

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

## **Zařízení pro sledování koncentrace CO<sub>2</sub> během výuky**

**Vladimír Veselý, Matyáš Hlivák**

**Ostrov 2018**

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor SOČ: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace**

**ZAŘÍZENÍ PRO SLEDOVÁNÍ KONCENTRACE CO<sub>2</sub> BĚHEM VÝUKY  
CO<sub>2</sub> CONCENTRATION MONITORING DEVICE DURING TRAINING**

**Autor:               Vladimír Veselý  
                          Matyáš Hlivák**

**Škola:                Střední průmyslová škola Ostrov p.o.  
                          Klínovecká 1197, Ostrov 363 01**

**Konzultant:        Ing. Alexandr Fales**

**Ostrov 2018**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou práci vypracoval samostatně, použil jsem pouze podklady citované v práci a uvedené v příloženém seznamu a postup při zpracování práce je v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Ostrově dne 11. března 2018

Vladimír Veselý

Matyáš Hlivák

.....

.....

## **Poděkování**

Děkujeme panu Alexandru Falesovi za jeho čas, cenné rady a pomoc při měření. Pomohl nám radou i tipem, jak vzniklé problémy řešit. Dále bychom rádi poděkovali panu řediteli Pavlu Žemličkovi za půjčení přístroje na měření koncentrace CO<sub>2</sub>.

## ANOTACE

Práce se zabývá konstrukcí zařízení pro sledování a měření koncentrace CO<sub>2</sub> v učebně. Práce je rozdělena do 5 kapitol. V první kapitole je popsána konstrukce prototypu, získávání a použití dat. Ve druhé kapitole je přiblížena cenová kalkulace. Třetí kapitola pojednává o aplikaci zařízení. Ve čtvrté kapitole je popsáno programování Arduina. V poslední páté kapitole je popsáno testovací měření během 4 vyučovacích hodin. Cílem práce je vytvořit samostatně pracující zařízení na kontrolu stavu ovzduší, a to především sledování koncentrace CO<sub>2</sub>.

**Klíčová slova:** arduino, kvalita, ovzduší, senzor, programování, CO<sub>2</sub>, koncentrace, LoRa, měření, konstrukce, zařízení

## ANNOTATION

The work deals with the construction of devices for monitoring and measurement of the CO<sub>2</sub> in the classroom. The thesis is divided into 5 chapters. The first chapter describes prototype construction, data acquisition and usage. The second chapter is the price calculation approach. The third chapter deals with device application. The fourth chapter describes Arduin programming. In the last fifth chapter the test measurement is described during 4 lessons. The aim of the thesis is to create self-contained air pollution control devices, especially CO<sub>2</sub> monitoring.

**Key words:** arduino, quality, air, sensor, programing, CO<sub>2</sub>, concentration, LoRa, measurement, construction, device

**OBSAH**

Úvod.....	5
1 Konstrukce prototypu.....	6
1.1 Arduino.....	6
1.2 Čidlo MQ-135 .....	7
1.3 Získání dat.....	7
1.4 Odesílání dat.....	8
1.5 Finalizace .....	8
2 Cenová kalkulace .....	10
3 Aplikace prototypu.....	10
4 Programování .....	11
5 Testování .....	12
Metodika.....	16
Výsledek práce .....	17
Závěr.....	18
Vysvětlení zkratk použitých v textu .....	19
Soupis informačních zdrojů .....	20
Seznam použitého softwaru .....	21

## Úvod

Během hodin s učitelem odborných předmětů panem Falesem nás vždy vyzve cca 3krát za hodinu, ať otevřeme na chvilku dokořán okno. Zajímalo nás, proč to děláme, když na jiných hodinách se to neděje. Vysvětlil nám, že se v místnosti zvyšuje koncentrace CO<sub>2</sub> tím, jak dýcháme a je nás v místnosti relativně hodně. Následně pak klesá naše pozornost, nastupuje únava, začínají nás pálit oči a celkově máme tendenci usínat. Jak to pozná? Říká, že se na nás dívá, a když vypadáme unaveně, tak nás vyzve k otevření oken.

Myšlenka sledování koncentrace ve třídě nás velmi zaujala a rozhodli jsme se nejen tuto skutečnost sledovat dostupným měřicím systémem, ale zkonstruovat vlastní prototyp, který by v první koncepci měřil hodnoty koncentrace CO<sub>2</sub> během dne, abychom otestovali jeho funkčnost a ve druhé koncepci by protokol signalizoval v podobě rozsvícení LED diody překročení hygienické normy a informoval tak učitele s tím, že by pak vyučující dal pokyn k otevření oken a vyvětrání místnosti.

Proč se ve školních třídách akumuluje tolik CO<sub>2</sub>, když návrhu na stavbu, popř. přestavbu předchází projekt, který z hlediska konstrukce a všech souvisejících stavebních úkonů musí splňovat zejména hygienické normy, které vedou na skutečnost, kdy je zaručená minimální výměna vzduchu.

Předpokládáme, že je zateplení jako takové naprosto v pořádku, protože konstrukci a finální podobě zateplení předchází kvalitně připravený projekt s výběrem odpovídajících materiálů a současné materiály nejen, že vedou k úspoře nákladů za vytápění (až 50 %), ale především splňují kritéria pro hygienické normy. Mimo to na stavbu nebo rekonstrukci budovy školy dohlíží odborný dozor, který vše hlídá, aby bylo v pořádku. Dále bychom ve třídách viděli vlhké zdivo a tvořící se plísně, pokud by stavba tzv. „nedýchala“. Zateplení je navíc estetickým řešením a prodlužuje životnost stavby.

Osobně si myslíme, že problém s nárůstem koncentrace CO<sub>2</sub> může souviset s výběrem oken a s jejich schopností mikroventilace a s nezbytností větrat vzhledem k tomu, že třídy nejsou opatřeny klimatizací, resp. by vzduchotechnika tento problém řešila sama. Současná okna jsou prakticky při uzavření zcela neprodyšná a vzduch do místnosti nemá kudy proudit. Bylo by super pozvat do školy odborníka, který by navrhl řešení v podobě nového projektu, ať už by skončil například doporučením na prováděcí předpis s předepsanou intenzitou větrání nebo by se do tříd zavedla vzduchotechnika, neboť na škole je rozvod vzduchotechniky k dispozici, v ideálním případě by se celý problém s nárůstem koncentrace během CO<sub>2</sub> vyřešil.

Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb ve smyslu školských zařízení řeší vyhláška č. 410/2005 Sb. ve znění vyhlášky č. 343/2009 Sb. Bohužel se v těchto ani jiných vyhláškách neřeší limit pro koncentrace CO<sub>2</sub> a jeho nárůst v nedostatečně větraných školských budovách. **Jen pro zajímavost uvádíme hodnotu intenzity větrání čerstvým vzduchem v budovách pro výchovu a vzdělávání v učebnách, která činí 20 až 30 m<sup>3</sup>/hod na 1 žáka.**

## 1 Konstrukce prototypu

### 1.1 Arduino

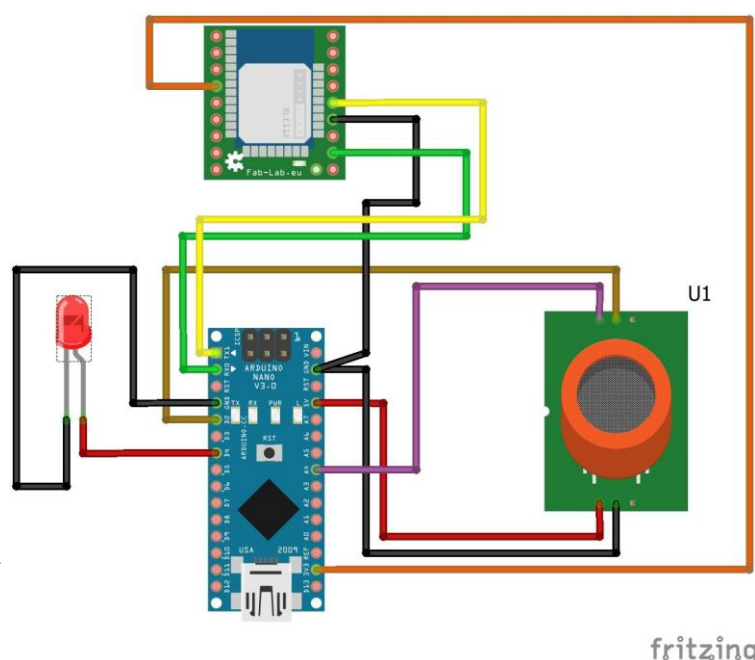
Hlavní stavební kámen přípravku na měření CO<sub>2</sub> v místnosti je použité Arduino Nano, nejrozšířenější vývojová platforma, využívaná po celém světě. Platformy Arduino jsou všestrannými pomocníky pro kutily, bastlíře a techniky. Pomocí Arduina je možné ovládat například pračku, robota, dron nebo také auto a plně automatickou sekačku. Nejrozšířenější je Arduino UNO, ale v našem případě není potřeba tolik pinů, proto jsme použili o něco menší platformu, a to Arduino Nano. Projekt Arduino je dostupný všem uživatelům. Veškerá dokumentace, katalogové listy a knihovny s programy jsou nejčastěji pod licencí creative commons. Vývojáři umístili na své webové stránky ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)) schéma zapojení a seznam součástek, proto si dnes může kdokoli vytvořit Arduino doma bez větších problémů. Ovšem cena za součástky převyšuje cenu vyrobeného klonu, a proto je výhodnější koupit klon Arduina již vyrobený. Průměrná cena Arduina Nano je 600,- Kč.

Arduino Nano pracuje na napětí 5 V. Ideálním zdrojem je USB port notebooku. Pokud by bylo napájení z akumulátorů, tak hodnota napětí se musí pohybovat mezi 7-12 V. Toto napětí je nutné přivést na piny tomu určené. Nabíjení přes USB je možné pouze 5 V. Tento typ Arduina je pro lidi, kteří nepotřebují ovládat tolik pinů a vystačí si se 6 analogovými vstupy a 14 digitálními vstupy/výstupy.

V našem případě jsme použili napájení z USB portu pomocí powerbanky k mobilnímu telefonu. Zařízení pracuje samostatně bez přítomnosti počítače. Zařízení zatím jen informuje o překročení limitu koncentrace CO<sub>2</sub>. Po překročení se rozsvítí červená LED. Pokud bychom chtěli získat dané informace o koncentraci bez zasílání dat na cloud, tak můžeme připojit notebook a v programu Arduino IDE spustit sériový monitor.

Arduino Nano obsahuje:

- Mikroprocesor ATmega328, Krystal 16 MHz, Flash paměť 32 kB, SRAM paměť 2 kb
- EEPROM paměť 1 kb, 16 digitálních pinů, 6 vstupních analogových vstupů



Obr. 1 Schéma zapojení jednotlivých částí



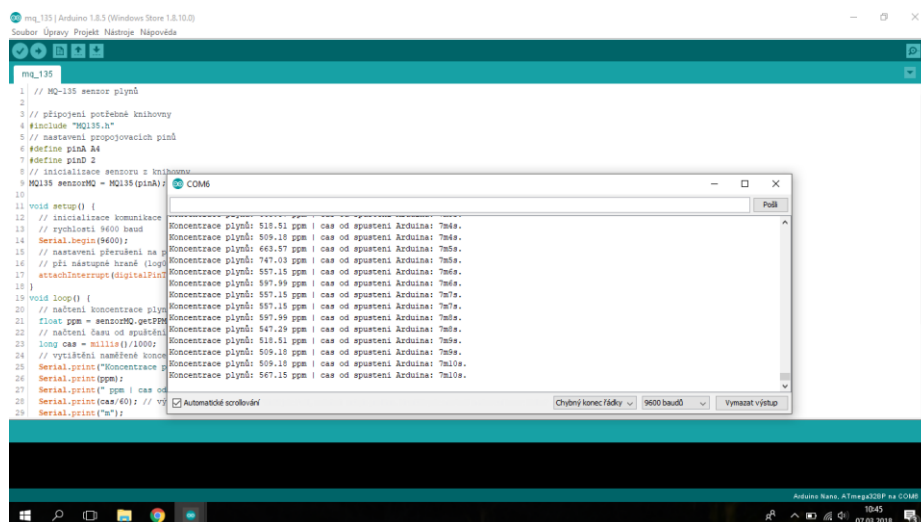
## 1.2 Čidlo MQ-135

Pro tuto práci jsme použili senzor ve formě modulů, nikoliv samotného čidla. Pro naši stanici jsme použili senzor MQ-135. Tento senzor detekuje oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, Amoniak NH<sub>3</sub>, oxidy dusíku NO<sub>x</sub>, benzen, alkohol, kouř. V této práci bylo použité pouze detekování CO<sub>2</sub> a následné měření koncentrace. Čidlo funguje na principu proměnného odporu. Uvnitř každého čidla je tenká vrstva SnO<sub>2</sub> (oxid cíničitý), jejíž odpor se mění v závislosti na koncentraci měřených plynů. Modul pracuje na napětí 5 V a odběr při měření je přibližně 120 mA. Při použití je dobré čidlo zkalibrovat podle přesnějšího přístroje. Měřící modul má čtyři piny. Dva napájecí a dva datové, z toho je jeden analogový a jeden digitální.

## 1.3 Získání dat

Výstup dat ze senzorů je v podobě analogového signálu, proto je nutné ho dále zpracovávat abychom dostali potřebné informace, se kterými chceme dále pracovat. Jak jsme již psali výše dá se pro tuto funkci použít téměř jakýkoliv mikrokontroler. Musí však splňovat pár podmínek. Tou nejdůležitější je, aby měl A/D převodník. Dále musíme počítat s tím, že data musíme posílat dále do sítě, tedy do jiného zařízení, které je schopné informace odeslat. Takže další podmínkou je možnost komunikovat s dalšími zařízeními. Arduino má tu výhodu, že může komunikovat přes I2C a sériovou linku. Pro naše účely byla tedy zvolena sériová linka. Další nezanedbatelnou vlastností by měla být nízká spotřeba. V případě, že by naše stanice měla být použita v oblastech kde není dostupné napájení ze sítě, je vhodné, aby měla co nejnižší proudový odběr. Z našich zkušeností víme, že Arduino samotné má odběr cca 40 mA, což je pro napájení z baterií příliš. V takovém případě by bylo vhodné zvolit náhradu v podobě nízko odběrových desek konstruovaných pro tyto účely např. WeMos, ESplora. Ty mají navíc tu výhodu, že mají vestavěný RTC (Real Time Clock) obvod, který zajišťuje měření času i v případě, že není připojeno napájení. Dá se tedy využít pro uspávání a probouzení desky, což pro nás znamená výrazné snížení spotřeby v režimu spánku. Režim měření potom může probíhat třeba každých patnáct minut a může trvat dvě minuty. V takovém případě máme vždy patnáct minut odběr v řádech mikroampér a dvě minuty odběr v řádech miliampér. Poté už je provoz na baterie reálný a smysluplný.

Pro naše účely by se dala použít i vývojová deska Sodalq, která má v sobě integrovaný jak mikrokontroler pro zpracování dat a RTC obvod, tak modul pro síť LoRa. Dále pak má stabilizátor napětí pro napájení ze solárních panelů a stabilizátor pro nabíjení Li-Ion článků. Nevýhodou této desky je vysoká cena (kolem 100 euro) a prozatím slabá podpora.



```
mq_135 [Arduino 1.8.5 (Windows Store 1.8.10.0)]
Soubor Úpravy Projekt Nápověda

mq_135
1 // MQ-135 senzor plynu
2
3 // připojení potřebné knihovny
4 #include "MQ135.h"
5 // nastavení propojovacích pinů
6 #define pinA A4
7 #define pinD 2
8 // inicializace senzoru z knihovny
9 MQ135 senzorMQ = MQ135(pinA);
10
11 void setup() {
12 // inicializace komunikace
13 // rychlost 9600 bauds
14 Serial.begin(9600);
15 // nastavení přerušení na pin
16 // při nástupu hraně (logič
17 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinD),
18 }
19 void loop() {
20 // načtení koncentrace plynu
21 float ppm = senzorMQ.getPPM();
22 // načtení času od spuštění
23 long cas = millis()/1000;
24 // vytisknutí naměřené konc
25 Serial.print("Koncentrace p
26 Serial.print(ppm);
27 Serial.print(" ppm | cas od
28 Serial.print(cas*60) | // v
29 Serial.print("\n");
```

Serial Monitor Output:

```
Koncentrace plynu: 518.51 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 509.10 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 463.57 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 747.03 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 557.15 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 597.99 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 557.15 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 597.15 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 597.99 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 547.39 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 518.51 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 509.10 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
Koncentrace plynu: 567.15 ppm | cas od spuštění Arduino: 7ms.
```

Obr. 2 Ukázka výstupu dat z Arduino IDE

## 1.4 Odesílání dat

Třetí a technicky nejtěžší částí našeho projektu, je odeslání dat samotných. Bez tohoto článku by celá stanice neměla smysl, jelikož by se odečet hodnot musel provádět přímo na místě a stanice by tak ztratila svůj smysl, a to varovat nás při zvýšených hodnotách a stal by se z ní jakýsi čítač hodnot. Námí zvolená síť LoRa (Long Range) je schopná odesílat data na vzdálenosti několika metrů až několika desítek kilometrů. Pro svůj provoz používá frekvenci 868MHz. Moduly pro tuto síť vyrábí především firma Microchip. Námí zvolená deska *Microchip RN2483 Wireless Modules* je osazena procesorem RN2483.

## 1.5 Finalizace

Pro finální výrobek jsme si dali za cíl celé zařízení vměstnat do plastové krabičky o rozměru asi 60x85x30mm. Jako první jsme museli vyvrtat otvory. Nejdříve jsme akou vrtačkou vyvrtali díru pro senzor, dále následovali díry pro antény a USB kabel. Senzor je v otvoru fixován tavnou pistolí. Stejně tak je fixováno samotné Arduino. Poté jsme zapojili a vytvarovali propojovací vodiče uvnitř krabičky. Následovalo připojení antén a vytažení USB kabelu ven z krabičky. Jako poslední jsme zapojili vysílací modul a umístili antény do děr.



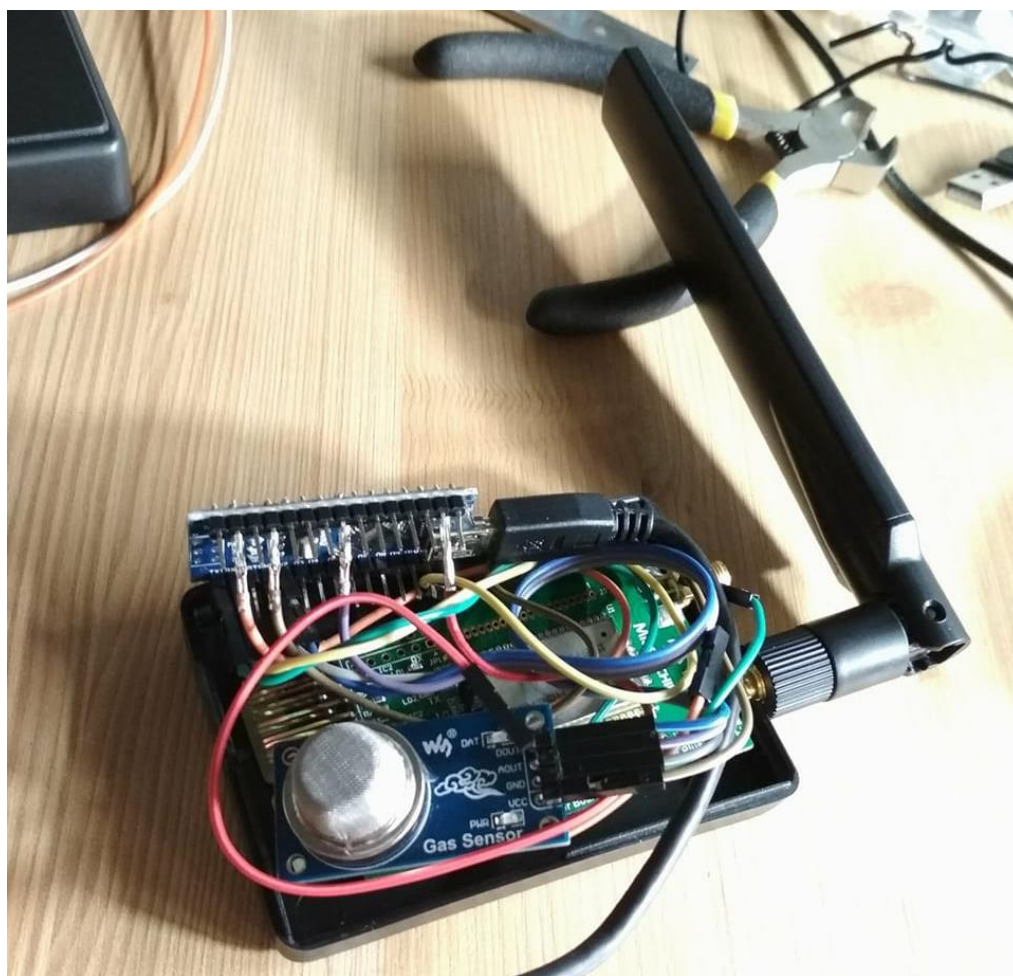
Obr. 3 Příprava na konstrukci prototypu



Obr. 4 Umístění desky Microchip RN2483



Obr. 5 Zapojení Arduina Nano a modulu MQ-135



Obr. 6 Finální prototyp

## 2 Cenová kalkulace

Níže uvádíme cenovou kalkulaci prototypu bez uvedení ceny za práci a související náklady, přičemž jsou jednotlivé části zakoupeny v internetových obchodech GM Electronic, Arduino-shop.cz a cz.rs-online.com.

Část prototypu	Kusů	Cena za kus vč. DPH	Cena celkem vč. DPH	Dodavatel
Plastová krabička	1	66,12 Kč	80,- Kč	GM Electronic
LED dioda	1	2,07 Kč	2,50 Kč	GM Electronic
Rezistor	1	2,15 Kč	2,60 Kč	GM Electronic
Arduino NANO	1	536,36 Kč	649,- Kč	Arduino-shop.cz
Senzor MQ-135	1	78,51 Kč	95,- Kč	Arduino-shop.cz
Propojovací kabely	1	57,02 Kč	69,- Kč	Arduino-shop.cz
USB kabel	1	340,71 Kč	42,- Kč	Arduino-shop.cz
RN2483 LoRa PICtail + Board	1	1687,85 Kč	2042,30 Kč	cz.rs-online.com
<b>Cena celkem</b>			<b>2982,40 Kč</b>	

Tab. 1 Ceník zařízení

## 3 Aplikace prototypu

Prototyp je určen pro běžné využití v učebnách, dílnách a dalších prostorách podle uvážení. Naše zařízení umožňuje nejen data měřit, ale i odesílat v případě potřeby. Další z možností je využívat čistě řízení jen pomocí Arduina, kdy bude například napojeno přímo na mechaniku ovládání okna a bude schopné okamžitě překročený limit koncentrace CO<sub>2</sub> snížit otevřením okna pomocí servomotoru nebo přes relé či stykač sepne ventilátor atd. Další z možností je propojení s naším školním systémem BAKALÁŘI, kde by se mohla u každé z měřených učeben zobrazovat hodnota CO<sub>2</sub> a tím pádem si k výuce vybrat vhodnou třídu, resp. dát pokyn před realizací výuky k vyvětrání nebo by se celý systém propojil se systémem inteligentní budovy naší školy a ten by si to řešil už sám automaticky na základě získaných hodnot.

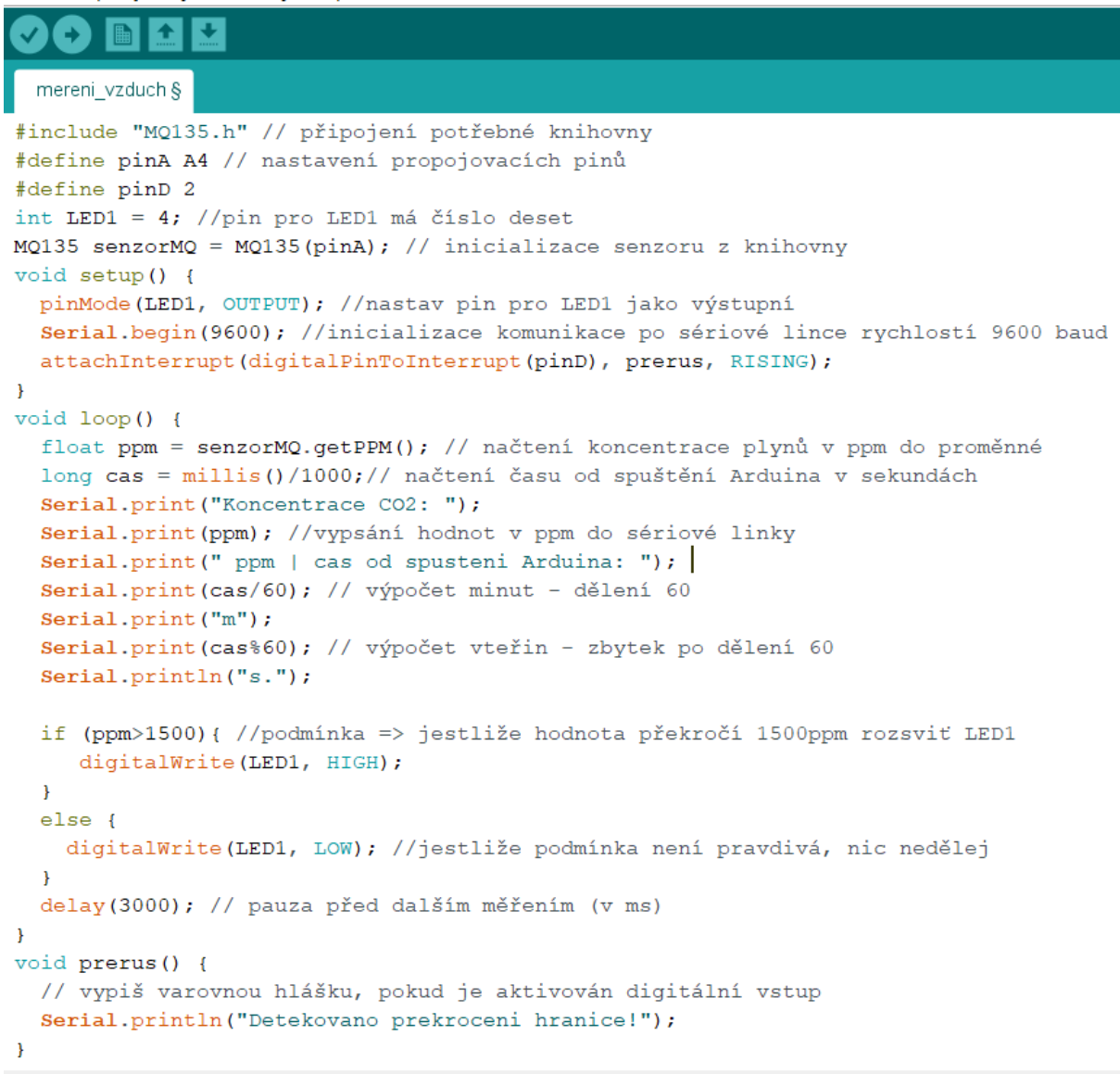
Dále by bylo možné získaná data sledovat během celého roku a vytvořit tak plán prevence případného nárůstu koncentrací CO<sub>2</sub> v učebnách, resp. by se stanovili počty žáků a plány větrání tak, aby nedocházelo k překračování limitů koncentrace CO<sub>2</sub>, a přitom se minimalizovaly tepelné ztráty způsobené větráním.

## 4 Programování

Arduino je možné naprogramovat v jazyce Wiring (vyvinutý speciálně pro Arduino) nebo C++. Nejsnazší způsob programování je pomocí vývojového prostředí Arduino IDE, které je napsáno v jazyce Java. I náš program byl vytvářen pomocí Arduino IDE, pro zjednodušení celého prototypu i ve smyslu samotného programování, resp. pro začátečníky programátory. Kód má dvě potažmo tři hlavní části. Úplně na začátku programu bývá zvykem vytvářet proměnné a definice, případně se zde importují knihovny pro různá čidla nebo výpočty. V části “setup” se nastavují jednotlivé, již definované piny. Například v našem programu zde nastavujeme pin pro LED diodu jako výstupní. Zjednodušeně by se dalo říct, že se zde zapisují příkazy, které se mají vykonat pouze jednou na začátku programu. Část “loop” je pro nás tou nejdůležitější. Sem zapisujeme příkazy, které se budou v programu stále opakovat, v našem případě tedy čtení hodnot z čidla.

© mereni\_vzduch | Arduino 1.8.4

Soubor Úpravy Projekt Nástroje Nápověda



```
#include "MQ135.h" // připojení potřebné knihovny
#define pinA A4 // nastavení propojovacích pinů
#define pinD 2
int LED1 = 4; //pin pro LED1 má číslo deset
MQ135 senzorMQ = MQ135(pinA); // inicializace senzoru z knihovny
void setup() {
  pinMode(LED1, OUTPUT); //nastav pin pro LED1 jako výstupní
  Serial.begin(9600); //inicializace komunikace po sériové lince rychlostí 9600 baud
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinD), prerus, RISING);
}
void loop() {
  float ppm = senzorMQ.getPPM(); // načtení koncentrace plynů v ppm do proměnné
  long cas = millis()/1000; // načtení času od spuštění Arduina v sekundách
  Serial.print("Koncentrace CO2: ");
  Serial.print(ppm); //vypsání hodnot v ppm do sériové linky
  Serial.print(" ppm | cas od spusteni Arduina: "); |
  Serial.print(cas/60); // výpočet minut - dělení 60
  Serial.print("m");
  Serial.print(cas%60); // výpočet vteřin - zbytek po dělení 60
  Serial.println("s.");

  if (ppm>1500){ //podmínka => jestliže hodnota překročí 1500ppm rozsvít LED1
    digitalWrite(LED1, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(LED1, LOW); //jestliže podmínka není pravdivá, nic nedělej
  }
  delay(3000); // pauza před dalším měřením (v ms)
}
void prerus() {
  // vypiš varovnou hlášku, pokud je aktivován digitální vstup
  Serial.println("Detekovano prekroceni hranice!");
}
```

Obr. 7 Zdrojový kód prototypu

## 5 Testování

Vybrali jsme si běžný školní den, kdy jsme průběžně měřili koncentraci CO<sub>2</sub> v jedné učebně. Během 4 vyučovacích hodin se v učebně vystřídal přes 90 žáků včetně učitelů. Test probíhal při různém počtu žáků, cca 18-30 v učebně. Během měření neprobíhala fyzicky náročná výuka, jednalo se o teoretické předměty výkladového charakteru s minimálním pohybem žáků, resp. byli žáci zaměstnáni především duševně.

Měření začalo v 8:00 hodin. Vyučující byl seznámen s měřením a dostal instrukce, co znamená rozsvícená červená LED a má udělat.

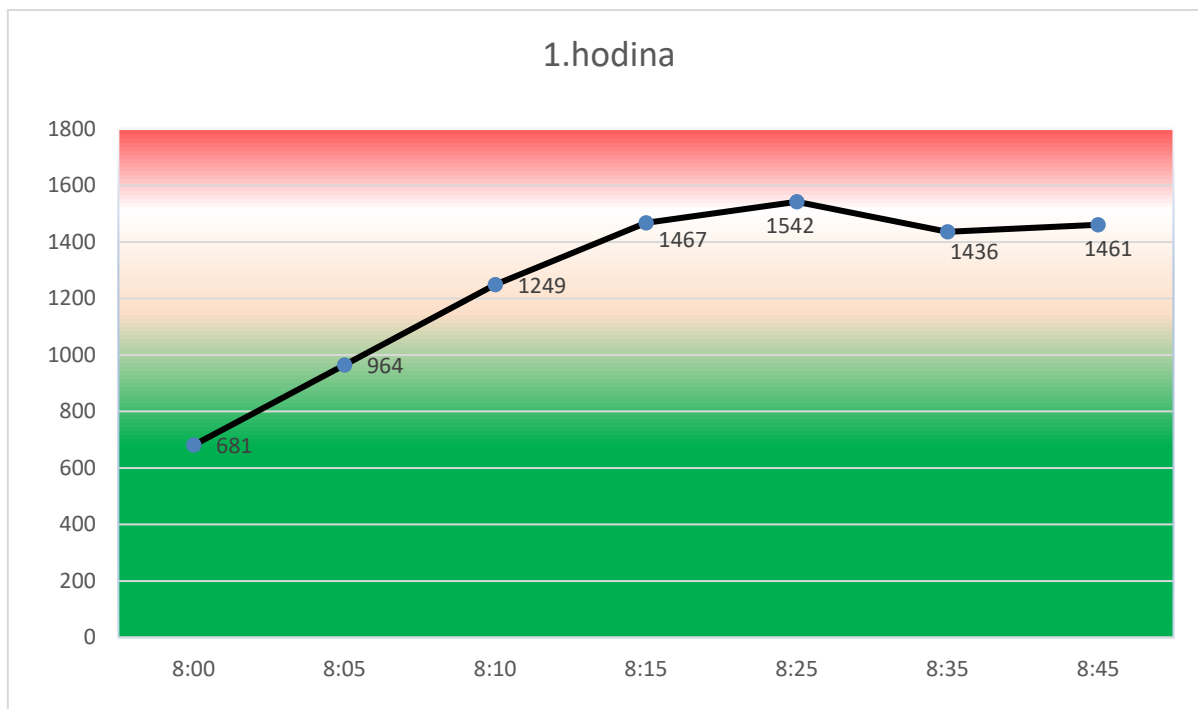
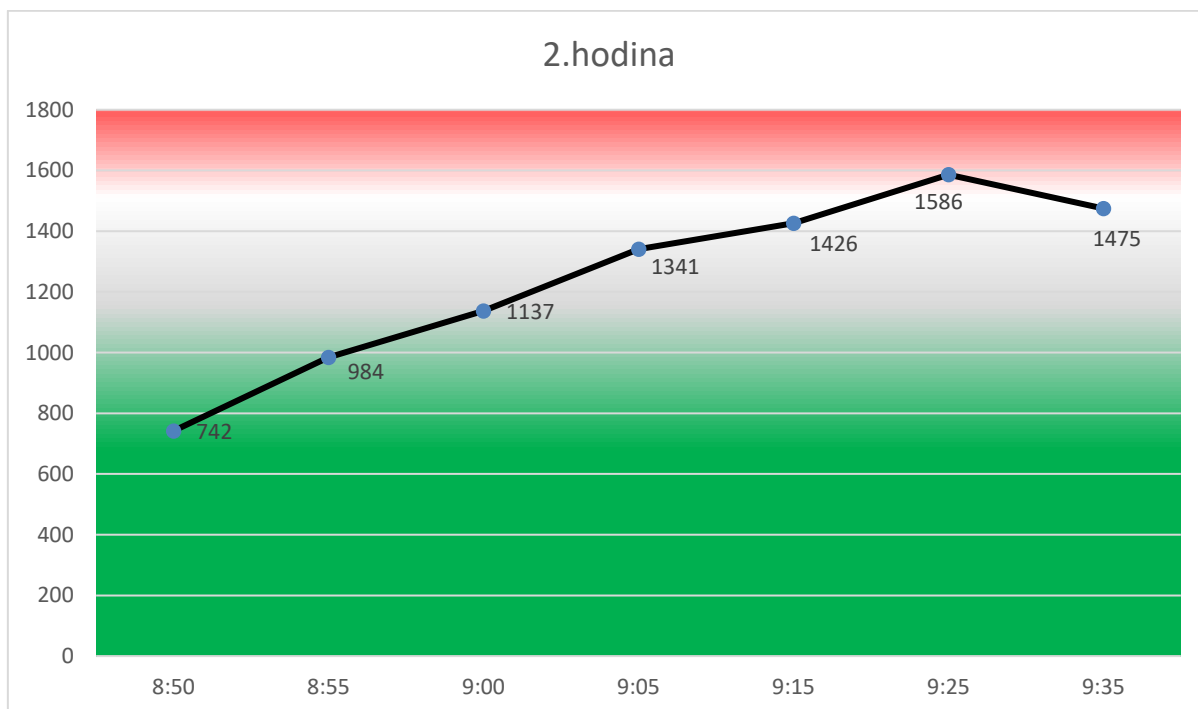
V učebně bylo 30 lidí a před začátkem zaznamenávání se vyvětralo a hodnota CO<sub>2</sub> dosahovala 681 ppm. V průběhu celé vyučovací hodiny byla otevřená okna „na ventilačku“ a probíhala aspoň částečná výměna vzduchu. Po 25 minutách vyučování hodnota CO<sub>2</sub> přesáhla hodnotu 1500 ppm. Vyučující zaznamenal rozsvícení LED diody a otevřel celé křídlo okna. Po skončení 1. vyučovací hodiny byla otevřená většina oken a nárazově se vyvětralo. V 8:50 klesla hodnota CO<sub>2</sub> na 742 ppm. Ve třídě bylo 23 žáků a maximální doporučená koncentrace CO<sub>2</sub> byla překročena až 10 min před koncem dané hodiny. Ihned po překročení bylo nárazově vyvětráno a hodnota na konci byla 1475 ppm CO<sub>2</sub>. Po 2. vyučovací hodině se v učebně vyměnili učitelé. Druhý učitel nebyl seznámen o měření. Během „velké“ 20minutové přestávky byly otevřené pouze dveře. Pohybem ve třídě se částečně koncentrace CO<sub>2</sub> snížila. V průběhu hodiny byla zavřená okna i dveře. V učebně bylo 25 žáků. Po necelých 10 minutách překročila koncentrace CO<sub>2</sub> maximální doporučenou hodnotu. Na konci 3. vyučovací hodiny byla hodnota CO<sub>2</sub> 2486 ppm, což je výrazné překročení limitu. O přestávce bylo krátce vyvětráno. V 10:50 byla hodnota CO<sub>2</sub> 1897 ppm. V tuto chvíli by se nemělo vyučovat, ale začala 4. vyučovací hodina. Výuka probíhala při zavřených oknech a v učebně bylo 19 lidí. Během 45 min se hodnota CO<sub>2</sub> neustále rostla a zastavila se na 2264 ppm.

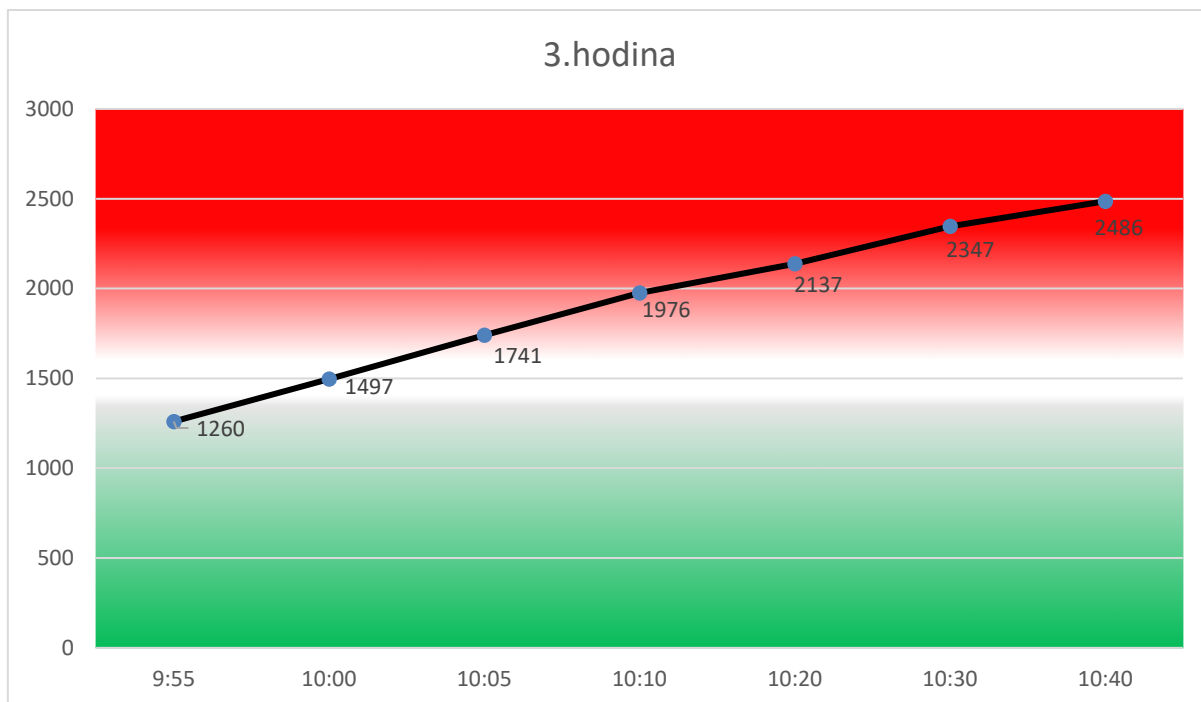
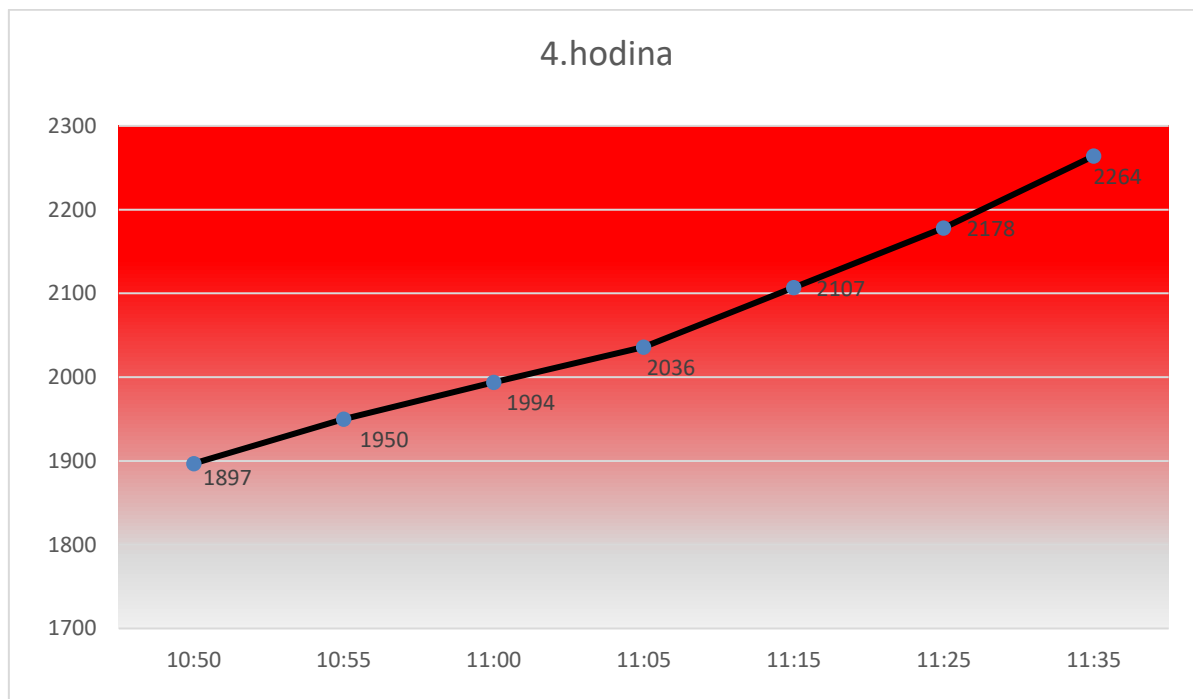
Zelená barva grafu značí dobré prostředí pro vzdělávání. Bílá barva značí zhoršenou kvalitu vzduchu a může docházet k únavě. Červená barva znamená špatnou kvalitu vzduchu a signalizuje prostředí nevhodné k pobytu delší dobu.

Koncentrace	Účinky
cca 350	úroveň venkovního prostředí
do 1000	doporučená úroveň CO <sub>2</sub> ve vnitřních prostorách
1200–1500	doporučená maximální úroveň CO <sub>2</sub> ve vnitřních prostorách
1000–2000	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000–5000	nastávají možné bolesti hlavy
5000	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000	nevolnost a zvýšený tep
> 15000	dýchací potíže
> 40000	možná ztráta vědomí

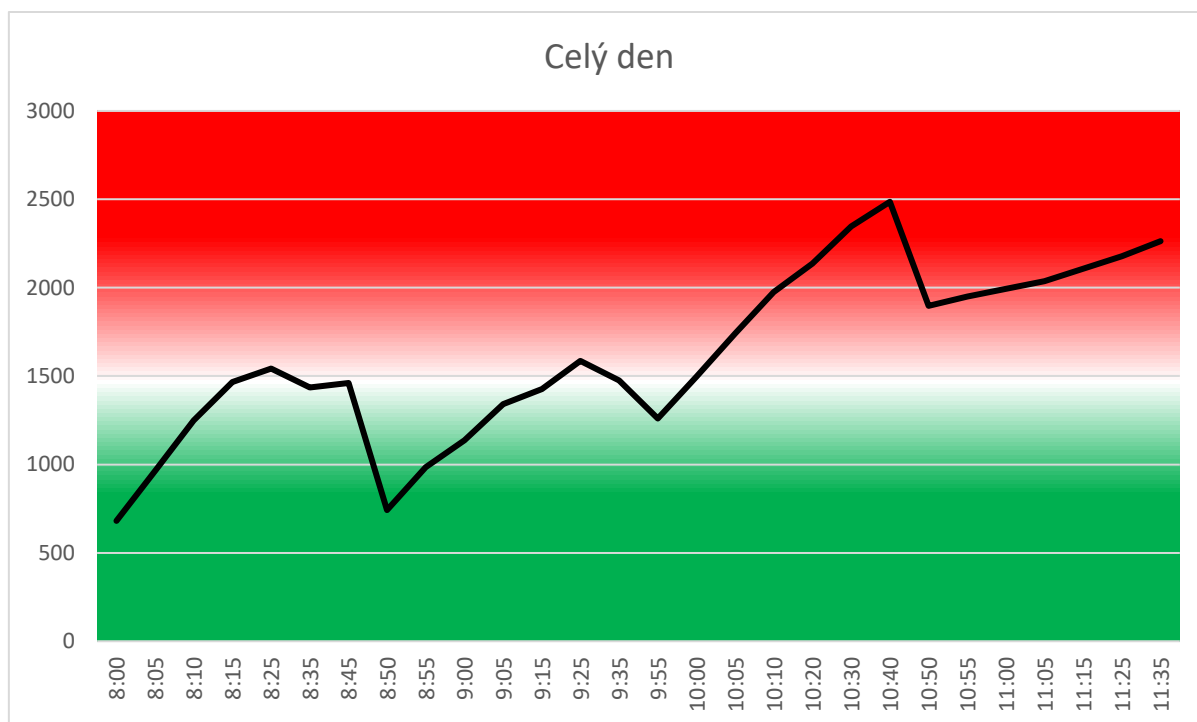
Tab. 2 Účinky CO<sub>2</sub> na lidský organismus

Zdroj - <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitni-prostredi-staveb>

*Graf. 1 Průběh 1.hodiny**Graf. 2 Průběh 2.hodiny*

*Graf. 3 Průběh 3.hodiny**Graf. 4 Průběh 4.hodiny*





Graf. 5 Průběh celého dne

Zjistili jsme, že se překračují limity dané vyhláškou č. 20/2012 Sb., která mimo jiné definuje i vliv překročení určitých koncentrací CO<sub>2</sub> na lidský organizmus, jak jsme uvedli v tab.2.

Pro ověření důvěryhodnosti získaných hodnot z našeho prototypu jsme porovnávali během měření hodnoty koncentrace ještě s přístrojem na měření koncentrace CO<sub>2</sub> zapůjčeným panem ředitelem, který škola vlastní a může si ho každý učitel vzít s sebou do hodiny. Odchylka našeho prototypu se pohybovala v řádu jednotek až desítek ppm.

V uzavřené místnosti nesmí překročit hodnota CO<sub>2</sub> 1500 ppm. Po překročení je nutné okamžitě vyvětrat nebo neprodleně opustit místnost. Během ostrého testování našeho prototypu ve výuce jsme zjistili, že je velký rozdíl v koncentraci mezi třídou, kde se větrá a kde jsou uzavřená okna i dveře, což má za následek nevhodné podmínky pro pobyt žáků a učitele i samotnou realizaci výuky.

Testy různých výzkumných center dokazují, že špatný vzduch v místnosti má negativní vliv na učení. Pokud se student učí v nevětrané místnosti ve špatném vzduchu, snižuje se výkonnost až o 15 %. Není to však jen o výkonnosti, další problémy se špatným vzduchem se projevují únavou nebo také bolestí hlavy a nevolnostmi. Při častém pobytu v nevětrané místnosti s vysokou koncentrací CO<sub>2</sub> mohou v extrémním důsledku vznikat alergie a jiné onemocnění.

## Metodika

Po konzultaci s učitelem odborných předmětů panem Falesem jsme se rozhodli ověřit, zda skutečně během hodin výuky u nás na škole dochází k překračování hodnot koncentrace CO<sub>2</sub>. K dosažení tohoto cíle jsme se rozhodli vytvořit konstrukčně jednoduché a cenově přijatelné zařízení, které by v první fázi měřilo požadovanou koncentraci, následně data sledovalo a při překročení nastaveného limitu by tuto skutečnost signalizovalo LED diodou.

Na internetu jsme si nastudovali vše potřebné. S konzultantem jsme vymysleli přibližný návrh prototypu na platformě Arduino a pro získání praktických zkušeností jsme se přihlásili na akci CRA #IOT Hackathon 2017, na níž jsme pracovali mimo jiné i s modulovým senzorem, který jsme pak využili v naší práci, neboť se skvěle hodí pro vývojovou desku typu Arduino, která je základním prvkem našeho prototypu. Rozhodující byla nízká pořizovací cena, dostupnost, relativně dobrá spolehlivost a možnost doladění hodnot pomocí odporového trimru. Na akci CRA #IOT Hackathon 2017 jsme si vyzkoušeli práci se sítí LoRa (Long Range), která je schopná odesílat data na vzdálenosti několika metrů až několika desítek kilometrů. Pro svůj provoz používá frekvenci 868MHz. Moduly pro tuto síť vyrábí především firma Microchip. Námi zvolená deska Microchip RN2483 Wireless Modules je osazena procesorem RN2483.

Následně jsme vybírali vhodný mikroprocesor, který je schopen zpracovávat výstupní signály ze senzorů. Pro tuto činnost může být použita jakákoliv z vývojových desek založených na mikrokontrolerech typu ATmel, Cortex. Pro naše účely u takový mikroprocesor máme na námi zvolené základní desce Arduino. Mimo to je levná a dostupná s odpovídajícími parametry.

Nyní jsme se pustili do realizace prototypu. Nejprve jsme si navrhli schéma v programu Fritzing, které jsme předložili konzultantovi ke schválení. Po schválení jsme pokračovali s přípravou reálného zařízení. Vybrali jsme potřebné prvky, objednali je a vzájemně propojili, abychom otestovali funkčnost našeho prototypu. Prototyp byl elektricky funkční, což jsme otestovali připojením notebooku s nainstalovaným softwarem Arduino IDE. Následně jsme celý systém naprogramovali a oživil. Hranici pro signalizační LED jsme nastavili nejprve na hodnotu 500 ppm CO<sub>2</sub> pro rychlý test a vše fungovalo skvěle. LED dioda svítila.

Poté jsme se rozhodli pro ostrý test přímo v naší vyučovací hodině. Hranici pro limit koncentrace CO<sub>2</sub> a signalizaci LED jsme dle doporučených hodnot vyhláškou stanovili na 1500 ppm CO<sub>2</sub>, což je doporučená maximální koncentrace ve vnitřních prostorech a provedli měření, vše fungovalo skvěle a překvapivě opravdu došlo hned první hodinu k překročení limitu koncentrace CO<sub>2</sub>. Rozhodli jsme se v testu dále pokračovat a sledovat koncentraci během celého dne v dané učebně. Zajímavé zjištění je následující, pokud se během vyučovacích hodin opakovaně nárazově vyvětrá celá učebna, je na konci hodiny minimální podlimitní hodnota, ale pokud se větrá jen ventilačkou nebo vůbec, což je velmi častý případ u nás na škole, pak dochází už v prvních 10 minutách k překročení limitu koncentrace CO<sub>2</sub> v učebně a na konci hodiny je dosažen dokonce limit pro bolesti hlavy, což je vskutku alarmující informace.

Pro ověření důvěryhodnosti získaných hodnot z našeho prototypu jsme porovnávali během měření hodnoty koncentrace ještě s přístrojem na měření koncentrace CO<sub>2</sub> zapůjčeným panem ředitelem, který škola vlastní a může si ho každý učitel vzít s sebou do hodiny. Odchyłka našeho prototypu se pohybovala v řádu jednotek až desítek ppm.

Závěrečnou etapou zpracování práce byla formulace výsledků a závěru.

## Výsledek práce

Zkonstruovali jsme zařízení měřící koncentraci CO<sub>2</sub>, které následně vyhodnocuje stav a při překročení nastaveného limitu 1500 ppm CO<sub>2</sub> se spustí signalizace červenou LED diodou. Tento limit je možné programově měnit dle potřeby ve smyslu sledování koncentrace v různých místnostech, prostorách nebo činnostech.

Dále jsme provedli ostrý test během běžného dne, který potvrdil naší původní domněnku, že během výuky dochází k překračování limitů koncentrace CO<sub>2</sub>, a tím se stává prostředí pro žáky i učitele nevhodným k realizaci výchovně vzdělávacího procesu.

Na základě testu můžeme konstatovat, že námi zkonstruované zařízení je plně funkční. Měří koncentraci CO<sub>2</sub>, následně vyhodnocuje překročení definovaného limitu a při překročení rozsvítí červenou LED.

Zařízení lze napájet přes USB z powerbanky nebo v učebně přes PC.

Učebny s otevřenými okny splňují limity dané vyhláškou, ale při zavřených oknem dochází k jednoznačnému překračování těchto limitů, které vedou k únavě, pálení očí a celkové nesoustředěnosti na výklad učitele, což má za následek, že je tento výchovně vzdělávací proces díky nevhodným podmínkám zcela neúčinný.

Přibližná cena zařízení je 2982,40 Kč vč. DPH.

## Závěr

Splnili jsme vytýčený cíl práce, což byla konstrukce funkčního zařízení měřícího koncentraci CO<sub>2</sub>, s následným vyhodnocením stavu a při překročení nastaveného limitu 1500 ppm CO<sub>2</sub> se spuštěním signalizace červenou LED diodou. Tento limit je možné programově měnit dle potřeby ve smyslu sledování koncentrace v různých místnostech, prostorách nebo činnostech.

Měřením jsme ověřili fakt, že při zavřených oknech během výuky dochází k překračování limitů koncentrace CO<sub>2</sub>, a tím se stává prostředí pro žáky i učitele nevhodným k realizaci výchovně vzdělávacího procesu.

Pro ověření důvěryhodnosti získaných hodnot z našeho prototypu jsme porovnávali během měření hodnoty koncentrace ještě s přístrojem na měření koncentrace CO<sub>2</sub> zapůjčeným panem ředitelem, který škola vlastní a může si ho každý učitel vzít s sebou do hodiny. Odchyłka našeho prototypu se pohybovala v řádu jednotek až desítek ppm.

Jednoznačným závěrem je fakt, že je nutné větrat.

V dalších letech bychom rádi celou problematiku rozvíjeli a vytvořili zařízení, která budu schopné komunikovat s vzduchotechnikou a na základě zjištěných podmínek v učebnách regulovat koncentraci CO<sub>2</sub> tak, aby žáci i učitel pracovali v odpovídajících podmínkách a dosahovali tak lepších výkonů.

Zajímavou variantou by bylo i řešení otevírající okna v případě, že dojde k překročení sledovaného limitu CO<sub>2</sub> v učebně a po vyvětrání by se okna zase zavřela, popř. vytvořit systém pro připojení ke stávajícímu systému inteligentní budovy školy, který by celou tuto problematiku řešil sám automaticky bez nutnosti ručního větrání učeben.

Dále bychom celý systém chtěli udělat ještě menší s možností napájení z baterie a přidat uživatelské rozhraní s možností zadávat vlastní limity podle prostor, kde se nachází nebo činnosti, která bude v dané místnosti prováděna.

Ideální by bylo také realizovat měření přes celý školní rok ve vybraných učebnách, dílnách, tělocvičnách apod. s různým počtem žáků atd., aby se získali odpovídající data v podrobnější vyhodnocení.

Věříme, že tato práce přispěje ke zlepšení kvality vzduchu v uzavřených učebnách, a to minimálně tím, že budou učitelé větrat, čímž selepší podmínky k dosažení výchovně vzdělávacích cílů daných hodin.

### Vysvětlení zkratk použitých v textu

**ppm** (parts per milion) počet dílů nebo částic na jeden milion

**CO<sub>2</sub>** oxid uhličitý, bezbarvý plyn bez chuti a zápachu

**LED** ( Light emitation diod) polovodičová součástka (dioda) vyzařující světlo

**LoRa** (Long Range) technologie pro internet věci s malým tokem informací a velmi nízkou spotřebou

**IoT** (Internet of Things) internet věcí, propojení elektrických zařízení prostřednictvím internetu bez účasti člověka

**USB** (Universal Serial Bus) univerzální sériová sběrnice, způsob připojení periférií k počítači

**Powerbanka** záložní zdroj elektrické energie s výstupním napětím 5V, konektor většinou USB

**CRA** České Radiokomunikace

**A/D převodník** elektronická součástka určená pro převod analogového signálu na digitální

**Li-Ion článek** Lithium-iontová baterie

**PC** (Personal Computer) osobní počítač

## Soupis informačních zdrojů

### Internetové zdroje

Přispěvatelé Wikipedie, Arduino [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2018, Datum poslední revize 3. 03. 2018, 16:24 UTC, [citováno 11. 03. 2018] <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino&oldid=15913216>

Přispěvatelé Wikipedie, LoRa [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2018, Datum poslední revize 15. 03. 2018, 10:46 UTC, [citováno 11. 03. 2018] <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=LoRa&oldid=15940832>

MATHAUSEROVÁ, Zuzana, Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb In: *vetrani.tzb-info.cz*. [online]. ©25.2.2013 [citováno 11. 03. 2018]. Dostupné z: <<https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitri-prostredi-staveb>>.

**Použité obrázky jsou dílem Vladimíra Veselého.**

### **Seznam použitého softwaru**

- Microsoft Office Professional 2010 (Word, Excel) - Licence: SPŠ Ostrov p.o.
- Fritzing – Licence: Freeware
- Arduino IDE 1. 8. 4 - Licence: Freeware