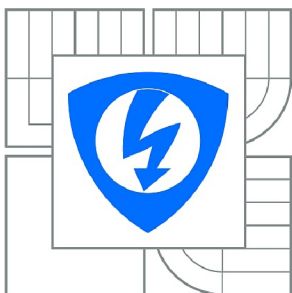


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

# AUTOMATICKÝ SYSTÉM CENTRÁLNÍ CIRKULACE VZDUCHU

AUTOMATIC SYSTEM OF THE CENTRAL AIR CIRCULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

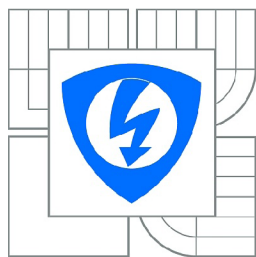
Bc. PRAVOSLAV NEDOMA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ HAVLÍČEK, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Mikroelektronika**

**Student:** Bc. Pravoslav Nedoma

**ID:** 78445

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2009/2010

## NÁZEV TÉMATU:

**Automatický systém centrální cirkulace vzduchu**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte zařízení pro ovládání systému centrálního větrání a distribuce vzduchu. Řídící jednotka bude dynamicky spolupracovat a komunikovat po datové sběrnici s již realizovanou ovládací jednotkou teplovodního vytápění. Jako hlavní řídicí prvek použijte mikroprocesor, který spolu s ovládacími servopohony, klapkami a řízeného ventilátoru zajistí automatickou cirkulaci vzduchu v obytných místnostech. Projekt dále zaměřte na vyhodnocování kvality vzduchu včetně rozeznání vzniku požáru v objektu. Celý systém bude možné připojit pomocí Ethernetového modulu k PC a vyhodnocovat tak jeho stav. Veškerou dokumentaci přiložte na CD.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 8.2.2010

**Termín odevzdání:** 27.5.2010

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Havlíček, Ph.D.

**prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

# Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Pravoslav Nedoma  
Bytem: Židněves 9, Březno 294 06  
Narozen/a (datum a místo): 12.5. 1986, Mladá Boleslav

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:  
Prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.  
(dále jen „nabyvatel“)

### Čl. 1

#### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Automatický systém centrální cirkulace vzduchu

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Tomáš Havlíček, Ph.D.

Ústav: Ústav mikroelektroniky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- tištěné formě – počet exemplářů 2
- elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užit, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 27. 5. 2010

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## **Abstrakt:**

Projekt se zabývá návrhem a realizací zařízení pro ovládání systému centrálního větrání a distribuce vzduchu. Řídící jednotka vyhodnocuje kvalitu vzduchu v obytných místnostech a zajišťuje automatickou výměnu vzduchu. Pro regulaci je použito mikroprocesorové řízení spolu se servopohony klapek a regulací ventilátoru. Projekt je zaměřen na vyhodnocování koncentrace oxidu uhličitého a detekce vzniku požáru v objektu. Řídící jednotka spolupracuje a komunikuje po datové sběrnici s již navrženou ovládací jednotkou teplovodního vytápění. Celý systém je možné připojit pomocí ethernetové sítě k PC a vyhodnocovat tak jeho stav.

## **Abstract:**

Project is target on design and realisation of device for control of central ventilation and air distribution. Control unit evaluates air quality in habitable rooms and assure automatic air change. System is driven by microprocessors and uses electronically controlled valves and ventilator regulation. Project is focused on evaluation of carbon dioxide concentration and detection of fire in rooms. Control unit cooperate and communicate via data bus with already designated control unit of hot water heating. Whole unit can be easing connected to the PC using ethernet.

## **Klíčová slova:**

Cirkulace vzduchu, ventilátor, větrání, kvalita vzduchu, oxid uhličitý, ethernet

## **Keywords:**

Air circulation, ventilator, ventilation, air quality, carbon dioxide, ethernet

## **Bibliografická citace díla:**

NEDOMA, P. *Automatický systém centrální cirkulace vzduchu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 80 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Havlíček, Ph.D.

## **Prohlášení autora o původnosti díla:**

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 27. 5. 2010

.....

## **Poděkování:**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Havlíčkovi, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v průběhu zpracovávání diplomové práce.

## OBSAH

Úvod .....	9
<b>1 Mikroklima interiéru.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Teorie větrání .....</b>	<b>12</b>
2.1 Základní požadavky na větrací systém.....	12
2.2 Způsoby elektronického řízení ventilace .....	13
<b>3 Atmosférický vzduch.....</b>	<b>14</b>
3.1 Oxid uhličitý CO <sub>2</sub> .....	15
<b>4 Ventilátory .....</b>	<b>17</b>
<b>5 Struktura systému centrální cirkulace vzduchu.....</b>	<b>18</b>
5.1 Popis navrženého systému .....	18
<b>6 Vlhkostní senzory .....</b>	<b>21</b>
6.1 Inteligentní vlhkostní senzor SHT11 .....	21
6.2 Ukázka komunikace se senzorem SHT11 .....	24
6.3 Odporový vlhkostní senzor SYH-2S.....	24
6.4 Senzor vodních par TGS 2180.....	26
<b>7 Senzory plynů .....</b>	<b>27</b>
7.1 Senzor oxidu uhličitého TSG 4161 .....	28
7.2 Senzor čistoty vzduchu TGS 2600.....	29
<b>8 Modul měření čistoty venkovního vzduchu .....</b>	<b>31</b>
8.1 Popis modulu měření čistoty venkovního vzduchu.....	32
8.2 Aplikační obvod pro měření čistoty venkovního vzduchu .....	33
8.3 Komunikace modulu měření čistoty venkovního vzduchu .....	34
8.4 Měření výstupního napětí senzoru TGS 2600.....	34
8.5 Hodnocení kvality vzduchu se senzorem TGS 2600.....	36
8.6 Kalibrace obvodu se senzorem TGS 2600.....	37
<b>9 Modul měření oxidu uhličitého a vlhkosti.....</b>	<b>39</b>
9.1 Popis modulu měření oxidu uhličitého a vlhkosti.....	40
9.2 Zapojení modulu měření oxidu uhličitého a vlhkosti.....	41
9.3 Zapojení bezkontaktního kapacitního spínače.....	42

9.4	<i>Komunikace modulu měření oxidu uhličitého a vlhkosti</i>	43
9.5	<i>Aplikační obvod pro měření koncentrace oxidu uhličitého</i>	45
9.6	<i>Měření výstupního napětí senzoru TGS 4161</i>	46
9.7	<i>Kalibrace obvodu se senzorem TGS 4161</i>	49
<b>10</b>	<b>Modul regulace vlhkosti</b>	<b>50</b>
10.1	<i>Průběh relativní vlhkosti v koupelně</i>	50
10.2	<i>Popis modulu regulace vlhkosti</i>	51
10.3	<i>Zapojení modulu regulace vlhkosti</i>	53
10.4	<i>Komunikace modulu regulace vlhkosti</i>	54
10.5	<i>Aplikační obvod pro měření vlhkosti</i>	55
10.6	<i>Možnosti kalibrace vlhkostního senzoru</i>	56
10.7	<i>Algoritmus převodu napětí na relativní vlhkost</i>	58
<b>11</b>	<b>Modul odsávání par</b>	<b>59</b>
11.1	<i>Popis modulu odsávání par</i>	61
11.2	<i>Zapojení modulu odsávání par</i>	62
11.3	<i>Komunikace modulu odsávání par</i>	63
<b>12</b>	<b>Modul řízení klapek a zvlhčovače</b>	<b>64</b>
12.1	<i>Zapojení modulu řízení klapek a zvlhčovače</i>	65
12.2	<i>Komunikace s modulem řízení klapek a zvlhčovače</i>	66
<b>13</b>	<b>Hlavní řídicí jednotka centrálního větrání</b>	<b>67</b>
13.1	<i>Zapojení hlavní řídicí jednotky centrálního větrání</i>	68
13.2	<i>Algoritmus regulace hlavní řídicí jednotky centrálního větrání</i>	69
13.3	<i>Komunikace s jednotlivými moduly centrálního větrání</i>	70
13.4	<i>Komunikace s řídicí jednotkou teplovodního vytápění</i>	70
<b>14</b>	<b>Modul webserveru</b>	<b>72</b>
14.1	<i>Zapojení modulu webserveru</i>	73
14.2	<i>Uživatelské prostředí webserveru</i>	73
<b>15</b>	<b>Závěr</b>	<b>76</b>
<b>16</b>	<b>Použitá literatura</b>	<b>77</b>
<b>17</b>	<b>Přílohy</b>	<b>80</b>



## Úvod

Stavebnictví se při plánování výstavby a rekonstrukcí budov stále více zaměřuje na snižování tepelných ztrát. K rozšíření přispěl technologický vývoj moderních tepelně izolačních materiálů, nízkoztrátových izolačních oken a dveří. Kromě úniku tepelné energie zdi obvodového pláště a zasklenými plochami dochází k ochlazení interiéru prostřednictvím větrání. Pro minimalizaci tepelných ztrát přiváděním čerstvého vzduchu, je nutné zachovat vhodný poměr mezi intenzitou větrání a dodržováním hygienických předpisů. Splnění tohoto požadavku nám umožňuje technologie systému řízeného větrání, která se již stává standardem při projektování a realizaci budov, ať už rozsáhlejších staveb nebo i rodinných domů. Pro efektivní ovládání celého systému je nutný jeho automatický chod.

Tato práce se zabývá návrhem a realizací elektronického systému centrálního větrání. První část je věnována teorii složení atmosférického vzduchu a vlivu oxidu uhličitého na člověka v interiéru budov. Popsány jsou možnosti řízeného větrání a výpočet potřebného průtoku vzduchu. Další kapitoly jsou věnovány popisu senzorů relativní vlhkosti a senzorů plynů, které jsou použity v realizovaném systému. Druhá část práce se zabývá charakteristikou tohoto systému centrálního větrání včetně detailního popisu jednotlivých modulů. Ty zajišťují monitorování kvality vzduchu v jednotlivých místnostech na základě koncentrace oxidu uhličitého a regulaci relativní vlhkosti vzduchu v obytných místnostech.

Systém centrálního větrání je navržen s ohledem na dodržení požární bezpečnosti a vyhodnocování kvality venkovního ovzduší na základě koncentrace oxidu uhelnatého. Projekt je doplněn o naměřené průběhy oxidu uhličitého a relativní vlhkosti získané při testování tohoto systému větrání v reálném rodinném domě vybaveném centrálním rozvodem vzduchu. Součástí projektu je i realizace modulu pro regulaci relativní vlhkosti v koupelně a modulu odsávání par určeného pro kuchyň s automatickým spínáním odsávání v případě zahájení vaření. Poslední kapitola popisuje uživatelské prostředí realizované pomocí webserveru s ethernetovým připojením, případně v bezdrátové variantě s připojením pomocí wifi.

## 1 Mikroklima interiéru

Člověk podstatnou část svého života stráví v interiéru. Interiér se dá považovat za část uměle vytvořeného životního prostředí, kde je snaha snížit na minimum vliv vnějšího venkovního prostředí. Mikroklima vnitřního prostředí ovlivňuje lidský organismus a ten reaguje na složení vzduchu, teplotu, vlhkost apod. Regulace těchto veličin v určitých mezích a přívod čerstvého vzduchu do interiéru je jedním z základních předpokladů zdravého bydlení.

Vnitřní klima interiéru charakterizuje:

- teplota vzduchu
- vlhkost vzduchu
- složení vzduchu
- rychlost proudění vzduchu

### Teplota vzduchu

Interiérová teplota vzduchu z pohledu tepelné pohody je určena hodnotou od 18 do 22 °C v zimním období a od 23 do 25 °C v letním období. Z hlediska tepelné pohody by neměl být rozdíl teplot v místě hlavy a nohou větší než 2 °C, ve prospěch teploty nohou.

### Vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu je jedním z podstatných parametrů komfortu. Ovšem pokud se zaměříme na interiérové prostředí s teplotou kolem 20 °C, není člověk téměř schopen rozlišit rozdíl vlhkosti v rozmezí 35 až 60 %. Tyto hodnoty jsou definovány jako přípustné hranice vlhkosti, přičemž za ideální hodnotu je považována vlhkost 45 %.

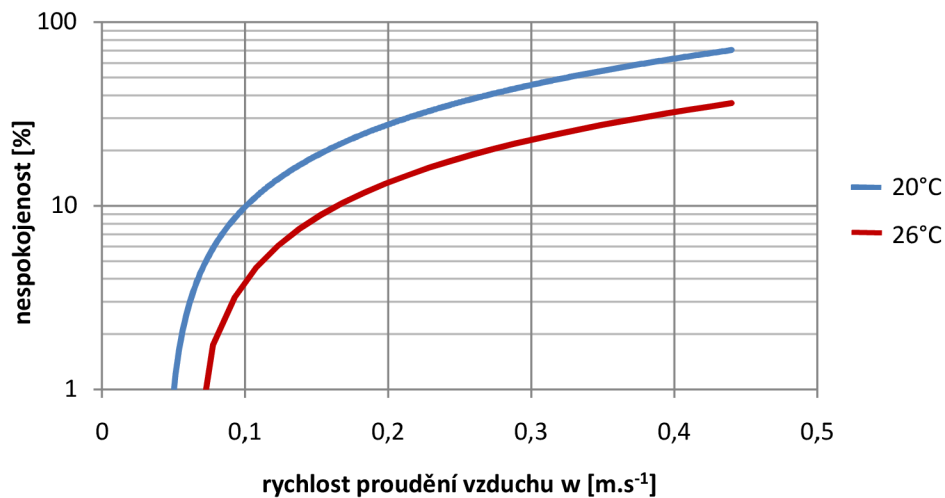
### Složení vzduchu

Čistota vzduchu v interiéru s nízkou koncentrací oxidu uhličitého přináší zvýšení komfortu. Člověk při dýchání spotřebovává kyslík a produkuje oxid uhličitý. V místnosti postupně dochází ke snižování kvality vzduchu. Proto je nutné zajistit pravidelnou výměnu vzduchu a snižování koncentrace oxidu uhličitého v obytných místnostech.

### Rychlost proudění vzduchu

Člověk je velmi citlivý na pohyb vzduchu v interiéru, zvláště pokud má přiváděný vzduch nižší teplotu nežli teplota vzduchu v interiéru. Pro teploty 19 až 21 °C je hygienicky doporučená rychlost proudění vzduchu 0,1 až 0,2 m.s<sup>-1</sup>. Vyšší hodnoty proudění jsou akceptovány pouze pro vyšší teploty.

Graf na obr. 1 znázorňuje závislost rychlosti proudění vzduchu při různých teplotách na stavu spokojenosti osob v místnosti (dáno hygienickými požadavky). Orientační hodnoty rychlosti proudění vzduchu v oblasti pobytu osob uvádí tabulka 1.



Obr. 1 Znárodnění závislosti rychlosti proudění vzduchu na stavu spokojenosti osob

Rychlost proudění vzduchu a jeho vnímání člověkem je důležitým parametrem při navrhování technických vlastností systému centrální cirkulace vzduchu. S ohledem na komfort v interiéru je znatelně omezena horní hranice objemového průtoku přiváděného čerstvého vzduchu do interiéru.

Tabulka 1: Rychlost proudění vzduchu v oblasti pobytu osob

$w$ [m.s <sup>-1</sup> ]	Hodnocení	Použití
0 - 0,1	stagnující vzduch, pocit dusna	nedoporučuje se
0,125	ideální proudění	běžné použití
0,125 - 0,25	vyhovuje, 0,25 nejvyšší přípustná hodnota	běžné použití
0,33	nevhodné, proud vzduchu unáší lehké věci	ve velkých prostorách
0,4 - 1,5	pouze v průmyslových prostorech	ochlazování proudem vzduchu

## 2 Teorie větrání

Větrací technika má za úkol zajistit obnovu vzduchu v interiéru. Výměna vzduchu je prováděna pomocí pohybu vzduchu, který je vyvolán tlakovým rozdílem. Podle způsobu vyvolání tlakového rozdílu rozlišujeme druhy větrání:

### Přírozené větrání

Pohyb vzduchu je vyvolán přírodními silami, teplý vzduch s menší hustotou následkem gravitace stoupá a chladnější vzduch má naopak tendenci klesat. Základní podmínkou přírozeného větrání je, že hustota vzduchu v interiéru  $\rho_1$  se nerovná hustotě venkovního vzduchu  $\rho_2$ . Jedná se o běžně známé větrání okny, netěsnosti stavební konstrukce apod.

$$\rho_1 \neq \rho_2 \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (2.1)$$

$\rho_1$  - hustota vzduchu v interiéru  
 $\rho_2$  - hustota venkovního vzduchu

### Nucené větrání

Pohyb vzduchu je vyvolán uměle pomocí ventilační soustavy, díky které je možné regulovat množství přiváděného vzduchu a ovlivňovat tak jeho kvalitu v místnosti bez zbytečných úniků tepla. Ventilační soustava se nejčastěji skládá z ventilátoru, vzduchodůů, filtrů, výměníků tepla a případně zvlhčovačů vzduchu.

### 2.1 Základní požadavky na větrací systém

- Průtok vzduchu pro větrání musí být takový, aby koncentrace oxidu uhličitého  $CO_2$  byla trvale pod hranicí nejvyšší povolené meze.
- Rychlost proudění vzduchu nesmí být větší než doporučený hygienický předpis, tedy nesmí docházet k obtěžování osob nadměrnou rychlostí proudění vzduchu.
- Minimální množství venkovního vzduchu přiváděného do místnosti má splňovat

25  $m^3 \cdot h^{-1}$  na osobu v klidu  
35  $m^3 \cdot h^{-1}$  na osobu ve stoje a při chůzi  
60  $m^3 \cdot h^{-1}$  na osobu při těžké fyzické práci

Určení celkového průtoku větracího vzduchu

$$V_V = n_L \cdot d \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (2.2)$$

$V_V$  - objemový průtok čerstvého vzduchu [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]  
 $n_L$  - počet osob  
 $d$  - dávka vzduchu na osobu [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]

V případě venkovních teplot nižších než  $0^\circ C$  je možné snížit množství přiváděného vzduchu na minimální hodnotu  $15 m^3 \cdot h^{-1}$ .

## 2.2 Způsoby elektronického řízení ventilace

Způsoby elektronického řízení ventilace budov je možné rozdělit na dvě základní skupiny, časové řízení výměny vzduchu po předem stanovenou dobu a systémy s řízením na základě obsahu oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> v interiéru budovy.

### Časové řízení

Běžné ventilační systémy pracují pouze na základě časového běhu. Objemové množství přiváděného čerstvého vzduchu je tak konstantně nastaveno a s určitým, opět konstantním, časovým krokem je prováděna výměna vzduchu. Bez ohledu na skutečnou kvalitu vzduchu a počet osob v místnosti, které vydýchávají vzduch. Tím dochází k nedostatečné výměně vzduchu nebo naopak při neobsazené místnosti k nadbytečnému větrání a následně nesmyslnému odvodu tepelné energie z interiéru. Tento způsob řízení je značně neekonomický a je stále více nahrazován novým systémem využívajícím měření koncentrace CO<sub>2</sub>.

### Řízení s měřením CO<sub>2</sub>

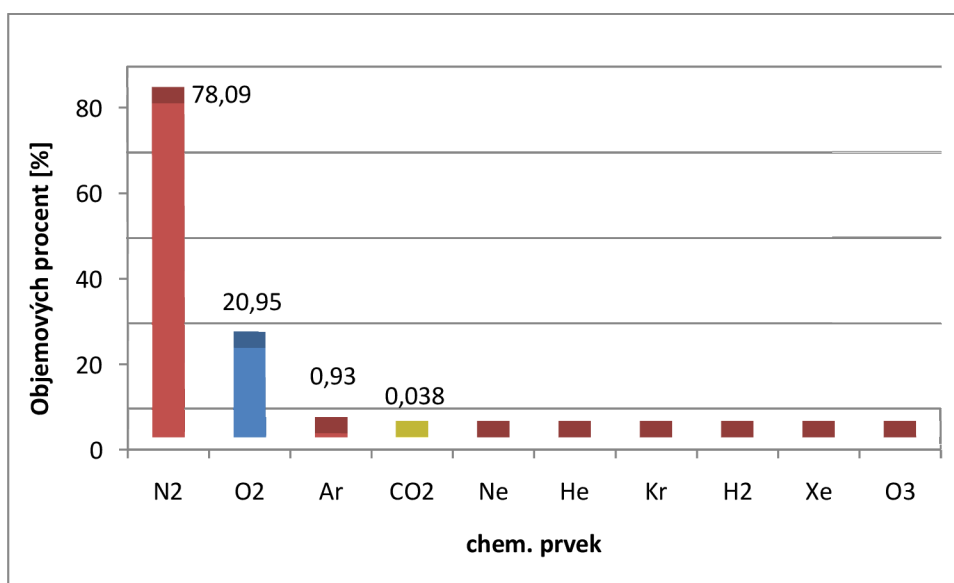
Pokud se zaměříme jen na nutnou výměnu vzduchu a zároveň si dáme za cíl splňovat hygienické požadavky na výměnu vzduchu, musíme být schopni rozeznat aktuální kvalitu vzduchu v interiéru. Vhodný indikátor kvality vzduchu z pohledu vydýchanosti je koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Člověk svým dýcháním spotřebovává kyslík O<sub>2</sub> a produkuje oxid uhličitý CO<sub>2</sub>. V místnosti, která se dá považovat za uzavřený prostor, dochází ke zvyšování koncentrace CO<sub>2</sub>. Na základě této měřitelné hodnoty jsme schopni rozpoznat, kdy je nutné spustit ventilační systém a zahájit přívod čerstvého vzduchu do místnosti. Zajistíme tak spolehlivou výměnu vzduchu s dodržáním hygienických požadavků a zároveň budeme provádět výměnu vzduchu automaticky bez toho, aby docházelo u lidí obývajících místnost k nepříjemnému pocitu vydýchaného vzduchu.

### 3 Atmosférický vzduch

Z chemického hlediska je složení vzduchu zemské atmosféry tvořeno směsí různých plynů, kde největší podíl 78 % má dusík, 21 % kyslík, 1% argon, 0,038 % oxid uhličitý, vodní páry a další vzácné plyny. Jednotlivé prvky obsažené v atmosférickém vzduchu včetně jejich objemového a hmotnostního obsahu a molekulové hmotnosti zobrazuje tabulka 2. Grafické znázornění, kde nejdůležitějším prvkem z hlediska větrání jsou objemové obsahy kyslíku O<sub>2</sub> a oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> jsou na obr. 2.

Tabulka 2: Složení atmosférického vzduchu

Prvek	Chemická značka	Obsah		Molekulová hmotnost Kg.kmol <sup>-1</sup>
		objemových %	hmotnostních %	
dusík	N <sub>2</sub>	78,09	75,5	28,016
kyslík	O <sub>2</sub>	20,95	23,17	32
argon	Ar	0,93	1,286	39,944
oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	0,038	0,043	44,01
neon	Ne	1,8.10 <sup>-3</sup>	1,2.10 <sup>-3</sup>	20,183
helium	He	5,24.10 <sup>-5</sup>	7,0.10 <sup>-5</sup>	4,003
krypton	Kr	1,0.10 <sup>-4</sup>	3,0.10 <sup>-4</sup>	83,8
vodík	H <sub>2</sub>	5,0.10 <sup>-5</sup>	-	2,016
xenon	Xe	8,0.10 <sup>-6</sup>	4,0.10 <sup>-4</sup>	131,3
ozon	O <sub>3</sub>	1,0.10 <sup>-6</sup>	-	48



Obr. 2: Graf složení atmosférického vzduchu v objemových procentech

### 3.1 Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu obsažený v atmosférickém vzduchu. Jeho koncentrace ve venkovním ovzduší kolísá na základě probíhající vegetační sezóny. Rostliny spotřebovávají oxid uhličitý a vytváří pomocí fotosyntézy kyslík. Právě naopak, než je tomu u člověka, který při dýchání spotřebovává kyslík a produkuje oxid uhličitý. Jedná se o nedýchateľný plyn, který při vyšších koncentracích může způsobit mírně nakyslou chuť v ústech. Oxid uhličitý se také uvolňuje do ovzduší při hoření, ať už fosilních paliv jako je uhlí a ropa, tak ostatních látek.

Koncentrace oxidu uhličitého a jeho vliv na člověka zobrazuje tabulka 3. Běžně se v atmosférickém vzduchu koncentrace CO<sub>2</sub> pohybuje v rozmezí 0,036 až 0,04 % neboli 360 až 400 ppm (parts-per-million). Ve vnitřních prostorech je doporučeno udržovat hladinu CO<sub>2</sub> pod 1000 ppm, kdy ještě nedochází k negativním účinkům na člověka v podobě pocítování únavy a snižování soustředění. Definice vydýchaného vzduchu je stanovena, pokud koncentrace překročí hodnotu 1500 ppm, tzv. Pettenkoferovo pravidlo. Ze zdravotního hlediska je považována maximální bezpečná hranice 5000 ppm.

Tabulka 3: Koncentrace CO<sub>2</sub> a jeho vliv na člověka

Koncentrace CO <sub>2</sub>	Hodnocení
360 – 400 ppm	čerstvý vzduch v přírodě
800 – 1000 ppm	doporučená úroveň CO <sub>2</sub> ve vnitřních prostorech
1000 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování soustředění
1500 ppm	znehodnocený (vydýchaný) vzduch, Pettenkoferovo pravidlo
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
35000 – 50000 ppm	vydechovaný vzduch dospělého člověka

Vztah 3.1 uvádí postup výpočtu potřebného objemového průtoku čerstvého vzduchu na jednu osobu.

$$V_x = \frac{V_d \cdot k_d}{k_{\max} - k_{ovz}} \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (3.1)$$

$V_d$  - objemový průtok vzduchu vydechovaný jedním člověkem

$k_d$  - koncentrace CO<sub>2</sub> ve vydechovaném vzduchu

$k_{\max}$  - maximální koncentrace CO<sub>2</sub>

$k_{ovz}$  - koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší

Výpočet potřebného objemového průtoku vzduchu při fyzické činnosti na osobu.

$$V_{x1} = \frac{0,5 \cdot 0,04}{0,0015 - 0,0004} = 18,2 m^3 \cdot h^{-1}$$

Výpočet potřebného objemového průtoku vzduchu při běžném pobytu v domácnosti na osobu.

$$V_{x2} = \frac{0,4 \cdot 0,04}{0,0015 - 0,0004} = 14,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Pokud uvažujeme koncentraci CO<sub>2</sub> venkovního vzduchu k<sub>ovz</sub>=400 ppm, maximální koncentraci vzduchu v interiéru na horní přípustné hodnotě k<sub>max</sub>=1500 ppm, koncentraci vydechaného vzduchu člověka k<sub>d</sub>=40000 ppm a objemový průtok vydechaného vzduchu jedné osoby při fyzické činnosti V<sub>d1</sub>=0,5 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> a pro běžný pobyt v domácnosti V<sub>d2</sub>=0,4 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, dojdeme výpočtem k hodnotám objemového průtoku 18,2 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> při fyzické činnosti a 14,5 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> pro běžný pobyt v domácnosti na jednu osobu, což jsou hranice objemového průtoku, pod které by neměl v žádném případě ventilační systém při své činnosti klesnout.

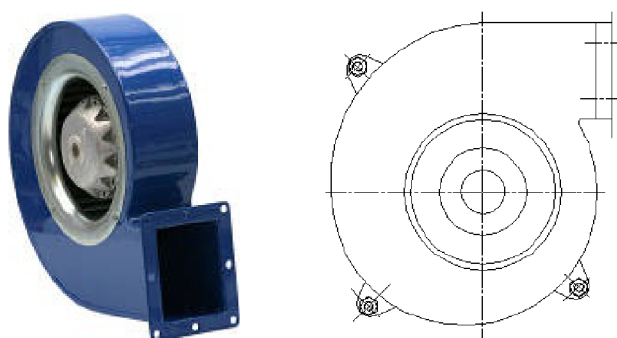


## 4 Ventilátory

Ventilátor je hlavním stavebním prvkem ventilačního systému. Zajišťuje spolu se vzduchovodem přívod vzduchu do místností (přetlakové větrání), případně odvod vydýchaného nebo znečištěného vzduchu z místnosti (podtlakové větrání). Základní rozdělení běžně používaných ventilátorů podle průtoku vzduchu je na radiální a axiální.

### Radiální ventilátory

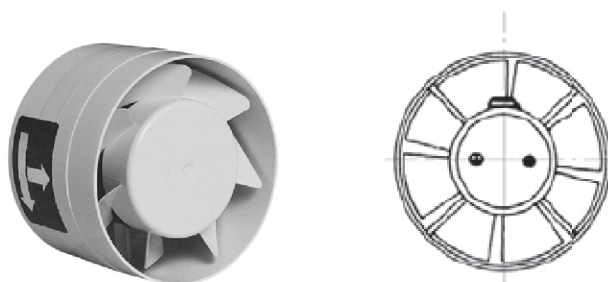
Vzduch je nasáván v axiálním směru pomocí lopatek oběžného kola. Oběžné kolo je uloženo ve spirálové skříni, která plní funkci difusoru a dochází tak k přeměně kinetické energie vzduchu na tlakovou. Výfuk ze skříňe je v kolmém směru na osu rotace.



Obr. 3: Radiální ventilátor, Atas Náchod

### Axiální ventilátory

Ventilátor se skládá z rotoru s oběžnými lopatkami a statoru zajišťující vtok vzduchu do oběžného kola. Vzduch proudí ve směru osy otáčení oběžného kola, které je tvořeno lopatkami.



Obr. 4: Axiální ventilátor, Elektrodesign ventilátory

Z uvedené teorie o vzduchotechnice vyplývá, že je nutné měnit rychlost proudění a objemový průtok přiváděného vzduchu do místnosti. Tento požadavek je možné zajistit elektronickou regulací otáček ventilátoru.

## 5 Struktura systému centrální cirkulace vzduchu

Navržený automatický systém centrální cirkulace vzduchu je rozdělen na jednotlivé moduly, které vzájemně komunikují po datové sběrnici. Celý systém je založen na vyhodnocování kvality vzduchu pomocí senzorů plynů. V jednotlivých místnostech je monitorována koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Kvalita nasávaného venkovního vzduchu je vyhodnocena na základě koncentrace oxidu uhelnatého CO. Systém je navíc doplněn o měření relativní vlhkosti vzduchu včetně její regulace pomocí zvlhčovače. V jednotlivých místnostech jsou umístěny senzory detekující vznik požáru, aby se v případě nebezpečí uzavřel ventilační systém a zabránilo se tak přívodu kyslíku.

### 5.1 Popis navrženého systému

Obrázek č. 5 zobrazuje blokové schéma automatického systému centrální cirkulace vzduchu, které je rozděleno do několika samostatných modulů:

- Hlavní řídicí jednotka centrální cirkulace vzduchu
- Modul měření čistoty vzduchu, teploty a vlhkosti
- Modul měření oxidu uhličitého a vlhkosti
- Modul regulace vlhkosti
- Modul řízení klapky a zvlhčovače
- Modul odsávání par

Nejvýznamnějším prvkem celého systému je mikroprocesor hlavní řídicí jednotky, který komunikuje s okolím pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit). Sběrnice je rozdělena na dva samostatné okruhy. Na jednom okruhu jednotka komunikuje s vlastními moduly ventilačního systému, zde se chová jako master. Na druhém okruhu komunikuje s řídicí jednotkou teplovodního vytápění (realizováno v rámci bakalářské práce), řídicí jednotka ventilace se chová jako slave.

Modul měření čistoty venkovního vzduchu slouží pro monitorování klimatických podmínek ve venkovním prostředí. Modul provádí měření koncentrace oxidu uhelnatého CO, relativní vlhkosti a teploty venkovního vzduchu. Hlavní řídicí jednotka na základě informace o čistotě venkovního vzduchu povoluje nasávání vzduchu do obytných místností.

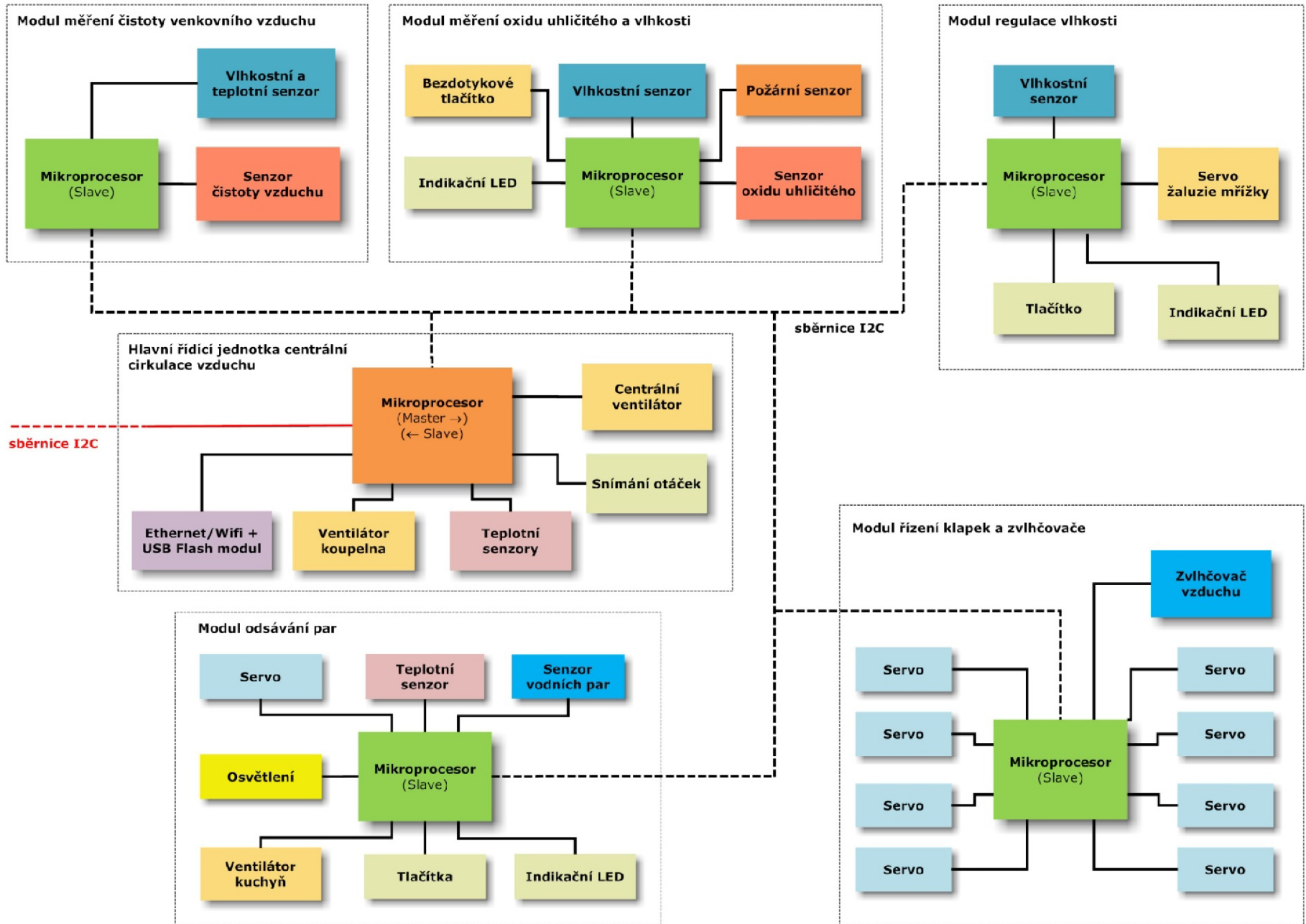
Modul měření oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> a vlhkosti je umístěn v obytných místnostech. V testovaném objektu byly použity tři moduly. Modul monitoruje koncentraci oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>, který určuje míru vydýchanosti vzduchu v dané místnosti. Provádí měření relativní vlhkosti vzduchu a v případě nízké vlhkosti je aktivován zvlhčovač vzduchu. Uživatel má možnost zahájit manuální větrání dané místnosti pomocí bezkontaktního kapacitního tlačítka. Modul umožňuje připojení certifikovaného požárního hlásiče pro rozeznání vzniku požáru v jednotlivých místnostech a v případě nebezpečí je uzavřen ventilační systém. Tím dojde k zastavení přívodu vzduchu a především kyslíku podporujícího hoření.

Modul regulace vlhkosti je určen pro automatické odvětrávání vlhkosti v koupelně. V případě překročení relativní vlhkosti nad hodnotu 70 % dojde k automatickému zahájení odvětrávání. Modul pomocí servopohonu ovládá žaluzie ventilační mřížky a předává příkaz pro sepnutí ventilátoru koupelny hlavní řídicí jednotce. Ten pracuje v podtlakovém režimu a odvádí tak vlhkost mimo budovu. Modul obsahuje tlačítko pro aktivování časovaného odvětrávání zápachů.

Modul řízení klapek a zvlhčovače slouží k zajištění distribuce vzduchu v objektu a k ovládní zvlhčovače vzduchu pro regulaci vlhkosti v obytných místnostech. Pomocí výkonových tranzistorů je možné ovládat až 8 servopohonů napájených stejnosměrným napětím včetně diagnostiky odběru proudu a polohy ovládané klapky.

Hlavní řídicí jednotka komunikuje s popsanými moduly pomocí datové sběrnice I<sup>2</sup>C. Provádí vlastní algoritmus regulace kvality vzduchu a regulaci relativní vlhkosti v místnostech prostřednictvím zvlhčovače vzduchu. Řídicí jednotka upravuje výkon centrálního ventilátoru pomocí fázové regulace a mění tak rychlost proudění vzduchu přiváděného do místností. Umožňuje připojení teplotních senzorů DS18B20 pro měření vzduchu ve ventilačním rozvodu. Na základě informace od modulu regulace vlhkosti spíná ventilátor umístěný v koupelně. Jednotka navíc obsahuje modul pro ukládání naměřených hodnot na běžnou uživatelskou USB flash paměť. Dalším prvkem systému je modul s vestavěným web serverem, který je realizován ve variantě s ethernetovým připojením nebo bezdrátově pomocí wifi. Tím je uživateli poskytnuto přívětivé prostředí, umožňující nastavování a vyhodnocování chodu ventilačního systému. V případě místní sítě s možností připojení na Internet s veřejnou IP adresou (Internet Protocol) je umožněna vzdálená správa systému odkudkoliv na světě.

Obr. 5: Blokové schéma automatického systému centrální cirkulace vzduchu



## 6 Vlhkostní senzory

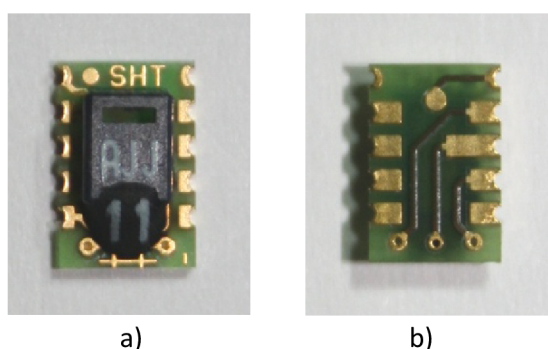
Relativní vlhkost vzduchu patří mezi veličiny ovlivňující mikroklima interiéru. Pro převod relativní vlhkosti na elektrickou veličinu používáme vlhkostní senzory, které se liší svou konstrukcí a použitým typem materiálu. Materiály mění své elektrické vlastnosti v závislosti na vlhkosti, nejčastěji se používají porézní materiály. Elektrické vlastnosti se mění na základě absorpce vody v pórech. Vyhodnocení je možné provádět měřením změny vodivosti nebo kapacity. Nejpoužívanější materiály pro vlhkostní senzory:

- polymerní sloučeniny
- hydrotalcitní protonické vodiče
- cermetové pasty, např. SnO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Měření vlhkosti s odporovými senzory je možné provádět přímou nebo nepřímou metodou. Přímé měření se používá pro měření vlhkosti pevných nebo sypkých látek. V této práci se zaměříme na měření nepřímou metodou, které se používá pro měření vlhkosti vzduchu. Základní vlastností materiálů pro odporové vlhkostní senzory je jejich schopnost vratnosti děje při změně vlhkosti. V následujících kapitolách jsou detailně popsány dva typy elektronických vlhkostních senzorů.

### 6.1 Inteligentní vlhkostní senzor SHT11

Vlhkostní senzor SHT11 švýcarské firmy Sensirion patří do skupiny inteligentních senzorů. Jedná se o precizní kalibrované čidlo vlhkosti a také teploty na jednom čipu, který také obsahuje digitální část podporující komunikaci po dvou vodičové datové sběrnici. Senzor je vybaven 14 bitovým analogově digitálním převodníkem a kalibrační pamětí. Každý senzor je výrobcem kalibrován ve vlhkostní komoře a kalibrační data jsou uložena do paměti. Výsledek naměřené vlhkosti je automaticky korigován s ohledem na uložená kalibrační data. Senzor je zapouzdřen do speciálního pouzdra, jako nosný prvek je použit substrát z materiálu FR4 s pozlacenými kontaktními ploškami. Senzor splňuje předepsané směrnice RoHS a WEEE.



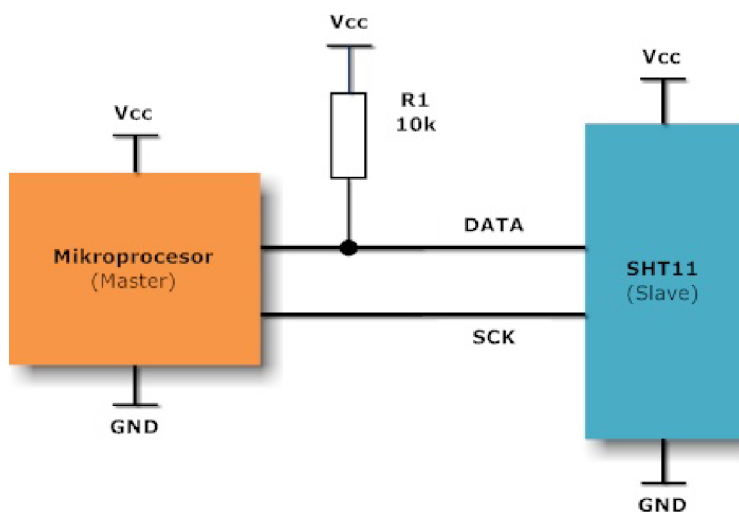
Obr. 6: Vlhkostní senzor SHT11, a) pohled z přední aktivní strany; b) pohled ze zadní strany

Tabulka 4: Technické parametry vlhkostního senzoru SHT11

Elektrické vlastnosti:	
Napájecí napětí	2,4 až 5,5 V
Spotřeba při měření	3 mW
Spotřeba při spánku	2 až 5 $\mu$ W
Měření vlhkosti:	
Rozlišení	0,03 %
Přesnost	$\pm$ 3 %
Opakovatelnost	$\pm$ 0.1 %
Rozsah měření	0 až 100 %
Doba odezvy	8 s
Měření teploty:	
Rozlišení	0,01 $^{\circ}$ C
Přesnost	0,4 $^{\circ}$ C
Opakovatelnost	$\pm$ 0.1 $^{\circ}$ C
Rozsah měření	-40 až 120 $^{\circ}$ C
Doba odezvy	5 až 30 s

Senzor je vyráběn v několika provedeních podle přesnosti měření a tvaru pouzdra. Do projektu byla vybrána varianta senzoru SHT11 s přesností měření  $\pm$ 3 %, která je výhodná s ohledem na poměr cena/kvalita. Tento vlhkostní senzoru je použit k měření relativní vlhkosti a teploty venkovního vzduchu a je součástí modulu měření čistoty vzduchu.

Komunikace se senzorem probíhá po dvou vodičové datové sběrnici, která je svou strukturou podobná sběrnici I<sup>2</sup>C. Hodinový signál se přivádí na pin označený SCK (Serial Clock), který slouží k synchronizaci komunikace mezi mikroprocesorem a senzorem SHT11. Doporučená frekvence hodinového signálu je 100 kHz, ovšem v případě nutnosti rychlejší komunikace senzor podporuje frekvence až 1 MHz. Vlastní přenos dat probíhá pomocí vývodu označeného DATA (Serial Data), na který je nutné připojit zdvihací (pull-up) rezistor o doporučené hodnotě 10 k $\Omega$ . Senzor podporuje příkazy uvedené v tabulce 5.



Obr. 7: Nákres zapojení senzoru SHT11 a mikroprocesoru

**Tabulka 5: Příkazy vlhkostního senzoru SHT11**

Příkaz	Data
Rezervováno	0000x
Měření teploty	00011
Měření vlhkosti	00101
Čtení status registru	00111
Zápis do status registru	00110
Rezervováno	0101x – 1110x
Soft reset	11110

Příkaz „soft reset“ provede reset senzoru a nastaví status registr do výchozích hodnot. Po tomto příkazu senzor reaguje na další příkazy až po min. 11 ms. Význam jednotlivých bitů status registru zobrazuje tabulka 6. Ve sloupci typ je uvedeno, který bit je možné číst R (Read) a do kterého je možné zapisovat (W - Write). Nejméně významný bit slouží pro definování požadovaného rozlišení analogově digitálního převodníku. Nastavení současně ovlivňuje rozlišení pro měření vlhkosti a teploty. Při logické nule je použito rozlišení 12bit pro vlhkost a 14bit pro teplotu. Tohoto nejvyššího rozlišení také používá modul venkovního senzoru použitý v tomto projektu centrální cirkulace vzduchu. Bit 1 slouží pro definování použití kalibračních dat zapsaných výrobcem, které v případě použití zvyšují přesnost měření vlhkosti.

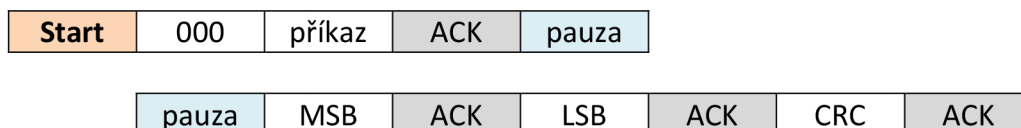
Senzor je také vybaven vyhříváním, aby se zabránilo případné kondenzaci vlhkosti v prostředí s vysokou vzdušnou vlhkostí. Vyhřívání se zapíná pomocí bitu 2 nastavením do logické jedničky, tím dojde ke zvýšení teploty o 5 až 10 °C a samozřejmě také nárůstu spotřeby o 8 mA při napájení napětím 5 V. Bity 3 až 5 a bit 7 nejsou využity a je doporučeno zanechat jeho hodnotu v logické nule. Bit 6 slouží k detekci poklesu napájecího napětí pod 2,47 V (indikováno log. 1).

**Tabulka 6: Status registr popis jednotlivých bitů**

Bit	Typ	Popis	Výchozí hodnota	Poznámka
7	-	rezervován	0	
6	R	pokles napětí	x	0 - Vdd > 2,47 V; 1 - Vdd > 2,47
5	-	rezervován	0	
4	-	rezervován	0	
3	-	nepoužívat	0	
2	R/W	vyhřívání	0	0 - vypnuto; 1 - zapnuto
1	R/W	použití kalibr. paměti	0	0 - povoleno; 1 - zakázáno
0	R/W	rozlišení měření	0	0 - 12bit vlhk./14bit tepl.; 1 - 8bit vlhk./12bit tepl.

## 6.2 Ukázka komunikace se senzorem SHT11

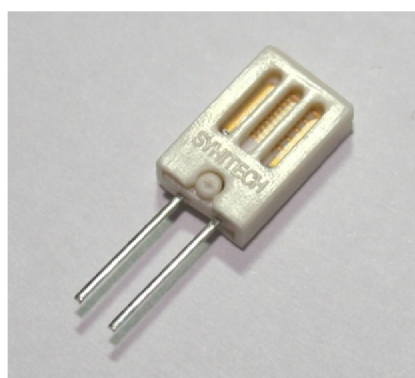
Zahájení komunikace provede mikroprocesor vysláním Start sekvence, následuje adresa senzoru „000“ a 5 bitový příkaz viz tabulka 5. Poté senzor vyšle potvrzovací bit ACK (Acknowledge), sběrnice je uvolněna a držena pomocí zdvihacího (pull-up) rezistoru v logické jedničce. Po provedení příkazu senzor nastaví na pinu DATA logickou nulu a potom mikroprocesor může obnovit komunikaci generováním hodinového signálu a zahájit čtení dat od senzoru. Nejprve je vyslán MSB a poté LSB bit, tyto bity je nutné potvrdit bitem ACK a nakonec kontrolním CRC (Cyclic Redundancy Check) součtem. Detailnější popis viz datasheet SHT11 [29].



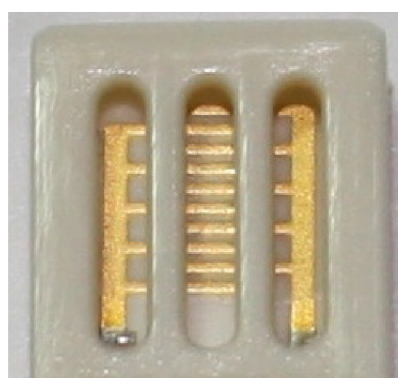
Obr. 8: Ukázka komunikace vyslání příkazu mikroprocesorem a odpověď senzoru

## 6.3 Odporový vlhkostní senzor SYH-2S

Vlhkostní senzor korejské firmy Samyoung patří do skupiny odporových senzorů s možností měření vlhkosti v rozmezí 20 až 95 %. Chyba měření se v uvedeném rozsahu pohybuje v rozmezí  $\pm 5\%$ , při pokojové teplotě dosahuje chyby pouze  $\pm 2\%$ . Pro správnou funkci senzoru je nutné použít měřicí střídavý signál o efektivním napětí  $1 V_{RMS}$  a frekvenci kolem 1 kHz. Odezva senzoru je menší než 60 s v rozmezí relativní vlhkosti 40 až 80 %. Při vyšších vlhkostech je samozřejmě reakce na změnu vlhkosti prodloužena, pokud dojde ke kondenzaci vlhkosti na senzoru. Opakovatelnost měření je výrobcem zaručena v toleranci  $\pm 2\%$  v rozmezí 40 až 80 %. Tabulka č. 7 přehledně zobrazuje vlastnosti toho odporového vlhkostního senzoru. Rozměry senzoru SYH-2S jsou 10,2 mm na šířku, 6,5 mm na výšku, tloušťka 2,9 mm a rozteč vývodů 2,54 mm.



a)



b)

Obr. 9: Odporový vlhkostní senzor SYH-2S: a) vlastní senzor; b) detail snímacích hřebínků



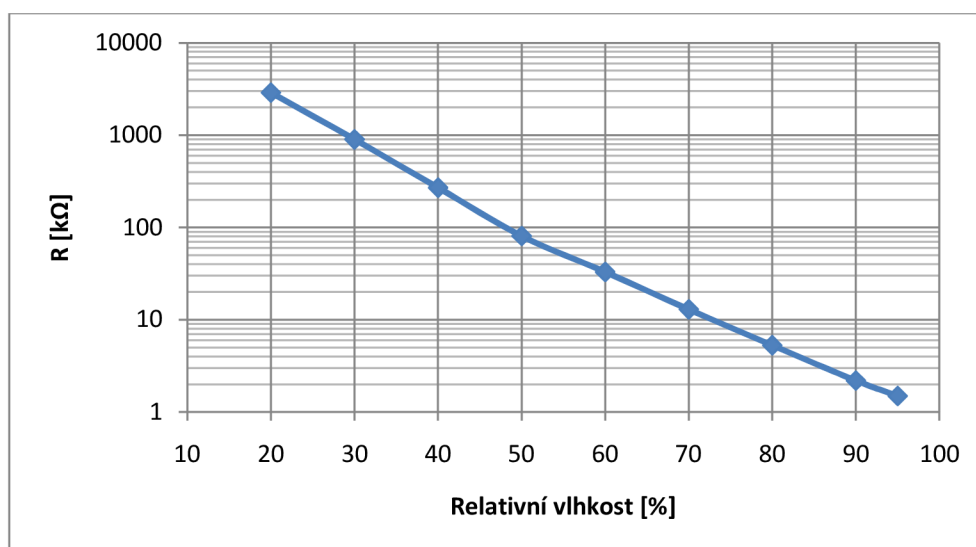
Tabulka 7: Vlastnosti odporového senzoru vlhkosti SYH-2S

<b>Měřicí signál</b>	AC 1 V <sub>RMS</sub>
<b>Měřicí frekvence</b>	cca 1 kHz
<b>Max. zatížení</b>	AC 0,22 mW
<b>Rozsah měření</b>	20 až 95 %
<b>V rozmezí teplot</b>	0 až 60 °C
<b>Chyba měření</b>	max. ±5 %
<b>Doba odezvy</b>	<60s (pro rozmezí 40 až 80 %)
<b>Opakovatelnost</b>	±2% (pro rozmezí 40 až 80 %)

Na obrázku č.9 b) je zobrazen detailní pohled na snímací hřebínky vlhkostního senzoru nanesených na keramický substrát. Odpor senzoru roste s klesající relativní vlhkostí okolního prostředí. Následující tabulka uvádí odpovídající hodnoty odporu senzoru udávaných výrobcem pro danou vlhkost, kde je zřetelná změna odporu v rozmezí 20 až 95 % o více jak 2 888 kΩ. Z grafu závislosti odporu senzoru na relativní vlhkosti vyplývá značná lineární závislost, která je výborným předpokladem pro použití senzoru v aplikaci snímače relativní vlhkosti.

Tabulka 8: Závislost vlhkosti na odporu senzoru SYH-2S

Rel. vlhkost [%]	Teplota [°C]	R [kΩ]
20	25	2890
30	25	900
40	25	270
50	25	81
60	25	33
70	25	13
80	25	5,3
90	25	2,2
95	25	1,5



Obr. 10: Závislost odporu senzoru SYH-2S na relativní vlhkosti při teplotě 25 °C

#### 6.4 Senzor vodních par TGS 2180

Senzor TGS 2180 firmy Figaro je určen pro měření obsahu vodních par ve vzduchu v rozsahu 1 až 150 g.m<sup>-3</sup>. Pouzdro senzoru a jeho konstrukce je přizpůsobena pro měření ve ztížených podmínkách. Odolává vysokým teplotám a vlhkostem nastávajícím v kuchyňských prostorech. S narůstajícím obsahem vodních par senzor zvyšuje odpor snímacího prvku. Ten má integrován vlastní vyhřívací element napájený stejnosměrným napětím 5 V a odběrem proudu 166 mA. Použitím vyhřívání se předejde kondenzaci vodních par na snímacím prvku senzoru.



Obr. 11: Senzor vodních par TGS 2180

Tabulka 9: Vlastnosti senzoru TGS 2180

<b>Rozsah měření</b>	1 - 150 g.m <sup>-3</sup>
<b>Odpor vyhřívacího elementu</b>	18±2 Ω
<b>Napětí pro vyhřívání</b>	5 V (DC)
<b>Proud vyhříváním</b>	166 mA
<b>Příkon vyhřívání</b>	830 mW
<b>Odpor senzoru</b>	23 - 145 kΩ

Pouzdro o rozměru 20 mm s největší šířkou 12 mm je vhodné pro zástavbu do odsávače par umístěného nad varnou deskou v kuchyni. Senzor TGS 2180 je použit v modulu odsávání par, který zajišťuje automatické spínání odvětrávání vlhkého vzduchu vznikajícího při vaření.

## 7 Senzory plynů

Pro vyhodnocení kvality vzduchu je nutné rozeznat obsah určitých složek plynů. Konkrétně pro vyhodnocení vzduchu v interiéru je odpovídající koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Vyhodnocení venkovního vzduchu přiváděného do interiéru je poněkud obtížnější, ovšem jistým hlediskem je koncentrace oxidu uhelnatého CO. Pro měření koncentrace CO nebo CO<sub>2</sub> a převod na elektrickou veličinu můžeme použít tři základní metody, metodu na základě absorpce infračerveného záření (NDIR, Non Dispersive Infra Red), metodu založenou na elektrochemickém principu a metodu využívající elektroakustický princip.

### **Senzory NDIR**

Pracují na principu útlumu infračerveného záření ve vzduchu. Senzor obsahuje zdroj infračerveného záření, měřicí komoru a detektor s filtrem. Využívá principu, že některé plyny, mezi něž patří i CO<sub>2</sub>, absorbují určitou vlnovou délku vysílaného signálu. Výstup z detektoru se zesílí a vyhodnotí se velikost útlumu přijatého signálu oproti signálu vysílaného ze zdroje. Na základě toho je možné určit koncentraci CO<sub>2</sub> ve vzduchu.

### **Elektrochemické senzory**

Skládají se z elektrochemického článku s tuhým elektrolytem, obsahujícím přídavné žhavení zajišťující vyhřívání struktury na pracovní teplotu. Na elektrodách článku dochází k chemickým reakcím spotřebovávajících kyslík a na základě reakce vzniká na elektrodách elektromotorické napětí. Pomocí elektroniky se vyhodnocuje velikost elektromotorického napětí, které je závislé na koncentraci reagujících plynů.

### **Elektroakustické senzory**

Využívají principu změny kmitočtu ultrazvukového signálu v mechanickém rezonátoru v závislosti na kvalitě okolního vzduchu. Elektronicky se vyhodnocuje změna kmitočtu ultrazvukových vln, která je mírou koncentrace CO<sub>2</sub>. Elektroakustické senzory se však v praxi příliš nerozšířily.

Senzory NDIR pracující s infračerveným zářením jsou schopny měřit koncentraci CO<sub>2</sub> téměř o nulových hodnotách a vynikají dlouhodobou stabilitou. Velkou nevýhodou je však jejich vysoká cena. Elektrochemické senzory vynikají vysokou citlivostí a schopností selektivity na oxid uhličitý. Navíc jsou levnější oproti sensorům NDIR. Mezi nevýhody patří nižší přesnost a schopnost měřit až od přibližně 350 ppm CO<sub>2</sub>. Vzhledem k tomu, že se koncentrace venkovního vzduchu pohybuje v rozmezí 360 až 400 ppm, je možné tyto senzory použít v navrhovaném automatickém systému centrální cirkulace vzduchu.

## 7.1 Senzor oxidu uhličitého TSG 4161

Senzor koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> s označením TGS 4161 japonské firmy Figaro patří do skupiny elektrochemických senzorů. Vyznačuje se vysokou selektivitou na oxid uhličitý. Jedná se o snímač s tuhým elektrolytem, který je umístěn mezi dvěma elektrodami. Tuhý elektrolyt povrchově detekuje CO<sub>2</sub> a následně vygeneruje elektromotorické napětí EMF (Electromotive force), úměrné koncentraci CO<sub>2</sub>. Pro správnou funkci tuhého elektrolytu je senzor vybaven topným elementem v podobě meandru z materiálu RuO<sub>2</sub> (oxid rutheničitý) naneseného na substrátu. Snímací prvek je uložen ve válcovém pouzdře, které je v horní části opatřeno mřížkou z nerezové oceli pro přívod měřeného vzduchu. Rozměry senzoru jsou 12,5 mm na výšku bez vývodů a 9,2 mm v největším průměru. Pouzdro je opatřeno čtyřmi vývody, dva vývody pro vyhřívání a zbylé dva pro snímání elektromotorického napětí odpovídající koncentraci CO<sub>2</sub>. Vývody jsou rozmístěné ve čtvercovém rastru o rozměrech 3,6 mm.



Obr. 12: Senzor oxidu uhličitého TGS 4161

Tabulka 10: Vlastnosti senzoru TGS 4161

<b>Rozsah měření CO<sub>2</sub></b>	350 až 10 000 ppm
<b>Odpor vyhřívacího elementu</b>	70 ± 7 Ω (při pokojové teplotě)
<b>Napětí pro vyhřívání</b>	5 ± 0,2 V (DC)
<b>Proud vyhřívacím elementem</b>	cca 50 mA
<b>Příkon vyhřívacího elementu</b>	cca 250 mW
<b>Elektromotorické napětí</b>	220 až 490 mV (při 350 ppm CO <sub>2</sub> )
<b>Citlivost</b>	44 až 77mV (při změně 350 až 3500 ppm CO <sub>2</sub> )
<b>Doba odezvy</b>	1,5 min (dosažení 90 % ΔEMF)
<b>Přesnost</b>	± 20 % (při 1000 ppm CO <sub>2</sub> )
<b>Pracovní teplota</b>	-10 až 50 °C
<b>Pracovní vlhkost</b>	5 až 95 %

Senzorem je možné měřit koncentraci oxidu uhličitého v rozmezí 350 až 10 000 ppm. Výstupní elektromotorické napětí senzoru se může pohybovat v rozmezí 220 až 490 mV při koncentraci 350 ppm CO<sub>2</sub>. Změna elektromotorického napětí v rozsahu 44 až 77 mV je zaručena pro změnu koncentrace 350 až 3500 ppm CO<sub>2</sub>, odpovídající koncentraci čerstvého venkovního vzduchu a značně znehodnoceného (vydýchaného) vzduchu. Podstatným parametrem senzoru je také doba odezvy odpovídající 90 s. Jedná se o zcela postačující hodnotu pro vyhodnocování kvality vzduchu v interiéru. Pro topný element jsou důležité elektrické parametry v podobě odporu 70±7 Ω při

pokožové teplotě, stejnosměrné napětí pro vyhřívání o hodnotě 5V a odpovídající proud v rozmezí 65 až 80 mA. Ovšem topný element po zahřátí zvýší svůj odpor a hodnota proudu se ustálí na výrobcem uváděných 50 mA. Příkon pro topný element se tedy pohybuje okolo 250 mW, v porovnání s ostatními senzory CO<sub>2</sub> se jedná o jeden z nejnižších příkonů.

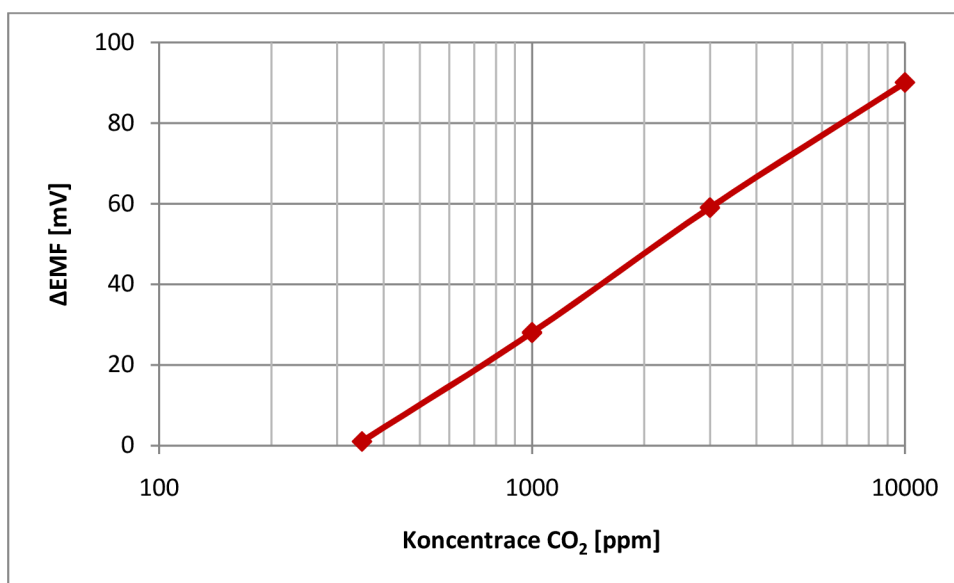
Na následujícím obrázku je zobrazen graf závislosti změny elektromotorického napětí  $\Delta EMF$  na koncentraci CO<sub>2</sub> zobrazené v logaritmickém rozložení. Hodnota  $\Delta EMF$  je určena pomocí vzorce 7.1.

$$\Delta EMF = EMF_1 - EMF_2 \quad (7.1)$$

$\Delta EMF$  - změna elektromotorického napětí

EMF1 - elektromotorické napětí při koncentraci 350 ppm CO<sub>2</sub> (v rozmezí 220 až 490 mV)

EMF2 - aktuální naměřená hodnota elektromotorického napětí



Obr. 13: Graf závislosti změny elektromotorického napětí  $\Delta EMF$  na koncentraci CO<sub>2</sub>

Velice podstatnou vlastností senzoru TGS 4161 je minimální závislost výstupního elektromotorického napětí na teplotě a také vlhkosti měřeného ovzduší. Tím je zaručena vysoká přesnost měření pro různé místnosti, kde je tento senzor nainstalován a tvoří význačný prvek celého automatického systému centrální cirkulace vzduchu.

## 7.2 Senzor čistoty vzduchu TGS 2600

Senzor čistoty vzduchu je opět z produkce firmy Figaro, která je jedním z nejvýznamnějších výrobců senzorů plynů. Senzor TGS 2600 je označován jako senzor čistoty vzduchu s charakteristickou detekcí oxidu uhelnatého CO, metanu CH<sub>4</sub>, vodíku H<sub>2</sub>, etanolu a isobutanu. Jedná se o elektrochemický senzor se snímací vrstvou z polovodiče na bázi oxidu kovů. Tato vrstva je citlivá na uvedené plyny až při vyšších teplotách, proto je senzor vybaven vyhřívacím elementem. Detekce plynu je založena na principu spotřeby volných kyslíkových vazeb absorpcí plynu, což má za následek snížení elektrického odporu snímacího prvku. Senzor zapouzdřen do válcového pouzdra

s otvory v horní části pro přívod měřeného vzduchu. Rozměry senzoru jsou 7,8 mm na výšku bez vývodů a 9,2 mm v největším průměru. Senzor je opatřen čtyřmi vývody, dva vývody pro vyhřívání a zbylé dva náleží snímacímu prvku, který mění svůj odpor v závislosti na koncentraci plynu. Vývody jsou rozmístěné ve čtvercovém rastru o rozměrech 3,6 mm.



Obr. 14: Senzor čistoty vzduchu TGS 2600

Tabulka 11: Vlastnosti senzoru TGS 2600

<b>Schopnost detekce v rozmezí koncentrace 10 až 100 ppm</b>	oxid uhelnatý CO
	metan CH <sub>4</sub>
	vodík H <sub>2</sub>
	etanol
	isobutan
<b>Odpor vyhřívacího elementu</b>	cca 83 Ω při pokojové teplotě
<b>Napětí pro vyhřívání</b>	5 ± 0,2 V (DC/AC)
<b>Proud vyhřívacím elementem</b>	42 ± 4 mA
<b>Příkon vyhřívacího elementu</b>	cca 210 mW
<b>Odpor senzoru</b>	10 kΩ až 90 kΩ ve vzduchu

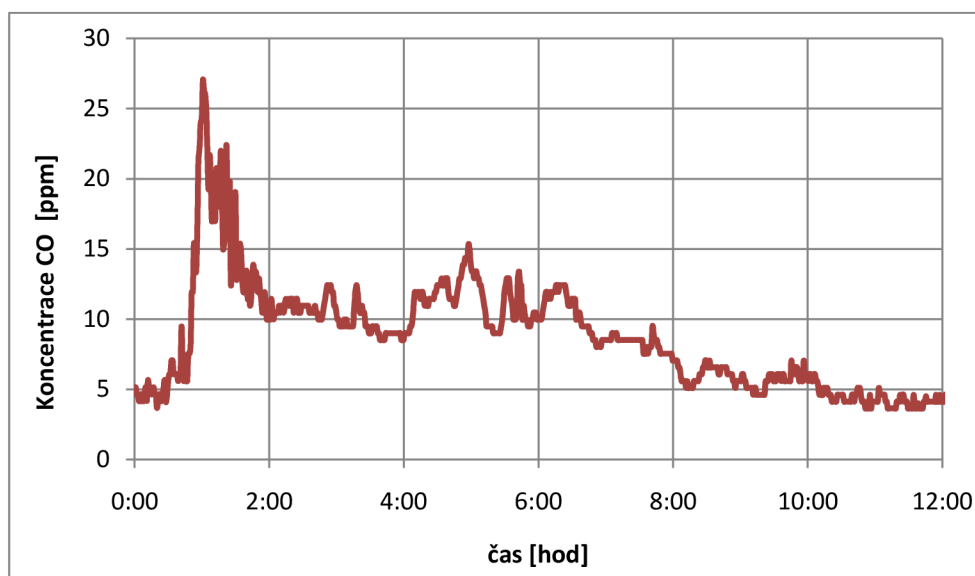
Senzor umožňuje detektovat plyny, jako je oxid uhličitý CO, metan CH<sub>4</sub>, vodík H<sub>2</sub>, etanol a isobutan v rozmezí koncentrací 10 až 100 ppm. Odpor vyhřívacího elementu je 93 Ω při pokojové teplotě. Vyhřívací element je doporučeno napájet stejnosměrným nebo střídavým napětím 5 V. Proud vyhřívacím elementem se při stejnosměrném napětí 5 V pohybuje okolo 42 mA, což odpovídá příkonu 210 mW.

Senzor je použit pro měření kvality nasávaného vzduchu z venkovního prostředí. Důležitou vlastností je jeho detekce oxidu uhelnatého CO, který vzniká při hoření a detekce metanu, obsaženého v zemním plynu. Na základě koncentrací těchto plynů hlavní řídicí jednotka rozhoduje o nasávání vzduchu z venkovního prostoru. V případě znečištěného ovzduší zakáže nasávání a zabrání tak zamoření ventilačního systému a následně místností v objektu.

## 8 Modul měření čistoty venkovního vzduchu

Automatické větrání je založeno na nasávání venkovního vzduchu pomocí ventilátoru a následné distribuci do jednotlivých místností. Ovšem kvalita venkovního ovzduší se mění s ohledem na okolní zdroje znečištění. Kvalita venkovního vzduchu je vyhodnocena na základě koncentrace oxidu uhelnatého CO. Tento plyn vzniká při nedokonalém spalování v kotlích na tuhá paliva, spalovacích motorech, v průmyslu apod. Koncentrace CO v okolí obytných zón bez silného zdroje znečištění se běžně pohybuje okolo hodnoty 5 ppm. V městských částech je silně závislá na intenzitě dopravy a znečišťujících průmyslových objektech.

Pomocí modulu měření čistoty venkovního vzduchu (popsaného níže) bylo provedeno měření kvality vzduchu v okolí testovaného rodinného domu. Měření zaznamenává průběh koncentrace oxidu uhličitého CO po dobu 12 hodin. Koncentrace se pohybuje okolo 5 ppm, poté dochází k nárůstu znečištění ovzduší v důsledku spalování tuhých paliv v sousedním domu. Míra znečištění překračuje hodnotu 25 ppm. Po 1 hodině znečištění klesá k hodnotě 10 ppm s výkyvy k 15 ppm. Po 7 hodinách od začátku zdroj znečištění slábne a koncentrace postupně klesá až k hodnotě 4 ppm odpovídající čistému prostředí.

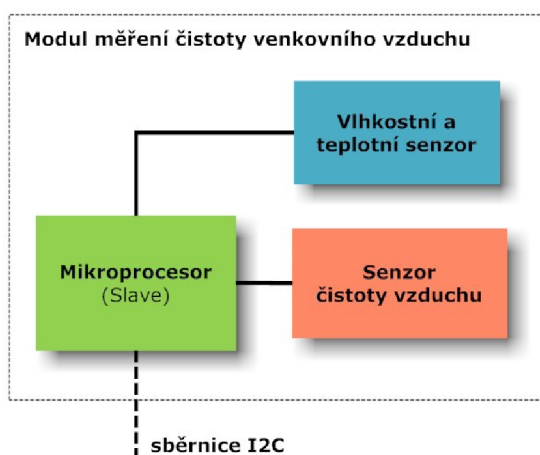


Obr. 15: Změřený průběh koncentrace CO pomocí senzoru TGS 2600

Popisované měření dokazuje nutnost použití modulu měření čistoty venkovního vzduchu v automatickém systému centrální cirkulace vzduchu. Modul odhalí stav znečištění venkovního vzduchu a po dobu působení zdroje znečištění zakáže provádění větrání jednotlivých místností. Tím se předejde přívodu znečištěného vzduchu do interiéru domu. Bez zásahu uživatele se v případě rostoucího znečištění ovzduší zastaví ventilační systém. Výměna vzduchu v interiéru je opět obnovena po snížení koncentrace CO.

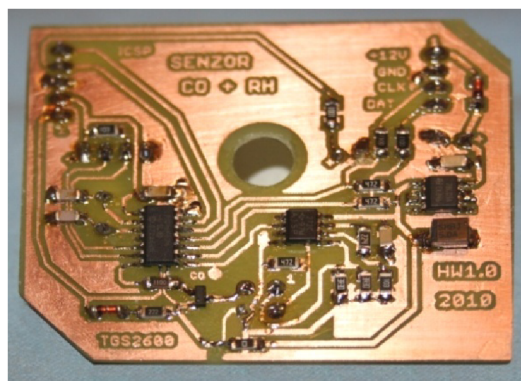
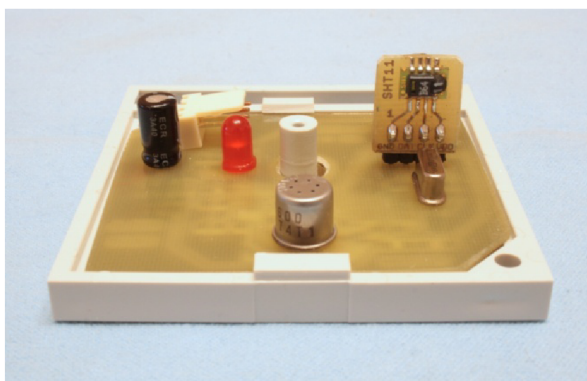
## 8.1 Popis modulu měření čistoty venkovního vzduchu

Pro měření kvality ovzduší je zkonstruován modul měření čistoty venkovního vzduchu, který provádí měření koncentrace CO pomocí senzoru TGS 2600 firmy Figaro. K měření relativní vlhkosti a teploty venkovního vzduchu je použit digitální senzor SHT11 z důvodu velkého rozsahu měřených hodnot. Tyto informace jsou vyhodnoceny mikroprocesorem PIC16F676 a následně zaslány hlavní řídicí jednotce pomocí datové sběrnice I<sup>2</sup>C.



Obr. 16: Blokové schéma modulu měření čistoty venkovního vzduchu

Zapojení modulu měření čistoty venkovního vzduchu (viz příloha) je založeno na mikroprocesoru PIC16F676, který komunikuje s kalibrovaným vlhkostním a teplotním senzorem SHT11 po vlastní datové sběrnici. Mikroprocesor je taktován externím krystalem 4 MHz. Napájecí stejnosměrné napětí 8 až 12 V se přivádí na pin 1 konektoru KON1 a zem na pin 2. Dioda D1 zajišťuje ochranu proti přepólování, napětí je stabilizováno pomocí 78L05 na hodnotu 5 V včetně ochrany pomocí transilu. Datový vodič sběrnice I<sup>2</sup>C je připojen na pin 3 a hodinový signál na pin 4. Modul je vybaven signalizační diodou, která se krátce rozsvítí při probíhajícím měření senzorů TGS 2600 a SHT11. Trvalý svit diody slouží pro zobrazení poruchového stavu v případě překročení proudu vyhřívacím elementem senzoru CO. Konektor KON2 je použit k programování mikroprocesoru PIC16F676.



Obr. 17: Modul měření čistoty vzduchu: pohled z přední strany (vlevo), pohled za strany součástek (vpravo)



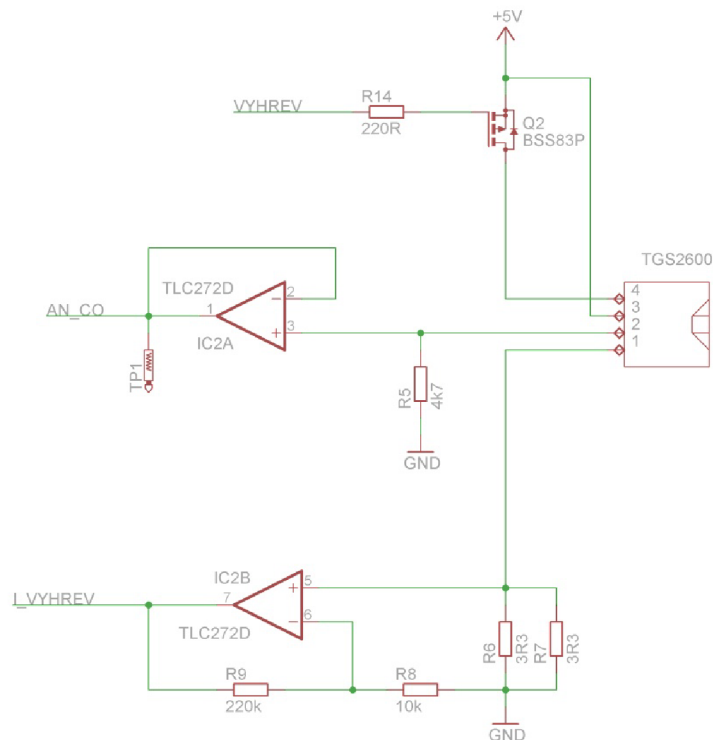
### Technické parametry:

- Napájení stejnosměrným napětím 8 až 12 V
- Pracovní stav 8 V/32 mA, klidový stav 8 V/6 mA
- Ochrana proti přepólování napájecího napětí
- Komunikace na sběrnici I<sup>2</sup>C v režimu slave

Modul je přizpůsoben pro zástavbu do krabičky KM-84 o rozměru 70 x 70 mm a výšce 25 mm. Plošný spoj je realizován jako jednostranný s použitím kombinace SMD a vývodových součástek. Senzor SHT11 je připájen na samostatný plošný spoj a k modulu je připojen pomocí svorky SV1. Oddělení je použito z důvodu snížení přenosu tepla vznikajícího při vyhřívání senzoru TSG 2600. Konektor pro připojení napájení a sběrnice I<sup>2</sup>C je zvolen jako vývodový se zahnutými kontakty pod úhlem 90°.

### 8.2 Aplikační obvod pro měření čistoty venkovního vzduchu

Senzor TGS2600 je použit pro měření kvality ovzduší a je součástí modulu měření čistoty venkovního nasávaného vzduchu. Část zapojení tohoto modulu je zobrazena na následujícím schématu. Vyhřívání senzoru TGS 2600 na pinu 4 je spínáno pomocí P-MOS tranzistoru BSS83P, který je řízen mikroprocesorem. Odporů R6 a R7 společně s operačním zesilovačem IC2B slouží ke snímání proudu vyhřívacím elementem. Při překročení proudu nad hodnotu 200 mA je vyhřívání odpojeno a zapsána chyba v diagnostickém registru. Na pin 3 je přivedeno stejnosměrné napětí 5 V na snímací vrstvu senzoru. Výstupní napětí senzoru na pinu 2 je uzemněno přes rezistor R5 a přivedeno na vstup operačního zesilovače IC2A zapojeného jako sledovač. Výstupní napětí operačního zesilovače je přivedeno na 10 bitový A-D převodník s připojeným referenčním napětím 5V.



Obr. 18: Schéma obvodu pro měření čistoty vzduchu se senzorem TGS 2600

### 8.3 Komunikace modulu měření čistoty venkovního vzduchu

Modul měření čistoty venkovního vzduchu komunikuje s hlavní řídicí jednotkou po datové sběrnici I<sup>2</sup>C. Pro modul je určena adresa 1110101X kde X odpovídá log. 0 pro zápis dat a log. 1 pro čtení dat z modulu. Zasláním příkazu A0<sub>16</sub> získáme informaci o změřené relativní vlhkosti v jednotkách % a příkazem A1<sub>16</sub> o napětí na senzoru TGS 2600. Dvoubajtová informaci o teplotě ze senzoru SHT11 je zaslána po obdržení příkazu A2<sub>16</sub>.

Tabulka 12: Příkazy pro modul měření čistoty venkovního vzduchu

Příkaz	hex	bin	čtení R / zápis W	odpověď
Relativní vlhkost	A0	10100000	R	hodnota v jednotkách %
Koncentrace CO	A1	10100001	R	napětí na senzoru CO
Teplota	A2	10100010	R	data ze senzoru SHT11
Info1	B2	10110010	R/W	registr info1

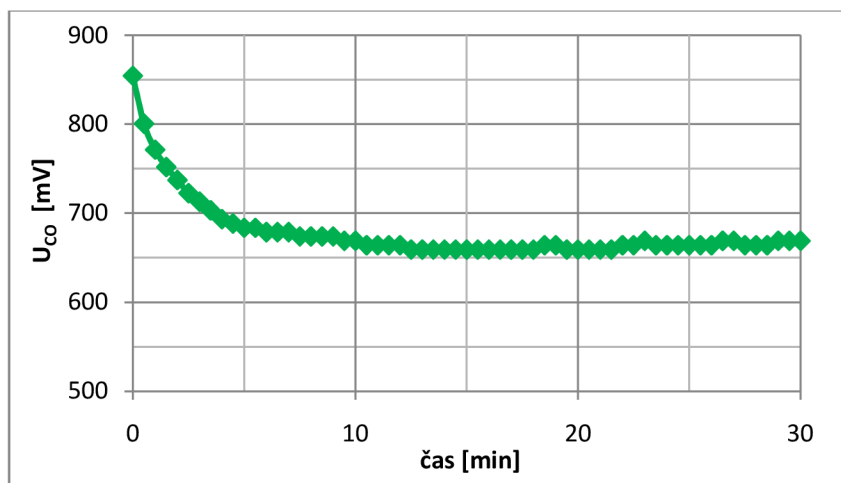
Poslední příkaz B2<sub>16</sub> slouží k čtení hodnot z informačního registru, kde první tři bity nejsou použity a jsou čteny jako log. 0. Informace o stavu informační LED je možné číst na bitu 3, stav rozsvíceno je reprezentován log. 1. Bit 4 slouží k diagnostice stavu vyhřívání senzoru TGS 2600, v případě překročení proudu vyhřívacím elementem nad 200 mA je tento bit nastaven do log. 1. Zároveň je z důvodu nadproudu odpojeno vyhřívání a rozsvícena indikační LED pro zobrazení stavu poruchy. Popisovaný modul je podřízen hlavní řídicí jednotce, která nastavením bitu 7 do log. 1 dává příkaz pro zahájení měření CO, vlhkosti a teploty a po dokončení měření je bit 6 nastaven do log. 1.

Tabulka 13: Modul měření čistoty venkovního vzduchu – registr Info1

Info1				
bit7	W	příkaz měřit	0 - neaktivní	1 - aktivní
bit6	R	změřeno	0 - ne	1 - ano
bit5	R		-	
bit4	R	senzor CO <sub>2</sub> výhřev	0 - v pořádku	1 - nadproud
bit3	R	indikační LED	0 - zhasnuta	1 - svítí
bit2	R		-	
bit1	R		-	
bit0	R		-	

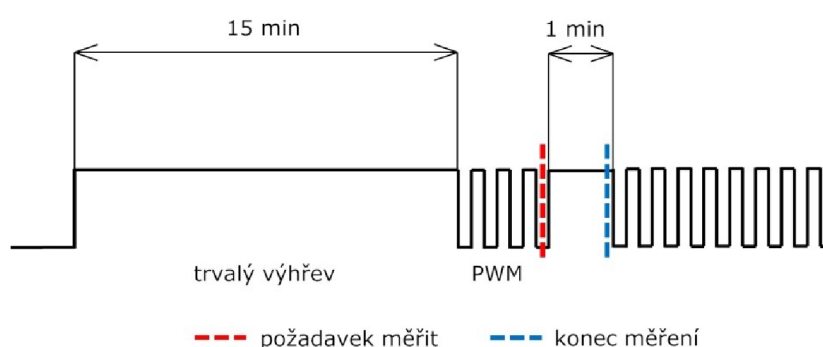
### 8.4 Měření výstupního napětí senzoru TGS 2600

Změřený průběh náběhu výstupního napětí senzoru CO zapojený v modulu měření čistoty venkovního vzduchu je znázorněn na následujícím grafu. Měření bylo provedeno ve venkovním prostředí s ustálenou koncentrací oxidu uhelnatého při teplotě vzduchu 5 °C. V okamžiku zapnutí vnitřního vyhřívání senzoru TGS 2600 se na výstupu objeví napětí okolo 850 mV. Výstupní napětí se ustálí po prvních 12 minutách od zapnutí trvalého vyhřívání. Hodnota ustáleného napětí 655 mV při teplotě okolního vzduchu 5 °C odpovídá koncentraci oxidu uhelnatého 4 ppm.



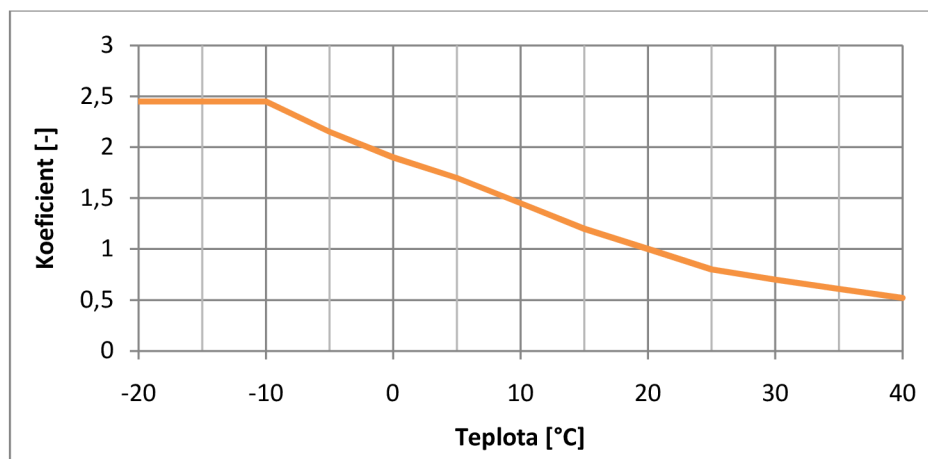
Obr. 19: Graf náběhu výstupního napětí senzoru TGS 2600

Z toho důvodu se při prvních 15 minutách od zapnutí vyhřívání neprovádí měření výstupního napětí senzoru TGS 2600 a je zahájen trvalý výhřev. Poté je umožněno provádět měření výstupního napětí senzoru a převod na odpovídající koncentraci CO s ohledem na teplotu okolního vzduchu. Poté je zahájen PWM výhřev se střídou 1:1 a frekvencí 1 kHz. Před vlastním měřením je zahájen trvalý výhřev a až poté provedeno odečtení napětí.



Obr. 20: Průběh napětí vyhřívání senzoru TGS2600 v modulu měření čistoty vzduchu

Výstupní napětí senzoru TGS 2600 je značně závislé na teplotě okolního vzduchu, proto modul měření čistoty vzduchu provádí také měření teploty a vlhkosti venkovního vzduchu pomocí senzoru SHT11. Přepočítání na odpovídající hodnotu se provádí pomocí koeficientu uváděného výrobcem, který určíme pomocí grafu na obr. 21. Napětí senzoru pro koeficient o hodnotě 1 odpovídá koncentraci CO při teplotě 20 °C. Při vyšších teplotách a stejné koncentraci CO napětí roste a odpovídající hodnota se určí po vynásobení koeficientem. Pokud např. při teplotě 30 °C naměříme napětí 1200 mV, z grafu odečteme koeficient 0,7, provedeme přepočítání a dojdeme k hodnotě 840 mV.



Obr. 21: Závislost koeficientu pro přepočítání výstupního napětí senzoru TGS 2600 na teplotě

Algoritmus převodu realizovaný v modulu hlavní řídicí jednotky provádí výpočet odpovídajícího koeficientu na základě směrnic přímky určených z průběhu na obr. 21. Pro teploty v rozmezí -10°C až 20°C je aplikována směrnice  $y = -0,005x + 2$ . Pro vyšší teploty je použita směrnice  $y = -0,02x + 1,35$ . Při teplotách menších jak -10 °C je použit koeficient 2,45. Napětí senzoru při takto nízkých teplotách je již minimálně závislé na teplotě vzduchu. Tabulka 14 zobrazuje vybrané hodnoty koeficientu platných při daných teplotách v rozmezí -20 °C až 40 °C.

Tabulka 14: Určení koeficientu v závislosti na teplotě senzoru TGS 2600

Teplota [°C]	Koeficient [-]	směrnice přímky
40	0,5	$y = -0,02x + 1,35$
30	0,7	
20	1,0	
10	1,5	$y = -0,005x + 2$
0	1,9	
-10	2,5	
-20	2,5	-

## 8.5 Hodnocení kvality vzduchu se senzorem TGS 2600

Změřené výstupní napětí senzoru TGS 2600 a vynásobené odpovídajícím koeficientem závislým na teplotě odpovídá koncentraci oxidu uhelnatého v okolním vzduchu. Z důvodu přehlednějšího vyhodnocování kvality venkovního vzduchu provádí převodní algoritmus převod na odpovídající úroveň kvality vzduchu. Pro vyhodnocení je použito 8 úrovní, kde jednotlivé úrovně odpovídají velmi čistému, čistému, mírně znečištěnému a zčásti znečištěnému vzduchu až dojdeme k úrovni 5. Při této hodnotě je zakázáno nasávání venkovního vzduchu a přivádění do jednotlivých místností, aby nedošlo k zamoření interiéru znečištěným vzduchem. Následující úrovně slouží k informování uživatele o kvalitě venkovního vzduchu až po úroveň 8, odpovídající velmi vysokému znečištění s vysokou koncentrací CO. Úroveň je určena na základě referenční hodnoty napětí Ref v jednotkách mV při čistém venkovním vzduchu a teplotě 20 °C.

Tabulka 15: hodnocení kvality venkovního vzduchu

úroveň	$U_{CO}$ (mV)	kvalita vzduchu (oxid uhelnatý)	poznámka
1	≤ Ref	velmi čistý	velmi nízká koncentrace CO
2	≤ Ref+25	čistý	nízká koncentrace CO
3	≤ Ref+50	mírně znečištěný	-
4	≤ Ref+75	zčásti znečištěný	-
5	≤ Ref+100	znečištěný	zákaz větrání
6	≤ Ref+125	velmi znečištěný	-
7	≤ Ref+150	silně znečištěný	vysoká koncentrace CO
8	≤ Ref+175	extrémně znečištěný	velmi vysoká koncentrace CO

Při testování modulu měření CO se kvalita vzduchu běžně pohybovala v rozmezí úrovní 1 až 3. V zimních měsících v blízkosti zdrojů oxidu uhelnatého, jako jsou zplodiny ze spalování tuhých paliv, bylo dosaženo úrovní 5 až 7. Při úrovních vyšších jak 6 je znatelně cítit znečištěný vzduch. Na základě výsledků měření a porovnávání kvality vzduchu je zvolena úroveň 5 jako mez pro zákaz větrání.

## 8.6 Kalibrace obvodu se senzorem TGS 2600

Kalibrace modulu se senzorem CO se provádí pouze při prvotní instalaci. Postup je následující, uzemníme vývod I2C\_clk (pin 3 na konektoru KON1), připojíme stejnosměrné napětí 12V (pin 1 kladný pól, pin 2 zem na konektoru KON1). Po připojení se rozsvítí červená dioda a zabliká ve dvou cyklech s frekvencí 1Hz a zůstane rozsvícená. Tím je indikován servisní mód a současně zahájen trvalý výhřev senzoru CO. Modul senzoru umístíme do venkovního prostředí poblíž místa, kde je realizováno nasávání venkovního vzduchu do ventilačního systému. Kalibraci je vhodné provádět při teplotě 20 °C, v případě odlišných teplot je nutné provést přepočtení změřeného napětí pomocí koeficientu. Při teplotách nižších než 5 °C kalibraci neprovádíme. Vyčkáme minimálně 15 minut a změříme napětí  $U_{CO}$  proti zemi na testovacím bodu označeném CO na modulu měření kvality venkovního vzduchu. Provedeme přepočtení změřeného napětí  $U_{CO}$  na odpovídající hodnotu v hexadecimálním tvaru ve dvou bajtech označených Ref\_CO\_MSB a Ref\_CO\_LSB. Servisní mód ukončíme odpojením pinu I2C\_clk od země a resetem napájení.

Ukázka výpočtu hodnoty Ref, změřené napětí  $U_{CO}=785$  mV při teplotě 20 °C odpovídající koeficientu  $k=1$ ,  $U_{ref}=5000$  mV, AD převodník 10bit:

$$x = \frac{U_{ref}}{AD_{bit}} \quad (8.1)$$

$$x = \frac{5000}{2^{10}} = 4,88$$

$$Ref_{CO} = \frac{U_{CO} \cdot k}{x} \quad (8.2)$$

$$Ref_{CO} = \frac{1050 \cdot 1}{4,88} \cong 215_{10} = D7_{16}$$

*Ref\_CO\_MSB = 00<sub>16</sub>*

*Ref\_CO\_LSB = D7<sub>16</sub>*

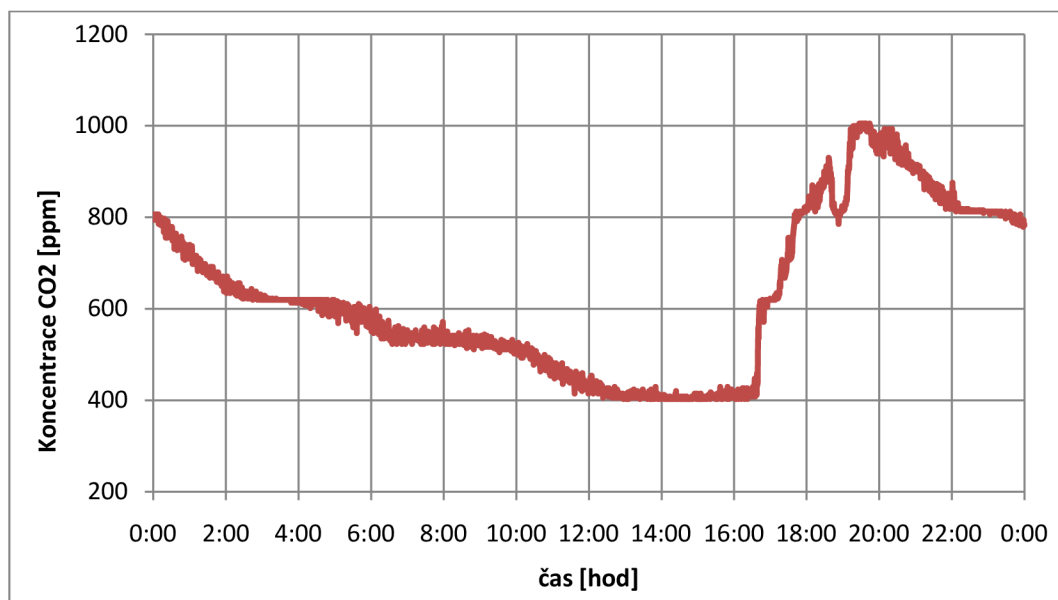
Vypočtenou hodnotu zapíšeme do interní EEPROM paměti mikroprocesoru PIC16F886, umístěném v hlavní řídicí jednotce centrálního větrání. Zápis se provádí pomocí programátoru, bajt Ref\_MSB na adresu 00<sub>16</sub> a bajt Ref\_LSB na adresu 01<sub>16</sub>. Popsané základní nastavení se provádí pouze při prvotní instalaci senzoru CO v daném objektu. Kalibrační data jsou uložena v paměti EEPROM a jsou tak zachována i při výpadku napájení. Tento způsob kalibrace je zvolen z důvodu bezpečnosti, aby v případě poruchy nedošlo chybou programu k přepsání kalibračních dat a následně nesprávnému vyhodnocování kvality venkovního vzduchu.

## 9 Modul měření oxidu uhličitého a vlhkosti

Automatické větrání místností je zaměřeno na vyhodnocování kvality vzduchu reprezentované obsahem oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Člověk při dýchání spotřebovává kyslík a s ohledem na fyzickou činnost produkuje odpovídající množství oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Běžně se v atmosférickém vzduchu pohybuje koncentrace v rozmezí 360 až 400 ppm (parts-per-million). V interiéru je doporučeno udržovat hladinu CO<sub>2</sub> pod 1000 ppm, kdy ještě nedochází k negativním účinkům na člověka v podobě pociťování únavy a snižování soustředění. Definice vydýchaného vzduchu je stanovena, pokud koncentrace překročí hodnotu 1500 ppm (tzv. Pettenkoferovo pravidlo). Ze zdravotního hlediska je považována maximální bezpečná hranice 5000 ppm.

Následující graf zobrazuje naměřený průběh koncentrace CO<sub>2</sub> pomocí modulu měření oxidu uhličitého a vlhkosti. Měření bylo provedeno v obytné místnosti s plochou 21 m<sup>2</sup> v testovacím rodinném domě při běžné pokojové teplotě. V místnosti bylo uzavřeno okno, dveře a také byl vypnut ventilační systém. Měření se účastnily dvě dospělé osoby.

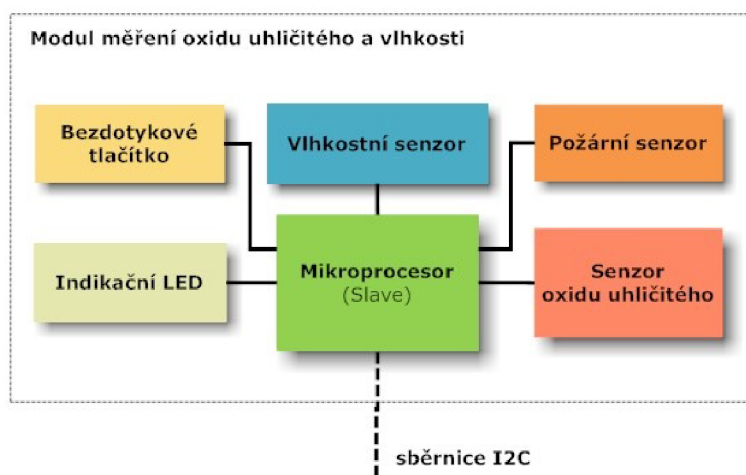
V prvních šestnácti hodinách je místnost bez přítomnosti osob, dochází ke snižování koncentrace CO<sub>2</sub> přirozeným větráním. Vstup osoby do místnosti v 16:30 zapříčiní nárůst koncentrace CO<sub>2</sub>. Druhá osoba vstoupí do místnosti v 17:15, pobyt dvou osob doprovází nárůst až na 900 ppm během přibližně 1,5 hodiny. Pokles na koncentraci 800 ppm je způsoben otevřením dveří a odchodem jedné osoby z místnosti. Poté se osoba vrátí zpět a koncentrace postupně dosáhne mezní hodnoty 1000 ppm, kdy ještě nedochází k negativním účinkům na člověka v podobě pociťování únavy a snižování soustředění. Navržený automatický systém centrální cirkulace vzduchu udržuje koncentraci CO<sub>2</sub> pod touto hranicí.



Obr. 22: Změřený průběh koncentrace CO<sub>2</sub> v obytné místnosti 21 m<sup>2</sup>

## 9.1 Popis modulu měření oxidu uhličitého a vlhkosti

Pro elektronické vyhodnocování koncentrace oxidu uhličitého je použit senzor TGS 4161 popsáný v kapitole 7. Senzor v závislosti na koncentraci CO<sub>2</sub> mění výstupní napětí, které je pomocí analogově digitálního převodníku a algoritmu v programu mikroprocesoru PIC16F676 převedeno na odpovídající hodnotu v jednotkách ppm. Měření relativní vlhkosti vzduchu obstarává senzor SYH-2S. Informace o naměřených hodnotách jsou pomocí datové sběrnice I<sup>2</sup>C zasílány hlavní řídicí jednotce ventilačního systému. Dalším prvkem modulu je bezdotykové kapacitní tlačítko, které slouží k uživatelskému zahájení ventilace. Tlačítko je realizováno pomocí mikroprocesoru PIC10F206 v zapojení uváděném firmou Microchip [21]. Pro aplikaci v tomto modulu bylo navíc doplněno piezoměničem, aby byl uživatel v případě stisku tlačítka informován zvukovým signálem. Informace o stisku tlačítka je vyhodnocena mikroprocesorem PIC16F676 a následně zaslána po datové sběrnici hlavní řídicí jednotce. Uživatel má tak možnost aktivovat větrání místnosti, kde je modul nainstalován i v případě, kdy koncentrace CO<sub>2</sub> nedosahuje mezí pro automatické větrání. Stav o probíhající manuální ventilaci je signalizován indikační LED.



Obr. 23: Blokové schéma modulu měření oxidu uhličitého a vlhkosti

Pro zajištění požární bezpečnosti je modul vybaven vstupně výstupním vývodem pro připojení certifikovaného požárního senzoru. Podporovány jsou senzory, které mají v době klidu na svém výstupu napětí 0 V. Při zaznamenání kouře vyvolají poplach a na výstupu se objeví stejnosměrné napětí v rozmezí 3 až 12 V. Na vývod modulu je možné připojit i více požárních senzorů v paralelním zapojení se společnou zemí. V objektu byl testován optický požární senzor Eyston SD-161HS, doplněný signalizačním výstupem. Senzor vyhodnocuje odraz infračerveného záření v důsledku vniknutí kouřových zplodin do detekční komory. V případě zaznamenání poplachu v kterékoliv z místností dojde z důvodu bezpečnosti k uzavření ventilačního systému a vypnutí centrálního ventilátoru.

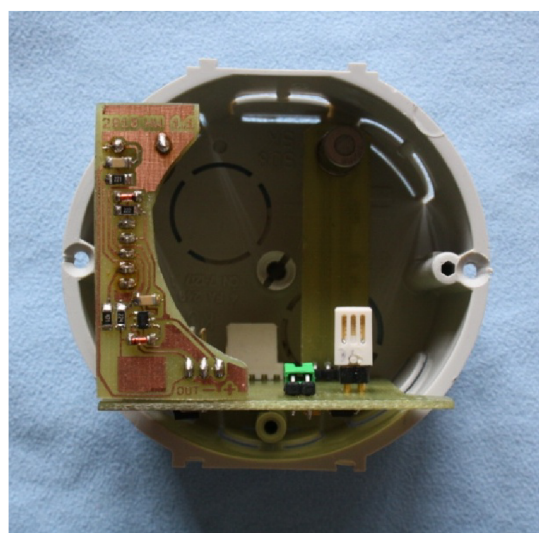
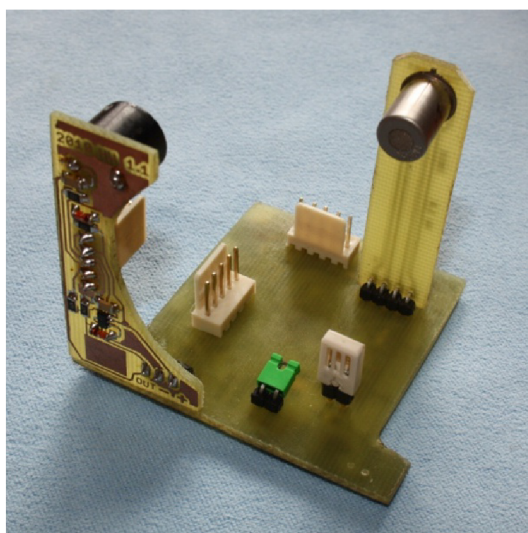


## 9.2 Zapojení modulu měření oxidu uhličitého a vlhkosti

Modul měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti je řízen mikroprocesorem PIC16F676 (viz příloha), taktování zajišťuje vnitřní oscilátor 4 MHz. Napájecí stejnosměrné napětí o hodnotě 8 až 12 V je přivedeno na pin 5 a zem na pin 4 konektoru KON1. Přivedené napětí je pomocí stabilizátoru 78L05 sníženo na napětí 5 V doplněné transilem pro případ poruchy. Na pin 1 a 2 (I2C\_DAT, I2C\_CLK) je přivedena sběrnice I<sup>2</sup>C. Požární senzor se připojuje na pin 3 a přes rezistor R7 a zenerovu diodu je připojen na pin 2 mikroprocesoru IC1, ten umožňuje v závislosti na programu pracovat jako vstupní nebo také jako výstupní pro vyvolání poplachu. Jako referenční zdroj pro 10 bitový analogově digitální převodník mikroprocesoru je použit obvod LM385-1.2 s přesným výstupním napětím 1,235 V. Podobně jako u modulu regulace vlhkosti je provedeno zapojení odporového vlhkostního senzoru SYH-2S, kde na pinu 10 je generován obdélníkový signál 1 kHz se střídou 1:1. Signál za odporovým vlhkostním senzorem je převeden na konstantní napětí pomocí operačního zesilovače IC3A. Zapojení obvodu pro senzor TGS 4161 je věnována kapitola 9.5. Konektor KON2 slouží k programování mikroprocesoru PIC16F676, po dobu programování je nutné rozpojit propojku JP1 a odpojit tak referenční napětí od pinu 12. Indikační bílá LED je připojena přes rezistor R21 na pin 13. Modul umožňuje připojení běžného kontaktního mikrospínače S1 nebo použití modulu bezkontaktního kapacitního spínače připojeného na konektor KON5, v tomto případě se mikrospínač S1 na plošném spoji neosazuje.

### Technické parametry:

- Napájení stejnosměrným napětím 8 až 12 V
- Pracovní stav 8 V/35 mA, klidový stav 8 V/4 mA
- Ochrana proti přepólování napájecího napětí
- Vstupně/výstupní pin pro požární senzor s výstupem 3 až 12 V
- Komunikace na sběrnici I<sup>2</sup>C v režimu slave

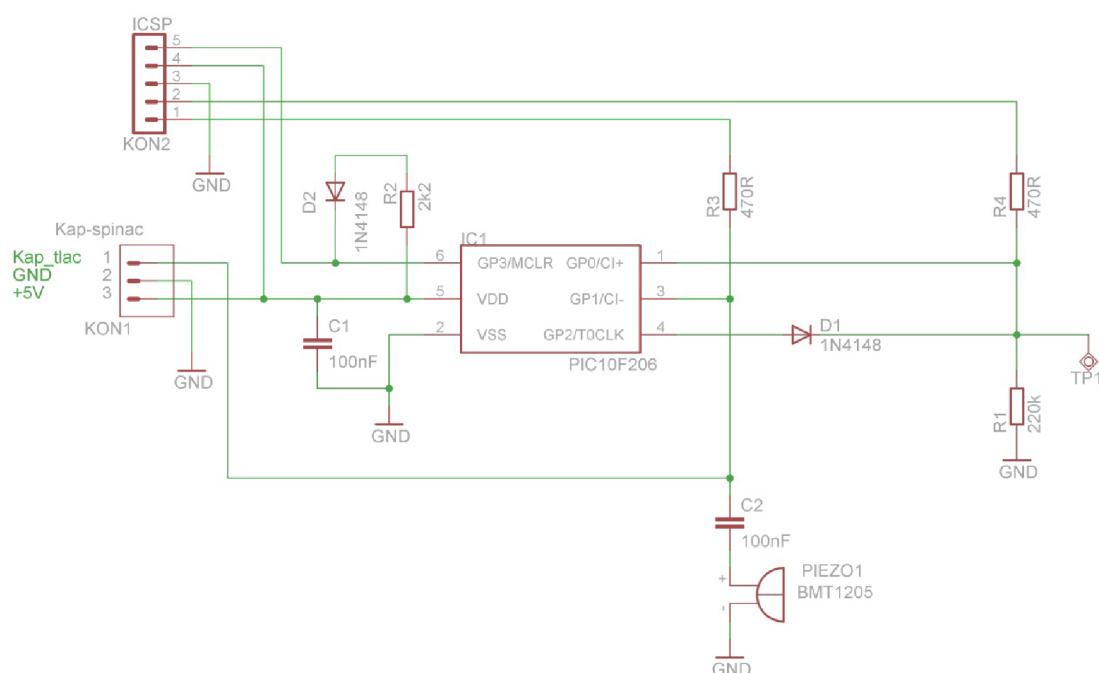


Obr. 24: Modul měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti (vlevo), pohled na zástavbu do el. instalační krabice (vpravo)

Jednostranný plošný spoj je svým tvarem přizpůsoben pro zástavbu do běžné elektroinstalační krabice o průměru 68 mm a hloubce 42 mm. Použity jsou pasivní prvky a integrované obvody v SMD pouzdru a vývodové součástky pro konektory, odporový senzor vlhkosti SYH-2S a senzor oxidu uhličitého TGS 4161. Ten je z důvodu minimalizace teplotního ovlivňování vlhkostního senzoru připojen pomocí samostatného plošného spoje.

### 9.3 Zapojení bezkontaktního kapacitního spínače

Bezkontaktní kapacitní spínač je realizován pomocí nejnižší řady mikroprocesorů firmy Microchip s označením PIC10F206. Spínač je konektorem KON1 připojen na konektor KON5 modulu měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti. Na vývod TP1 se připojuje kontaktní měděná ploška vytvořená na plošném spoji o rozměru 8 x 6 mm. Impulzy generované na pinu 4 a přivedené přes diodu D1 jsou vyhodnoceny vnitřním komparátorem obvodu PIC10F206. Při detekci přiblížení prstu uživatele ke kontaktní plošce dojde důsledkem vzniklé kapacity k změně log. hodnoty na výstupu vnitřního komparátoru. Algoritmus tento stav vyhodnotí a začne generovat sekvenci pro piezoměnič simulující zvuk stisknutí tlačítka, tento signál je zároveň vyveden na pin 1 konektoru KON1 a vyhodnocen modulem měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti. K programování mikroprocesoru PIC10F206 slouží konektor KON2. Pohled na bezkontaktní kapacitní spínač a jeho kontaktní plošku je zobrazen na obr. 27.

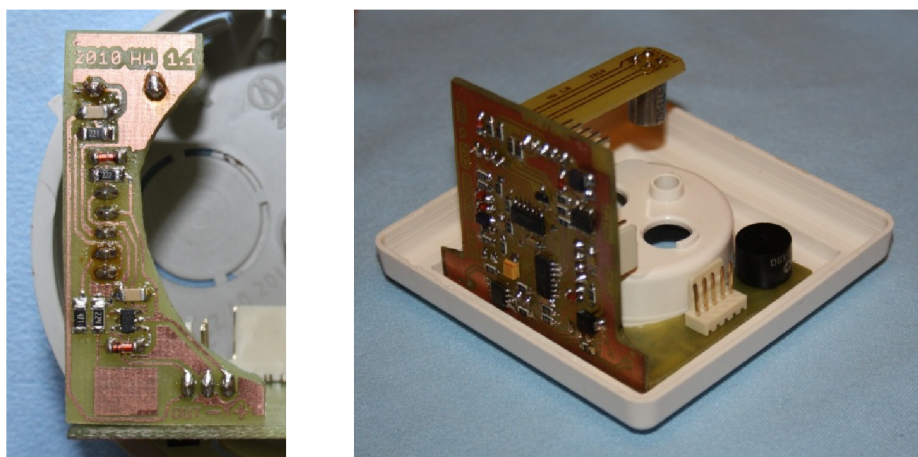


Obr. 25: Schéma bezkontaktního kapacitního spínače

Plošný spoj je realizován jako jednostranný s přizpůsobením svým tvarem pro instalaci vnějšího krytu elektroinstalační krabice. Mikroprocesor PIC10F206 je použit v pouzdru SOT23-6 a piezoměnič BMT1205 jako vývodový s průměrem 12 mm.



Obr. 26: Krytka senzoru s indikační LED



Obr. 27: Bezkontaktní kapacitní spínač (vlevo), pohled na modul s krytkou (vpravo)

#### 9.4 Komunikace modulu měření oxidu uhličitého a vlhkosti

Modul měření oxidu uhličitého a vlhkosti komunikuje po datové sběrnici I<sup>2</sup>C s hlavní řídicí jednotkou. V navrženém systému centrální cirkulace vzduchu jsou použity tři tyto moduly pro tři samostatné místnosti. Pro ně jsou vyhrazeny následující adresy v binárním tvaru:

- Modul A: 1111 100X
- Modul B: 1111 101X
- Modul C: 1111 110X

Příkaz o zaslání naměření relativní vlhkosti odpovídá hodnota A0<sub>16</sub>. Modul zpět odešle dva bajty s hodnotou napětí na odporovém vlhkostním senzoru SYH-2S. Tato hodnota je poté hlavní řídicí jednotkou na základě kalibrační křivky převedena na hodnotu relativní vlhkosti v jednotkách %. Příkaz A1<sub>16</sub> slouží k získání informace o koncentraci oxidu uhličitého v místnosti, kde je modul nainstalován. Odpovědí je zaslání dvou bajtů, kde první potvrzovací bajt odpovídá hodnotě příkazu A1<sub>16</sub> a druhý bajt koncentraci CO<sub>2</sub> v jednotkách ppm.10<sup>-1</sup>. Hodnota je vydělena 10-ti z důvodu vyhodnocovacího algoritmu hlavní řídicí jednotky. Posledním příkaz B2<sub>16</sub> slouží k získání informace o stavu modulu.

Tabulka 16: Příkazy pro modul měření oxidu uhličitého a vlhkosti

Příkaz	hex	bin	čtení R / zápis W	odpověď
Relativní vlhkost	A0	10100000	R	napětí senzoru SYH-2S
Koncentrace CO <sub>2</sub>	A1	10100001	R	CO <sub>2</sub> v jednotkách ppm.10 <sup>-1</sup>
Info1	B2	10110010	R/W	registr info1

První dva bity slouží k rozeznání stavu kapacitního bezdotykového tlačítka. První stisk tlačítka nastaví bit 0 do log. 1 a dojde k rozsvícení indikační LED. Po přečtení hodnoty hlavní řídicí jednotkou je zpět nastaven do stavu log. 0. Dalším stiskem tlačítka dojde k nastavení bitu 1 do log. 1 a indikační LED je zhasnuta, zpětné nastavení do log. 0 je provedeno opět po přečtení hodnoty hlavní řídicí jednotkou. Informace o stavu požárního senzoru je možné číst na bitu 2, kde v klidovém stavu, kdy ani jeden z připojených senzorů (pokud je připojeno více senzorů na jeden modul) nevyvolal poplach je čtena hodnota log. 0, stav poplachu odpovídá hodnotě log. 1. Bit 2 je možné číst a zároveň do něj zapisovat. Při nastavení hlavní řídicí jednotkou do log. 1 dojde k nastavení vývodu s připojeným požárním senzorem na výstupní stav s napětím 5 V a tím požární sensor spustí poplachovou sirénu. Stav indikační LED je možné číst na bitu 3, zároveň je povolen zápis do tohoto bitu. Následující bit 4 slouží k diagnostikování stavu výhřevu senzoru CO<sub>2</sub> TGS 4161, v případě překročení proudu nad povolenou mez 200 mA dojde k odpojení vyhřívání senzoru a nastavení toho bitu. Bezporuchový stav odpovídá na bitu 4 hodnotě log. 0. Modul měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti je podřízen hlavní řídicí jednotce, která rozhoduje, kdy má být provedeno měření koncentrace CO<sub>2</sub> a vlhkosti. Příkaz pro zahájení měření je proveden po nastavení bitu 7 do log. 1. Stav o dokončeném měření je čten na bitu 6.

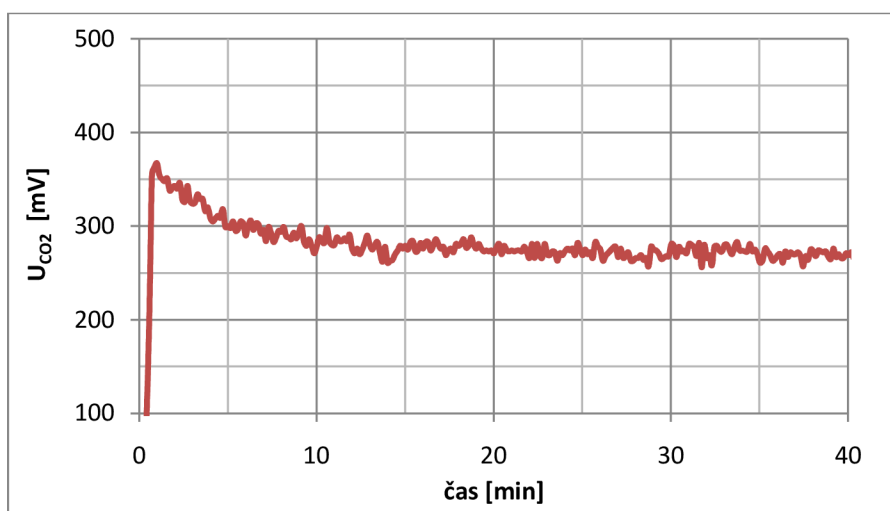
Tabulka 17: Modul měření oxidu uhličitého a vlhkosti – registr Info1

Info1				
bit7	W	příkaz měřit	0 - neaktivní	1 - aktivní
bit6	R	změřeno	0 - ne	1 - ano
bit5	R		-	
bit4	R	senzor CO <sub>2</sub> výhřev	0 - v pořádku	1 - nadproud
bit3	R/W	indikační LED	0 - zhasnuta	1 - svítí
bit2	R/W	požární sensor	0 - klid	1 - poplach
bit1	R	tlačítko stav vypnuto	0 - ne	1 - ano
bit0	R	tlačítko stav zapnuto	0 - ne	1 - ano



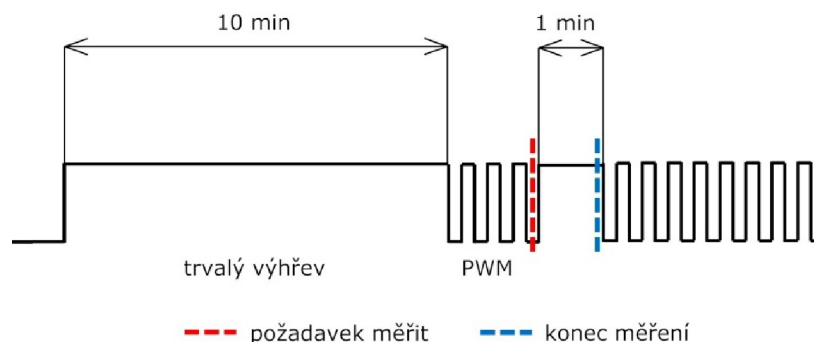
## 9.6 Měření výstupního napětí senzoru TGS 4161

Senzor TGS 4161 je vybaven vlastním vyhřívacím elementem pro ohřev měřicího pevného elektrolytu. Výstupní elektromotorické napětí senzoru je závislé na koncentraci oxidu uhličitého v okolním vzduchu. Následující obrázek znázorňuje průběh výstupního napětí senzoru  $U_{CO_2}$  při prvotním zapnutí vyhřívání. Měření bylo provedeno na senzoru TGS 4161 v uzavřeném prostoru při pokojové teplotě 20°C a relativní vlhkosti 52 %, s ustálenou hodnotou koncentrace  $CO_2$  v okolním vzduchu. Při zahájení vyhřívání došlo k prudkému nárůstu napětí  $U_{CO_2}$  na hodnotu přesahující 350 mV. S narůstajícím časem napětí  $U_{CO_2}$  pozvolna klesá a po 10-ti minutách trvalého vyhřívání stejnosměrným napětím 5 V s odběrem proudu 50 mA dojde k ustálení  $U_{CO_2}$  na hodnotě 270 mV.



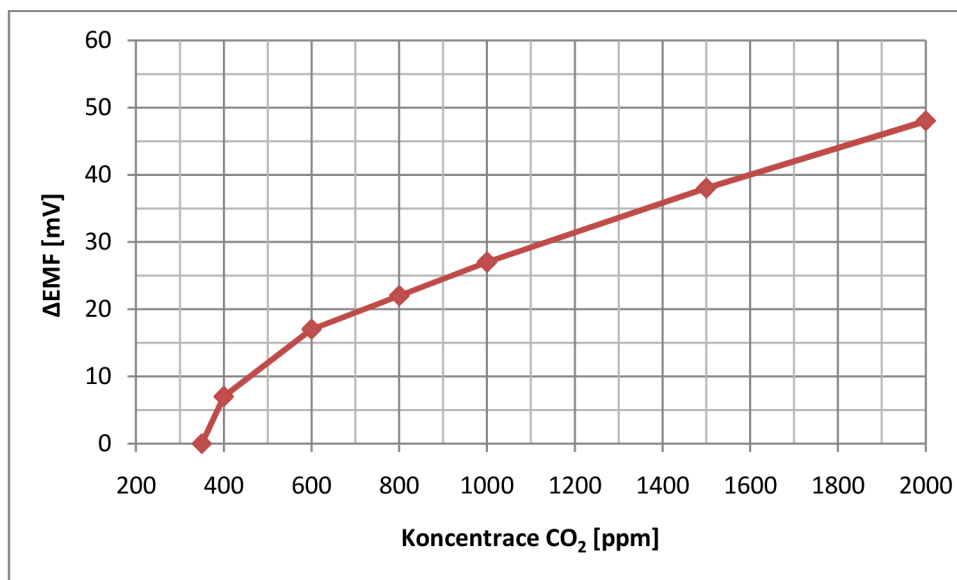
Obr. 30: Náběh výstupního napětí senzoru TGS4161 při konstantní koncentraci  $CO_2$

Z uvedeného měření vyplývá, že během prvních 10 minut výstupní napětí senzoru  $U_{CO_2}$  není ustálené a neodpovídá koncentraci  $CO_2$ . Z tohoto důvodu navržený modul měření  $CO_2$  a vlhkosti během prvních 10 minut od připojení napájení zahájí trvalý výhřev senzoru a neprovádí měření napětí  $U_{CO_2}$ . Po uplynutí uvedeného času náběhu je umožněno měření napětí  $U_{CO_2}$  a jeho převod na odpovídající koncentraci  $CO_2$  v jednotkách ppm. Poté je zahájen PWM výhřev se střídou 1:1 a frekvencí 1 kHz. Vždy před zahájením měření je na dobu 1 minuty zapnut trvalý výhřev a až poté proběhne měření napětí  $U_{CO_2}$ . PWM výhřev zajišťuje předehřev senzoru a jeho připravenost pro měření koncentrace  $CO_2$  během 1 minuty.



Obr. 31: Průběh napětí vyhřívání senzoru TGS 4161 v modulu měření  $CO_2$  a vlhkosti

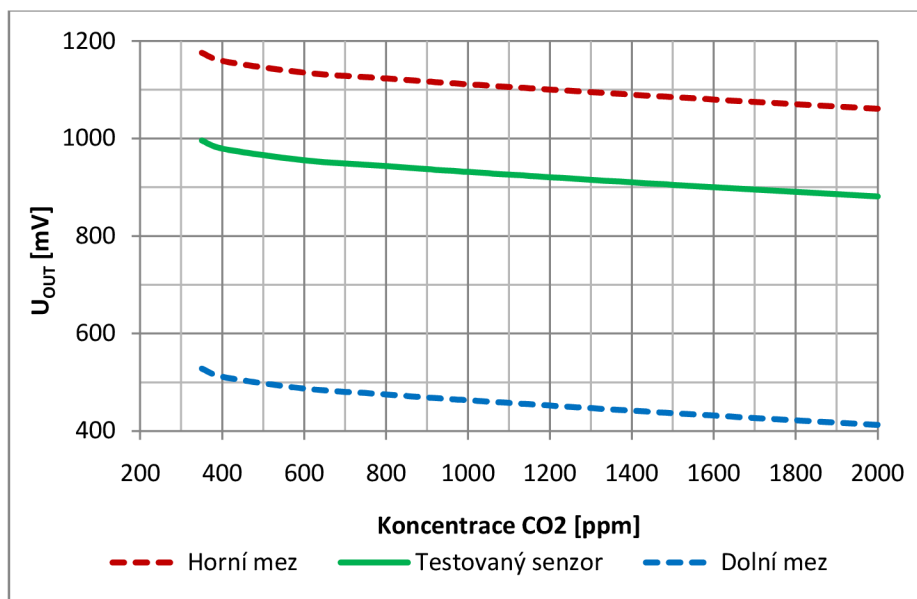
Převodní charakteristika uváděná výrobcem senzoru TGS 4161 je stanovena jako závislost rozdílu elektromotorického napětí  $\Delta EMF$  na koncentraci  $CO_2$ . Následující graf zobrazuje koncentrace od 350 ppm odpovídající čistému vzduchu v přírodě až po hodnotu 2000 ppm pro vzduch s vysokou koncentrací  $CO_2$ .



Obr. 32: Graf závislosti změny napětí  $\Delta EMF$  na koncentraci  $CO_2$

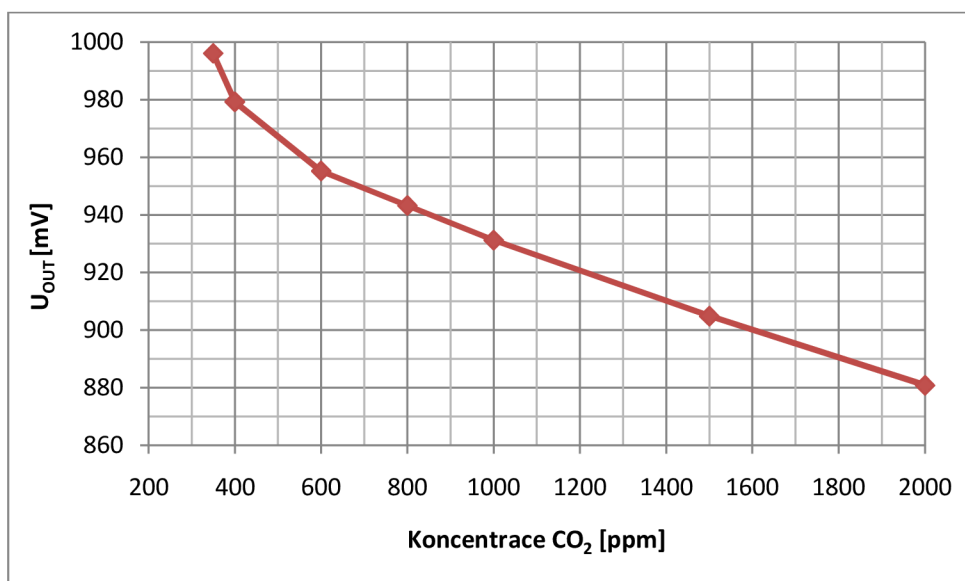
Hodnota výstupního napětí senzoru při koncentraci  $CO_2$  350 ppm se pohybuje v rozmezí 220 až 490 mV. Takto široké rozmezí je z důvodu velké výrobní tolerance senzoru TGS 4161. Proto je nutné změřit referenční hodnotu jednotlivě pro každý senzor. Referenční hodnota se poté uloží do paměti EEPROM konkrétního modulu měření  $CO_2$  a vlhkosti. Algoritmus převodu na koncentraci  $CO_2$  v jednotkách ppm realizovaný v mikroprocesoru PIC16F676 provádí výpočet na základě této reference. Výstupní napětí senzoru TGS 4161 je zesíleno operačním zesilovačem se zesílením  $A=2,4$ . Napětí  $U_{OUT}$  se tedy pohybuje v rozmezí 530 až 1180 mV při koncentraci 350 ppm. Na testovaném modulu měření  $CO_2$  byla při kalibraci změřena hodnota výstupního napětí  $U_{OUT}=996$  mV.

Následující graf zobrazuje charakteristiku výstupního napětí  $U_{OUT}$  se znázorněním horní a dolní hranice výrobní tolerance senzoru TGS 4161. Naměřená hodnota na třech testovaných senzorech se pohybovala v toleranci uváděné výrobcem. Zeleně je zobrazen naměřený průběh napětí  $U_{OUT}$  testovaného senzoru  $CO_2$ . Závislost je nepřímo úměrná, kdy s klesajícím napětím roste koncentrace  $CO_2$  měřeného prostředí. Algoritmus převodu je upravován v závislosti na referenční hodnotě napětí  $U_{OUT}$  čistého vzduchu. Na základě toho dochází k posunu převodní charakteristiky v uvedených mezích.



Obr. 33: Charakteristika výstupního napětí  $U_{OUT}$  na koncentraci  $CO_2$

Detailní pohled na závislost výstupního zesíleného napětí  $U_{OUT}$  zobrazuje graf na obr. 33. Hodnota koncentrace  $CO_2$  se v budovách běžně pohybuje v rozmezí 500 až 1500 ppm, kdy jak z průběhu vidíme, dochází k největší změně výstupního napětí.



Obr. 34: Závislost výstupního napětí  $U_{OUT}$  u testovaného senzoru TGS4161



## 9.7 Kalibrace obvodu se senzorem TGS 4161

Základní nastavení modulu měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti se provádí pouze jednou před prvotní instalací. Postup je následující, uzemníme vývod I2C\_clk (pin 2 na konektoru KON1 viz schéma), připojíme stejnosměrné napětí 8 až 12 V (pin 5 kladný pól, pin 4 zem na konektoru KON1). Modul přejde do servisního režimu a sepne trvalé vyhřívání senzoru TGS 4161. Umístíme ho do venkovního bezvětrného prostředí s nízkou koncentrací CO<sub>2</sub>. Ta by měla dosahovat hodnoty 350 až 380 ppm, odpovídající čistému vzduchu v přírodě bez silného zdroje CO<sub>2</sub>. Pro přesnou kalibraci použijeme referenční měřicí přístroj CO<sub>2</sub> a ověříme kvalitu ovzduší s koncentrací CO<sub>2</sub> nepřesahující 380 ppm. Zároveň je nutné dodržet podmínku teploty venkovního vzduchu větší jak 10 °C. Vyčkáme minimálně 15 minut a na testovacím bodu označeném CO<sub>2</sub> změříme proti zemi napětí U<sub>OUT</sub>. Provedeme přepočítání změřeného napětí U<sub>OUT</sub> na odpovídající hodnotu v hexadecimálním tvaru ve dvou bajtech označených Ref\_CO2\_MSB a Ref\_CO2\_LSB. Servisní mód ukončíme odpojením pinu I2C\_clk od země a resetem napájení.

Ukázka výpočtu referenční hodnoty, změřené napětí na výstupu operačního zesilovače U<sub>OUT</sub>=996 mV (zesílené napětí U<sub>CO2</sub>), U<sub>ref</sub>=1235 mV, AD převodník 10 bitový:

$$x = \frac{U_{ref}}{AD_{bit}} \quad (9.1)$$

$$x = \frac{1235}{2^{10}} = 1,21$$

$$Ref_{CO2} = \frac{U_{OUT}}{x} \quad (9.2)$$

$$Ref_{CO2} = \frac{996}{1,21} \cong 823_{10} = 337_{16}$$

$$Ref\_CO2\_MSB = 3_{16}$$

$$Ref\_CO2\_LSB = 37_{16}$$

Vypočtenou hodnotu zapíšeme do interní EEPROM paměti mikroprocesoru PIC16F676 v kalibrovaném modulu měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti. Zápis se provádí pomocí programátoru, bajt Ref\_CO2\_MSB na adresu 00<sub>16</sub> a bajt Ref\_CO2\_LSB na adresu 01<sub>16</sub>. Tím jsme provedli základní nastavení, modul s ohledem na referenční hodnotu převede změřené napětí na odpovídající koncentraci CO<sub>2</sub> v jednotkách ppm.

## 10 Modul regulace vlhkosti

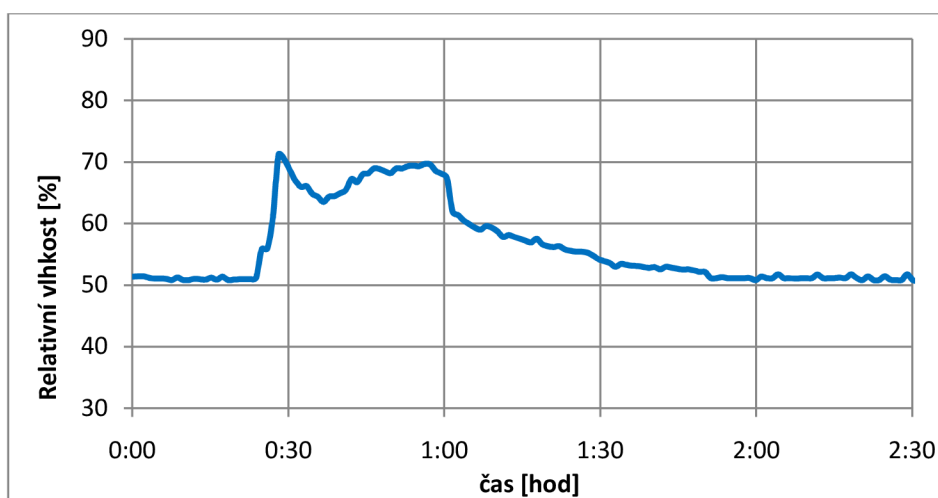
Rozvojem nízkoenergetických domů dochází k utěsnění budov teplenými izolacemi a těsnými okny. Tím je zabráněno samovolné výměně vzduchu v interiéru. Především v koupelnách tak dochází k nadměrnému nárůstu vlhkosti. Navíc jsou většinou uživatelů vytápěny na vyšší teplotu, která spolu s vysokou vlhkostí vytváří ideální podmínky pro tvorbu plísní. Proto je nutné zabývat se problematikou větrání koupelen. Řešením je vybudování ventilačního rozvodu, které se osadí ventilátorem a z místnosti se vysoká vlhkost odvede mimo budovu. Nyní nastává úkol, jakým způsobem ovládat ventilátor. Nabízí se několik možností:

- jednoduchý spínač ventilátoru
- spínání ventilátoru spolu s osvětlením
- spínač s nastavenou dobou běhu ventilátoru
- spínač ventilátoru s vlhkostním senzorem

První dvě možnosti patří mezi nejjednodušší řešení, ovšem uživatele značně obtěžuje. Třetí možnost patří v současné době mezi nejpoužívanější. Uživatel dá pokyn pro zapnutí ventilace koupelny a nemusí již myslet na vypnutí ventilátoru. Nicméně nevýhodou je, že při příchodu do koupelny je vystaven vysoké vlhkosti, která je odvětrána až se značným zpožděním. Nejvýhodnějším způsobem je automatické řízení ventilace ovládané vlhkostním senzorem. Elektronický modul monitoruje relativní vlhkost v místnosti a při překročení definované meze sepne ventilátor. Tím je vlhkost udržována v přípustných mezích a koupelna se tak stává uživatelsky příjemnou.

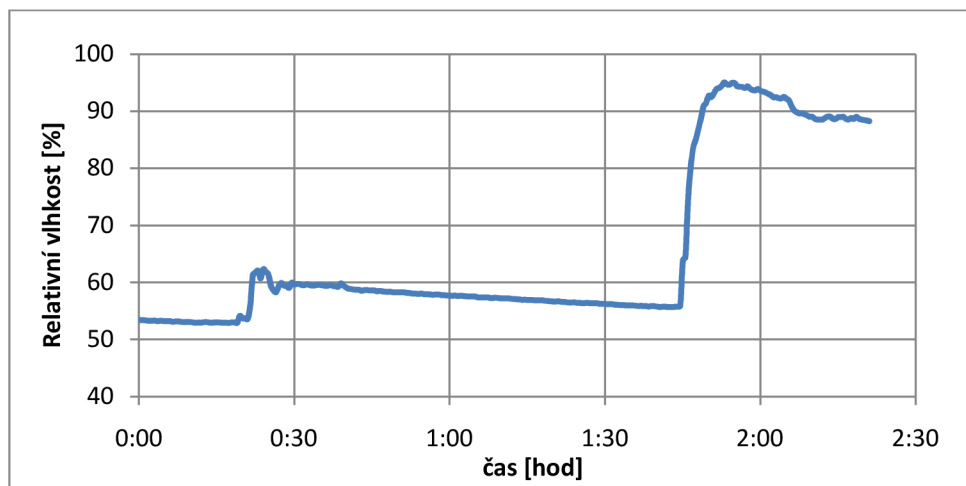
### 10.1 Průběh relativní vlhkosti v koupelně

V koupelně vybavené modulem regulace vlhkosti bylo provedeno měření relativní vlhkosti. Vlhkost je ustálená na hodnotě 50 %, v 17-té minutě je zahájeno sprchování a následně dochází k prudkému nárůstu vlhkosti. Při překročení hodnoty 70 % jsou automaticky otevřeny žaluzie ventilační mřížky a sepnut ventilátor, který zajišťuje odsávání vzduchu z koupelny. Vlhkost je udržována pod hodnotou 70 %. Tím je podstatně sníženo riziko v zniku plísní a vzhledem k použití automatického odvětrávání se zvyšuje komfort pro uživatele koupelny.



Obr. 35: Průběh relativní vlhkosti v koupelně vybavené modulem regulace vlhkosti

Následující průběh byl naměřen v koupelně bez zajištění odsávání vlhkého vzduchu. Nejprve ve 20-té minutě probíhá mytí rukou, vlhkosti roste na hodnotu 62 %. V čase 1:45 hodin je zahájeno sprchování kdy dochází k nárůstu relativní vlhkosti až k hodnotě 95 % doprovázené kondenzací vody v celém interiéru koupelny.



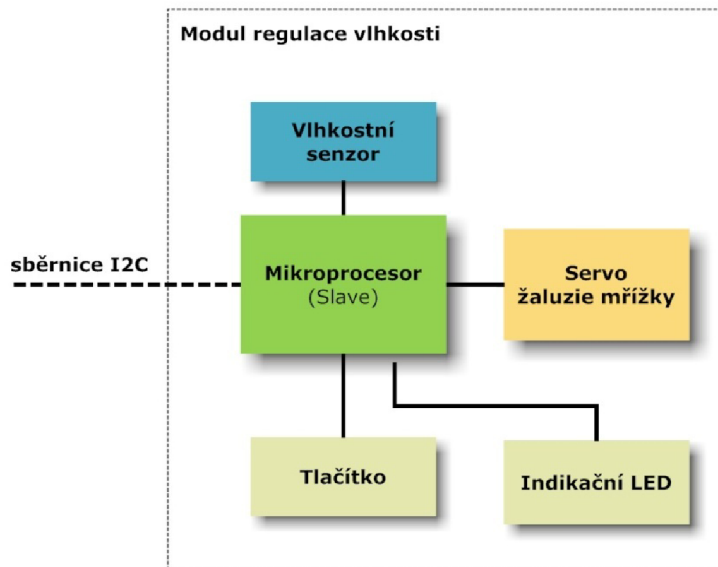
Obr. 36: Průběh relativní vlhkosti v koupelně bez odvětrávání

Pokud použijeme modul regulace vlhkosti, zabezpečíme automatické odvětrávání vlhkého vzduchu a minimalizaci orosení stěn v koupelně.

## 10.2 Popis modulu regulace vlhkosti

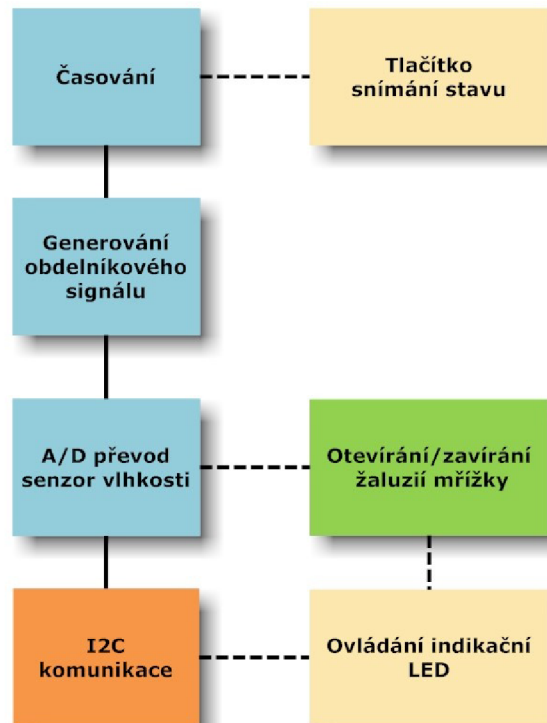
Úkolem modulu je monitorování relativní vlhkosti v místnosti. Nabízí se použití inteligentního vlhkostního senzoru SHT11 nebo odporového vlhkostního senzoru SYH-2S. Senzor SHT11 je spíše určen pro použití v prostředí s velkým rozptylem vlhkosti a také teplot. Pro tuto aplikaci, kde se předpokládá teplota okolo 21 °C, je zcela postačující odporový senzor SYH-2S.

Následující obrázek č. 37 znázorňuje blokové schéma modulu regulace vlhkosti určený pro koupelnu. Hlavním řídicím prvkem je mikroprocesor PIC16F676 s integrovaným analogově digitálním převodníkem. Pro snímání relativní vlhkosti je použitý zmiňovaný odporový vlhkostní senzor SYH-2S. K mikroprocesoru je připojeno tlačítko pro uživatelské sepnutí ventilace pro časované odvětrávání zápachů. Mikroprocesor pomocí servopohonu otevírá/zavírá žaluzie ventilační mřížky. Spínání ventilátoru je realizováno pomocí výkonového triakového modulu, který je z důvodu bezpečnosti umístěn mimo koupelnu a je součástí hlavní řídicí jednotky ventilačního systému. Vzájemná komunikace mezi moduly je zajištěna prostřednictvím sběrnice I<sup>2</sup>C. Mikroprocesor modulu regulace vlhkosti (slave) posílá hlavní řídicí ventilační jednotce (master) informace o změřené relativní vlhkosti a požadavku na sepnutí ventilátoru pomocí výkonového triaku. Modul regulace vlhkosti zároveň pracuje jako elektronický senzor relativní vlhkosti.



Obr. 37: Blokové schéma modulu regulace vlhkosti

Firmware mikroprocesoru PIC16F676 a jeho základní funkce jsou zobrazeny na obrázku č. 38. Pomocí vnitřního časovače je každé dvě minuty zahájeno měření vlhkosti. Mikroprocesor generuje obdélníkový signál pro odporový vlhkosní snímač. Pomocí vnitřního analogově digitálního převodníku navzorkuje a zprůměruje naměřenou hodnotu napětí odpovídající hodnotě relativní vlhkosti. Poté je s hysterezí 10 % vyhodnocena relativní vlhkost vzduchu a v případě překročení relativní vlhkosti nad hodnotu 70 % dojde pomocí servopohonu k otevření žaluzie ventilační mřížky a pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C je zaslán příkaz na sepnutí ventilátoru. Po dobu odvětrávání je rozsvícena indikační světlená dioda na modulu regulace vlhkosti. Pomocí tlačítka má uživatel možnost nuceně zapnout časované odsávání zápachů na dobu 7 minut. Pokud uživatel opětovně stiskne tlačítko kdykoliv v průběhu aktivního odsávání je čas běhu prodloužen o dalších 7 minut. Tento způsob ovládání byl uživatelsky ověřen a vyhodnocen jako nejvhodnější.



Obr. 38: Prováděné funkce mikroprocesoru PIC16F676

### 10.3 Zapojení modulu regulace vlhkosti

Modul regulace vlhkosti obsahuje mikroprocesor IC1 firmy Microchip označený PIC16F676 (zapojení viz příloha). Mikroprocesor je taktovaný vnitřním oscilátorem 4 MHz. Pomocí konektoru KON1 je přivedeno napájecí napětí, obvod je diodou D7 chráněn proti přepólování. Přivedené napětí je použito pro externí spínač, který spíná tranzistor Q5. Napájecí napětí je pomocí stabilizátoru napětí IC3 sníženo na 5 V. Mikroprocesor přenáší data po sběrnici I<sup>2</sup>C (I2C\_DAT, I2C\_CLK), připojení je realizováno pomocí konektoru KON1. Na pinu 10 (IC1) je generován 5 V obdélníkový signál o frekvenci 1 kHz se střídou 1:1, který je přiveden na kondenzátor C3 a pomocí odporového děliče sniženo na napětí 1 V. Signál prochází přes vlhkostní senzor SYH-2S, který mění svůj odpor v závislosti na relativní vlhkosti prostředí. Pomocí operační zesilovače IC4A a pasivních součástek je signál převeden na konstantní napětí, které je přivedeno na 10 bitový analogově digitální převodník, integrovaný v mikroprocesoru IC1. Referenční napětí pro převodník zajišťuje obvod IC2, který vytváří přesné napětí o hodnotě 1,235 V. Na konektor KON3 se připojuje servopohon, který je řízen pomocí čtyř tranzistorů Q1 až Q4 zapojených jako H-můstek s možností reverzace. Servopohon zajišťuje otevírání a zavírání žaluzií ventilační mřížky. Konektor KON2 slouží k programování obvodu IC1, při kterém musí být rozpojena propojka JP1. Rozpojením se z pinu 12 (IC1) odpojí referenční napětí, které by narušovalo průběh přenosu dat při programování.



Obr. 39: Modul regulace vlhkosti (vlevo), ventilační mřížka (vpravo)

Plošný spoj o rozměrech 93 x 18 mm je realizován jako oboustranný s použitím kombinace vývodových součástek a SMD součástek. Konektory a indikační dioda (LED1) jsou realizovány ve formě vývodových součástek. Rozměry plošného spoje jsou přizpůsobeny pro zástavbu do standardní ventilační mřížky a rozměru 154 x 154 mm.

### Technické parametry:

- Napájení stejnosměrným napětím 8 až 12 V
- Pracovní stav 8 V/12 mA max. 100 mA při pohybu servopohonu, klidový stav 8 V/4 mA
- Ochrana proti přepólování napájecího napětí
- Externí tlačítko pro uživatelské zapínání odsávání zápachů
- Komunikace na sběrnici I<sup>2</sup>C v režimu slave

## 10.4 Komunikace modulu regulace vlhkosti

Modul regulace vlhkosti komunikuje po datové sběrnici I<sup>2</sup>C s hlavní řídicí jednotkou. Modul je možné volat prostřednictvím adresy v binárním tvaru 1110110X. Příkaz o zaslání informace o změřené relativní vlhkosti reprezentuje hodnota A0<sub>16</sub>. Modul odpoví zasláním dvou bajtů reprezentující hodnotu vlhkosti v podobě změřeného napětí na senzoru SYH-2S. Převod na odpovídající hodnotu vlhkosti v % provádí hlavní řídicí jednotka. Dalším příkaz B2<sub>16</sub> poskytuje informaci o požadavku na sepnutí ventilátoru pro odsávání vzduchu z koupelny. Dále informuje o poloze žaluzií umístěných ve ventilační mřížce. Informace zda došlo k aktivaci odsávání uživatelským tlačítkem nebo překročením relativní vlhkosti nad hodnotu 70 % je možné rozeznat na bitu 2 a 3, kdy v aktivním stavu je čtena hodnota logické 1. Další bity 4 až 7 nejsou použity a jsou čteny jako logická 0. Registr relativní vlhkost a Info1 z hlediska komunikace podporují výhradně čtení.

Tabulka 18: Příkazy pro modul regulace vlhkosti

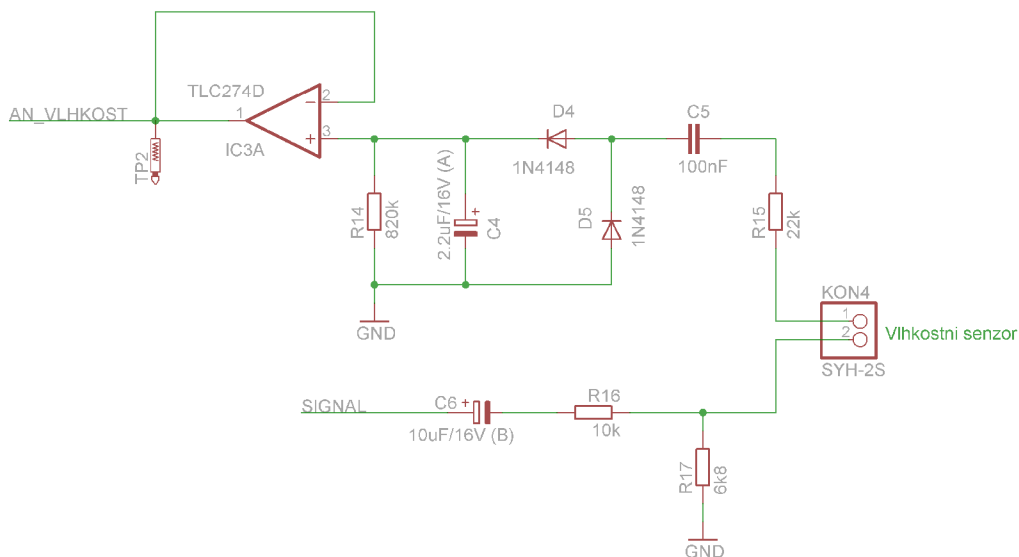
Příkaz	hexadecimálně	binárně	čtení R / zápis W
Relativní vlhkost	A0	10100000	R
Info1	B2	10110010	R

Tabulka 19: Modul regulace vlhkosti – registr Info1

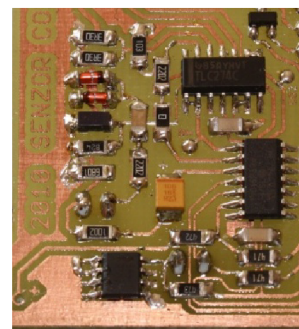
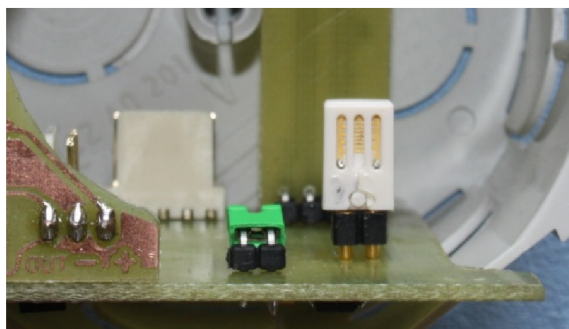
Info1					
bit7	R	-			
bit6	R	-			
bit5	R	-			
bit4	R	-			
bit3	R	aktivováno	vlhkostí	0 - ne	1 - ano
bit2	R		tlačítkem	0 - ne	1 - ano
bit1	R	mřížka		0 - zavřena	1 - otevřena
bit0	R	ventilátor		0 - vyp	1 - zap

## 10.5 Aplikační obvod pro měření vlhkosti

Popisovaný senzor je použit pro měření relativní vlhkosti v jednotlivých místnostech a je součástí modulu měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti. Následující obrázek znázorňuje zapojení vyhodnocovacího obvodu pro měření vlhkosti s odporovým senzorem SYH-2S. Na vstup označený SIGNAL se přivádí 5 V obdélníkový signál s frekvencí 1 kHz a střídou 1:1. Kondenzátor C6 potlačí stejnosměrnou složku signálu a odporovým děličem R16 a R17 je sníženo napětí signálu na hodnotu 1 V. Takto upravený měřící signál je přiveden na senzor vlhkosti, který mění svůj odpor v závislosti na relativní vlhkosti okolí. Odpor R15 je nastaveno výstupní napětí pro hodnotu vlhkosti dosahující 100 %, kdy dojde k zarosení senzoru a jeho snížení odporu na téměř nulovou hodnotu. Střídavý signál je pomocí operačního zesilovače TLC274D a pasivních součástek převeden na stejnosměrné napětí. Kapacita kondenzátoru C4 je nastavena s ohledem na minimální zvlnění výstupního napětí a rychlosti odezvy na změnu vlhkosti. Výstupní napětí roste s rostoucí relativní vlhkostí a pohybuje se v rozmezí 50 mV až 1220 mV. Hodnota maximálního výstupního napětí je nastavena s ohledem na použitý referenční zdroj napětí s hodnotou 1235 mV, připojeného k 10 bitovému A-D (analogově digitálnímu) převodníku.



Obr. 40: Schéma vyhodnocovacího obvodu pro měření vlhkosti



Obr. 41: Umístění senzoru SYH-2S v modulu měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti (vlevo), obvod pro měření vlhkosti (vpravo)

## 10.6 Možnosti kalibrace vlhkostního senzoru

Pro spolehlivé vyhodnocování naměřené hodnoty relativní vlhkosti je nutné provést kalibraci senzoru SYH-2S v uvedeném zapojení. Kalibraci je možné provést pomocí následujících metod:

- a) metoda dvou tlaků
- b) metoda použití nasycených roztoků solí

První metoda využívá principu nasycení vzduchu vodní parou a následné změny tlaku, ovšem vyžaduje použití speciálního laboratorního vybavení. Z tohoto důvodu se zaměříme na druhou metodu s použitím nasycených roztoků solí. Uzavřený vzduch v nádobě s roztokem soli má menší vlhkost než roztok s čistou vodou. Nasycené roztoky solí nejsou ovlivněny odpařující se vodou a zaručují vysokou přesnost vlhkosti vzduchu v uzavřené nádobě. Vhodným výběrem solí je možné proměřit široký rozsah vlhkostí. Postup kalibrace vlhkostního senzoru je následující:

- 1) připravíme si vodu bez obsahu minerálů
- 2) přidáme odpovídající množství soli, až nám vznikne nasycený roztok (přidávaná sůl se přestane ve vodě rozpouštět)
- 3) nádobu utěsníme a po dobu 12 hodin ji umístíme do prostoru s konstantní teplotou, v tomto případě při pokojové teplotě 20 °C
- 4) obdobným způsobem si připravíme další roztoky solí

Vlastní kalibrace se provádí v uzavřené místnosti s minimálním pohybem vzduchu a s konstantní teplotou. Do nádoby s nasyceným roztokem vložíme senzor vlhkosti co nejbližší hladině roztoku a nádobu utěsníme. Měření provedeme až po minimálně 30-ti minutách od uzavření nádoby, aby došlo k ustálení vlhkosti.

V následující tabulce jsou uvedeny soli a jejich vlhkosti v nasyceném roztoku při teplotě 20 °C. Pomocí šesti vzorků solí je možné změřit vlhkost v širokém rozsahu 22 až 93 %.

Tabulka 20: Roztoky solí a vlhkost nad jejich hladinou při teplotě 20 °C

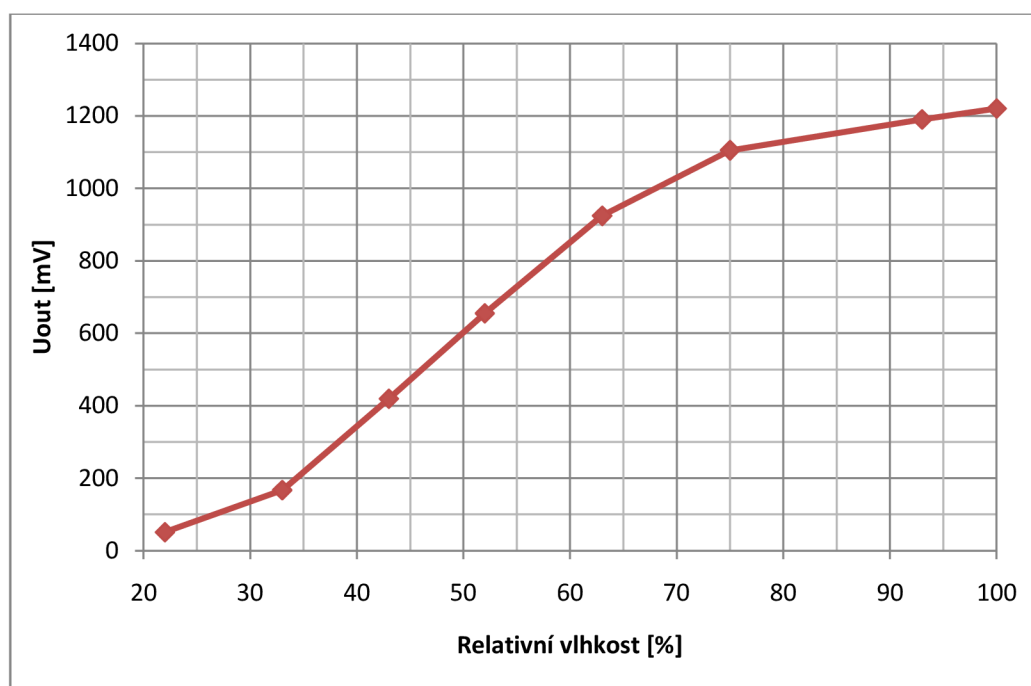
Sůl	chem. značka	relativní vlhkost [%]
Octan draselný	$C_2H_3KO_2$	22
Chlorid hořečnatý	$MgCl_2$	33
Uhličitan draselný	$K_2CO_3$	43
Dusičnan amonný	$NH_4NO_3$	63
Chlorid sodný	$NaCl$	75
Dusičnan draselný	$KNO_3$	93



Kalibrace odporového vlhkostního senzoru, v zapojení popsaném v kapitole 10.5, byla provedena v osmi krocích v intervalu relativní vlhkosti 22 až 100 % při teplotě okolí 20 °C. Nasycený roztok octanu draselného reprezentuje vlhkost 22 %, což odpovídá hodnotě výstupního napětí 51 mV. Vlhkost 52 % byla stanovena opakovaným měřením v uzavřené místnosti s konstantní teplotou 20 °C na základě údaje přesného vlhkostního senzoru SHT11. Vlhkost 100 % byla zjištěna při zaroseném senzoru s odpovídajícím výstupním napětím 1220 mV. Naměřené hodnoty výstupního napětí v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu jsou vyneseny v grafu na obr. 42.

Tabulka 21: Naměřené hodnoty výstupního napětí v závislosti na relativní vlhkosti

Rel. vlhkost [%]	teplota [°C]	$U_{\text{SENZOR}}$ [mV]	nasycený roztok soli
22	20	51	$\text{C}_2\text{H}_3\text{KO}_2$
33	20	167	$\text{MgCl}_2$
43	20	419	$\text{K}_2\text{CO}_3$
52	20	655	-
63	20	924	$\text{NH}_4\text{NO}_3$
75	20	1105	$\text{NaCl}$
93	20	1190	$\text{KNO}_3$
100	20	1220	$\text{H}_2\text{O}$



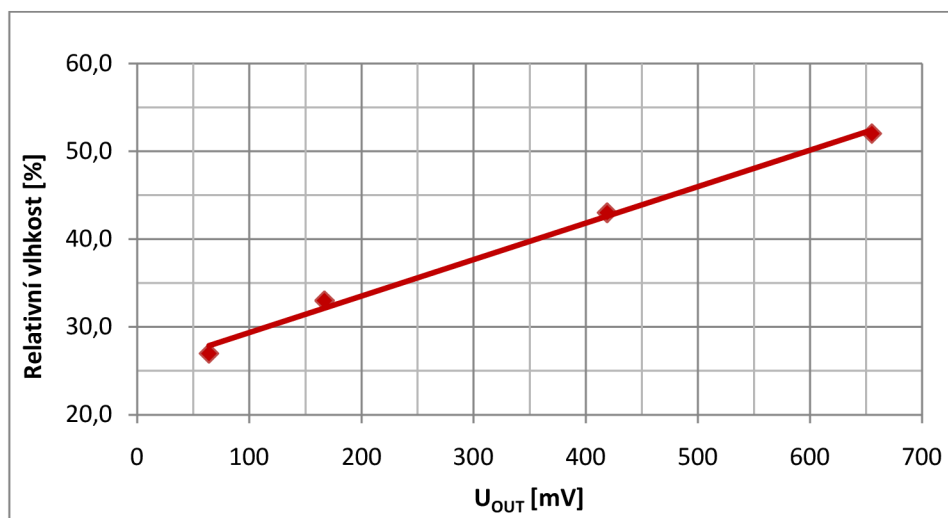
Obr. 42: Naměřená kalibrační křivka odporového vlhkostního senzoru SYH-2S

## 10.7 Algoritmus převodu napětí na relativní vlhkost

Výstupní napětí obvodu pro měření relativní vlhkosti se senzorem SYH-2S je vyhodnocováno A-D převodníkem, který je součástí použitého mikroprocesoru PIC16F676. Jako referenční zdroj napětí pro A-D převodník je použit obvod LM385-1.2, zajišťující přesnou referenci s hodnotou 1,235 V. Použitý A-D převodník provádí převod s rozlišením na 10 bitů, s ohledem na použitý referenční zdroj je docíleno měřicího kroku 1,2 mV. Pro realizaci algoritmu pro převod napětí na hodnotu relativní vlhkosti je kalibrační křivka rozdělena na čtyři přímký. Z důvodu stability převodu a velmi malé změny napětí u vlhkostí pod 30 % je stanovena nejmenší hodnota zobrazované vlhkosti 27 %. Pro převod v rozmezí vlhkostí do 52 % je aplikována směrnice přímký  $y=0,039x+26$ . Druhému intervalu vlhkostí více jak 52 % až 75 % odpovídá směrnice přímký  $y=0,040x+25$ , vlhkosti 75 až 93 %  $y=0,066x+1,7$  a pro vlhkosti nad 93 % směrnice přímký  $y=0,22x-164$ . Graf na obrázku č. 42 zobrazuje převodní přímký pro relativní vlhkost v rozmezí 27 až 52 %. Hodnoty výstupního napětí 64 mV a nižší jsou reprezentovány vlhkostí 27 %. Převodní algoritmus je součástí programu hlavní řídicí jednotky s mikroprocesorem PIC16F886. Informace o hodnotě napětí odpovídající relativní vlhkosti je přijímána po sběrnici I<sup>2</sup>C od modulu měření CO<sub>2</sub> a relativní vlhkosti.

Tabulka 22: Směrnice přímek kalibrační křivky

Relativní vlhkost [%]	U <sub>OUT</sub> [mV]	směrnice přímký
27	64	$y = 0,039x + 26$
33	167	
43	419	
52	655	
63	924	$y = 0,040x + 25$
75	1105	
93	1190	$y = 0,066x + 1,7$
100	1220	$y = 0,22x - 164$

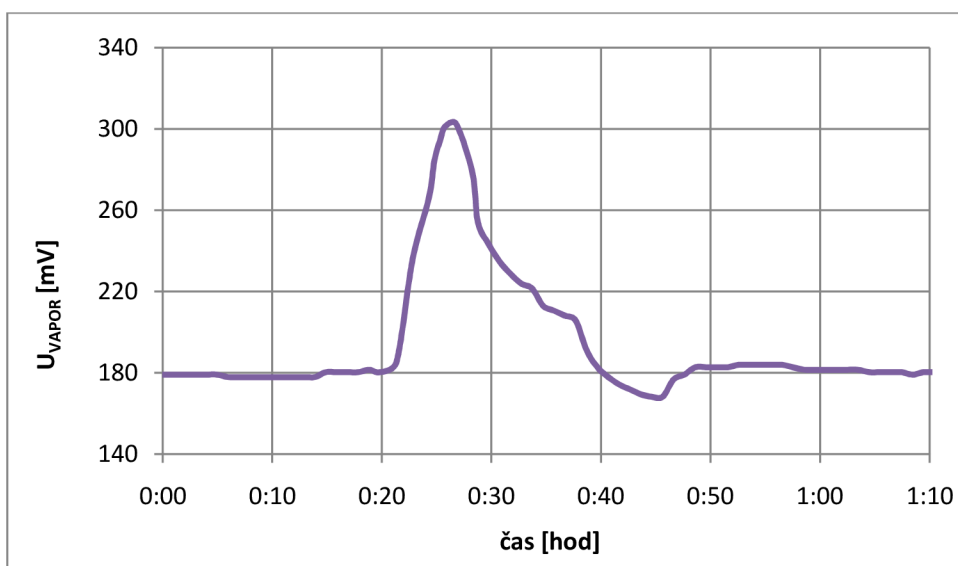


Obr. 43: Převodní přímký pro relativní vlhkost 27 až 52 %

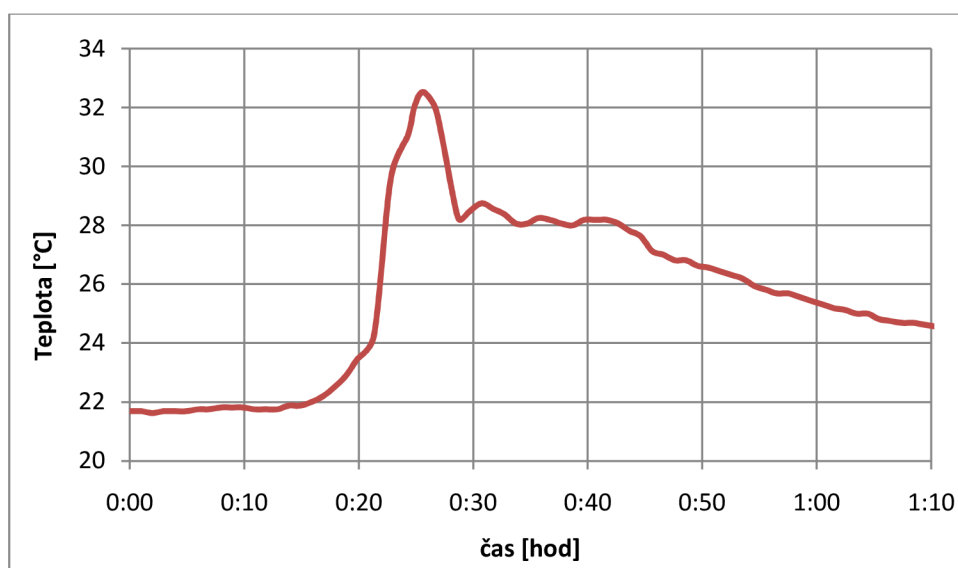
## 11 Modul odsávání par

Mezi další místnosti, kde je nutné zajistit výměnu vzduchu, patří kuchyň. Při vaření vzniká velké množství vodních par, které se rozptýlí v okolním vzduchu. Pro odvádění vlhkého vzduchu se běžně používají digestoře s manuálním zapínáním. Pro zvýšení komfortu uživatele kuchyně je vyvinut modul odsávání par. Při zahájení vaření a detekování nárůstu vodních par nebo prudkému nárůstu teploty v prostoru digestoře dojde k automatickému sepnutí odsávání.

Modul odsávání par a jeho senzor pro měření vodních par TGS 2180 je přizpůsobený do prostředí vysokých teplot. Senzor TGS 2180 spolu s digitálním teplotním senzorem DS18B20 je umístěn v prostoru digestoře. Následující graf zobrazuje průběh napětí na senzoru TGS 2180, kde s rostoucím napětím roste obsah vodních par ve vzduchu. Druhý graf znázorňuje průběh teploty ve stejném časovém intervalu. Měření zaznamenává vaření 2 litrů vody v hrnci na elektrické varné desce.



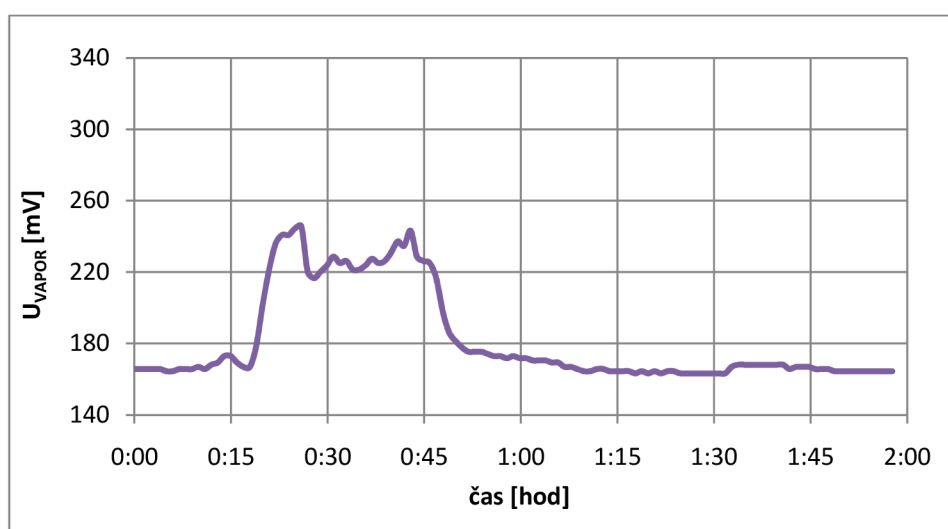
Obr. 44: Průběh napětí na senzoru TGS 2180 při vaření vody



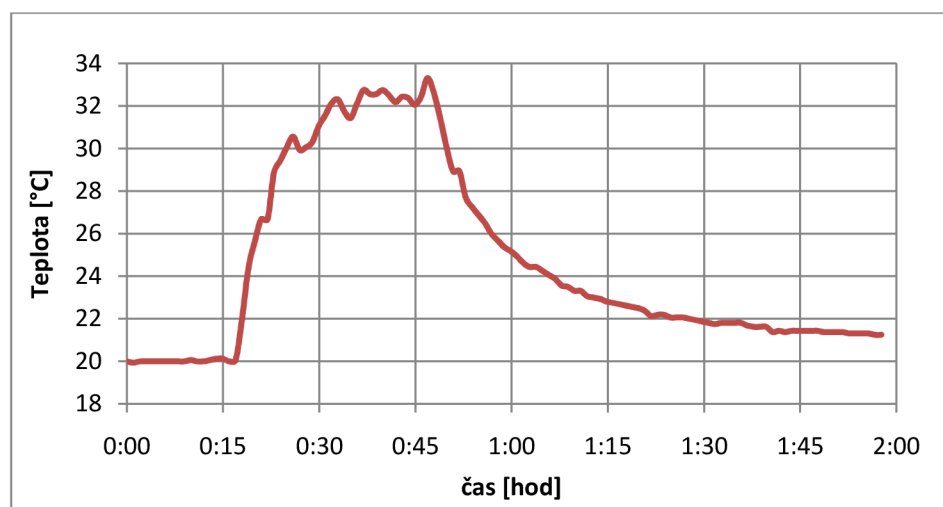
Obr. 45: Průběh teploty při vaření vody

Výchozí podmínky měření je teplota 21,8 °C a relativní vlhkost vzduchu 48 %. Napětí na senzoru vodních par odpovídá 180 mV, v 15-té minutě je zahájeno vaření. Nejprve dochází k pozvolnému nárůstu teploty. V 21. minutě vzrůstá obsah vodních par ve vzduchu a současně se prudce zvyšuje teplota. Voda dosahuje bodu varu v 25.té minutě, teplota uvnitř digestoře překračuje 32 °C a na senzoru TGS 2180 narůstá napětí k hodnotě 300 mV. Sepnutím ventilátoru digestoře dojde k poklesu vodních par a teplotě. V 33. minutě je vypnuta varná deska a v 45. minutě vypnut ventilátor digestoře. Obsah vodních par se během několika minut vrátí zpět na původní hodnotu před začátkem vaření. Teplota klesá velmi pozvolna a ani po 30-ti minutách od ukončení vaření ještě nedosáhne původní hodnoty 21,8 °C.

Z popsaného průběhu vodních par a teploty během vaření vyplývá, že je možné pomocí senzoru TGS 2180 spolehlivě rozeznat začátek vaření a automaticky spínat ventilátor digestoře. Pro případ, kdy při vaření nevzniká tak velké množství vodních par jako při vaření vody, je použit senzor teploty DS18B20.



Obr. 46: Průběh napětí na senzoru TGS 2180 při smažení

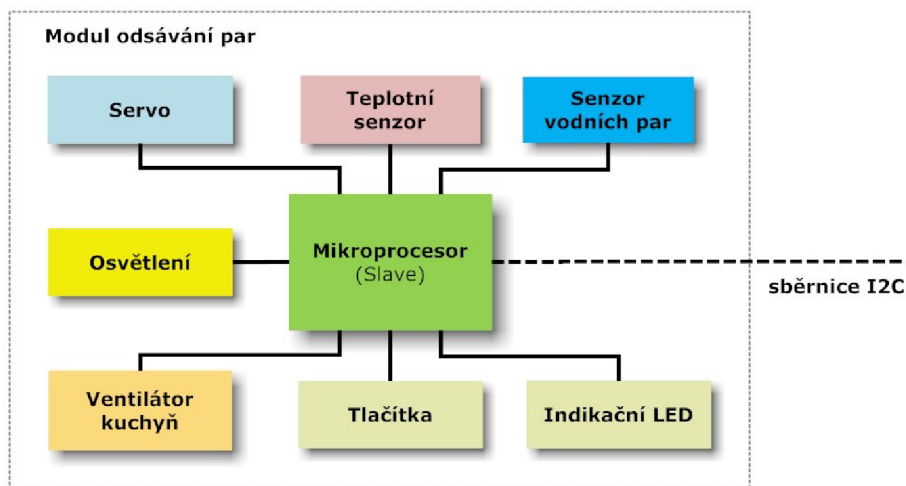


Obr. 47: Průběh teploty při smažení

Grafy na obrázku 45 a 46 ukazují průběh vodních par a teploty uvnitř digestoře během smažení. Výchozí podmínky jsou teplota 20 °C a relativní vlhkost vzduchu 43 %. Podíl vodních par již nedosahuje tak vysokých hodnot jako u změřeného průběhu vaření vody. Ovšem je možné rozeznat v 16-té minutě zahájení smažení doprovázené prudkým nárůstem teploty a částečně i vodních par. Teplota postupně dosahuje 32 °C a napětí na senzoru TGS 2180 hodnoty okolo 230 mV. Automatické vypínání digestoře není použito z důvodu různorodosti průběhu vaření. Na základě nárůstu teploty a vodních par modul odsávání spolehlivě odhalí okamžik zahájení vaření i bez velkého podílu vody a automaticky otevře ventilační klapku a sepne ventilátor.

### 11.1 Popis modulu odsávání par

Modul odsávání par je určen pro instalaci do digestoře v kuchyni. Hlavním prvkem je mikroprocesor PIC16F882, který provádí měření vodních par pomocí senzoru TGS 2180 a senzoru teploty DS18B20. Modul se ovládá pomocí tří mikrospínačů. První slouží k manuálnímu zapínání a vypínání ventilátoru digestoře, druhé k aktivaci automatického režimu spínání odsávání a poslední pro ovládání osvětlení digestoře. Stav zapnutého odsávání a automatického režimu je signalizován pomocí dvou indikačních LED. Modul dále umožňuje otevírání a zavírání ventilační klapky ve ventilační trubce digestoře. Tím se předejde tepelným ztrátám přirozeným odtahem vzduchu při vypnutém odsávání. Komunikace s hlavní řídicí jednotkou je realizována pomocí datové sběrnice I<sup>2</sup>C.



Obr. 48: Blokové schéma modulu odsávání par

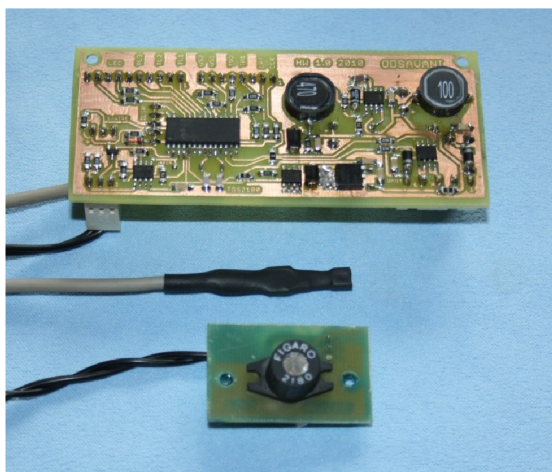
#### Technické parametry:

- Napájení stejnosměrným napětím 8 až 12 V
- Pracovní stav 8 V/90 mA + příkon použitého servopohonu, klidový stav 8 V/7 mA
- Ochrana proti přepólování napájecího napětí
- Tři tlačítka pro spínání ventilátoru, osvětlení a aktivaci automatického chodu
- Výkonové spínání ventilátoru a osvětlení 230 V s příkonem do 200 W
- Spínání LED osvětlení s proudovým zatížením do 2,5 A
- Možnosti ovládání ventilační klapky digestoře
- Komunikace na sběrnici I<sup>2</sup>C v režimu slave

## 11.2 Zapojení modulu odsávání par

Modul je řízen mikroprocesorem PIC16F882, který je taktován externím krystalem 4 MHz. Napájecí stejnosměrné napětí 8 až 12V se přivádí na konektor KON1 na pin 1 a zem na pin 2. Pomocí stabilizátoru 78M05 je sníženo na 5 V a v druhé větvi pomocí DC-DC měniče s obvodem MC34063A je sníženo na napětí 3 V určené pro servopohon ventilační klapky. Napájení servopohonu je spínáno pomocí výkonového tranzistoru IRF7303 s možností proudového zatížení až 2,5 A. Servopohon se připojuje na pin 5 a jeho spínaná zem na pin 3 a zpětná vazba o poloze klapky na pin 7 a pin 8 konektoru KON5. Konektor KON3 umožňuje připojení teplotního senzoru DS18B20. Senzor vodních par TGS 2180 je osazen na samostatném plošném spoji, který se pomocí třívodičového kabelu připojuje na konektor KON2. Vyhřívání senzoru je spínáno pomocí tranzistoru BSS83 a je vyvedeno na pin 2. Odporů R3 a R6 spolu s operačním zesilovačem IC4B slouží ke snímání proudu vyhřívacím elementem. Při překročení proudu nad hodnotu 300 mA je vyhřívání odpojeno a chyba zapsána v diagnostickém registru. Výstup senzoru na pinu 1 je uzemněno rezistorem R2 a přivedeno na vstup operačního zesilovače IC4A, který je zapojen jako sledovač. Výstup operačních zesilovačů IC4A a IC4B je přiveden na vstup analogově digitálního převodníku integrovaného v mikroprocesoru. Jako zdroj referenčního napětí je použit obvod LM385-1.2 s výstupním napětím 1,235 V.

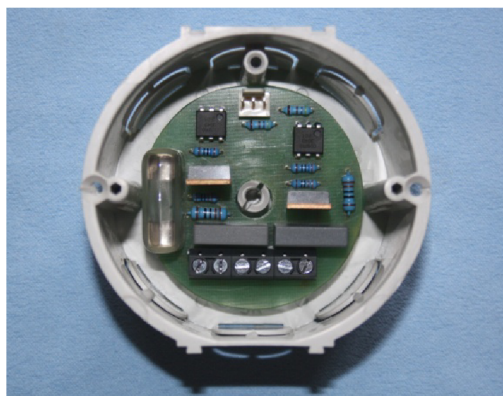
Tlačítka pro ovládání modulu jsou připojena na konektoru KON4, na pinu 1 mikropínač pro manuální ovládání ventilátoru, na pinu 3 mikropínač pro zapínání osvětlení a na pinu 5 tlačítko pro volbu automatického nebo manuálního režimu. Stav zapnutého ventilátoru je zobrazen na LED na pinu 7 a aktivní automatické režim na LED na pinu 9. Ventilátor digestoře je spínán pomocí triaku, který je umístěn na samostatném výkonovém modulu. Signál pro triak je vyveden na pin 4 a signál pro triak pro spínání osvětlení na pin 5 konektoru KON5. Datový vodič sběrnice I<sup>2</sup>C je připojen na pin 2 a signál hodin na pin 1. Modul umožňuje ovládání LED osvětlení napájené stejnosměrným napětím, jeho zem je pak spínána na pinu 4 konektoru KON1 pomocí tranzistoru IRF7303. Konektor KON6 slouží k programování mikroprocesoru.



Obr. 49: Modul odsávání par

Plošný spoj modulu odsávání par má rozměry 100 x 43 mm. Je realizovaný jako jednostranný s kombinací SMD součástek a vývodových součástek. Senzor TGS 2180 je umístěn na samostatném plošném spoji o rozměru 38 x 24 mm, který se instaluje pomocí dvou šroubků o průměru 3 mm.

Pro spínání ventilátoru a osvětlení napájeného 230 V je určen výkonový modul. Ten je umístěn mimo digestoř v samostatné elektroinstalační krabici. Signály pro ovládání optotriaků MOC3043 z modulu odsávání par jsou přivedeny na konektor KON1 (viz příloha). Vlastní výkonové spínání provádí triaky TIC206. Modul umožňuje spínání osvětlení a ventilátoru s příkonem do 200 W.



Obr. 50: Výkonový triakový modul

### 11.3 Komunikace modulu odsávání par

Modul odsávání par je volán hlavní řídicí jednotkou pod adresou 1100101X. Příkaz A3<sub>16</sub> slouží k zaslání naměřené hodnoty napětí na senzoru vodních par TGS 2180 a příkaz A2<sub>16</sub> k získání naměřené teploty. Poslední příkaz B2<sub>16</sub> podává informaci o hodnotě v registru Info1.

Tabulka 23: Příkazy pro modul odsávání par

hex	bin	čtení R / zápis W	odpověď
A3	10100011	R	napětí na senzoru TGS 2180
A2	10100010	R	data ze senzoru DS18B20
B2	10110010	R/W	registr info1

Stav tlačítka pro manuální zapínání ventilátoru je čten na bitu 0 a tlačítka pro aktivaci režimu auto na bitu 1. Sepnuté osvětlení digestoře je možné rozeznat na bitu 2. Otevřená klapka a běžící ventilátor digestoře je indikován log. 1 na bitu 3. Do tohoto bitu je možné zapisovat a vzdáleně tak vypnout ventilátor. Diagnostika vyhřívání senzoru TGS 2180 je čtena na bitu 4 a v případě překročení proudu nad 300 mA je bit nastaven do log. 1. V případě, že dojde k automatickému sepnutí odsávání je nastaven bit 5 a stav nárůstu teploty nebo vlhkosti je indikován na bitu 6 a 7.

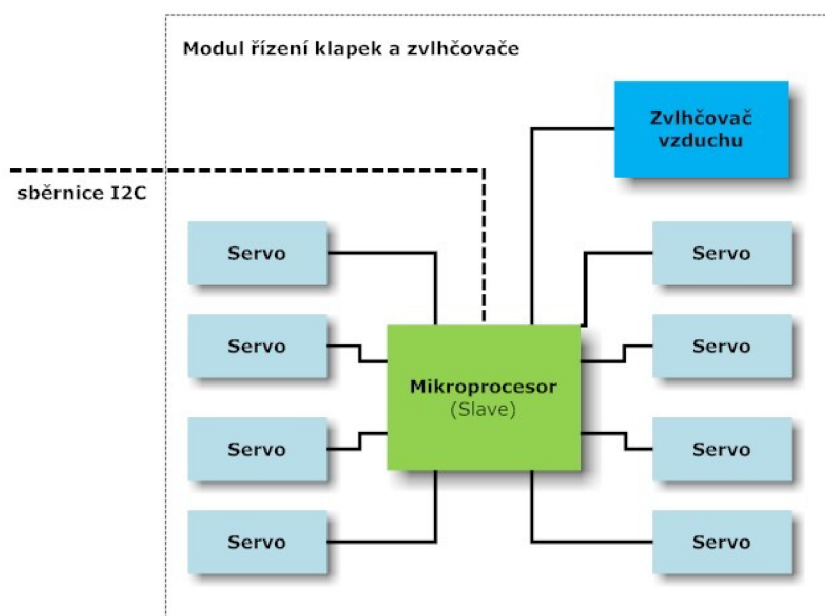
Tabulka 24: Modul odsávání par – registr Info1

Info1				
bit7	R	aktivováno vodní párou	0 - ne	1 - ano
bit6	R	aktivováno teplotou	0 - ne	1 - ano
bit5	R	automatické sepnutí	0 - neaktivní	1 - aktivní
bit4	R	senzor výhřev	0 - v pořádku	1 - nadproud
bit3	R/W	ventilátor	0 - vypnutý	1 - zapnutý
bit2	R	světlo	0 - zhasnuta	1 - svítí
bit1	R	režim auto	0 - neaktivní	1 - aktivní
bit0	R	tlačítko ventilátor	0 - vypnuto	1 - zapnuto

## 12 Modul řízení klapek a zvlhčovače

Distribuce vzduchu do jednotlivých místností je realizována pomocí rozdělovací skříně s klapkami v jednotlivých vyústěních. Poloha klapek je nastavována pomocí servopohonů se zpětnou vazbou. Skříň je vybavena roztřískovacím zvlhčovačem vzduchu, který je elektronicky ovládán. Modul řízení klapek a zvlhčovače vzduchu umožňuje ovládání až osmi servopohonů se zpětnou vazbou. Klapka je umístěna na hřídeli s vačkou, která spíná mikrospínače v příslušných polohách otevřeno.

Modul je řízen mikroprocesorem PIC16F882 a ten pomocí výkonových tranzistorů ovládá servopohony a zvlhčovač vzduchu. Modul je vybaven tlačítkem pro zahájení servisního módu. Ten slouží k nastavování jednotlivých klapek do výchozích poloh a ověření správné funkce servopohonů. Zároveň je prováděna diagnostika odběru proudu zvlhčovače vzduchu a jednotlivých klapek včetně detekování chyby koncových mikrospínačů. Popisovaný modul komunikuje v režimu slave s hlavní řídicí jednotkou po datové sběrnici I<sup>2</sup>C.



Obr. 51: Blokové schéma modulu řízení klapek a zvlhčovače

### Technické parametry:

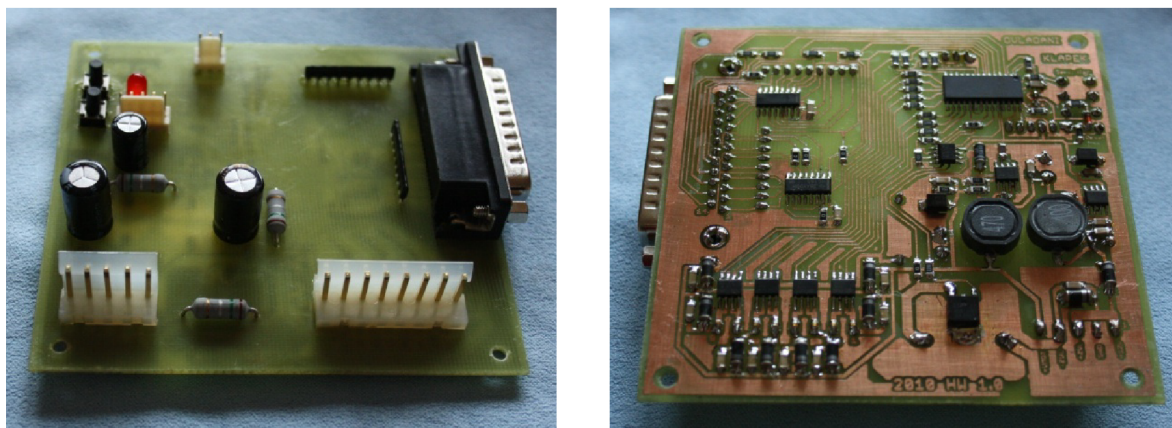
- Napájení stejnosměrným napětím 12 V
- Pracovní stav 12 V/20 mA + příkon použitého servopohonu, klidový stav 12 V/8 mA
- Ochrana proti přepólování napájecího napětí
- Spínání až osmi servopohonů se zpětnou vazbou
- Spínání servopohonů s proudovým zatížením do 1,5 A (softwarově omezeno)
- Spínání zvlhčovače vzduchu napájeného z 12 V s proudovým odběrem do 4 A
- Diagnostika odběru proudu a koncových mikrospínačů
- Komunikace na sběrnici I<sup>2</sup>C v režimu slave



## 12.1 Zapojení modulu řízení klapek a zvlhčovače

Hlavním prvkem modulu řízení klapek a zvlhčovače je mikroprocesor PIC16F882. Napájecí stejnosměrné napětí 12 V je přivedeno na konektor KON1. Pomocí stabilizátoru napětí 78L05 je sníženo na 5 V a v druhé větvi pomocí DC-DC měniče s obvodem MC34063A na napětí 3 V. Servopohony jsou připojeny mezi pin 5 konektoru KON1 a příslušný pin na konektoru KON2. Spínání je realizováno pomocí výkonových unipolárních tranzistorů IRF7303 s proudovým zatížením do 1,5 A. Proud servopohonem je snímán pomocí rezistoru R20 a operačního zesilovače IC5A. Z důvodu proudového zatížení je pomocí ovládacího programu mikroprocesoru ošetřeno, aby v jeden okamžik byl sepnut vždy jen jeden servopohon.

Zvlhčovač vzduchu napájení 12 V se připojuje na konektor KON1. Spínání zajišťuje tranzistor IRLR024 s proudovým zatížením až 4 A. Opět je snímán výstupní proud pomocí rezistoru R27 a operačního zesilovače IC5B. Zpětné vazby od mikrospínačů spínaných pomocí vaček jsou přivedeny na konektor D-SUB 25. V aktivním sepnutém stavu je na vstup přivedena log. 0 a pomocí posuvných registrů 74HC165 v kaskádním zapojení je tento stav přenesen na pin 7 mikroprocesoru PIC16F882. Modul je vybaven resetovacím tlačítkem a servisním tlačítkem. Poruchový stav je v případě nadproudu na výstupu zobrazen pomocí indikační LED. Datová sběrnice I<sup>2</sup>C je připojena na samostatný konektor KON3 a programování mikroprocesoru zajišťuje konektoru KON4.



Obr. 52: Modul řízení klapek a zvlhčovače: pohled z přední strany (vlevo), pohled za strany součástek (vpravo)



Obr. 53: Pohled na ventilační klapky distribuční skříně

Plošný spoj o rozměru 100 x 95 mm je realizován jako jednostranný s kombinovanou montáží. Konektory, snímací rezistory R19, R20 a R27, elektrolytické kondenzátory, LED a tlačítka jsou použity jako vývodové. Ostatní součástky včetně výkonových tranzistorů jsou osazeny v SMD pouzdrech.

## 12.2 Komunikace s modulem řízení klapky a zvlhčovače

Nastavování ventilačních klapky a zvlhčovače provádí hlavní řídicí jednotka pomocí datové sběrnice I<sup>2</sup>C. Modul je volán pomocí adresy 1100100X a příslušného příkazu. Nastavování klapky se provádí příkazem C1<sub>16</sub> a zasláním bajtu o požadované poloze klapky, log. 0 odpovídá zavřené ventilační klapce a log. 1 otevřené. Nejnižší bit ventilační klapky na výstupu na pinu 1 konektoru KON2 a nejvyšší bit na pinu 8. Příkaz C2<sub>16</sub> slouží k získání informace o aktuální poloze ventilačních klapky. Posledním příkazem B2<sub>16</sub> získáme informaci z registru Info1.

Tabulka 25: Příkazy pro modul řízení klapky a zvlhčovače

Příkaz	hex	bin	čtení R / zápis W	odpověď
Klapky nastavit	C1	11000001	W	-
Klapky stav	C2	11000010	R	aktuální poloha klapky
Info1	B2	10110010	R/W	registr info1

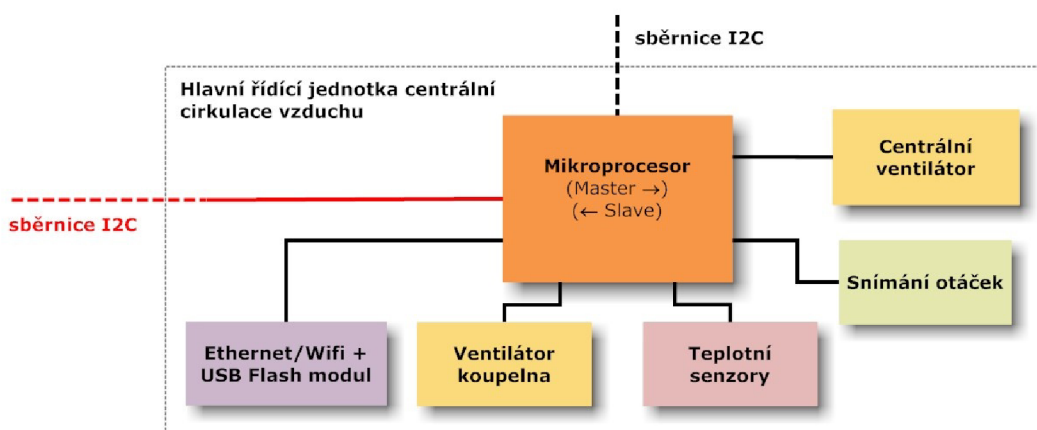
V případě překročení proudu servopohonem nad hodnotu 1,5 A je servopohon vypnut a zároveň je nastaven diagnostický bit 4 do log. 1. Obdobně je vyhodnocován proudový odběr zvlhčovače vzduchu s omezením do 4 A. Hlavní řídicí jednotka zapíná rozstříkovač zvlhčovač pomocí zápisu do bitu 6, po jeho nastavení dojde k aktivaci zvlhčování. Výsledek diagnostiky mikrospínačů je možné číst na bitu 7. Pokud do 30 s od zapnutí servopohonu nedojde k aktivaci příslušného mikrospínače pomocí vačky, nastane vyhodnocení chyby a nastavení bitu 7 do log. 1.

Tabulka 26: Modul řízení klapky a zvlhčovače – registr Info1

Info1				
bit7	R/W	stav mikrospínačů	0 - v pořádku	1 - chyba
bit6	R/W	zvlhčovač	0 - vypnutý	1 - zapnutý
bit5	R	zvlhčovač proud	0 - v pořádku	1 - nadproud
bit4	R	servopohon proud	0 - v pořádku	1 - nadproud
bit3	R	indikační LED	0 - zhasnuta	1 - svítí
bit2	R		-	
bit1	R		-	
bit0	R		-	

## 13 Hlavní řídicí jednotka centrálního větrání

Nejvýznamnějším prvkem celého systému centrální cirkulace vzduchu je hlavní řídicí jednotka, která provádí vlastní algoritmus regulace kvality vzduchu na základě koncentrace oxidu uhličitého a kvality venkovního vzduchu. Zajišťuje regulaci vlhkosti v obytných místnostech pomocí zvlhčovače vzduchu. Umožňuje komunikaci s jednotlivými moduly pomocí datové sběrnice I<sup>2</sup>C v režimu master. Na další samostatné sběrnici komunikuje v režimu slave s inteligentní řídicí jednotkou teplovodního vytápění. Na základě počtu místností, kde se provádí výměna vzduchu, reguluje výkon centrálního ventilátoru pomocí fázové regulace. Prostřednictvím modulu regulace vlhkosti měří relativní vlhkosti v koupelně a spíná ventilátor pro odvětrávání. Současně umožňuje časované spínání dalšího ventilátoru pro odvětrávání, např. druhé koupelny. Pro měření teplot vzduchu ve ventilačním rozvodu jednotka používá senzory DS18B20 s přenosem dat po sběrnici 1-Wire. Dalším úkolem hlavní řídicí jednotky je komunikace s uživatelským webserverem a modulem pro zápis naměřených hodnot do standardní USB flash paměti.



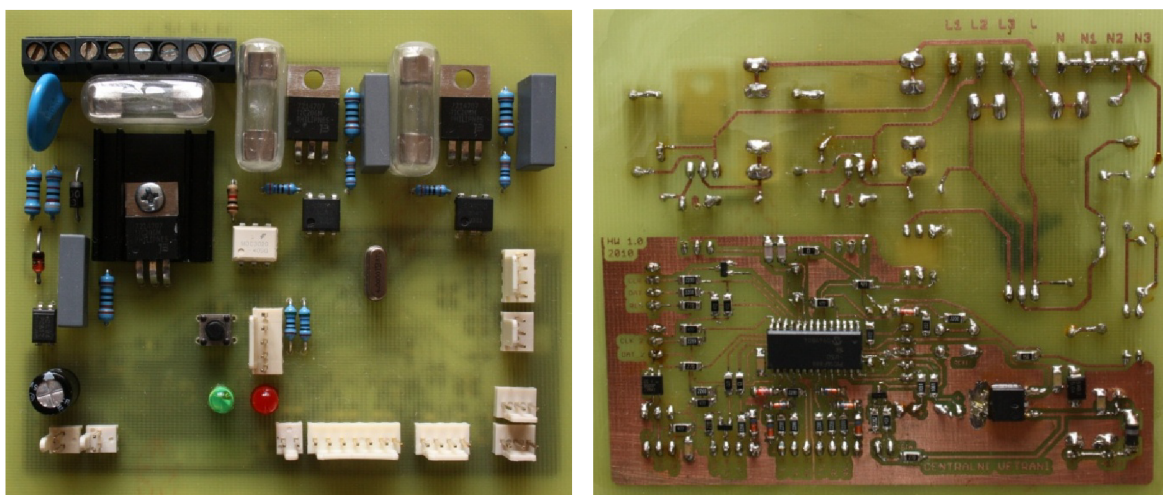
Obr. 54: Blokové schéma hlavní řídicí jednotky centrálního větrání

### Technické parametry:

- Napájení stejnosměrným napětím 8 až 12 V
- Pracovní stav 8 V/35 mA, klidový stav 8 V/6 mA
- Ochrana proti přepólování napájecího napětí
- Fázová regulace ventilátoru 230 V s příkonem do 200 W
- Výkonové spínání dvou ventilátorů 230 V pomocí triaků
- Optické snímání otáček
- Možnost připojení teplotních sensorů DS18B20
- Sběrnice 1-Wire s ochranou proti přepětí
- Komunikace s modulem webserveru
- Dvě sběrnice I<sup>2</sup>C s komunikací v režimu master a slave

### 13.1 Zapojení hlavní řídicí jednotky centrálního větrání

Hlavní řídicí jednotka je řízena pomocí mikroprocesoru PIC16F886 firmy Microchip. Napájecí napětí 8 až 12 V se přivádí na konektor K1 a pomocí stabilizátoru napětí je sníženo na 5 V. Datová sběrnice I<sup>2</sup>C pro komunikaci s moduly ventilačního systému je připojena na konektor K9 včetně signálu na pinu 1 pro vzdálený reset modulů. Druhá sběrnice I<sup>2</sup>C pro komunikaci s řídicí jednotkou teplovodního vytápění se připojuje pomocí tří pinového konektoru K7. Triak T1 spíná ventilátor v koupelně vybavené modulem regulace vlhkosti, triak T2 ventilátor v druhé koupelně na základě stisknutí tlačítka připojeného na konektoru K2. Po stisknutí tlačítka je zahájen běh ventilátoru po dobu 7 minut. Výkon centrálního ventilátoru a jeho otáčky jsou regulovány pomocí fázové regulace. Sinusový průběh síťového napětí je pomocí zapojení s optočlenem PC817 převeden na obdélníkový signál. Mikroprocesor pak časuje opoždění sepnutí triaku od průchodu síťového napětí nulou. Teplotní senzory DS18B20 se připojují pomocí konektorů K4 a K5 včetně ochrany komunikační sběrnice 1-Wire proti přepětí pomocí obvodu DS9503. Modul je vybaven resetovacím tlačítkem a indikační LED pro zobrazování průběhu komunikace po I<sup>2</sup>C sběrnici a LED pro zobrazení poruchového stavu.



Obr. 55: Hlavní řídicí jednotka: pohled z přední strany (vlevo), pohled ze strany součástek (vpravo)

Snímání otáček centrálního ventilátoru je realizováno pomocí optického snímače TCST1103 a snímacího kolečka. Snímač se připojuje na konektor K1, na pinu 2 je výstup pro vysílací infračervenou (IR) diodu a na pinu 3 výstup ze snímacího fototranzistoru integrovaného v optickém snímači. Světelný paprsek mezi IR diodou a fototranzistorem je přerušován snímacím kolečkem s 12-ti zářezy. Výstup z fototranzistoru má obdélníkový průběh, ten je vyhodnocen pomocí komparátoru integrovaného v mikroprocesoru. Pomocí algoritmu je pak převeden na příslušnou hodnotu otáček za minutu.



Obr. 56: Optický snímač otáček

### 13.2 Algoritmus regulace hlavní řídicí jednotky centrálního větrání

Algoritmus regulace čistoty vzduchu vyhodnocuje koncentraci oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$  v jednotlivých místnostech pomocí modulu popsaném v kapitole 9. Uživatel pomocí webového prostředí nastaví nejvyšší povolenou mez koncentrace  $\text{CO}_2$ . Nastavování se provádí pro jednotlivé místnosti nezávisle na sobě. Pokud v některé z místností dojde k překročení povolené koncentrace, hlavní řídicí jednotka pomocí modulu řízení klapek zajistí přívod vzduchu do příslušné místnosti a sepne centrální ventilátor. Regulace kvality vzduchu je spínána s hysterezí na základě horní meze nastavené uživatelem a dolní meze koncentrace  $\text{CO}_2$  700 ppm. Při dosažení dolní meze je vypnut centrální ventilátor a uzavřena ventilační klapka. Otáčky centrálního ventilátoru jsou regulovány s ohledem na počet právě větraných místností. S rostoucím počtem místností rostou otáčky ventilátoru.

Zároveň je v jednotlivých místnostech snímána relativní vlhkost vzduchu a uživatel má možnost nastavit nejnižší dovolenou mez vlhkosti. V případě nízké hodnoty je otevřena ventilační klapka, sepnut centrální ventilátor a aktivován zvlhčovač vzduchu. Zvlhčovač vzduchu je umístěn v distribuční skříni a jeho rozstřikovač o průměru 0,5 mm je sepnut na 3 s v časovém intervalu jedné minuty. Zvlhčování je ukončeno při zvýšení relativní vlhkosti v konkrétní místnosti nad požadovanou mez.

Uživatel má možnost zahájit manuální větrání pomocí bezkontaktního tlačítka umístěného v každé z místností. Výměna vzduchu je tak zahájena i v případě, kdy koncentrace  $\text{CO}_2$  ještě nepřekročila povolenou mez. Zároveň je monitorována kvalita venkovního vzduchu a v případě znečištěného ovzduší je zakázán přívod venkovního vzduchu do interiéru. V každé místnosti je instalován požární senzor, který je napojen na modul měření  $\text{CO}_2$  a vlhkosti. V případě nebezpečí je vypnut centrální ventilátor a uzavřeny všechny ventilační klapky. Tím se zabrání rozšíření požáru v důsledku přívodu kyslíku podporujícího hoření.



Obr. 57: Ventilační výdechy v testovaném domě: přívod vzduchu (vlevo), odvádění vzduchu (vpravo)

Přívod vzduchu do jednotlivých místností je realizován pomocí ventilačního rozvodu. Jeho výústění v jedné z místností testovaného domu je zobrazeno na obr. 57. Vlevo vidíme ventilační mřížku pro přívod čistého vzduchu umístěnou nad podlahou, vpravo mřížku pro odvádění vzduchu z místnosti instalovanou ve stropě.

### 13.3 Komunikace s jednotlivými moduly centrálního větrání

Hlavní řídicí jednotka komunikuje v režimu master s moduly centrálního větrání pomocí datové sběrnice I<sup>2</sup>C. Přehled adres jednotlivých modulů zobrazuje následující tabulka, detailní popis příkazů pro konkrétní modul popisují předcházející kapitoly. Pro modul měření čistoty venkovního vzduchu je použita adresa 1110101X, kde X odpovídá hodnotě log. 0 pro zápis a log. 1 pro čtení dat. Hlavní řídicí jednotka používá pro komunikaci na sběrnici I<sup>2</sup>C frekvenci hodinového signálu 30 kHz. Pro zajištění spolehlivé komunikace je propojení mezi jednotlivými moduly v testovaném domě realizováno pomocí kabelu s kroucenými páry.

Tabulka 27: Adresy modulů systému centrálního větrání

Modul	Adresa (binárně)
Měření čistoty venkovního vzduchu	1110101X
Měření CO <sub>2</sub> a vlhkosti A	1111100X
Měření CO <sub>2</sub> a vlhkosti B	1111101X
Měření CO <sub>2</sub> a vlhkosti C	1111110X
Regulace vlhkosti	1110110X
Odsávání par	1100101X
Řízení klapky a zvlhčovače	1100100X

### 13.4 Komunikace s řídicí jednotkou teplovodního vytápění

Jednotka je také vybavena druhou samostatnou sběrnici I<sup>2</sup>C, kde komunikuje v režimu slave s řídicí jednotkou teplovodního vytápění. Současně na této sběrnici umožňuje čtení diagnostických dat. Hlavní řídicí jednotka je volána adresou 1110011X a příkazem 8C<sub>16</sub> pro informaci o právě probíhající ventilaci a příkaz D4<sub>16</sub> a D5<sub>16</sub> pro čtení registrů Diag1 a Diag2.

Tabulka 28: Příkazy pro hlavní řídicí jednotku centrálního větrání

Příkaz	hex	bin	čtení R / zápis W
Větrání stav	8C	10001100	R
Diagnostika 1	D4	11010100	R
Diagnostika 2	D5	11010101	R

Tabulka 29: Hlavní řídicí jednotka centrálního větrání – registr VetrStav

VetrStav				
bit7	R		-	
bit6	R		-	
bit5	R	<b>zvlhčovač</b>	0 - vypnuto	1 - zapnuto
bit4	R	<b>koupelna</b>	0 - vypnuto	1 - zapnuto
bit3	R	<b>odsávač par</b>	0 - vypnuto	1 - zapnuto
bit2	R	<b>místnost 3</b>	0 - vypnuto	1 - zapnuto
bit1	R	<b>místnost 2</b>	0 - vypnuto	1 - zapnuto
bit0	R	<b>místnost 1</b>	0 - vypnuto	1 - zapnuto

Registr VetrStav podává informaci o probíhající výměně vzduchu v obytných místnostech na bitu 0 až 2. V případě otevřené ventilační klapky odpovídající místnosti a sepnutého centrálního ventilátoru je tento bit nastaven do log. 1. Probíhající stav odsávání par v kuchyni a odvádění vlhkého vzduchu z koupelny je čten na bitu 3 a 4. Probíhající cyklus zvlhčování je možné rozlišit na bitu 5 se stavem log. 1.

Diagnostický registr Diag1 na bitu 0 informuje o stavu poruchy ventilačního systému. Chyba příslušného modulu je zapsána v případě, kdy neodpovídá na příkazy nebo zasílá chybná data na sběrnici I<sup>2</sup>C. Stav komunikace modulů řízení klapek, odsávání par a regulace vlhkosti je čten na bitu 2 až 4. Přítomnost síťového napětí 230 V a tedy i přerušení proudové pojistky centrálního ventilátoru rozeznáme stavem log.1 na bitu 5. V druhém diagnostickém registru Diag2 na bitu 1 až 4 čteme stav komunikace tří modulů měření CO<sub>2</sub> a modulu měření čistoty venkovního vzduchu. Chybový stav je vymazán po úspěšném navázání komunikace s odpovídajícím modulem. Bezporuchový stav ventilačního systému odpovídá nulové hodnotě registru Diag1 a Diag2.

Tabulka 30: Hlavní řídicí jednotka centrálního větrání – registr Diag1

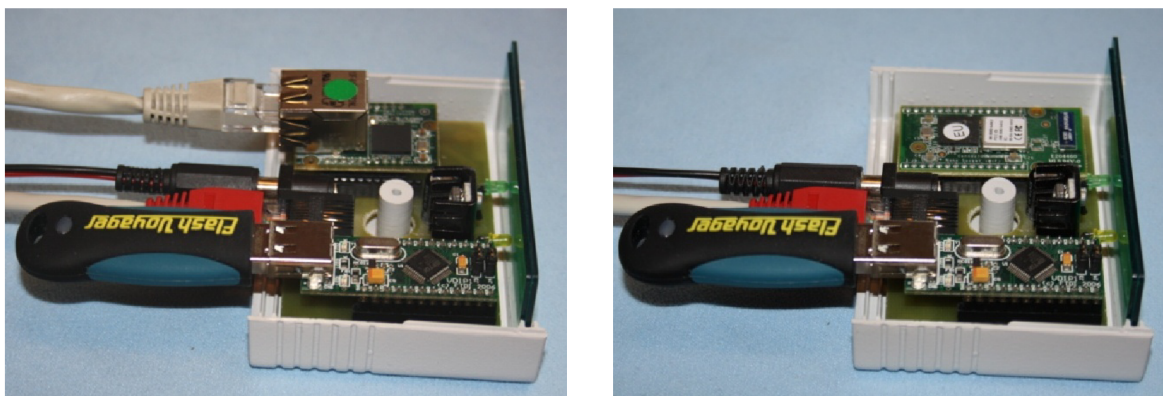
Diag1				
bit7	R	-		
bit6	R	-		
bit5	R	<b>napětí 230 V</b>	0 - v pořádku	1 - chyba
bit4	R	<b>reg. vlhkosti</b>	0 - v pořádku	1 - chyba
bit3	R	<b>odsávač par</b>	0 - v pořádku	1 - chyba
bit2	R	<b>klapky</b>	0 - v pořádku	1 - chyba
bit1	R	-		
bit0	R	<b>zapsána chyba</b>	0 - ne	1 - ano

Tabulka 31: Hlavní řídicí jednotka centrálního větrání – registr Diag2

Diag2				
bit7	R	-		
bit6	R	-		
bit5	R	-		
bit4	R	<b>modul CO</b>	0 - v pořádku	1 - chyba
bit3	R	<b>modul CO<sub>2</sub> C</b>	0 - v pořádku	1 - chyba
bit2	R	<b>modul CO<sub>2</sub> B</b>	0 - v pořádku	1 - chyba
bit1	R	<b>modul CO<sub>2</sub> A</b>	0 - v pořádku	1 - chyba
bit0	R	-		

## 14 Modul webserveru

Informace o chodu systému centrálního větrání jsou zobrazovány pomocí webového prostředí. Uživatel má možnost sledovat koncentraci oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>, relativní vlhkost, stav ventilace a čistotu venkovního vzduchu, včetně nastavování dovolených hranic koncentrace CO<sub>2</sub> a relativní vlhkosti pro jednotlivé místnosti. Modul webserveru je realizován ve variantě s ethernetovým připojením nebo v bezdrátové variantě s připojením pomocí wifi. Ve webserveru je použit modul firmy Connect One s označením Nano SocketLAN případně Nano Socket iWifi pro bezdrátovou verzi. Modul má integrovanou paměť pro nahrání uživatelského webserveru (detailní popis [8]) přizpůsobeného pro zobrazování dat zaslaných hlavní řídicí jednotkou centrálního větrání. Současně je vybaven konfigurovatelným webovým prostředím pro nastavování IP adresy, masky podsítě, výchozí brány apod. Podporováno je ethernetové připojení o rychlosti 10 a 100 Mbit.s<sup>-1</sup> a wifi připojení s rychlostí až 54 Mbit.s<sup>-1</sup>. Naměřené hodnoty koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> je možné ukládat na běžný USB flash disk ve formátu FAT16 i FAT32. Hodnoty jsou ukládány do jednotlivých buněk standardizovaného souboru s koncovkou CSV (Comma-separated values). Zápis na USB flash disk je realizován pomocí modulu VDIP1 firmy FTDI.



Obr. 58: Modul webserveru: varianta s ethernetovým připojením (vlevo), varianta s wifi připojením (vpravo)

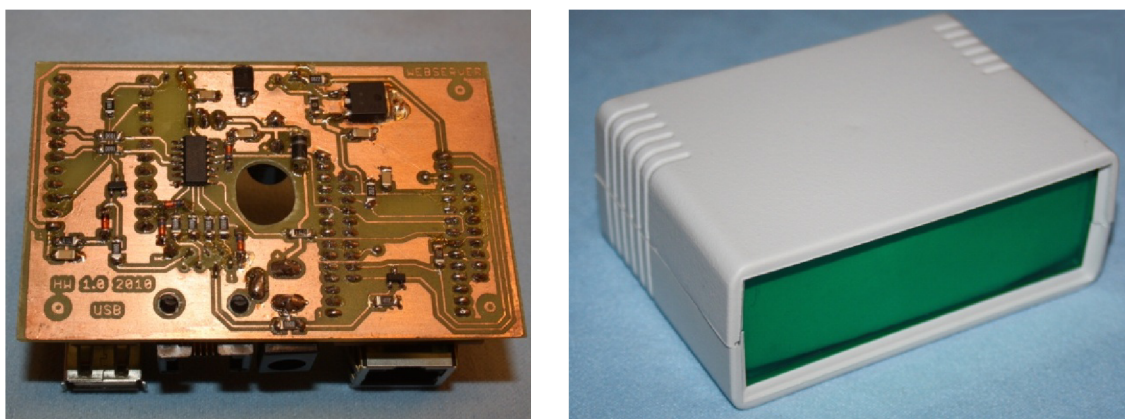
### Technické parametry:

- Napájení stejnosměrným napětím 8 až 12 V
- Pracovní stav 8 V/160 mA + příkon připojené USB flash paměti
- Ochrana proti přepólování napájecího napětí
- Ethernetové připojení s rychlosti 10/100 Mbit.s<sup>-1</sup> nebo bezdrátové wifi připojení s rychlostí až 54 Mbit.s<sup>-1</sup>
- Podpora USB flash disku s FAT16 i FAT32
- Záznam naměřených hodnot do CSV souboru
- Komunikace s hlavní řídicí jednotkou



## 14.1 Zapojení modulu webserveru

Napájecí napětí webserveru se přivádí na konektor KON1. Napětí 8 až 12 V je pomocí stabilizátoru 7805 sníženo na 5 V a použito pro napájení modulu VDIP a současně je vyvedeno na USB konektor. Modul VDIP se připojuje pomocí konektorů J1 a J2. Indikační LED1 informuje o právě probíhajícím zápisu na USB flash disk. Stabilizátor LF33 snižuje napětí na hodnotu 3,3 V sloužící k napájení modulu Nano SocketLAN připojeného na konektor J8 a J9 nebo modulu Nano Socket iWifi připojeného na konektor J8\_W a J9\_W. Indikační LED2 signalizuje probíhající komunikaci modulu. Na konektor KON2 je přivedena sběrnice UART pro přenos dat mezi hlavní řídicí jednotkou a modulem VDIP1 a modulem webserveru včetně připojení signálů pro reset.



Obr. 59: Modul webserveru: pohled za strany součástek (vlevo), krabička KM-35 (vpravo)

Plošný spoj o rozměru 82 x 52 mm je přizpůsoben pro zástavbu do plastové krabičky KM-35. V zadní části jsou umístěny konektory pro připojení sběrnice UART z hlavní řídicí jednotky, napájecí konektor (průměr vidlice 2,1 mm) a konektor pro připojení ethernetové sítě. V případě bezdrátové verze jsou vyvedeny pouze dva konektory a připojení je realizováno pomocí interní antény. Deska plošného spoje je realizována jako jednostranná s kombinací SMD a vývodových součástek.

## 14.2 Uživatelské prostředí webserveru

Informace o stavu systému centrálního větrání jsou zobrazovány pomocí webového prohlížeče. Naměřené hodnoty ze tří snímaných obytných místností, koupelny, odsávače par a z venkovního prostředí je možné centrálně sledovat. Pro obytné místnosti je uvedena aktuální hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> a relativní vlhkosti vzduchu. Uživatel má možnost nastavovat povolenou nejvyšší mez koncentrace CO<sub>2</sub> v rozmezí 1000 ppm až 1500 ppm, při jejím překročení dojde automaticky k zahájení výměny vzduchu v konkrétní obytné místnosti. Současně lze nastavovat nejnižší povolenou hranici vlhkosti v rozmezí 30 % až 55 %. Zároveň je možné zjistit, zda probíhá větrání některé z místností včetně odvádění vlhkého vzduchu z koupelny a zapnutého odsávače par v kuchyni. Informace o čistotě venkovního ovzduší je zobrazována v úrovni 1 až 8, kde nejnižší hodnota představuje nejčistší vzduch, detailní popis je možné nalézt v kapitole 8. Uživatel má k dispozici přívětivé prostředí ve formě webserveru a v případě internetového připojení je umožněna vzdálená správa automatického systému centrální cirkulace vzduchu odkudkoliv na světě.

Centrální větrání - Windows Internet Explorer

http://192.138.8.22/

Webserver  
**Centrální větrání**

### Obývací pokoj


 CO<sub>2</sub>:   
 Mez:

 Vlhkost:   
 Mez:

 Ventilace:

### Jídelna

 CO<sub>2</sub>:   
 Mez:

 Vlhkost:   
 Mez:

 Ventilace:

### Ložnice

 CO<sub>2</sub>:   
 Mez:

 Vlhkost:   
 Mez:

 Ventilace:


### Koupelna

 Vlhkost:   
 Ventilace:

### Kuchyně

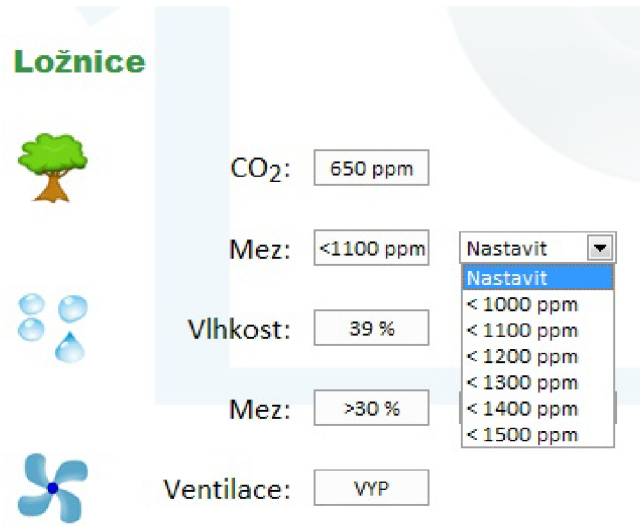
 Odsávání:

### Venkovní prostor

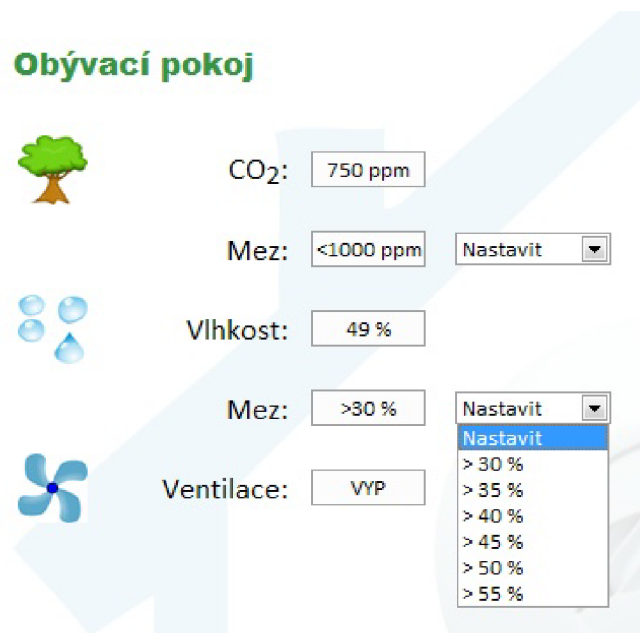
 CO:   
 Vlhkost:

Internet

Obr. 60: Uživatelské prostředí webservru centrálního větrání



Obr. 61: Nastavování požadované maximální povolené koncentrace CO<sub>2</sub>



Obr. 62: Nastavování požadované hodnoty relativní vlhkosti

## 15 Závěr

Projekt přináší objasnění možností automatické regulace kvality vzduchu v interiéru budov. Prezentuje realizovaný automatický ventilační systém založený na vyhodnocování kvality vzduchu pomocí koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Současně měří čistotu venkovního ovzduší na základě koncentrace oxidu uhelnatého CO s ochranou proti přivádění znečištěného venkovního vzduchu do interiéru. Požární ochrana je zajištěna pomocí senzorů kouře umístěných v jednotlivých místnostech a v případě nebezpečí se celý ventilační systém uzavře a zabrání se tak rozšíření požáru v důsledku přívodu kyslíku. Systém dále snímá relativní vlhkost v obytných místnostech a provádí její regulaci prostřednictvím zvlhčovače vzduchu.

Pro koupelnu je navržen samostatný modul, zajišťující bez nutnosti zásahu uživatele odvádění vlhkého vzduchu. Dalším prvkem systému je modul určený pro kuchyň, který je schopen rozeznat okamžik zahájení vaření a automaticky sepnou odsávač par. Pro monitorování a nastavování chodu systému je uživateli poskytnuto přívětivé prostředí ve formě webserveru. Ten je možné připojit pomocí ethernetového připojení nebo bezdrátově pomocí wifi do místní sítě a v případě připojení na Internet je umožněna vzdálená správa systému odkudkoliv na světě.

Při návrhu a ladění systému byl použit testovací rodinný dům vybavený centrálním rozvodem vzduchu do jednotlivých místností. Navržený systém je rozdělen na samostatné moduly vzájemně propojené sběrníci I<sup>2</sup>C. S ohledem na možnost testování byla práce doplněna řadou reálných měření zobrazujících průběh koncentrace CO<sub>2</sub>, koncentrace CO a relativní vlhkosti v interiéru budovy. Zajímavým se ukázalo měření koncentrace CO<sub>2</sub>, kde z časových průběhů je možné spolehlivě rozeznat přítomnost osob v místnosti a jejich intenzitu fyzické činnosti. Změřené hodnoty potvrzují vhodnost použití senzoru TGS 4161 v automatických systémech centrálního větrání. Součástí projektu je popis jednotlivých modulů včetně návrhu plošných spojů a zdrojových kódů pro použité mikroprocesory.

## 16 Použitá literatura

- [1] Petráš, D. a kol. Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje, 1.vyd., Bratislava: Jaga, 2008. 208 stran. ISBN 978-80-8076-069-4
- [2] Szényová, M.; Ferstl, K.; Nový, R. Větrání a klimatizace. 1.vyd., Bratislava: Jaga, 2006. 395 stran. ISBN 80-8076-037-3
- [3] Atas Náchod, Radiální ventilátor RATAS 3132 [2008-11]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.atas.cz/files/RATAS3132.pdf>>
- [4] Automatizace HW, Principy analyzátorů plynů [2008-12]. Dostupné z WWW:  
< <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART246-principy-analyzatoru-plynu.html>>
- [5] BMMS, Měření vlhkosti [2009-04]. Dostupné z WWW:  
< <http://web.umel.feec.vutbr.cz/BMMS/laboratorni%20ulohy.htm#uloha5T> >
- [6] Connect One, Datasheet Nano SocketLAN [2009-07]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.connectone.com/media/upload/Nano\\_Socket\\_LAN\\_DS.pdf](http://www.connectone.com/media/upload/Nano_Socket_LAN_DS.pdf)>
- [7] Connect One, Datasheet Nano Socket iWifi [2009-08]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.connectone.com/media/upload/Nano\\_Socket\\_LAN\\_DS.pdf](http://www.connectone.com/media/upload/Nano_Socket_LAN_DS.pdf)>
- [8] Connect One, Programmer Manual [2008-11]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.connectone.com/media/upload/ATi\\_Programmers\\_Manual\\_8\\_32.pdf](http://www.connectone.com/media/upload/ATi_Programmers_Manual_8_32.pdf)>
- [9] EC Most, Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě [2004-10]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.ecmost.cz/ver\\_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm](http://www.ecmost.cz/ver_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm)>
- [10] Elektrodesign, Axiální ventilátor TDM 200 [2008-11]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/tdm-200-ip44-maly-axialni-ventilator>>
- [11] Figaro, Datasheet TGS 2180 [2005-12]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.figarosensor.com/products/4161pdf.pdf> >
- [12] Figaro, Datasheet TGS 2600 [2005-01]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.figaro.co.jp/en/pdf/2600ProductInfo0105.pdf>>
- [13] Figaro, Datasheet TGS 4161 [2005-12]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.figaro.co.jp/en/pdf/CO2GasSensorTGS4161.pdf>>
- [14] FTDI, Vinculum Firmware User Manual [2008-08]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.vinculum.com/documents/fwspecs/UM\\_VinculumFirmware\\_V205.pdf](http://www.vinculum.com/documents/fwspecs/UM_VinculumFirmware_V205.pdf) >

- [15]FTDI, Datasheet Vinculum VNC1L [2009-08]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.vinculum.com/documents/datasheets/DS\\_VNC1L\\_V201\(FT\\_000030\).pdf](http://www.vinculum.com/documents/datasheets/DS_VNC1L_V201(FT_000030).pdf)>
- [16]HW server, Vlhkoměr a teploměr bez kalibrace [2009-03]. Dostupné z WWW:  
< <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART38-Vlhkometer-a-teplomer-bez-kalibrace.html>>
- [17]Lukeš, M., Požární taktika [2009-04]. Dostupné z WWW:  
< [http://prometheus.vsb.cz/materialy/metodikaJPO\\_novy/konspekty/1-1-05.pdf](http://prometheus.vsb.cz/materialy/metodikaJPO_novy/konspekty/1-1-05.pdf)>
- [18]Mašatová, J. Význam větrání budov [2008-10]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.e-architekt.cz/index.php?PId=1140&KatId=78>>
- [19]Maxim-Dallas, Datasheet DS18B20 [2008-08]. Dostupné z WWW:  
< <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>>
- [20] Maxim-Dallas, Datasheet DS9503 [2009-07]. Dostupné z WWW:  
< <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS9503.pdf>>
- [21]Microchip, Capacitive Sensing with PIC10F [2008-01]. Dostupné z WWW:  
< <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01202B.pdf>>
- [22]Microchip, Datasheet PIC10F20X [2007-04]. Dostupné z WWW:  
< <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41239D.pdf>>
- [23] Microchip, Datasheet PIC16F676 [2006-12]. Dostupné z WWW:  
< <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40039E.pdf>>
- [24] Microchip, Datasheet PIC16F88X [2009-03]. Dostupné z WWW:  
< <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291F.pdf>>
- [25] ON Semiconductor, Datasheet MC34063A [2009-08]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/MC34063A-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34063A-D.PDF)>
- [26] Protronix, Čidla znečištění vzduchu CO<sub>2</sub> [2008-11]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.protronix.cz/cz/produkty/informujeme.php?clanek=cidla-znecistenivzduchu-co2>>
- [27] Protronix, Měření CO<sub>2</sub> [2008-11]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.protronix.cz/data/cz\\_files/mereni\\_CO220081121121755.pdf](http://www.protronix.cz/data/cz_files/mereni_CO220081121121755.pdf)>
- [28] Samyoung, Datasheet SYH-2S [2009-02]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.samyoungsnc.com/pdf/humidity\\_sensor/SYH-2\\_SYH-2S.pdf](http://www.samyoungsnc.com/pdf/humidity_sensor/SYH-2_SYH-2S.pdf)>

- [29] Sensirion, Datasheet SHT11 [2009-01]. Dostupné z WWW:  
< [http://www.sensirion.ch/en/pdf/product\\_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf](http://www.sensirion.ch/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf) >
- [30] Texas Instruments, Datasheet TLC 272 [2002-02]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/tlc272.pdf>>
- [31] TZB-info, Složení atmosférického vzduchu [2008-10]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=74>>
- [32] TZB-info, Význam dostatečného větrání budov [2009-08]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2873&h=250&pl=47>>
- [33] Vishay, Datasheet TCST1103 [2009-08]. Dostupné z WWW:  
< <http://www.vishay.com/docs/83764/tcst1103.pdf>>
- [34] Vojáček, A., Principy analyzátorů plynů [2009-04]. Dostupné z WWW:  
< [http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/principy\\_analyzatoru\\_plynu.htm](http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/principy_analyzatoru_plynu.htm) >

## 17 Přílohy

- 1) Schéma modulu měření čistoty venkovního vzduchu „Senzor\_CO\_RH“ (formát A3)
- 2) Schéma modulu měření CO<sub>2</sub> a vlhkosti „Senzor\_CO2\_RH“ (formát A3)
- 3) Schéma modulu regulace vlhkosti „Vlhkostni\_spinac“ (formát A3)
- 4) Schéma modulu odsávání par „Modul\_odsavani“ (formát A3)
- 5) Schéma výkonového modulu s triakem „Odsavani\_triak“ (formát A4)
- 6) Schéma modulu řízení klapek a zvlhčovače „Modul\_klapek“ (2 x formát A3)
- 7) Schéma hlavní řídicí jednotky „HRJ\_central\_cirkul“ (2 x formát A3)
- 8) Schéma modulu webserveru „Modul\_webserver“ (formát A3)
- 9) CD se zdrojovým kódem a technickou dokumentací