

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**AUTOMATICKÁ REGULACE KONCENTRACE CO₂ A
HLÍDÁNÍ TEPLoty**

Matouš Volák

Bakalářská práce

2022

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Matouš Volák**
Osobní číslo: **I18096**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Zařízení pro sledování hladiny CO₂ a teploty**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je navrhnout a realizovat zařízení pro monitorování úrovně CO₂ v místnosti resp. v bytě o více místnostech. Zařízení bude zajišťovat automatizované větrání tak, aby byla udržována zadaná maximální hladina CO₂ a zároveň bude kontrolovat pokojovou teplotu a hlídat, aby nedošlo k jejímu dlouhodobému poklesu pod zvolenou mez.

Teoretická část: Rešeře problematiky týkající se návrhu a realizace zařízení pro monitoring hladiny CO₂ v obytných místnostech a možností realizace automatizovaného větrání.

Implementační část: Realizace zařízení s využitím vybraného typu mikrokontroléru Arduino, který bude naprogramován ve zvoleném jazyce (např. pomocí jazyka C, C++ nebo Wiring).

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tisková/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

SELECKÝ, M. 2016. Arduino: uživatelská příručka. Přeložil HERODEK, M. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-4840-2.
MARGOLIS, M. 2012. Arduino Cookbook. 2nd ed. Sebastopol (USA): O'Reilly Media. ISBN 978-1-449-31387-6.
DUKISH, B. 2018. Coding the Arduino: Building Fun Programs, Games, and Electronic Projects. Berkeley: Apress. ISBN 978-1-4842-3509-6.
HUANG, B.; RUNBERG, D. 2017. The Arduino Invertors Guide: Learn Electronics by Making 10 Awesome Projects. San Francisco: No Starch Press. ISBN 978-1-593-27652-2.

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

Datum zadání bakalářské práce: **27. listopadu 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2021**

L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. ledna 2021

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

Jméno Příjmení

ANOTACE

Práce se zabývá vlivem koncentrace oxidu uhličitého na člověka, problematikou monitorování oxidu uhličitého a teploty, návrhem automatického větrání a automatické regulace. Automatické větrání je zajištěno automatickým regulovatelným otevíráním okna, přičemž monitorování, regulaci a práci s daty zajišťuje Arduino UNO, které je naprogramováno v jazyku C++.

KLÍČOVÁ SLOVA

automatické větrání, monitorování teploty, monitorování CO₂, automatická regulace

TITLE

AUTOMATIC CO₂ CONCENTRATION CONTROL AND TEMPERATURE MONITORING

ANNOTATION

The work deals with the influence of carbon dioxide concentration on humans, the issue of monitoring carbon dioxide and temperature, the design of automatic ventilation and automatic regulation. Automatic ventilation is ensured by automatic adjustable window opening, while monitoring, regulation and work with data is provided by Arduino UNO, which is programmed in C ++.

KEYWORDS

automatic ventilation, temperature monitoring, CO₂ monitoring, automatic regulation

OBSAH

Seznam zkratk a značek	9
Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí	10
Seznam ilustrací	11
Seznam tabulek	12
Úvod.....	13
1 Oxid uhličitý	14
1.1 Vlastnosti	14
1.2 Jednotky koncentrace oxidu uhličitého.....	14
1.3 Emise oxidu uhličitého.....	14
1.4 Oxid uhličitý v životním prostředí	15
1.4.1 Měření oxidu uhličitého v atmosféře	16
1.4.2 Dopad oxidu uhličitého na životní prostředí.....	17
1.4.3 Vybrané možnosti snížení oxidu uhličitého v ovzduší	17
1.5 Vliv oxidu uhličitého na člověka	17
1.6 Využití oxidu uhličitého.....	19
1.7 Legislativa.....	19
2 Měření oxidu uhličitého	23
2.1 Dělení.....	23
2.2 Měřicí trubice.....	24
2.3 Optický senzor	25
2.4 Elektrochemický senzor.....	26
2.5 Polovodičový senzor	27
2.6 Elektroakustický senzor	28
3 Měření teploty	29
3.1 Dělení.....	29
3.2 Dilatační snímač.....	31
3.3 Odporový kovový snímač	32
3.4 Polovodičový snímač	33
3.4.1 NTC (negastor)	34
3.4.2 PTC (pozistor).....	35
3.4.3 Monokrystalický snímač	35
3.4.4 PN přechod.....	36

3.5	Termoelektrický snímač.....	37
4	Výměna vzduchu v domácnosti.....	39
4.1	Přirozené větrání.....	39
4.2	Nucené větrání.....	40
4.2.1	Radiální ventilátor.....	40
4.2.2	Axiální ventilátory.....	41
4.2.3	Diagonální ventilátory.....	42
4.2.4	Diametrální ventilátory.....	43
5	Systemy větrání obytných budov.....	44
5.1	Podtlakové větrání.....	44
5.1.1	Centrální podtlakový systém.....	45
5.1.2	Lokální podtlakový systém.....	45
5.2	Rovnotlaké větrání.....	46
5.2.1	Centrální rovnotlaký systém.....	47
5.2.2	Lokální rovnotlaký systém.....	48
6	Automatická regulace.....	49
6.1	Otevřený obvod řízení.....	49
6.2	Zpětnovazební obvod řízení.....	50
6.3	Realizace regulačního obvodu.....	51
6.4	Elektronické regulační obvody.....	52
6.4.1	Analogový elektronický regulační obvod.....	52
6.4.2	Číslicový elektronický regulační obvod.....	53
6.5	Nespojité regulátory.....	54
6.6	Spojité regulátory.....	54
7	Řešení.....	56
7.1	Arduino UNO.....	56
7.1.1	Popis Arduina Una.....	57
7.1.2	Arduino IDE.....	58
7.2	Monitorování oxidu uhličitého.....	59
7.2.1	PWM (pulzně šířková modulace).....	60
7.2.2	UART.....	60
7.2.3	Komunikace s čidlem.....	61
7.3	Monitorování teploty.....	61
7.3.1	Komunikace se senzorem.....	62

7.4	Automatické větrání	62
7.4.1	Řízení lineárního pohonu	64
7.5	Regulace	65
7.6	Zobrazení	66
7.7	Blokové schéma	66
7.8	Popis kódu Arduina	69
7.9	Naměřené hodnoty	70
8	Závěr	72
	Literatura	73
	Přílohy	75

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

A/D	analogově digitální (převodník)
D/A	digitálně analogový (převodník)
GUI	uživatelské grafické rozhraní
LCD	display z tekutých krystalů
LED	svítivá dioda
NTC	negastor
PID	proporcionálně integračně derivační (regulátor)
ppm	parts per milion (jednotek v milionu)
PTC	pozistor
PWM	pulzně šířková modulace
SPI	sériově periferní rozhraní

SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

C	koncentrace plynu, ppm
d	vnější vlivy na regulační obvod
e	regulační odchylka regulačního obvodu
I_e	intenzita záření, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
K	koeficient absorpce, $\text{dm}^3\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$
l	délka, m
R	elektrický odpor, Ω
S	Seebeckova konstanta, $\text{V}\cdot\text{K}^{-1}$
T	teplota, $^{\circ}\text{C}$
u	akční veličina regulačního obvodu
U	elektrické napětí, V
V	objem, m^3
w	vstupní veličina regulačního obvodu
y	výstupní veličina regulačního obvodu

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Časový průběh koncentrace CO ₂ a O ₂ v atmosféře.....	16
Obr. 2.1 – Měřicí trubice koncentrace CO ₂	24
Obr. 2.2 – Princip funkce optického senzoru.....	26
Obr. 2.3 – Princip funkce elektrochemického senzoru.....	27
Obr. 2.4 – Princip funkce polovodičového senzoru.....	28
Obr. 3.1 – Charakteristika NTC snímače.....	34
Obr. 3.2 – Charakteristika PTC snímače	35
Obr. 3.3 – Charakteristika monokrystalického snímače	36
Obr. 3.4 – Charakteristiky PN přechodu.....	37
Obr. 3.5 – Popis termočlánku	38
Obr. 4.1 – Schéma radiálního ventilátoru	41
Obr. 4.2 – Schéma Axiálního ventilátoru	42
Obr. 4.3 – Schéma diagonálního ventilátoru	42
Obr. 4.4 – Schéma diametrálního ventilátoru	43
Obr. 5.1 – Schéma centrálního podtlakového větracího systému.....	45
Obr. 5.2 – Schéma lokálního podtlakového systému.....	46
Obr. 5.3 – Schéma centrálního rovnotlakého systému.	47
Obr. 5.4 – Schéma lokálního rovnotlakého systému.	48
Obr. 6.1 – Schéma otevřeného regulačního obvodu.....	50
Obr. 6.2 – Schéma uzavřeného regulačního obvodu.	51
Obr. 6.3 – Schéma zapojení analogového regulačního obvodu.....	53
Obr. 6.4 – Schéma zapojení číslicového regulačního obvodu.....	53
Obr. 6.5 – Charakteristiky dvupolohového a třípolohového regulátoru.	54
Obr. 7.1 – Arduino Uno	58
Obr. 7.2 – Schéma zapojení ds18b20 senzoru	62
Obr. 7.3 – Schéma zapojení relé modulu.....	65
Obr. 7.4 – Blokové schéma zařízení	67
Obr. 7.5 – Fotografie celého zařízení	68
Obr. 7.6 – Vývojový diagram zdrojového kódu	69
Obr. 7.7 – Naměřená charakteristika CO ₂	70
Obr. 7.8 – Naměřená charakteristika CO ₂	71

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Důsledky koncentrace CO ₂ na zdraví člověka.....	18
Tab. 1.2 – Rozdělení činností do tříd.....	20
Tab. 1.3 – Nutné množství přiváděného vzduchu	22
Tab. 3.1 – Dělení snímačů teploty	29
Tab. 3.2 – Fyzikální vlastnosti kovů.....	33

ÚVOD

V dnešní době člověk tráví poměrně velkou část svého času v uzavřených prostorech. Může to být kvůli práci z domu, trávení volného času u počítače, ve škole nebo v kanceláři. Může se stát, že koncentrace oxidu uhličitého stoupne na hodnotu, která již může mít negativní vliv na zdraví člověka, popř. nežádoucí účinky.

Je dokázáno, že dlouhodobý pobyt v prostorech s vysokou koncentrací oxidu uhličitého má negativní vliv na člověka. Může docházet k zhoršení koncentrace, bolesti hlavy a v krajních případech ke ztrátě vědomí.

Ačkoliv se koncentrace oxidu uhličitého např. v naší místnosti rozhodně nedostane na hodnotu, která by způsobila ztrátu vědomí, může se dostat na hodnotu, která může způsobit zhoršení koncentrace, poměrně jednoduše. Tento problém je velice jednoduché odstranit, nicméně ne všichni si můžou být vědomi této skutečnosti.

Tato práce má za cíl vyřešit problematiku monitorování oxidu uhličitého v místnosti, vyřešit problematiku automatického větrání a hlídání teploty, která by neměla klesnout dlouhodobě pod nastavenou hodnotu.

1 OXID UHLIČITÝ

Oxid uhličitý je v přírodě běžně se vyskytující plyn, jehož obsah tvoří 0,04 % obsahu zemské atmosféry. Oxid uhličitý se prokazatelně vlivem člověka neustále zvyšuje, což může mít negativní vliv na zdravotní prostředí. Při pobytu ve větší koncentraci oxidu uhličitého může dojít k negativním vlivům na člověka, v extrémních případech i ke ztrátě vědomí.

1.1 VLASTNOSTI

Oxid uhličitý je tvořen jedním atomem uhlíku a dvěma atomy kyslíku. Je bez zápachu, nemá chuť ani barvu. Má přibližně 1,5× větší hustotu než vzduch, a proto se ve větších koncentracích hromadí při zemi. Dosahuje pevného skupenství při teplotě $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$, tzv. suchý led (Kleger, 2010).

1.2 JEDNOTKY KONCENTRACE OXIDU UHLIČITÉHO

Jednou z možností, jak vyjádřit koncentraci oxidu uhličitého je jednotka ppm (parts per milion). Ta určuje, kolik molekul oxidu uhličitého se nachází v jednom milionu molekul vzduchu. Dalším způsobem, jak vyjádřit koncentraci oxidu uhličitého, je procentuálně. Můžeme se také setkat s vyjádřením koncentrace oxidu uhličitého jako $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, neboli jako hmotnost oxidu uhličitého na jeden litr vzduchu (Bárta, 2018).

1.3 EMISE OXIDU UHLIČITÉHO

Jak již bylo řečeno, oxid uhličitý se běžně nachází v atmosféře, přičemž jeho množství se neustále zvyšuje. Člověk produkuje oxid uhličitý vydechováním, stejně tak jako jakýkoliv jiný organismus, přičemž koncentrace oxidu uhličitého ve vydechovaném vzduchu člověka je zhruba 4,5 %. Vulkanická aktivita a požáry jsou dalšími přírodními zdroji oxidu uhličitého (Víden 2005).

Člověk ovšem produkuje oxid uhličitý nejen dýcháním, ale i spalováním uhlíkatých fosilních paliv: zemní plyn, ropné produkty, uhlí, koks. Dále taky spalováním paliv biologického původu: biomasy, dřeva, bionafty a bioplynu. Následující průmysl je tak zdrojem emisí oxidu uhličitého:

- Hutnictví a kovoprůmysl,
- cementárny,
- sklárny,
- výroba keramiky,
- tavení nerostných materiálů,
- rafinerie olejů a plynu.

Jelikož se používá v různých odvětvích:

- Potravinářský průmysl,
- náplň hasicího přístroje,
- chemický průmysl,
- zemědělský průmysl,
- farmaceutický průmysl.

může dojít k úniku do životního prostředí (Víden 2005).

1.4 OXID UHLIČITÝ V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

Jak již bylo řečeno, oxid uhličitý se běžně nachází v zemské atmosféře, kde jeho obsah zemské atmosféry tvoří přibližně 0,04 %. Koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší ovšem není stálá, ale mění se v závislosti na:

- Ročním období,
- relativní vlhkosti vzduchu,
- místních podmínkách,
- výšce nad povrchem.

Hodnota koncentrace oxidu uhličitého, co se týče ročního období, je okolo května největší a okolo října naopak nejmenší, jelikož má na koncentraci oxidu uhličitého vliv vegetační sezóna. Ve větších městech může být koncentrace větší, kvůli automobilům znečišťujícím životní prostředí (Kleger, 2010).

Podle měření 31. května 2021 je hodnota koncentrace CO₂ 419 ppm. Z obr. 1.1 je vidět postupný nárůst oxidu uhličitého od roku 1960. Příčinnou je samozřejmě průmysl a únik oxidu uhličitého do životního prostředí. *Lidstvo ročně spálí asi 8 miliard tun uhlí, 5 miliard tun ropy*

a asi 3 miliardy tun zemního plynu. Nárůst koncentrací CO_2 v atmosféře odpovídá těmto množstvím (po započtení pohlcení části CO_2 v oceánech) (Faktaoklimatu, 2022).

1.4.1 Měření oxidu uhličitého v atmosféře

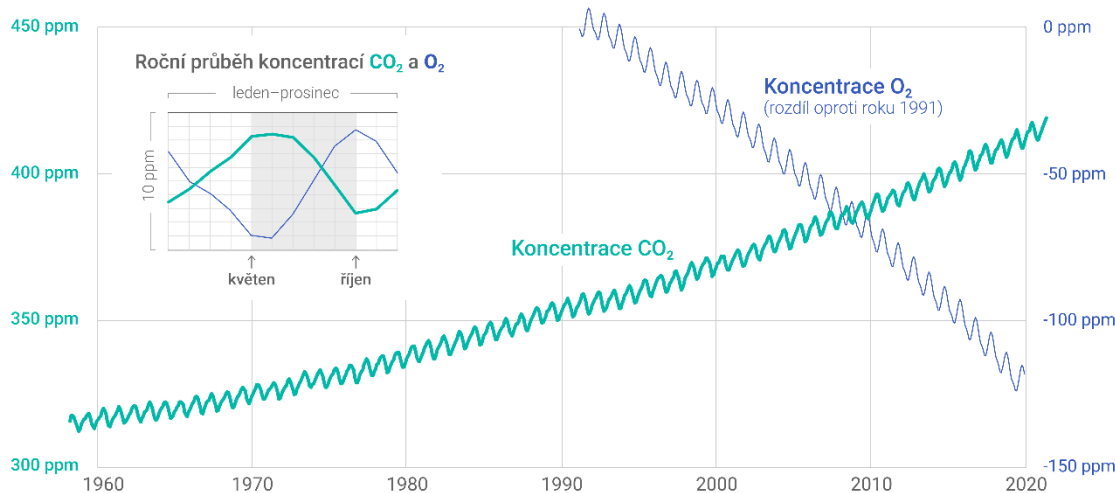
CYKLY KONCENTRACÍ CO_2 A O_2 V ATMOSFÉŘE

Časový průběh koncentrací CO_2 a kyslíku ukazuje roční cykly dýchání a fotosyntézy i dlouhodobé důsledky spalování fosilních paliv.

Vzduch obsahuje 78,1 % dusíku, 20,9 % kyslíku, 0,9 % argonu a přibližně 0,04 % CO_2 .

U koncentrací kyslíku graf zobrazuje pouze jejich pokles, který je od roku 1991 okolo 140 ppm, tedy asi 0,014 %.

ppm (parts per milion) je jednotka koncentrace. Koncentrace 400 ppm CO_2 v atmosféře znamená, že v jednom milionu molekul vzduchu je 400 molekul CO_2 , což odpovídá koncentraci 0,04 % CO_2 v atmosféře.



VERZE 2021.05.31 LICENCE CC BY 4.0

více info na faktaoklimatu.cz/cykly-koncentrace-co2

zdroj dat: NOAA – Národní úřad pro oceán a atmosféru Ministerstva obchodu Spojených států amerických

Obr. 1.1 – Časový průběh koncentrace CO_2 a O_2 v atmosféře, online, (Faktaoklimatu, 2022)

Přesné měření oxidu uhličitého v atmosféře zahájil Charles Keeling od roku 1952 v San Francisku. V důsledku jeho okolí, tvořené jednak lesy, ale i továrnami, se jeho výsledky chaoticky měnily. Přesunul měření na Mauna Loa na Havaji, kde je měření prováděno dodnes. Hodnoty koncentrace oxidu uhličitého jsou měřeny s přesností na 0,1 ppm (0,00001 %). Koncentrace oxidu uhličitého je měřena na principu pohlcení infračerveného světla oxidem uhličitým. Společně s měřením koncentrace oxidu uhličitého jsou zkoumány i izotopové stopy vzorku. Díky tomu jsme schopni dokázat, že zvyšování koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře je způsobeno průmyslem (Faktaoklimatu, 2022).

1.4.2 Dopad oxidu uhličitého na životní prostředí

Oxid uhličitý je jedním ze skleníkových plynů, což znamená, že přispívá k tzv. skleníkovému efektu, díky tomu, že pohlcuje infračervené záření. Zvyšování oxidu uhličitého vede k oteplování zemského povrchu, k tzv. globálnímu oteplování a vede také ke neočekávatelným změnám klimatu (Kleger 2010).

1.4.3 Vybrané možnosti snížení oxidu uhličitého v ovzduší

Zvyšování koncentrace oxidu uhličitého v zemské atmosféře může, a má nežádoucí vliv na planetu Zemi. V přírodě se o spotřebu oxidu uhličitého starají rostliny, které nejen produkuje oxid uhličitý, ale díky fotosyntéze jsou schopny oxid uhličitý spotřebovat. Oxid uhličitý je také ve velkém množství rozpuštěn v mořích a oceánech, které tak přispívají k regulaci oxidu uhličitého v ovzduší. Zanedbáme-li emise oxidu uhličitého průmyslem, došlo by k rovnováze (Kleger 2010).

Je v podstatě nemyslitelné přestat kompletně spalovat fosilní paliva, nebo paliva biologického původu. Ovšem i instalace filtrů na tovární komíny by nebyla dostatečná, jelikož přibližně 60 % oxidu uhličitého pochází z dopravních prostředků (Schwarzmann, 2015).

Jímání oxidu uhličitého vypadá jako moderní řešení. Air Contactor je zařízení, běžící na univerzitě v Calgary. Jde o prototyp, který dokáže odstranit až 80 % oxidu uhličitého ze vzduchu, procházejícího tímto zařízením. Toto množství se rovná přibližně množství, které vyprodukuje 14 aut denně. Zařízení se neustále zdokonaluje, přičemž škálovatelnost je důležitým faktorem v tomto ohledu (Schwarzmann, 2015).

1.5 VLIV OXIDU UHLIČITÉHO NA ČLOVĚKA

Ve venkovních prostorách se koncentrace oxidu uhličitého pohybuje okolo 420 ppm, což odpovídá 0,04 % obsahu zemské atmosféry. Ačkoli tato koncentrace není pro člověka nijak škodlivá, pokud se nacházíme v uzavřených prostorách, koncentrace je mnohem větší.

V dobře vyvětrané místnosti je většinou koncentrace oxidu uhličitého okolo 800 ppm, což je 2× větší než ve vnějších prostorách. V uzavřeném prostoru se pak můžeme jednoduše dostat až na 1200-1500 ppm. Vnímání koncentrace oxidu uhličitého v místnosti je poměrně subjektivní. Znamená to, že člověk nacházející se v místnosti, kde se postupně zvyšuje

koncentrace oxidu uhličitého, nemusí nutně zaznamenat nárůst koncentrace, popř. mu nepřipadá vzduch tak vydýchaný, oproti někomu, kdo by zrovna přišel do dané místnosti, přičemž může záviset také na vlhkosti vzduchu (Murtinger, 2013).

V uzavřených prostorách je koncentrace oxidu uhličitého doporučena do 1000 ppm, kdy jde ještě o kvalitní vzduch, který nijak neovlivňuje člověka a jeho výkon. Hodnoty koncentrace oxidu uhličitého nad 1500 ppm již mohou být vnímány jako těžký vzduch a ovlivnit pohodlí člověka, a tak byla tato hodnota ustanovena jako limit. Hodnoty koncentrace oxidu uhličitého nad 2000 ppm již způsobují únavu, člověk ztrácí koncentraci a výkon. Při hodnotách koncentrace oxidu uhličitého nad 5000 ppm může dojít k zrychlenému tepu a nevolnosti. Záleží ovšem také na době strávené v uzavřených prostorách s vyšší koncentrací oxidu uhličitého a negativní účinky se nemusejí dostavit při krátkodobém pobytu a následujícím vyvětrání uzavřených prostor. V krajních mezích, může koncentrace oxidu uhličitého zapříčinit i dýchací potíže, popř. ztrátu vědomí. Důsledky koncentrace CO₂ jsou v tab. 1.1 (Vojáček, 2020).

Tab. 1.1 – Důsledky koncentrace CO₂ na zdraví člověka, (Vojáček, 2020)

cca 350 ppm	Koncentrace ve venkovním prostředí
do 1000 ppm	Úroveň bez nepříjemného pocitu
1200-1500 ppm	Doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1000-2000 ppm	Příznaky únavy a snižování koncentrace, pocit vydýchaného vzduchu
2000-5000 ppm	Nastávají bolesti hlavy
5000 ppm	Snížená koncentrace, únava, bolesti hlavy
více než 5000 ppm	Nevolnost a zvýšený tep
více než 15000 ppm	Dýchací potíže, závratě
více než 40000	Možná ztráta vědomí

1.6 VYUŽITÍ OXIDU UHLIČITÉHO

Oxid uhličitý ovšem najde použití v řadě procesů, díky jeho fyzikálním a chemickým vlastnostem. Jednou z aplikací, kde najde uplatnění, je vysokotlaká extrakce, nebo extrakce pomocí kapalného oxidu uhličitého. Díky tomuto využití se můžeme vyhnout destilaci a sušení, které je energeticky a časově náročné. Výhodou tohoto procesu je, že při použití v potravinářském průmyslu se zachovávají cenné látky, jako jsou např. vitamíny, látky, které jsou při vyšších teplotách nestabilní. Příkladem tohoto procesu je použití v pivovarech pro extrakci chmele. Dále pak extrakce kofeinu z čaje nebo kávy, nebo extrakce aromatických látek a éterických olejů z koření (Bušta, 2012).

Využívá se v potravinářském průmyslu, kde se využívá při výrobě sycených nápojů. Eliminuje tak negativně působící kyslík, který ovlivňuje trvanlivost nápoje. Při stáčení se také využívá jako tlačný plyn. Přesto, že je přirozeně obsažen v pivech a šumivých vínech, někteří výrobci jej přidávají. Je využit také při kypření těst, díky kvasnicím, vytvářející oxid uhličitý, nebo kypřícím přísadám (Bušta, 2012).

Jako stlačený plyn se používá pro nafukování člunů nebo vest. Slouží také jako hnací plyn pro vzduchové pušky, zbraně na paintball nebo do sprejů (Bušta, 2012).

Díky své nehořlavosti se využívá v hasicích přístrojích, ve formě tzv. suchého ledu. Díky své hustotě, která je větší jak vzduch, vytváří ochrannou atmosféru, která tak zabraňuje dalšímu přístupu kyslíku k ohni. Díky své nevodivosti je vhodný pro hašení i elektrických zařízení pod proudem. V průběhu hašení nedochází ke vzniku škodlivých látek (Bušta, 2012).

1.7 LEGISLATIVA

Co se týče emisí v ČR, zákon o ochraně ovzduší 201/2012 Sb. nenařizuje žádný emisní limit pro oxid uhličitý.

Evropská direktiva uvádějí pobyt v prostředí s průměrnou koncentrací 5000 ppm oxidu uhličitého po dobu 8 hodin jako stále bezpečný. V ČR stanovuje limit koncentrace oxidu uhličitého vyhláška č. 20/2012 Sb., kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Jedenáctý paragraf, odstavec 5 definuje oxid uhličitý jako ukazatel kvality vnitřního ovzduší, přičemž definuje maximální hodnotu koncentrace oxidu uhličitého 1500 ppm. Stanovuje nucené větrání obytných místností, při pobytu osob, minimálně 25 m³·h⁻¹ (Česko, 2012).

Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. o ochraně zdraví při práci nastavuje přípustný expoziční limit PEL na 5000 ppm. Průměrná hodnota koncentrace oxidu uhličitého během celé směny tak nesmí překročit hodnotu 5000 ppm. Limit NPK-P, maximální možná povolená hodnota koncentrace oxidu uhličitého je 45 000 ppm. Činnosti jsou rozděleny do tříd podle tab. 1.2, které pak určují množství přiváděného venkovního vzduchu na pracoviště na jednoho zaměstnance. Nařízení pak stanovuje minimální množství přiváděného venkovního vzduchu na pracoviště v závislosti na vykonávané činnosti. Nařízení stanovuje $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ přiváděného venkovního vzduchu na zaměstnance, který vykonává práci spadající do třídy I nebo IIa, bez přítomnosti prachů, chemických látek nebo jiných zdrojů znečištění. $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ přiváděného venkovního vzduchu na zaměstnance, který vykonává práci spadající do třídy I nebo IIa, s přítomností prachů, chemických látek nebo jiných zdrojů znečištění. $75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ přiváděného venkovního vzduchu na zaměstnance, který vykonává práci spadající do třídy IIb, IIIa nebo IIIb. $90 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ přiváděného venkovního vzduchu na zaměstnance, který vykonává práci spadající do třídy IVa, IVb nebo V (Česko, 2007).

Přičemž také stanovuje minimální objemový prostor na jednoho zaměstnance v závislosti na třídě vykonávané činnosti:

- 12 m^3 pro práci spadající do třídy I nebo IIa,
- 15 m^3 pro práci spadající do třídy IIb, IIIa nebo IIIb,
- 18 m^3 pro práci spadající do třídy IVa, IVb nebo V (Česko, 2007).

Tab. 1.2 – Rozdělení činností do tříd (Česko, 2007)

Třída práce	Druh práce
I	Práce vsedě s minimální celotělovou pohybovou aktivitou, kancelářské administrativní práce, kontrolní činnost v dozornách a velínech, psaní na stroji, práce PC, laboratorní práce, sestavování nebo třídění drobných lehkých předmětů.
IIa	Práce převážně vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního vozidla a některých drážních vozidel, přesouvání lehkých břemen nebo překonávání malých odporů, automatizované strojní opracovávání a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, pokladní.

Tab. 1.2 – Rozdělení činností do tříd (Česko, 2007) – pokračování

Třída práce	Druh práce
IIb	Práce převážně vsedě spojená s lehkou manuální prací rukou a paží, řízení osobního vozidla, a některých drážních vozidel, přesouvání lehkých břemen nebo překonávání malých odporů, automatizované strojní opracovávání a montáž malých lehkých dílců, kusová práce nástrojářů a mechaniků, pokladní.
IIIa	Práce ve stoje s trvalým zapojením obou horních končetin občas v předklonu nebo vkleče, chůze -údržba strojů, mechanici, obsluha koksové baterie, práce ve stavebnictví - ukládání panelů na stavbách pomocí mechanizace, skladníci s občasným přenášením břemen do 15 kg, řezníci na jatkách, zpracování masa, pekaři, malíři pokojů, operátoři poloautomatických strojů, montážní práce na montážních linkách v automobilovém průmyslu, výroba kabeláže pro automobily, obsluha válcovacích tratí v kovoprůmyslu, hutní údržba, průmyslové žehlení prádla, čištění oken, ruční úklid velkých ploch, strojní výroba v dřevozpracujícím průmyslu.
IIIb	Práce vstoje s trvalým zapojením obou horních končetin, trupu, chůze, práce ve stavebnictví při tradiční výstavbě, čištění menších odlitků sbíječkou a broušením, příprava forem na 15 až 50 kg odlitky, foukači skla při výrobě velkých kusů, obsluha gumárenských lisů, práce na lisu v kovárnách, chůze po zvlněném terénu bez zátěže, zahradnické práce a práce v zemědělství.
IVa	Práce spojená s rozsáhlou činností svalstva trupu, horních i dolních končetin – práce ve stavebnictví, práce s lopatou ve vzpřímené poloze, přenášení břemen o váze 25 kg, práce se sbíječkou, práce v lesnictví s jednomužnou motorovou pilou, svoz dřeva, práce v dole - chůze po rovině a v úklonu do 15°, práce ve slévárnách, čištění a broušení velkých odlitků, příprava forem pro velké odlitky, strojní kování menších kusů, plnění tlakových nádob plyny.
IVb	Práce spojené s rozsáhlou a intenzivní činností svalstva trupu, horních i dolních končetin – práce na pracovištích hlubinných dolů – ražba, těžba, doprava, práce v lomech, práce v zemědělství s vysokým podílem ruční práce, strojní kování větších kusů.

Tab. 1.2 – Rozdělení činností do tříd (Česko, 2007) – pokračování

Třída práce	Druh práce
V	Práce spojené s rozsáhlou a velmi intenzivní činností svalstva trupu, horních i dolních končetin – transport těžkých břemen např. pytlů s cementem, výkopové práce, práce sekerou při těžbě dřeva, chůze v úklonu 15 až 30°, ruční kování velkých kusů, práce na pracovištích hlubinných dolů s ruční ražbou v nízkých profilech důlních děl.

Vyhláška č. 410/2005 sb., vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých, nařizuje větrání v prostorách určených pro výchovu a vzdělávání, přičemž pokud to podmínky neumožňují, musí být větrání čerstvým vzduchem zajištěno vzduchotechnickým zařízením. Touto vyhláškou je také stanoveno množství přiváděného venkovního vzduchu v závislosti na prostorách, jak je vidět v tab. 1.3 (Česko, 2005).

Tab. 1.3 – Nutné množství přiváděného vzduchu (Česko, 2005)

Typ prostor	Množství vzduchu, m ³ ·h ⁻¹
Učebny	20-30 na 1 žáka
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka
Šatny	20 na 1 žáka
Umyvárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na 1 kabinku, 25 na 1 pisoár

2 MĚŘENÍ OXIDU UHLIČITÉHO

K měření koncentrace oxidu uhličitého lze využít přístroje přímo k tomu určené, běžně dostupné na trhu, přičemž mimo oxidu uhličitého monitorují také:

- Vlhkost,
- teplotu.

Tyto přístroje jsou velmi užitečné, ovšem s hodnotami koncentrace oxidu uhličitého nelze dále pracovat a jsou pouze zobrazeny na displeji. Další možností jsou pak senzory oxidu uhličitého, které nám poskytnou hodnotu koncentrace oxidu uhličitého, kterou můžeme dále zpracovávat.

2.1 DĚLENÍ

Přístroje pro měření koncentrace oxidu uhličitého, včetně senzorů samotných, lze rozdělit do několika skupin na základě principu měření koncentrace oxidu uhličitého na:

- Chemicko-mechanické přístroje,
- elektronické přístroje.

Chemicko-mechanické přístroje nepotřebují elektrickou energii k měření. Příkladem takového přístroje je měřicí trubice. V případě elektronických přístrojů elektrická energie zapotřebí je. Mezi tyto přístroje patří například senzory:

- Optické,
- elektrochemické,
- polovodičové,
- elektroakustické.

Dále lze tyto přístroje a senzory dělit podle možnosti měření na:

- Jednorázové měření,
- opakované měření.

Příkladem jednorázového měřicího přístroje je opět měřicí trubička, kterou lze pro měření použít pouze jednou ovšem kdekoliv bez potřeby elektrické energie. Pro opakované měření pak slouží jakýkoliv elektronický senzor, popřípadě elektronické zařízení pro měření koncentrace oxidu uhličitého.

Nakonec můžeme tato zařízení a čidla dělit podle umístění na:

- Přenosná,
- stacionární.

Přenosná zařízení zobrazují hodnotu koncentrace oxidu uhličitého na displeji, přičemž navzdory tomu, že stacionární zařízení jsou pevně připevněna na jedno místo, lze dále s hodnotou koncentrace oxidu uhličitého pracovat (Vojáček 2020).

2.2 MĚŘICÍ TRUBICE

Princip měření měřicí trubice spočívá v chemické reakci daného plynu, v tomto případě oxidu uhličitého, s detekční vrstvou trubičky, což zapříčiní zbarvení detekční vrstvy. Délka zbarvení detekční vrstvy pak odpovídá hodnotě koncentrace oxidu uhličitého ve vzduchu, který byl přiveden do trubičky. Vzduch lze přivádět do trubičky samovolně, nebo pomocí pumpy. Historicky byly měřicí trubice jediným způsobem, jak měřit koncentraci oxidu uhličitého v terénu, ovšem v dnešní době bývají nahrazeny elektronickými měřicími zařízeními. Ve srovnání s těmito zařízeními jsou trubičky stále levnější a nevyžadují žádnou kalibraci. Přesnost měření je udávána výrobcem od $\pm 5 \%$ až do $\pm 15 \%$, přičemž jsou dostupné s různými rozsahy měřitelné koncentrace oxidu uhličitého:

- 100-3000 ppm,
- 1000-15000 ppm,
- 5000-100000 ppm,
- 10000-200000 ppm.

(Vojáček, 2020; Vafek, 2016)

Na obr. 2.1 je vidět měřicí trubice.



Obr. 2.1 – Měřicí trubice koncentrace CO₂, online, (Vojáček, 2020)

2.3 OPTICKÝ SENZOR

Molekuly oxidu uhličitého absorbují infračervené světlo, čehož se využívá u optických senzorů. Světlo vlnové délky 7,2 μm , 15 μm nebo 4,25 μm je molekuly oxidu uhličitého absorbováno, přičemž ostatními plyny vzduchu pouze minimálně. Využívá se LED jako zdroj infračerveného světla, které se odráží od zrcátek a tím tak prodlužuje dráhu světla a umožňuje kompaktnější provedení snímače, který detekuje a převádí intenzitu infračerveného světla na elektrický signál (Vojáček, 2020; Vafek, 2016).

V komoře senzoru je vyzařováno infračervené světlo pomocí LED, které je pak odraženo od zrcadel a dopadá na dva snímače s optickými filtry. První snímač disponuje optickým filtrem, který propouští záření vlnové délky o hodnotě 4,25 μm , přičemž filtr druhého snímače propouští záření vlnové délky o hodnotě 4 μm , které je minimálně absorbováno plyny vzduchu a slouží tak jako referenční snímač. Tímto je eliminována jakákoliv porucha, způsobená kolísáním intenzity zdroje infračerveného záření, ale také poruchy způsobené prachem nebo aerosoly (Vojáček, 2020; Vafek, 2016).

Optické senzory jsou popsány vztahem

$$\frac{I_d}{I_0} = e^{KCl}, \quad (2.1)$$

kde I_d – intenzita záření v pásmu 4,3 μm , $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$,

I_0 – intenzita záření v referenčním pásmu, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$,

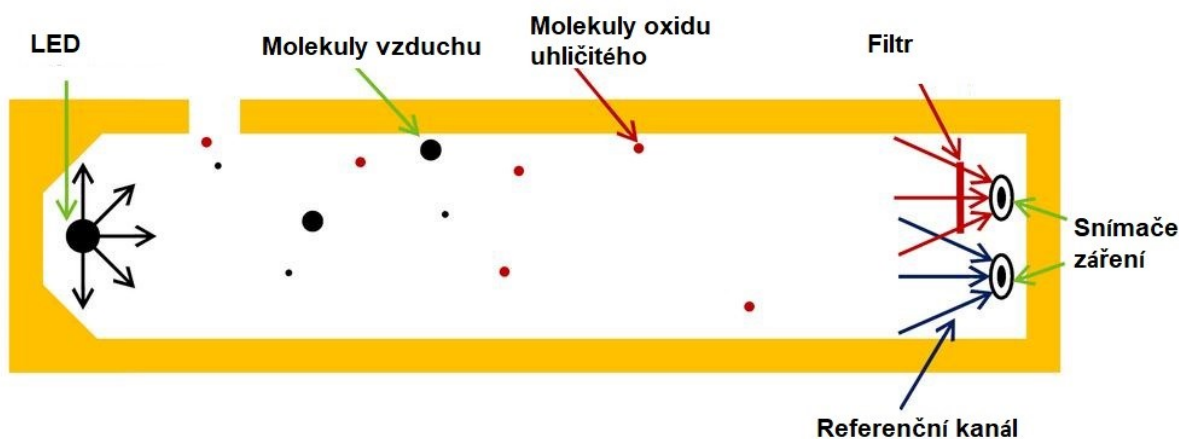
e – Eulerovo číslo,

K – koeficient absorpce pro CO_2 , $\text{dm}^3\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$,

C – koncentrace plynu, ppm,

l – délka vzdálenosti mezi zdrojem záření a senzory, m.

Při vyšších koncentracích oxidu uhličitého ovšem dochází k nepřesnosti měření, poněvadž vyšší koncentrace oxidu uhličitého dokáže absorbovat téměř veškeré infračervené záření. Tyto senzory tak dosahují nejlepších výsledků měření při koncentracích v mezích od přibližně 400 ppm do 5000 ppm, což bývá většinou maximální měřitelná koncentrace těchto senzorů, s chybou měření pod $\pm 5\%$. Ačkoliv jsou tyto senzory cenově náročnější, mají dlouhou životnost, stabilitu a dosahují nejlepších výsledků měření. Na obr. 2.2 je znázorněn princip funkce optického senzoru (Vojáček, 2020; Vafek, 2016).



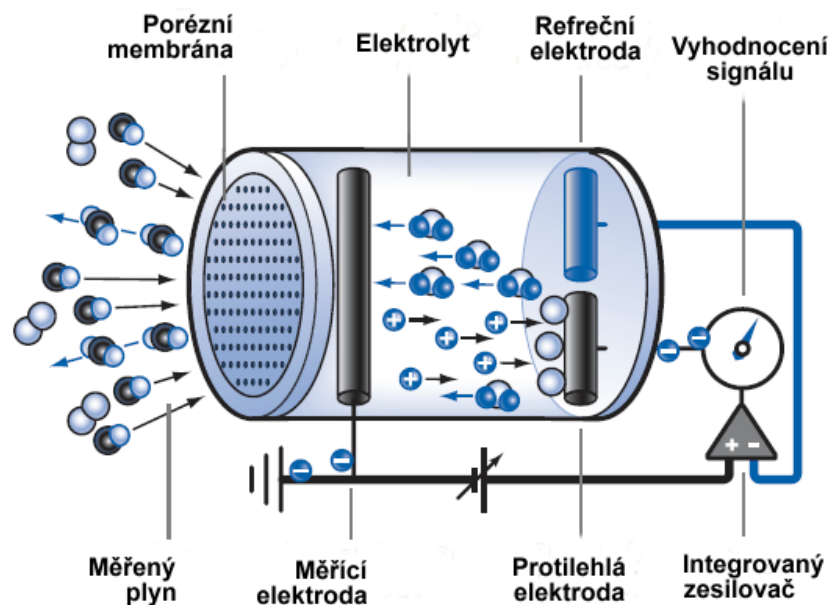
Obr. 2.2 – Princip funkce optického senzoru, online,

<https://www.soselectronic.cz/articles/sensirion/scd30-je-vice-nez-ndir-co2-senzor-2152>

2.4 ELEKTROCHEMICKÝ SENZOR

Elektrochemický senzor se skládá ze 2 až 3 elektrod a gelového elektrolytu. Elektrody jsou umístěny v elektrolytu a tento celek je oddělen difuzní bariérou od okolní atmosféry. Katody jsou spojeny elektricky vodivým elektrolytem a externím elektrickým obvodem. Molekuly oxidu uhličitého se dostávají do kontaktu s elektrodami a elektrolytem, důsledkem čehož dochází k elektrochemické reakci. Důsledkem této reakce dochází ke vzniku volných elektronů. Hodnotě koncentrace oxidu uhličitého pak odpovídá elektrický signál, generován elektrochemickou reakcí (Vojáček, 2020; Vafek, 2016).

Ačkoliv je možné s těmito senzory měřit velké rozsahy koncentrace oxidu uhličitého, nemají velkou životnost, přičemž pro udržení přesnosti měření je nutné je znovu kalibrovat. Senzory jsou schopny po kalibraci měřit s chybou měření $\pm 5\%$. Na obr. 2.3 je znázorněn princip funkce elektrochemického senzoru (Vojáček, 2020; Vafek, 2016).

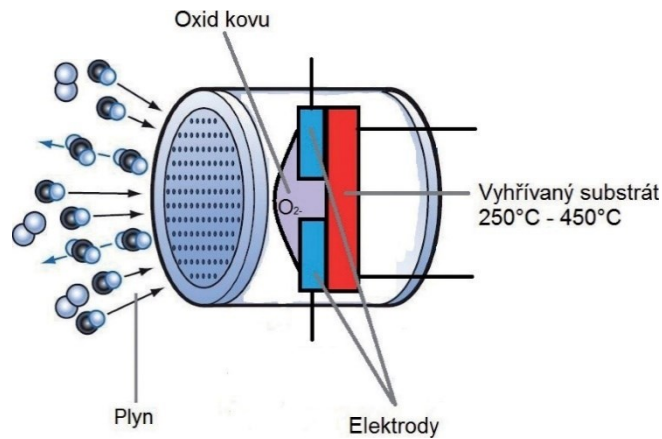


Obr. 2.3 – Princip funkce elektrochemického senzoru, online,
(Vojáček, 2020)

2.5 POLOVODIČOVÝ SENZOR

Princip tohoto senzoru je založen na změně vodivosti polovodiče na základě přítomnosti měřeného plynu. Skládá se z elektrod a oxidu kovu, nejčastěji používaný je oxid cínu a polovodiče. Snímací prvek, kterým je oxid kovu, je zahřát na teplotu v rozsahu od 200 °C do 400 °C. Je tomu tak proto, aby docházelo k vázání molekul plynu na snímací prvek. V případě polovodiče typu N snímací prvek je pokryt kyslíkem, přičemž vzniknou ionty, které vážou volné elektrony a dochází tak k snížení vodivosti, přičemž v případě polovodiče typu P by se vodivost naopak zvyšovala. Je-li přítomen oxidační nebo redukční plyn, dojde k chemické reakci, která zapříčiní vznik přebytečného náboje a zvýší vodivost polovodiče (Vojáček, 2020; Vafek, 2016).

Tyto senzory nejsou vyznačovány velkou přesností, ani selektivitou měřeného plynu. Nemají lineární funkci a jsou teplotně nestabilní. Jejich životnost ovšem dalece přesahuje ostatní typy senzorů. Jsou použity hlavně pro detekci nastaveného limitu koncentrace plynu v bezpečnostních aplikacích v průmyslu. Na obr. 2.4 je vidět princip funkce polovodičového senzoru (Vojáček, 2020; Vafek, 2016).



Obr. 2.4 – Princip funkce polovodičového senzoru, online, (Vafek, 2016).

2.6 ELEKTROAKUSTICKÝ SENZOR

Elektroakustické senzory využívají změny kmitočtu ultrazvuku v závislosti na koncentraci oxidu uhličitého. V mechanickém rezonátoru se vyhodnocuje změna kmitočtu ultrazvuku, která je závislá na koncentraci oxidu uhličitého. Hodnota koncentrace oxidu uhličitého je dále vyhodnocena pomocí elektroniky. Tyto senzory se vyznačují dlouhou stabilitou bez nutnosti kalibrace (Protronix).

3 MĚŘENÍ TEPLoty

Měření teploty se nachází v mnoha odvětvích a jde o druhou nejčastěji měřenou veličinu. Lze měřit několika způsoby, přičemž je možné v podstatě převést teplotu na jinou fyzikální veličinu na teplotě závislou a měřit danou veličinu, popřípadě využít danou veličinu k přímo zobrazování hodnoty teploty, nebo lze měřit čidly, kdy měříme proud nebo napětí závislé na teplotě.

3.1 DĚLENÍ

Dělení snímačů teploty lze vidět v tab. 3.1, kde jsou snímače rozděleny podle principu měření teploty.

Tab. 3.1 – Dělení snímačů teploty, online, https://automa.cz/cz/casopis-clanky/snimace-teploty-soucasny-stav-a-smery-vyvoje-2007_05_34041_2168/

Název skupiny snímačů teploty	Fyzikální princip	Provedení teploměru	Rozsah použití, °C
Dilatační snímače	Změna tlaku	Plynový	-5 až +500
	Změna tlaku parní náplně	Tenze par	-50 až +400
	Objemová roztažnost	Kapalinový	-200 až +750
	Délková roztažnost	Kovový	-50 až +900
Elektrické snímače	Termoelektrický jev	Termočlánek	-200 až +2800
	Změna elektrického odporu	Odporový kovový	-250 až +900
	Změna prahového napětí	Odporový polovodičový, diodové senzory	-200 až 300
Speciální snímače	Bod měknutí	Keramické žároměrky	+600 až +2000
	Bod tání	Teploměrná tělíska	+100 až +1300
	Změna barvy	Teploměrné barvy	+40 až +1350

Tab. 3.1 – Dělení snímačů teploty – pokračování

Název skupiny snímačů teploty	Fyzikální princip	Provedení teploměru	Rozsah použití, °C
Bezdotykové snímače	Zachycení veškerého tepelného záření	Širokopásmové pyrometry	-40 až +5000
	Zachycení úzkého svazku tepelného záření	Monokrystalické pyrometry	+100 až +3000
	Porovnání dvou svazků záření o různých vlnových délkách	Poměrové pyrometry	+700 až +2000
	Snímání tepelného obrazu tělesa	termovize	-30 až +1200

Dilatační snímače teploty nepoužívají ke svému měření elektrickou energii, nýbrž využívají např. roztažnosti plynu v závislosti na teplotě k tomu, aby při zvyšující se teplotě roztažnost plynu zvýšila tlak v trubičce, který pak hýbe s ručičkou indikující hodnotu teploty. Lze použít těkavé kapaliny, ovšem tento způsob se již nevyužívá v takové míře.

Elektrické snímače lze dále dělit na:

- Pasivní,
- aktivní.

Aktivní snímače generují napětí působením měřené veličiny příčinou různých jevů, zatímco pasivní snímače pouze mění své vlastnosti působením měřené veličiny, nijak ovšem negenerují elektrický signál a je tak nutné převést tyto vlastnosti na napětí, popř. proud. Příkladem takových snímačů jsou odporové snímače.

Speciální snímače se nevyužívají pro měření hodnoty teploty, ale využívají se pro indikaci za využití bodu měknutí, tání nebo změny barvy při dosažení určité teploty.

Bezdotykové snímače jsou schopny měřit jeden z největších rozsahů teplot, díky tomu že se nemusejí přímo dotýkat měřeného materiálu a nehrozí jim tak poškození způsobené vysokou, respektive nízkou teplotou.

3.2 DILATAČNÍ SNÍMAČ

Dilatační snímače využívají tepelné roztažnosti látek k měření, popř. přímo k zobrazování hodnoty teploty. Výhodou těchto snímačů je to, že nepotřebujeme k jejich funkci elektrickou energii. Tyto snímače lze dělit na:

- Kapalinové,
- plynové,
- kovové.

Kapalinové teploměry využívají tepelné roztažnosti kapalin. U těchto snímačů je zapotřebí, aby kapalina neměnila skupenství v rozsahu teplot, který chceme měřit. Kapalina se nachází v kapiláře, vedle které je stupnice hodnot teploty. Kapalina slouží jako ukazatel aktuální hodnoty teploty. Objem kapaliny v kapiláře se mění v závislosti na teplotě vlivem tepelné roztažnosti. Tyto teploměry jsou popsány rovnicí

$$\log p = A - \frac{B}{T} + C \log T, \quad (3.1)$$

kde A, B, C – konstanty charakteristické pro danou látku,

T – teplota, $^{\circ}\text{C}$,

p – tlak, Pa.

Plynové snímače využívají plynové roztažnosti, nebo rovnovážného stavu plyn-kapalina. Plyn nebo těkává kapalina se nachází v baňce, ze které vede trubička nebo kapilára. Na konci kapiláry je ručička, která ukazuje hodnotu teploty. Pokud dojde ke změně teploty, dojde ke změně objemu plynu vlivem tepelné roztažnosti a tím i ke změně tlaku v kapiláře, což způsobí pohyb ručičky na určitou hodnotu na stupnici. Tyto teploměry jsou popsány rovnicí

$$V = V_0(1 + \beta\Delta T), \quad (3.2)$$

Kde V_0 – objem při teplotě 0°C , m^3 ,

β – teplotní součinitel objemové roztažnosti, K^{-1} ,

ΔT – rozdíl teplot měřené teploty a 0°C , $^{\circ}\text{C}$,

V – objem při měřené teplotě, m^3 .

Jelikož je kovová roztažnost poměrně malá a špatně měřitelná, používá se bimetalový pásek. Ten se skládá ze dvou kovů, které jsou spolu spojeny. Různá tepelná roztažnost těchto

kovů způsobí ohnutí bimetalového pásku při změně teploty. Tento pohyb se dále převádí a používá pro měření teploty. Tyto teploměry jsou popsány rovnicí

$$l = l_0(1 + \alpha\Delta T), \quad (3.3)$$

kde l – délka při měřené teplotě, m,

l_0 – délka při teplotě 0 °C, m,

α – teplotní součinitel délkové roztažnosti, K⁻¹,

ΔT – rozdíl teplot měřené teploty a 0 °C, °C.

3.3 ODPOROVÝ KOVOVÝ SNÍMAČ

Odporové snímače jsou pasivní snímače, které využívají závislosti odporu vodiče na teplotě, kdy s rostoucí teplotou se zvyšuje odpor vodiče. Tato závislost je popsána rovnicí

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T), \quad (3.4)$$

kde R – odpor při měřené teplotě, Ω ,

R_0 – odpor při teplotě 0 °C, Ω ,

α – teplotní součinitel odporu, K⁻¹,

ΔT – rozdíl teplot měřené teploty a 0 °C, °C.

Tato rovnice ovšem platí pouze za určitých podmínek. Platí pouze na omezeném úseku celé závislosti daného kovu na teplotě, a zároveň pokud připustíme chybu.

Na kovy, které jsou používány pro odporové snímače, jsou kladeny požadavky:

- Velká citlivost,
- široká mez použití,
- chemická stabilita, stabilita v čase.

Je třeba, aby při změně teploty docházelo k co největší možné změně odporu, jelikož čím menší změna odporu, tím horší bude citlivost odporu, jelikož malé hodnoty odporu jsou velice těžko měřitelné.

Je také třeba, aby kov neměl nízkou teplotu tání a teplotní snímač tak bylo možno využít i pro měření vyšších teplot.

Chemická stabilita a stabilita v čase je důležitá z toho důvodu, aby daný kov neměnil své vlastnosti v čase.

V tab. 3.2 jsou nejčastěji používané materiály.

Tab. 3.2 – Fyzikální vlastnosti kovů

Materiál snímače	Teplotní součinitel, $\alpha \cdot 10^{-3} \cdot K^{-1}$	Měřicí rozsah, °C
Pt	3,85-3,93	-200 až +850
Ni	6,17-6,70	-60 až +200
Cu	4,26-4,33	-50 až +150

Platina je velice chemicky stabilní materiál, vyrábí se snadno ve vysoké čistotě a je chemicky i mechanicky velice odolná, a proto je nejpoužívanějším materiálem pro odporové snímače. Její nevýhodou je poměrně vysoká cena a v porovnání s dalšími materiály v tab. 3.2 má relativně malou citlivost na změnu teploty.

Nikl je druhým nejpoužívanějším materiálem, tam kde není potřeba tak velký rozsah, jaký nabízí platina, přičemž ovšem není tak chemicky odolný jako platina a při vyšších teplotách může docházet k oxidaci na povrchu. V porovnání s platinou má však téměř dvakrát tak větší citlivost na změnu teploty.

Měď oxiduje na vzduchu i při běžných teplotách, a proto musí být chráněná před okolním vlivem, což snižuje rozsah teploty, které lze tímto materiálem měřit. V porovnání s ostatními používanými materiály má relativně malý rozsah měřitelné teploty a zároveň poměrně malou citlivost na změnu teploty. Využívá se však díky své linearitě závislosti odporu na teplotě.

3.4 POLOVODIČOVÝ SNÍMAČ

Polovodičové snímače, patří mezi pasivní snímače, využívající závislosti vodivosti na teplotě. Podle použitého materiálu lze dělit polovodičové snímače na:

- Polykrystalické (NTC, PCT),
- monokrystalické,
- PN přechod.

3.4.1 NTC (negastor)

Tyto snímače využívají polykrystalický polovodič. V tomto případě se vzrůstající teplotou vodivost polykrystalického polovodiče také vzrůstá, čímž se snižuje jeho odpor. Závislost odporu na teplotě polykrystalického polovodiče je popsána rovnicí

$$R_T = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}, \quad (3.5)$$

kde R_T – odpor při měřené teplotě, Ω ,

R_0 – odpor při teplotě T_0 , Ω ,

e – Eulerova konstanta,

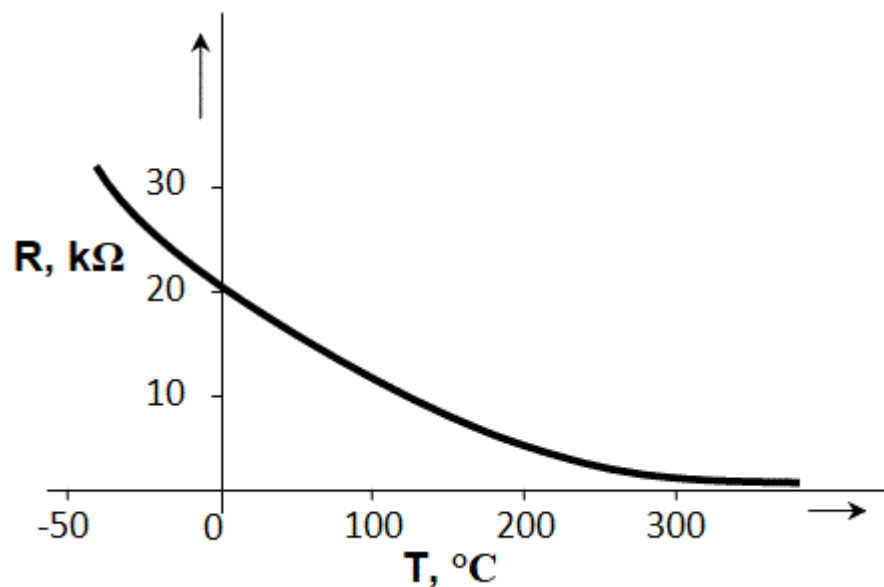
B – materiálová konstanta,

T – měřená teplota, $^{\circ}\text{C}$,

T_0 – referenční teplota, $^{\circ}\text{C}$.

NTC snímače měří běžně v rozsahu od -50 do $+150$ $^{\circ}\text{C}$. Během používání těchto snímačů, obzvlášť při vyšších teplotách, může dojít ke změně jejich základních parametrů, což snižuje přesnost měření.

Na obr. 3.1 vizte příklad závislosti odporu na teplotě NTC snímače.

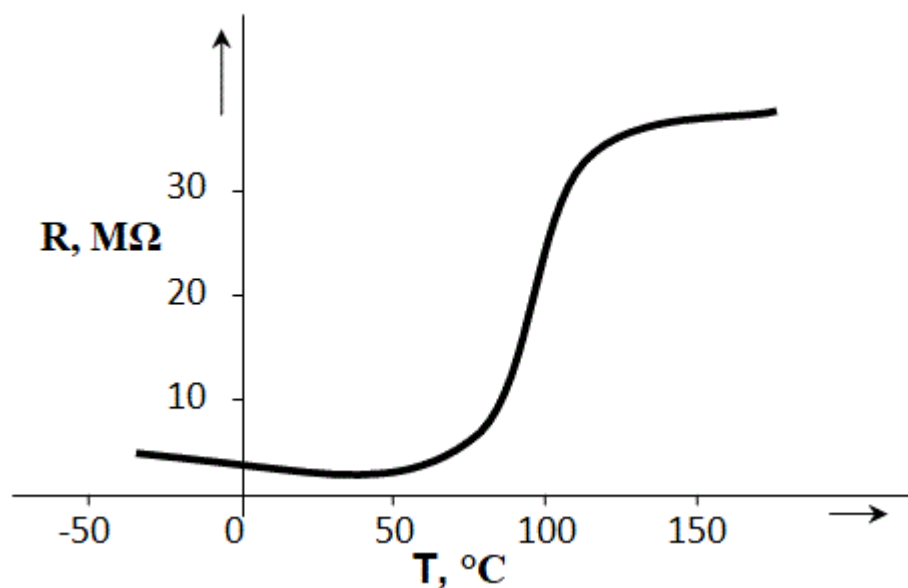


Obr. 3.1 – Charakteristika NTC snímače, online,
<http://old.spsemoh.cz/vyuka/zl/neelektricke.htm>

3.4.2 PTC (pozistor)

Stejně jako u NTC snímačů, odpor se vzrůstající teplotou klesá, jelikož jde o polykrystalické polovodiče. Tyto snímače se ale nevyužívají k měření teploty, nýbrž jako indikátor nebo pojistka při dosažení určité teploty. Odpor PTC snímače postupně klesá do té doby, dokud nedosáhne Curierovy teploty. Když dosáhne Curierovy teploty, odpor strmě stoupne. Při teplotě vyšší, než je Curierova teplota odpor opět klesá. Lze vyrobit PTC s danou Curierovou teplotou od 60 do 80 °C.

Na obr. 3.2 vizte příklad závislosti odporu na teplotě PTC snímače.



Obr. 3.2 – Charakteristika PTC snímače, online,
<http://old.spsemoh.cz/vyuka/zet/neelektricke.htm>

3.4.3 Monokrystalický snímač

Podobně jako u kovových odporových snímačů při zvyšování teploty odpor monokrystalických snímačů roste, v tomto případě parabolicky. Závislost odporu na teplotě je vyjádřena rovnicí

$$R_T = R_0 + K(T - T_0)^2, \quad (3.6)$$

kde R_T – odpor při měřené teplotě, Ω ,

R_0 – odpor při teplotě T_0 , Ω ,

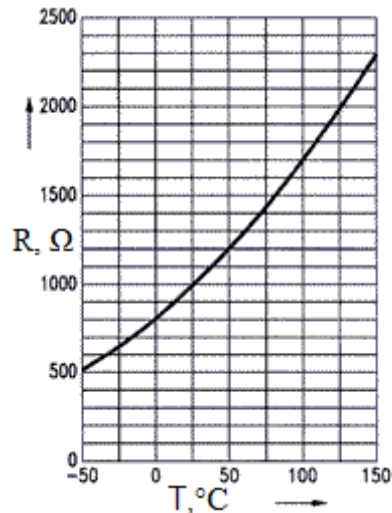
K – konstanta,

T – Měřená teplota, °C,

T_0 – referenční teplota, °C.

Tyto senzory mají běžně rozsah měřitelné teploty od -50 do $+150$ °C. Ve srovnání s polykrystalickými snímači mají lepší přesnost a charakteristika je lineárnější. Kvůli své ceně se většinou nepoužívají.

Na obr. 3.3 je vidět příklad závislosti odporu na teplotě monokrystalického snímače.

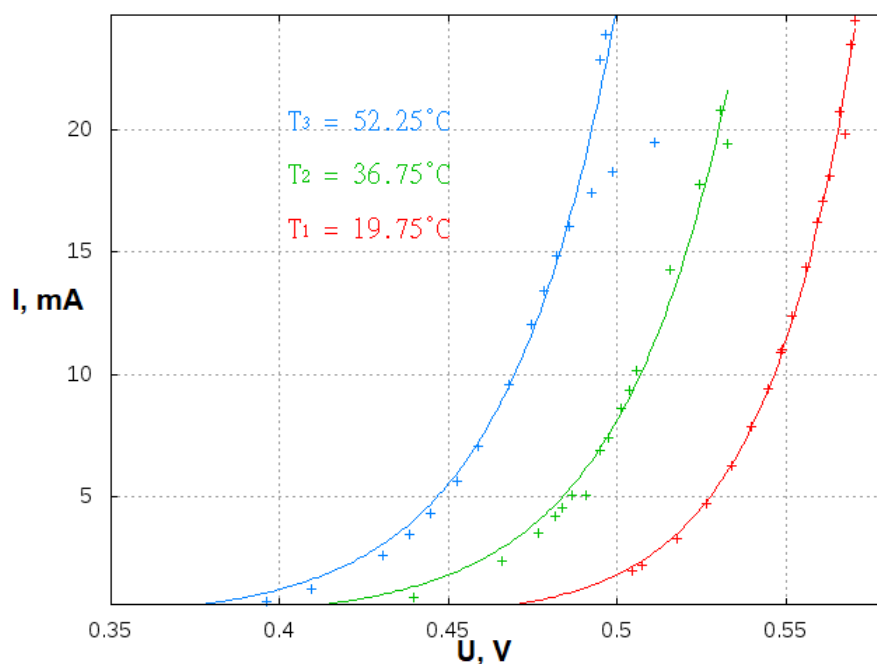


Obr. 3.3 – Charakteristika monokrystalického snímače, online,
http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/sn_teodporove.htm

3.4.4 PN přechod

Tento způsob měření využívá teplotní závislosti PN přechodu. Využívá se voltampérová charakteristika PN přechodu v propustném směru. Charakteristika se tvarem nijak nemění ale dochází k posunu buď doleva nebo doprava celé charakteristiky. Ideální pak je připojit zdroj konstantního proudu a měřit napětí na diodě. Tímto způsobem dostaneme lineární závislost odporu na teplotě. Tyto snímače dosahují také relativně velké přesnosti. Na obr. 3.4 je vidět posun voltampérové charakteristiky PN přechodu v propustném směru v závislosti na teplotě.

Závislost vodivosti PN přechodu na teplotě



Obr. 3.4 – Charakteristiky PN přechodu, online,
<http://u8.8u.cz/laborky/LAB1.html>

3.5 TERMOELEKTRICKÝ SNÍMAČ

Jde o snímač, který patří do skupiny aktivních snímačů. Využívá se Seebeckova jevu. Pokud spojíme v jednom uzlu dva vodiče z dvou různých materiálů, na jejich konci naměříme napětí. Jelikož se elektrony pohybují v každém materiálu různou rychlostí, může dojít ve spoji dvou materiálů k přeskokům elektronu z jednoho materiálu do druhého. Elektrony se takto začnou hromadit v druhém materiálu, kde budou opět odpuzivou silou vytlačovány zpět a dojde tak postupem času k rovnováze, pokud není tzv. termočlánek zapojen do elektrického obvodu. Po připojení voltmetru je možné naměřit generované napětí. Toto napětí je závislé na teplotě.

Pokud ovšem připojíme termočlánek přímo na voltmetr, na dvou svorkách, které jsou připojené k voltmetru, vzniknou další dva termočlánky. To se kompenzuje zapojením dvou termočlánků, které jsou zapojeny symetricky zrcadlově proti sobě. Jeden termočlánek se použije jako měřicí a druhý jako srovnávací, přičemž srovnávací termočlánek musí mít stálou teplotu pro konsistenci měření. Jelikož na svorkách voltmetru jsou opět dva termočlánky, v tomto případě ovšem zrcadlově proti sobě, generují napětí opačné a tím pádem se odečtou. Napětí je dáno rovnicí

$$U = (S_B - S_A)(T_2 - T_1), \quad (3.7)$$

kde U – napětí generované termočlánkem, V,

S_A – Seebeckova konstanta materiálu A, $V \cdot K^{-1}$,

S_B – Seebeckova konstanta materiálu B, $V \cdot K^{-1}$,

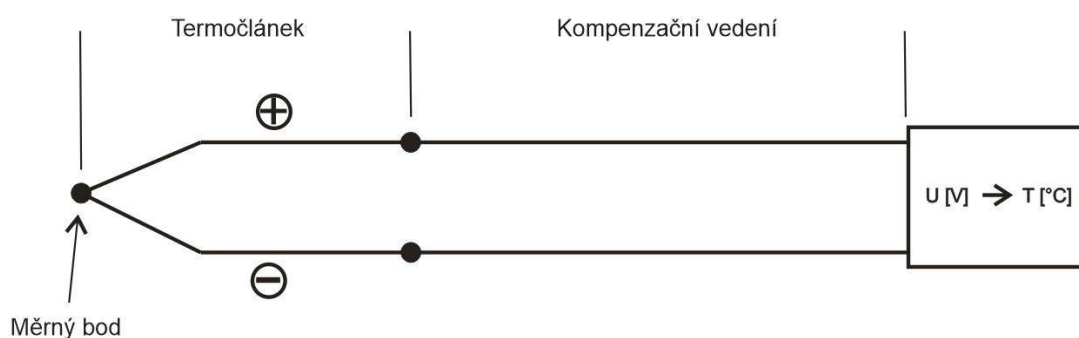
T_1 – teplota měřicího konce, °C,

T_2 – teplota referenčního konce, °C.

Jelikož je citlivost dána rozdílem Seebeckových koeficientů, je ideální vyrobit termočlánek z materiálu s co největším Seebeckovým koeficientem a z materiálu s co nejmenším Seebeckovým koeficientem. V případě použití polovodičů jde dosáhnout velké citlivosti. Ty se v praxi moc nevyžívají kvůli své citlivosti na vnější prostředí a využívá se kovů, přičemž hlavní roli hraje linearita měření a cena materiálů.

Pokud připojíme voltmetr k termočlánku, oba vodiče voltmetru jsou z jednoho materiálu, kterým je měď. Dojde tak k vytvoření dvou termočlánků zrcadlově zapojených s mědí jako jedním z materiálů, a tak si můžeme představit svorky jako jeden termočlánek z kovů jako je původní termočlánek. Tyto svorky pak můžeme použít jako srovnávací termočlánek.

Termočlánky v závislosti na materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, jsou schopny měřit poměrně vysoké teploty, přesahující až 2000 °C, díky své tepelné odolnosti. Na obr. 3.5 je vidět popis termočlánku.



Obr. 3.5 – Popis termočlánku, online, http://www.ardatech.cz/technicke_informace/

4 VÝMĚNA VZDUCHU V DOMÁCNOSTI

Výměna vzduchu v domácnosti je naprosto nezbytná, protože jak již bylo řečeno v první kapitole, koncentrace oxidu uhličitého může rychle vzrůst na hodnoty, které mají nežádoucí důsledky. Výměna vzduchu je možná pomocí větrání, které lze rozdělit na:

- Přirozené větrání,
- nucené větrání (Panelovedomy, 2010).

4.1 PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ

K přirozenému větrání dochází prostřednictvím netěsností okenních a dveřních otvorů, styků prvků obvodového pláště, popř. póry materiálu. K přirozenému větrání dochází vlivem rozdílného tlaku vnějšího a vnitřního prostoru, důsledkem obtékání budovy vzduchem, vlivem rozdílné hustoty venkovního a vnitřního vzduchu, což způsobuje působení vztlakových sil. V důsledku působení vztlakových sil vzniká přetlak v horní části budovy a v dolní části budovy naopak podtlak, vzhledem k tlaku atmosféry. Průtok větracího vzduchu se mění postupem roku, v závislosti na venkovní teplotě, jelikož se měrná hmotnost vzduchu mění v závislosti na teplotě. Přirozené větrání je tak nejefektivnější v období zimy, díky velkému rozdílu venkovní a vnitřní teploty (Panelovedomy, 2010).

Přirozené větrání dále můžeme dělit na:

- Celkové větrání – provětrávání, infiltrace;
- místní větrání – šachtové větrání.

Infiltrace je způsob přirozeného větrání pomocí netěsností, které sice zajišťují výměnu vzduchu, ale způsobují tepelné ztráty, přičemž během zimy dochází k největší výměně vzduchu tímto způsobem. Budovy, okenní a dveřní otvory se začaly čím dál tím líp utěšňovat, z důvodu tepelných ztrát, a tak tento způsob větrání je nedostačující. Mezi tento způsob by mohla být zařazena tzv. mikro ventilace. Některá okna mají možnost šikmo nahoru otočit klikou a mezi oknem, respektive dveřmi vznikne malá škvíra. Tento způsob je ovšem také nedostačující, hlavně během zimy a opět jen dochází k tepelným ztrátám, přičemž se může kondenzovat vodní pára na vnitřní straně okenního, respektive dveřního rámu (Panelovedomy, 2010).

Dalším způsobem je provětrávání. Jde o pravidelné otevírání oken. Cílem je vyměnit vzduch v místnosti s co nejmenšími tepelnými ztrátami. Během zimy sice vyměníme teplý

vzduch za studený, stěny však zůstanou teplé a dojde k ohřátí studeného vzduchu. Tento způsob je vyhovující, ovšem je zapotřebí manuální práce a pravidelnost větrání, aby se koncentrace škodlivých látek ve vzduchu udržovala malé hodnotě. Větrat by se mělo hodně, ale na kratší dobu, např. každou hodinu (Panelovedomy, 2010).

Základem šachtového větrání je šachta, která přivádí, respektive odvádí vzduch. Výměna vzduchu pracuje na stejném principu jako předchozí dva způsoby. Tento způsob větrání se uplatní tam, kde u otvoru, který přivádí, respektive odvádí vzduch do šachty, jsou zdroje tepla. Tento způsob se převážně uplatní v průmyslu (Panelovedomy, 2010).

4.2 NUCENÉ VĚTRÁNÍ

Základní jednotkou pro nucené větrání jsou ventilátory, které se starají o předání mechanické energie vzduchu. Ventilátory se starají jak o přivedení vzduchu do místa větrání, tak i o odvedení vzduchu z místa větrání. Je nutné, aby zajistily tlakový rozdíl dostatečně velký na to, aby překonal tlakové ztráty. Jedním z hlavních parametrů ventilátoru je objemový průtok vzduchu, který udává objem vzduchu za určitou jednotku času, většinou udáváno za hodinu, který je ventilátor schopný dopravit. Objemový průtok vzduchu se udává pro hustotu vzduchu $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Celkový dopravní tlak určuje vlastnost ventilátoru zajistit průtok vzduchu. U vysokotlakých ventilátorů je třeba počítat se stlačením vzduchu ventilátorem, které se zanedbává u nízkotlakých ventilátorů. Dalším parametrem ventilátorů je hlučnost, se kterou je třeba za určitých podmínek také počítat (Zmrhal 2006; Bárta, 2018).

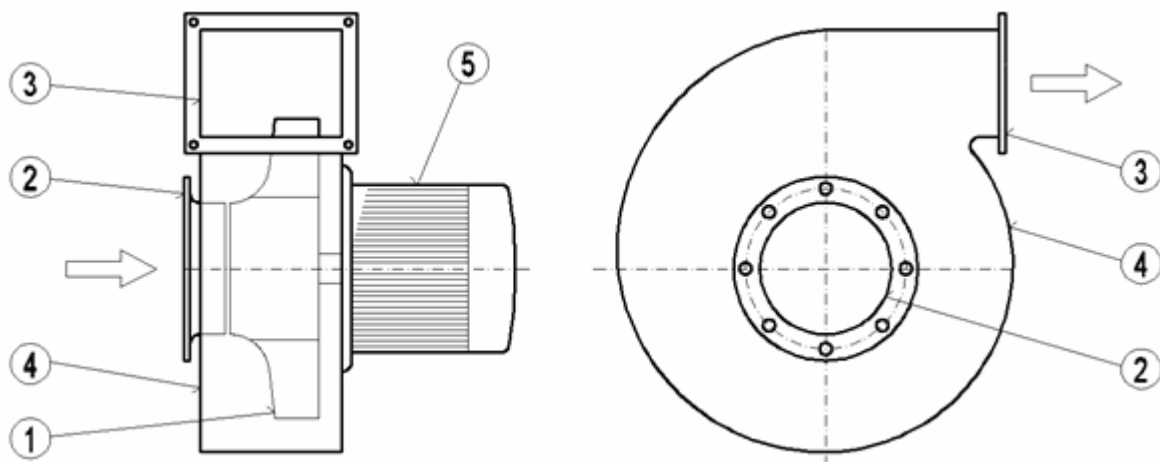
Ventilátory, na základě směru proudění vzduchu ventilátorem, lze dělit na:

- Radiální,
- axiální,
- diagonální,
- diametrální.

4.2.1 Radiální ventilátor

Na obr. 4.1 vizte radiální ventilátor, který se skládá z oběžného kola (1), sací hřídele (2), výtlačného hrdla (3), spirální skříně (4) a elektromotoru (5). Oběžné kolo je osazeno lopatkami, které nasávají vzduch. Ten je pak pomocí výtlačného hrdla přesouván ve směru kolmo na hřídel z otvoru skříně ventilátoru (Zmrhal, 2006).

Radiální ventilátory lze dělit podle tvaru lopatek oběžného kola na ventilátory s dopředu zahnutými lopatkami, dozadu zahnutými lopatkami a radiálně zakončenými lopatkami (Zmrhal 2006).



Obr. 4.1 – Schéma radiálního ventilátoru, online, (Zmrhal, 2006)

Tyto ventilátory se většinou využívají jako vysokotlaké ventilátory, tam kde je potřeba zajistit vysoký průtok vzduchu (např. dlouhé vzduchovody). Největší účinnosti dosahují tyto ventilátory s lopatkami zahnutými dozadu, kdy dosahují účinnosti od 80 do 85 % (Zmrhal, 2006).

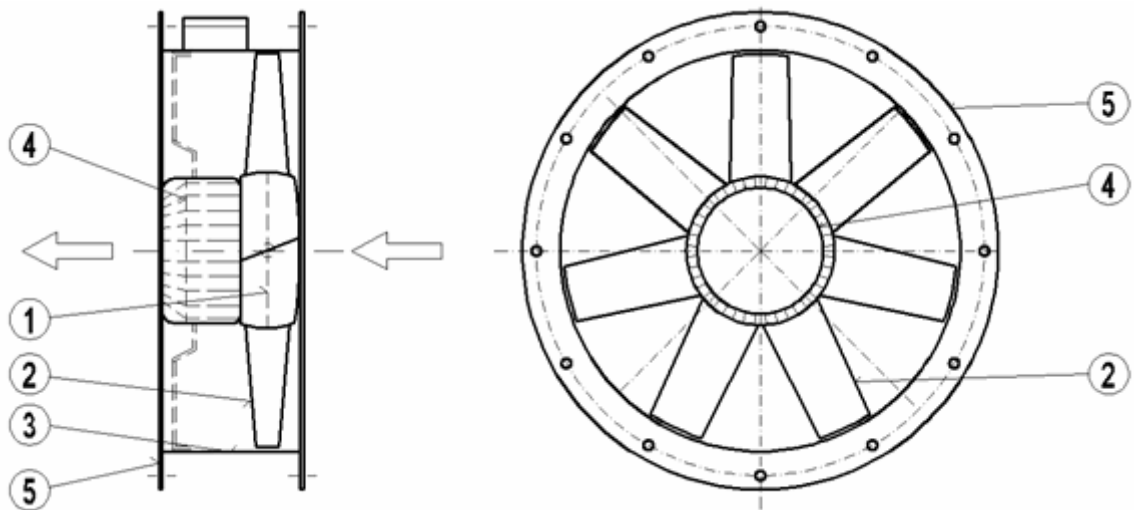
4.2.2 Axiální ventilátory

Na obr. 4.2 vizte axiální ventilátor skládající se z rotoru (1), oběžných lopatek (2), pláště (3) a elektromotoru (4). Na obrázku lze vidět ventilátor opatřen přírubami (5), pro použití v potrubí. Vzduch proudí ve směru osy otáčení rotoru ventilátoru. Tyto ventilátory se používají pro velký objemový průtok, při malém dopravním tlaku (Zmrhal, 2006).

Axiální ventilátory lze dále dělit na:

- Přetlakové,
- rovnotlaké.

V případě přetlakových axiálních ventilátorů, statický tlak před kolem je nižší než statický tlak za kolem. Tyto ventilátory se používají pro zařízení určená k větrání nebo klimatizaci. Jejich účinnost dosahuje 85 % (Zmrhal, 2006).

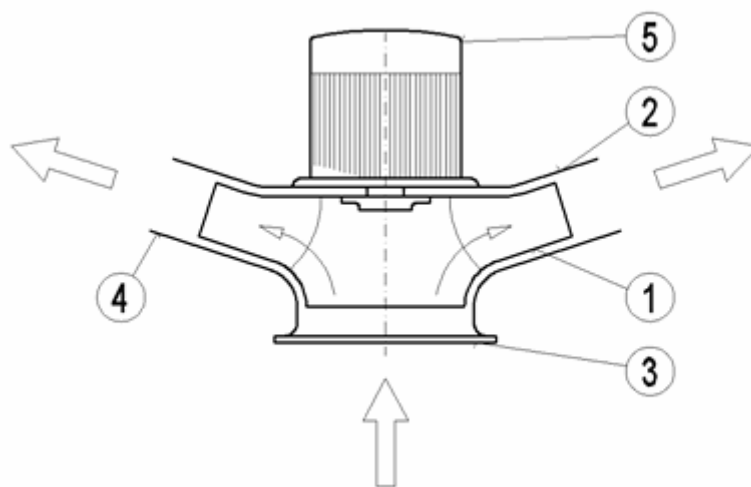


Obr. 4.5 – Schéma Axiálního ventilátoru, online, (Zmrhal, 2006)

V případě rovnotlakých axiálních ventilátorů, statický tlak před i za kolem je stejný. Tyto ventilátory se používají převážně v průmyslu a jejich účinnost se pohybuje okolo 80 % (Zmrhal, 2006).

4.2.3 Diagonální ventilátory

Na obr. 4.3 je vidět diagonální ventilátor, jehož částmi jsou oběžné kolo (1), skříň ventilátoru (2), sací hrdlo (3), výtlačné hrdlo (4) a elektromotor (5). Jde o ventilátor, který nasává vzduch ve směru osy rotace oběžného kola, stejně jak je tomu u axiálního ventilátoru a výtlač vzduchu z ventilátoru je výtlačným hrdlem, podobně jako u radiálního ventilátoru. Jde

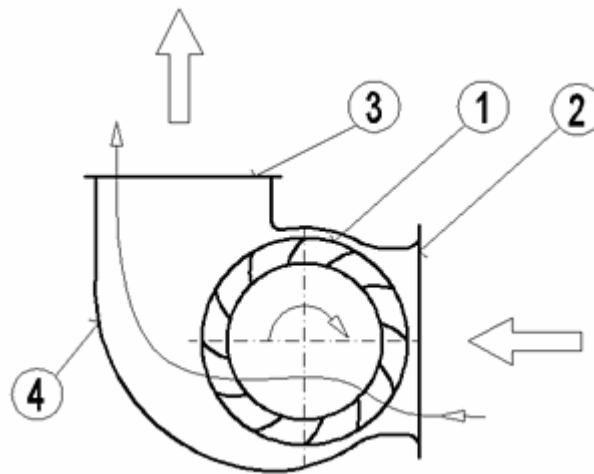


Obr. 4.9 – Schéma diagonálního ventilátoru, online, (Zmrhal, 2006)

o kombinaci dvou principů ventilátorů, která nám umožní pracovat se středním dopravním tlakem a středním objemovým průtokem (Zmrhal, 2006).

4.2.4 Diametrální ventilátory

Na obr. 4.4 je vidět diametrální ventilátor, který se skládá z oběžného kola (1), sacího hrdla (2), výtlačného hrdla a pláště (4). Vzduch je nasáván sacím hrdlem za pomoci oběžného kola s lopatkami dopředu zahnutými a vytlačován výtlačným hrdlem, přičemž prochází příčně oběžným kolem. Tyto ventilátory najdou použití v případech, kdy je třeba nasávat vzduch v širokém podélném rozměru. Účinnost těchto ventilátorů se pohybuje okolo 50 % (Zmrhal, 2006).



Obr. 4.10 – Schéma diametrálního ventilátoru, online,
(Zmrhal, 2006)

5 SYSTÉMY VĚTRÁNÍ OBYTNÝCH BUDOV

Jelikož větrání infiltrací v současné době je nedostatečné, doporučuje se použít ventilátorů k řádnému vyvětrání. Je ovšem nutné správně ventilátory rozmístit a zajistit jak přívod, tak odvod vzduchu a k tomu slouží systémy větrání. Tyto systémy větrání lze rozdělit na:

- Nucené podtlakové větrání,
- nucené rovnotlaké větrání,
- hybridní větrání.

Tyto systémy lze dále dělit na:

- Centrální,
- lokální.

Centrální systém využívá jednoho ventilátoru pro odvod vzduchu, zatímco lokální využívá lokálních ventilátorů v každém patře, případně v každé místnosti pro odvod vzduchu (Zmrhal, 2011).

5.1 PODTLAKOVÉ VĚTRÁNÍ

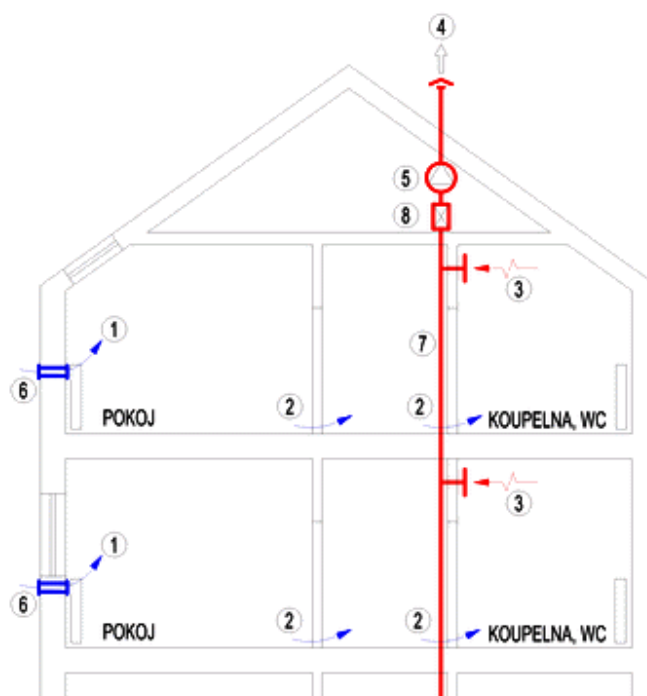
V případě podtlakového větrání je čerstvý vzduch přiváděn pomocí otvorů, které jsou buď integrovány do oken, nebo jsou zabudovány v obvodových stěnách. Větrací otvory můžou disponovat filtrem, tlumičem proti hluku, regulací objemu a ohřevem venkovního přiváděného vzduchu. Větrací otvory mohou mít různý tvar, např. obdélníkové, kruhové, popř. úzké štěrby. Vzduch z místností je pak odváděn nuceně pomocí ventilátoru (Zmrhal, 2011).

Výhodami podtlakového větrání je jednoduchost, s čímž je spojena také relativně nízká pořizovací cena (Zmrhal, 2011).

Jelikož systém nedisponuje zařízením pro zpětné získávání tepla, mohou se zvýšit provozní náklady na ohřev přiváděného vzduchu (Zmrhal, 2011).

5.1.1 Centrální podtlakový systém

Centrální podtlakový systém má jeden centrální ventilátor, který je napojen na potrubí, jež vede z každé místnosti. Nucený odvod vzduchu z místností je tedy zajištěn jedním



Obr. 5.1 – Schéma centrálního podtlakového větracího systému, online, (Zmrhal, 2011).

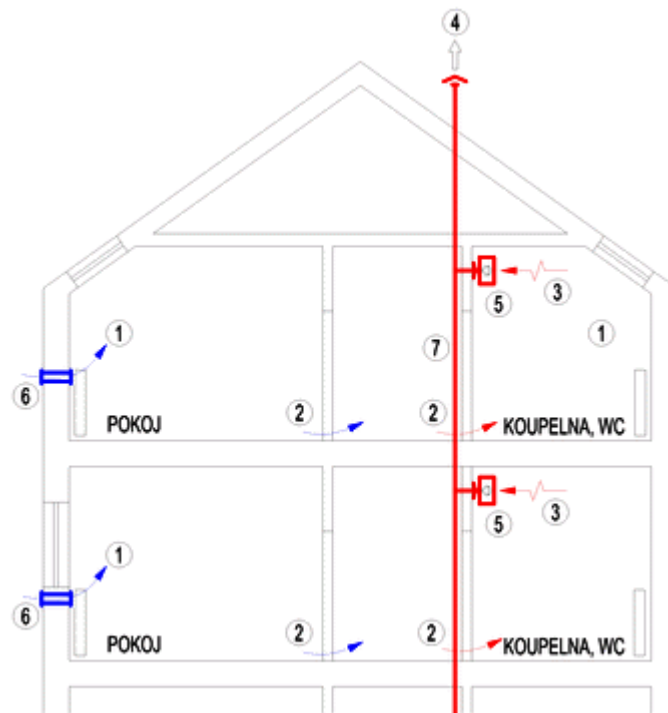
ventilátorem, který je umístěn na střeše nebo v podkroví. Výhodou centrálního systému je vysoká účinnost ventilátoru. Na obr. 5.1 je vidět příklad centrálního větracího systému (Zmrhal, 2011).

Součástí systému je otvor pro přívod a větrání (6), odvodní ventilátor (5), potrubní síť (7), tlumič hluku (8). Na obr. 5.1 je také znázorněn tok vzduchu: přiváděný vzduch (1), převáděný vzduch (2), odváděný vzduch (3) a odpadní vzduch (4).

5.1.2 Lokální podtlakový systém

V případě lokálního podtlakového systému je obstarán nucený odvod vzduchu místností lokálně v každém bytě, respektive patře pomocí ventilátoru, který je umístěn v místě, kde je vzduch odsáván. Pokud je ventilátor opatřen více hrdly, je možné jej umístit do podhledu, pro odvádění vzduchu z více místností najednou. Na obr. 5.2 je vidět příklad lokálního podtlakového systému. Na rozdíl od centrálního podtlakového systému je ventilátor umístěn

v tomto případě v koupelně, zatímco otvor pro přívod a větrání (6), potrubní síť (7), tlumič hluku (8) a proud vzduchu zůstává nezměněn (Zmrhal, 2011).



Obr. 5.5 – Schéma lokálního podtlakového systému, online, (Zmrhal, 2011).

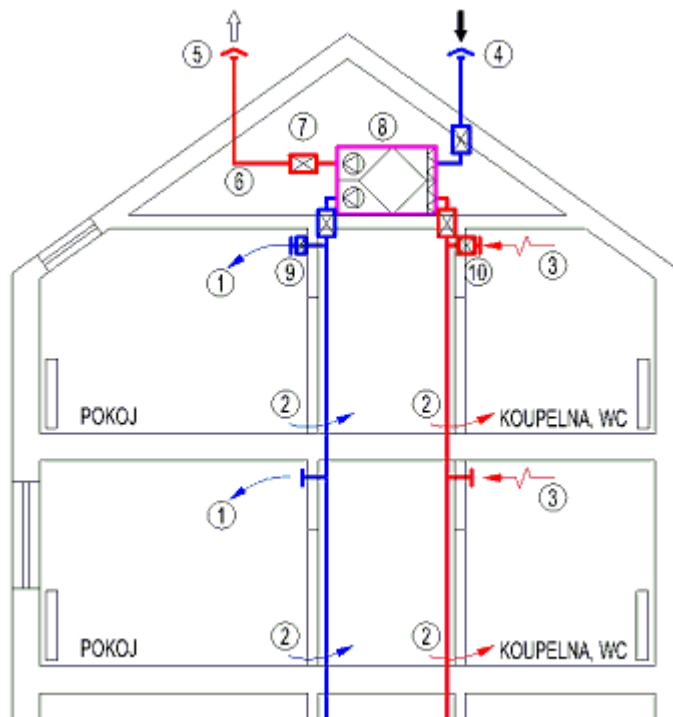
5.2 ROVNOTLAKÉ VĚTRÁNÍ

Rovnotlaké větrání využívá nuceného jak přívodu, tak odvodu, vzduchu do a z místností. Používá se vzduchotechnická jednotka, opatřená dvěma ventilátory, které ovšem musejí hradit tlakovou ztrátu vzduchovodů, dále může být opatřena filtrací venkovního vzduchu, výměníky pro zpětné získávání tepla a ohříváč. Tento systém větrání je mnohem kvalitnější než větrání podtlakové nebo hybridní a je možné tento systém použít v místech, kde podtlakové větrání, např. z hygienických důvodů, by nebylo možné použít (venkovní ovzduší je více znečištěné než vnitřní prostory) (Zmrhal, 2011).

Nevýhodou tohoto systému je vyšší pořizovací cena a zároveň vyšší spotřeba energie pro vzduchotechnickou jednotku. Vzduchotechnická jednotka a vzduchovody jsou také náročnější na prostor (Zmrhal, 2011).

5.2.1 Centrální rovnotlaký systém

Základem je centrální vzduchotechnická jednotka, která se stará o přívod i odvod vzduchu do jednotlivých bytů/pater domu. Vzduch je přiváděn i odváděn v nejvyšším místě



Obr. 5.6 – Schéma centrálního rovnotlakého systému, online, (Zmrhal, 2011).

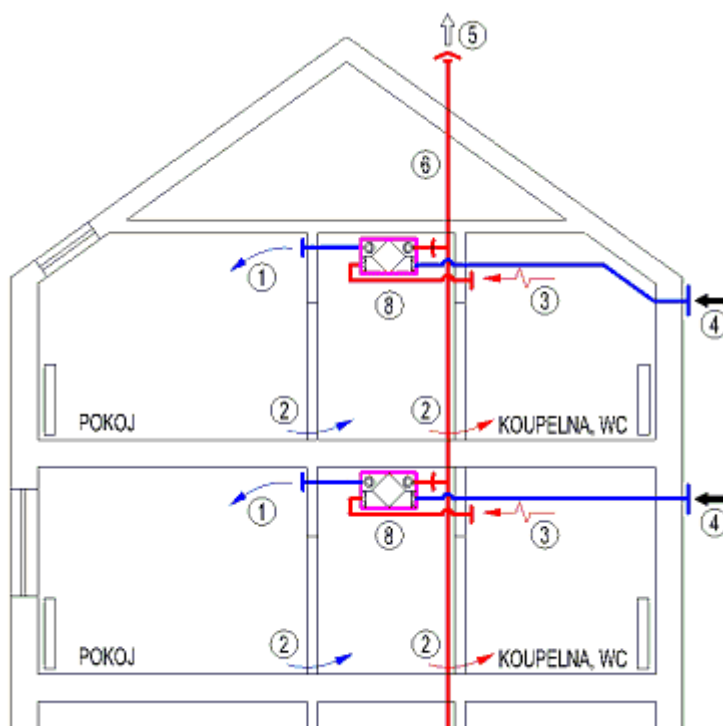
budovy, přičemž je nutné dodržet minimální vzdálenost mezi přívodem a odvodem. Vzduch proudí vzduchovodem do jednotlivých bytů/pater domu, kde je dále rozváděn distribučními prvky do jednotlivých místností po celém bytě/patře domu. Na obr. 5.3 je vidět příklad centrálního rovnotlakého systému větrání (Zmrhal, 2011).

Součástí centrálního rovnotlakého systému je sání venkovního vzduchu pomocí ventilátoru (4), potrubní síť (6), tlumič hluku (7), vzduchotechnická jednotka (8), alternativní dohřev (9), přeslechový tlumič (10). Dále je naznačen na obr. 5.3 proud vzduchu: přiváděný vzduch (1), převáděný vzduch (2), odváděný vzduch (3) a odpadní vzduch (5).

Nevýhodou centrálního systému jsou vyšší nároky na prostory pro centrální vzduchotechnickou jednotku. Hluk může představovat problém, který je nutné řešit, dokonce může docházet k přeslechu mezi jednotlivými bytovými jednotkami (Zmrhal, 2011).

5.2.2 Lokální rovnotlaký systém

Lokální rovnotlaký systém využívá pro větrání jednotlivých bytů/pater domu, lokálních vzduchotechnických jednotek. Znamená to, že každý byt/patro domu, má svoji vlastní vzduchotechnickou jednotku, která vzduch může nasávat buď společným potrubím, jako je tomu u centrálního systému, nebo samostatně otvorem ve fasádě každého bytu/patra domu. Odvod vzduchu je pak řešen společným potrubím, opět nejvyšším bodem budovy, většinou střešním otvorem. Na obr. 5.4 je vidět příklad lokálního rovnotlakého systému větrání (Zmrhal, 2011).



Obr. 5.10 – Schéma lokálního rovnotlakého systému, online, (Zmrhal, 2011).

V tomto případě místo nasávání vzduchu střešním otvorem dochází k nasávání vzduchu pomocí otvorů ve fasádě samostatné bytové jednotky (4). Je zde vidět lokální umístění vzduchotechnické jednotky (8). V porovnání s centrálním rovnotlakým větráním je proud vzduchu: přiváděný vzduch (1), převáděný vzduch (2), odváděný vzduch (3) a odpadní vzduch (5) nezměněn (Zmrhal, 2011).

Nevýhodou tohoto systému je relativně malá účinnost ventilátorů, nároky na prostor vzduchotechnické jednotky v každé bytové jednotce a hluk lokálně umístěné vzduchotechnické jednotky (Zmrhal, 2011).

Na druhou stranu má uživatel absolutní kontrolu nad systémem.

6 AUTOMATICKÁ REGULACE

Automatickou regulací je myšleno udržování výstupní hodnoty soustavy na požadované hodnotě, kterou si sami stanovíme. Soustavou může být právě např. místnost, kde výstupní hodnota bude koncentrace oxidu uhličitého, kterou chceme udržovat na určité hodnotě, nebo v intervalu hodnot. Toho lze docílit pomocí automatického nastavování parametrů soustavy tak, aby bylo dosaženo žádané hodnoty. V případě místnosti, kde chceme udržovat koncentraci oxidu uhličitého v intervalu stanovených hodnot, nastavujeme objemový průtok vzduchu tak, aby bylo dosaženo koncentrace oxidu uhličitého, nepřekračující meze nastaveného intervalu hodnot. Žádanou hodnotou může být také průběh měnící se v čase, který chceme, aby výstup soustavy kopíroval (Cvejn 2021).

Automatická regulace je realizována obvodem řízení, který se skládá ze soustavy, jejíž výstup se snažíme regulovat a regulátoru, který soustavu reguluje na základě vstupní informace.

Tyto obvody řízení dělíme na:

- Otevřený obvod řízení,
- uzavřený (zpětnovazební) obvod řízení.

6.1 OTEVŘENÝ OBVOD ŘÍZENÍ

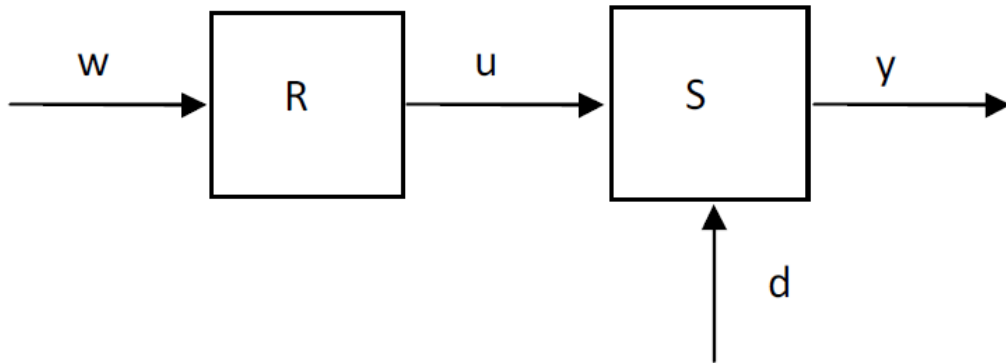
Otevřený obvod řízení lze také nazvat jako ovládání. Jde o obvod řízení, který používá pouze apriorní informaci, ale nemá k dispozici informaci o skutečné hodnotě výstupu soustavy (Cvejn, 2021).

Příkladem je situace, kdy vejde do chladné místnosti osoba, která chce zvýšit teplotu v místnosti například na 21°C. Osoba zapne topení na vysoký výkon, aby teplota stoupla co nejrychleji na požadovanou hodnotu a následně budeme postupem času, co se bude místnost oteplovat, postupně výkon topení snižovat.

Ačkoliv je tento způsob použitelný, jde pouze o případy, kdy vnější vlivy na soustavu jsou konstantní nebo mají tvar známého průběhu. Tato situace je v praxi vzácná. V případě, kdy ovládáme teplotu v místnosti, vnějším vlivem je venkovní teplota, která se sice mění, ale změna teploty není tak drastická, abychom nedosáhli požadované hodnoty, nebo se alespoň nepřiblížili dostatečně blízko, ale tento způsob regulace je neefektivní (Cvejn, 2021).

Na obr. 6.1 je vidět schéma otevřeného obvodu řízení, kde působení vstupních, výstupní a poruchových veličin je znázorněno pomocí šipek, jelikož je to možné chápat jako přenos informace, obzvláště v případech, kdy dochází k převodu fyzikálních veličin (Cvejn, 2021).

Žádaná veličina – w vstupuje do řídicího členu R , z něhož vystupuje akční veličina – u , jež je vstupem pro soustavu S . Soustava má výstupní veličinu y , přičemž na soustavu působí vnější vlivy a poruchy d .



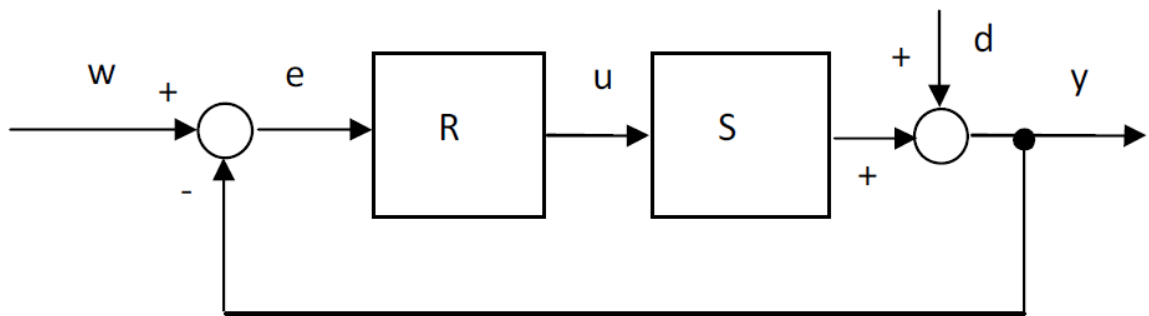
Obr. 6.1 – Schéma otevřeného regulačního obvodu, (Cvejn, 2021).

6.2 ZPĚTNOVAZEBNÍ OBVOD ŘÍZENÍ

Zpětnovazební obvod řízení disponuje měřením výstupní veličiny soustavy a má tak informaci o aktuální výstupní hodnotě, kterou chceme regulovat. Zpětná vazba (informace o výstupní veličině) nám umožní mnohem přesnější a efektivnější regulaci soustavy i bez znalosti parametrů soustavy a poruch nebo vnějších vlivů působících na soustavu (Cvejn, 2021).

Představíme-li si opět situaci, kdy vejdemo do chladné místnosti, ovšem teď nebudeme regulovat teplotu ovládním, ale regulovat teplotu bude regulátor, který bude mít přesnou informaci o teplotě v místnosti, nastavíme pouze žádanou hodnotu a regulátor se postará o nastavení potřebného výkonu topení. Průběh regulace je závislá na nastavení regulátoru.

Na obr. 6.2 je vidět schéma zpětnovazebního obvodu řízení.



Obr. 6.5 – Schéma uzavřeného regulačního obvodu, (Cvejn, 2021).

V tomto případě jako vstup regulátoru není žádaná hodnota, nýbrž rozdíl žádané hodnoty a aktuálního výstupu řízené soustavy, který se nazývá regulační odchylka e . Na soustavu opět působí vnější vlivy a poruchy, které si v tomto případě můžeme představit jako veličinu, která se přičte, respektive odečte od výstupní veličiny soustavy (Cvejn, 2021).

6.3 REALIZACE REGULAČNÍHO OBVODU

Regulační obvody můžeme dělit do dvou skupin na základě toho, s jakými veličinami pracují:

- Bez převodu veličin,
- s převodem veličin.

V případě regulačního obvodu bez převodu veličin, regulátor a řízená soustava pracují se stejnými veličinami. V dnešní době se používají výjimečně, např. bimetalový termostat, kde je využíváno tepelné roztažnosti bimetalového pásku, která je pak převedena na potřebný mechanický pohyb, jež je schopný zároveň měřit a regulovat teplotu.

Běžnějšími regulačními obvody, jsou regulační obvody s převodem veličin. Nejčastěji jde o převod na elektrickou energii, jelikož nejčastěji využívanými regulátory jsou elektronické regulátory.

Ačkoliv jsou elektronické regulátory jedny z nejpoužívanějších, nejsou jedinými využívanými regulátory. Regulační obvod lze realizovat pomocí hydraulických a pneumatických prvků, které se používají ve výbušném prostředí, kde nepředstavují nebezpečí jiskry, která může nastat v případě elektronického regulátoru (Cvejn, 2021).

6.4 ELEKTRONICKÉ REGULAČNÍ OBVODY

Základem elektronických regulačních obvodů je elektronický regulátor. Tyto obvody potřebují převod výstupní veličiny soustavy na elektronickou a převod výstupní veličiny elektronického regulátoru zpět na veličinu, se kterou pracuje regulovaná soustava.

Tyto regulátory dosahují nejlepších výsledků regulace, přičemž mají širokou oblast použití a nastavení regulátorů.

Elektronické regulační obvody dělíme do dvou skupin:

- Analogové,
- digitální.

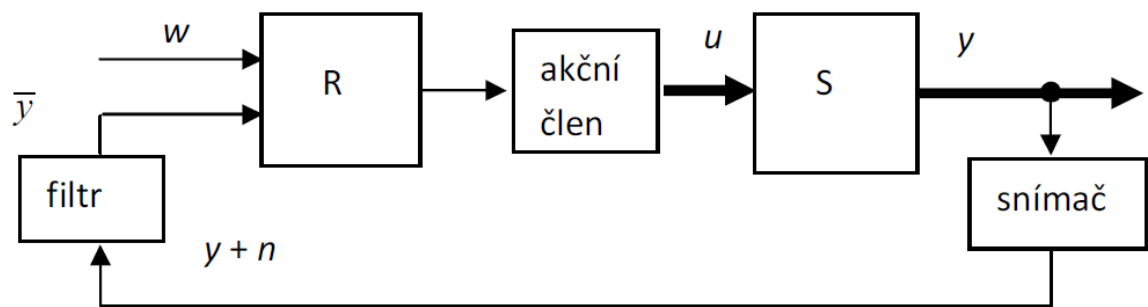
6.4.1 Analogový elektronický regulační obvod

Analogový elektronický regulační obvod, který je vidět na obr. 6.3, je realizován pomocí analogového regulátoru. Jde především o jednoduchý analogový regulátor použit v případě, kdy jde o jednoduchou regulaci, a nebo je pořizovací cena nižší než pořizovací cena číslicového regulátoru.

Pro převod výstupní veličiny soustavy se používají snímače, které převádějí danou veličinu na napěťový, popř. proudový signál. Tento signál je pak jeden ze vstupů pro analogový regulátor. Jeho výstup je převeden z napěťového signálu na akční veličinu, která je vstupem regulované soustavy. Příkladem akčního členu může být např. pohon, jehož výkon je určen výstupem regulátoru a energií, kterou dodává soustavě je vstupní veličina soustavy (Cvejn, 2021).

Jelikož při přenosu elektrického signálu může docházet k šumu vlivem působením vnějších vlivů, výstupní signál snímače je filtrován, tak aby došlo k potlačení šumu (Cvejn, 2021).

Nevýhodou analogového regulátoru je rozdílné reálné chování od teoretického popisu regulátoru a to, že se můžou, vlivem času, měnit jeho vlastnosti (Cvejn, 2021).



Obr. 6.9 – Schéma zapojení analogového regulačního obvodu, (Cvejn, 2021).

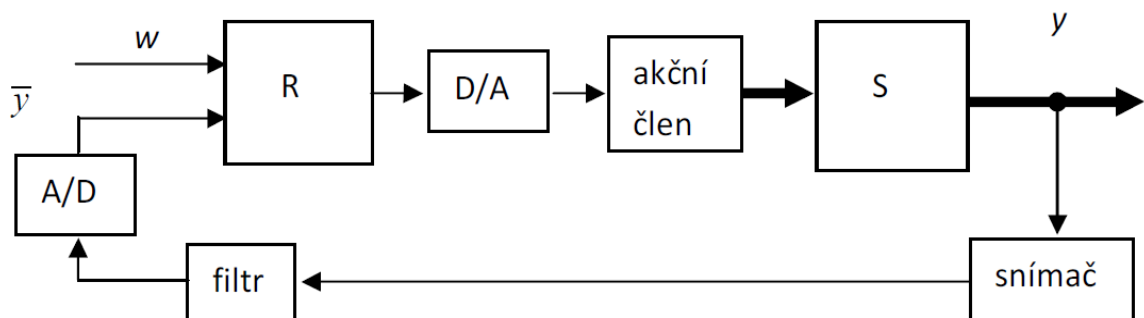
6.4.2 Číslicový elektronický regulační obvod

Číslicový regulátor začíná nahrazovat analogový regulátor, a i navzdory tomu, že jeho pořizovací cena může být vyšší než pořizovací cena analogového regulátoru, možnostmi dalece přesáhne analogový regulátor.

Jde o číslicový systém, buď mikroprocesor nebo specializovaný počítač, který vzorkuje výstupní veličinu řídicí soustavy a určí hodnotu akční veličiny, kterou přivede na vstup řízené soustavy (Cvejn, 2021).

Jelikož jde o číslicový regulátor, je třeba analogový vstupní elektrický signál dále ještě převést pomocí analogově-digitálních, respektive digitálně-analogových (A/D, D/A) převodníků. Převod není zcela přesný a je zkreslen podle rozlišení A/D, respektive D/A převodníku tzv. kvantizační chybou (Cvejn, 2021).

Na obr. 6.4 je vidět schéma číslicového elektronického regulačního obvodu, kde jediná změna oproti analogovému elektrickému regulačnímu obvodu je to, že přibyly A/D a D/A převodníky.



Obr. 6.10 – Schéma zapojení číslicového regulačního obvodu, (Cvejn, 2021).

6.5 NESPOJITÉ REGULÁTORY

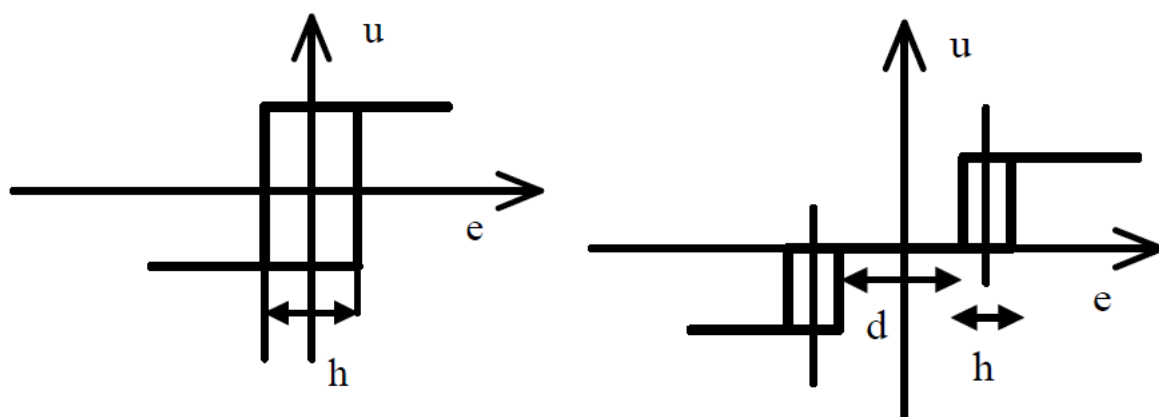
Nespojité regulátory jsou realizovány pomocí spínacího prvku, nejčastěji relé a komparačního obvodu. Jejich výhodou je nízká cena a jednoduchost. Nespojité regulátory se používají buď dvupolohové nebo třípolohové.

U dvupolohových regulátorů, regulátor spíná zápornou nebo kladnou hodnotu veličiny. Využívá se i v případě, kdy je možné sepnout pouze kladnou hodnotu akční veličiny.

Třípolohové regulátory se využívají tam, kde je možné spínat jak kladnou, tak zápornou hodnotu veličiny, přičemž třetí stav je nulová hodnota akční veličiny.

Jelikož relé spíná v podstatě okamžitě, když se dostaneme na hodnotu regulační odchylky, při které by mělo sepnout/rozepnout, může docházet k opakovanému spínání a rozpínání relé, čímž by se relé mechanicky rychle opotřebovalo. Proto se zavádí hystereze, která tomu zabraňuje. Na obr. 6.5 je vidět závislost akční veličiny dvupolohového a třípolohového regulátoru na regulační odchylce.

(Cvejn, 2021)



Obr. 6.11 – Charakteristiky dvupolohového a třípolohového regulátoru, (Cvejn, 2021).

6.6 SPOJITÉ REGULÁTORY

Spojité regulátory vyhodnocují akční veličinu na základě regulační odchylky, pomocí tří složek: P-zesílení, D-derivace, I-integrace. Nejpoužívanějším regulátorem je PID regulátor, který využívá všech složek regulátoru, což znamená, že dochází k zesílení, derivaci a integraci regulační odchylky. Akční veličina je pak určena součtem všech těchto složek.

P složka regulátoru je zesílení regulační odchylky. Pokud se jedná o regulátor pouze se složkou P, není možné, aby výstupní veličina dosáhla žádané veličiny, jelikož pokud bude odchylka nulová, výstup regulátoru je nulový a tím i akční veličina.

I složka je integrace regulační odchylky s určitým zesílením. Tato složka v kombinaci s P složku již zaručí to, že bude regulační odchylka nulová.

D složka je derivace regulační odchylky s určitým zesílením. Tato složka urychluje regulaci, jelikož umožní reagovat s předstihem. Pokud se výstupní veličina nemění, její význam je nulový (Cvejn, 2021).

7 ŘEŠENÍ

7.1 ARDUINO UNO

Arduino Uno je vývojová deska, která je osazená mikrokontrolerem ATmega328P. Arduino usnadňuje přístup a práci s ATmega mikrokontrolery a zároveň je k dispozici velká podpora nejen v podobě různých komponent určených přímo pro práci s Arduinem, ale i v podobě návodů, knihoven k daným komponentám a pro práci s různými rozhraními a také v podobě programového prostředí Arduino IDE, kde jsou nejen dostupné zmiňované knihovny, ale i funkce zjednodušující práci a rozšiřující možnosti. Pokud zahrneme veškerou podporu, možnosti a jednoduchost práce s Arduinem, je cenově velmi příznivé. Funkce Arduina se odvíjejí od funkcí mikrokontroleru ATmega328P, popř. mikrokontroleru osazeného na konkrétní desce Arduina, jelikož mimo Arduina Uno existuje také např. Arduino Nano, Arduino Mega a další.

ATmega328P je 8bitový mikrokontroler pracující na frekvenci 16 MHz. Disponuje pamětí EEPROM o velikosti 1 KB, která vydrží až 100 000 cyklů přepsání.

Má k dispozici dva 8bitové a jeden 16bitový časovací/čítací obvody, 6 pinů pro generování signálu PWM, sériové rozhraní UART, jehož parametry přenosu jsou nastavitelné, piny pro komunikaci pomocí rozhraní SPI a piny pro komunikaci pomocí rozhraní I²C.

Mikrokontroler využívá interního přerušení pro situace, kdy je využíván čítací obvod, jehož hodnota dosáhne maximální hodnoty a dojde k přetečení, a i k přerušení, nebo dosáhne hodnoty, kterou jsme nastavili. Arduino má k dispozici tři externí přerušení, u kterých je možnost nakonfigurovat, zda dojde k přerušení při náběžné hraně, sestupné hraně, logické změně pinu nebo pokud je na pinu logická 0. Na vstupně-výstupních pinech je možné nastavení přerušení při změně stavu, zda jde o náběžnou či sestupnou hranu, je již potřeba kontrolovat pomocí softwaru.

Mikrokontroler obsahuje analogově-digitální desetibitový převodník, který v základním nastavení používá referenční napětí 5 V, jde o napájecí napětí, ale je možné nastavit referenční napětí buď 3,3 V, nebo externě připojené napětí na daný pin v rozmezí 0 V ÷ 5 V.

7.1.1 Popis Arduina Una

Na obr. 7.1 je vidět vývojová deska Arduino Uno, kde červenou barvou jsou označeny digitální piny Arduina. Tyto piny můžou být nakonfigurovány jako vstup, výstup nebo jako vstupní pin, na kterém je připojen pull up rezistor. Pokud je pin nakonfigurován jako výstup, jeho hodnota do té doby, dokud ji nezměníme, je logická 0, přičemž v případě konfigurace pinu jako vstup s pull up rezistorem, hodnota pinu je logická 1 a změníme ji tak, že daný pin uzemníme a dostaneme tak na vstupu logickou 0. Je vidět u pinů 3, 5, 6, 9, 10 a 11 znak ~, který signalizuje to, že daný pin je možné použít pro generaci PWM signálu.

Žlutou barvou jsou vyznačeny analogové vstupní piny, které můžou číst analogovou hodnotu napětí v rozmezí 0-5 V a převádějí tuto analogovou hodnotu na digitální. Jelikož jde o desetibitový převodník, při použití referenčního napětí 5 V, za použití základního nastavení, rozlišení převodníku je přibližně 5 mV.

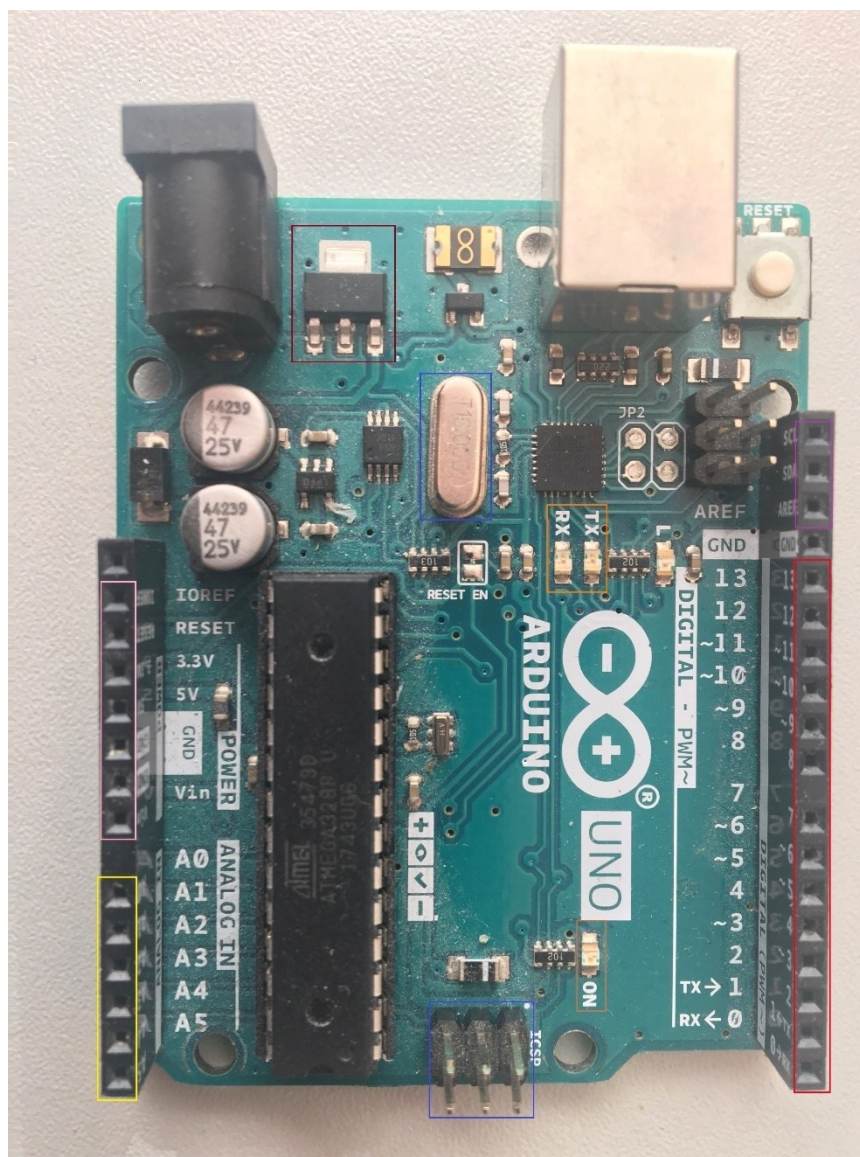
Růžovou barvou jsou označeny: pin jehož výstupem je napětí 5 V a pin jehož výstupem je napětí 3,3 V, dva piny GND (společná zem Arduina), pin pro připojení externího napájecího napětí Arduina (Vin), pin pro resetování Arduina. Pin IOREF je pro použití tzv. shieldu pro Arduino.

Modře je označena indikační LED, indikující připojení napájecího napětí Arduina a krystalový oscilátor. Krystalový oscilátor umožňuje Arduinou využívat funkce jako je delay nebo millis. Delay zpozdí provádění kódu o zadanou hodnotu v milisekundách a millis měří délku doby spuštění Arduina a vrací hodnotu v milisekundách.

Hnědě je označen stabilizátor napětí pro napájecí napětí Arduina, zajišťující správnou úroveň napájecího napětí a zároveň stabilizuje napětí nejen pro Arduino, ale i pro komponenty využívající napájecí napětí Arduina.

Zeleně jsou označeny piny pro komunikaci pomocí rozhraní SPI, oranžově jsou pak označeny indikační LED, pro odesílání nebo přijímání dat pomocí UART rozhraní. Ke komunikaci pomocí rozhraní UART jsou určeny digitální piny 0 a 1. Ke komunikaci pomocí rozhraní I2C jsou určeny SCL a SDA a pin AREF slouží k připojení referenčního napětí pro A/D převodník. Tyto piny jsou označeny fialově.

Na obr. 7.1 je vidět jack konektor pro připojení adaptéru pro napájení Arduina. Je zde konektor pro připojení sériového rozhraní USB a tlačítko reset.



Obr. 7.1 – Arduino Uno

7.1.2 Arduino IDE

Arduino IDE je vývojové prostředí určené přímo pro práci s Arduino deskami. Je nutné správně zvolit port pro komunikaci s Arduino deskou před jakýmkoliv nahráváním programu pro správnou funkčnost přenosu. Každý projekt vytvořen v tomto vývojovém prostředí se skládá ze dvou hlavních funkcí:

- Setup,
- loop.

Funkce setup se provede pouze jednou při spuštění daného programu, nebo při opětovném spuštění Arduino desky, popř. při resetování Arduino desky a používá se tak pro

inicializaci komponent připojených k Arduino desce, s nimiž chceme pracovat. Funkce loop je pak nekonečně se opakující smyčkou, kde se provádí program. Deklarace proměnných je klasicky možná mimo tyto funkce.

Pomocí Arduino IDE je možné si nainstalovat knihovny z nabídky dostupných knihoven, popř. přidat externí knihovnu ve formátu .zip a dále tyto knihovny spravovat podle potřeb.

Arduino IDE disponuje sériovým monitorem, který umožňuje zobrazovat informace, které jsou přijaty prostřednictvím sériové linky, popř. odesílat data prostřednictvím sériové linky desce Arduina. Dále je možné využít sériový ploter, který vykresluje graf hodnot přijatých prostřednictvím sériové linky v reálném čase.

Arduino IDE využívá jazyka C++, ovšem má implementováno mnoho dalších funkcí specifických pro práci s Arduinem, které nejen zjednodušují práci s Arduinem, ale i rozšiřují možnosti.

Program nahraný naposled do desky Arduina, je uložen v nevolatilní paměti, a je tak spuštěn opět při připojení napájení k Arduino desce.

7.2 MONITOROVÁNÍ OXIDU UHLIČITÉHO

Monitorování oxidu uhličitého je realizováno senzorem mhz19b a Arduinem Uno. Jde o senzor, který pracuje na principu optického snímání CO₂, který je popsán v kapitole 2.3. Rozmezí koncentrací CO₂ měřitelných senzorem:

- 0-2000 ppm,
- 0-5000 ppm.

Továrně je senzor nastaven na rozsah 0-5000 ppm, ale je možné pomocí příkazu prostřednictvím rozhraní UART rozsah změnit.

Možnosti komunikace se senzorem:

- UART,
- PWM.

Analogový signál senzoru je již převeden na digitální, tím pádem je možné jej přímo připojit k Arduinu.

Senzor disponuje poměrně dobrou citlivostí, teplotní kompenzací, dobrou stabilitou, dlouhou životností a je nenáročný na výkon, při napájení 5 V odebírá méně jak 18 mA. Při spuštění je potřeba počkat 3 minuty na zahřátí senzoru, než začne měřit.

7.2.1 PWM (pulzně šířková modulace)

Signál má danou periodu, během níž je hodnota signálu po určitou dobu logická 1 a po určitou dobu logická 0. Doby trvání obou hodnot jsou určeny analogovou hodnotou signálu, přičemž poměr těchto dob trvání vyjadřuje analogovou hodnotu procentuálně.

V tomto případě je perioda dlouhá 1024 ms a pokud by signál během jedné periody nabýval hodnoty logické 1 po dobu 512 ms hodnota koncentrace CO₂ při maximální měřitelné koncentraci 5000 ppm by byla 2500 ppm. Z toho plyne omezení, kdy je možné vyjadřovat analogovou hodnotu v rozmezí 0-100 %.

7.2.2 UART

Pomocí rozhraní UART je možné realizovat přenos informací sériově plně duplexně, a asynchronně, přičemž je možné dále specifikovat parametry přenosu:

- Rychlost přenosu,
- počet bytů pro přenos dat,
- stop byte,
- parita.

Rychlost přenosu se běžně používá 9600 bit·s⁻¹ a je označována jako baud rate. Je nutné pro správnou funkčnost, aby byla rychlost přenosu nastavena na obou komunikujících zařízeních stejná.

Počet bytů, pomocí kterých jsou data přenášena, se může pohybovat v rozmezí (7; 9) bytů. Pro správnou interpretaci dat je nutné vědět počet bytů na jeden blok přenesených dat.

Stop byte může být buď jeden nebo dva. Parita slouží pro kontrolní výpočet, pro ověření platnosti přenesených dat.

Data jsou přenášena ve formě: start byte, data, stop byte, parita.

7.2.3 Komunikace s čidlem

Pro komunikaci s čidlem byla zvolena varianta pomocí PWM signálu. V tomto případě existuje několik způsobů, jak komunikovat se zařízením přes Arduino pomocí PWM. Nejlepším způsobem je ovšem pomocí přerušování, jelikož část kódu, která je určena pro měření délky doby trvání buď logické 1 nebo logické 0 nezabírá místo v hlavní smyčce kódu, ale vykoná se jen když dojde ke změně vstupní hodnoty pinu, na kterém je připojený senzor.

Jde o přerušování při změně hodnoty digitálního pinu, nejde tedy jen o to připojit senzor k digitálnímu pinu, ale i správně nastavit pomocí registrů k tomu určeným. Pokaždé, když dojde ke změně hodnoty vstupního signálu na pinu, zavolá se obsluha přerušování, která zjistí, zda jde o změnu na logickou 1 nebo logickou 0, zavolá funkci millis, která vrátí délku doby, po kterou je Arduino zapnuto, uloží ji a spočítá délku trvání hodnoty na vstupu. Délku trvání hodnoty pak uloží do globální proměnné. Pomocí těchto proměnných je pak v hlavní smyčce vypočítána hodnota koncentrace CO₂.

V případě použití UART rozhraní je nejprve nutné zapojit pin Tx senzoru na pin Rx Arduina a pin Rx senzoru na pin Tx Arduina. Pro zjištění hodnoty koncentrace slouží příkaz, který je přes sériové rozhraní poslán senzoru a ten na to odpoví hodnotou koncentrace CO₂. Data jsou ve formátu 8 bytů s jedním stop bytem bez parity.

7.3 MONITOROVÁNÍ TEPLoty

Pro monitorování teploty byl zvolen teplotní digitální senzor ds18b20. Tento senzor byl zvolen z několika důvodů:

- Přesnost,
- digitální výstup,
- možnost parazitního zapojení,
- komunikace pomocí sběrnice.

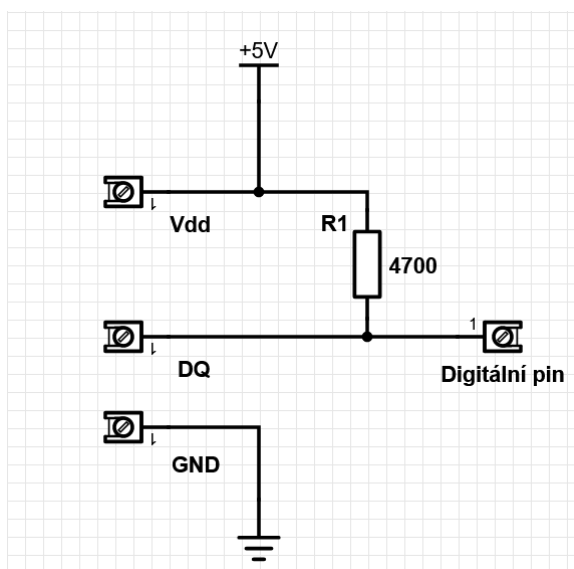
Senzor měří s přesností $\pm 0,5$ °C, v rozsahu teplot od -10 °C do $+125$ °C. Ačkoliv je možné zvolit vhodný odporový platinový senzor, obrovskou výhodou toho senzoru je digitální výstup, který může být přímo připojen k digitálnímu pinu Arduina a není potřeba A/D převodník. Senzor má možnost napájení přímo prostřednictvím pinu, na který je připojen. Komunikace se senzorem probíhá pomocí sběrnice one wire.

7.3.1 Komunikace se senzorem

Komunikace s čidlem probíhá po sběrnici one wire a jde o master-slave přenos. Na sběrnici lze připojit pouze jedno zařízení typu master, přičemž může být připojeno více zařízení typu slave, jelikož každé zařízení má vlastní adresu. Je tedy možné připojit více senzorů ds18b20 na sběrnici a komunikovat s nimi na základě jejich adresy pomocí jednoho Arduina.

Ke komunikaci bylo využito knihoven OneWire a DallasTemperature, z nichž OneWire slouží k samotné komunikaci pomocí sběrnice one wire a DallasTemperature k práci se senzorem a k obdržení hodnoty teploty.

Na obr. 7.2 je vidět zapojení senzoru, kde digitální pin, je zvolený digitální pin Arduina a Vdd, DQ a GBD jsou piny senzoru.



Obr. 7.2 – Schéma zapojení ds18b20 senzoru

7.4 AUTOMATICKÉ VĚTRÁNÍ

Pro větrání byl zvolen způsob provětráváním, který sice není optimálním způsobem, ale je poměrně jednoduchý zautomatizovat, do určité míry je možné ovlivnit objemový průtok vzduchu. Prostředky pro automatizaci tohoto větrání nejsou složité nainstalovat a pro domácnost pro větrání je naprosto dostačující.

Objemový průtok vzduchu je závislý na rozdílu hustoty, teploty a tlaku vnějšího a vnitřního vzduchu, ale je také závislý na velikosti otvoru, kterým dochází k výměně vzduchu. Objemový průtok vzduchu je tedy závislý na tom, do jaké míry je okno otevřeno.

Je tedy potřeba zautomatizovat otevírání a zavírání okna. K tomu byl použit lineární pohon. Lineární pohon je zařízení, které převádí krouživý pohyb hřídele motoru na pohyb lineární. Zařízení má rameno, které se vysouvá a zasouvá na základě polaritu připojeného napájení. Některé lineární pohony disponují potenciometrem, který umožní měření délky vysunutí ramene.

Pro automatické otevírání a zavírání okna byl zvolen lineární pohon DSZY1 s potenciometrem. Pohon je ve dvou variantách, které se liší napájecím napětím:

- 12 V,
- 24 V.

Byla zvolena varianta pohonu s napájecím napětím 24 V. Maximální odebíraný proud v závislosti na tom, jak je lineární pohon zatěžován při napájecím napětí 24 V, je 1,6 A, v případě varianty s napájecím napětím 12 V je maximální odebíraný proud 3,2 A, při maximální zátěži lineárního pohonu.

Lineární pohon může při vysouvání/zasouvání vyvinout sílu až 1000 N. Pracovní cyklus pohonu je 25 %, což znamená, že pohon může pracovat nepřetržitě 1 minutu, přičemž 3 minuty musí být v klidu. Maximální rychlost vysouvání ramene je $8 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a maximální délka výsunu ramene je 50 mm.

Tato varianta lineárního pohonu byla zvolena z toho důvodu, jelikož je schopná generovat dostatečně velkou sílu pro otevření okna, rychlost otevírání je naprosto dostačující a 50 mm maximálního výsunu ramene je pro použití u oken, které mají možnost otevření vyklopením naprosto ideální a zároveň, lineární pohony s větším výsunem nabývají na velikosti. Varianta s potenciometrem byla zvolena pro potenciální spojitou regulaci větrání, kdy objemový průtok je regulován velikostí otvoru, kterým je vzduch vyměňován, přičemž je velikost otvoru závislá na otevření okna, které je závislé na délce výsunu lineárního pohonu.

Lineární pohon je potřeba upevnit k rámu okna a rameno, které se bude vysouvat, je třeba upevnit k oknu. Pokud budeme otevírat okno vyklopením, umístíme lineární pohon vedle okna, v případě, kdy budeme chtít okno otevírat klasicky do strany, umístíme lineární pohon buď nad, nebo pod okno. Otevírání okna do strany umožní větší míru otevření okna, zatímco otevírání okna vyklopením je limitující v tomto ohledu. Pro otevírání okna byla zvolena varianta vyklopením, jelikož je dostačující pro vyvětrání místnosti.

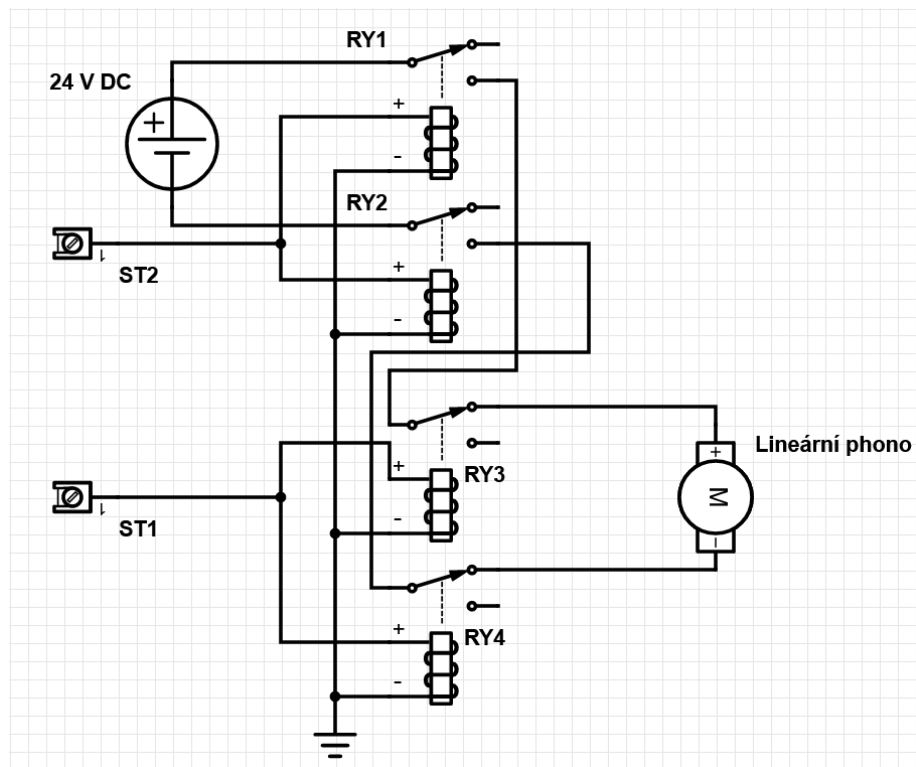
7.4.1 Řízení lineárního pohonu

K řízení lineárního pohonu je využito čtyř relé, z nichž jedna dvojice spíná napájecí napětí a druhá dvojice přepíná mezi vysouváním a zasouváním ramene lineárního pohonu přepólováním napájecího napětí. Tímto způsobem je ošetřena situace, kdy by mohlo dojít k sepnutí jak kladného, tak záporného napájecího napětí, čímž by došlo ke zkratu na svorkách napájecího zdroje.

Je dostupný modul relé, přímo pro Arduino, se čtyřmi relé na společném tištěném spoji. Tento modul je vybaven optočleny, které spínají napětí na cívkách jednotlivých relé. Modul je vybaven indikační LED, pro indikaci sepnutí a rozepnutí. Relé mají jeden spínací a jeden rozpínací kontakt.

Jelikož jde o spínání napájecího napětí na indukční zátěži, pokud je na tuto zátěž připojeno skokově napětí, jelikož došlo ke změně proudu zátěží z nulové hodnoty na nenulovou hodnotu, dojde k indukci proudu v opačném směru, přičemž jde o tzv. špičku, která netrvá dlouho, ale hodnota proudu je vysoká. Tento proud prochází pouze vodiči, které nemají velký odpor, tím pádem špička nabývá vysokého výkonu. To může způsobit slepení spínacích/rozpínacích kontaktů relé, a proto je paralelně k svorkám, na které je připojeno napájecí napětí, připojen varistor, který odvede špičku způsobenou skokovou změnou.

Na obr. 7.3 je vidět schéma zapojení relé, s tím rozdílem, že byl využit modul relé pro Arduino. ST2 odpovídá pinu spínající napájecí napětí a ST1 odpovídá pinu přepínající vysouvání a zasouvání lineárního pohonu.



Obr. 7.3 – Schéma zapojení relé modulu

7.5 REGULACE

Pro regulaci byl zvolen číslicový regulátor, jelikož je možné využít Arduino jako regulátor. Ačkoliv je možná spojitá regulace, díky zvolenému lineárnímu pohonu s potenciometrem, byla zvolena nespojitá regulace pomocí dvupolohového regulátoru. Tento způsob regulace byl zvolen z toho důvodu, že je nejlepší větrat provětráním intenzivně na kratší dobu a častěji, čemuž vyhoví dvupolohový regulátor.

Oba senzory mají integrované A/D převodníky, takže převod vstupních veličin regulátoru není potřeba řešit. Výstupem regulátoru je akční veličina, v tomto případě, zda bude okno otevřeno nebo zavřeno. Není tak zapotřebí D/A převodníku, nýbrž dvou pinů, z nichž jeden určuje připojení/odpojení napájecího napětí a druhý, zda se bude pohon vysouvat nebo zasouvat.

Je nutné zvolit hysterezi, poněvadž by mohlo dojít k rychlému přepínání relé, což by mělo za následek nejen velice rychlé mechanické opotřebení relé, ale i nedodržení pracovního cyklu lineárního pohonu, který by se neustále vysouval a zasouval. Hystereze byla zvolena s ohledem na minimální možnou koncentraci v dobře provětrané místnosti a maximální

přípustné koncentraci, která i při dlouhodobém pobytu nemá vliv na člověka, v rozmezí 950-1200 ppm.

Nastavení zohledňuje podmínku, která nedovoluje dlouhodobý pokles teploty v místnosti vlivem větrání, ovšem udržování koncentrace v požadovaném rozmezí má větší prioritu, jelikož zařízení nemá přístup k řízení teploty. Toho bylo dosaženo tak, že pokud dojde k poklesu teploty pod žádanou hodnotu, dojde pouze k posunutí obou limit na hodnoty 1200-1500 ppm.

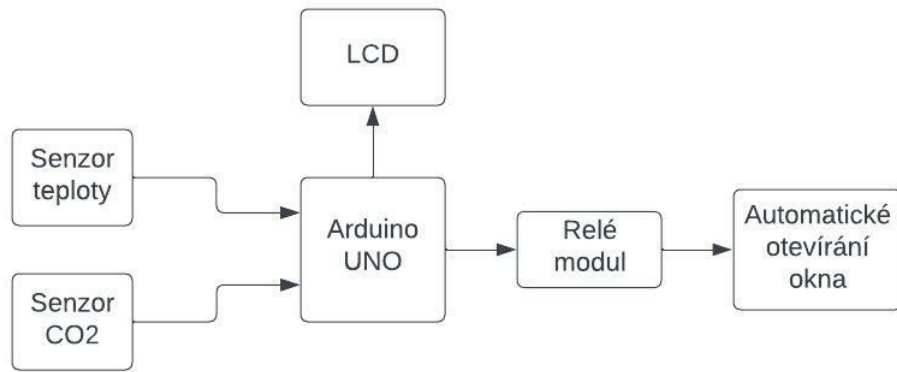
7.6 ZOBRAZENÍ

Zařízení je vybaveno LCD, který zobrazuje hodnotu koncentrace CO₂ a hodnotu teploty. Pro zobrazování těchto informací byl zvolen LCD o velikosti 16×4, pro další případné využití jako GUI (grafické uživatelské rozhraní), pro komunikaci a případnou změnu parametrů nastavení zařízení. Jedním z důvodů volby tohoto zařízení je také možnost způsobu komunikace, která probíhá pomocí sběrnice I²C. Tento způsob komunikace umožňuje komunikovat s LCD pomocí pouze dvou vodičů namísto čtyř nebo osmi.

Pro práci s LCD bylo využito knihovny Arduino-liquidcrystal-I2C-library-master.

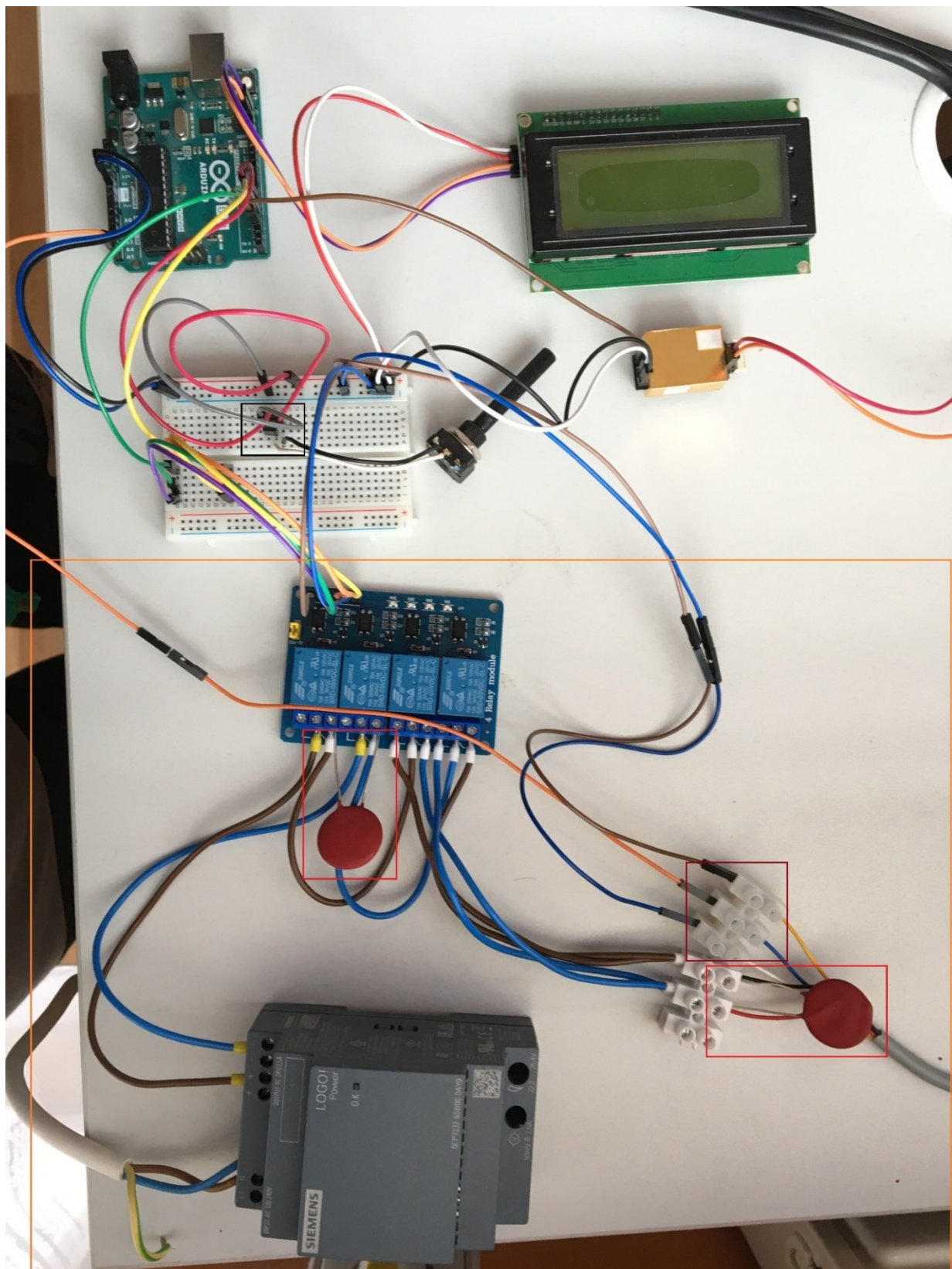
7.7 BLOKOVÉ SCHÉMA

Na obr. 7.4 je vidět blokové schéma celého zařízení, přičemž senzory zajišťují zpětnou vazbu, zatímco mají zabudované A/D převodníky. Relé modul slouží jako D/A převodník a automatické otevírání jako akční člen. Vše je řízeno pomocí Arduina, tedy číslicového regulátoru a zobrazováno na LCD.



Obr. 7.4 – Blokové schéma zařízení

Na obr. 7.5 je vidět obrázek celého zařízení, kde je oranžově vyznačen relé modul, připojení lineárního pohonu a zdroj 24 V. Červeně jsou vyznačeny ochranné varistory a hnědě připojení potenciometru lineárního pohonu na napájení 5 V a analogový vstup Arduina A5 pomocí oranžového vodiče. Čtyři relé jsou připojena pomocí dvou vodičů k digitálním pinům Arduina 3 a 4, zeleným a žlutým vodičem, přičemž každý pin ovládá dvojici relé. Relé modul je připojen dle obr. 7.3. Černě je označen teplotní senzor, který je připojen dle obr. 7.2 k digitálnímu pinu 6 pomocí červeného vodiče, zatímco odpor 4,7 kΩ je zajištěn pomocí potenciometru. Senzor CO₂ je připojen pomocí hnědého vodiče k digitálnímu pinu 2. LCD je připojen pomocí oranžového a fialového vodiče k pinům SCL a SDA. Všechny komponenty jsou napájeny napětím 5 V, které je připojeno z pinů Arduina 5 V a GND. Arduino je napájeno pomocí adapteru.

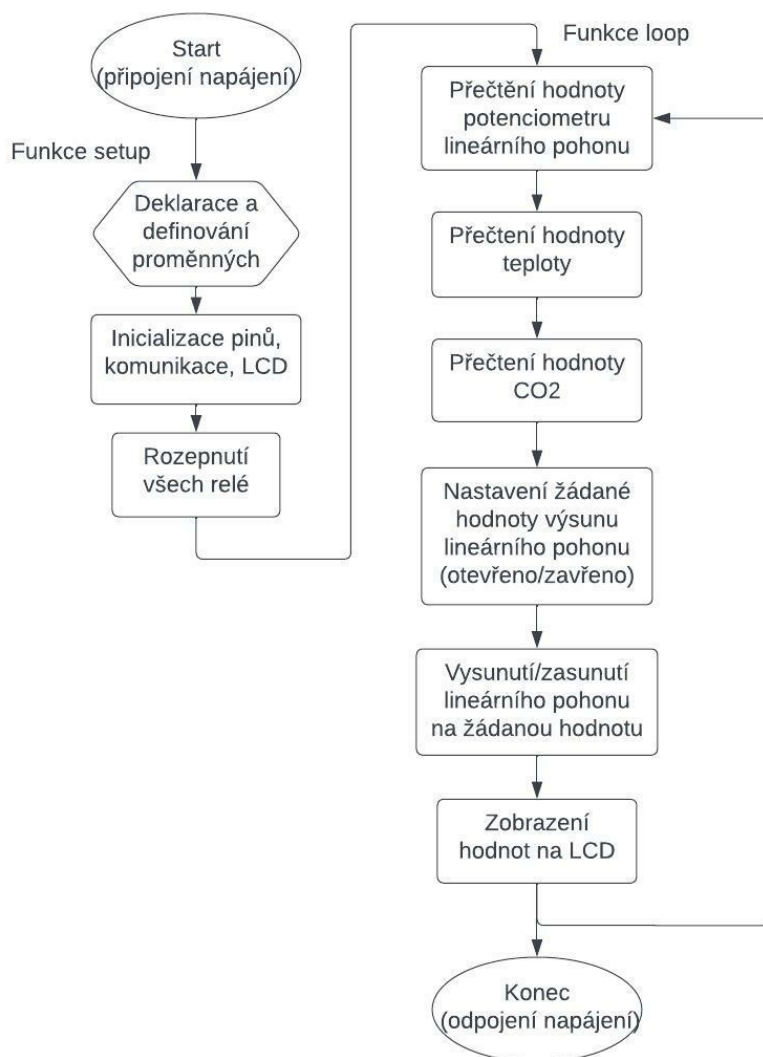


Obr. 7.8 – Fotografie celého zařízení

7.8 POPIS KÓDU ARDUINA

Zdrojový kód je popsán vývojovým diagramem na obr. 7.6. Nejprve dojde k deklaraci proměnných a deklaraci jejich hodnot (počáteční hodnoty), následně k potřebným inicializacím a rozepnutí relé, aby nedocházelo k rušení. Následně ve funkci loop dochází ke čtení hodnot ze senzorů, přečtení hodnoty vysunutí lineárního pohonu, nastavení žádané hodnoty vysunutí lineárního pohonu na základě hodnoty koncentrace CO₂ a nastavení požadované hodnoty vysunutí lineárního pohonu. Nakonec jsou hodnoty zobrazeny na LCD. Funkce loop se opakuje, dokud nedojde k odpojení napájení Arduina.

Pomocí dvou příkazů if, které kontrolují překročení buď spodní nebo horní hodnoty a jednoho příkazu if, který kontroluje překročení teploty a případně posouvá meze, nastavuje Arduino žádanou hodnotu výsunu lineárního pohonu.

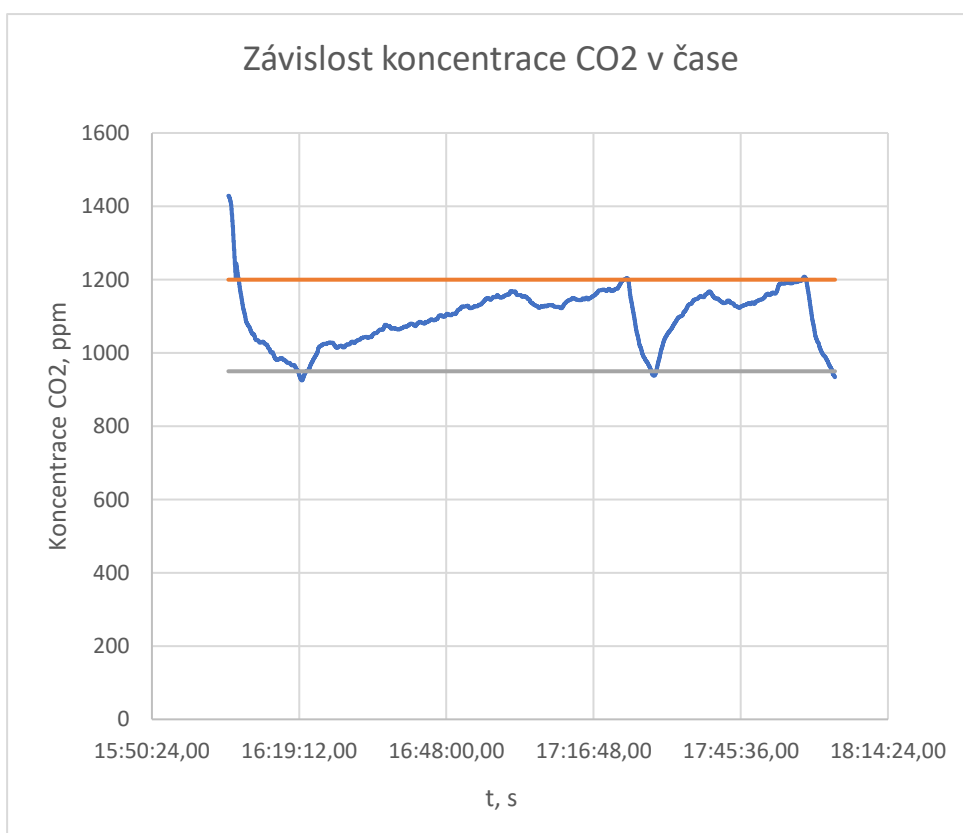


Obr. 7.9 – Vývojový diagram zdrojového kódu

K otevření okna je použit jeden if pro spínání napájení a jeden if pro přepínání směru, přičemž pokud dojde k dosažení žádané hodnoty, všechna relé jsou vypnuta.

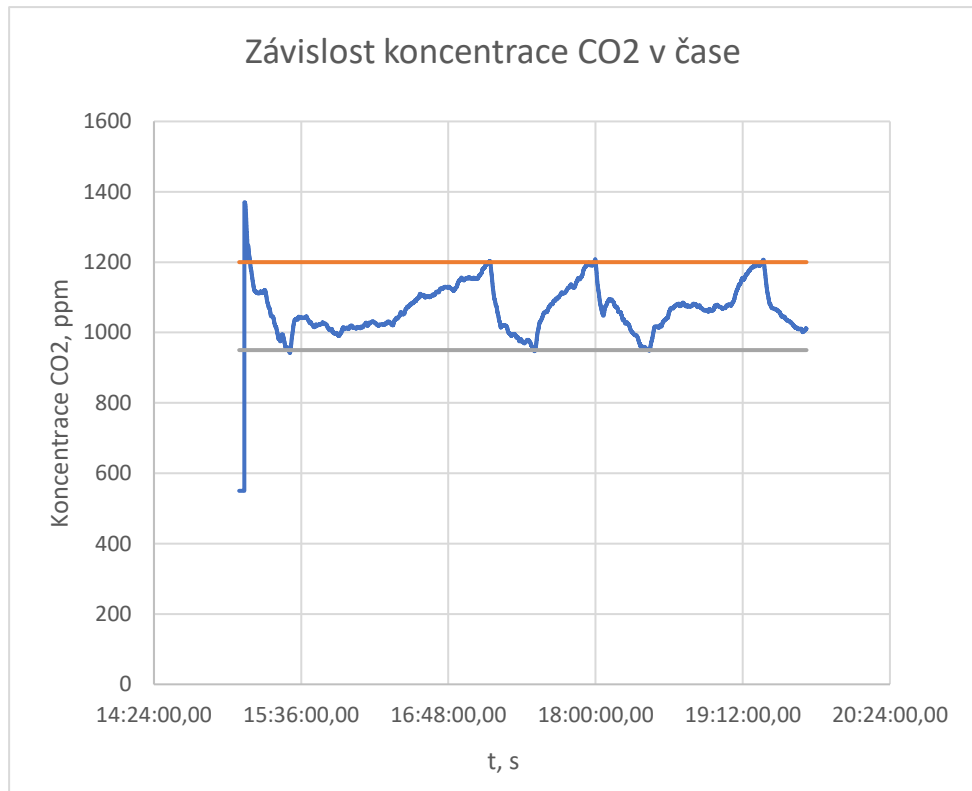
7.9 NAMĚŘENÉ HODNOTY

Měření se odehrávalo v uzavřeném pokoji a jediný zdroj větrání bylo otevírání okna. Jak je vidět na obr. 7.7, kde modře je vyznačena koncentrace CO₂, oranžově hodnota koncentrace 1200 (horní limit), šedě hodnota koncentrace 950 (spodní limit), hodnota koncentrace CO₂ se pohybuje v mezích hodnoty 950 ppm ÷ 1200 ppm, mimo začátku měření. Pokud je okno otevřeno, k vyvětrání na hodnotu 950 ppm, spodní mez, dojde přibližně za 5 min ÷ 7 min, zatímco koncentrace dosáhne horní meze 1200 ppm, v prvním případě přibližně za hodinu, ale v druhém případě za přibližně poloviční dobu. Tato skutečnost může být způsobena neideálním umístěním senzoru. Mírné výkyvy jsou způsobeny otevřením dveří buď při příchodu nebo odchodu z místnosti. Hystereze by definitivně mohla být nastavena na nižší hodnoty, jelikož pokud by docházelo dodatečně ještě k průvanu, k vyvětrání místnosti pod hodnotu 900 ppm koncentrace CO₂ by došlo bez problému.



Obr. 7.10 – Naměřená charakteristika CO₂

Na obr. 7.8 jsou opět vidět výsledky měření zaneseny v grafu, které se opět odehrávalo v uzavřené místnosti, kde jediný zdroj větrání bylo opět otevírání okna. Výkyvy jsou opět způsobeny otevíráním dveří, přičemž ustálení hodnoty v případě, kdy je okno zavřeno, je způsobeno tím, že místnost nebyla v té době nikým obývaná. V době přibližně 18:00 docházelo k vykonávání fyzické činnosti (kliky, dřepy), což způsobilo zvýšení koncentrace CO₂, navzdory tomu, že bylo okno otevřeno. Koncentrace se opět pohybuje v mezích hodnot 950-1200 ppm. Na začátku je vidět tříminutová příprava senzoru před měřením.



Obr. 7.11 – Naměřená charakteristika CO₂

8 ZÁVĚR

Automatické větrání otevíráním okna pomocí lineárního pohonu sice není naprosto ideálním způsobem větrání, ale jde o způsob dostačující. Pokud dochází k průvanu, dojde k vyvětrání naprosto bez problému, i když nejde o nejefektivnější způsob.

Monitorování koncentrace CO₂ pomocí sensoru mhz19b je poměrně kvalitní monitorování, jelikož jde o přesný sensor, cenově ovšem náročný. V porovnání s přístroji komerčně dostupnými, určenými přímo k monitorování koncentrace CO₂, se ve výsledku lišil ± 50 ppm, což je naprosto přijatelné.

Z důvodu rušení byla nakonec použita pro komunikaci se senzorem mhz19b sériová linka, jelikož dochází k rušení způsobené relé modulem a v případě sériové linky nedochází k znatelnému rušení, které by ovlivnilo regulaci.

Zařízení by šlo potenciálně vylepšit o komunikaci mezi jednotlivými zařízeními a způsobení průvanu mezi místnostmi pro efektivnější větrání. Lze použít bluetooth modulu pro komunikaci prostřednictvím např. mobilního zařízení, pro úpravu parametrů regulace a sledování monitorovaných hodnot, případně manuální ovládání.

Díky automatickému větrání pomáhá zařízení zlepšit kvalitu vzduchu v místnostech, pro lepší koncentraci při práci nebo relaxaci.

LITERATURA

- BÁRTA, A. 2018. *Řízení kvality vzduchu v budovách (Koncentrace CO₂)*. Bakalářská práce. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra řízení procesů. 67 s. Vedoucí: D. Honce.
- BUŠTA, K.; WAGNER, Z. 2012. *Oxid uhličitý a možnosti jeho využití I*. [online]. [cit. 2022-05-02]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/8492-oxid-uhlicity-a-moznosti-jeho-vyuziti-i>.
- CVEJN, J. 2021. *Automatizace I*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky. 101 s. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/StagPortletsJSR168/StudijniMaterialyServlet?id=593182>.
- ČESKO. 2005. *Vyhláška č. 410/2005 Sb. o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-410>.
- ČESKO. 2007. *Nářízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361/zneni-20160129>.
- ČESKO. 2012. *Vyhláška č. 20/2012 Sb., kterou se mění vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-20>.
- FAKTAOKLIMATU. 2022. *Cykly koncentrací CO₂ a O₂ v atmosféře*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/cykly-koncentrace-co2>.
- CHROMSERVIS. Datum neuveden. *Detekce a analýza plynů / Měřicí principy*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.chromservis.eu/g/gas-principles?lang=CZ>.
- KELGER, L.; VÁLEK, P. 2010. *Oxid uhličitý*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/oxid-uhlicity>.
- MURTINGER, K. 2013. *Pozor na koncentraci CO₂ v domácnosti – správné větrání je základ*. [online]. [cit. 2022-05-02]. ISSN 1803-4160. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/bydleni/vetrani-1/pozor-na-koncentraci-co2-v-domacnosti-spravne-vetrani-je-zaklad.aspx>.
- SCHWARZMANN, M. 2015. *Když už stromy nestačí: Pomůže jímání oxidu uhličitého ze vzduchu?* [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/kdyz-uz-stromy-nestaci-pomuze-jimani-oxidu-uhliciteho-ze-vzduchu-1215314#>.
- SOSELECTRONIC. 2018. *SCD30 je více než NDIR CO₂ senzor*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.soselectronic.cz/articles/sensirion/scd30-je-vice-nez-ndir-co2-senzor-2152>.
- VAFEK, Z.; DRÄGER SAFETY s.r.o. 2016. *Možnosti měření oxidu uhličitého – měřicí přístroje a čidla*. [online]. [cit. 2022-05-02]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/13910-moznosti-mereni-oxidu-uhliciteho-merici-pristroje-a-cidla>.
- VÍDEN, I. 2005. *Chemie ovzduší*. [online]. [cit. 2022-05-02]. VŠCHT Praha. 98 s. ISBN 80-7080-571-4. Dostupné z: https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-80-7080-571-4.

- VOJÁČEK, A. 2020. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 7. CO2*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-7-co2.html>.
- VOJÁREK, A. 2020. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 8. Principy senzorů CO2*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-8-principy-senzoru-co2.html>.
- PANELOVEDOMY. 2010. *Přirozené větrání*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/vetrani/25-prirozene-vetrani.html>.
- PROTONIX. Datum neuveden. *Principy fungování čidel kvality vzduchu*. [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.cidla.cz/na-jakych-principech-funguji-cidla-kvality-vzduchu/>.
- ZMRHAL, V. 2016. *Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) - 1. část*. [online]. [cit. 2022-05-02]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3733-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-i-1-cast>.
- ZMRHAL, V.; PETLACH, J. 2011. *Systémy větrání obytných budov*. [online]. [cit. 2022-05-02]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>.

PŘÍLOHY

A – CD

Příloha k bakalářské práci

Automatická regulace koncentrace CO₂ a hlídání teploty

Matouš Volák

CD

Obsah

1. Text bakalářské práce ve formátu PDF
2. Úplný zdrojový kód aplikace pro mikrokontroler