)

Termočládky však nabízí také dostatečný teplotní rozsah a jsou v porovnání s ostatními teploměry dost odolné. V porovnání s odporovými teploměry jsou také rychlejší, ale méně přesné při měření nižších teplot. Jednou z jejich nevýhod je také nutnost kompenzace studeného spoje. Stejný problém se také nachází v případě měření teploty ohniště. Vzhledem k využití termočládku při měření teploty ohniště se jedná o jednotné řešení měření všech teplot. Teploty tak budou měřeny se stejnou přesností a odchylkou. Jednotné řešení také přináší výhody při zapojení teploměrů. Při využití dvou stejných modulů pro kompenzaci studeného spoje lze využít pro řízení jednotnou sběrnici a zjednodušit tak celkové zapojení. (Ripka, 2003)

### **5.3 Řízení teploty v udícím procesu**

Teplota a přístup horkého kouře k masu představují klíčové parametry, které zásadním způsobem ovlivňují průběh a kvalitu udícího procesu. V domácích podmínkách, kde se využívají udirny s ručním přikládáním paliva, je řízení teploty i množství kouře značně závislé na zkušenostech uživatele. Regulace se nejčastěji provádí úpravou množství a typu použitého dřeva, případně omezením přívodu vzduchu do ohniště, čímž se ovlivňuje intenzita hoření. Tento způsob řízení je však nestabilní – nedosahuje konstantních podmínek a teplota v udící komoře často kolísá, což může mít negativní dopad na kvalitu výsledného produktu.

Jednou z možností, jak proces částečně automatizovat, je právě regulace přívodu vzduchu do ohniště. Pomocí klapek či ventilů lze upravit množství kyslíku potřebného ke spalování a tím řídit intenzitu produkce kouře a tepla. Tento přístup však nese riziko – při nadměrném omezení přístupu vzduchu může dojít k úplnému vyhasnutí ohně, což způsobí prudký pokles teploty a naruší plynulost uzení.

Alternativní metodou regulace je omezení odvodu kouře z udirny, tedy regulace výstupního komínového tahu. Tento zásah má ovšem zásadní vliv na proudění vzduchu v celé udící komoře. Pokud je odvod horkého kouře příliš omezen, dochází ke stagnaci vzduchu a vznikají výrazné teplotní rozdíly mezi spodní a horní částí komory. Tím se zhoršuje rovnoměrnost uzení a výsledný produkt může vykazovat nestejnou barvu, chuť i strukturu.

Jedním z velmi efektivních způsobů regulace teploty v udící komoře je řízení přívodu horkého kouře z ohniště. Tento způsob umožňuje eliminovat riziko přílišného omezení spalovacího vzduchu, které by mohlo vést k vyhasnutí ohně. Regulace se v tomto případě realizuje pomocí klapky umístěné na vstupu kouře do udírny. Pokud je klapka navržena tak, že i při maximálním uzavření umožní omezený průchod kouře, lze tím zajistit plynulou regulaci bez vzniku výrazných teplotních rozdílů mezi jednotlivými částmi udící komory. Tato metoda tedy přináší výhodu v podobě stabilnějšího provozu a snížení teplotních výkyvů bez přímého zásahu do spalovacího procesu. Hlavní nevýhodou však zůstává omezený regulační rozsah – přívod kouře lze pouze tlumit, nikoliv aktivně zvyšovat. V případech, kdy je teplota v udírně nedostatečná, zůstává řízení nadále plně závislé na ručním přikládání a intenzitě hoření v ohništi.

Teplotu v udírně lze pomocí regulační klapky ovlivňovat různými způsoby, které se liší zejména podle místa snímání teploty a způsobu, jakým je klapka řízena. V navrhovaném řešení jsou teploty monitorovány na dvou klíčových místech – v prostoru udící komory a v ohništi.

## **5.4 Rozdělení podle místa snímání teploty**

### **5.4.1 Řízení na základě teploty ohniště**

Řízení na základě teploty snímané v ohništi umožňuje rychlou reakci systému na náhlé změny teploty přiváděného kouře. V případě nežádoucího vzplanutí dřeva může regulační klapka velmi rychle omezit přívod horkého kouře do udírny a zabránit tak prudkému nárůstu teploty, který by mohl negativně ovlivnit výslednou kvalitu uzeného masa. Nevýhodou tohoto způsobu řízení je však absence zpětné vazby – systém sice reaguje na aktuální podmínky v ohništi, ale neposkytuje informaci o tom, jak efektivně tato regulace ovlivňuje podmínky přímo v udírně. Tato nepřímost řízení zvyšuje složitost návrhu regulačního algoritmu, protože je nutné zohlednit nelineární závislost mezi teplotou v ohništi a výslednou teplotou v udírně. Algoritmus musí být pečlivě vyladěn tak, aby nedocházelo ke zpožděným nebo nadměrným zásahům, což klade vyšší nároky na jeho stabilitu a přesnost.

### **5.4.2 Řízení na základě teploty udírny**

Naopak regulace založená na teplotě snímané přímo v udící komoře nabízí přesnější kontrolu nad prostředím, ve kterém dochází k samotnému procesu uzení. Jelikož je teplota v udírně klíčovým faktorem ovlivňujícím výslednou kvalitu produktu, tento způsob řízení umožňuje

udržovat požadovanou teplotu s větší přesností. Výhodou tohoto přístupu je, že řízená veličina (teplota v komoře) je zároveň přímo monitorována, což zjednodušuje návrh regulačního algoritmu. Díky zpětné vazbě lze přesněji a stabilněji dosáhnout požadovaných podmínek, aniž by bylo nutné odhadovat nepřímé vlivy, jako je tomu při měření teploty v ohništi. Nevýhodou zůstává pomalejší reakce systému, způsobená tzv. dopravním zpožděním – systém reaguje až ve chvíli, kdy teplota v komoře překročí požadovanou hodnotu, čímž může dojít ke krátkodobému překročení optimálních podmínek.

### **5.4.3 Dvouúrovňová regulace teploty**

Kombinované využití teplotních údajů z udírny i ohniště umožňuje spojit výhody obou samostatných metod řízení. Díky přímému monitorování teploty v udící komoře je možné dosáhnout přesné regulace v místě, kde je stabilita teplotního prostředí klíčová pro výslednou kvalitu produktu. Současné snímání teploty v ohništi však poskytuje doplňující informaci o stavu zdroje tepla, což umožňuje rychlou reakci na náhlé změny – například při vzplanutí dřeva. Tato kombinace rovněž umožňuje prediktivní zásahy, jako je předčasné otevření regulační klapky při poklesu teploty v ohništi, čímž se lépe stabilizuje teplota v udírně bez zbytečných výkyvů. Řídicí algoritmus využívající obě teplotní veličiny tak může být konstrukčně jednodušší díky přímé zpětné vazbě z udírny, a zároveň efektivnější díky schopnosti předvídat změny v chování tepelného zdroje.

## **5.5 Rozdělení podle typu řídicího algoritmu**

### **5.5.1 ON/OFF regulace**

ON/OFF regulace představuje nejjednodušší formu řízení teploty pomocí dvupolohového akčního zásahu. Tento algoritmus pracuje na principu binárního rozhodování – regulační klapka je buď plně otevřená, nebo zcela uzavřená. V praxi to znamená, že při poklesu teploty pod nastavenou hodnotu systém otevře klapku a umožní přístup horkého kouře do udírny, zatímco při jejím překročení klapku uzavře a tok tepla přeruší.

Hlavní výhodou tohoto typu řízení je jeho jednoduchost, nízké nároky na výpočetní výkon a snadná implementace v mikrokontrolerech. Tento přístup je vhodný zejména pro základní aplikace, kde není kladen důraz na vysokou přesnost nebo dlouhodobou stabilitu řízeného procesu.

Nevýhodou je naopak přítomnost trvalé regulační odchylky, která vzniká v důsledku neustálého přepínání mezi extrémy (plně otevřeno/plně zavřeno). Tato oscilace teploty kolem nastavené hodnoty může negativně ovlivnit kvalitu uzení, zejména v případě delších odezev systému (např. při vysoké tepelné setrvačnosti udirny). Dalším problémem je nadměrné mechanické opotřebenění akčního členu, například krokového motoru, kvůli častému cyklování mezi dvěma stavy, což může vést ke zkrácení jeho životnosti. (X-ENGINEER, [2025])

### **5.1.2 Vícepolohová regulace**

Vícepolohová regulace představuje kompromis mezi jednoduchou ON/OFF regulací a plynulým řízením. Tento přístup pracuje s omezeným, ale předem definovaným počtem regulačních poloh, jejichž množství je dáno konstrukčními a mechanickými vlastnostmi použitého akčního členu. Například při využití krokového motoru s 32 krokovým rozlišením na otáčku a převodovým poměrem 1:64 je možné dosáhnout až 2048 regulačních poloh. Vzhledem k tomu, že regulační klapka je v praxi otočena maximálně o 180°, dojde k osové symetrii a efektivní počet unikátních regulačních pozic se snižuje na polovinu, tedy na 1024.

Takto vysoké rozlišení však není pro praktické řízení toku horkého kouře nutné. Vzhledem k tomu, že proudění kouře je turbulentní a klapku může částečně obtékat i při jejím zúžení, není potřeba extrémně jemného nastavení. Většina regulačních potřeb může být pokryta již při využití 3 až 5 rozlišitelných poloh. Tento přístup umožňuje plynulejší a jemnější regulaci než ON/OFF metoda, a zároveň snižuje nároky na řídicí algoritmus i mechanické opotřebenění akčního členu.

### **5.1.3 Fuzzy regulace**

Fuzzy regulace pracuje na základě tzv. neurčitých (vágních) hodnot a hranic, na rozdíl od víceúrovňové regulace, která využívá přesně definované kroky. Fuzzy logika je inspirována způsobem lidského rozhodování, kdy jsou vstupní veličiny posuzovány prostřednictvím jazykových pojmů, jako například „mírně vysoká teplota“ nebo „teplota rychle klesá“. Tento přístup je zvláště vhodný pro řízení nelineárních systémů a systémů s nejistotou nebo přibližným popisem. V kontextu regulace teploty v udirně umožňuje fuzzy regulátor plynulé a adaptivní nastavení polohy regulační klapky na základě fuzzy pravidel vycházejících z rozdílu mezi aktuální a požadovanou teplotou. Výsledkem je jemnější řízení s menšími teplotními výkyvy, což přispívá ke stabilitě teplotního režimu. Nevýhodou fuzzy regulace je vyšší složitost

návrhu algoritmu, který vyžaduje pečlivé nastavení pravidel, váhových funkcí a ladění pro konkrétní aplikaci. (Zhang, 2006)

#### **5.1.4 PID regulace**

Proporcionálně–integračně–derivační (PID) regulace patří mezi základní typy řízení využívané v automatizačních systémech. Její funkce je založena na třech složkách, jak napovídá samotný název. Proporcionální složka (P) zajišťuje okamžitou reakci na aktuální regulační odchylku, integrační složka (I) pracuje s dlouhodobým průběhem odchylky a postupně ji eliminuje, čímž přispívá k dosažení nulové statické regulační odchylky. Derivační složka (D) pak reaguje na rychlost změny odchylky a slouží k tlumení přechodových jevů, čímž stabilizuje systém.

Hlavní výhodou PID regulace je právě schopnost eliminovat trvalou regulační odchylku, což je zásadní pro aplikace vyžadující vysokou přesnost. V případě regulace teploty v udírně však takto přesná regulace zpravidla není nezbytná. Výhodou PID regulace je také možnost její realizace jak softwarově pomocí algoritmů, tak hardwarově prostřednictvím operačních zesilovačů. Nevýhodou je složitější návrh algoritmu a nutnost správného nastavení poměrů mezi jednotlivými složkami, což vyžaduje pečlivé ladění pro konkrétní aplikaci. (Unbehauen, 2009)

### **5.6 Možnosti bezdrátového přenosu mezi částmi systému**

Jedním z hlavních důvodů návrhu systému bylo ulehčení kontory stavu teploty udírny a ohniště. Udírna je umístěna ve venkovních prostorách a byla nutná častá osobní kontrola nebo neustálá přítomnost v její blízkosti. Pro vyřešení tohoto problému má systém mimo regulace také za úkol dodávat uživateli informace na vzdálenost 30 m do vnitřních prostor.

#### **5.6.1 Přenos dat pomocí Wi-Fi**

Jednou z možností bezdrátového přenosu dat je využití stávající domácí WLAN síť. Hlavní výhodou tohoto řešení je vysoká přenosová rychlost, která může dosahovat až 72 Mb/s při použití modulů jako je ESP8266. Komunikace probíhá ve volně dostupném pásmu rádiových vln o frekvenci 2,4 GHz. (Schwartz, *n.d.*)

Mezi nevýhody tohoto přístupu patří nutnost využití mikrokontroleru se zabudovaným Wi-Fi modulem, například ESP8266 nebo ESP32, případně připojení samostatného modulu k základnímu mikrokontroleru (například k Arduino). Tato zařízení mají obvykle vyšší pořizovací cenu než jednodušší moduly bez podpory bezdrátové komunikace. Další nevýhodou může být závislost na kvalitě a pokrytí místní Wi-Fi sítě. V místech se slabým signálem může docházet ke ztrátě paketů nebo výpadkům spojení, což snižuje spolehlivost přenosu. (Schwartz, *n.d.*)

V navrženém systému by tato varianta umožnila odesílat data přímo na cloudovou službu ThingSpeak, kde by byla archivována a zpřístupněna pro další zpracování a zobrazení. Přestože toto řešení nabízí výhodu vzdáleného přístupu k datům přes internet, je z hlediska implementace složitější než přímá komunikace mezi dvěma zařízeními (např. přes RF moduly).

### **5.6.2 Přenos dat pomocí ZigBee**

Další možností bezdrátového přenosu dat je využití technologie Zigbee, která je určena pro nízkorychlostní komunikaci na krátké vzdálenosti. Zigbee pracuje ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz a je navržena pro použití v zařízeních s nízkou spotřebou energie.

Maximální přenosová rychlost je 250 kb/s, což je plně dostačující pro přenos základních údajů, jako jsou teploty. Výhodou Zigbee oproti jiným řešením je jeho robustnost a podpora síťové topologie typu mesh, což umožňuje vytvářet rozsáhlé a spolehlivé sítě s více zařízeními. (Faludi, 2011)

Zigbee je vhodné pro aplikace, kde je vyžadována stabilní komunikace bez připojení k Wi-Fi nebo internetu. V porovnání s Wi-Fi je méně náchylné na výpadky způsobené rušením a má nižší spotřebu energie, což je výhodné pro zařízení napájená z baterie. Při využití komunikace na frekvenci 2,4 GHz dosahuje maximální dosah modulů 100 metrů. (Faludi, 2011)

Nevýhodou je potřeba použití speciálních Zigbee modulů (např. XBee) a složitější konfigurace sítě. Modulární mikrokontrolery jako Arduino neobsahují Zigbee nativně, proto je nutné tyto moduly připojovat externě. Další nevýhodou je přenosový dosah, který se vlivem překážek snižuje zhruba na 30 m. (Faludi, 2011)

V navrhovaném systému by Zigbee bylo vhodné pro přímou bezdrátovou komunikaci mezi měřicím a zobrazovacím zařízením, bez nutnosti přístupu k internetu nebo externí cloudové platformě.

### **5.6.3 Přenos dat pomocí RF modulů**

Další možností bezdrátového přenosu dat je využití RF modulů, jako je například nRF24L01+. Tyto moduly operují v nelicencovaném pásmu 2,4GHz a jsou navrženy pro energeticky úspornou a spolehlivou bezdrátovou komunikaci mezi mikrokontrolery. Maximální přenosová rychlost činí až 2 Mb/s, avšak v aplikacích, kde není požadován vysoký datový tok, lze rychlost snížit na 250 kb/s. Snížení rychlosti má za následek vyšší spolehlivost spojení a zvýšení dosahu.

Základní verze modulu dosahuje dosahu přibližně 30 metrů v běžném vnitřním prostředí s překážkami. Pro větší vzdálenosti lze použít variantu s PA (zesilovač výkonu) a LNA (nízkosumový zesilovač) a s připojenou externí anténou, což umožňuje dosah až 100 metrů. (Azhari, 2022)

Tyto moduly jsou ideální pro peer-to-peer komunikaci mezi dvěma mikrokontrolery, ale podporují i složitější síťové topologie (např. hvězdicovou). Komunikace probíhá pomocí SPI sběrnice, což zaručuje rychlou a efektivní výměnu dat. Mezi výhody těchto modulů patří nízká spotřeba energie, nízké náklady a možnost implementace obousměrné komunikace.

## PRAKTICKÁ ČÁST

Tato část práce se věnuje praktické realizaci funkčního systému pro monitorování a regulaci teploty v domácí udírně s ručním přikládáním paliva. Cílem návrhu je usnadnit obsluhu zařízení a zajistit stabilní řízení teploty i v případě, kdy je udírna umístěna mimo přímý dosah uživatele. Navržený systém je rozdělen do dvou hlavních částí.

První část slouží ke snímání a odesílání dat, přičemž zároveň zajišťuje automatizovanou regulaci teploty v udicí komoře. Tato jednotka je koncipována jako autonomní a je schopna fungovat samostatně bez připojení k druhé části systému. Druhá část pak slouží především k informování uživatele o aktuálním stavu zařízení. Zobrazuje měřené teploty v ohništi a v udicí komoře a v případě potřeby upozorní na nutnost přiložení paliva. Naměřené hodnoty jsou navíc průběžně odesílány na cloudovou platformu ThingSpeak, kde jsou archivovány pro další analýzu.

Dále je v popsáno kompletní řešení hardwarových a softwarových komponent systému, navrženého pro konkrétní typ domácí udírny s odděleným ohništěm.

Samotná udírna, pro kterou je systém navržen, má vnější rozměry 59 cm (šířka) × 59 cm (hloubka) × 83 cm (výška). Oddělené ohniště s ruční regulací přívodu vzduchu má rozměry 28 cm × 40 cm × 26 cm. Tato konfigurace byla zohledněna při návrhu celého systému, aby byla zajištěna správná funkčnost řízení teploty v reálných provozních podmínkách. Horký kouř je do udicí komory přiváděn přívodním komínem o délce přibližně 1 metru, což způsobuje jeho částečné ochlazení před vstupem do udírny.

Během testování se venkovní teploty pohybovaly v rozmezí 15 až 25 °C, což mělo jen minimální vliv na teplotu přiváděného kouře. V případě nižších venkovních teplot je však třeba počítat s výraznějším ochlazením a případně upravit prahové hodnoty systému, například teplotní mez pro upozornění na nutnost přiložení paliva.

## 6 Řízení celého systému

Pro řízení obou částí systému byla zvolena platforma Arduino, která je založena na mikrokontrolerech řady ATmega. Arduino představuje open-source platformu, což znamená, že její návrh, schémata zapojení i vývojové prostředí jsou volně dostupné. Tato otevřenost přináší uživatelům značnou flexibilitu při úpravách softwaru i hardwaru a umožňuje snadné přizpůsobení konkrétním potřebám projektu.

Díky velkému rozšíření této platformy je k dispozici bohatá komunita uživatelů, kteří sdílejí své zkušenosti, návody, příklady zapojení i předpřipravené knihovny pro široké spektrum senzorů a akčních členů. To výrazně zjednodušuje a urychluje vývoj i méně zkušeným uživatelům. Ve srovnání s alternativními platformami, jako je například Raspberry Pi, je Arduino cenově dostupnější a jednodušší na ovládání, což z něj činí ideální volbu pro projekty zaměřené na jednodušší automatizaci a řízení fyzikálních veličin, jako je teplota.

Programování platformy Arduino probíhá ve vývojovém prostředí Arduino IDE, které je pro uživatele dostupné zdarma pro všechny hlavní operační systémy. IDE umožňuje psát, kompilovat a nahrávat kód přímo do mikrokontroleru. Programovací jazyk používaný v Arduino IDE je založen na C/C++, ale je výrazně zjednodušený a optimalizovaný. K dispozici je množství integrovaných funkcí, které umožňují snadné ovládání vstupů a výstupů, komunikaci přes sériové rozhraní, práci se senzory nebo řízení motorů. Díky přehlednému rozhraní a velké uživatelské základně je Arduino IDE ideálním nástrojem pro rychlý vývoj funkčních prototypů a implementaci automatizačních úloh. Kompletní přehled využitých mikrokontrolerů a periférií je uveden v Tabulka 1: Přehled využitých součástí.

Tabulka 1: Přehled využitých součástek

Název	Množství	Část využití v systému
Arduino Mega precise	1x	Vnější
Arduino Uno r3 precise	1x	Vnitřní
Termočlánek typu K se závitem M6	2x	Vnější
Modul MAX6675 pro termočlánek	2x	Vnější
Napájecí modul MB102	1x	Vnější
nRF24L01+PA+LNA SMA bezdrátový komunikační modul	2x	Vnější/Vnitřní
SMA anténa pro nRF24L01	2x	Vnější/Vnitřní
Adaptér pro bezdrátový modul NRF24L01	2x	Vnější/Vnitřní
Krokový motor - 12V 28BYJ-48	1x	Vnější
Driver pro krokové motory 28BYJ-48	1x	Vnější
ESP8266 ESP-01 WIFI TCP/IP	1x	Vnitřní
IIC I2C displej LCD 1602, 16 x 2 LCD	1x	Vnitřní

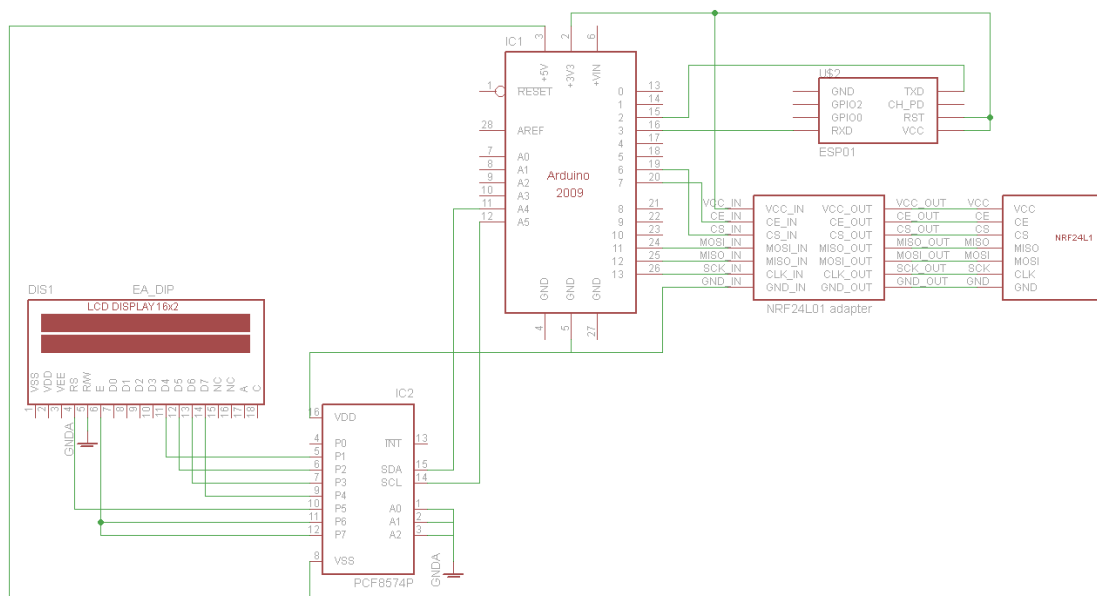
## 6.1 Arduino Uno

Pro řízení druhé části systému, která má za úkol informovat uživatele o aktuálních teplotách, je využito Arduino Uno R3. Jedná se o nejrozšířenější a nejpoužívanější variantu platformy Arduino, která je postavena na mikrořadiči ATmega328P.

Arduino Uno R3 disponuje celkem 14 digitálními vstupně-výstupními piny, z nichž 6 lze využít jako PWM výstupy. Dále má 6 analogových vstupních pinů. Každý z těchto pinů má 10bitového rozlišení, tedy 0–1023.

Deska Arduino Uno R3 je napájena primárně prostřednictvím napájecího konektoru typu Jack, který akceptuje vstupní napětí v rozsahu 7 až 12 V. Interně je toto napětí regulováno na provozní úroveň 5 V, se kterou pracuje samotný mikrořadič. Alternativně je možné desku napájet také prostřednictvím USB konektoru typu B, který zároveň slouží k nahrávání programového kódu z vývojového prostředí do paměti mikrokontroleru. Mezi další důležité komponenty patří 16 MHz krystalový oscilátor, který zajišťuje taktování procesoru, a paměti 32 kB flash, 2 kB SRAM a 1 kB EEPROM pro ukládání programového kódu a proměnných.

K mikrokontroleru Arduino Uno je připojeno několik periferních zařízení. LCD displej s řadičem HD44780 je připojen prostřednictvím převodníku PCF8574, který umožňuje komunikaci po sběrnici I2C. Pro bezdrátový přenos dat je využit modul nRF24L01+, který je připojen přes adaptér s vestavěným stabilizátorem napětí. Třetím připojeným prvkem je Wi-Fi modul ESP8266. Schéma zapojení všech komponent je znázorněno na Obrázek 1: Schéma zapojení vnitřní části systému.



Obrázek 1: Schéma zapojení vnitřní části systému

## 6.2 Arduino Mega

Pro řízení hlavní části systému, tedy části zodpovědné za snímání teploty, její regulaci a odesílání hodnot do druhé části systému, je využita deska Arduino Mega precise (dále jen Arduino Mega). Tato varianta platformy Arduino byla zvolena především kvůli svému rozšířenému počtu vstupně-výstupních pinů. Arduino Mega je tedy vhodné pro připojení většího množství periférií a možné rozšiřování systému.

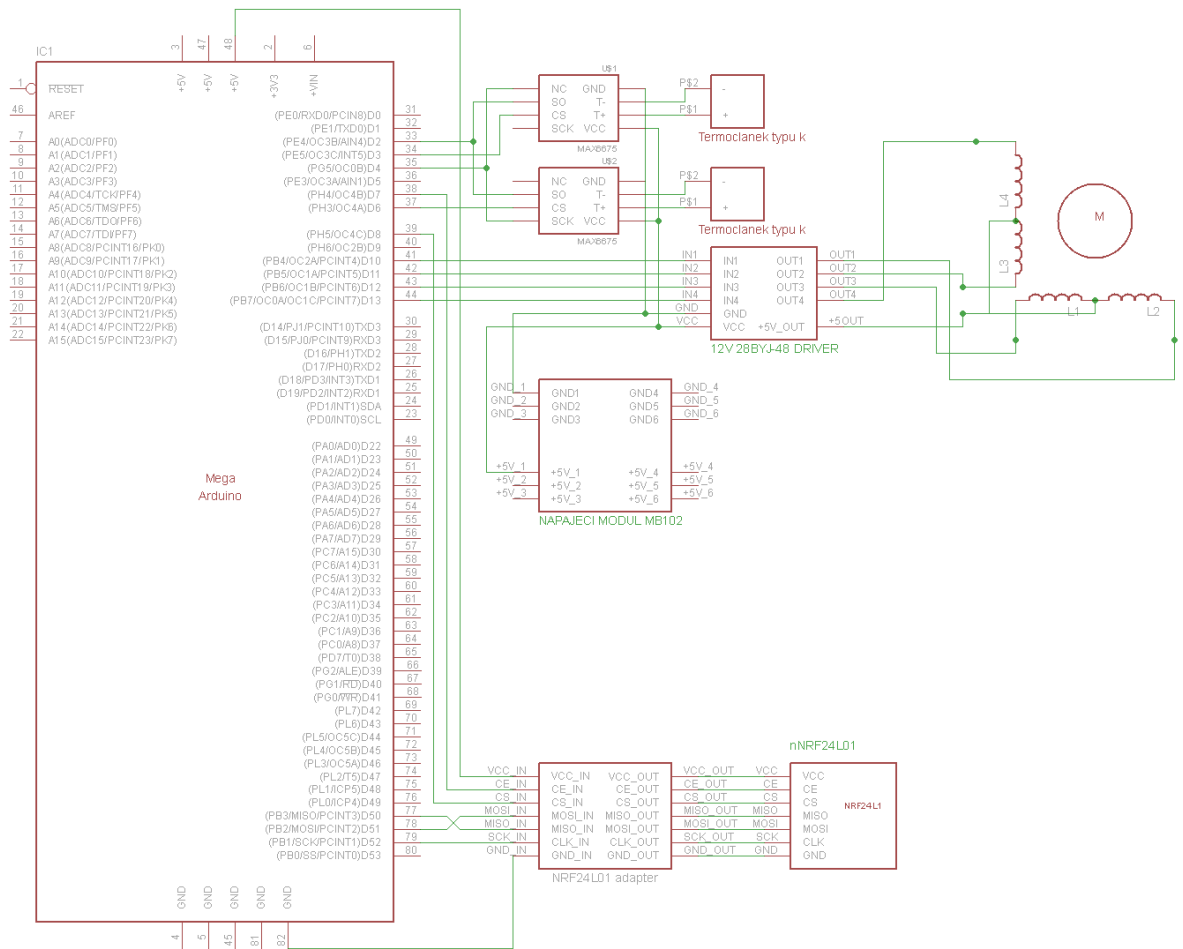
Arduino Mega disponuje 54 digitálními vstupně-výstupními piny, z nichž 15 může být využito pro PWM výstup. Dále je vybaveno 16 analogovými vstupy, které, stejně jako u desky Arduino Uno, mají 10bitové rozlišení, což umožňuje čtení analogových hodnot v rozsahu 0 až 1023. Napěťový rozsah analogových vstupů je typicky 0–5 V, s možností úpravy pomocí referenčního napětí.

Deska je postavená na mikrořadiči ATmega2560, který běží na frekvenci 16 MHz. Nabízí 256 kB flash paměti pro uložení programu, 8 kB SRAM a 4 kB EEPROM. Kromě toho disponuje Arduino Mega čtyřmi hardwarovými UART porty pro sériovou komunikaci, což výrazně rozšiřuje možnosti připojení dalších modulů a zařízení, jako jsou displeje, senzory nebo komunikační moduly.

Napájení desky je možné buď pomocí USB konektoru typu B, nebo přes napájecí konektor typu Jack, který akceptuje napětí v rozsahu 7–12 V. Integrovaný regulátor napětí zajišťuje konverzi na 5 V potřebných pro samotný mikrokontroler i připojené komponenty.

K mikrokontroleru Arduino Mega jsou připojeny další senzory a akční členy potřebné pro sběr dat a řízení. Pro měření teploty jsou využity dva moduly MAX6675, ke kterým jsou připojeny termočlánky typu K. Stejně jako u Arduina Uno je i zde použit modul nRF24L01+ s adaptérem obsahujícím stabilizátor napětí. Jako akční člen je použit krokový motor 28BYJ-48, ovládaný prostřednictvím řídicího modulu (driveru ULN2003), který je připojen k digitálním výstupům Arduina.

Schéma zapojení všech těchto prvků je uvedeno na Obrázek 2: Schéma zapojení vnější části systému.



Obrázek 2: Schéma zapojení vnější části systému

## 7 Měření teplot

Měření teploty udírny je klíčovým prvkem celého systému, neboť teplota uvnitř udicí komory přímo ovlivňuje kvalitu výsledného produktu. Měření teploty ohniště je důležitou součástí systému pro možnost rychlé reakce na náhlé změny. Tato část se zaměřuje na výběr vhodných teplotních senzorů, jejich rozmístění v systému a způsob získávání a zpracování naměřených hodnot. Důraz je kladen na přesnost měření, spolehlivost přenosu dat a minimalizaci chyb, které mohou ovlivnit následnou regulaci teploty.

### 7.1 Měření teploty ohniště

Snímání teploty ohniště je náročné na typ využitého teploměru kvůli velmi vysokým teplotám, jak už je rozvedeno v teoretické části práce. Nejdostupnějším a hodným způsobem je využití termočláneku typu K. Tento termočlánek byl umístěn do horní části krytého ohniště v blízkosti přívodního komínu kouře do udírny, tedy 23 cm nad samotným ohněm. Termočlánek tak snímá teplotu kouře proudícího do udírny a teplota není silně ovlivněna přímo plameny ani popelem vznikajícím ve spodní části ohniště. Toto umístění je také vhodné vzhledem k průběžnému posunu hořícího paliva po ohništi. Je tak zajištěno přesnější měření s minimálním vlivem pohybu hořícího paliva.

Teplotní napětí generované termočlánekem typu K je snímáno specializovaným modulem MAX6675, který je navržen právě pro tento typ senzoru. Použití tohoto modulu však omezuje původní měřicí rozsah samotného termočláneku, který činí přibližně  $-200\text{ °C}$  až  $1300\text{ °C}$ , na rozsah  $0$  až  $1024\text{ °C}$ . Tento omezený rozsah je dán interním zpracováním signálu a použitím 12bitového analogově-digitálního převodníku, který dokáže rozlišit 4096 úrovní ( $2^{12}$ ). Každá jednotka v digitálním výstupu odpovídá hodnotě  $0,25\text{ °C}$ , což vynásobením dává právě maximální měřitelnou teplotu  $1024\text{ °C}$ .

Přestože dojde ke ztrátě možnosti měřit záporné teploty, tento zúžený rozsah plně vyhovuje měření teploty ohniště u domácí udírny. Teploty v ohništi neklesají pod  $0\text{ °C}$  ani při přerušení topení, a v běžném provozu se teploty v oblasti umístění senzoru pohybují obvykle mezi  $200$ – $500\text{ °C}$ . Modul MAX6675 tak poskytuje dostatečný rozsah i rozlišení pro přesné a spolehlivé sledování teplotních podmínek během celého procesu uzení.

Modul MAX6675 využívá pro komunikaci s mikrokontrolerem sběrnici SPI. Tato sběrnice pracuje v topologii master–slave, kde komunikaci řídí jedno hlavní zařízení, tzv. master

(v tomto případě Arduino Mega), a data si vyměňují s podřízenými zařízeními, tzv. slave. SPI je synchronní sběrnice, což znamená, že všechna data jsou přenášena v rytmu hodinového signálu generovaného masterem.

Komunikace probíhá prostřednictvím čtyř vodičů:

- CLK – hodinový signál generovaný masterem, který určuje tempo přenosu dat.
- MISO – vodič, po kterém slave zařízení (například MAX6675) posílá data zpět masteru.
- MOSI – vodič, po kterém master posílá data do slave zařízení (u MAX6675 se nevyužívá, protože modul pouze odesílá).
- SS nebo CS – signál, kterým master vybírá konkrétní slave zařízení pro komunikaci. U modulu MAX6675 je tento pin aktivní v logické nule – při jeho sepnutí dochází k přenosu dat.

## 7.2 Měření teploty udírny

Pro měření teploty udícní komory byl zvolen termočlánek typu K. Jak je již uvedeno v teoretické části práce, termočlánek patří mezi vhodné měřicí prvky pro prostředí udírny díky své vysoké teplotní odolnosti a robustnosti. Jednou z hlavních výhod oproti jiným typům teploměru je jeho odolnost vůči znečištění, kouři a prachovým částicím, které jsou v prostředí udírny běžné. Díky své konstrukci je navíc schopný dlouhodobého provozu i při vyšších teplotách bez výrazného snížení přesnosti měření.

Použití shodného typu termočlátku pro měření teploty v ohništi i v udícní komoře přineslo několik praktických výhod. Umožnilo to sjednotit hardware na straně převodníků (moduly MAX6675) a zároveň využít jednu typovou sběrnici SPI pro komunikaci s mikrokontrolerem. Tím došlo ke snížení požadavků na počet vstupně-výstupních pinů mikrokontroleru a zjednodušení celkového zapojení. Oba převodníky MAX6675 sdílí společný hodinový signál (CLK) a datový kanál pro odesílání dat (SO). Každý převodník má však vlastní čipový výběr (CS), kterým se řídí aktivace daného zařízení na sběrnici. Pro komunikaci přes SPI sběrnici byla využita knihovna max6675.h, která podporuje softwarovou implementaci SPI (Software SPI). Díky tomu bylo možné připojit senzory k libovolným digitálním pinům mikrokontroleru, nikoli pouze k výchozím pinům určeným pro hardwarové SPI rozhraní. Stejnorodost měřicích

prvků navíc usnadnila vývoj softwarového řešení, jelikož měření teplot na obou místech lze provádět stejným způsobem bez nutnosti odlišného zpracování dat.

Vzhledem k tomu, že termočlánek typu K s modulem MAX6675 poskytuje dostatečnou přesnost a teplotní rozsah až do 1024 °C, pokrývá plně požadavky měření jak pro ohniště, tak pro samotnou udírnu. Toto univerzální řešení se tak ukázalo jako efektivní z hlediska nákladů, jednoduchosti zapojení i spolehlivosti v náročném prostředí.

### **7.3 Regulace teploty**

Regulace teploty byla realizována pomocí regulační klapky umístěné na vstupu horkého kouře do udírny. Tento způsob řízení teploty umožňuje efektivní regulaci bez rizika udušení ohně, ke kterému by mohlo dojít při nadměrném omezování přívodu vzduchu. Zároveň nijak nenarušuje přirozené proudění kouře směrem vzhůru, které napomáhá rovnoměrnému rozložení teploty uvnitř udírny.

Přívodní kouřové potrubí má průměr 10 cm, zatímco regulační klapka o průměru 9,5 cm umožňuje i při částečném zavření určité množství kouře propouštět. Tím dochází ke snížení teplotních rozdílů mezi jednotlivými částmi udíčí komory a k udržení stabilních podmínek pro proces uzení.

## 8 Mechanické ovládání klapky

Pro pohon regulační klapky byl použit unipolární krokový motor typu 28BYJ-48. Tento motor je vybaven čtyřmi cívkami navinutými ve statoru, které jsou ovládány ve čtyřfázovém sekvenčním režimu. Bez převodovky vykoná motor 64 kroků pro otočení o  $360^\circ$ , přičemž každý krok představuje úhel  $5,625^\circ$ . Díky integrované převodovce s převodovým poměrem přibližně 1:64 se celkový počet kroků na výstupu zvyšuje na 4096 pro jednu plnou otočku. Každý krok tak odpovídá zhruba  $0,088^\circ$ , což zajišťuje velmi jemné a přesné nastavování regulační klapky.

Pro řízení motoru byl využit ovládací modul s integrovaným obvodem ULN2003. Tento obvod tvoří pole Darlingtonových tranzistorů, které umožňují jednoduché připojení krokového motoru k mikrokontroleru, jako je Arduino. Modul ULN2003 zajišťuje potřebné napěťové i proudové úrovně pro jednotlivé cívky motoru a umožňuje krokování přes standardní digitální výstupy. Modul také umožňuje napájení motoru pomocí 5 nebo 12 V. Pro řízení klapky byl využito napájení pomocí 5 V.

Pro napájení krokového motoru s řídicím modulem byl použit externí 9 V napájecí zdroj připojený přes konektor typu Jack. Toto napětí bylo následně upraveno na požadovanou hodnotu 5 V pomocí napájecího modulu MB102. Modul umožňuje stabilní napájení díky integrovanému lineárnímu regulátoru a poskytuje možnost volby mezi 3.3 V a 5 V výstupním napětím.

Použití samostatného napájecího zdroje a modulu MB102 má několik výhod – především zamezuje přetížení a přehřívání vestavěného napěťového stabilizátoru na desce Arduino Uno, který by při napájení motoru mohl být nadměrně zatížen. Tímto způsobem bylo zajištěno stabilní a bezpečné napájení krokového motoru bez ohrožení spolehlivosti celého systému.

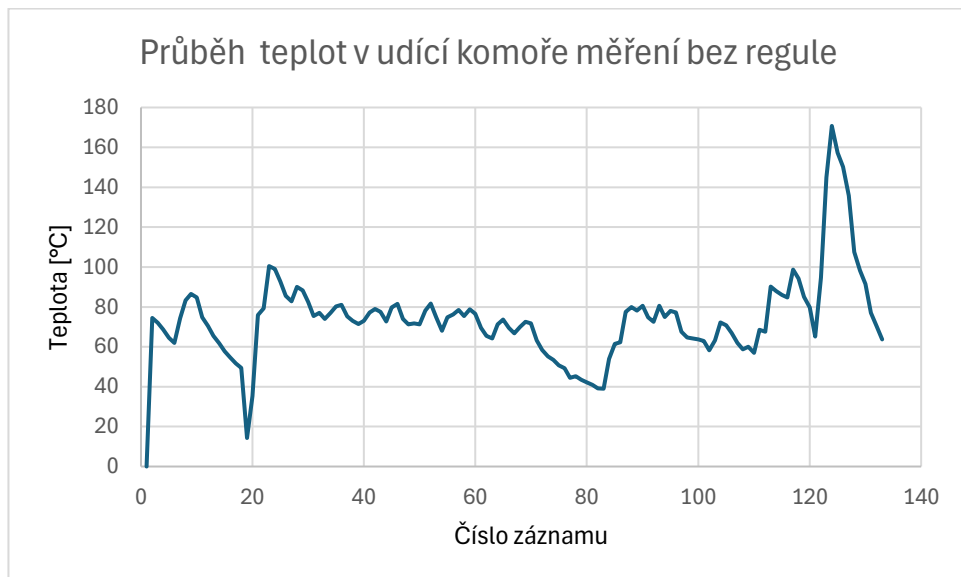
Použití tohoto typu akčního členu (např. krokový motor bez zpětné vazby) neumožňuje přímou kontrolu aktuální polohy klapky. Řídicí algoritmus uchovává informaci o stavu klapky pouze softwarově, tedy předpokládá, že při spuštění systému je klapka ve výchozí – otevřené – poloze. Tento předpoklad je logický, jelikož na začátku procesu uzení je potřeba maximální proudění horkého kouře k rychlému dosažení požadované teploty v udírně.

V případě výpadku napájení nebo neočekávaného restartu mikrokontroleru však může dojít ke ztrátě informace o poloze klapky, což může způsobit její nesprávné otevření nebo zavření. Klapka se tak může nacházet v jiné poloze, než jakou software předpokládá, což negativně

ovlivňuje řízení teploty. Z tohoto důvodu je nutné po každém spuštění systému nebo před zahájením regulace ručně zkontrolovat a správně nastavit výchozí polohu klapky.

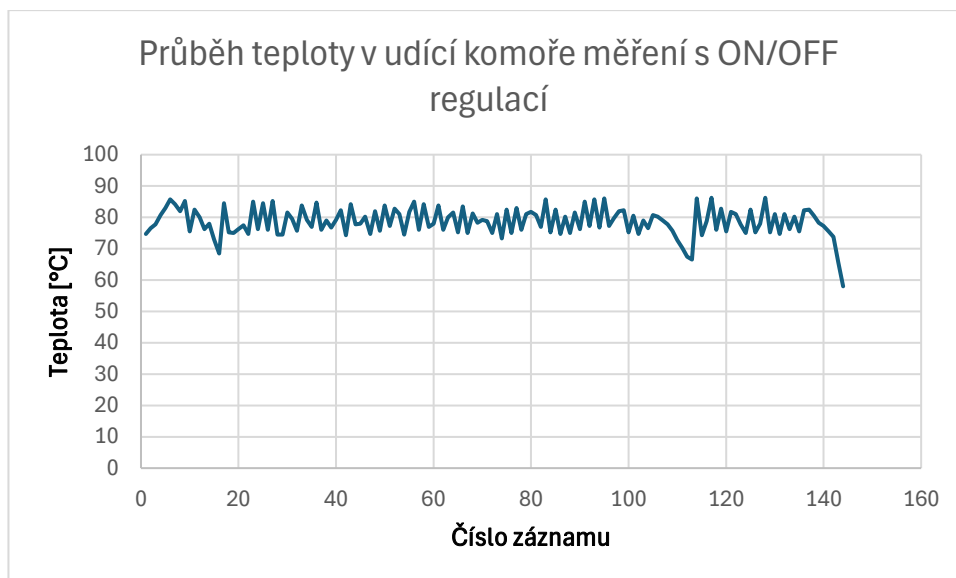
## 8.1 Algoritmy regulace

Pro testování účinnosti regulace byly provedeny tři kompletní měřicí cykly udíciho procesu. První měření proběhlo zcela bez zapnuté regulace. Jeho cílem bylo zaznamenat přirozený průběh teplot v udírně při klasickém manuálním uzení, tedy bez zásahu systému. Tato data sloužila jako referenční základ pro následné porovnání s automaticky řízenými procesy. Průběh teploty v udíci komoře je uveden na Obrázek 3: Graf průběhu teploty udíci komory bez regulace.



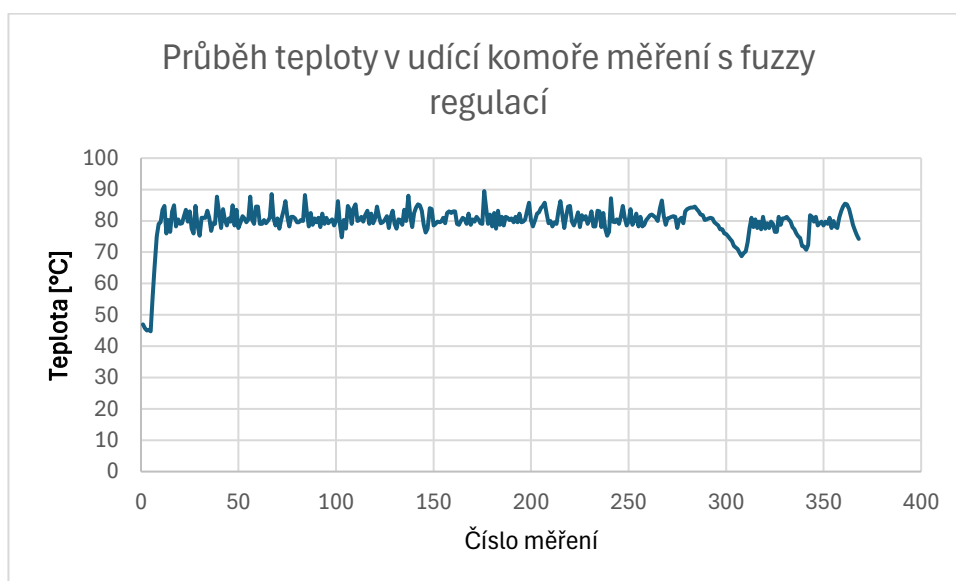
Obrázek 3: Graf průběhu teploty udíci komory bez regulace

Druhé měření již probíhalo s aktivní ON/OFF regulací, která zajišťovala otevírání a zavírání klapky na základě definovaných teplotních hranic. Tento jednoduchý regulační přístup umožnil porovnat efekt základního automatického řízení s neregulovaným procesem. Průběh změn teploty v udíci komoře naleznete na Obrázek 4: Graf průběhu teploty udíci komory s ON/OFF regulací.



Obrázek 4: Graf průběhu teploty udící komory s ON/OFF regulací

Třetí měření využívalo fuzzy regulaci, která umožňuje jemnější a plynulejší řízení na základě více vstupních proměnných a pravidel. Tento typ řízení je vhodný zejména pro systémy, kde jsou žádoucí menší odchylky teplot a plynulejší reakce. Průběh změn teploty v udící komoře naleznete na Obrázek 5: Graf průběhu teploty udící komory s fuzzy regulací.



Obrázek 5: Graf průběhu teploty udící komory s fuzzy regulací

### 8.1.1 ON/OFF regulace

Jedním z důvodů pro volbu ON/OFF regulace byla pomalá dynamika změn teploty v udící komoře. Překročení požadovaného teplotního rozmezí 60 až 90 °C zabralo čas v řádech minut.

Díky této časové prodlevě mohla klapka zcela uzavřít přívod kouře a stále udržet teplotu s dostatečnou rezervou v oblasti požadovaných teplot.

Při regulaci byla využívána jak teplota udící komory, tak teplota ohniště. Aktuální teplota udící komory sloužila k výpočtu regulační odchylky a následnému vyhodnocení, zda se hodnota nachází v požadovaném rozmezí  $\pm 5$  °C od střední hodnoty doporučeného rozsahu 80 °C. Pokud byla tato tolerance překročena, došlo k akčnímu zásahu krokového motoru ovládajícího regulační klapku.

Teplota ohniště byla zohledněna ve dvou specifických případech regulace. Prvním případem byla situace, kdy se teplota v udící komoře nacházela v požadovaném rozmezí. Pokud přitom došlo k nárůstu teploty ohniště o více než 5 °C mezi jednotlivými měřicími cykly, systém klapku předčasně uzavřel, aby předešel prudkému zvýšení teploty v komoře.

Druhý případ nastával při poklesu teploty ohniště pod 180 °C. Na základě testování bez regulace bylo zjištěno, že při poklesu pod tuto hranici dochází k nedostatečné tvorbě horkého kouře, což vede k potřebě ručního přiložení paliva.

Z naměřených teplot lze považovat tento typ regulace za velice efektivní. Při celém průběhu přesáhla teplota požadované rozmezí 75 až 85 °C pouze o 1,25 °C. Největší pokles teploty byl naměřen při konci procesu na teplotu 58 °C. Tato teplota byla způsobena úmyslným vyhasnutím ohniště. Další větší výkyvy pod požadovaný rozsah teplot se pohybovaly okolo 65 °C. Tyto poklesy byly způsobeny pomalou reakcí obsluhy na potřebu přiložení i přes upozornění LCD displejem. Maximální pokles teploty při dostatečné teplotě ohniště činil pouhý 0,25 °C.

Přesnější řízení teploty bylo možné při využití menší tolerance od požadované hodnoty. Uzení však není proces, při kterém je nutné udržovat teplotu přesně na určité hranici. Rozdíl teplot v průměru pohybující se kolem 10 °C je více než dostačující. Požadavky na přesnější regulaci s menším povoleným rozsahem teplot by vedla k přílišnému využití krokového motoru a snížením tak jeho životnosti. Díky efektivnímu zabránění přístupu tepla do udírny klapkou v případě překročení požadované hodnoty bylo možné při obsluze ohniště využít větší množství paliva a tím prodloužit dobu mezi nutností další obsluhy.

### **8.1.2 Fuzzy regulace**

Hlavním důvodem pro využití fuzzy regulace byla efektivnější a jemnější možnost regulace. Při využití ON/OFF regulace se teploty nacházely v požadovaném rozmezí, ale vlivem hrubé

regulace se teplota pohybovala hlavně v krajních mezích požadovaného rozsahu. Využití fuzzy regulace využívá více poloh klapky. To dovoluje jemněji řídit přístup horkého kouře do udírny a zajistit teploty ještě s menšími výkyvy od požadované hodnoty.

Stejně jako u ON/OFF regulace byly pro regulaci využity obě měřené teploty. Teplota ohniště pro předčasné zavření klapky v případě prudkého nárůstu teploty a pro předčasné otevření klapky, v opačném případě kdy teplota klesá pod požadovanou hodnotu.

Teplota udírny je využita pro stanovení, zda se jedná o teplotu ideální, vysokou nebo nízkou. Za nízkou teplotu jsou považovány teploty pod 75 °C a za vysoké nad 85 °C. Za ideální teploty, při kterých nedojde k akčnímu zásahu klapky, jsou považovány všechny teploty spadající do rozmezí mezi nízkou a vysokou teplotu. Při aktuální teplotě v požadované oblasti je klapka ponechána v aktuálním stavu. V případě teploty mimo tento rozsah je provedeno otočení klapky do další z 5 celkových poloh. Otáčení klapky probíhá o 22° oběma směry.

Obě teploty jsou měřeny a vyhodnocovány každých 10 sekund. Tato prodleva byla určena, aby se dokázala projevit změna přístupu horkého kouře do udírny. Stále se však jedná o dostatečně krátkou prodlevu, kdy klapka může být při velké změně teploty ohniště včas plně zavřena či otevřena. Kvůli tomuto přístupu zabere vykonání přechodu klapky všemi 5 polohami 40 sekund.

Po porovnání naměřených údajů s využitím ON/OFF a fuzzy regulace lze vidět hned několik rozdílů. Při využití fuzzy regulace se teplota déle držela v blízkosti požadované teploty, a to 80 °C. Při využití ON/OFF regulace teploty střídavě klesaly a stoupaly k povoleným extrémům. Při využití fuzzy regulace se do těchto extrémů teploty dostávaly méně. Vlivem časové prodlevy mezi vyhodnoceními a následným akčním zásahem, který musí proběhnout 5x k plnému uzavření klapky teploty, častěji překračovaly požadovanou hranici 85 °C. Nevyšší překročení této hranice bylo naměřeno pouze o 4,5 °C. Na druhou stranu díky jemnější regulaci a omezenému času, kdy klapka byla plně zavřena, nedocházelo k častým poklesům pod 75 °C při dostatečné teplotě ohniště. Tento pokles nastal pouze jednou, a to pouze o 0,25 °C.

Při měření došlo k jednomu výraznějším poklesu teploty vlivem malé teploty ohniště. Teplota klesla na pouhých 68,75 °C. Systém upozornil na pokles teploty v ohništi příliš pozdě. Upozornění nastalo při poklesu teploty ohniště pod 180 °C, tato hranice byla v čase měření příliš nízká vzhledem k poklesu venkovních teplot v nočních hodinách, kdy docházelo k většímu ochlazení horkého kouře proudícího do udírny.

## 9 Bezdrátová komunikace

Bezdrátová komunikace mezi venkovní a vnitřní částí systému je klíčovým prvkem, který zajišťuje informovanost uživatele a celkové zjednodušení ovládání a monitorování údrny. Pro bezdrátový přenos dat byl využit modul nRF24L01+, který komunikuje prostřednictvím sběrnice SPI. Vzhledem k tomu, že SPI rozhraní využívají také teplotní převodníky MAX6675, bylo nutné zajistit, aby nedocházelo ke kolizím při současné komunikaci více zařízení. Zatímco moduly MAX6675 byly připojeny prostřednictvím softwarově emulované SPI sběrnice, modul nRF24L01+ byl připojen na hardwarovou SPI sběrnici, využívající vyhrazené piny rozhraní SPI na desce Arduino Mega. Toto řešení umožnilo oddělit komunikaci mezi bezdrátovým modulem a teplotními převodníky a tím zvýšit stabilitu přenosu. nRF24L01+ tak mohl pracovat s maximální rychlostí a spolehlivostí, aniž by byl ovlivněn paralelní činností dalších SPI zařízení v systému.

Původní bezdrátová komunikace s moduly nRF24L01+ bez PA+LNA zesilovačů a SMA antény vykazovala omezený dosah a spolehlivost, přičemž komunikace byla funkční pouze v určitých vnitřních prostorách. Tento problém byl vyřešen použitím modulu nRF24L01+ s PA+LNA zesilovači a SMA anténou, což významně zvýšilo stabilitu přenosu a umožnilo spolehlivou komunikaci ve všech prostorách, i těch s vyššími překážkami.

Během testování komunikace pomocí RF modulů však došlo k problémům při obousměrné komunikaci. Při použití modulu nRF24L01+ byla komunikace řízena automatickým ACK (acknowledgement) potvrzením. I když byla zpráva úspěšně doručena na druhý mikrokontroler, potvrzovací paket ACK nebyl doručen zpět odesílateli. Tento problém byl způsoben nestabilním napájením modulu, konkrétně napájením 3,3 V výstupem z Arduino Mega, které nebylo dostatečně stabilní pro správnou funkci modulu. Tento problém byl vyřešen přidáním externího napájecího adaptéru, který obsahuje vestavěný lineární napěťový stabilizátor AMS1117. Napěťový stabilizátor převádí vyšší napětí na požadovanou hodnotu. V tomto případě je převáděno napětí 5 V na 3,3 V. S tímto vylepšením se komunikace stala stabilní a obousměrná komunikace s úspěšným odesláním ACK paketů probíhala bez problémů.

Přenosová rychlost RF modulu byla nastavena na 250 kb/s. Tato nižší přenosová rychlost zajišťuje vyšší spolehlivost přenosu, což je zásadní v prostředí s možnými rušivými vlivy a překážkami. Pro přenos teplotních údajů je tato rychlost plně dostačující, neboť objem odesílaných dat činí pouze 8 bajtů (dvě hodnoty typu float).

Komunikace mezi moduly probíhala jednosměrně – z venkovní části systému (měření) do vnitřní části (zobrazení). Pro zvýšení spolehlivosti byla použita funkce automatického potvrzení přijetí dat pomocí tzv. ACK packetu. I když nRF24L01+ podporuje plnohodnotnou obousměrnou komunikaci, v tomto případě nebyla vyžadována, protože venkovní část systému pracuje zcela samostatně a nevyžaduje zpětnou vazbu.

Teploty se odesílají v případě splnění jedné ze dvou podmínek. První podmínkou je uplynutí pevně stanoveného časového intervalu, který je nastaven na 30 sekund. Tato periodická aktualizace umožňuje zobrazovacímu zařízení pravidelně zobrazovat aktuální hodnoty teplot, čímž je zajištěna stálá kontrola nad procesem uzení. Vyšší odesílací frekvence není nutná vzhledem k pomalým změnám teplot.

Druhou podmínkou pro okamžité odeslání dat je pokles teploty v ohništi pod stanovenou mez 180 °C. Tato hranice byla zvolena na základě praktických zkušeností jako minimální hodnota, při které je třeba znovu přiložit palivo, aby byl zachován požadovaný průběh uzení. Včasné odeslání těchto informací je důležité pro udržení stabilní teploty v udící komoře a pro předejití vyhasnutí ohniště.

Díky kombinaci pravidelného a podmíněného odesílání se systém stává nejen spolehlivým, ale také efektivním řešením pro dohled nad teplotou bez nutnosti neustálého manuálního dohledu.

Celkově tedy použití bezdrátových modulů nRF24L01+ s odpovídajícími zesilovači a stabilním napájením umožnilo efektivní a spolehlivou komunikaci mezi jednotlivými částmi systému, což zjednodušilo správu a monitorování teplotních hodnot v udírně.

## 10 Zobrazování teplot

Zobrazovací prvek v systému plní dvě klíčové funkce. První z nich je kontinuální zobrazení aktuálně měřených teplot z udírny a ohniště, čímž uživateli poskytuje okamžitý přehled o stavu systému. Druhou funkcí je aktivní upozornění na pokles teploty ohniště pod stanovenou mez 180 °C. Tento pokles indikuje potřebu přiložení paliva a zásah obsluhy.

Pro zajištění zobrazení byl použit LCD displej s rozlišením 16 znaků na 2 řádky. Displej využívá řadič HD44780, který je široce používaným standardem pro řízení znakových LCD panelů. Tento řadič je schopen zobrazit textové znaky, kurzor, a podporuje několik režimů zobrazení. Samotný HD44780 však pracuje s paralelním rozhraním, které vyžaduje až 6–10 vodičů pro řízení.

Aby bylo zapojení efektivnější a úspornější na počet použitých pinů mikrokontroleru, byl k displeji připojen I2C převodník. Tento převodník umožňuje komunikaci přes I2C sběrnici, což výrazně redukuje počet potřebných vodičů na pouhé dva – SDA (datová linka) a SCL (hodinová linka).

Displej pravidelně zobrazuje naměřené teploty. Cyklus zobrazení je nastaven na 3,5 sekundy pro každou sadu dat. V případě poklesu teploty v ohništi pod mez 180 °C dojde k přerušení běžného režimu a displej na situaci reaguje vizuálním upozorněním – například rozblíknutím podsvícení a zobrazením výstražného textu informujícího o nutnosti přiložit palivo.

Tato implementace zajišťuje nejen snadnou čitelnost dat, ale i včasné varování obsluhy, čímž přispívá k efektivnímu a bezpečnému provozu celé udírny.

### 10.1 Přenášení teplot na cloudovou službu

Přenos aktuálních teplot na cloudovou službu ThingSpeak byl implementován za účelem zvýšení komfortu uživatele a rozšíření dostupnosti dat. Tato cloudová platforma umožňuje nejen vzdálený přístup k aktuálním hodnotám prostřednictvím internetu, ale také slouží jako úložiště historických dat, která mohou být později využita pro analýzu, porovnání a vyhodnocení průběhu procesu uzení.

Odesílání dat na cloud probíhá v pravidelných 1-3minutových intervalech dle typu regulace a uživatel má možnost sledovat vývoj teplot v reálném čase přes webové rozhraní nebo mobilní zařízení. Díky tomu je možné monitorovat zařízení i mimo dosah místní bezdrátové

komunikace mezi mikrokontrolery. Interval v řádu minut byl zvolen pro úsporu objemu dat vzhledem k délce trvání procesu, který může probíhat až 12 hodin. Při využití ON/OFF regulace byl využit 3minutový interval. Interval zvolen z důvodu pravidelného kolísání teploty mezi 2 hranicemi povoleného regulačního rozsahu. Při využití fuzzy regulace byl využit interval pouze minutový. Vzhledem k jemnější regulaci dochází k jemnějším nepravidelným změnám teplot vlivem změny teploty v ohništi. Z tohoto důvodu byla snížena perioda odesílání dat.

Cloudová služba však slouží primárně k pasivnímu zobrazování a ukládání dat. Neposkytuje funkci okamžitého varování nebo aktivního upozornění uživatele v případě poklesu teploty v ohništi. Z tohoto důvodu zůstává hlavní upozorňovací funkce integrována přímo v lokálním zobrazovacím prvku, který dokáže na kritický stav reagovat okamžitě zobrazením výzvy k přiložení.

Přenos dat na cloudovou službu byla realizován pomocí Wi-Fi modulu ESP8266 ESP-01, který umožňuje komunikaci prostřednictvím TCP/IP protokolu. Tento modul byl připojen k mikrokontroleru Arduino Uno pomocí sériové sběrnice UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). UART je běžně používané rozhraní pro sériovou komunikaci mezi dvěma zařízeními a umožňuje jednoduchý, ale spolehlivý přenos dat.

Komunikace přes UART probíhá asynchronně, tzn. bez společného hodinového signálu, a využívá dvě linky – TX (transmit) pro odesílání a RX (receive) pro příjem dat. V tomto případě je TX pinu Arduina připojen na RX pinu ESP8266 a naopak. Jako RX a TX piny byly využity softwarově definované piny 2 a 3 na Arduino Uno. Softwarová implementace sběrnice UART za pomoci knihovny SoftwareSerial.h je využita z důvodu obsazení hardwarové směrnice při výpisu zpráv na sériový monitor aplikace Arduino IDE při komunikaci za pomoci USB. UART podporuje různé přenosové rychlosti (baud rate), přičemž pro komunikaci mezi ESP8266 a Arduino Uno byla využita přenosová rychlost 115200 baudů. Tato rychlost musela být pevně definovaná na stejnou úroveň kvůli asynchronnímu charakteru sběrnice.

Pro řízení činnosti ESP8266 byl použit režim komunikace pomocí AT příkazů. AT (Attention) příkazy jsou textové příkazy, které umožňují konfigurovat chování modulu bez nutnosti přímého programování firmware. Použití AT příkazů bylo zvoleno zejména z důvodu modulárního návrhu systému, kdy hlavním řídicím prvkem zůstává Arduino, které ovládá externí Wi-Fi modul. Tento způsob integrace nabízí několik výhod. První výhodou je možnost snadné implementace ESP8266 bez nutnosti přepisování nebo úprav jeho firmwaru. Další výhodou je zachování kompatibility s Arduino IDE, které umožňuje pohodlný přístup ke

zprávám a informacím o komunikaci za pomoci sériového monitoru integrovaného v aplikaci. Ovládání ESP8266 za pomoci pouze AT příkazů je plně dostačující, protože jde o jednoduché využití bez potřeby složitějších funkcí, jako je například běh vlastního webového serveru.

Za pomoci AT příkazů bylo nejdříve ESP8266 resetováno. Poté proběhlo připojení k lokální síti jakožto host. Po navázání spojení se serverem byla data odeslána na cílový server za pomoci GET metody.

## 10.2 Softwarové čtení teplot

Moduly MAX6675 určené pro čtení teplot z termočlánků typu K byly připojeny k mikrokontroleru Arduino Uno pomocí digitálních pinů. Vzhledem k tomu, že zařízení Arduino Uno poskytuje pouze jeden hardwarový SPI port a ten byl rezervován pro jiná zařízení, byla ke komunikaci s moduly MAX6675 využita softwarová implementace sběrnice SPI prostřednictvím knihovny max6675.h.

Knihovna je do projektu přidána pomocí příkazu:

```
#include <max6675.h>
```

Softwarová implementace SPI sběrnice umožňuje přiřazení libovolných digitálních pinů pro jednotlivé signály. V rámci tohoto zapojení byly komunikační piny zvoleny takto:

- Pin 2 – výstupní datová linka MISO, po které moduly MAX6675 odesílají naměřené teploty směrem k mikrokontroleru.
- Pin 4 – slouží jako SCK, tedy hodinový signál generovaný Arduinem (zařízení typu master).
- Pin 3 a pin 6 – slouží jako CS signály, které určují, který z připojených modulů bude aktuálně komunikovat:
  - Pin 3 aktivuje modul připojený k termočlánku v udící komoře.
  - Pin 6 aktivuje modul sledující teplotu v ohništi.

Díky tomuto uspořádání je možné používat společné signály pro přenos dat (SO) a hodinový signál (SCK) pro oba moduly, zatímco výběr aktivního zařízení je řízen jednotlivými piny CS.

Deklarace objektů pro práci s moduly MAX6675 v kódu vypadá následovně:

```
MAX6675 termoclanek(pinSCK, pinCS, pinSO); // Udírna
```

```
MAX6675 termoclanek2(pinSCK, pinCS2, pinSO); // Ohniště
```

Teploty jsou v hlavní smyčce programu loop() načítány do proměnných datového typu float, který umožňuje práci s desetinnými čísly. Tento datový typ je nezbytný, protože měřicí moduly MAX6675 poskytují výstupní hodnoty s rozlišením 0,25 °C. Načtení hodnot z obou termočlánků je v kódu realizováno následujícím způsobem:

```
float teplotaC = termoclanek.readCelsius(); // udírna  
float teplotaC2 = termoclanek2.readCelsius(); // ohniště
```

Funkce readCelsius() je součástí knihovny max6675.h a vrací aktuální teplotu ve stupních Celsia.

## 11 Softwarová práce s RF modulem

Modul pro bezdrátovou komunikaci nRF24L01+ se zesilovačem signálu a externí anténou je v tomto systému využit pro spolehlivý přenos dat mezi venkovní a vnitřní částí zařízení. Pro zajištění stabilního napájení je modul připojen přes speciální adaptér s integrovaným stabilizátorem napětí.

Komunikace s mikrokontrolerem Arduino Mega probíhá prostřednictvím hardwarové SPI sběrnice. Pro Arduino Mega jsou výchozí piny SPI následující:

- MOSI (Master Out Slave In) – pin 51
- MISO (Master In Slave Out) – pin 50
- SCK (Serial Clock) – pin 52

Při využití Arduino Uno byly také využity hardwarové piny pro využití SPI. Pro Arduino Uno jsou výchozí piny SPI následující:

- MOSI (Master Out Slave In) – pin 11
- MISO (Master In Slave Out) – pin 12
- SCK (Serial Clock) – pin 13

Kromě těchto SPI pinů jsou potřebné také dva řídicí piny specifické pro modul nRF24L01+:

- CE (Chip Enable) – připojen na pin 7, slouží k aktivaci vysílacího nebo přijímacího režimu modulu.
- CSN (Chip Select Not) – připojen na pin 8, aktivuje samotnou komunikaci po sběrnici SPI.

Pro správnou funkci bezdrátového modulu nRF24L01+ je v kódu nutné nejprve zahrnout potřebné knihovny. Knihovna SPI.h je nezbytná pro správné fungování hardwarové SPI sběrnice, kterou tento modul využívá ke komunikaci s mikrokontrolerem. Dále je přidána knihovna RF24.h, která poskytuje jednoduché rozhraní pro obsluhu nRF24L01++.

Pro inicializaci modulu je nutné definovat piny CE (Chip Enable) a CSN (Chip Select Not), které nejsou součástí SPI sběrnice a je potřeba je zvolit ručně. V tomto případě byly zvoleny stejné piny pro Arduino Mega i Uno:

- CE pin = 7 – slouží k aktivaci modulu pro vysílání nebo příjem.
- CSN pin = 8 – slouží k výběru zařízení při SPI komunikaci.

Modul je následně inicializován pomocí konstrukturu knihovny RF24, kam se tyto piny předávají:

```
#include <SPI.h>
#include "RF24.h"

#define CE 7
#define CS 8

RF24 nRF(CE, CS);
```

Po inicializaci je potřeba definovat adresy pro vysílací a přijímací kanál. Modul nRF24L01+ používá adresování pro spárování zařízení, která si mezi sebou předávají data. Každé zařízení má svou adresu, která může být až 5 bajtů dlouhá. V ukázce jsou adresy definovány jako textové řetězce:

```
byte adresaPrijimac[] = "prijimac00";
byte adresaVysilac[] = "vysilac00";
```

Po inicializaci knihoven, nastavení pinů a definování adres následuje spuštění samotné komunikace mezi mikrokontrolerem a modulem nRF24L01+. Tento úsek kódu zajišťuje inicializaci modulu a konfiguraci komunikačních kanálů:

```
nRF.begin();
nRF.setPALevel(RF24_PA_LOW);
nRF.openWritingPipe(adresaVysilac);
nRF.openReadingPipe(1, adresaPrijimac);
```

Výkon modulu byl nastaven na nízký (LOW). Dalšími možnostmi jsou MIN, HIGH a LOW. Dále je definována adresa, na kterou budou data posílána a adresa, která bude jeho adresní. V kódu pro Arduino Mega je toto nastavení. Adresy však musí být prohozené v kódu pro Arduino Uno. Tímto způsobem je modul nRF24L01+ kompletně připraven na obousměrnou komunikaci – může odesílat data na adresu jiného zařízení a zároveň naslouchat na vlastní přijímací adrese.

Před samotným odesláním dat je nutné přepnout modul z režimu příjmu (RX) do režimu vysílání (TX), protože nRF24L01+ nedokáže současně přijímat i odesílat data – vždy může pracovat pouze v jednom režimu.

Samotné odeslání probíhá pomocí funkce `write()`, které je předán ukazatel na proměnnou, ve které jsou teplotní hodnoty uloženy. Kromě toho je nutné předat i velikost dat určenou funkcí `sizeof()`, což zajistí, že bude odeslán přesný počet bajtů odpovídající obsahu proměnné.

Po odeslání je vyhodnocen výsledek přenosu pomocí návratové hodnoty funkce `write()`. Pokud vrací hodnotu `true`, přenos byl úspěšný. V opačném případě došlo k chybě a data nebyla doručena.

Pro úplnost je po odeslání modul opět přepnut zpět do režimu přijímání, aby byl připraven přijímat další případná data.

Příkladový kód pro odeslání teplot vypadá následovně:

```
nRF.stopListening();
bool odeslano = nRF.write(&teploty, sizeof(teploty));
if (odeslano) {
    Serial.println("Data byla úspěšně odeslána.");
} else {
    Serial.println("Chyba: Data se nepodařilo odeslat.");
}
nRF.startListening();
```

Přijímání dat je realizováno v hlavním programu pomocí metody `available()`, která zjišťuje, zda modul `nRF24L01+` obdržel nová data. Pokud je příznak dostupnosti dat aktivní (`true`), je spuštěn cyklus `while`, který slouží k načtení všech dostupných přijatých paketů.

Vlastní načtení dat probíhá pomocí funkce `read()`, která načte data z přijímacího bufferu modulu do zvolené proměnné. Stejně jako při odesílání je i zde důležité specifikovat ukazatel na cílovou proměnnou a velikost dat, aby bylo zajištěno správné načtení celého paketu.

Vzorový kód pro příjem dat vypadá takto:

```
if (nRF.available()) {
    while (nRF.available()) {
        nRF.read(&teploty, sizeof(teploty)); // Načtení přijatých
        dat do proměnné
    }
}
```

## 12 Softwarová práce s krokovým motorem

Krokový motor 28BYJ-48 je čtyřfázový unipolární motor, který obsahuje čtyři cívky řízené postupným spínáním. Každá změna stavu cívek představuje jeden krok, přičemž pro úplné vykonání jednoho základního cyklu je potřeba provést 8 po sobě jdoucích kroků. Tento postupný způsob buzení umožňuje přesné řízení otáčení motoru bez potřeby zpětné vazby.

Motor má vlastní vnitřní převodovku s redukcí 1:64, což znamená, že pro jednu úplnou otáčku výstupního hřídele ( $360^\circ$ ) je nutné vykonat celkem 4096 kroků.

Pro řízení jednotlivých kroků byla vytvořena sada funkcí `krok1()` až `krok8()`, které postupně spínají jednotlivé cívky podle požadovaného pořadí. K řízení motoru je použit běžně dostupný driver ULN2003, který je připojen ke čtyřem digitálním pinům mikrokontroleru. Každá funkce nastavuje piny tak, aby byla v daném okamžiku aktivní pouze jedna cívka.

Nastavení řídicích pinů a příklad funkce pro jeden krok vypadá následovně:

```
const int in1 = 10;
const int in2 = 11;
const int in3 = 12;
const int in4 = 13;

void krok1() {
    digitalWrite(in1, HIGH);
    digitalWrite(in2, LOW);
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);
    delay(rychlost);
}
```

Proměnná `rychlost` určuje časovou prodlevu mezi jednotlivými kroky a slouží k ovládní rychlosti otáčení motoru. Příliš krátká prodleva může způsobit vynechání kroků nebo neúplné otočení vinutí, zejména při vyšším mechanickém odporu nebo zatížení.

Pro zajištění řízení krokového motoru 28BYJ-48 byly vytvořeny dvě funkce: `rotacePoSmeru()` a `rotaceProtiSmeru()`. Tyto funkce slouží k otočení motoru ve směru nebo proti směru hodinových ručiček. Obě využívají osmikrokový režim, ve kterém jsou po sobě volány funkce `krok1()` až `krok8()`. Tyto funkce zajišťují postupné spínání jednotlivých cívek motoru tak, aby došlo k jeho správnému posunu.

Příklad definice funkce pro otáčení ve směru hodinových ručiček:

```
void rotacePoSmeru() {
    krok1();
    krok2();
    krok3();
    krok4();
    krok5();
    krok6();
    krok7();
    krok8();
}
```

Každé volání funkcí krok (např. krok1()) otočí rotor motoru o jeden interní mikrokrok. To znamená, že jeden krok odpovídá otáčení o přibližně  $0,088^\circ$  díky převodovému poměru 1:64. Voláním všech osmi krokových funkcí v jedné rotaci (např. pomocí rotacePoSmeru()) dojde k otočení motoru přibližně o  $0,7^\circ$ . Pro otočení výstupního hřídele o konkrétní úhel byla vytvořena smyčka for, která opakuje volání celé sady osmi kroků podle požadovaného úhlu. Výpočet počtu opakování vychází z následujícího vztahu:

```
for (int i = 0; i < (uhel * 64 / 45); i++) {
    rotaceProtiSmeru(); // otočení proti směru hodinových
    ručiček
}
```

Tento výpočet odpovídá tomu, že na  $1^\circ$  je třeba provést přibližně 11,377 kroků ( $4096 / 360$ ), což je přibližně  $(64 / 45)$  volání celé rotace (8 kroků) na jeden stupeň. Vzorec tak umožňuje otočení výstupní hřídele o zvolený počet stupňů s dostatečnou přesností.

## 13 Softwarové řízení ESP8266

Pro bezdrátový přenos dat do cloudové služby ThingSpeak využívá Wi-Fi modul ESP8266, který je ovládán pomocí AT příkazů prostřednictvím softwarové sériové linky (SoftwareSerial). Tato metoda umožňuje používat běžné digitální piny Arduina (v tomto případě piny 2 a 3) jako sériový komunikační kanál pro přenos dat do Wi-Fi sítě a internetu.

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial ESP8266(2, 3);
```

Připojení modulu ESP8266 k domácí Wi-Fi síti probíhá pomocí sady AT příkazů odeslaných přes sériovou linku. Tato logika je zapouzdřena ve funkci `connectToWiFi()`. Reset modulu pomocí příkazu `AT+RST`, který uvede modul do výchozího stavu. Nastavení režimu klienta (Station) pomocí `AT+CWMODE=1`, což umožní připojení k existující síti. Připojení k Wi-Fi síti pomocí příkazu `AT+CWJAP="SSID","HESLO"`, který obsahuje název Wi-Fi sítě a heslo.

```
ESP8266.println("AT+RST");
ESP8266.println("AT+CWMODE=1");
ESP8266.println("AT+CWJAP=\"SSID\", \"HESLO\"");
```

Proces odesílání je řízen funkcí `sendDataToThingSpeak()` a probíhá v několika krocích. Nejdříve se naváže spojení s webovým serverem. Následné připravení a odeslání http GET požadavku, který obsahuje API klíč a měřené hodnoty teplot za pomoci příkazu `AT+CIPSEND=délka`:

```
AT+CIPSTART="TCP", "api.thingspeak.com", 80
GET /update?api_key=XXX&field1=XX.XX&field2=YY.YY
String sendCmd = "AT+CIPSEND=" + String(getStr.length());
ESP8266.println(sendCmd);
```

Kód zajišťuje i kontrolu spojení pomocí očekávaných odpovědí jako „CONNECT“ a znak `>`, který značí, že modul je připraven přijmout data. Pokud odeslání selže, pokusí se operaci opakovat až pětkrát.

## 14 Softwarové ovládání displeje

Pro zobrazování teplot byl využit znakový LCD displej s rozlišením 16 znaků na 2 řádky. Displej je osazen řadičem HD44780, který je průmyslovým standardem pro řízení znakových LCD panelů. Tento řadič umožňuje zobrazení znaků, čísel, symbolů i kurzoru a podporuje různé režimy zobrazení (např. posun textu, blikání kurzoru apod.).

Řadič HD44780 komunikuje standardně přes paralelní rozhraní, což vyžaduje připojení více pinů (minimálně 6). Aby se minimalizoval počet využitých pinů mikrokontroleru, je použit I2C převodník, který převádí paralelní komunikaci displeje na sériovou dvou vodičovou sběrnici I2C (SDA – datová linka, SCL – hodinová linka). Díky tomu je možné k Arduinu připojit displej jen pomocí dvou vodičů a výrazně tak zjednodušit zapojení.

Pro ovládání displeje v programu je použita knihovna `LiquidCrystal_I2C.h`, která usnadňuje práci s HD44780 přes I2C rozhraní. Po přidání knihovny do projektu se vytvoří objekt `lcd` s přiřazenou I2C adresou a rozměry displeje:

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

Adresa `0x27` je typická pro většinu I2C modulů s čipem PCF8574, ale může se lišit podle výrobce a je možné ji změnit podle potřeby.

Inicializace displeje probíhá v části `setup()` funkcí `lcd.init()`, která připraví displej pro použití. Podsvícení je zapnuto příkazem `lcd.backlight()`. Pro zobrazení informací na konkrétním místě se nejprve nastaví pozice kurzoru funkcí `lcd.setCursor(sloupec, řádek)` a poté se na dané místo vypíše požadovaný text nebo hodnota pomocí `lcd.print()`:

```
lcd.setCursor(0, 0); // Nastavení kurzoru na začátek 1.
řádku
lcd.print("Teplota: "); // Zobrazení popisku
```

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat systém pro automatickou regulaci teploty udíčí komory udírny s ručním přikládáním. Konkrétně se jednalo o udržování teploty na doporučené teplotě její zobrazování na displej a upozornění uživatele na nutnost přiložení. Také bylo cílem přenášet data na cloudovou službu ThingSpeak pro ukládání zaznamenaných dat. Obsahem bakalářské práce je návrh celého a sestavení celého systému.

V teoretické části byl popsán proces udíčího procesu a rozbor jednotlivých metod. Dále byly prozkoumány jednotlivé možnosti měření teploty udíčí komory a ohniště. Také byli vyhodnoceny možné typy regulace a místa akčního zásahu. Nakonec byly zváženy možnosti bezdrátové komunikace mezi mikrokontrolery.

Praktická část práce byla zaměřena na návrh a sestavení funkčního systému pro regulaci teplot přenos dat a jejich ukládání na cloudovou službu. Součástí je také záznam dat z 3 průběhů udíčího prosu.

V průběhu práce byl změřen proces uzení bez regulace pro sběr referenčních dat. Záznam prvního procesu také sloužil jako test funkčnosti bezdrátového přenosu dat a následného záznamu na cloudovou službu. Druhý proces uzení byl řízen metodou ON/OFF regulace při využití klapky ovládající přístup horkého kouře do udíčí komory. Třetí finální proces uzení byl regulován za pomoci využití Fuzzy logiky a vícepolohové regulace klapkou. V průběhu všech měření byli vyzkoušeny rychlé nárůsty teplot pro otestování kvality regulace.

Důležitým aspektem byla efektivita informačního displeje upozorňujícího na nutnost přiložení. V průběhu testování byla experimentálně zjištěna teplota ohniště při jeho vyhasínání. Tato teplota byla ustálena na 180 °C při venkovních teplotách pohybujících se kolem 20 °C. Tato teplota se projevila jako ideální pro čas nutnosti přiložení.

Výsledky měření ukazují, že nejefektivnějším přístupem k regulaci je využití fuzzy logiky a využití vícepolohového otáčení klapky. Využití tohoto přístupu udržovalo teplotu na průměrné hodnotě 80,5 °C. Využití metody ON/OFF regulace se projevilo za méně efektivní, ale stále validní možnost. Průměrná teplota při využití ON/OFF regulace byla vypočítána na 79,4 °C. To je tedy pouze o 0,1 °C horší než při využití fuzzy logiky s vícepolohovým otáčením klapky.

Přínosem práce je sestavení funkčního systému regulujícího teplotu domácí udírny s ručním přikládáním, který bude v budoucnu využíván pro usnadnění procesu uzení.

Závěrem lze konstatovat, že cíl práce byl splněn – vytvořený systém je schopen kvalitní regulace teploty a informování uživatele i přenosu dat na cloudovou službu.

## POUŽITÁ LITERATURA

1. HUI, Y. H.; NIP, Wai-Kit a ROGERS, Robert. *Meat Science and Applications*. Online. Boca Raton: CRC Press, 2001. ISBN 9780429207846. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780203908082>. [cit. 2025-04-14].
2. VŠEPROGRIL.CZ, 2023. *Metody uzení: studeným, teplým nebo horký kouř?* Online. Dostupné z: [https://www.vseprogril.cz/tipy-triky/metody-uzeni-studeny--teply-nebo-horky-kour-/?srsltid=AfmBOor3yXcrJqkrYjA7Cotfk-jTtUr1gYtiXCTP38P8kcdU74lqhVq\\_&utm\\_source](https://www.vseprogril.cz/tipy-triky/metody-uzeni-studeny--teply-nebo-horky-kour-/?srsltid=AfmBOor3yXcrJqkrYjA7Cotfk-jTtUr1gYtiXCTP38P8kcdU74lqhVq_&utm_source). [cit. 2025-04-14].
3. NIZIO, Edyta; CZWARTKOWSKI, Kamil a NIEDBAŁA, Gniewko. Impact of Smoking Technology on the Quality of Food Products: Absorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) by Food Products during Smoking. Online. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su152416890>. [cit. 2025-05-12].
4. DUMA-KOCAN, Paulina; RUDY, Mariusz; GIL, Marian a STANISŁAWCZYK, Renata. The Influence of Temperature Differences in Smoking Chamber and Furnace and Smoking Time on the Quality of Medium-Ground Sausages. Online. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules25235515>. [cit. 2025-05-12].
5. DSPE (DUTCH SOCIETY FOR PRECISION ENGINEERING). *Semiconductor Temperature Sensors*. Online. Dostupné z: <https://www.dspe.nl/knowledge/thermomechanics/>. [cit. 2025-05-12].
6. UNBEHAUEN, Heinz, ed. *Control Systems, Robotics and Automation – Volume II*. Oxford: EOLSS Publishers, 2009. ISBN 978-1-84826-141-9.
7. ZHANG, Huaguang a LIU, Derong, 2006. *Fuzzy Modeling and Fuzzy Control*. Berlin: Springer-Verlag. ISBN 10 0-8176-4539-7.
8. X-ENGINEER. *On-off control system* [online]. [s.l.]: x-engineer.org, [cit. 2025-05-14]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/on-off-control-system/> AZHARI, T.I.; NASUTION, S. H. a SINAGA, S. H., 2022. Design of wireless multi-point temperature transmission system based on nRF24L01. In: *Journal of Physics: Conference Series*. 2421, č. 1. Bristol: IOP Publishing, s. 1-2. ISSN 1742-6596. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2421/1/012018>.

# **PŘÍLOHY**

**A: Archiv**

**Příloha k bakalářské práci**  
**OVLÁDACÍ SW SYSTÉMU PRO MONITOVORÁNÍ**  
**UDÍCÍHO PROCESU**  
Pavel Soukal

**Archiv**

## **OBSAH**

1. Zdrojový kód Arduino Uno
2. Zdrojový kód pro Mega onoff
3. Zdrojový kód pro Arduino Mega fuzzy regulace
4. Tabulka teplotních průběhů
5. Fotodokumentace vnější části systému
6. Fotodokumentace vnitřní části systému
7. Fotodokumentace řízení regulační klapky