



**VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE**



MINISTERSTVO VNITRA
ČESKÉ REPUBLIKY



Ministerstvo vnitra České republiky
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
MV GŘ HZS ČR - Technický ústav požární ochrany

Výsledek VI04000023-V3
Funkční vzorek – Detektor ozonu

Výzkumný projekt č. VI04000023:
**„Možnosti využití ozónu pro dekontaminaci ovzduší a povrchů
nejen složkami IZS ČR“**

Autor:

Mgr. Ing. Marek Martinec, Ph.D.

Odpovědný řešitel projektu:

plk. Ing. Jan Karl

Praha, prosinec 2022

Název výsledku CZ

Funkční vzorek – Detektor ozonu

Abstrakt CZ

Cílem návrhu funkčního vzorku bylo vytvoření levného detektoru koncentrace ozonu ve vzduchu z běžně dostupných elektrotechnických komponent. Vytvořený funkční vzorek byl zkonstruován pomocí 3D tisku a s využitím mikrokontroleru Arduino Nano a plynových senzorů MQ-131 schopných detekovat ozon ve vzduchu v koncentracích 10-1000 ppb a 10-1000 ppm. Funkční vzorek byl testován v podmínkách různých koncentrací ozonu a teplot a vlhkostí měřeného vzduchu, přičemž prokázal schopnost kvalitativně a kvantitativně určit koncentraci ozonu ve vzduchu.

Klíčová slova CZ

Detekce ozonu, Polovodičový detektor

Název výsledku EN

Functional sample – Ozone detector

Abstrakt EN

The aim of the design of the functional sample was to create a low-cost ozone detector from commonly available electrical components. The designed functional sample was constructed by 3D printing and using an Arduino Nano microcontroller and MQ-131 gas sensors capable of detecting ozone in air at concentrations of 10-1000 ppb and 10-1000 ppm. The functional sample was tested under conditions of different ozone concentrations and air temperatures and humidity, demonstrating the ability of created detector to qualitatively and quantitatively determine the ozone concentration in the air.

Klíčová slova EN

Ozone detection, Semiconductor detector

Obsah

1 ÚVOD.....	4
2 POPIS FUNKČNÍHO VZORKU	4
2.1 3D NÁVRH PLASTOVÉHO KRYTU DETEKTORU	5
2.2 POPIS ELEKTRICKÉHO ZAPOJENÍ ELEKTRONICKÝCH SOUČÁSTEK.....	9
3 POPIS POUŽITÍ VÝSLEDKU	11
3.1 MANUÁL PRO POUŽITÍ PŘÍSTROJE	13
4 ZÁVĚR	14

1 Úvod

V období výskytu nemoci COVID 19 vyvstal problém účinné dekontaminace ovzduší a povrchů s ohledem na ochranu zdraví složek IZS a obyvatel ČR. V praxi je běžně pro dezinfekci povrchů používána ozonizace, avšak použití ozonu sebou nese rizika pro přítomné osoby, jelikož ozon je značně toxická látka, kdy je dle NIOS doporučeno, aby lidé nebyli vystaveni koncentracím ozonu vyšším než 0,1 ppm. Z tohoto důvodu vyvstal problém nalezení optimální a levné metody pro detekci ozónu a vytvoření postupu pro stanovení koncentrace ozonu v reálných podmínkách. Za tímto účelem byl navržen a z běžně dostupných levných součástek zkonstruován přenosný detektor pro stanovení koncentrace ozonu ve vzduchu v rozsazích od 0,01 ppm do 1000 ppm.

2 Popis funkčního vzorku

Pro účely detekce ozónu v terénu byl navržen a zkonstruován přenosný ruční detektor ozonu pracující ve dvou koncentračních rozmezech pro nízké koncentrace 10–1000 ppb a pro vyšší koncentrace 10–1000 ppm. Pro vlastní detekci bylo využito dvou polovodičových senzorů MQ-131 pracujících na principu změny tepelné vodivosti měřícího obvodu vůči referenčnímu obvodu. Senzor je zahříván na vysokou teplotu (150–450 °C), při které dochází k absorpci molekul kyslíku na povrch díky volným elektronům, což změní odpor polovodiče. Když se přiblíží molekula zájmových plynů k absorbovanému kyslíku či rovnou k vrstvě senzitivního oxidu, dochází k vzájemné reakci a změně odporu polovodiče, která je přímo úměrná koncentraci zájmového plynu.

Senzitivním materiálem plynového senzoru MQ-131 je polovodič dopovaný různými oxidy kovů. Pro detekci nízkých koncentrací ozonu je senzitivním materiálem WO_3 , pro vyšší koncentrace je senzitivním materiálem SnO_2 . Tyto materiály, z kterých je měřící obvod sestaven, mají vysokou vodivost v čistém vzduchu, avšak v přítomnosti plynu (ozonu) se vodivost senzoru snižuje spolu s rostoucí koncentrací plynu. Měřením vodivosti obvodu lze jednoduchým převodem získat odpovídající výstupní koncentraci měřeného plynu (ozonu). Senzor ozonu MQ-131 má vysokou citlivost na ozón, ale je také částečně citlivý na silné oxidanty jako je Cl_2 , NO_2 atd. Na organické interferenční plyny však reaguje opačně, a to mírným zvyšováním vodivosti obvodu.

Navržený přenosný detektor byl tak zkonstruován s využitím plynových senzorů senzitivních na ozon MQ-131, grafického 1,8" LCD displeje 128x64 bodů, senzoru teploty a

vlhkosti DHT22, 2x Li-Ion baterie 18650 3,7V 3500mAh, řídicího obvodu nabíjení Li-Ion baterie, indikátoru stavu Li-Ion baterie a řídicího mikroprocesoru Arduino Nano R3 s čipem ATmega328P. Pro řídicí jednotku byl vytvořen řídicí program v programovacím jazyku C++. Pro zmíněné komponenty byl v programu Autodesk Autocad navržen a pomocí 3D tiskárny Prusa i3 MK2S MMU1 vytisknut obal z barevného PETG materiálu, viz Obr. 1.

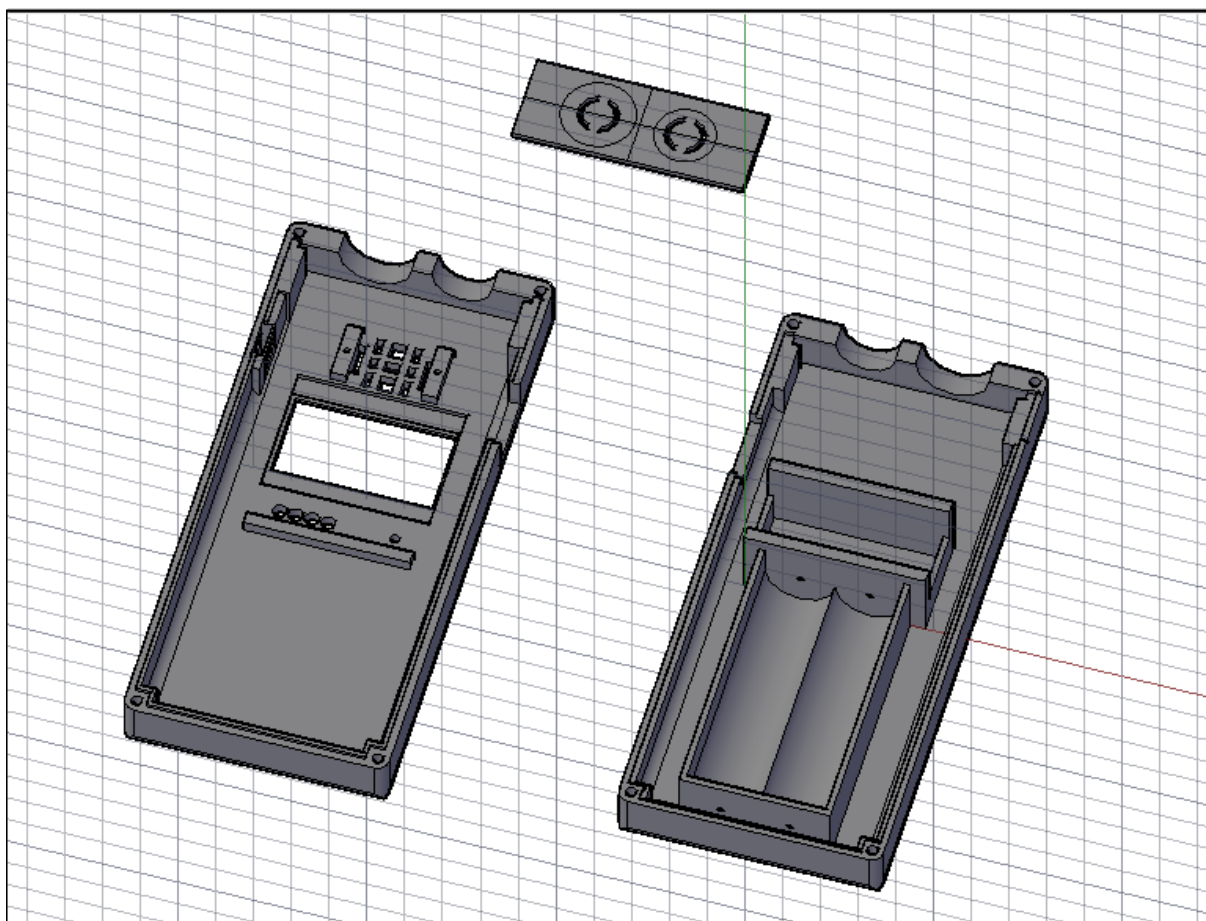


Obr. 1: Navržený a zkonstruovaný přenosný detektor ozonu

2.1 3D návrh plastového krytu detektoru

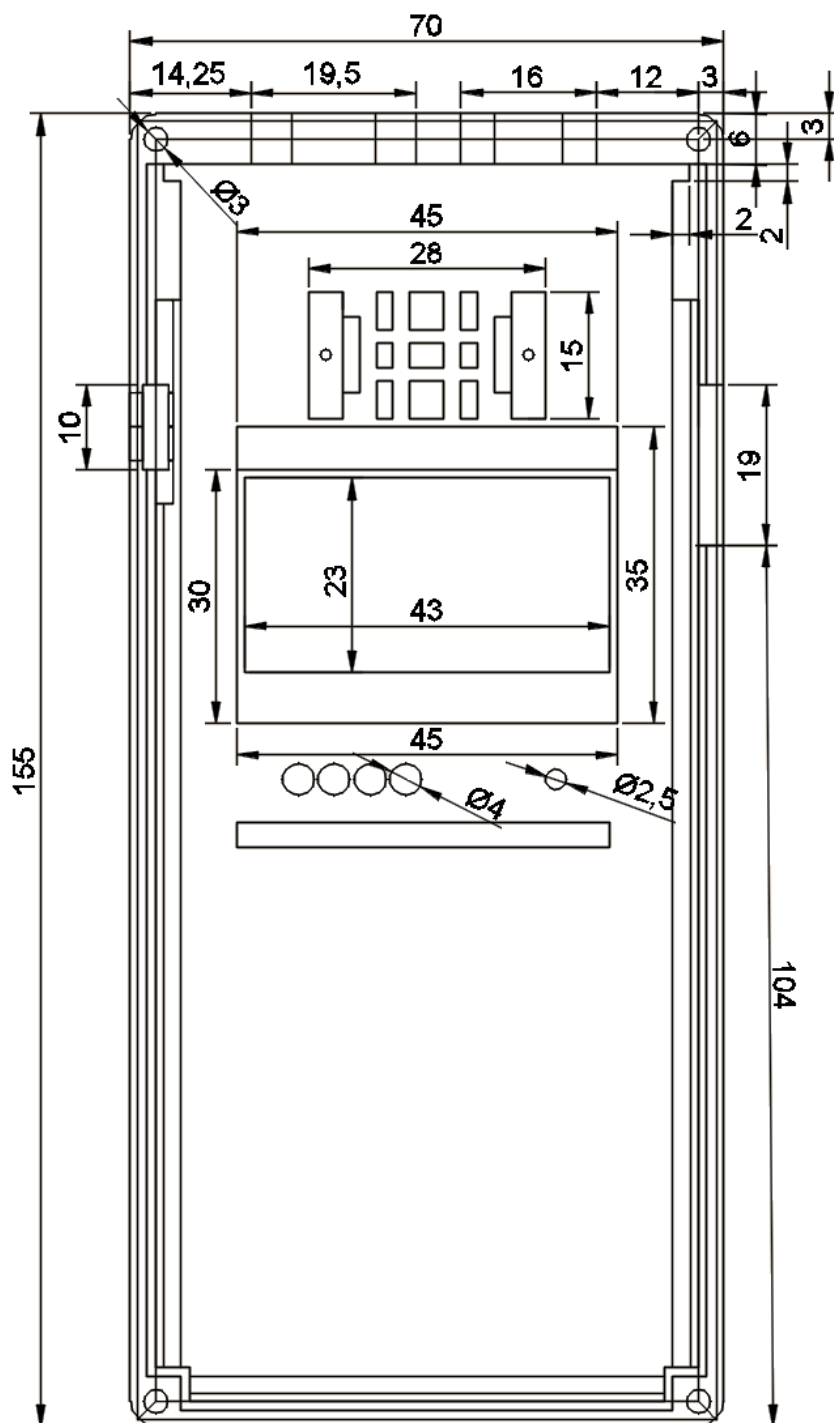
Za účelem vytvoření přenosného detektoru byl navržen kryt detektoru a veškeré elektroniky. Tento kryt byl vytištěn s využitím 3D tiskárny Průša i3 MK2S MMU1 a s využitím barevné tiskové struny z materiálu PETG. Byl zvolen materiál PETG, jelikož se jedná o materiál, který je odolný nižším i vyšším teplotám (teplota tání 260 °C), je mechanicky pevnější, je vysoce odolný proti nárazu na rozdíl od PET a odolává i různým rozpouštědlům a kyselinám. Tento materiál má dobrou přilnavost jednotlivých vrstev a nedochází tak ke zkroucení či výraznému smrštění výtisku a rovněž nespornou výhodou je možnost recyklace tohoto materiálu. 3D návrh modelu určeného pro tisk byl vytvořen v programu Autodesk AutoCAD 2018, viz Obr. 2.

Výtisk byl tisknut v rozlišení 100 μm , přičemž doba tisku je pro toto rozlišení necelých 18 hodin a spotřeba PETG filamentu přibližně 115 g (cca 38 m).

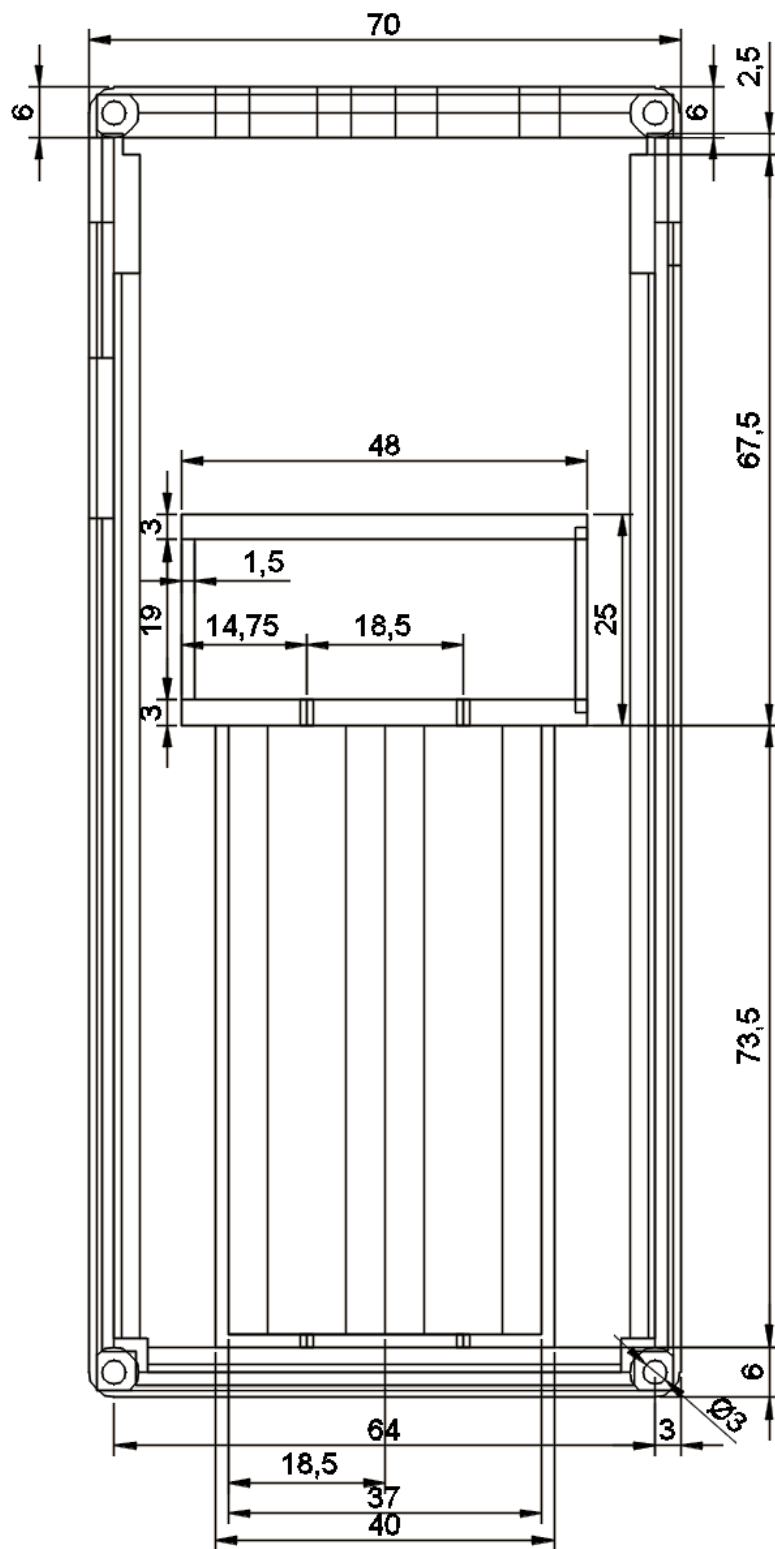


Obr. 2: Navržený 3D model v programu Autodesk AutoCAD 2018 určený pro 3D tisk

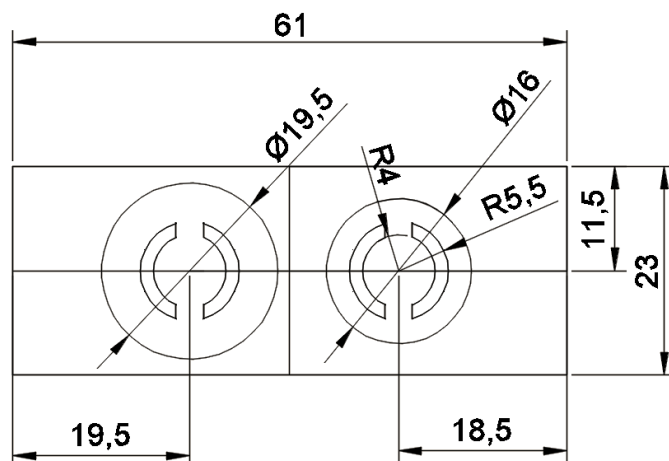
Pro detailnější představu o rozměrech návrhu plastového krytu detektoru jsou na Obr. 3, Obr. 4 a Obr. 5 uvedeny okótované nejdůležitější rozměry 3D návrhu. Obr. 3 zobrazuje horní část plastového krytu obsahující otvory pro plynové senzory, displej, senzor teploty a vlhkosti, indikátor stavu baterie, nabíjecí konektor a vypínač. Výška horní části krytu je 15 mm a tloušťka stěn 6 mm. Na Obr. 4 je pak spodní část plastového krytu obsahující rovněž otvory pro plynové senzory, otvor pro vypínač a držák pro mikrokontroler Arduino Nano a 2 kusy baterií 18650. Výška spodní části krytu je 15 mm a tloušťka stěn 6 mm. Obr. 5 je pak plastovým držákem pro upevnění plynových senzorů MQ-131. Výška držáku je 1,5 mm.



Obr. 3: Horní část krytu detektoru



Obr. 4: Spodní část krytu detektoru



Obr. 5: Držák senzorů MQ-131

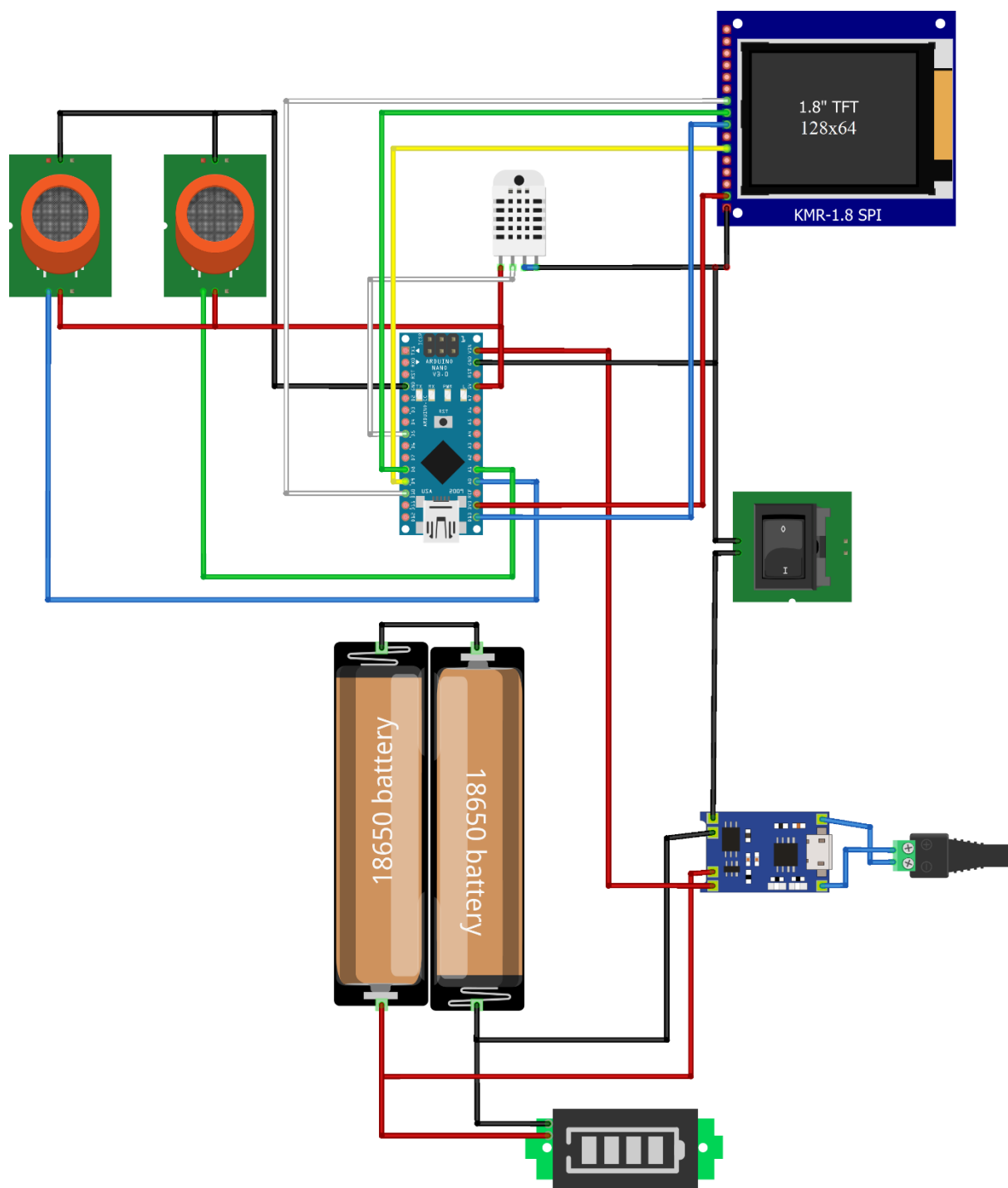
2.2 Popis elektrického zapojení elektronických součástí

Vytvořený funkční vzorek je složen z běžně dostupných elektrotechnických komponent s využitím komerčně dostupného mikrokontroléru Arduino Nano Rev. 3.0. Mikrokontrolér je naprogramován v programovacím jazyce C++. Zařízení se skládá z komponent uvedených, viz Tabulka 1.

Tabulka 1: Soupis použitých komponent detektoru ozonu

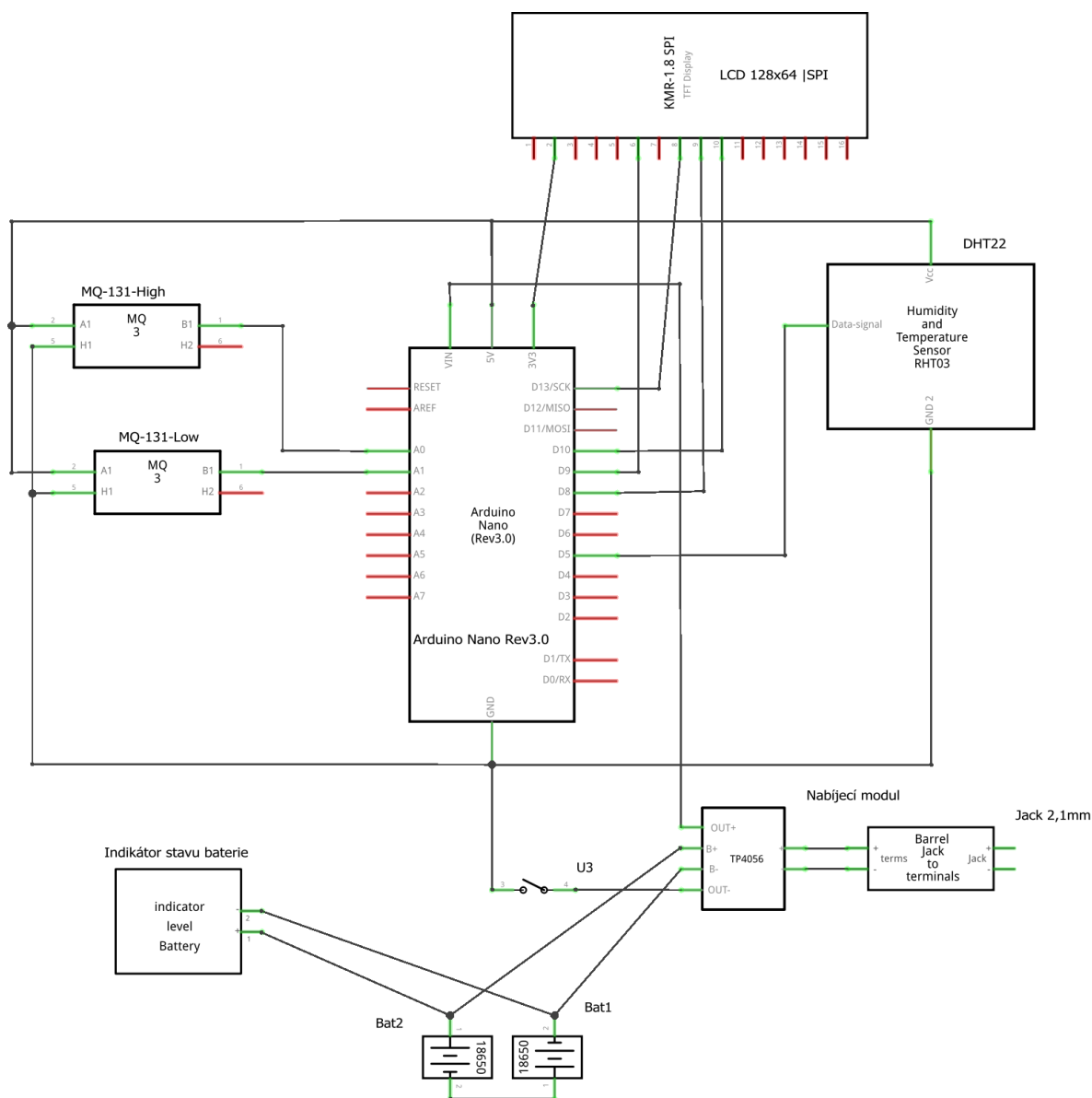
Název komponenty	Funkce
Arduino Nano Rev. 3.0, ATmega328P Klon, Nepřipájené piny	Mikrokontroler
OPEN-SMART 1,8" LCD displej 128x64 ST7567	Displej
Plynový senzor MQ-131 low, MQ-131 high	Detektory ozonu
Ochranný modul pro dvoučlánkovou Li-ion 18650 lithiovou baterii 2S 3A 7.4V 8.4V	Obvod řídicí nabíjení baterie
Bateriový box 2x18650 s vodiči	Držák baterií
2 kusy Baterie 18650 3,7V 3500mAh - 10A NCR18650GA	Li-Ion baterie – 2 kusy
LED indikátor stavu kapacity 2S Li-ion baterie	Indikátor stavu baterie
Senzor teploty a vlhkosti vzduchu DHT22	Senzor teploty a vlhkosti
DC souosý konektor do panelu - 5.5 x 2.1 mm	Napájecí konektor
Síťový napájecí adaptér 9V/1A 5,5/2,1mm	Adaptér pro nabíjení
Vypínač kolébkový 3A 250VAC	On/Off vypínač

Vizualizace elektrického zapojení jednotlivých komponent je zobrazena na Obr. 6.



Obr. 6: Vizualizace zapojení elektrických součástek detektoru ozonu

Elektrotechnický výkres zapojení jednotlivých komponent je znázorněn na Obr. 7.

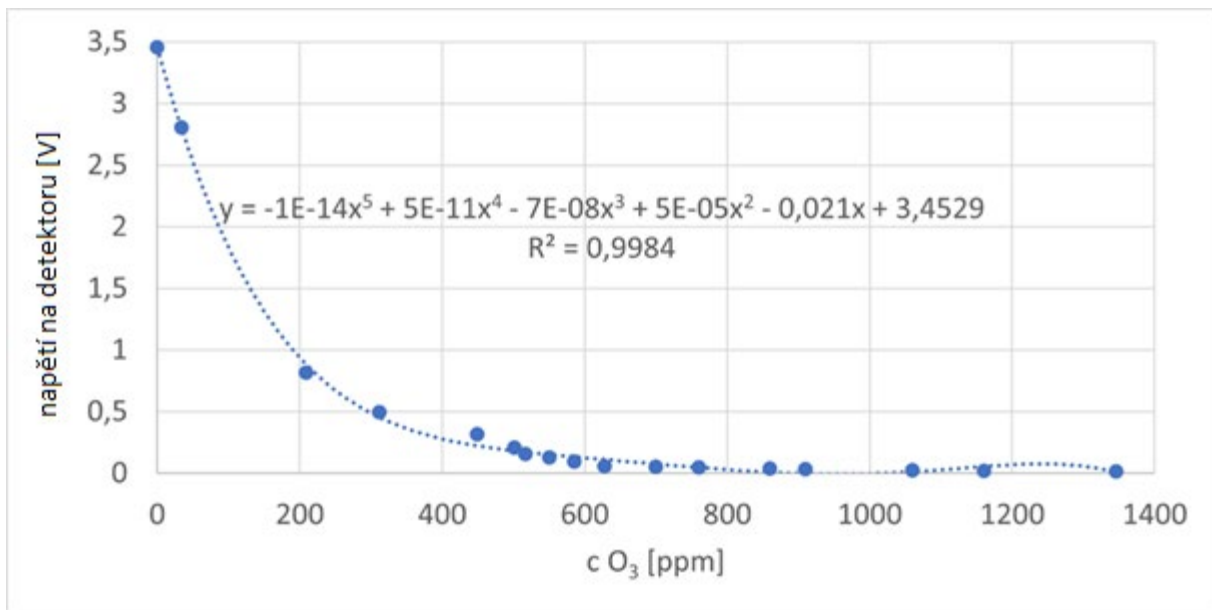


Obr. 7: Elektrotechnický výkres zapojení jednotlivých komponent detektoru ozonu

3 Popis použití výsledku

Vytvořený funkční vzorek – detektor ozonu lze použít pro detekci ozonu ve vzduchu v koncentracích 10-1000 ppb a 10-1000 ppm.

Měřená odezva detektoru na plný rozsah koncentrací je uvedena viz Obr. 8. Z grafu je patrné, že nejvyšší citlivost detektorů se nalézá v nižších měřených koncentracích, kde malá změna koncentrace způsobí velkou změnu napětí na detektoru. Změřené závislosti odezvy detektoru na koncentraci jsou součástí vnitřní kalibrace vytvořeného detektoru.



Obr. 8: Graf napětí na detektorech v závislosti na koncentraci ozonu ve vzduchu.

Přístroj je tvaru kvádru se zaoblenými hranami, přičemž vlastní senzory jsou umístěny na přední části detektoru. Jedná se o dva plynové senzory. Senzor v levé části s černým bakelitovým krytem je určen k měření koncentrací ozonu v rozsahu 10-1000 ppb. Senzor v pravé části opatřený krytem z nerezové tkaniny je určen k měření koncentrací 10-1000 ppm. Na horní straně detektoru je pod průduchy umístěn senzor teploty a vlhkosti DHT22. Data teploty a vlhkosti jsou použity pro přepočítání měřených koncentrací ozonu za daných podmínek. Pod senzorem je umístěn displej, který v levém horním rohu ukazuje jednotku ppb a pod jednotkou je uvedena aktuálně měřená koncentrace v ppb. V levé části displeje dole je pak zobrazena aktuální měřená teplota ve stupních Celsia. V pravém horním rohu displeje je zobrazena jednotka ppm a pod ní je uvedena aktuální měřená koncentrace ozonu v ppm. Na displeji v pravé části dole je zobrazena aktuální měřená vlhkost vzduchu v %. Pod displejem je umístěn indikátor stavu baterie, přičemž vlevo je tlačítko aktivující na 5 sekund zobrazení stavu baterie pomocí 4 diod umístěných napravo od tlačítka. 4 LED diody (3 zelené a 1 červená) slouží k zobrazení aktuální úrovně nabití baterie reprezentující úroveň nabití baterie na hodnotu 100, 75, 50 a 25% kapacity baterie (červená dioda zobrazuje zbývajících 25% kapacity nabití baterie). Přístroj lze kdykoliv zapnout a vypnout s využitím kolébkového vypínače na levém boku přístroje. Konektor pro nabíjení baterií je umístěn na pravém boku přístroje. Pro nabití je doporučeno používat napájecí síťový adaptér 9V/1000mA s konektorem 5,5/2,1 mm. Doba do maximálního nabití baterií je přibližně 7 hodin. Nabíjení je jištěno ochranným obvodem

chránícím proti zkratu, před přetížením, proti přepětí a jako nadproudová ochrana. Pro ilustraci je fotografie funkčního vzorku – detektoru ozonu uvedena na Obr. 1.

3.1 Manuál pro použití přístroje

Zapnutí přístroje

Přístroj je zapnut a vypnut pomocí kolébkového vypínače umístěného na levém boku přístroje. Po zapnutí přístroje je na několik sekund na displeji zobrazena nápis: „Inicializace!“, kdy dochází k zapnutí přístroje a jednotlivých komponent. Po naběhnutí přístroje je zobrazena obrazovka ukazující aktuálně měřené koncentrace ozonu v jednotkách ppb a ppm, teplota a vlhkost. Po cca 1 minutě provozu dojde k ustálení senzoru a lze začít měřit. Přístroj by měl být vždy po zapnutí ponechán cca 1 minutu od zapnutí v prostředí čistého vzduchu bez přítomnosti ozonu. Po tomto čase lze s přístrojem měřit.

Používání přístroje

Po zapnutí přístroje lze přístroj používat pro kontinuální měření maximálně po dobu několika hodin, aby nedocházelo k nadměrnému zahřívání detektoru. Pozor, za provozu dochází k zahřívání senzorů ozonu umístěných v přední části detektoru, je tak důležité vyhnout se kontaktu těchto senzorů rukou či jinými částmi těla či hořlavými materiály. Měřené hodnoty koncentrací ozonu jsou korigovány na aktuální teplotu a vlhkost prostředí.

Při vystavení přístroje vysokým koncentracím ozonu nad meze detekce je nezbytné přístroj vynést z prostředí ozonu na čistý vzduch a nechat několik minut, ideálně tak hodinu ve vypnutém stavu, aby byla opět obnovena původní citlivost detektoru.

Bezpečnostní upozornění

Přístroj není v bezjiskrovém provedení, nelze ho tak používat ve výbušném prostředí!

Přístroj a jeho součásti zejména detektory ozonu vyčnívající z přístroje se za provozu zahřívají, hrozí tak při kontaktu s nimi popálení těla či zapálení hořlavých materiálů!

Přístroj lze zlikvidovat jako běžné baterie a elektrické zařízení!

Přístroj obsahuje 2 kusy Li-Ion baterie 18650 3,7V 3500mAh!

Přístroj nenechávejte během uskladnění zapnutý!

Přístroj nenechávejte zapnutý déle jak 3 hodiny!

Přístroj se může při nabíjení baterií zahřívát!

Přístroj nevystavujte vodě, dešti, prachu, hořlavým látkám!

4 Závěr

Realizovaný funkční vzorek lze použít jako vhodnou levnou náhradu komerčně dostupných detektorů ozonu. Funkční vzorek – detektor ozonu je schopen měřit koncentrace ozonu v širokém rozsahu od 0,01 ppm do 1000 ppm s minimálními nároky na obsluhu.