

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

David Hybeš

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

TEPLOTNÍ TESTOVACÍ KOMORA

David Hybeš

Bakalářská práce
2022

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **David Hybeš**
Osobní číslo: **I18075**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Testovací teplotní komora**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace konstrukčního řešení malé testovací teplotní komory. Zařízení bude umožňovat testování snímačů a senzorů neelektrických veličin, zejména jejich teplotní závislosti. Mechanická konstrukce bude navržena nejprve v podobě 3D modelu vybraného CAD software a realizována s využitím možnosti 3D tisku. Základem elektronické jednotky bude mikropočítač typu ATmega, nebo vývojový kit s tímto typem mikropočítače (např. Arduino UNO, Mega atp.). Firmware mikropočítače bude realizován v jazyce C (případně jeho klonu) a ovládací a vizualizační software bude realizován v jazyce C#. Součástí práce bude podrobný konstrukční a uživatelský manuál, včetně firmware mikropočítače a uživatelského software osobního počítače.

Rozsah pracovní zprávy: **40**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4
MATOUŠEK, D., Aplikace ATmega644, BEN – technická literatura, 2013, ISBN 978-80-7300-492-7
ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **17. prosince 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2022**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 7. ledna 2022

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci 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., autorský zákon, 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. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 26.08.2022

David Hybeš

Poděkování

Rád bych poděkoval Bc. Lukáši Holekovi za pomoc s výrobou konstrukce, svému vedoucímu práce Ing. Liboru Havlíčkovi za pomoc při tvoření zadání práce a při jejím postupu a Ing. Pavlu Rozsivalovi za výrobu desek plošného spoje a nakonec celé své rodině a přátelům za velkou podporu při celém procesu.

V Pardubicích dne 26.08.2022

David Hybeš

ANOTACE

Tato bakalářská práce se věnuje problematice výroby tepelné testovací komory. Byla vyrobena teplotní komora, která je řízená pomocí mikropočítače Arduino. Ovládání je poskytnuto ovládacím panelem na komoře a zároveň alternativně v prostředí C#. Po výrobě proběhla měření pro ověření funkčnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

teplotní testovací komora, regulace teploty, Arduino, výkonový odpor

TITLE

TEST TEMPERATURE CHAMBER

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with the issue of production of test temperature chambre. Temperature chamber was made which is controlled with microprocessor Arduino. Control is provided by the control panel on the chamber and alternatively in the C # environment. After production, measurements were performed to verify functionality.

KEYWORDS

test temperature chamber, regulation of temperature, Arduino, power resistor

OBSAH

Seznam zkratk a značek	11
Seznam symbolů a veličin.....	12
Seznam ilustrací	13
Seznam tabulek	16
Úvod.....	17
1 Elektrické teplo	18
1.1 Přenos tepla	18
1.1.1 Přenos tepla vedením	18
1.1.2 Přenos tepla prouděním.....	19
1.1.3 Přenos tepla sáláním.....	20
1.2 Elektrický ohřev	20
1.2.1 Odporový ohřev	20
1.2.2 Obloukový ohřev.....	21
1.2.3 Další typy ohřevů.....	22
2 Topná tělesa	23
2.1 Polovodičová topná tělesa.....	23
2.1.1 Výkonové tranzistory	24
2.1.2 Peltierův článek.....	24
2.2 Odporová topná tělesa.....	26
2.2.1 Výkonové rezistory	26
2.2.2 Topné kabely.....	27
3 Snímače teploty	29
3.1 Kontaktní snímače teploty	29
3.1.1 Odporové kovové snímače.....	29
3.1.2 Termistory	30

3.1.3	Termoelektrické snímače	31
3.2	Bezkontaktní snímače teploty	32
3.2.1	Tepelné snímače infračerveného záření	32
3.2.2	Infračervené termočlánky	32
3.2.3	Bolometry.....	33
3.3	Digitální snímače teploty	34
4	Automatická regulace	35
4.1	Otevřené obvody řízení	35
4.2	Uzavřené obvody řízení	36
4.3	Realizace regulačních obvodů	37
4.4	Elektronické systémy řízení	37
4.4.1	Analogové řídicí systémy.....	38
4.4.2	Číslicové řídicí systémy	39
4.5	Nespojité regulátory	40
4.5.1	Dvoupolohový regulátor	40
4.5.2	Třípolohový regulátor	41
4.6	Spojité regulátory	41
5	Teplotní testovací komora.....	43
5.1	Vývojový kit arduino UNO R3 CH340	43
5.2	Vstupní periferie	45
5.2.1	Senzor teploty DS18B20.....	45
5.2.2	Rotační enkodér	46
5.3	Výstupní periferie	47
5.3.1	Akční člen	47
5.3.2	Topné těleso	47
5.3.3	LCD displej	48

5.3.4	Indikační dioda.....	49
5.4	Napájení	49
6	Konstrukce zařízení.....	51
6.1	Návrh desky plošného spoje	51
6.2	Oživení funkce zařízení	53
6.3	Návrh a výroba konstrukce	53
6.3.1	DesignSpark Mechanical	53
6.3.2	Návrh konstrukce	55
6.3.3	Výroba konstrukce	58
7	Program teplotní komory	60
7.1	Vývojová prostředí.....	60
7.1.1	Arduino IDE.....	60
7.1.2	Visual Studio.....	62
7.2	Aplikace pro mikropočítač arduino.....	65
7.2.1	Vývojové diagramy	65
7.2.2	Program pro mikropočítač	70
7.3	Aplikace pro osobní počítač.....	72
7.3.1	Vývojové diagramy	73
7.3.2	Program pro osobní počítač	74
	Závěr	76
	Použitá literatura	77
	Přílohy.....	80

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

EEPROM	elektricky mazatelná programovatelná paměť pouze pro čtení
FLASH	elektricky programovatelná paměť
I2C	multimasterová sériová sběrnice
MOSFET	unipolární tranzistor používaný, jako spínací prvek
NTC	negastor, typ polovodičového odporového snímače
PC	osobní počítač
PTC	pozistor, odpor, který s rostoucí teplotou zvyšuje odpor
PWM	pulzně šířkové modulace
SRAM	typ paměti s náhodným přístupem
USB	univerzální sériová sběrnice
ZIP	typ komprimovaného souboru dat

SEZNAM SYMBOLŮ A VELIČIN

α	součinitel přestupu tepla, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
P	výkon, W
Q	tepelná energie, J
T	teplota, K

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1.1 – Přenos energie mezi částicemi v látce (Šíření tepla, nedatováno)	18
Obrázek 1.2 – Graf při prostupu tepla (Šíření tepla, nedatováno)	19
Obrázek 1.3 – Schéma přímého a nepřímého odporového ohřevu (Libra, nedatováno)	21
Obrázek 2.1 – Topné těleso RC016 8–13 W (Topné těleso RC016 8-13 W, nedatováno)	23
Obrázek 2.2 – Ilustrace pouzdra TO220 (Bezstarosti, 2016)	24
Obrázek 2.3 – Princip Peltierova jevu (Elektrické teplo, nedatováno).....	24
Obrázek 2.4 – Struktura Peltierova článku (Využití Peltierova jevu, 2019)	25
Obrázek 2.5 – Výkonový rezistor v keramice (Drátový rezistor THT v keramice RD 0R27 5W 5%, nedatováno).....	27
Obrázek 2.6 – Konstrukce topného kabelu (Co jsou odporové topné kabely, nedatováno).....	28
Obrázek 3.1 – Převodní charakteristiky různých typů odporových kovových snímačů s jejich teplotami (Vojáček, 2014)	30
Obrázek 3.2 – Struktura PTC snímače a jeho pouzdro (Čidla sondy snímače, nedatováno) ...	31
Obrázek 3.3 – Seznam používaných typů termočlánků (Vojáček, 2014).....	31
Obrázek 3.4 – Struktura bloku s infračerveným termočlánkem (Vojáček, 2014)	33
Obrázek 3.5 – Ilustrace dopadajícího infračerveného záření na bolometr (Vojáček, 2014).....	33
Obrázek 3.6 – Digitální snímač teploty TMP36 (TMP čidlo teploty 2,7 – 5 V, nedatováno)..	34
Obrázek 4.1 – Otevřený obvod řízení bez řešení poruchy (Cvejn, 2021)	35
Obrázek 4.2 – Otevřený obvod řízení s měření poruchové veličiny (Cvejn, 2021)	36
Obrázek 4.3 – Uzavřený obvod řízení (Cvejn, 2021)	36
Obrázek 4.4 – Schéma analogového řídicího systému (Cvejn, 2021)	38
Obrázek 4.5 – Schéma číslicového řídicího systému (Cvejn, 2021)	39
Obrázek 4.6 – Charakteristika dvoupolohového regulátoru bez hystereze a s hysterezí (Cvejn, 2021)	40
Obrázek 4.7 – Charakteristika třípolohového regulátoru (Cvejn, 2021)	41
Obrázek 5.1 – Blokové schéma teplotní komory.....	43
Obrázek 5.2 – Arduino UNO CH340 s podrobným popisem (eses, nedatováno)	45

Obrázek 5.3 – Teplotní senzor DS18B20 (Teplotní senzor DS18B20, nedatováno)	46
Obrázek 5.4 – Rotační enkodér KY-040 (Arduino rotační enkodér, nedatováno)	46
Obrázek 5.5 – Modul s MOSFET tranzistorem IRF520 (eses, nedatováno)	47
Obrázek 5.6 – Výkonový odpor 120 Ω 10 W	48
Obrázek 5.7 – LCD displej s I2C převodníkem (16x2 LCD displej 1602 modrý + I2C převodník, nedatováno)	48
Obrázek 5.8 – Modul s LED diodou Keyes KY-016 (Keyes KY-016 RGB LED Modul, nedatováno).....	49
Obrázek 6.1 – Kompletní schéma zapojení teplotní komory.....	51
Obrázek 6.2 – Schéma návrhu desky plošného spoje pro rotační enkodér a teplotní senzor ...	52
Obrázek 6.3– Osazovací plánec desky plošného spoje pro rotační enkodér a teplotní senzor.	52
Obrázek 6.4 – Oživené komponenty zařízení	53
Obrázek 6.5 – Ukázka 2D prostoru při návrhu	54
Obrázek 6.6 – Ukázka 3D modelu	55
Obrázek 6.7 – Model teplotní komory	55
Obrázek 6.8 – Model zásuvky do teplotní komory	56
Obrázek 6.9 – Model víka teplotní komory	56
Obrázek 6.10 – Model řídicí komory.....	57
Obrázek 6.11 – Model víka řídicí komory.....	57
Obrázek 6.12 – Celková konstrukce komory.....	58
Obrázek 7.1 – Prázdný sketch s částmi setup () a loop ()	61
Obrázek 7.2 – Ukázka vrchního panelu se záložkami a definice pinů a proměnných	62
Obrázek 7.3 – Úvodní obrazovka ve fázi zakládání projektu.....	63
Obrázek 7.4 – Okno projektu pro design formuláře	64
Obrázek 7.5 – Okno s kódováním prvků	65
Obrázek 7.6 – Vývojový diagram programu	66
Obrázek 7.7– Vývojový diagram části loop ().....	67
Obrázek 7.8 – Vývojový diagram pro část „Přepni ovládání na panel“	68

Obrázek 7.9 – Vývojový diagram pro část „Zpracuj“	69
Obrázek 7.10 – Vývojový diagram části „Reguluj teplotu na vybrané hranici“	70
Obrázek 7.11 – Část programu pro ovládání pomocí enkodéru z panelu na komoře.....	71
Obrázek 7.12 – Část programu pro přijímání komunikace z PC	71
Obrázek 7.13 – Grafické okno ovládacího panelu na PC	72
Obrázek 7.14 – Vývojový diagram programu pro PC	73
Obrázek 7.15 – Část kódu s vyhledáváním portů pro uživatele	74
Obrázek 7.16 – Ukázka kódu pro připojení k Arduino a ovládacího prvku pro regulaci.....	75

SEZNAM TABULEK

Tab. 8.1 – Technické parametry zařízení.....	76
--	----

ÚVOD

Výběr součástek do obvodů je důležitá část návrhu jakéhokoliv projektu. Důležité je řešit základní parametry součástek. Také je potřeba myslet na jejich vlastnosti po zahřátí součástky při jejím chodu. Pokud tyto informace neuvádí výrobce nebo bychom si je chtěli sami zkontrolovat, tak je potřeba je pomocí něčeho zahřát na teplotu, kterou požadujeme.

Cílem práce je vytvoření menší komory, ve které bude možné nastavení teploty podle volby uživatele. Komora bude určena pro vkládání součástek a senzorů, aby byly zahřáty na požadovanou teplotu. Teplota bude ukazována na LCD displeji a indikována pomocí LED diody. Bude řízena pomocí vývojového kitu Arduino UNO a alternativně pomocí osobního počítače. Bude vytvořen 3D model v návrhovém programu. Řídicí prvky budou uloženy v separátní komoře, aby nebyly ohroženy teplotou z druhé komory.

Na trhu se nenacházejí přímo samotné teplotní komory, ale kombinace s klimatickými komorami, ve kterých se testují materiály v různých teplotách či podmínkách. Vyrábějí se ve větších rozměrech, aby pojmuly více testovacích materiálů.

1 ELEKTRICKÉ TEPLLO

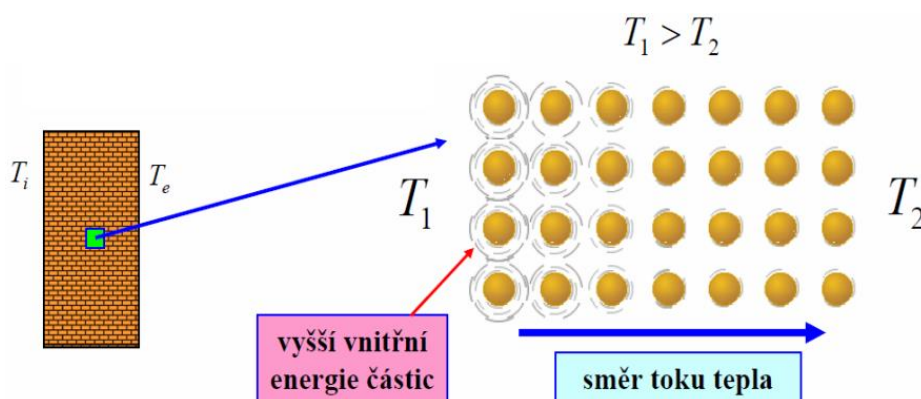
Elektrické teplo je forma energie, které vzniká jako výsledek přeměny elektrické energie na teplo. Tepelnou energii označujeme Q a její jednotka je J. Ve vnějším prostředí se projevuje jako měnící se teplota tělesa, do kterého přivádíme elektrickou energii.

1.1 PŘENOS TEPLA

Pokud mají tělesa různou teplotu, tak mezi nimi dochází k přenosu tepla. Teplo se vždy přenáší z tělesa s vyšší teplotou na těleso s teplotou nižší. Přenos teploty se vždy realizuje pomocí jednoho ze tří principů. Je to buď vedením, prouděním nebo sáláním. Teplo se šíří všemi způsoby, ale některý z nich může převládat. Aby se teplo mohlo šířit pomocí vedení nebo proudění, musí existovat ve sledovaném prostoru hmotné částice. Oproti tomu přenos tepla pomocí sálání je realizováno elektromagnetickým vlněním a může se dít i ve vakuu. Další principy šíření tepla jsou jen kombinace zmíněných tří principů (Libra, nedatováno).

1.1.1 Přenos tepla vedením

Přenos tepla vedením se vyskytuje hlavně u pevných látek, ale teplo se takto šíří všemi druhy látek. Tepelná energie se přenáší z teplejšího místa T_1 do studenějšího místa T_2 pomocí



Obrázek 1.1 – Přenos energie mezi částicemi v látce
(Šíření tepla, nedatováno)

neuspořádaných vzájemných srážek částic. Částice uvnitř látky konají tepelný pohyb. Částice se nepřesouvají, ale kmitají ve své blízkosti a předávají energii dalším částicím. Intenzita

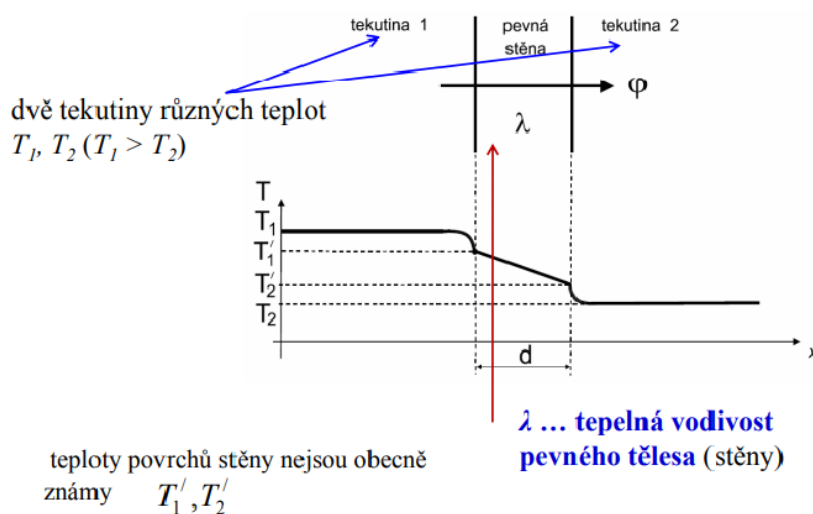
pohybu závisí na lokální teplotě. Intenzita vedení tepla je závislá na maximálním teplotním spádu v určitém místě. Teplotní pole určuje rozdělení teplot uvnitř látky. Vedení tepla ještě dělíme podle typu teplotního pole. Jeden z typů teplotního pole je stacionární neboli ustálené nebo nestacionární neboli neustálené. Stacionární pole se nemění v čase, a nestacionární se v čase mění. Příklad stacionárního pole je například udržování stálé teploty v prostoru a příklad nestacionárního pole je vyrovnávání teplot (Šíření tepla, nedatováno).

1.1.2 Přenos tepla prouděním

Přenos tepla prouděním se vyskytuje u kapalných látek a plynů. Přenáší se pomocí pohybujících částic. Proudění se rozdělujeme na:

- volné,
- nucené.

Ve volném proudění se částice kapaliny pohybují pomocí rozdílu v hustotě látky, která je vyvolaná rozdílnou teplotou uvnitř látky. Při nuceném proudění se částice pohybují vynuceným rozdílem tlaků. To je zajištěno ventilátorem nebo čerpadlem. Nucené proudění se využívá pro vyrovnávání teploty kapaliny. Teplo je přenášeno pomocí kapaliny nebo plynu. Teplo je přenášeno z kapaliny nebo plynu do pevného tělesa. Při přenášení tepla z kapaliny do pevného tělesa probíhá tzv. přestup tepla. Při přechodu tepla mezi kapalinou a pevným tělesem vznikají ztráty. Tyto ztráty se určují pomocí součinitele tepla α (Šíření tepla, nedatováno).



Obrázek 1.2 – Graf při prostupu tepla (Šíření tepla, nedatováno)

Na obrázku 1.2 je vidět tzv. prostup tepla. Při prostupu tepla probíhá výměna tepla mezi tekutinami a pevnou látkou. Teorie proudění tepla je složitá a obsahuje spoustu proměnných. Proto se v praxi určuje experimentálně (Šíření tepla, nedatováno).

1.1.3 Přenos tepla sáláním

Všechna tělesa, která mají vyšší teplotu jak 0 K, tak vyzařují teplo. Jinak řečeno sálají všemi směry. Teplo se přenáší pomocí elektromagnetického záření a může probíhat i ve vakuu. V atomu oscilují elektrony, které se nachází ve obalu. Díky těmto oscilacím se vyzařuje teplo. Vyzařování těles má intenzitu, která je závislá na teplotě samotných těles. energii lze pomocí záření přenášet, i když má prostředí nižší teplotu, než je teplota tělesa, kterou vyzařuje. Při teplotách do 500 °C je vyzařované elektromagnetické záření infračervené (Šíření tepla, nedatováno).

1.2 ELEKTRICKÝ OHŘEV

Pro samotné vyhřívání v elektrotechnice se využívají různé druhy ohřevů. Odporový ohřev se využívá například v odporových pecích, elektrickém vytápění nebo při odporovém svařování. Obloukový výhřev se využívá například při obloukovém svařování nebo v obloukových pecích (Libra, nedatováno).

1.2.1 Odporový ohřev

Elektrické teplo vzniká při průchodu elektrického proudu I . Přeměna elektrické energie se určuje podle Joulova zákona. Teplo Q lze vypočítat pomocí vzorce

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t, \quad (1.1)$$

kde Q – tepelná energie, J,

R – odpor vodiče, Ω ,

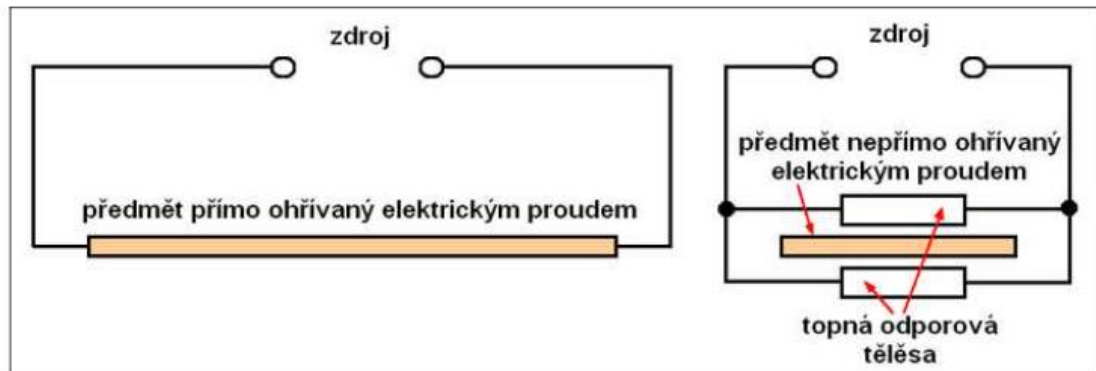
I – proud procházející vodičem, A,

t – doba průchodu proudu vodičem, s.

Odporový ohřev dělíme na:

- přímý,
- nepřímý.

V případě přímého odporového ohřevu teplo vzniká při průchodu elektrického proudu materiálem. Příkladem je bodové sváření nebo ohřívání dlouhých tyčí. Topné těleso musí mít vysoký odpor, přívodní vodiče musí být mít co nejmenší odpor, aby se hodně nezahřívaly a zdroj musí dodávat vysoký proud (Libra, nedatováno).



Obrázek 1.3 – Schéma přímého a nepřímého odporového ohřevu (Libra, nedatováno)

V případě nepřímého odporového ohřevu se těleso ohřívá pomocí topných těles, které jsou blízko zahřívajícího tělesa. Tato možnost se využívá, pokud je těleso nevodivé nebo má moc malý odpor. Abychom mohli takto zahřívát těleso, tak musí mít určité vlastnosti, aby se dobře zahřívalo a odolalo teplotám. Tyto vlastnosti jsou například malý teplotní součinitel nebo vysoký bod tavení (Libra, nedatováno).

V domácnosti se odporový ohřev využívá v žehličkách, rychlovarných konvicích nebo k ohřevu vody. V průmyslu se využívá v odporových pecích, kde se upravují kovy nebo při bodovém svařování či při pájení (Libra, nedatováno).

1.2.2 Obloukový ohřev

V obloukovém ohřevu teplo vzniká v elektrickém oblouku. Proud, který přichází ze stejnosměrného nebo střídavého zdroje, prochází plyny, které jsou za normálních podmínek nevodivé. Po ionizaci začnou být plyny vodivé, to nastává při vysokých teplotách. Oproti odporovému ohřevu, kde se teplota pohybuje až do několika tisíc kelvinů. Plyny se při takové teplotě mění na plazmu. Obloukový ohřev, zejména v pecích, dělíme na:

- přímý oblouk,
- nepřímý oblouk,
- zakrytý oblouk (Libra, nedatováno).

1.2.3 Další typy ohřevů

Existují i další typy ohřevů, které mají různé využití. Indukční ohřev, který funguje na ohřívání pomocí indukovaných vířivých proudů. Používá se v nízkofrekvenčních, středofrekvenčních a vysokofrekvenčních pecích nebo jenom v indukčních plotýnkách. Při dielektrickém ohřevu se vytvářejí dielektrické ztráty a tím se tvoří teplo. Slouží k ohřevu nekovových látek. Infračervený ohřev využívá elektromagnetické záření o vlnové délce 750 až 1000 nm. Používá se převážně k sušení (Libra, nedatováno).

2 TOPNÁ TĚLESA

Topná tělesa slouží k vyhřívání prostor. Rozdělují se na polovodičová a odporová tělesa. Vyrábějí se v mnoha velikostech. O velikosti těles se rozhoduje na základě parametrů vytápěného prostoru. V případě vyhřívání malého prostoru se používají malá tepelná tělesa. Odporová tělesa mají několik parametrů, které určují jejich vlastnosti.

Tyto vlastnosti jsou:

- odpor tělesa,
- výkon tělesa,
- maximální teplota,
- systém upevnění,
- a další.

Existují i odporové samoregulační kabely, které regulují svoji teplotu podle podmínek v okolí, ve kterých jsou použity. Na rozdíl od normálních odporových kabelů, které mají stále stejný výkon (Proč nedoporučujeme samoregulační topné kabely pro podlahové vytápění..?, nedatováno).

2.1 POLOVODIČOVÁ TOPNÁ TĚLESA

Jako zdroj tepla tu figuruje PTC prvek. Výhoda polovodičových topných těles je ve skoro okamžitém dosažení maximálního výkonu. Používají pro ohřev vzduchu v malých prostorech a mají samoregulační funkci.



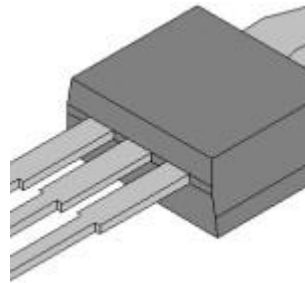
Obrázek 2.1 – Topné těleso RC016 8–13 W
(Topné těleso RC016 8-13 W, nedatováno)

Samoregulační funkce nezaručuje kompletní regulaci prostředí. Hlavní výhody jsou rovnoměrné ohřívání tělesa, skoro žádné kolísání výkonu a díky tomu ochrana proti přehřátí

(Keramické polovodičové topné těleso PTC7762-100, nedatováno; Topné těleso RC016 8-13, nedatováno).

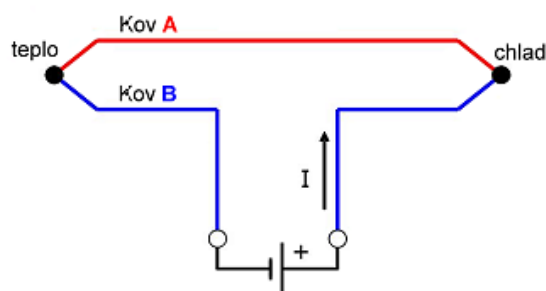
2.1.1 Výkonové tranzistory

Další možnost vyhřátí prostoru pomocí polovodičových komponent jsou výkonové tranzistory. Jako všechny součástky se během chodu zahřívají. A pokud jde tranzistorem dost velký proud, tak se zvětšuje i vyzařované teplo v okolí tranzistoru. Výhoda výkonových tranzistorů oproti standardním je, že vydrží větší proud. Lze je namontovat do malých prostor. Liší se také v konstrukci pouzdra, na které lze připevnit chladič prvek. Takovou možnost nabízí pouzdro TO220 (Bezstarosti, 2016).



Obrázek 2.2 – Ilustrace pouzdra TO220 (Bezstarosti, 2016)

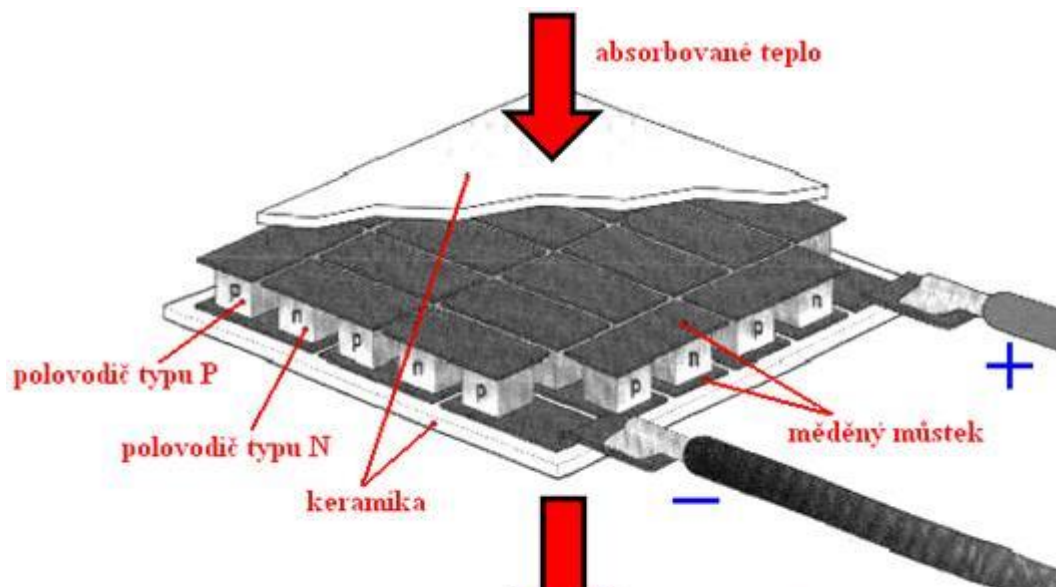
2.1.2 Peltierův článek



Obrázek 2.3 – Princip Peltierova jevu (Elektrické teplo, nedatováno)

Peltierův článek funguje na bázi Peltierova jevu. Peltierův jev funguje na fyzikálním jevu, kdy je připojen zdroj stejnosměrného napětí a proudu do obvodu, který je uzavřen pomocí spojení dvou kovů. Díky připojení zdroje vzniká teplotní rozdíl mezi konci. Spoj kovů se zahřívá nebo ochlazuje podle toho, jakým směrem teče proud uvnitř obvodu (Využití Peltierova jevu, 2019).

Můžou být různé typy kovů, které využívají Peltierův jev, ale konkrétně Peltierův článek využívá spoj dvou polovodičů. Skládá se ze dvou polovodičů a spojovacího můstku, který je vytvořený z mědi. Na spojovací můstek je připojený zdroj energie a vyzařuje z něj teplo. Při praktickém použití se z Peltierových článků tvoří tzv. Peltierovy termobaterie. Vznikají propojením několika článků do série. Používá se v různých odvětvích kvůli jeho vlastnostem. Nejvíce rozšířené užití Peltierových termobaterií je v termoelektrickém chlazení, ale také je lze použít jako termoelektrické topení, ovšem nedokáže vyvinout moc velký výkon. Nejrozšířenější použití mají v přenosných ledničkách.



Obrázek 2.4 – Struktura Peltierova článku (Využití Peltierova jevu, 2019)

Hlavní výhody Peltierových článků jsou

- spolehlivost,
- žádné mechanické části, které by se mohly poškodit,
- nevibrují, jsou nehlukné,
- je možné je umístit do jakékoliv polohy a stále budou funkční (Využití Peltierova jevu, 2019).

Hlavní nevýhody jsou

- menší generovaný výkon,
- horší topná tělesa (Využití Peltierova jevu, 2019).

2.2 ODPOROVÁ TOPNÁ TĚLESA

Odporová topná tělesa se dělají v různých tvarech a velikostech podle účelu použití. Tyto tělesa napájíme ze zdroje napětí podle udání výrobce.

Jádra odporových topných těles mohou být založená na směsi železa nebo niklu. Tělesa založená na niklu jsou převážně vyráběna ze slitiny nichromu. Jedná se o slitinu, která obsahuje zhruba 80 % niklu a 20 % chromu. Nichrom se využívá pro svoje dobré vlastnosti. Například jeho vysoký bod tavení, okolo 1400 °C, netrpí oxidací, i když je provozován při velkých teplotách, neroztahuje se a jeho odpor se tolik nemění během zvyšování teploty. Tělesa, která se používají pro ohřívání vody, jsou chráněna v pouzdru z oceli. Vyrábějí se verze, které mají svoje jádro odhalené. Nevýhoda takové verze je v odolnosti. Těleso nemusí vydržet takovou teplotu, kterou bude vyzařovat. Pokud je zapotřebí použít velké napětí pro vyvinutí velkého množství tepla, tak je potřeba, aby bylo topné těleso zapouzdřené v ochraně. K ochraně tělesa může být použit keramický materiál (Chris Woodford, 2022).

2.2.1 Výkonové rezistory

Možnost vyhřívání prostor pomocí komponent z železného jádra jsou výkonové rezistory. Díky nenáročné montáži a levné pořizovací ceně se jedná o vhodnou volbu do menších prostor. Oproti normálním rezistorům vydrží větší proud, a vyzařují větší výkon. Vyzařovaný výkon P se řídí podle Joulova zákona

$$P = U \cdot I, \tag{2.1}$$

kde P – výkon, W,

I – proud procházející odporem, A,

U – napětí na odporu, V.

Jsou větší než standardní rezistory kvůli lepšímu rozložení teploty na rezistoru a také lepšímu vyzařování. Některé mají k sobě připevněný chladič pro ještě lepší rozložení tepla. Také jsou vyráběny s ochranou proti vzplanutí. Podle naší potřeby montáže a potřebné teploty v prostoru si můžeme vybrat typ výkonového rezistoru (Matthew Burris, 2020).

Typy rezistorů jsou:

- drátový odpor,
- s karbonovým filmem,
- s kovovým filmem,
- drátový v keramice,

- a další.

Odpory mohou být montovány v různých úhlech podle typu. Například rezistor drátový v keramice je převážně montovaný vodorovně s deskou plošného spoje. Další varianta je montáž vodorovně k ploše, ke které jsou přidělány (Matthew Burris, 2020).

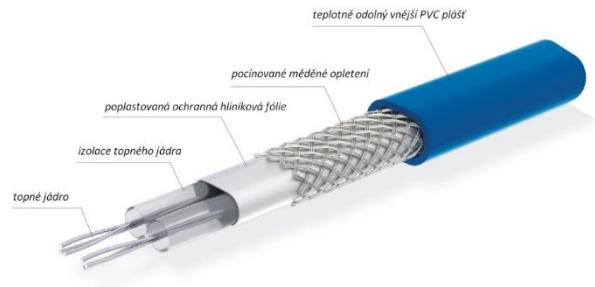


Obrázek 2.5 – Výkonový rezistor v keramice
(Drátový rezistor THT v keramice RD 0R27 5W 5%, nedatováno)

2.2.2 Topné kabely

Používají se převážně pro vytápění podlah. Při přivedení elektrického proudu se zahřívají. Vodičem tepla se stává kabel, který se nachází mezi podlahou a izolací. Teplo se následně přenáší přes podlahovou krytinu do místnosti. Topný kabel tvoří topná část, která je propojená k přívodu studeným koncem. Jádro se skládá z odporového vodiče, které je splétané z více drátů. Čím více je kvalitnější jádro, tím více se zvyšuje životnost celého kabelu a tepelné soustavy (Co jsou odporové topné kabely, nedatováno).

Alternativní možností jsou samoregulační topné kabely, které mění svůj výkon v závislosti na teplotě okolního prostředí. Výkon topného kabelu se zvýší, pokud bude teplota v místnosti vyšší než v něm. Tato možnost je náročnější na výměnu v případě údržby, proto je spíše doporučovaný standardní odporový teplotní kabel (Proč nedoporučujeme samoregulační topné kabely pro podlahové vytápění..? nedatováno).



Obrázek 2.6 – Konstrukce topného kabelu
(Co jsou odporové topné kabely, nedatováno)

3 SNÍMAČE TEPLoty

Abychom dokázali regulovat nebo reagovat na teplotní rozdíly v prostoru, tak musíme umět tuto teplotu změřit. Změření teploty nám umožňují snímače teploty. Digitální verze těchto snímačů jsou zařízení, které posílají zpětnou vazbu o teplotě v prostoru. Zpětnou vazbu posílá senzor do vyhodnocovací logiky nebo mikropočítače, který se postará o nastavenou akci. Senzory teploty se dají rozdělit podle více kategorií, ale základní rozdělení je na senzory teploty, které jsou:

- kontaktní,
- bezkontaktní,
- digitální (Vojáček, 2014).

3.1 KONTAKTNÍ SNÍMAČE TEPLoty

Během měření s pomocí kontaktních snímačů teploty se snímač dotýká povrchu, kde chceme zjistit teplotu. Tato možnost se týká pevných látek, pokud měříme teplotu v kapalinách či plynech, tak se snímač vkládá do měřeného tělesa. Princip měření spočívá v přenosu tepla od měřeného objektu k měřenému místu na snímači přes jeho vnější pouzdro díky tepelné vodivosti. Výhody tohoto měření jsou:

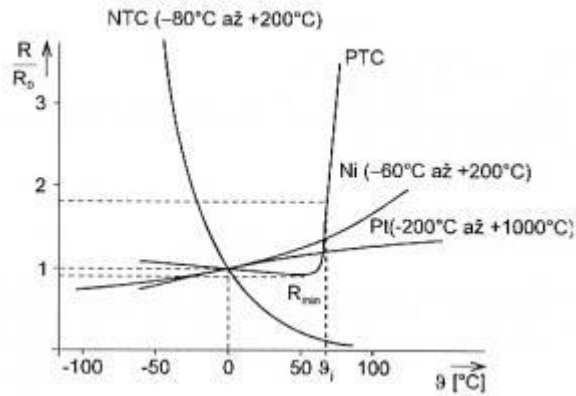
- minimální rušení z okolního prostředí,
- jednoduchá výroba,
- možnost měření teploty uvnitř tělesa.

Nevýhody měření jsou:

- malý teplotní rozsah,
- rychlost měření je ovlivněna tepelnou vodivostí látky i pouzdra snímače,
- snímač není univerzální, pouzdro se musí volit dle látky, kterou měříme (Vojáček, 2014).

3.1.1 Odporové kovové snímače

Kovové snímače fungují díky své závislosti odporu na teplotě. Charakteristika této závislosti se liší podle typu kovu, který se ve snímači použije. Hlavní výhodou je dobrá linearita charakteristiky a hlavní nevýhodou je pomalá reakce na změnu teploty. Snímače se vyrábějí z platiny, niklu, mědi nebo speciálních slitin. Každá z nich má různé vlastnosti a umí měřit jiné rozsahy teplot (Vojáček, 2014).



Obrázek 3.1 – Převodní charakteristiky různých typů odporových kovových snímačů s jejich teplotami (Vojáček, 2014)

3.1.2 Termistory

Termistory neboli odporové polovodičové snímače fungují na závislosti elektrického odporu látky na teplotě. Hlavní výhodou je vysoká citlivost snímače v určité části charakteristiky. Ta se liší podle toho, jestli se jedná o negastor (NTC) nebo pozistor (PTC). Hlavní nevýhodou je menší stabilita (Vojáček, 2014).

NTC snímač má standardní rozsah měření od -50 °C do $+150\text{ °C}$. Tyto snímače mohou být vyráběny pomocí různých technologií a tyto různé typy mají různé teplotní rozsahy, které dokážou měřit. Například snímač vyrobený pomocí tenkovrstvé technologie dokáže měřit rozsahy od -17 °C až do $+450\text{ °C}$. Mají záporný teplotní koeficient, to znamená, že s rostoucí teplotou jim klesá odpor. Velké využití mají v místech, kde je potřeba měřit teploty v úzkých rozmezích. Příklady takových podmínek mohou být snímače v klimatizačních zařízeních nebo měření chladicí kapaliny v automobilu (Vojáček, 2014).

PTC snímač dokáže standardně měřit teploty od -60 °C až do $+180\text{ °C}$. Tyto snímače mají naopak kladný teplotní koeficient, to znamená, že s rostoucí teplotou roste i odpor. Tyto snímače jsou vyráběny z polykrystalické feroelektrické keramiky. Využívají se hlavně jako dvoustavové snímače. Je to díky jejich charakteristice, kde při určité teplotě prudce vzroste odpor. Právě tato citlivá zóna se především využívá. Tato hodnota zlomu je dána chemickým složením PTC prvku (Vojáček, 2014).



Obrázek 3.2 – Struktura PTC snímače a jeho pouzdro (Čidla sondy snímače, nedatováno)

3.1.3 Termoelektrické snímače

Termoelektrické snímače neboli termočlánky fungují na bázi Seebeckova jevu. Seebeckův jev je fyzikální jev, během kterého vzniká elektrická energie při spojení dvou vodičů. Jejich konce mají rozdílnou teplotu. To znamená, že termočlánky jsou aktivní snímače, protože generují elektrické napětí. Termočlánky zvládnou měřit teploty v rozsahu $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+1700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Snímače se rozdělují podle kovů, ze kterých jsou spojeny. Výhody termočlánků jsou jejich znatelně větší teplotní rozsah oproti jiným typům snímačů, Mají stále lineární charakteristiky a malé rozměry sondy. Mají ovšem i svoje nevýhody. Pokud články budou připojeny do vyhodnocovací logiky, tak se jejich signál musí převést z napětí na digitální informaci. S tím souvisí i menší citlivost. Další alternativy mají menší výstupní napětí a vyšší přesnost. Požívají se, když je potřeba změřit velké změny teplot. Termočlánky jsou rozděleny podle jejich použití. Rozdělují se na ponorné, štěrbinové a dotykové (Vojáček, 2014).

Označení termočlánku	Původní označení	Měřicí rozsah [$^{\circ}\text{C}$]
T	Cu-CuNi, Cu-ko	- 200 až 350
J	Fe-CuNi	- 200 až 750
E	NiCr-CuNi, ch-ko	- 100 až 900
K	Ni-Cr-Ni, ch-a	- 200 až 1200
N	NiCrSi-NiSi	- 200 až 1200
S	PtRh10-Pt	0 až 1600
R	PtRh13-Pt	0 až 1600
B	PtRh30-PtRh6	300 až 1700

Obrázek 3.3 – Seznam používaných typů termočlánků (Vojáček, 2014)

3.2 BEZKONTAKTNÍ SNÍMAČE TEPLoty

Bezkontaktní měření teploty se využívá pro měření vysokých teplot bezpečnou cestou. Jiný název pro toto měření je pyrometrie a zakládá se na fyzikálním principu vyzařování infračerveného záření měřených objektů. Měřicí přístroj se nazývá pyrometr, který zachycuje infračervené záření a přemění ho na elektricky měřitelnou veličinu a následně je tato veličina zpracována pomocí dalších obvodů. Velký rozdíl oproti kontaktním snímačům spočívá v tom, že nemůžeme měřit teplotu uvnitř objektů, ale pouze jejich povrchovou teplotu.

Hlavní výhody bezkontaktního měření jsou:

- rychlé měření (v rámci milisekund),
- bezpečné měření vysokých teplot (do +3 000 °C),
- rychlá reakce na změnu teploty,
- žádné riziko vlivu měření na měřené těleso.

Hlavní nevýhody bezkontaktního měření jsou:

- měřené těleso musí být opticky viditelné,
- nesmí být znečištěn prostor emisemi mezi pyrometrem a měřeným tělesem,
- nelze měřit teplotu uvnitř měřeného tělesa,
- mohou vznikat chyby měření kvůli emisím v prostoru (Vojáček, 2014).

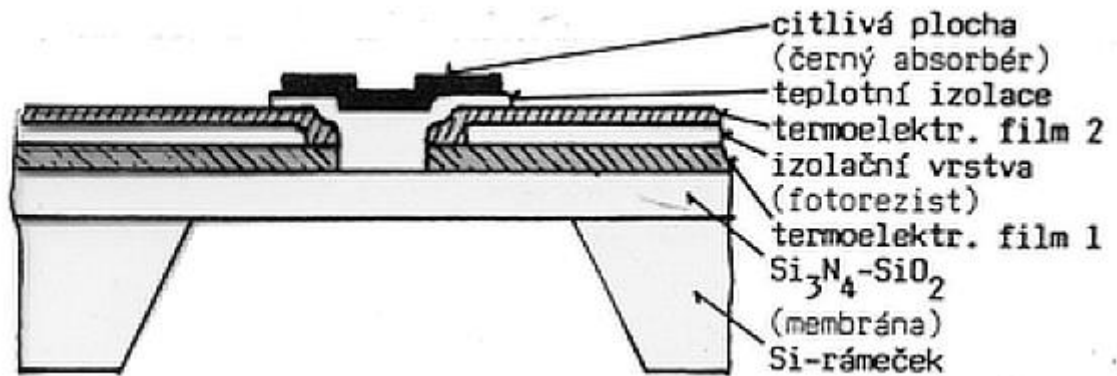
3.2.1 Tepelné snímače infračerveného záření

Absorbují fotony a díky nim dochází k oteplení citlivé části snímače. Následně je tato absorbovaná energie vyhodnocena nepřímo přes kontaktní snímače teploty. Princip měření teploty je tedy velmi podobný jako u kontaktních snímačů, ale hlavní rozdíl je ve formě, v jaké je teplo přenášeno, v tomto případě jako infračervené světlo, které dopadá na část citlivou na světlo a tím se zahřívá. Používají se pro měření změny teploty u měřeného objektu, detekování osob v systémech zabezpečení nebo v CCD termovizních systémech (Vojáček, 2014).

3.2.2 Infračervené termočlánky

U tohoto typu termočlánku je na světelně citlivou část snímače nanese černá vrstva. V některých případech obsahuje i optiku. V tomto místě se absorbuje infračervené záření a následně zahřátí se měří přes termočlánky. Měřený rozsah teplot je od -100 °C až do +500 °C.

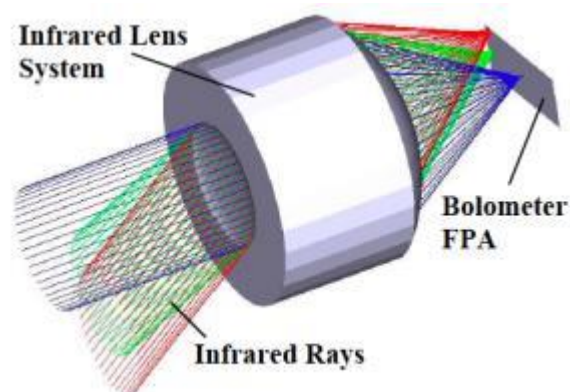
Vyrábí se ze sériově řazených termočlánků. Termočlánky jsou vyráběny v podobě tenkých pásků. Používají se jako levnější možnost pro bezkontaktní měření (Vojáček, 2014).



Obrázek 3.4 – Struktura bloku s infračerveným termočlánkem (Vojáček, 2014)

3.2.3 Bolometry

Bolometry snímají teplo stejně jako infračervené termočlánky. Citlivá část snímače je také začerněna a zahřívá se. Ovšem vyhodnocování této teploty je jiné. Teplota je měřena díky změně vodivosti snímače po zahřátí citlivé části snímače. Využívá se zde termokonduktivní jev. Měřený rozsah teplot je od $-200\text{ }^\circ\text{C}$ až do $+1500\text{ }^\circ\text{C}$. Vyrábějí se z podobných materiálů jako odporové snímače teploty. Nejčastěji jsou vyráběny jako tenkovrstvé (Vojáček, 2014).



Obrázek 3.5 – Ilustrace dopadajícího infračerveného záření na bolometr (Vojáček, 2014)

3.3 DIGITÁLNÍ SNÍMAČE TEPLoty

U digitálních snímačů teploty je hlavní rozdíl oproti analogovým ve výstupu, který poskytují. Výstup digitálních snímačů není napětí, ale digitální signál. Díky tomu jsou jednodušší na použití s vyhodnocovací logikou než analogové. U analogových se musí signál převádět na digitální signál, aby šel signál použít například pro mikropočítač. Tento převod probíhá prostřednictvím A/D převodníku (Solectro, 2020).



Obrázek 3.6 – Digitální snímač teploty TMP36 (TMP čidlo teploty 2,7 – 5 V, nedatováno)

Hlavní výhoda digitálních snímačů spočívá v jednoduchém vyhodnocení signálu. Jedny z nevýhod můžou být nižší rozsah měřených teplot nebo nedostatečná citlivost snímače. Jsou vyráběny i vodotěsné verze digitálních snímačů, pokud chceme měřit teplotu kapaliny nebo plynu (Solectro, 2020).

4 AUTOMATICKÁ REGULACE

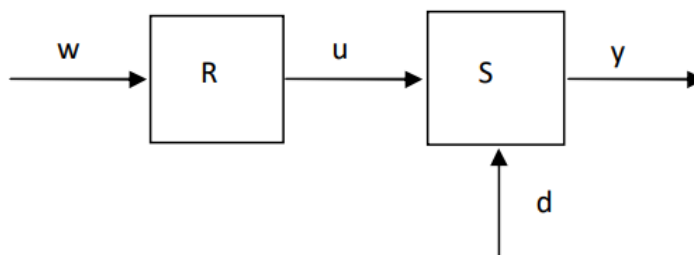
Regulace je situace, kdy chceme držet určité parametry procesů na hodnotách, které si zvolíme uvnitř regulované soustavy. To může být například místnost nebo prostor, kde je potřeba udržet určitou teplotu. Tyto parametry mohou být konstantní nebo se měnit v čase. Pro zrealizování regulace se používají obvody řízení. Obvody řízení se dělí podle řešení zpětné vazby, kterou disponuje:

- otevřené,
- uzavřené neboli zpětnovazební.

Otevřené obvody řízení získávají pouze informace o procesu, ale už neřeší skutečnou situaci uvnitř regulované soustavy. Uzavřené obvody řízení navíc dostávají zpětnou vazbu o skutečné situaci uvnitř soustavy (Cvejn, 2021).

4.1 OTEVŘENÉ OBVODY ŘÍZENÍ

Otevřené obvody řízení doopravdy neregulují, ale pouze ovládají regulovanou soustavu, jelikož nedostávají zpětnou vazbu ze soustavy. Označují se jako ovládání. Lze je prakticky použít, pokud by byly vnější podmínky neměnné, ale to je v praxi velmi nepravděpodobné (Cvejn, 2021).



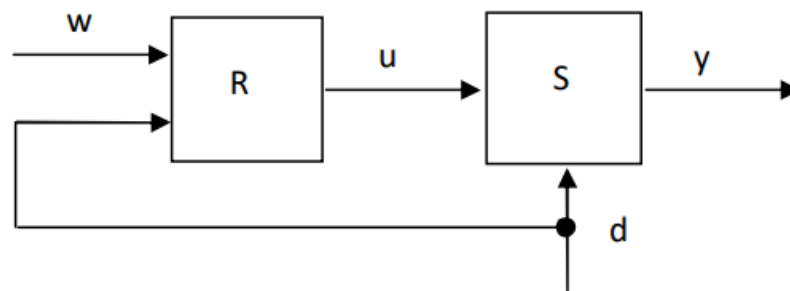
Obrázek 4.1 – Otevřený obvod řízení bez řešení poruchy (Cvejn, 2021)

Pro představu je uveden následující příklad. V teplotní komoře je požadována teplota 80 °C. Pokud půjde o situaci ovládání, tak topení je spuštěno uživatelem na nejvyšší výkon a čeká se na dosažení dané teploty. Poté co je dosažena, tak topení vypne.

Na obrázku 4.1 je vidět vliv různých veličin na otevřený obvod řízení. Začíná se referenční veličinou w , což je hodnota, kterou chceme nakonec dosáhnout. Z příkladu dříve se jedná o hodnotu 80 °C. Ve schématu jsou zobrazeny šipky, které ukazují směr působení veličin nebo v případě převodu veličin je lze interpretovat jako přenos informace. Dále je zobrazen

regulátor R , který ovládá regulovanou soustavu S . Výstup z regulátoru zobrazuje akční veličina u . Z regulované soustavy vystupuje veličina y , která označuje výstup ze systému a určuje například současnou teplotu v komoře. Ještě může ovlivňovat regulovanou soustavu nějaká odchylka či porucha. Tu reprezentuje poruchová veličina d (Cvejn, 2021).

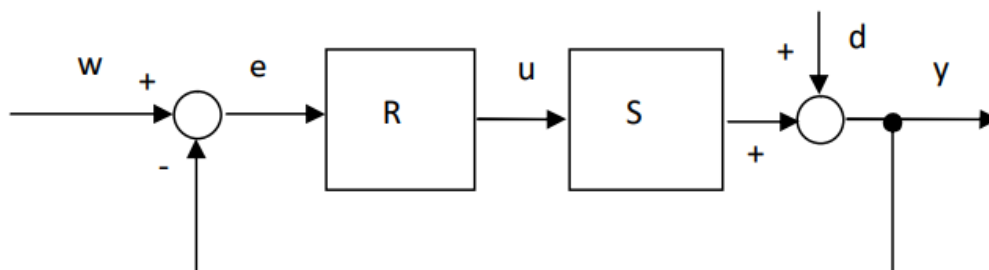
Ještě lze změřit poruchovou veličinu pro lepší vyhodnocení výsledků. Ale jediný způsob, jak může být tento způsob efektivní, je znalost kompenzování poruchy, a to je v praxi téměř nemožné (Cvejn, 2021).



Obrázek 4.2 – Otevřený obvod řízení s měření poruchové veličiny (Cvejn, 2021)

4.2 UZAVŘENÉ OBVODY ŘÍZENÍ

Uzavřené obvody řízení neboli zpětnovazební obvody řízení se liší od otevřených tím, že dostávají zpětnou vazbu o skutečném stavu uvnitř regulované soustavy. Díky této zpětné vazbě je možno dosáhnout požadované výstupní veličiny, aniž by byla nezbytná znalost poruchy či jiných parametrů systému (Cvejn, 2021).



Obrázek 4.3 – Uzavřený obvod řízení (Cvejn, 2021)

Když by se použil stejný příklad jako u otevřeného řízení komory, tak teplotu by nereguloval člověk, ale regulátor. Pro něj by se nastavila referenční hodnota na 80 °C a pak by dostával informace o skutečné teplotě v komoře pomocí senzoru. Až by regulátor zjistil, že je teplota stejná, jako je referenční hodnota, tak zastaví topení, dokud se referenční hodnota nezmění

Ve schématu na obrázku 4.3 jsou viditelné rozdíly oproti otevřenému obvodu řízení. Liší se ve vstupní veličině pro regulátor R. Tou je veličina e , což je regulační odchylka systému. Tu získáme po odečtení od hodnoty výstupní veličiny y a referenční veličiny w . Právě odchylku e lze získat po vytvoření zpětné vazby v obvodu (Cvejn, 2021).

4.3 REALIZACE REGULAČNÍCH OBVODŮ

Rozdělení regulačních obvodů je na dva typy. Ty se liší podle toho, jak regulátor pracuje s veličinami. Rozdělení je následující:

- bez převádění veličin,
- s převáděním veličin.

V obvodech bez převádění veličin zpracovává regulátor stejný typ veličiny jako regulovaná soustava. Tento typ obvodů se v dnešní už moc nevyskytuje. Jeden z příkladů, který tento typ představuje, je bimetalový termostat. Konkrétně regulátor pro řízení teploty pracuje se stejnou veličinou, jako je v regulované soustavě, konkrétně se jedná o teplotu. Více rozšířený typ regulačního obvodu je s převáděním veličin. Především se jedná o obvody s elektronickými regulátory. Samotnou realizaci regulačních obvodů zajišťují nejen mechanické a elektronické regulátory, ale i pneumatické a hydraulické typy. Pneumatické a hydraulické regulační obvody mají svoje výhody. Lze je použít například ve výbušném prostředí nebo v případě snížení ceny za obvod. Pneumatické prvky, konkrétně akční členy, jsou většinou levnější varianta než jejich elektrické alternativy (Cvejn, 2021).

4.4 ELEKTRONICKÉ SYSTÉMY ŘÍZENÍ

Srdcem elektronických řídicích systémů je elektronický regulátor. V kapitole 4.3 bylo uvedeno rozdělení podle toho, jak regulátor pracuje s veličinami uvnitř systému. Následné rozdělení je podle typu regulátoru, který používají. Dělí se na:

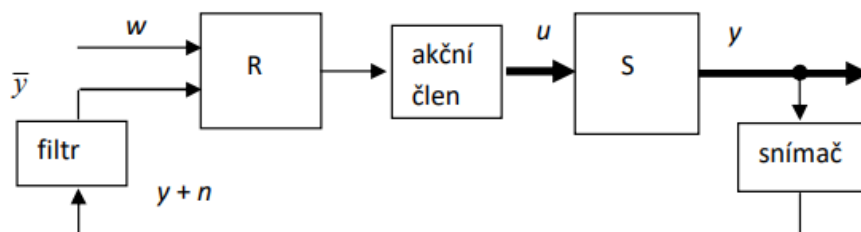
- analogové,
- číslicové.

Analogové řídicí systémy obsahují analogový regulátor. Tento typ regulátoru je méně komplikovaný a hodně se používal v dřívějších dobách. Naopak číslicové řídicí systémy se dnes většinou používají. Vyskytují se ve formách kompaktních číslicových regulátorů nebo počítačů či mikropočítačů (Cvejn, 2021).

4.4.1 Analogové řídicí systémy

U analogového regulačního obvodu je potřeba převádět veličiny na výstupní části systému, tak i na vstupní části, kam se posílá informace zpětnou vazbou. Na výstupní části se jedná například o snímač. V případě sledování teploty se bude jednat o snímač teploty. Ten poskytuje skutečný stav v komoře nebo prostoru a posílá ho v podobě napěťového nebo proudového signálu. Na straně vstupu je potřeba napětí nebo proud ze zpětné vazby převést na akční veličinu. Na základě převodu může akční člen začít vykonávat akci. Regulační ventil přivírá nebo otevírá ventil podle velikosti napětí ze senzoru. Kvůli těmto přenosům veličin z výstupu může nastat zkreslení signálu. To je nežádoucí pro regulátor a jeho správnou funkci, proto se do zpětné vazby přidává filtr před regulátor, aby byl tento typ rušení či šumu potlačen. Celé schéma zapojení analogového řídicího systému je zobrazeno na obrázku 4.4, je zde vidět, jak snímač pro získání skutečných informací o prostředí, tak zpětnovazební filtr pro potlačení šumu (Cvejn, 2021)

Samozřejmě mají analogové regulátory svoje nevýhody. Kvůli rušivým vlivům a převodům veličin se v praxi chovají jinak než v teoretickém plánování. Lze předpokládat, že časem součásti obvodu zestárnou nebo dojde k opotřebení, a může tím pádem být ohrožena spolehlivost obvodu. Nebo je možné, že obvod bude časem více nepřesný, než byl při sestavení. Samotné parametry systému nejsou příliš variabilní. V dnešní době se stále vyplatí, ale pouze při specifických podmínkách. Když se vytváří jednoduché řídicí systémy, kde nejsou potřeba

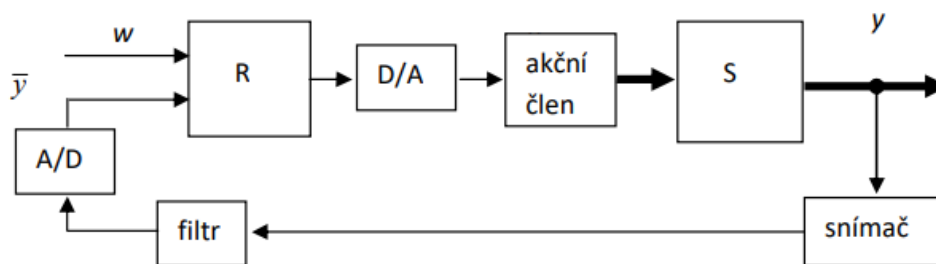


Obrázek 4.4 – Schéma analogového řídicího systému (Cvejn, 2021)

drahé či náročné regulátory, tak se používají analogové verze. Další možnost pro použití je pro řízení rychlých procesů (Cvejn, 2021).

4.4.2 Číslicové řídicí systémy

Jádrem číslicového regulačního obvodu je číslicový regulátor. Číslicový regulátor by se dal popsat jako počítač či mikropočítač, který na svůj výstup posílá pravidelně vzorkované signály. Tyto signály jsou následně posílány na vstup do regulované soustavy. Z regulované soustavy se posílá informace zpětnou vazbou zpět na vstup systému a pomocí této zpětné vazby se upravuje akce akčního členu. Regulátor tedy nepracuje se spojitým signálem jako u analogového regulačního obvodu, ale s určitou posloupností hodnot. Velká změna oproti analogovému systému je práce regulátoru se vstupem a výstupem. Respektive kvůli číselné informaci, se kterou regulátor pracuje, je potřeba nejdříve spojitý signál převádět na digitální signál nebo naopak. Záleží, na jaké straně regulátoru jsme a co potřebuje další část obvodu za



Obrázek 4.5 – Schéma číslicového řídicího systému (Cvejn, 2021)

typ informace. Převody informací z analogové formy na digitální formu zastává A/D převodník. Opačný proces zastává D/A převodník. Jsou to speciální elektronické obvody, které jsou realizovány například operačními zesilovači nebo integrovanými obvody. Tyto převody mají omezenou přesnost, proto je může provázet tzv. kvantizační chyba. Dnes se často používají a dokážou nahradit nedostatky a problémy analogových regulačních systémů. Jsou také cenově dostupné, avšak se nehodí do každé situace. Když jsou procesy velmi rychlé, v rámci milisekund, tak se stále používají analogové obvody (Cvejn, 2021)

Na obrázku 4.5 vidíme schéma číslicového řídicího systému, kde jsou A/D převodník a D/A převodník samostatně zařazené. Dnes se senzory a akční členy vyrábí s těmito převodníky

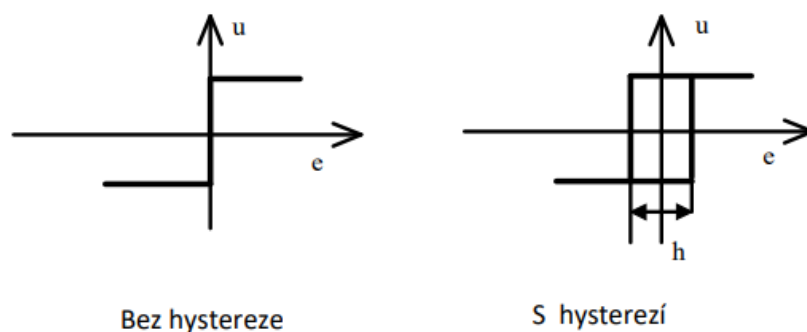
dohromady. Nabízí to velké výhody. Například to zmenšuje šanci na rušení signálu a lze použít jednu sběrnici pro posílání informací a diagnostických dat v digitální podobě (Cvejn, 2021).

4.5 NESPOJITÉ REGULÁTORY

Nespojitý regulátor je jeden ze dvou typů elektronických regulátorů. Patří mezi nejjednodušší a nejlevnější. Jsou konstruovány pomocí dvou hlavních částí. Je zde potřeba komparační obvod, který porovnává hodnoty, mezi kterými se regulátor pohybuje. Druhý prvek pro sestavení regulátoru je nějaký typ spínacího prvku. Spínací prvek má za úkol přepnout nebo udělat akci po dosažení žádané hodnoty. Jedná se o například relé nebo typ tranzistoru.

4.5.1 Dvoupolohový regulátor

Jedná se o typ nespojitého regulátoru, který se pohybuje mezi dvěma hodnotami. Přepínání mezi hodnotami má za úkol akční člen. Například relé, které přepíná mezi hodnotami „zapnuto“ a „vypnuto“ pro topení v místnosti nebo prostředí. Má využití v případech, kdy je potřeba měnit pouze dva stavy.



Obrázek 4.6 – Charakteristika dvoupolohového regulátoru bez hystereze a s hysterezí
(Cvejn, 2021)

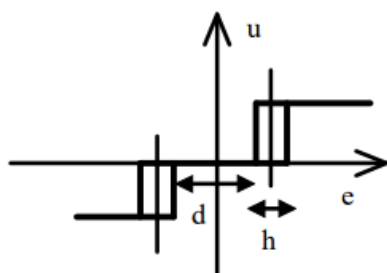
Nejčastější použití nachází při regulaci teploty nebo regulaci hladiny vody v nádrži. Když dochází k přepínání stavů, tak se relé opotřebovává. To je normální děj, ovšem problém nastává tehdy, když se přepínání zrychlí, tím pádem se zrychlí i opotřebenění relé a může dojít k poruše. Při použití výkonových tranzistorů se tento problém zmenšuje, avšak nezmezí. Proto se u těchto regulátorů vytváří umělá hystereze, aby se opotřebenění zmenšilo. Hysterezi vidíme na obrázku 4.6 (Cvejn, 2021).

Problém z vytvoření hystereze nastává v momentě, kdy sice zpomaluje rychlost spínání, ale také vytváří nepřesnost při spínání. Platí, že čím větší je parametr h , tím menší je rychlost spínání, ale zvětšuje se nepřesnost. Parametr h označuje rozkmit regulované veličiny (Cvejn, 2021).

4.5.2 Třípolohový regulátor

Jedná se o druhý typ nespojitého regulátoru. Jeho výhoda spočívá v možnosti spínání kladné i záporné části charakteristiky. Nejlepší příklad je spínání ohřevu a naopak chlazení. Tento regulátor lze také uplatnit například pro řízení otáček pohonu (Cvejn, 2021)

Na obrázku 4.7 lze vidět, že má stejně jako dvoupolohový regulátor vytvořenou hysterezi pro zvětšení zpoždění při rychlém spínání. Jediný rozdíl v charakteristice je existence tzv. necitlivého pásma, kde není definována regulace děje.



Obrázek 4.7 – Charakteristika třípolohového regulátoru (Cvejn, 2021)

4.6 SPOJITÉ REGULÁTORY

Spojité regulátory oproti nespojitým nepřepínají pouze mezi dvěma hodnotami, ale mají schopnost regulovat plynule. Díky tomu mají širší míru použitelnosti. Používají se zejména tam, kde je potřeba jemnější regulace.

Nejčastější spojitý regulátor je PID regulátor. Jeho přednosti jsou v jeho jednoduchosti, univerzálnosti a jednoduchosti realizace. Podle názvu vyplývá, že se skládá z několika složek. Konkrétně se skládá z proporcionální složky P, integrační složky I a derivační složky D. Existují a používají se i zjednodušené složky PID regulátoru, ale PID je nejvíce univerzální. PID regulátor řídí akční veličinu podle regulační odchylky e . Cíl je, aby byla regulační odchylka

nulová, ovšem to je v praxi nepravděpodobné, proto je snaha mít regulační odchylku co nejmenší (Cvejn, 2021).

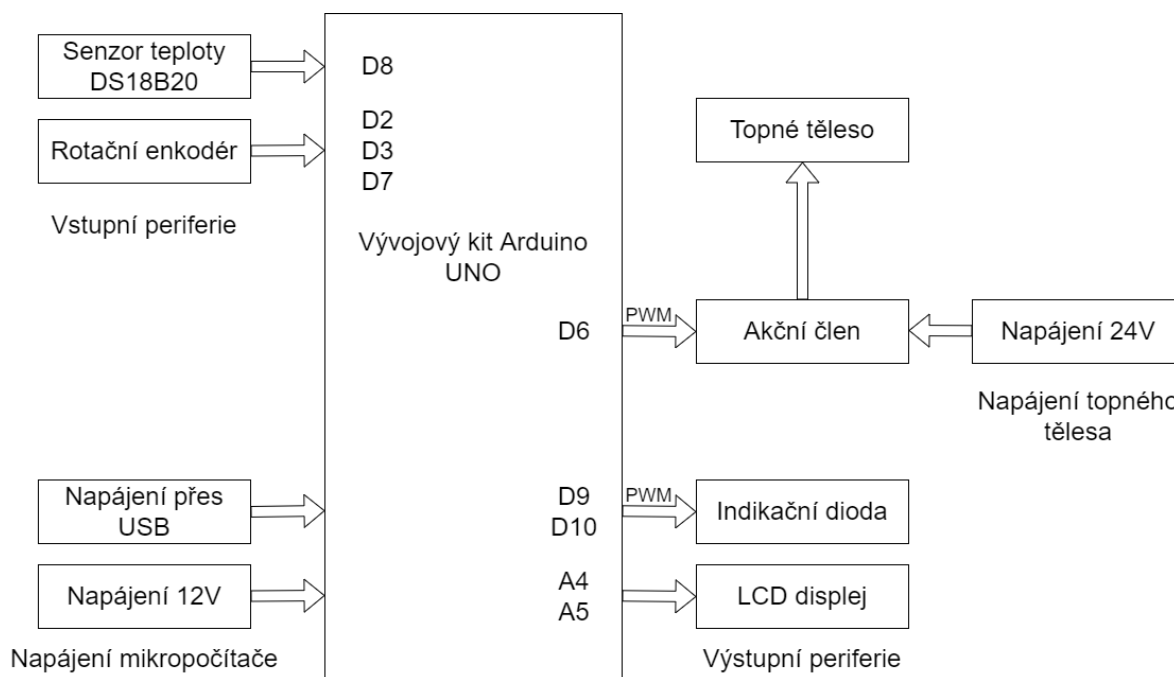
Proporcionální složka figuruje v regulátoru jako zesílení. Pokud je P-složka hodně zesílená, tak se zrychlí regulační děj, ale zvětší také nestabilitu a kmitání obvodu, což je nežádoucí. Sice se při velkém zesílení sníží regulační odchylka, ale kvůli kmitání se může celý obvod destabilizovat a mohlo by dojít k poškození (Cvejn, 2021).

Integrační složka dokáže dostat regulační odchylku na nulovou hodnotu. Ale prodlužuje regulační děj. Proto je důležité, aby byly tyto složky v nejvíce ideální kombinaci (Cvejn, 2021).

Poslední je derivační složka, která regulační pochod urychluje. Díky ní dokáže zpětná vazba reagovat rychle, a dokonce s předstihem. Má velký vliv na soustavy, které nejsou v ustáleném stavu, ale v soustavě v ustáleném stavu se neprojeví. Jednoduše se v systému díky D-složce zmenší prodleva na celkovou reakci. Chrání systém proti oscilacím, které může vyvolat moc velká P-složka. V praxi se derivační člen přidává jako statický člen, který se chová jako filtr potlačující vysoké frekvence (Cvejn, 2021).

5 TEPLOTNÍ TESTOVACÍ KOMORA

Blokové schéma se skládá z vývojového kitu Arduino UNO, které je mozkiem celého zapojení. K němu jsou připojené vstupní periferie, které zajišťují ovládání a zpětnou vazbu pro řízení. Do vývojového kitu je přivedeno napájení a na Arduino jsou napojené výstupní periferie. Poslední část je napájení pro topné těleso, které je vedeno přes akční člen.

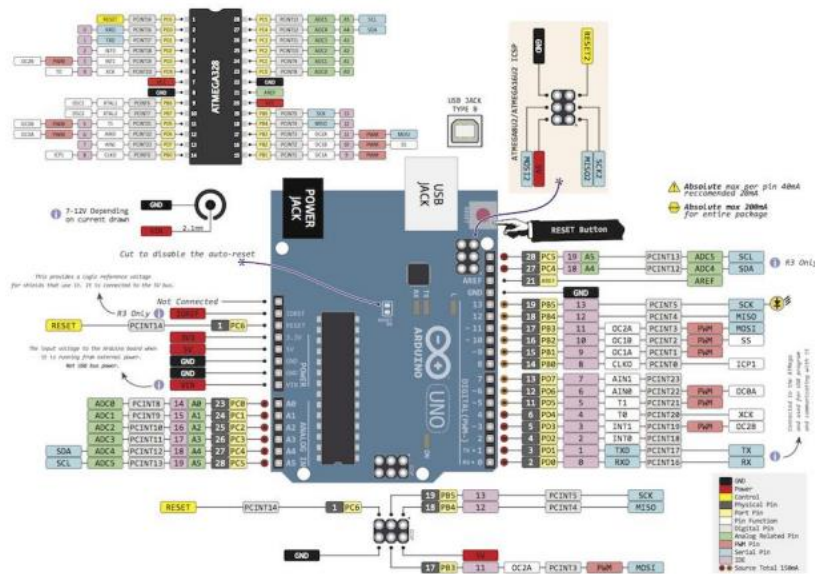


Obrázek 5.1 – Blokové schéma teplotní komory

5.1 VÝVOJOVÝ KIT ARDUINO UNO R3 CH340

Pro teplotní komoru byl vybrán a využit klon vývojového kitu Arduino UNO R3 CH340. Klon byl vybrán na základě nižší pořizovací ceny. Stále nabízí stejné funkce jako standardní Arduino. Jediné, co je potřeba zajistit pro správné nahrávání programu, je nainstalování USB převodníku CH340. Poté nebude mít deska žádné problémy pro naprogramování a nahrávání programu. Arduino je vývojová deska s mnoha funkcemi, vstupy a výstupy. Díky počtu tolika pinů a široké variabilitě lze Arduino použít na spoustu projektů, ve kterých je potřeba řídit ostatní komponenty. Lze ho použít na průmyslové řešení nebo inteligentní domácnosti. Arduino má také spoustu připravených knihoven, které lze stáhnout bezplatně z internetu a jde ho relativně jednoduše programovat, a tudíž ho lze využít jako učební pomůcku při začínajícím programování. Srdcem tohoto vývojového kitu je mikroprocesor Atmega328P. Frekvence procesoru je 16 MHz. Atmega328P obsahuje několik druhů paměti,

které mají různé funkce. První FLASH paměť má velikost 32 kB, druhá je SRAM paměť, která má velikost 2 kB, a nakonec EEPROM paměť, která má velikost 1 kB. Disponuje 14 vstupně-výstupními piny. Mezi ně patří i 6 PWM výstupů, pomocí kterých můžeme řídit jas diody, motory nebo v případě tohoto projektu teplotu. Zbylé digitální piny lze naprogramovat podle potřeby. Záleží, zda se na ně připojují komponenty, které posílají informace či je přijímají. V základu jsou piny nastaveny na mód INPUT neboli vstup. Pro připojení diody je potřeba změnit tento mód na OUTPUT, aby mohla dioda řádně fungovat. Dále Arduino disponuje 6 analogovými vstupy, na kterých lze využít A/D převodník nebo je lze nastavit na připojení zařízení s I2C rozhraním. Další piny, které se často využívají, jsou piny pro zdroj napětí 5 V, dále napětí 3,3 V, a nakonec piny pro zem. Tady je důležité uvědomit si, že země z pinů na Arduino jsou propojené a nelze je využít v případě, kdy je zapotřebí více různých zemí. Pro zprovoznění vývojového kitu stačí připojit USB jako zdroj energie. Jako další možnost napájení je přes souosý konektor, na který lze připojit koncovku adaptéru, který se zapojí do zásuvky. Napájecí napětí je od 7 V do 12 V. Toto napětí je doporučené, ale podle výrobce by mělo Arduino zvládnout 6 V až 20 V. Omezení platí i pro maximální proud, který se liší podle typu pinu. Vstupně-výstupní piny mají maximální proud 20 mA a pin, který nabízí 3,3 V, vydrží maximální proud 50 mA. Dále Arduino nabízí tlačítko reset, které vyresetuje celý kit a spustí program od začátku. Kvůli komunikaci s PC Arduino disponuje sériovou komunikací, kterou lze použít i s jiným mikropočítačem. Tuto funkci zajišťují piny Tx a Rx. Pro komunikaci s jinými sériovými rozhraními se využívají piny SCL a SDA, ale tyto lze nastavit i na jiných pinech (eses, nedatováno).



Obrázek 5.2 – Arduino UNO CH340 s podrobným popisem (eses, nedatováno)

5.2 VSTUPNÍ PERIFERIE

5.2.1 Senzor teploty DS18B20

Jako senzor teploty byl zvolen digitální teplotní senzor DS18B20 od firmy Dallas v pouzdru TO-92. Oproti analogovým variantám má velkou výhodu, že nemusí být kalibrován a není potřeba převádět data ze senzoru na stupně Celsia. Další nespornou výhodou a jeden z hlavních důvodů volby tohoto senzoru byl rozsah teploty, kterou dokáže snímat. Rozsah je od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nakonec tato vlastnost byla mnohem lepší než například hodně používaný senzor LM-35, který se v projektech s Arduinem často vyskytuje. Jako komunikační rozhraní používá senzor 1-Wire systém, díky němu stačí jeden pin pro přenášení dat do mikropočítače. Senzor má vlastní ROM paměť, ve které je uložený 64-bit sériový kód. Tento kód je pro každý senzor unikátní. Lze nastavit i rozlišení v rozmezí 9 až 12 bitů. Zbylé piny jsou pro zem a napájení. Napájet lze od 3,3 V do 5,5 V. Přesnost senzoru je podle výrobce udána na $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale tento údaj je garantovaný pouze pro rozmezí od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro chod senzoru je zapotřebí stáhnout a importovat knihovny DallasTemperature a OneWire. Pro správné zapojení je ještě zapotřebí připojit odpor o velikosti 4k7 ohmů mezi piny DATA a napájení (Luboš, nedatováno).



Obrázek 5.3 – Teplotní senzor DS18B20 (Teplotní senzor DS18B20, nedatováno)

5.2.2 Rotační enkodér

Jako prvek ovládání pro nastavení teploty byl vybrán rotační enkodér, konkrétně modul s rotačním enkodérem KY-040. Tento modul obsahuje samotný enkodér s tlačítkem a k tomu potřebné odpory k jeho správné funkci. Modul má pět pinů, které je potřeba všechny zapojit. Dva piny jsou pro vysílání dat o poloze enkodéru, jeden je pro tlačítko a zbylé dva pro napájení a zemi. Piny pro datovou komunikaci se mohou připojit na jakýkoliv digitální pin. Digitální piny je potřeba nastavit na připojení enkodéru a jeho tlačítka. Tento enkodér byl vybrán kvůli jeho možnostem jemnějšího nastavení než u normálního potenciometru. Pro zjištění pohybu enkodéru se používá kontrola proměnných DT a CLK v programu mikropočítače. Tyto proměnné nám indikují, jakým směrem se enkodér otáčí (Luboš, nedatováno).

Úprava, která byla provedena navíc k zapojení enkodéru, je návrh plošného spoje, kde jsou mezi datovými piny a zemí položeny dva kondenzátory, které eliminují zákmitý přechodů.



Obrázek 5.4 – Rotační enkodér KY-040 (Arduino rotační enkodér, nedatováno)

5.3 VÝSTUPNÍ PERIFERIE

5.3.1 Akční člen

K regulaci topného tělesa, které zajišťuje zahřívání teplotní komory, je využíván zdroj signálu PWM. To nestačí pro dodání dostatečně velkého napětí na topné těleso. Proto bylo potřeba vybrat akční člen, který bude mít spínací prvek a bude se přes něj přivádět napájecí napětí, které je dostatečně velké pro zahřátí na požadované teploty. Přes původní návrh akčního členu byl vybrán modul s tranzistorem MOSFET IRF520. Na modulu je osazen MOSFET tranzistorem s N kanálem. Deska plošného spoje obsahuje tři piny. Jeden, který řídí spínání tranzistoru přes signál PWM. Další dva piny jsou určeny pro napájení a zem. Na desce jsou ještě dvě svorkovnice. Jedna je pro napětí topného tělesa, které potřebujeme zahřívát a druhá je pro samotné topné těleso. Tento modul byl vybrán kvůli jeho jednoduchosti a možnosti použití stejnosměrné napájení pro spínání tranzistoru a taky kvůli velké provozní teplotě, která je od -20 °C až do 80 °C. Pro provoz ve vyšších teplotách je doporučeno přidělat na tranzistor chladič, který je ve finálním návrhu přimontovaný. Pro správný chod není potřeba další programování, jenom připojit příslušné napájení (eses, nedatováno).



Obrázek 5.5 – Modul s MOSFET tranzistorem IRF520 (eses, nedatováno)

5.3.2 Topné těleso

Pro ohřívání teplotní komory bylo potřeba vybrat topné těleso. Nakonec výběr padnul na výkonový odpor. Jedná se o jednoduchý topný člen a bohatě postačí pro vytopení malé komory. Byly použity dva výkonové odpory, aby nebyl problém dosáhnout maximální požadované teploty. Napětí na tělesu je ovládané pomocí akčního členu a je napájeno 24 V stejnosměrného napětí. Další faktor pro výběr tohoto tělesa byla nízká pořizovací cena odporů.

Je to keramický výkonový odpor s hodnotou odporu $120\ \Omega$ a dokáže vyzářit výkon o hodnotě $10\ \text{W}$ (Rezistor Royal Ohm PRW0AWJW121B00, nedatováno).



Obrázek 5.6 – Výkonový odpor $120\ \Omega$ $10\ \text{W}$

5.3.3 LCD displej

Pro zobrazení hodnot teploty a nastavení požadované teploty byl zvolen LCD displej s I2C převodníkem. Oproti LCD displeji bez převodníku má výhodu v jednoduché integraci do zapojení a díky připraveným knihovnám, také jednoduché naprogramování. Díky těmto vlastnostem byl vybrán oproti normální verzi. Pro zapojení do Arduina není potřeba přidávat žádné součástky, takže nebylo potřeba zapojení upravovat jako v případě enkodéru.



Obrázek 5.7 – LCD displej s I2C převodníkem
(16x2 LCD displej 1602 modrý + I2C převodník, nedatováno)

Disponuje modrým podsvícením pro lepší viditelnost. Prostor nabízí 16 sloupců a 2 řádky. Na předávání informací pro převodník stačí pouze 2 vodiče připojené na piny SDA a SCL. Pro napájení lze použít standardních 5 V z Arduina. Při programování je potřeba stáhnout knihovnu pro displej. Po správném nastavení displej hned funguje (16x2 LCD displej 1602 modrý + I2C převodník, nedatováno).

5.3.4 Indikační dioda

Pro indikaci dosažení teploty v komoře je umístěn na řídicí část komory modul s RGB diodou. Ta bude během zahřívání komory svítit červeně, a jakmile se dosáhne teploty, která je nastavena jako cílová, tak změní barvu na zelenou. Byl konkrétně vybrán modul Keyes KY-016.

Na modulu jsou již osazeny odpory pro správné fungování diody a je řízena pomocí PWM signálu, který vychází z Arduina. Obsahuje 4 piny. 3 z nich jsou pro signál PWM, rozdělené pro části RGB a poslední je pro zem (Keyes KY-016 RGB LED Modul, nedatováno).



Obrázek 5.8 – Modul s LED diodou Keyes KY-016 (Keyes KY-016 RGB LED Modul, nedatováno).

5.4 NAPÁJENÍ

V projektu teplotní komory je použito několik zdrojů napětí v podobě adaptérů, které se zapojují do sítě 230 V/50 Hz. Většina částí výrobku je napájena přímo z Arduina a jeho 5 V.

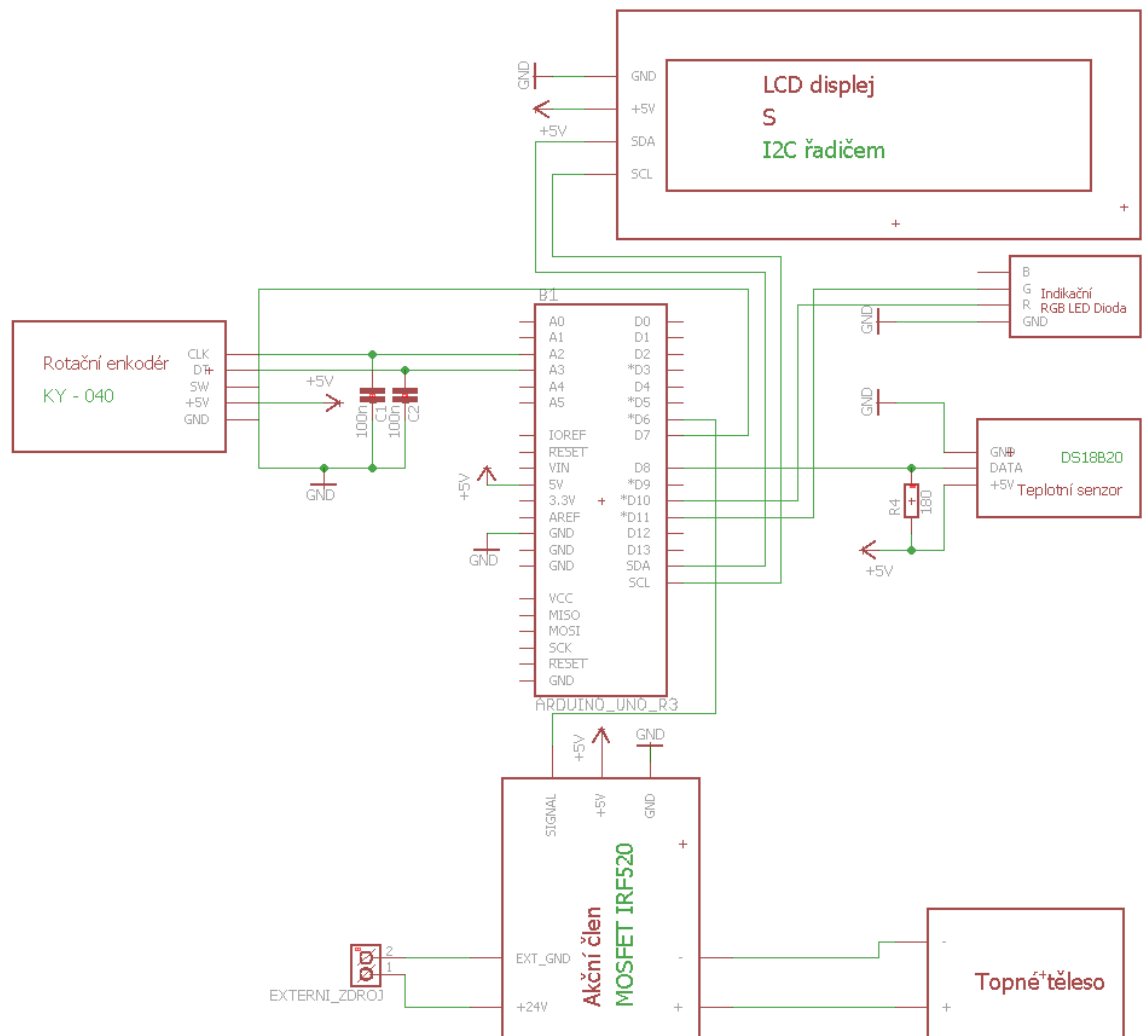
Pro to, aby Arduino mohlo napájet ostatní zařízení, tak musí být také připojeno na svůj vlastní zdroj. Arduino lze napájet několika způsoby.

V tomto projektu se využívají dva způsoby, a to je přes souosý konektor a přes USB kabel. Je možnost teplotní komoru používat jenom s využitím připojení k PC přes USB kabel nebo zapojit do sítě adaptér, který má na výstupu stejnosměrné napětí 12 V. Když se Arduino napájí přes souosý konektor a zároveň přes USB, tak má Arduino hardwarově zabudované řešení. Díky němu vybere pro napájení souosý konektor a USB používá jen pro datovou komunikaci, takže není nebezpečí pro mikropočítač (Svoboda, nedatováno).

Poslední typ napájení, který je u teplotní komory použit, je adaptér, který má na výstupu stabilizovaných 24 V stejnosměrného napětí a 1 A. Tento adaptér je připojený na akční člen a slouží k napájení topného tělesa. Velká výhoda je právě v podobě adaptéru, který se jednoduše zapojí do sítě. Tento adaptér je stabilizovaný zdroj napětí.

6 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

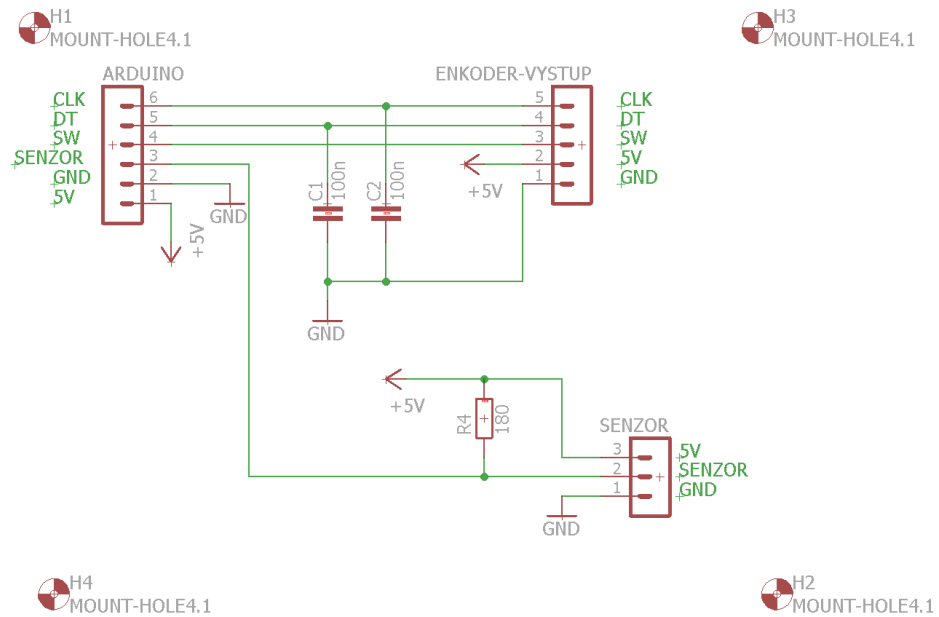
Na obrázku 6.1 je vidět kompletní zapojení teplotní komory se všemi periferiemi.



Obrázek 6.1 – Kompletní schéma zapojení teplotní komory

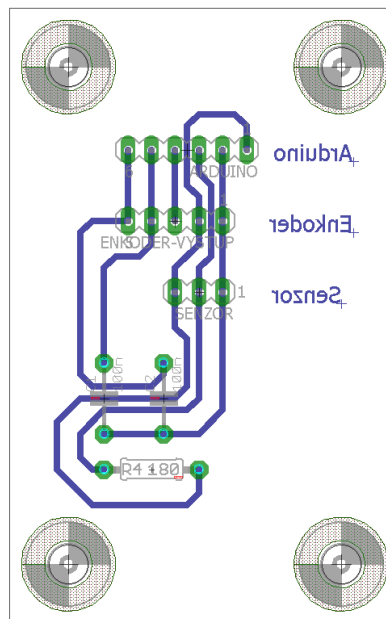
6.1 NÁVRH DESKY PLOŠNÉHO SPOJE

Pro některé součástky komponent teplotní komory bylo potřeba navrhnout desku plošného spoje, aby zajistily správnou funkčnost. Týká se to teplotního senzoru a rotačního enkodéru. Pro návrh této desky byl použit program EAGLE. Nejdříve bylo potřeba zjistit, jaké součástky budeme potřebovat a vytvořit schématickou část zapojení. Byla navržena jedna deska plošného spoje. Jsou zde součástky pro teplotní senzor a rotační enkodér.



Obrázek 6.2 – Schéma návrhu desky plošného spoje pro rotační enkodér a teplotní senzor

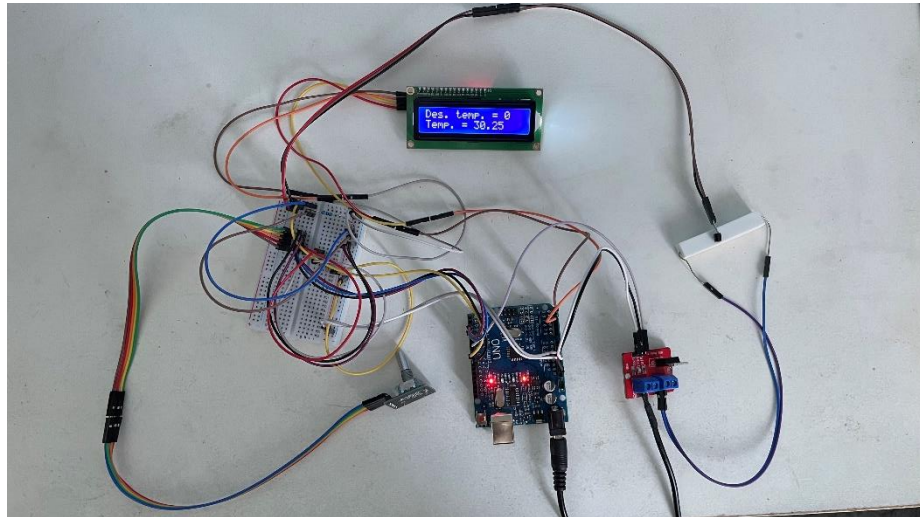
Pro výrobu desky bylo potřeba vytvořit tzv. layout. Osazovací plán se vytváří z této části. Na osazovacím plánu se finalizuje výsledný vzhled desky. V této fázi se rozmisťují součástky na desku. Vybírá se například tloušťka vodivých spojů mezi součástkami.



Obrázek 6.3– Osazovací plánek desky plošného spoje pro rotační enkodér a teplotní senzor

6.2 OŽIVENÍ FUNKCE ZAŘÍZENÍ

Než byly vyrobeny desky plošného spoje, tak bylo potřeba všechny části zařízení naprogramovat a oživit. Pro takové odzkoušení bylo zvoleno zapojení na nepájivém poli, kde lze součástky měnit a není potřeba kvůli tomu vyrábět novou desku. Proto byly všechny komponenty nejdříve připojeny na toto pole a byly kompletně naprogramovány. Poté, co byl celý systém oživen, začala výroba desky plošného spoje a konstrukce celého zařízení.



Obrázek 6.4 – Oživené komponenty zařízení

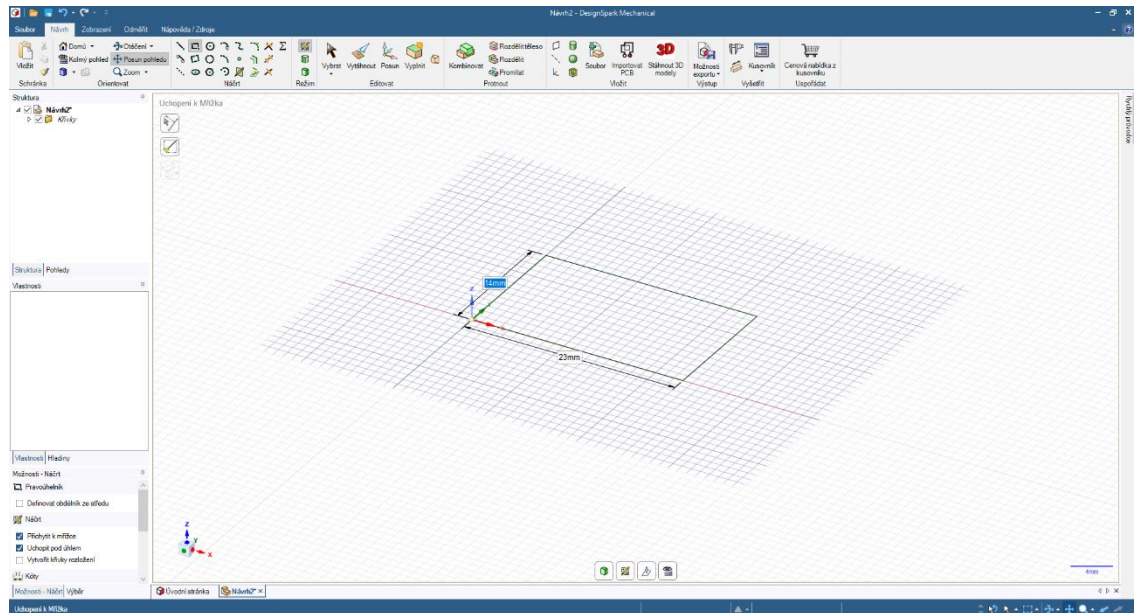
6.3 NÁVRH A VÝROBA KONSTRUKCE

Důležitou částí pro projekt teplotní komory je konstrukce. Ta je rozdělena na dvě části. Jedna z částí je konstrukce samotné tepelné komory a druhá je řídicí komora. Pro návrh a vymodelování částí konstrukce byl zvolen program DesignSpark Mechanical.

6.3.1 DesignSpark Mechanical

DesignSpark Mechanical je program pro 2D a 3D modelování od firmy RS Components. Tento program byl vybrán na doporučení spolužáka a také díky tomu, že se jedná o bezplatné použití. Tento návrhový program lze použít i pro modelování desek plošného spoje. Oproti ostatním softwarům má obrovskou knihovnu předpřipravených 3D modelů. Nejnovější verze je 5.0, která je dostupná pouze pro uživatele operačního systému Windows (Klauz, 2013).

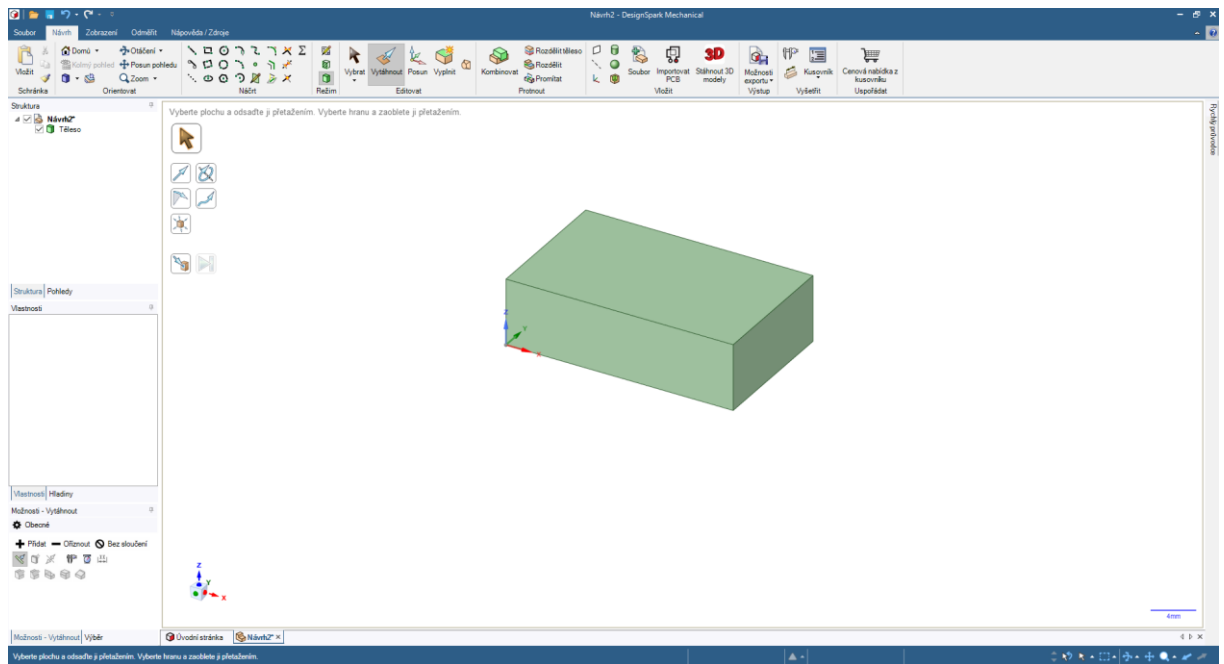
Když se spustí program, tak se nejprve ukáže úvodní stránka, kde je potřeba vytvořit nový návrh modelu. Nový návrh modelu se vytváří v první záložce, kde se klikne na nový a otevře se nové okno s prázdným prostorem. Zde se vytváří první fáze návrhu, která je v 2D prostoru, jak je vidět na obrázku 6.5.



Obrázek 6.5 – Ukázka 2D prostoru při návrhu

Poté je potřeba použít nástroj „vytáhnout“, který náš návrh dostane do 3D prostoru. Po kliknutí na tento nástroj se vytvoří plocha v 3D prostoru, která byla navržena. U této plochy lze nastavit výšku a tloušťku. Pro tyto akce se také používá nástroj „vytáhnout“. Poté, co je plocha „vytáhnuta“, vzniká těleso, které je hotovým modelem. Tento model a ukázka 3D prostoru je vidět na obrázku 6.6.

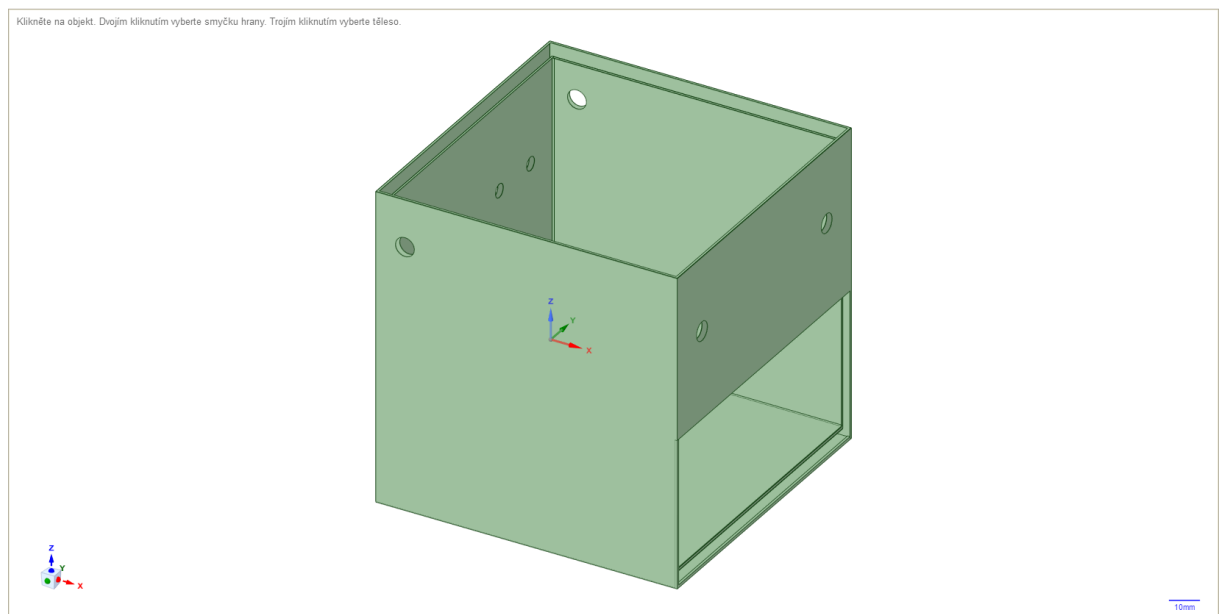
Na tělesu lze vytvářet otvory, přidávat další prvky a mnoho dalšího. Ve vrchní liště jsou všechny důležité prvky pro takové funkce. Také je zde posouvání pohledu a rotace pro dostupnost na všechny strany tělesa. Všechny tyto funkce jsou ukázány na obrázku 6.6, kde je vidět vrchní lišta v prostředí návrhu.



Obrázek 6.6 – Ukázka 3D modelu

6.3.2 Návrh konstrukce

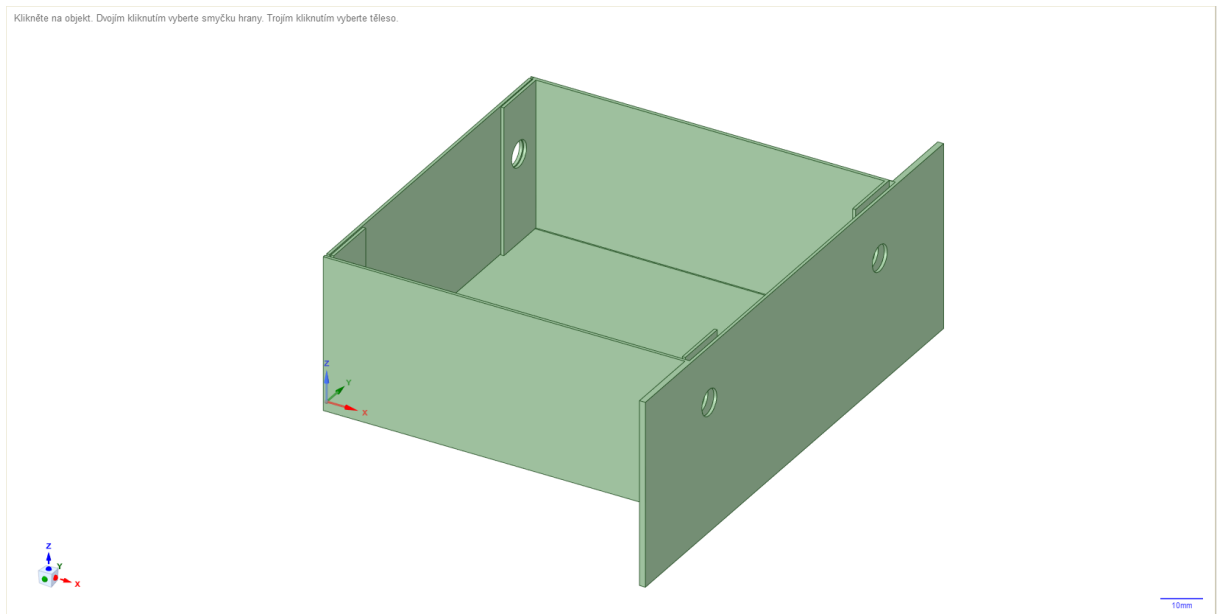
Konstrukce má více součástí, proto je vytvořeno více modelů. První je model teplotní komory. Skládá se z vnějšího kvádru a vnitřní krychle. Jsou od sebe odděleny izolací. Vnější kvádr má rozměry $110 \times 110 \times 115$ mm. Vnitřní krychle má rozměry $105 \times 105 \times 105$ mm.



Obrázek 6.7 – Model teplotní komory

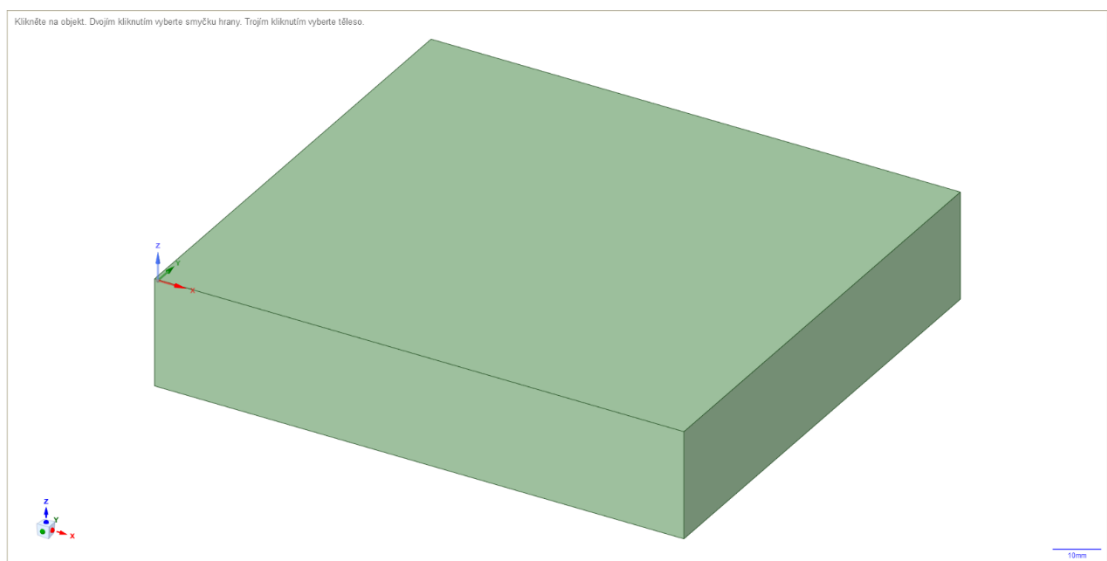
Ve spodní části komory je volný prostor pro zásuvku na součástky, které je potřeba zahřívat. Po obvodu jsou přidány montážní otvory na nýty, kterými se kvádr a krychle spojí a také otvory na přivedení vodičů. Vrchní část je otevřená a zaklápí se víkem.

Další 2 modely jsou vidět na obrázcích 6.8 a 6.9. Na obrázku 6.8 je model zásuvky, která se zasouvá do spodní části komory a je to místo na vkládání součástek pro zahřátí. Na šuplíku jsou montážní otvory na přední a zadní straně pro vložení nýtů.



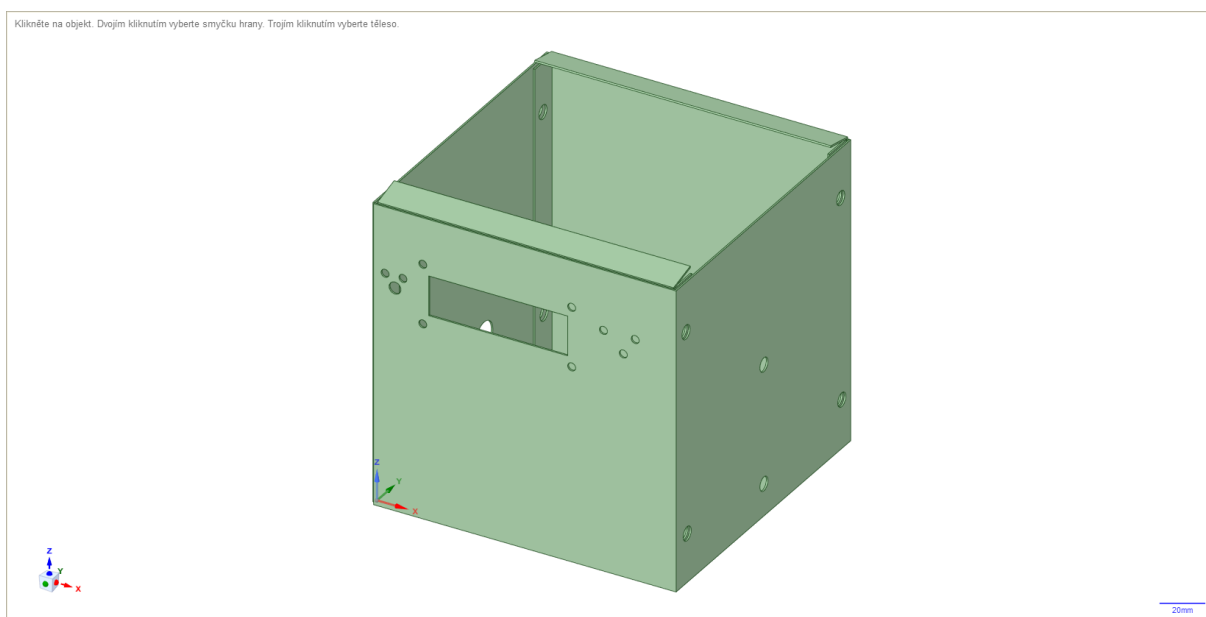
Obrázek 6.8 – Model zásuvky do teplotní komory

Na obrázku 6.9 je vidět víko komory, které je navrženo pro přístup do komory a případné opravy či výměny. Lze ho také využít pro rychlejší snížení teploty v komoře.



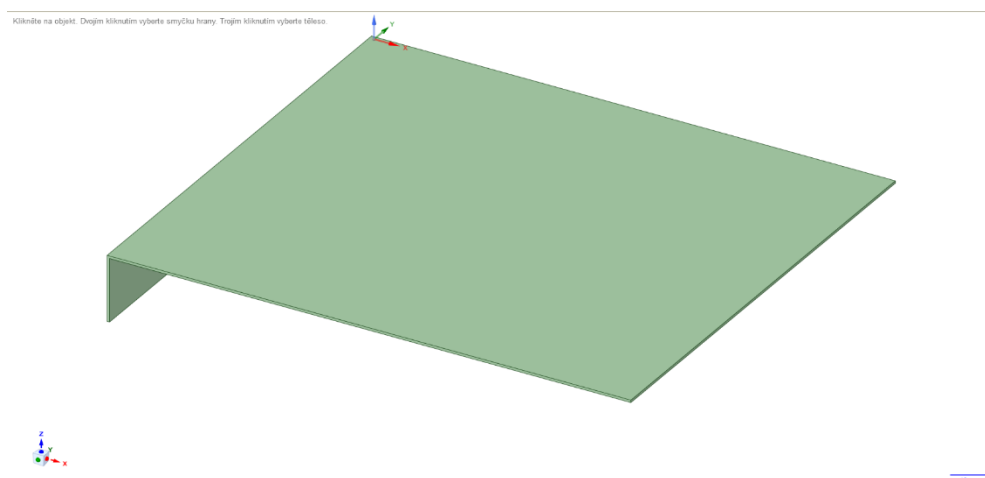
Obrázek 6.9 – Model víka teplotní komory

Druhá část konstrukce je řídicí komora, kde jsou uloženy všechny řídicí komponenty a ovládací prvky. Tato komora je vyšší než teplotní kvůli zjednodušení přístupu do ní. Krychle má rozměry $150 \times 150 \times 150$ mm. Vrchní část je prázdná kvůli víku, které bylo navrženo pro lepší přístup do komory. Na přední části je otvor pro vyvedení vodičů pro teplotní komoru a na boční straně jsou otvory pro připevnění ovládacích prvků. Na zadní straně jsou otvory pro zdroje energie. Také jsou na modelu otvory pro nýty na připevnění plechů k sobě.



Obrázek 6.10 – Model řídicí komory

Víko řídicí komory je pouze jeden kus plechu s madlem na konci pro lepší vyndávání z vrchu řídicí komory. Zasouvá se do drážek připravených na vrchu komory.



Obrázek 6.11 – Model víka řídicí komory

6.3.3 Výroba konstrukce

Pro sestavení tepelné komory byly využity ocelové plechy o tloušťce 0,8 mm, které byly ohnuty do podoby kvádra a 2 krychlí. Do kvádra je vložena menší krychle. Mezi ně je vložena izolace, která omezuje unikání tepla. Izolace je z umělé pěny, která má tloušťku 2 mm. Na místa, kde bylo potřeba zamezit dílčímu unikání tepla, byla navíc nalepena polyethylenová páska. Tato páska byla hlavně použita pro oblepení šuplíku pro vložení součástek, který je vložen do spodní části komory. Části komory jsou spojené přes nýty v ohybech plechů. Na zadní straně komory jsou vyvrtány díry pro provléknutí vodičů teplotního senzoru a přívodu na výkonové odpory, které zajišťují vyhřívání komory. Pro přístup do komory bylo vytvořeno víko, které lze jednoduše odklopit a popřípadě vyměnit součástky uvnitř nebo rychleji odvětrat a snížit teplotu v komoře.



Obrázek 6.12 – Celková konstrukce komory

Druhá část projektu je řídicí komora, kde jsou uloženy řídicí komponenty pro teplotní komoru. Nachází se zde konkrétně Arduino, akční člen a plošný spoj. Na boku řídicí komory jsou zasazeny ovládací prvky komory. Na zadní stranu je otvor pro přivedení USB kabelu a

přívodu napětí, které vedou z adaptérů. Na straně k teplotní komoře se nachází otvor pro vyvedení vodičů pro teplotní senzor a přívod pro výkonové rezistory. Pro sestavení této komory byly stejně jako na teplotní komoru použity ocelové plechy, které byly spojeny nýty. Samotné komponenty uvnitř řídicí komory jsou přidělány závrtnými šrouby do dřevěné desky. Výhoda této konstrukce spočívá v jednoduchém vyndání komponent jako celku pro případnou výměnu. Na vrchu řídicí komory je vyrobeno víko z ocelového plechu, které se zasouvá do drážek, aby drželo na místě. Všechny části projektu byly nastříkány béžovou barvou pro lepší vzhled.

7 PROGRAM TEPLOTNÍ KOMORY

Pro ovládání teplotní komory bylo potřeba vytvořit pro mikropočítač program, aby bylo definované, jaké akce se budou provádět při příslušných podnětech. Jelikož komora disponuje více režimy ovládání, tak byly vytvořeny dva programy v odlišných prostředích.

Přímo pro mikropočítač byl vytvořen program ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Existují i jiné možnosti virtuálních prostředí pro programování, ale Arduino IDE je přímo vyvinuto pro Arduino a je intuitivní. Díky minulé zkušenosti a přívětivé práci s knihovny bylo vybráno.

Druhý mód ovládání je v momentě, kdy chceme Arduino ovládat přes osobní počítač. Arduino musí být připojené přes USB kabel do počítače. Tento program byl vytvořen ve vývojovém prostředí Visual studio v jazyce C#. Toto prostředí bylo vybráno na základě předchozí zkušenosti s prostředím.

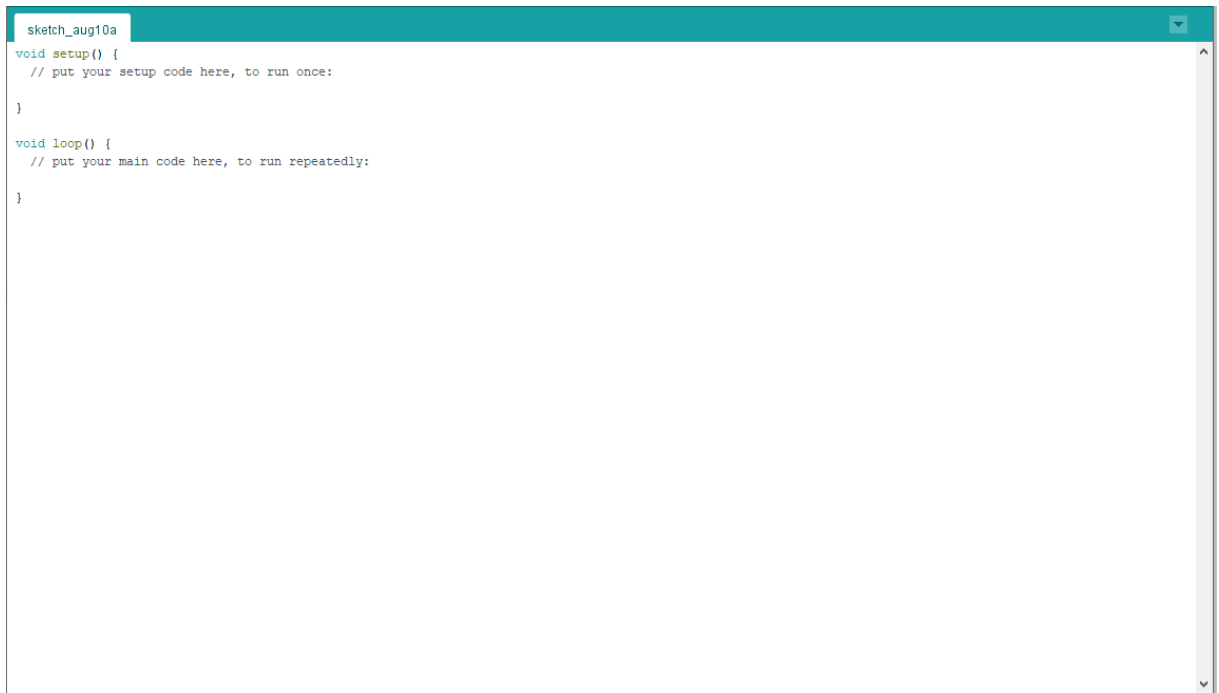
7.1 VÝVOJOVÁ PROSTŘEDÍ

7.1.1 Arduino IDE

Arduino IDE je volně přístupné vývojové prostředí pro programování všech vývojových desek Arduino. Toto prostředí je velmi intuitivní se spoustou knihoven, které velice pomáhají při programování. V době psaní této bakalářské práce je oficiálně dostupná nejnovější verze prostředí Arduino IDE 1.8.19. Je také možnost si stáhnout testovací verzi Arduino IDE 2.0 RC, ze které tvůrci sbírají zpětnou vazbu. Prostředí podporuje operační systémy Windows (verze Windows 7 a výše), Linux (verze 32 bits, 64 bits, ARM 32 bits a ARM 64 bits) a macOS X (verze 10.10 nebo novější). Pro Windows lze stáhnout buď instalátor, který se o vše postará nebo komprimovaný soubor ZIP, ze kterého lze vybrat instalační soubor. Z instalačního souboru se nainstaluje samotné prostředí. Pro možnosti stažení na Linux a macOS se stáhne komprimovaný soubor ZIP. Testovací verze prostředí lze nainstalovat pouze pro Windows 10 v 64bitové verzi. Linux je potřeba mít 64bitový a macOS musí být ve verzi 10.14 nebo novější, také ve verzi 64bitové (Software Arduino, nedatováno).

Pro vytvoření nového projektu, tzv. sketche, stačí zapnout program a hned je vidět základní náhled prostředí. Náhled základní formy je vidět na obrázku 7.1. Zde vidíme dvě hlavní části `setup ()` a `loop ()`, které jsou stěžejní pro správné vytvoření programu. Do části `setup ()` se definují například, jak se mají chovat jednotlivé piny, zapnutí přenosu pro sériovou

linku nebo inicializace vstupních a výstupních periférií. V části loop () je definována činnost programu.



```
sketch_aug10a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Obrázek 7.1 – Prázdný sketch s částmi setup () a loop ()

Před tyto dvě části se definují jména pinů, které jsou dále využívány a také jaké knihovny budou využívány. Také lze definovat proměnné, které se budou vztahovat na celý program. Na obrázku 7.2 je vidět, co všechno lze definovat před část setup () a také je vidět horní panel, na kterém jsou umístěny důležité funkce.

Je tam možnost záložky File, kde lze dělat akce hlavně z hlediska ukládání a vytváření sketchů. Dále tam lze vidět záložky Edit, Sketch, Tools a nakonec Help. Pro kompilaci a nahrávání programu na Arduino jsou nejdůležitější záložky Sketch a Tools. V záložce Tools se vybírá port, na kterém je Arduino připojeno, také lze odsud zapnout sériový monitor, který ukazuje, co se posílá na sériové lince, je-li zapnutá. Nakonec jsou na vrchní části pod záložkami tlačítka hlavně pro kompilaci, nahrání a uložení programu na mikropočítač.

The image shows the top portion of the Arduino IDE interface. At the top, there is a menu bar with 'File', 'Edit', 'Sketch', 'Tools', and 'Help'. Below the menu bar is a toolbar with icons for saving, undo, redo, and other functions. A tab titled 'Regulace_teploty' is active. The main area contains C++ code for a temperature regulation sketch. The code includes headers for 'Wire', 'LiquidCrystal_I2C', 'OneWire', and 'DallasTemperature'. It defines several pins: powerPin (6), ONE_WIRE_BUS (8), redPin (9), greenPin (10), groundPin (11), and voltagePin (12). It then initializes a LiquidCrystal_I2C object, a OneWire object, and a DallasTemperature object. The code also defines several variables for string input, boolean states, and integer values. Finally, it declares several volatile integer variables for pin control and a float variable for temperature.

```
File Edit Sketch Tools Help
Regulace_teploty
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define powerPin 6
#define ONE_WIRE_BUS 8
#define redPin 9
#define greenPin 10
#define groundPin 11
#define voltagePin 12

LiquidCrystal_I2C lcd = LiquidCrystal_I2C(0x3F, 16, 2);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

String inputString = ""; // Užité proměnné pro komunikaci s PC
boolean stringComplete = false;
String commandString = "";
boolean isConnected = false;
int powerState = 0;
int border = 0;

volatile int clkPin = 2; // Užité proměnné pro ovládání enkodéru
volatile int dtPin = 3;
volatile int switchPin = 7;
volatile int clkPinLast = LOW;
volatile int clkPinCurrent = LOW;

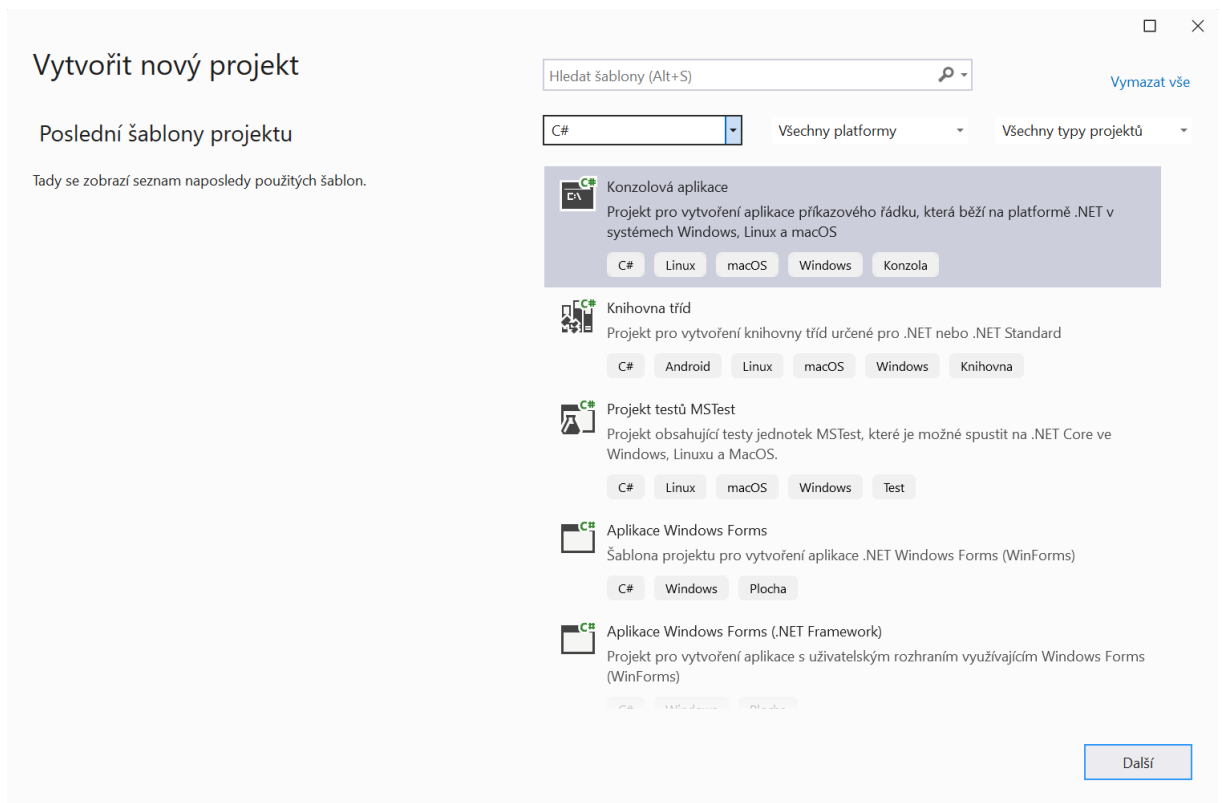
int target_temp = 0; // Užité proměnné pro regulaci teploty a nastavení módu pro ovládání
float temp;
int mode = 0;
```

Obrázek 7.2 – Ukázka vrchního panelu se záložkami a definice pinů a proměnných

7.1.2 Visual Studio

Visual Studio je vývojové prostředí, které bylo vyvinuto a je stále vyvíjeno firmou Microsoft. Toto vývojové prostředí lze použít pro programování různých konzolových aplikací, grafických aplikací ve formě Windows Forms nebo webových stránek. Jediné, co je potřeba z hlediska hardwaru, je osobní počítač, jelikož se zde neprogramuje žádný mikropočítač. Nejnovější verze je Visual Studio 2022. Je podporované na Windows, Linux i macOS. Rozděluje se podle licencí, z nichž některé jsou placené a některé zdarma. Konkrétně licence Professional a Enterprise jsou placené a licence Community je volně přístupná pro všechny uživatele. Licence Professional a Enterprise jsou určeny spíše firmám, jelikož poplatek za jejich používání je vysoký. Při instalaci se stáhne instalační balíček, který se spustí a jsou vybrány části Visual Studia, které je potřeba nainstalovat. Když se vyberou všechny části, instalační doba může být vysoká, protože se jedná o komplexní vývojové prostředí. Různé technologie mají ve Visual Studiu různou úroveň podpory. Nejlepší podporu dostávají technologie, které vlastní Microsoft, například C#, ve kterém se programují grafické formuláře. Relativně dobrou podporu mají technologie, které sice nevlastní Microsoft, ale chce, aby se využívaly, například nástroje pro kódování webů, například HTML nebo JavaScript. A špatnou podporu mají zpravidla ty technologie, se kterými Microsoft soupeří a pro jejich používání je potřeba využít jiné vývojové prostředí, například Java (Žůrek, nedatováno).

Až je prostředí nainstalované, jednoduše se spustí kliknutím na zástupce, který se vytvoří na ploše. První, co je vidět, je úvodní okno. Na jeho levé straně lze vidět poslední projekty, které byly otevřeny podle doby, kdy byly otevřeny. Na pravé straně jsou možnosti pro pokračování ve vytváření projektu. Lze otevřít již vytvořené projekty nebo založit nový projekt. Poté co založíme nový projekt, tak Visual Studio potřebuje informaci, jaký typ projektu bude chtít uživatel založit. Toto okno je vidět na obrázku 7.3.

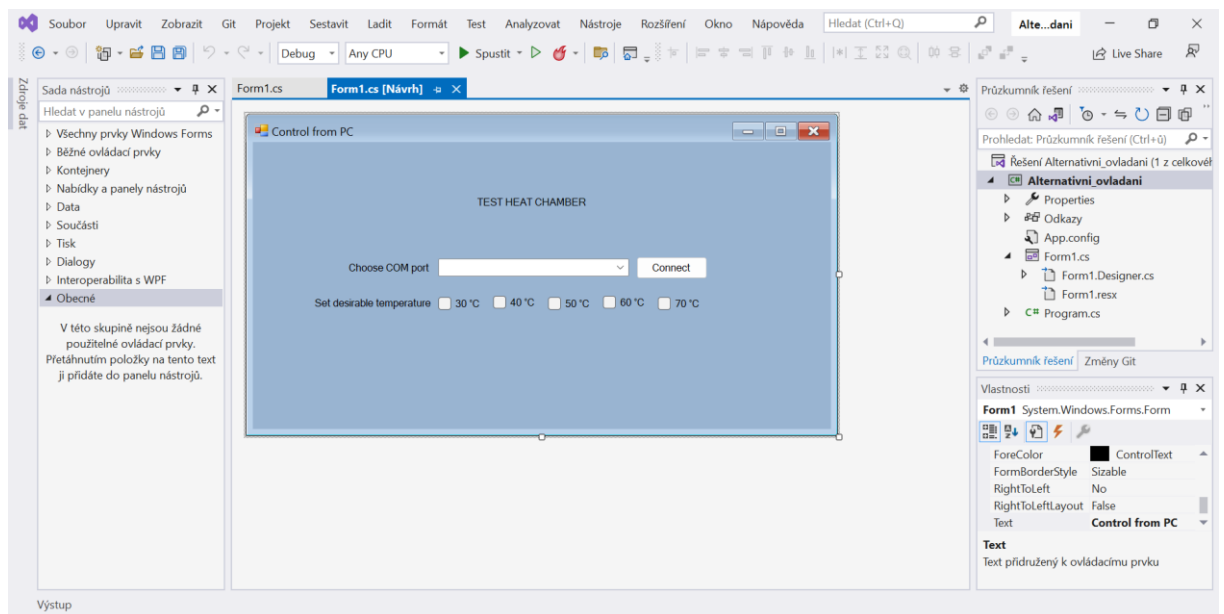


Obrázek 7.3 – Úvodní obrazovka ve fázi zakládání projektu

Na pravé straně lze vidět, jaké všechny typy projektů je možno založit. Pro konzolovou aplikaci je potřeba vybrat Console App a například pro grafický formulář je potřeba vybrat Windows Forms App.

Dále se bude popis soustřeďovat na ukázkou Windows Forms App. Po výběru této možnosti se otevře první ze dvou hlavních obrazovek, na kterých se programuje. První obrazovka je vidět na obrázku 7.4, kde je místo pro samotný grafický formulář. Ten má v horní liště svůj název, v případě ukázky je to Form1.cs [Design]. Na pravé straně v horní části je podrobný výčet všech částí, které projekt obsahuje. Na dolní části jsou vlastnosti právě vybraného prvku. Tyto vlastnosti lze měnit jednoduchým vybráním položek ze seznamů, které jsou definované pro jednotlivé vlastnosti. Na levé straně jsou na výběr grafické prvky, které se

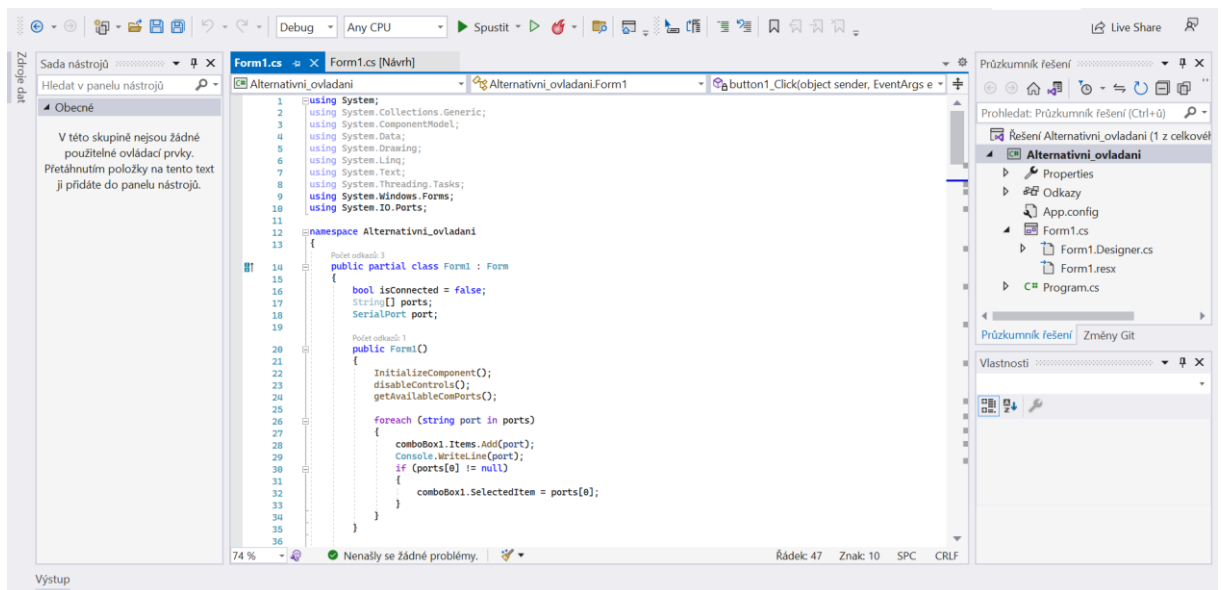
využívají v okně formuláře. Lze si zde vybrat například tlačítka, popisné texty, nebo zaškrtnávací políčka.



Obrázek 7.4 – Okno projektu pro design formuláře

Lze zde vybrat například i časovač, který se následně naprogramuje v druhém okně, které otevřeme dvojitým kliknutím na prvek ve formuláři. Tímto se otevře okno Form1.cs. V tomto okně lze programovat jednotlivé prvky. Okno s prvky je vidět na obrázku 7.5.

Na obrázku 7.5 je vidět, jak je každý prvek naprogramovaný na svoji určenou funkci. V oknu pro design formuláře se vytváří samotný vzhled formuláře a jednoduché nastavení prvků, jako je text na prvcích nebo jejich barvy či zarovnání na obrazovce. V oknu pro kódování se už programuje v klasickém stylu. Výhoda je, že prostředí napovídá v případě psaní příkazů. Je nápomocné pro hledání různých možností.



Obrázek 7.5 – Okno s kódováním prvků

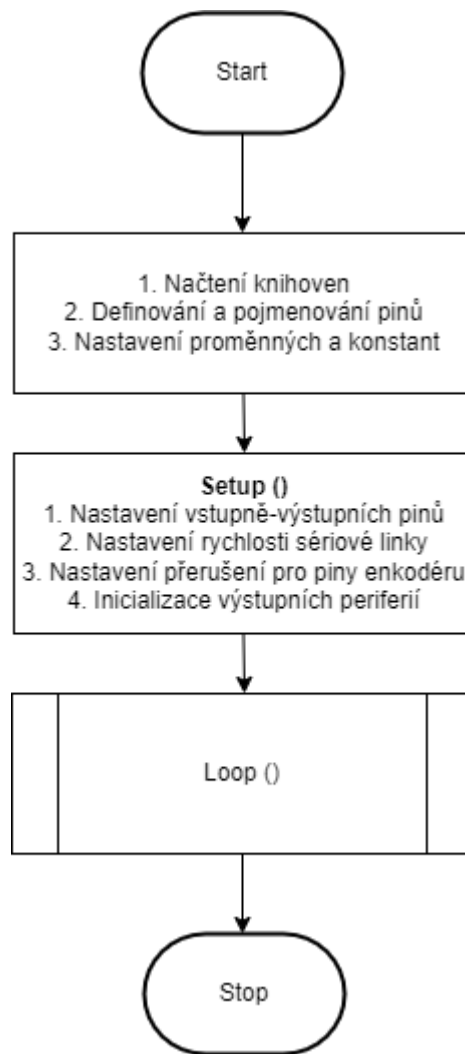
Na vrchní části je horní lišta, na které je několik záložek, které mají různé funkce. Například záložka File, která obsahuje možnosti ukládání nebo vytváření nových projektů. Důležitá lišta se nachází pod těmito záložkami, zde lze najít tlačítka pro kompilaci a zapnutí programu nebo jeho zastavení. V programu lze nastavit tzv. záchytné body. V nich se program zastaví a uživatel si může zkontrolovat postup jeho programu, popřípadě opravit chyby. Poslední část je spodní prostor, kde je ukazován výstup programu a jsou zde vidět případné chyby, které v programu mohou nastat.

Samotná konstrukce programu je rozdělena do tříd. Na začátku jsou definované knihovny, které se využívají v programu a následně se definují nástroje pro formulář. Po každé, když uživatel dvakrát klikne na prvek v okně designu, tak se vytvoří metoda pro prvek v okně kódování. Do těchto metod se již píšou instrukce, co mají jednotlivé prvky za funkci.

7.2 APLIKACE PRO MIKROPOČÍTAČ ARDUINO

7.2.1 Vývojové diagramy

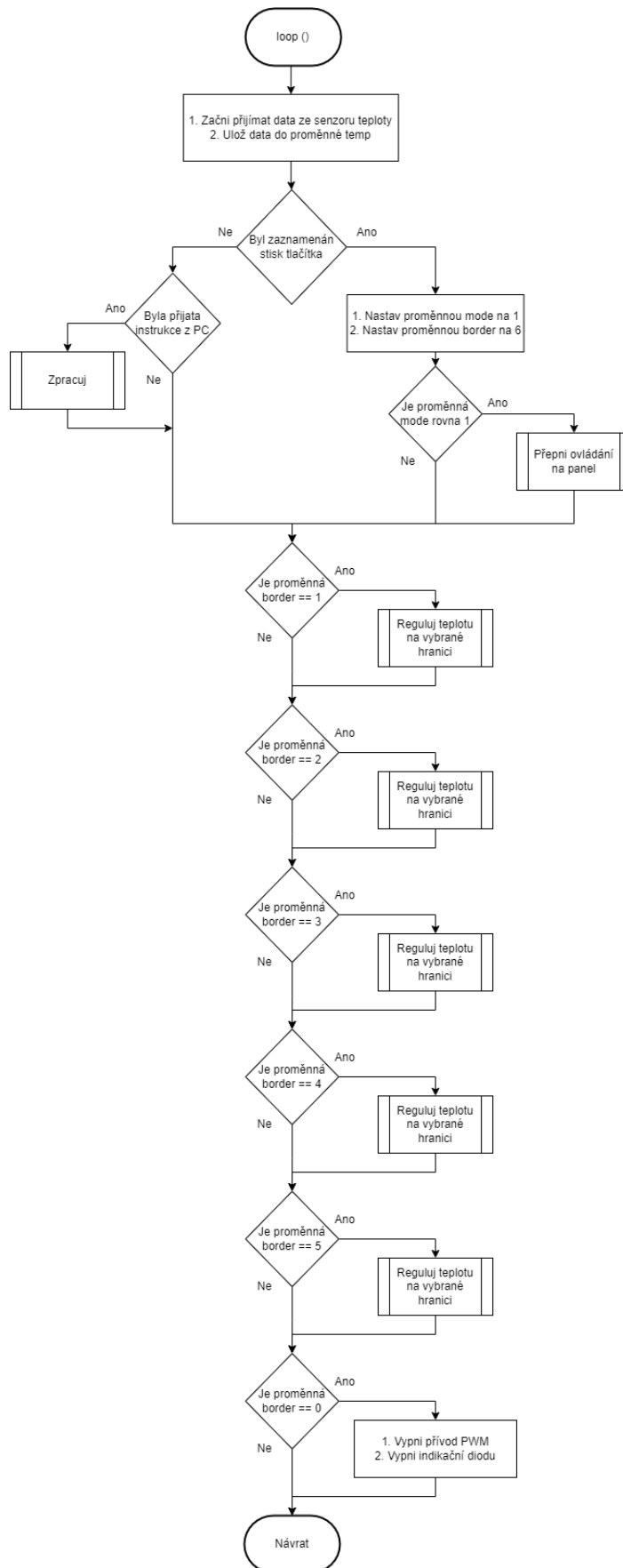
Vývojový diagram pro program určený pro mikropočítač má 3 stěžejní části. První část je nastavení a definice důležitých parametrů, které jsou používány po celou dobu programu. Pak je část Setup (), kde se nastavují periférie a rychlost sériové linky. Poslední velká část je Loop (), která bude mít vlastní vývojový diagram kvůli složitosti této části programu.



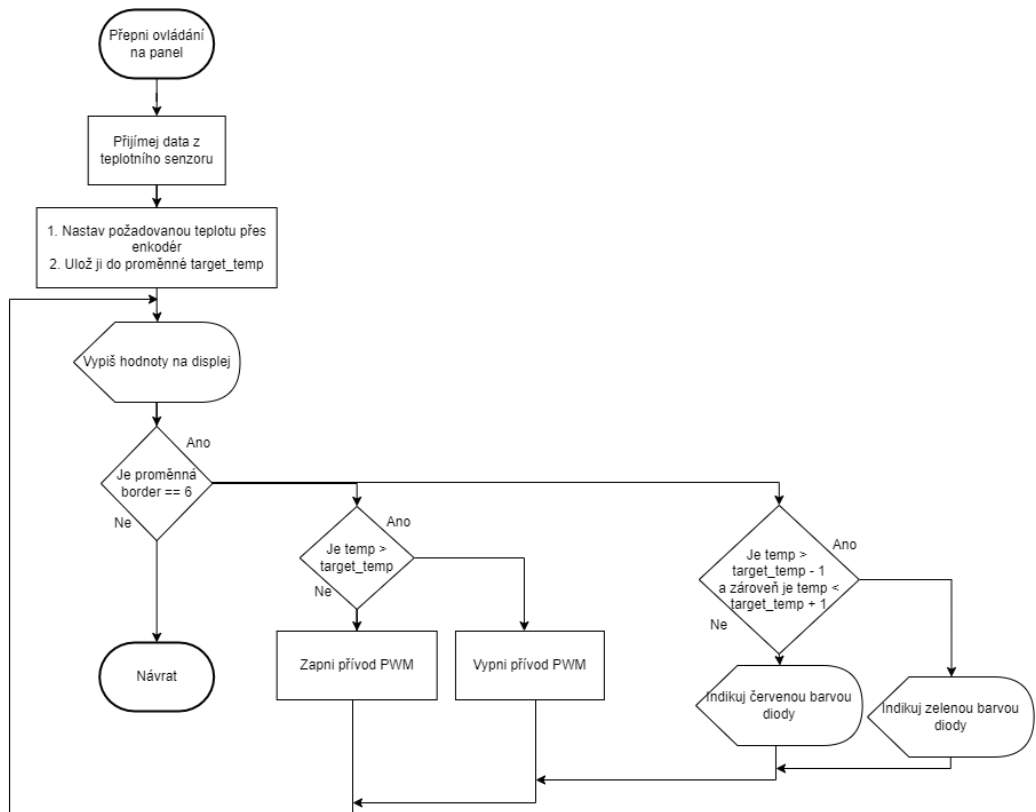
Obrázek 7.6 – Vývojový diagram programu

V části `loop ()` se udává samotné chování mikropočítače. Reaguje na podněty ze vstupních periférií a pro zobrazení následné reakce využívá výstupní periférie. První část se věnuje příkazům z připojeného osobního počítače. Druhá část se věnuje ovládání pomocí enkodéru a zobrazování na LCD displeji.

Na obrázku 7.7 je vidět vývojový diagram části `loop ()`. Na začátku se načítají data z teplotního senzoru, aby mohl následně regulátor zpracovávat svůj úkol. Ten je například v části „Reguluj teplotu na hranici 40 °C“. Ještě před tím je kontrolováno, jestli není připojen PC. Pokud je, tak se aktivuje část „Zpracuj“ a začne přijímat příkazy po sériové lince. Části „Zpracuj“ a „Reguluj teplotu na vybrané hranici“ mají také vlastní diagramy kvůli jejich složitosti. Hlavní proměnná v části `loop()` je `border`. Ta označuje, jakým stylem se bude regulovat teplota. Druhá důležitá proměnná je `mode`. Ta označuje, jaký mód ovládání je právě zapnutý.

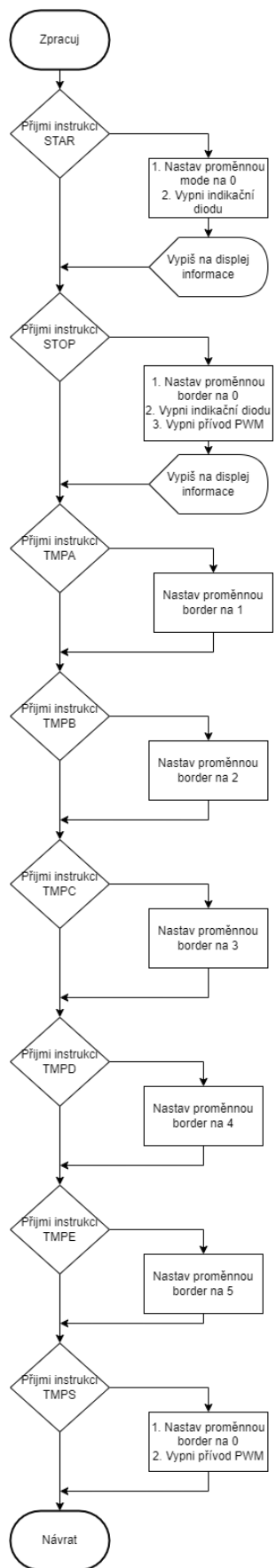


Obrázek 7.7– Vývojový diagram části loop ()



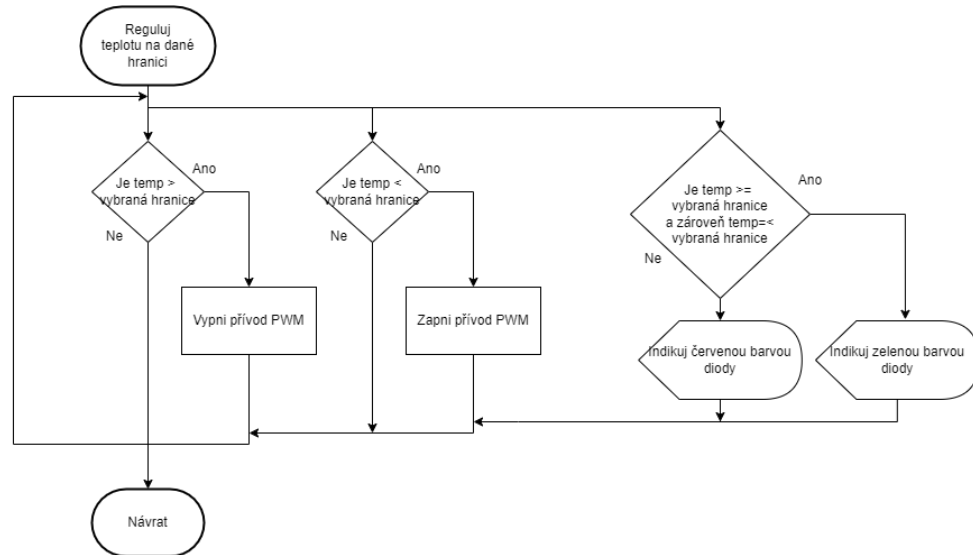
Obrázek 7.8 – Vývojový diagram pro část „Přepni ovládání na panel“

Na obrázku 7.8 je vidět, jakým způsobem reguluje režim pro ovládání z panelu teplotní komory. Je potřeba splnit podmínku, která se řídí z dat teplotního senzoru. Pokud je požadovaná teplota vyšší než stávající, tak regulátor nastaví přívod PWM na 0 a pokud teplota není dostatečná, tak je přívod PWM zapnutý. Zároveň s touto podmínkou platí podmínka pro indikaci LED diody. Ta je nastavená pro odchylku maximálně jednoho stupně. Pokud svítí dioda zeleně, tak má komora dostatečnou teplotu pro vložení součástky. Pokud teplota tuto hranici překročí, tak se rozsvítí červená barva a komora tudíž není připravena k vložení součástky do testovací zásuvky.



Obrázek 7.9 – Vývojový diagram pro část „Zpracuj“

Na obrázku 7.9 je vidět, co se děje při příchozím příkazu z PC po sériové lince. Prakticky se mění proměnná border, která určuje cílovou teplotu pro regulaci. Na obrázku 7.10 je vidět vývojový diagram pro část „Reguluj teplotu na vybrané hranici“. Zde je samotná regulace nastavovaná proměnnou border.



Obrázek 7.10 – Vývojový diagram části „Reguluj teplotu na vybrané hranici“

Tento vývojový diagram se opakuje pravidelně na všech hranicích teplot. Takto lze nastavovat teplotu do 70 °C.

7.2.2 Program pro mikropočítač

Program pro mikropočítač zahrnuje dva režimy ovládání pro teplotní testovací komoru. První způsob, jak komoru ovládat, je pomocí prvků na panelu řídicí části komory. Regulace teploty uvnitř komory probíhá bez účasti uživatele. Na začátku musí uživatel nastavit správný režim ovládání tlačítkem a nastavit požadovanou teplotu v komoře. Údaje se zobrazí na LCD displeji. Na obrázku 7.11 je vidět část programu, která má za úkol ovládat komoru pomocí prvků na panelu. Metoda updateLcd() pravidelně zobrazuje údaje a podmínky s proměnnou border fungují jako dvoustavový regulátor, který má jako přívod PWM signál.

```

if (mode == 1) { // Mód ovládání pomocí enkodéru
  updateLcd();
  sensors.requestTemperatures();
  if (border == 6) { // Podmínka pro regulaci teploty
    if (temp > target_temp) {
      analogWrite(powerPin, 0);
    }
    else if (temp < target_temp) {
      analogWrite(powerPin, 255);
    }
  }

  if (temp >= target_temp - 1 && temp <= target_temp + 1) { // Indikace o dostatečné teplotě v komoře, odchylka maximálně ± 1 °C
    analogWrite(greenPin, 255);
    analogWrite(redPin, 0);
  } else {
    analogWrite(redPin, 255);
    analogWrite(greenPin, 0);
  }
}
}
}

```

Obrázek 7.11 – Část programu pro ovládání pomocí enkodéru z panelu na komoře

Druhý režim ovládání je přes osobní počítač, který zprostředkovává část programu s přijímáním komunikace. Tato část kódu je zobrazena na obrázku 7.12. Jsou zde podmínky pro přijímání příkazů a jejich příslušných akcí. Pokud Arduino přijme příkaz „START“, tak se na displeji zobrazí informace o připojení k PC a další kroky se již podnikají v programu pro PC. Zároveň se vypne přívod PWM a indikační dioda. Následně postupně při přijímání dalších instrukcí se nastavuje proměnná border na úrovně, podle kterých se dosáhne nastavené teploty. Toto nastavování se ovládá v PC. Následná regulace probíhá pomocí dvoustavového regulátoru stejným způsobem jako u ovládání pomocí prvků na panelu.

```

if (stringComplete) // Podmínka pro přijímání dat ze sériové komunikace, mód ovládání pomocí PC
{
  stringComplete = false;
  getCommand();

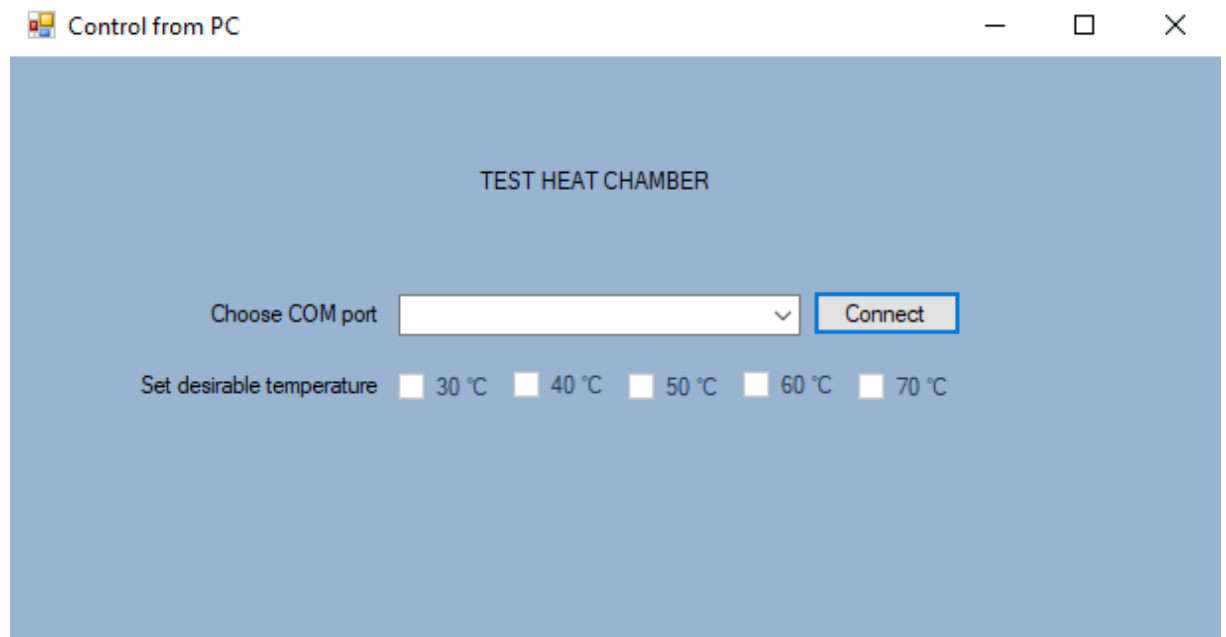
  if (commandString.equals("START")) { // Podmínka pro reakci na při přijetí příkazu z PC (Startovní akce při přepnutí módu ovládání)
    mode = 0;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Connected to VS");
    analogWrite(redPin, 0);
    analogWrite(greenPin, 0);
  }
  if (commandString.equals("STOP")) { // Podmínka pro reakci na při přijetí příkazu z PC (Ukončující akce při přepnutí módu ovládání)
    border = 0;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Press button or");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("connect to VS");
    analogWrite(powerPin, 0);
    analogWrite(redPin, 0);
    analogWrite(greenPin, 0);
  }
  else if (commandString.equals("TMFA")) { // Podmínka pro reakci na při přijetí příkazu z PC (Nastavení hladiny 40 °C)
    border = 1;
  }
  else if (commandString.equals("TMFB")) { // Podmínka pro reakci na při přijetí příkazu z PC (Nastavení hladiny 50 °C)
    border = 2;
  }
  else if (commandString.equals("TMFC")) { // Podmínka pro reakci na při přijetí příkazu z PC (Nastavení hladiny 60 °C)
    border = 3;
  }
  else if (commandString.equals("TMFD")) { // Podmínka pro reakci na při přijetí příkazu z PC (Nastavení hladiny 70 °C)
    border = 4;
  }
  else if (commandString.equals("TMFE")) { // Podmínka pro reakci na při přijetí příkazu z PC (Nastavení hladiny 80 °C)
    border = 5;
  }
  else if (commandString.equals("TMFS")) { // Podmínka pro reakci na při přijetí příkazu z PC (Reakce pro vypnutí regulace teploty)
    analogWrite(powerPin, 0);
    border = 0;
  }
  inputString = "";
}

```

Obrázek 7.12 – Část programu pro přijímání komunikace z PC

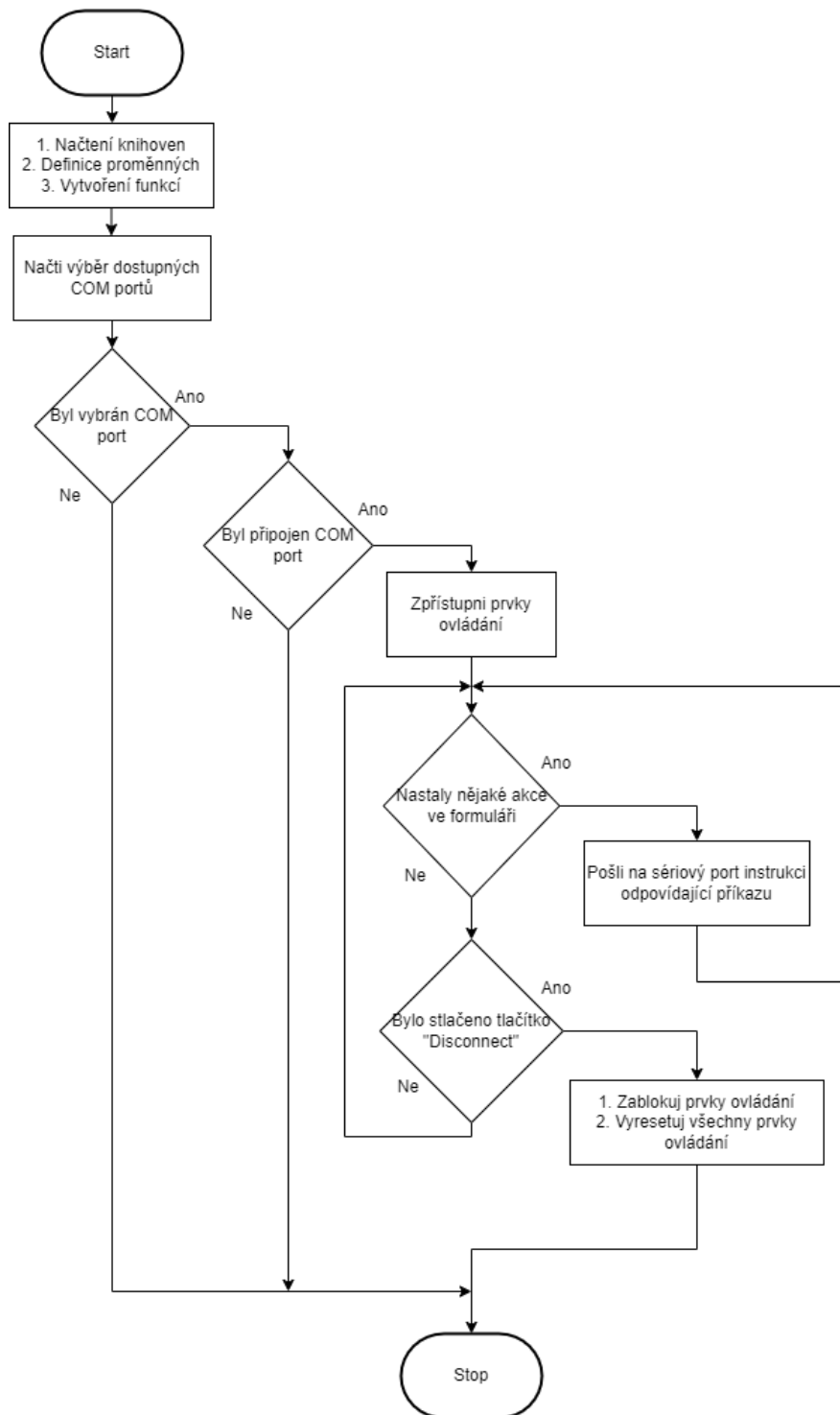
7.3 APLIKACE PRO OSOBNÍ POČÍTAČ

Ovládání teplotní komory na osobním počítači je realizováno ve vývojovém prostředí Visual Studio. Ve výsledku je velmi podobné ovládání přímo na panelu komory. Po zapnutí uživatel uvidí grafické okno, ve kterém si nejdříve musí vybrat port, na které je teplotní komora připojena. Dokud není tato akce provedena, tak není zpřístupněna žádná z možností regulace. Poté co si zvolí port a úspěšně se připojí na mikropočítač, tak se odemknou možnosti výběru teplot v komoře. Jakmile jednu zvolí, tak se ostatní zamknou. Poté, co uživatel chce jinou teplotu, tak klikne znovu na ikonu u výběru teploty a zvolí si jinou. Pro odpojení z Visual je potřeba kliknout na tlačítko „Disconnect“. Poté se na displeji zobrazí instrukce pro přepnutí módu. Jelikož není vidět na displeji teplota, tak indikace nahřátí ukazuje LED dioda, která při dosažení požadované teploty začne svítit zeleně. Jinak je rozsvícena červeně. Zelená barva přetrvává, pokud je dosažená teplota v rozmezí ± 1 °C. Na obrázku 7.13 je vidět okno formuláře po zapnutí.



Obrázek 7.13 – Grafické okno ovládacího panelu na PC

7.3.1 Vývojové diagramy



Obrázek 7.14 – Vývojový diagram programu pro PC

7.3.2 Program pro osobní počítač

Komunikaci s Arduinem zastává vytvořený protokol, který posílá po sériové lince příkazy v textovém formátu a po přijetí je Arduino zpracuje a vyvolá předpřipravenou akci. Pokaždé, kdy nastane akce ve formuláři, tak se nejdříve kontroluje, jestli je Arduino připojené. Pokud není, žádná akce se nestane a Visual Studio zahlásí chybu. Při startovním příkazu se nastaví rychlost sériového přenosu na příslušném portu, který vybere uživatel. Na obrázku 7.15 je vidět hledání portů pro připojení. Tyto porty jsou posléze uvedeny v menu ve formuláři.

```
25
26
27     foreach (string port in ports)
28     {
29         comboBox1.Items.Add(port);
30         Console.WriteLine(port);
31         if (ports[0] != null)
32         {
33             comboBox1.SelectedItem = ports[0];
34         }
35     }
36
37     Počet odkazů: 1
38     private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
39     {
40         if (!isConnected)
41         {
42             connectToArduino();
43         }
44         else
45         {
46             disconnectFromArduino();
47         }
48     }
49
50     Počet odkazů: 1
51     void getAvailableComPorts()
52     {
53         ports = SerialPort.GetPortNames();
54     }
55
56
```

Obrázek 7.15 – Část kódu s vyhledáváním portů pro uživatele

Na obrázku 7.16 je vidět funkci pro připojení k Arduinu a ukázka nastavení ikony výběru teplot. V případě této hodnoty teploty se používá příkaz „TMPA“. Po zaslání tohoto příkazu Arduino reaguje nastavením regulace pro tuto hodnotu. Ostatní prvky regulace jsou znepřístupněny a čekají, dokud nebude tato možnost vypnuta. Poté jakmile dojde k vypnutí, tak se prvky opět aktivují.

```
54     private void connectToArduino()
55     {
56         isConnected = true;
57         string selectedPort = comboBox1.GetItemText(comboBox1.SelectedItem);
58         port = new SerialPort(selectedPort, 9600, Parity.None, 8, StopBits.One);
59         port.Open();
60         port.Write("#STAR\n");
61         button1.Text = "Disconnect";
62         enableControls();
63     }
64
65     private void checkBox1_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
66     {
67         if (isConnected)
68         {
69             switch (checkBox1.CheckState)
70             {
71                 case CheckState.Checked:
72                     port.Write("#TMPA\n");
73                     checkBox2.Enabled = false;
74                     checkBox3.Enabled = false;
75                     checkBox4.Enabled = false;
76                     checkBox5.Enabled = false;
77                     break;
78                 case CheckState.Unchecked:
79                     port.Write("#TMPS\n");
80                     checkBox2.Enabled = true;
81                     checkBox3.Enabled = true;
82                     checkBox4.Enabled = true;
83                     checkBox5.Enabled = true;
84                     break;
85             }
86         }
87     }
88
89 }
```

Obrázek 7.16 – Ukázka kódu pro připojení k Arduino a ovládacího prvku pro regulaci

ZÁVĚR

Teplotní komora je schopna udržovat rozdílné teploty, které jsou nastaveny uživatelem. Také disponuje dvojím druhem ovládání. Jedna možnost je přes ovládací prvky, které jsou vidět na boční straně řídicí komory. Druhý režim ovládání funguje přes osobní počítač. Přes ovládací prvky lze nastavit teplotu do 70 °C. Po připojení osobního počítače se nastavuje teplota po daných mezích, které jsou 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C a 70 °C. Komoru lze použít pro zahřátí součástek, které mají malé rozměry a není možnost či potřeba použít velké testovací komory. Lze ji použít v prostředí laboratoří. Například pokud je potřeba znát chování součástky za určité teploty.

Komoru by šlo rozšířit o výkonnější topné těleso nebo chladicí prvek, který by ochlazoval vzduch v komoře a mohlo by se dosáhnout nižších teplot. Pro podrobnější nastavení teploty by šlo změnit regulátor z dvoustavového regulátoru na PID regulátor a přidat zařízení s ukládací funkcí pro ukládání průběhu teploty v komoře.

Tab. 8.1 – Technické parametry zařízení

Napájení	12 V ze sítě přes adaptér + USB
Rozsah nastavení teplot přes ovládací prvky	do 70 °C
Rozsah nastavení teplot přes PC	30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C
Rozměry teplotní komory	110 × 110 × 115 mm
Rozměry řídicí komory	150 × 150 × 150 mm

POUŽITÁ LITERATURA

- 16x2 LCD displej 1602 modrý + I2C převodník | Laskakit | *LaskaKit.cz / by Makers for Makers* [online]. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/16x2-lcd-displej-1602-i2c-prevodnik/#ratingTab>
- 7972: Využití Peltierova jevu | *COPTel – výukový portál SŠ-COPT Kroměříž* [online]. Střední škola – Centrum odborné přípravy technické Kroměříž [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://coptel.cz/mod/page/view.php?id=6671>
- Analog vs. Digital Signals fundamentals, 2020 | *Solectroshop – Your expert in Electronics and robotics* [online]. Solectroshop [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://solectroshop.com/en/blog/analog-vs-digital-signals-fundamentals-n22>
- Arduino rotační enkodér | dratek.cz | *dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM* [online]. ECLIPSERA s.r.o. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/837-rotacni-encoder.html>
- BURRIS, M. 2020. Power Resistors: Electronic Parts and Functions | *Lifewire: Tech news, Reviews, Help & How-Tos* [online]. Dotdash Meredith [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/power-resistors-818837>
- Co jsou odporové topné kabely | V-systém elektro, s.r.o. [online] | *V-SYSTÉM ELEKTRO* [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.v-system.cz/blog/co-jsou-odporove-topne-kabely/>
- CVEJN, J. 2021. Automatizace 1. [online]. [cit. 2022-08-08]. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/StagPortletsJSR168/StudijniMaterialyServlet?id=593182>
- Čidla sondy snímače | *Dixell.cz Elektronické měřicí a regulační přístroje Dixell* [online]. Logitron s.r.o. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.dixell.cz/cidla-sondy-snimace/>
- Drátový rezistor THT v keramice RD 0R27 5W 5% | *GM electronic / elektronické součástky, komponenty. / GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. GM electronic, spol. s.r.o. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/rd-0r27-5w-5>
- Elektrické teplo | *SPŠE Mohelnice* [online]. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <http://old.spsemoh.cz/vyuka/elz/elz1.htm>
- eses | eses klon Arduino UNO R3 CH340 | *dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM* [online]. dratek.cz [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/761/eses1459967190.pdf>
- eses | eses MOSFET modul pro jednodeskové počítače | *dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM* [online]. dratek.cz [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/746/eses1449937609.pdf>
- Keramické polovodičové topné těleso PTC7762-100:: L&I s.r.o. | *L&I s.r.o.* [online]. L&I s.r.o. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.l-i.cz/products/keramicke-polovodicove-topne-teleso-ptc/>
- Keyes KY-016 RGB LED Modul | Laskakit | *LaskaKit.cz / by Makers for Makers* [online]. [cit. 2022-08-25]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/keyes--ky-016-rgb-led-modul/>
- KLAUZ, M. 2013. DesignSpark Mechanical: program pro návrh ve 3D zdarma [online]. *Aktuálně na DPS* [cit. 2022-15-08]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/cad-cam-cae/id:4592/designspark-mechanical-program-pro-navrh-ve-3d-zdarma>

- LIBRA, J. nedatováno. *Elektrická zařízení 6. Elektrické teplo a chlazení* [online]. Střední škola technická Žďár nad Sázavou [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4652963-2-elektricke-teplo-34-2-1-teoreticke-zaklady-sireni-tepla-34-2-2-zdroje-tepla-v-elektrotechnice-elektricky-ohrev-34-2-3.html>
- Luboš M., nedatováno | *Návody Drátek* [online]. *Webový magazín o ARDUINU. Návody Drátek* [cit. 2022-08-15]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/teplotni-senzor-ds18b20.html>
- Luboš M., nedatováno | *Návody Drátek* [online]. *Webový magazín o ARDUINU. Návody Drátek* [cit. 2022-08-15]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/rotacni-ekoder-ky-040.html>
- Proč nedoporučujeme samoregulační topné kabely pro podlahové vytápění..? | *Kabelové topné systémy* | *DASIX spol. s.r.o.* [online] *DASIX spol. s.r.o.* [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/csharp/visual-studio/tutorial-visual-studio-uvod>
- Rezistor Royal Ohm PRW0AWJW121B00 | *SVĚTSoučástek.cz – Elektronické součástky levně, zítra u vás* [online]. *Radio plus, spol. s.r.o.* [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.svetsoucastek.cz/rezistor-royal-ohm-prw0awjw121b00-p52658/>
- Šíření tepla | *Ústav energetiky fakulty strojní 12115 – ČVUT v Praze* [online]. *Ústav energetiky – ČVUT* [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/2018/06/sireni_tepla.pdf
- Software Arduino | *Arduino* [online]. *Arduino* [cit. 2022-10-08]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/software>
- Teplotní senzor digitální DALLAS DS18B20 | *dratek.cz* | *dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM* [online]. *ECLIPSE s.r.o.* [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1187-teplotni-senzor-digitalni-dallas-ds18b20.html>
- TMP36 čidlo teploty 2,7 – 5 V | *dratek.cz* | *dratek.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM* [online]. *ECLIPSE s.r.o.* [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/1762-tmp36-cidlo-teploty-2-7-5v.html?gclid=CjwKCAjwrNmWBhA4EiwAHbjEQBcQvmK3ioCSePqyuLVag1gKOJeocf95ilgJogKFbpbqd8GlzFnU0hoCtZAQAvD_BwE
- Topné těleso RC016 8-13 W 01602.0-03 – *OEM Automatic, spol. s.r.o.* | *OEM Automatic – specialista pro průmyslovou automatizaci – OEM Automatic, spol. s.r.o.* [online]. *OEM Automatic, spol. s.r.o.* [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: https://www.oemautomatic.cz/produkty/elektricke-rozvadece/produkty-pro-rizeni-teploty-a-vlhkosti/topn%C3%AD-_653686/topn%C3%A9-t%C4%9Bleso-rc016-8-13-w-_97577
- Tranzistor po lopatě – výkonové tranzistory « *Robodoupě – web nejen o robotice* | *Robodoupě – web nejen o robotice* [online]. *Robodoupě – web nejen o robotice* [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2016/tranzistor-po-lopate-vykonove-tranzistory/>
- VOJÁČEK, A. 2014. Přehled principů el. měření teploty – 1. díl | *Automatizace.HW.cz / Elektronika v automatizaci* [online]. [cit. 2022-08-08] Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- VOJÁČEK, A. 2014. Přehled principů el. měření teploty – 2. díl – bezdotykové *Automatizace.HW.cz / Elektronika v automatizaci* [online]. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rehled-principu-el-mereni-teploty-2-dil-bezdotykove>

WOODFORD, C. 2022. How do heating elements work? | *Explain that Stuff* [online]. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/heating-elements.html>

ŽŮREK, Michal. Lekce 1 - Visual Studio – Úvod do vývojového prostředí | itnetwork.cz - Učíme národ IT [online]. [cit. 2022-08-10]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/csharp/visual-studio/tutorial-visual-studio-uvod>

PŘÍLOHY

Příloha A – CD

Příloha B – Uživatelská příručka k programu

Příloha k bakalářské práci

Teplotní testovací komora

David Hybeš

CD

OBSAH

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF
- 2 Úplný zdrojový kód aplikace pro mikropočítač
- 3 Úplný zdrojový kód pro osobní počítač
- 4 3D model konstrukce
- 5 Schéma a návrh zapojení desky plošného spoje

Příloha k bakalářské práci

Teplotní testovací komora

David Hybeš

UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA PROGRAMU

Ovládání přes PC a obsluha

OBSAH

	Seznam ilustrací	2
	Úvod.....	3
1	Požadavky na HW	4
2	Požadavky na SW	5
3	Ovládání teplotní komory	6
4	Ovládání přes osobní počítač	7
	Závěr	10

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1.1 – Pohled na komoru ze strany ovládacích prvků.....	4
Obrázek 3.1 – Nastavená teplota a indikace o připravenosti vložení součástky do komory	6
Obrázek 4.1 – Hláška o připojení do ovládaní přes PC	7
Obrázek 4.3 – Hláška po odpojení od osobního počítače.....	8
Obrázek 4.2 – Okno programu před připojením Arduina a zablokované ovládací prvky	8

ÚVOD

Pro funkci zařízení není potřeba žádné přípravy navíc. Stačí ho pouze zapojit přes adaptér do sítě, popřípadě připojit přes USB pro ovládání přes osobní počítač.

1 POŽADAVKY NA HW

Pro úplnou funkci komory není zapotřebí připojovat žádné další zařízení. Jediné, co je potřeba, je zdroj napětí a pro ovládání přes osobní počítač je potřeba připojení USB do PC a samotný osobní počítač. Všechny hodnoty o teplotě v komoře jsou zobrazovány na LCD displeji. V případě osobního počítače jsou hranice teploty uvedeny v ovládacím programu.



Obrázek 1.1 – Pohled na komoru ze strany ovládacích prvků

2 POŽADAVKY NA SW

Samotná komora funguje s nahraným programem na Arduinu bez další potřeby přídavného softwaru. Pro alternativní ovládání je potřeba mít k dispozici osobní počítač s operačním systémem Windows. Program s ovládáním se otevírá jako připravený spustitelný soubor, který stačí jenom spustit. Pokud je Arduino připojené přes USB, tak po spuštění programu s ovládáním je vše připravené.

3 OVLADÁNÍ TEPLOTNÍ KOMORY

První režim ovládání je přes kontrolní prvky na řídicí části komory. Nastavování teploty probíhá pomocí enkodéru. Zobrazování hodnot probíhá na LCD displeji a indikace pro dosažení teploty zastává LED dioda.

Když je komora poprvé zapnutá, tak je potřeba stisknout tlačítko na enkodéru, pokud chceme přejít do módu kontroly pomocí ovládacích prvků nebo připojit přes osobní počítač pro ovládání přes program.



Obrázek 3.1 – Nastavená teplota a indikace o připravenosti vložení součástky do komory

Po stisknutí tlačítka se na prvním řádku displeje objeví požadovaná teplota, která je nastavována uživatelem a na druhém řádku je ukazována reálná teplota v teplotní komoře. Jakmile je nastavena požadovaná teplota, tak začne pracovat regulátor a zapíná nebo vypíná topné těleso podle potřeby. Když se reálná teplota dostane do rozmezí ± 1 °C od požadované teploty, tak se rozsvítí zeleně indikační dioda, aby upozornila, že se komora dostala do stavu pro vložení součástky. Pokud je hranice mimo tuto mez, tak dioda svítí červeně, aby uživatel poznal, že nemá vkládat součástku do komory.

4 OVLÁDÁNÍ PŘES OSOBNÍ POČÍTAČ

Když je spuštěn program pro ovládání přes PC, tak se otevře okno pro ovládání komory. Na LCD displeji se ukáže hláška „Connected to VS“.

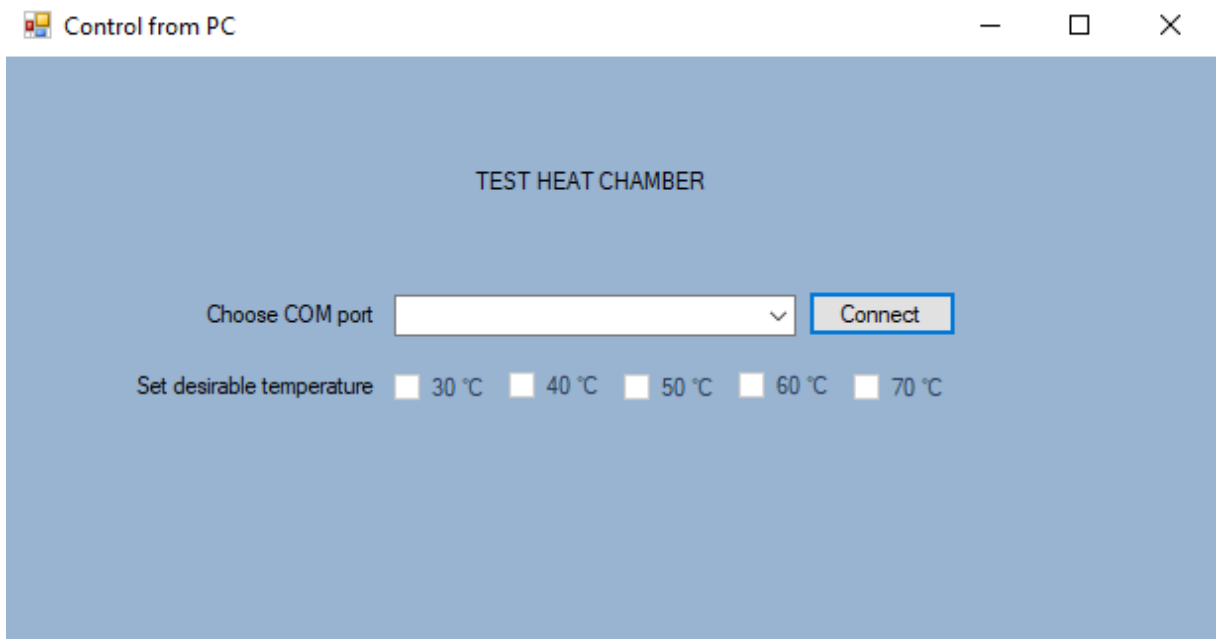


Obrázek 4.1 – Hláška o připojení do ovládání přes PC

Prvně je potřeba zvolit správný COM port, na kterém je připojené Arduino. Pokud Arduino není připojeno, tak jsou ovládací prvky zablokovány a nelze s nimi pracovat. V rozevíracím menu je vidět výčet COM portů a port, na kterém je Arduino připojeno, lze zjistit ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Pokud není k dispozici prostředí Arduino IDE, lze použít správce zařízení, kde je viditelné, na jakém portu je Arduino připojeno. Pro připojení na Arduino se musí stisknout tlačítko „Connect“, které po připojení změní svůj popisek na „Disconnect“.

Po zvolení portu se aktivují prvky ovládání a lze nastavit vybrané teploty. Nevýhoda tohoto stylu ovládání spočívá v chybějící informaci o teplotě v komoře. Kvůli nemožnosti zjistit přesnou teplotu je na řídicí části komory indikační dioda, která funguje stejně, jako v módu ovládání přes ovládací prvky na komoře. Až bude v komoře požadovaná teplota, tak se dioda rozsvítí zeleně a uživatel pozná, že má vložit součástku do komory. Poté, co je teplota vybrána,

jsou ostatní možnosti teplot zablokované a uživatel musí odškrtnout možnost teploty, která je momentálně aktivní, aby bylo možné vybrat jinou možnost teploty.



Obrázek 4.2 – Okno programu před připojením Arduina a zablokované ovládací prvky



Obrázek 4.3 – Hláška po odpojení od osobního počítače

Pro ukončení regulace teploty stačí buď odškrtnout box s danou možností teploty nebo stisknout tlačítko „Disconnect“, které odpojí celé Arudino a zároveň vyresetuje a zablokuje ovládací prvky. Na displeji se následně ukáže hláška s tím, co má uživatel nadále dělat. Je

potřeba, aby bylo buď stisknuto tlačítko na enkodéru nebo znovu připojit program osobního počítače.

ZÁVĚR

Ovládání se podařilo vytvořit jednoduché a intuitivní. Jsou zde možnosti nastavení teplot v několika možnostech pro program osobního počítače a podrobnější možnosti při ovládání přes prvky na komoře.