



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií ■

# Aplikace s minipočítači zaměřené k nasazení na quadkopteru

## Bakalářská práce

*Studijní program:* N2646 – Informační technologie  
*Studijní obor:* 1802R007 – Informační technologie

*Autor práce:* **Petr Novák**  
*Vedoucí práce:* Ing. Leoš Petržílka





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechatronics, Informatics  
and Interdisciplinary Studies ■

# Applications with a minicomputer targeted for quadcopters

## Bachelor thesis

*Study programme:* N2646 – Information technology  
*Study branch:* 1802R007 – Information technology

*Author:* **Petr Novák**  
*Supervisor:* Ing. Leoš Petržílka



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Novák**  
Osobní číslo: **M13000126**  
Studijní program: **B2646 Informační technologie**  
Studijní obor: **Informační technologie**  
Název tématu: **Aplikace s minipočítači zaměřené k nasazení na quadkopteru**  
Zadávající katedra: **Ústav informačních technologií a elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s technologiemi mikropočítačů, s architekturou Rapsberry Pi a jeho technickými možnostmi. Seznamte se konstrukcí již zrealizované quadcoptery, jejími možnostmi a využitelností.
2. Navrhněte koncepci měřicího systému použitelného pro aplikaci na quadkoptéře využitím vybraných komponent.
3. Sestavte funkční vzorek systému včetně aplikovaných softwarových nástrojů.
4. Proveďte ukázková měření a testování.

Rozsah grafických prací: Dle potřeby dokumentace  
Rozsah pracovní zprávy: cca 30-40 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

- [1] MONK, Simon. Raspberry Pi cookbook. Beijing: O'Reilly, 2014, xiv, 393 pages. ISBN 9781449365226.
- [2] The Internet of your things. Microsoft Windows Dev Center [online]. 2015 [cit. 2015-10-12]. Dostupné z: <https://dev.windows.com/en-us/iot>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Leoš Petržílka  
Ústav informačních technologií a elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 12. září 2016  
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. května 2017

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.  
děkan



prof. Ing. Ondřej Novák, CSc.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 12. září 2016



## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 15.5.2017

Podpis:



## Abstrakt

Cílem této práce je vytvoření měřicího systému použitelného pro aplikaci na quadkoptere s využitím minipočítače Raspberry Pi. Měřicí systém se zabývá zjišťováním koncentrace plynů v okolní atmosféře. Práce představuje obecně používané způsoby detekce plynů a popisuje výběr čidel vhodných pro nasazení na quadkopteru.

V rámci práce bylo zakoupeno potřebné vybavení a sestaven funkční prototyp měřicího systému, který byl následně otestován. Nevýhodou použitých čidel je citlivost na více druhů plynů a tak není možné spolehlivě určit druh měřeného analytu. Řešením může být použití kombinací různých druhů čidel, které ale vede k markantnímu navýšení ceny celé aplikace.

### Klíčová slova:

Quadkoptera, Raspberry Pi, detekce plynů, plynová čidla, polovodičová čidla

## Abstract

Main goal of this bachelor thesis is creating a measuring system targeted for quadcopters with the use of minicomputer Raspberry Pi. The measuring system deals with the determination of various gas concentration in the atmosphere. The paper presents commonly used gas detection methods and describes the selection of the sensor suitable for use on quadcopter.

The necessary equipment was purchased and a functional prototype of the measuring system was built, which was subsequently tested. The disadvantage of the sensors used is the sensitivity to more types of gases, so it is not possible to reliably determine the kind of the measured analyte. but this leads to a significant increase in the price of the entire application.

### Keywords:

Quadcopter, Raspberry Pi, gas detection, gas sensors, semiconductor gas sensors

## Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Leošovi Petržílkovi za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval.

# Obsah

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| Seznam zkratk . . . . .                                 | 9         |
| <b>1 Úvod</b>                                           | <b>10</b> |
| <b>2 Využití a způsoby detekce plynů</b>                | <b>11</b> |
| 2.1 Příklady využití detekce plynu . . . . .            | 11        |
| 2.2 Způsoby detekce výskytu plynů . . . . .             | 12        |
| 2.2.1 Elektrochemický princip . . . . .                 | 12        |
| 2.3 Katalytické spalování . . . . .                     | 13        |
| 2.4 Infračervené senzory . . . . .                      | 13        |
| 2.5 Vodivostní senzor . . . . .                         | 14        |
| 2.6 Polovodičové senzory . . . . .                      | 14        |
| 2.7 Fotoionizační senzory . . . . .                     | 15        |
| 2.8 Shrnutí . . . . .                                   | 15        |
| <b>3 Výběr čidla pro nasazení na quadkopteru</b>        | <b>16</b> |
| 3.1 Průzkum trhu . . . . .                              | 16        |
| 3.1.1 MQ-2 . . . . .                                    | 17        |
| 3.1.2 MQ-7 . . . . .                                    | 17        |
| <b>4 Použitá quadkoptera</b>                            | <b>19</b> |
| 4.1 Využití quadkoptery . . . . .                       | 20        |
| <b>5 Raspberry Pi jako minikontroler</b>                | <b>21</b> |
| 5.1 Výhody využití Raspberry Pi místo Arudina . . . . . | 21        |
| 5.2 Technické parametry a typ Raspberry Pi . . . . .    | 22        |
| <b>6 Návrh hardwarového zapojení</b>                    | <b>23</b> |
| 6.1 Popis komponent a schéma projektu . . . . .         | 23        |
| 6.2 Implementace . . . . .                              | 25        |
| 6.3 Cena prototypu a nedostatky . . . . .               | 25        |
| <b>7 Softwarový návrh</b>                               | <b>27</b> |
| 7.1 Příprava Raspberry Pi . . . . .                     | 27        |
| 7.1.1 Windows 10 IoT Core . . . . .                     | 27        |
| 7.1.2 Raspbian . . . . .                                | 28        |
| 7.1.3 Ostatní . . . . .                                 | 28        |

|          |                                       |           |
|----------|---------------------------------------|-----------|
| 7.2      | Struktura a funkce programu . . . . . | 28        |
| 7.2.1    | Hlavní program . . . . .              | 28        |
| 7.2.2    | AD převodník . . . . .                | 28        |
| 7.2.3    | Čidla . . . . .                       | 29        |
| 7.3      | Automatické zapnutí . . . . .         | 30        |
| <b>8</b> | <b>Testování měření</b>               | <b>32</b> |
| 8.1      | Použití jiných čidel . . . . .        | 33        |
| <b>9</b> | <b>Závěr</b>                          | <b>34</b> |
|          | <b>Literatura</b>                     | <b>34</b> |
| <b>A</b> | <b>Obsah přiloženého CD</b>           | <b>37</b> |

## Seznam zkratek

|              |                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ADC</b>   | (Analog to Digital Converter) Analogově digitální převodník                                     |
| <b>AO</b>    | (Analog output) Analogový výstup                                                                |
| <b>CSI</b>   | (Camera Serial Interface) Sériové rozhraní kamery                                               |
| <b>DO</b>    | (Digital output) Digitální výstup                                                               |
| <b>DMV</b>   | Dolní mez výbušnosti                                                                            |
| <b>DSI</b>   | (Display Serial Interface) Sériové rozhraní obrazovky                                           |
| <b>GPIO</b>  | (General-purpose input/output) Univerzální vstup/výstup                                         |
| <b>GPS</b>   | Globální polohový systém                                                                        |
| <b>GSM</b>   | Globální systém pro mobilní komunikaci                                                          |
| <b>HDMI</b>  | (High-Definition Multimedia Interface) Multimediální rozhraní s vysokým rozlišením              |
| <b>IoT</b>   | (Internet of Things) „Internet věcí“ - označení pro propojení vestavěných zařízení s Internetem |
| <b>IR</b>    | (Infrared) Infračervený                                                                         |
| <b>ITE</b>   | Ústav informačních technologií a elektroniky                                                    |
| <b>LED</b>   | (Light emitting diode) Světlo emitující dioda                                                   |
| <b>MOS</b>   | (Metal Oxide Semiconductor) Polovodič z oxidu kovu                                              |
| <b>NOOBS</b> | (New Out Of Box Software) Nový software pro snadnou instalaci operačního systému pro RPi        |
| <b>PID</b>   | (Photo Ionization Detector) Fotoionizační detektor                                              |
| <b>RPi</b>   | Raspberry Pi                                                                                    |
| <b>SAR</b>   | (Successive Approximation Register) Registr postupného přibližování                             |
| <b>SD</b>    | karta (Secure Digital) Digitální paměťová karta pro bezpečné ukládání dat                       |
| <b>SMD</b>   | (Surface Mount Device) Součástky určené pro povrchovou montáž na desky plošných spojů           |
| <b>SPI</b>   | (Serial Peripheral Interface) Sériové periferní rozhraní                                        |
| <b>THT</b>   | (Through-hole technology) Technologie osazování skrz díry součástkami s drátovými vývody        |
| <b>UV</b>    | (Ultraviolet) Ultrafialové                                                                      |
| <b>USB</b>   | (Universal Serial Bus) univerzální sériová sběrnice                                             |
| <b>UWP</b>   | Univerzální platforma Windows                                                                   |

# 1 Úvod

I přes pokročilost naší doby je stále velké množství domácností, kde se topí klasickými kamny. Mnoho lidí vnímá kamna jako odpadkový koš a pálí spolu s palivem i hořlavý odpad. Odměnou jim je sice levnější vytápění, ale bohužel často vypouští do ovzduší jedovaté zplodiny a otravují své okolí hustým kouřem a obtěžujícím zápachem. Tato skutečnost byla inspirací k implementaci měřicího systému na dálkově řízeném dronu – quadkoptere, který slouží k detekci složení plynů v okolní atmosféře.

Kromě detekce kvality ovzduší kontrolou množství oxidu uhelnatého, je možné detekovat toxické a hořlavé plyny. V důlních průmyslech je možné využít kontrolu hořlavých plynů stejně jako kontrolu oxidu uhličitého a odhalit špatně odvětrávaná místa.

Práce se zabývá popisem a využitelností dálkově řízených quadkopter. Jejich jednoduchý design, stabilita letu a různorodé velikosti jim umožňují létat stejně dobře uvnitř budov jako venku. Oblíbenost a nízká cena je dalším důvodem, proč se dnes využívají v různých projektech a aplikacích.

Dále jsou v práci představeny způsoby detekce plynů v ovzduší. Různé vlastnosti plynových čidel je tvoří nevhodnými kandidáty pro nasazení na quadkopteru. Některé metody jsou možné pouze v laboratorních podmínkách a jiné metody zase mají horší zastoupení čidel na trhu, jsou cenově velmi nedostupné, nebo mají špatnou konektivitu. Platformu pro obslužný program čidel s databází naměřených dat tvoří minipočítač Raspberry Pi, který je výkonný, lehký a jeho malé rozměry nenaruší letové vlastnosti quadkoptery.

## 2 Využití a způsoby detekce plynů

Průmyslová revoluce přinesla velký pokrok ve zpracování surovin, automatizaci a dopravě, ale také odstartovala znečišťování ovzduší. Uhlí bylo efektivním a dostupným zdrojem energie, a ještě dnes je 40% světové elektřiny vyrobeno jeho spalováním. Během spalování uhlí, ale i jiných fosilních paliv vzniká oxid uhličitý a další sloučeniny, které se uvolňují do ovzduší.

Později bylo zjištěno, že právě tyto látky a jejich množství mají negativní dopad na okolí. Emise oxidu uhličitého mají za příčinu globální oteplování, oxidy síry a dusíku způsobují kyselé deště a saze respirační problémy u zvířat i lidí. Pro zlepšení podmínek a kvality ovzduší je nutné omezit spalování fosilních paliv, ale také monitorovat množství plynů a odhalit tak nejvíce postižená místa, nebo největší producenty těchto škodlivin.

### 2.1 Příklady využití detekce plynu

Pro stanovení kvality ovzduší a životního prostředí nás zajímají koncentrace toxických látek jako je například  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , CO,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ . Velká část znečištění je tvořena automobilovým provozem, teplárnami a výrobními závody. Stejně důležité jako monitorování životního prostředí venku, je důležité monitorování prostředí na pracovištích. Zde může dojít k úniku nebezpečných látek závadou na zařízení, lidskou chybou, nebo se škodliviny hromadí důsledkem výrobního procesu.

Nejčastějšími detektory na pracovištích jsou hlásiče požáru a kouře. V pivovarnictví a vinařství se využívají detektory koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého. Příkladem speciálních využití detektorů plynů je detekce bojových plynů (yperit, sarin, VX aj.) nebo zjištění hladiny alkoholu v krvi během silničních kontrol.



## 2.2 Způsoby detekce výskytu plynů

Detekce plynů může obecně probíhat dvěma způsoby. První analyzuje nebo detekuje pomocí chemických senzorů složení plynu přímo na zkoumaném místě, kdežto při druhém je odebrán vzorek a následně vyhodnocen v laboratořích. Výhodou chemických senzorů je nízká cena, malé rozměry, snadná obsluha a rychlost. Nevýhodou je úzké spektrum detekovaných plynů (většinou jeden plyn na senzor, případně skupina se stejnými vlastnostmi) a nepřesnost měření. Laboratorní analyzátory jsou většinou velmi přesná, stabilní zařízení schopna detekovat široké spektrum plynů. Tato zařízení jsou ale náročná na obsluhu, nepřenosná a drahá.

Pro účely této bakalářské práce se budeme zabývat způsobem prvním, tedy detekcí plynů chemickým senzorem přímo v místě měření. Existuje řada metod využívajících různé bio-chemické či fyzikálně-chemické interakce plynů, případně jsou hledány nové způsoby detekce pomocí různých nanomateriálů, nebo lepší metody zpracování signálů ze senzorů. Níže uvedený přehled se však zabývá pouze základními způsoby a principy pro detekci a stanovení množství plynů, které jsou často používány v praxi.

### 2.2.1 Elektrochemický princip

Elektrochemický článek se skládá z dvou či více elektrod, které jsou umístěny v elektrolytu. Analyzované prostředí je od elektrod s elektrolytem odděleno polopropustnou membránou, která udržuje elektrolyt uvnitř pouzdra a zároveň umožňuje přísun plynných komponent dovnitř. Ty následně v elektrolytu reagují na elektrodách, dochází k oxidační a redukční reakci, čímž se mění potenciál článku. Se zvyšující se koncentrací plynu se zvyšuje i potenciál.[1][2]

#### Výhody

- Pro „běžné“ plyny velmi spolehlivé
- Relativně levné řešení
- Dlouhá životnost

#### Nevýhody

- Dlouhá odezva
- Pro speciální plyny vyšší cena
- Náchylnost na změny tlaku, vlhkosti a teploty
- Přítomnost některých látek může způsobit falešný poplach

## 2.3 Katalytické spalování

Katalytické senzory, někdy také nazývány pelistory, se využívají převážně pro detekci hořlavých plynů. Některé kovy a oxidy kovů mají katalytické účinky a plyny jsou na jejich povrchu oxidovány (hoří) za podstatně nižší teploty, než je jejich normální teplota potřebná pro vzplanutí. Senzor se skládá ze dvou keramických perliček obsahující vyhřívaný platinový drátek. Jedna z perliček je impregnována oxidem podněcujícím oxidaci, naopak druhá je upravena pro její inhibici a slouží pro kompenzaci výchozí vlhkosti a teploty. Platina má tu vlastnost, že její odpor se mění lineárně se změnou teploty v rozmezí 500 °C až 1000 °C. Pokud nastane oxidace plynu na povrchu perličky, ta se zahřeje a dojde ke zvýšení teploty platinového drátku a změně jeho odporu. Díky zapojení obou perliček do Wheatsonova můstku generuje tato vzniklá nerovnováha elektrický výstup, přímo úměrný koncentraci plynu až do 100% DMV.[1][2]

### Výhody

- Lineární závislost až do 100% DMV
- Cena
- Rychlá odezva

### Nevýhody

- Náchylnost na „otravu“ katalyzátoru katalytickými jedy
- Atmosféra musí obsahovat alespoň 10% O<sub>2</sub> pro hoření
- Vyšší spotřeba

## 2.4 Infračervené senzory

Infračervený (IR) detektor využívá principu absorpce elektromagnetického záření cílovým plynem. Projde-li paprsek plynem, mohou být jeho molekuly excitovány a energie paprsku absorbována. Tím je způsoben pokles intenzity IR záření určité vlnové délky. Pomocí těchto údajů lze pak dopočítat koncentraci plynu.[1][2]

### Výhody

- Měří v atmosférách bez O<sub>2</sub>
- Bezkontaktní měření

### Nevýhody

- Cena
- Pokles intenzity lampy

## 2.5 Vodivostní senzor

Senzor pracuje na podobném principu jako pelistor. Obsahuje dvě komory se žhaveným vláknem. Skrze jednu proudí nosný plyn, druhá obsahuje zkoumaný plyn. Přítomnost detekované složky změní tepelnou vodivost prostředí kolem žhaveného drátu a tím vlákno změní svou teplotu. Opět vzniká nerovnováha odporů, které se porovnávají ve Wheatsonově můstku. Důležitý je výběr nosného plynu. Jeho tepelná vodivost by se měla co nejvíce lišit od vodivosti analyzovaných složek.[1][2]

### Výhody

- rychlá odezva
- dobrá citlivost u plynů s vysokou tepelnou vodivostí

### Nevýhody

- výstup ovlivněn změnou okolní teploty
- Nepoužitelný pro vícesložkové směsi plynů
- Plyny s relativní tepelnou vodivostí blízkou 1 jsou neměřitelné (CO, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>)

## 2.6 Polovodičové senzory

Senzory MOS (Metal Oxide Semiconductor) využívají vrstvu oxidů kovů uložených v keramice, zahřátou na konstantní teplotu. Když je oxid kovů vystaven analytu, molekuly jsou adsorbovány na jeho povrchu, čímž mění jeho elektrický odpor. Pracovní teplota zajišťuje optimální reakci v závislosti na charakteristice detekovaného plynu nebo skupiny plynů.[1][2]

### Výhody

- Velké množství detekovatelných plynů
- Poměr cena/výkon

### Nevýhody

- Vyšší spotřeba
- nutná přítomnost O<sub>2</sub> v atmosféře
- vlhkost může ovlivnit měření

## 2.7 Fotoionizační senzory

Fotoionizační senzory PID pracují na principu absorpce ultrafialového (UV) záření plyny za vzniku elektricky nabitých částic (pozitivně a negativně nabitých iontů). Ty poté na elektrodách generují měřitelný proud. Detekce závisí na schopnosti ionizace zkoumaného plynu a zdroji UV záření. PID detektory jsou jako jedny z mála schopny detekovat výpary toxických a těkavých organických sloučenin.[1][2]

### Výhody

- jedním detektorem lze měřit široké spektrum látek
- vysoká citlivost
- vynikající rychlost odezvy (do 3 s)
- vysoká přesnost i při nízkých koncentracích

### Nevýhody

- vysoká cena

## 2.8 Shrnutí

U stacionárních detektorů, jako jsou hlásiče požáru a úniku plynů nám jde hlavně o rychlou odezvu, dlouhou životnost a spolehlivost. Ideální jsou katalytické senzory, polovodičové a vodivostní. Tyto senzory jsou však většinou citlivé jen na jednu složku plynu. Pro komplexnější složení je nutné použít více čidel, nebo kombinaci různých detekčních metod.

Zbylé detekční metody, nebo různé kombinace metod nalezneme spíše u přenosných detektorů. Dosahují přesnějších výsledků i při nízkých koncentracích plynů. Napájeny jsou většinou bateriemi a mají robustní, odolnou konstrukci a displej pro zobrazení naměřených hodnot. Cena takového zařízení je však několikanásobně vyšší než cena samotných čidel.

## 3 Výběr čidla pro nasazení na quadkopteru

Pro výběr vhodného čidla k nasazení na quadkopteru je nutné zohlednit několik parametrů. Velkou roli při výběru čidla bude hrát cena, váha, rozměry, konektivita a napájení. Tato práce není financována katedrou ani soukromou společností, a proto byl mnou stanoven, po zběžném průzkumu trhu, cenový strop 1000 Kč pro pořízení čidel. Rozměry a váha čidla by měly být co nejmenší, aby neovlivňovaly letové vlastnosti quadkoptery. Dalším ze zkoumaných parametrů je konektivita. Jelikož mají být data z čidla vyhodnocována minipočítačem Raspberry Pi, je nutné, aby šla tato zařízení mezi sebou propojit. Posledním sledovaným parametrem je způsob napájení. Ideální způsob napájení je pomocí minipočítače, v případě napájení bateriemi je nutné jejich váhu přičíst k váze čidla.

### 3.1 Průzkum trhu

Při průzkumu trhu jsem se zaměřil pouze na české distributory. Nejčastěji nalezeným produktem jsou detektory oxidu uhelnatého, detektory úniku plynu a hlásiče kouře. Napájeny jsou pomocí baterií, nebo ze sítě. Některé moduly podporují i bezdrátové připojení, většinou jsou ale bez možnosti připojení a signalizace zvýšeného množství detekovaného plynu je optická (displej, diody) nebo akustická (alarm). Cena se pohybuje mezi 250 - 4 000 Kč.

Další skupinou častých výsledků jsou ruční přenosné detektory. Napájení je vždy pomocí baterií nebo akumulátoru. Od předchozí skupiny se liší možností nastavení různých funkcí (přesnost měření, nebezpečné hladiny plynu), vnitřní pamětí a mnohem odolnější a robustnější konstrukcí. Cena se pohybuje od 1 000 do 20 000 Kč. Obě tyto skupiny detektorů se sice svými funkcemi podobají aplikaci, která je cílem této práce, avšak jsou nevyhovující díky své ceně, rozměrům a váze, která je činí těžko aplikovatelnými na quadkopteru.

Tabulka 3.1 znázorňuje poslední skupinu nalezených výsledků. Jedná se pouze o čidla, bez obslužného softwaru. Díky svým miniaturním rozměrům, váhou několik

gramů a nízkou cenou se zdají být ideální pro aplikaci na quadkopteru. Výstup z čidla je analogový a napájení bývá do 5 V.

Tabulka 3.1: Různá čidla dostupná na českém trhu[3][4][5]

| Název čidla  | Prodejce  | Princip         | Zdroj | Detekce plynu                     | Cena   |
|--------------|-----------|-----------------|-------|-----------------------------------|--------|
| S-300-3V     | TME.cz    | Infračervený    | 3 V   | CO <sub>2</sub>                   | 1930,- |
| SENS-HS-129  | TME.cz    | Polovodičový    | 5 V   | H <sub>2</sub> , LPG, Alkohol, CO | 190,-  |
| HS-134       | TME.cz    | Polovodičový    | 5 V   | CO                                | 230,-  |
| HS-130       | TME.cz    | Polovodičový    | 5 V   | Alkohol                           | 180,-  |
| MI-O2        | TME.cz    | Katalytický     | 2.5 V | Methan, LPG                       | 145,-  |
| TGS 2611-C00 | conrad.cz | Polovodičový    | 5 V   | LPG                               | 669,-  |
| MD-62        | conrad.cz | Vodivostní      | 3 V   | CO <sub>2</sub>                   | 2390,- |
| ME3-CO       | GME.cz    | Elektrochemický | N/A   | CO                                | 1190,- |
| MQ-2         | GME.cz    | Polovodičový    | 5 V   | LPG, Alkohol, Kour                | 59,-   |
| MP135        | GME.cz    | Polovodičový    | 5 V   | CO, H <sub>2</sub> , Alkohol      | 159,-  |

Společností, které prodávají plynová čidla samostatně moc není. Většinou mají podobný sortiment, ve kterém převažuje množství katalytických a polovodičových čidel. Polovodičová čidla jsou obecně nejlevnější. Čidla využívající jiné principy detekce mají velmi malé zastoupení a jejich cena bývá mnohonásobně vyšší. Po zvážení všech parametrů bylo nakonec zakoupeno čidlo MQ-7 pro detekci oxidu uhelnatého a MQ-2 stejného výrobce pro detekci hořlavých plynů. Jedná se o polovodičová čidla, která by, vzhledem k čidlům katalytickým, měla mít menší spotřebu elektrické energie. Výhodou bylo nalezení hotového modulu, který usnadnil práci s čidly. Tento modul je popsán v práci dále.

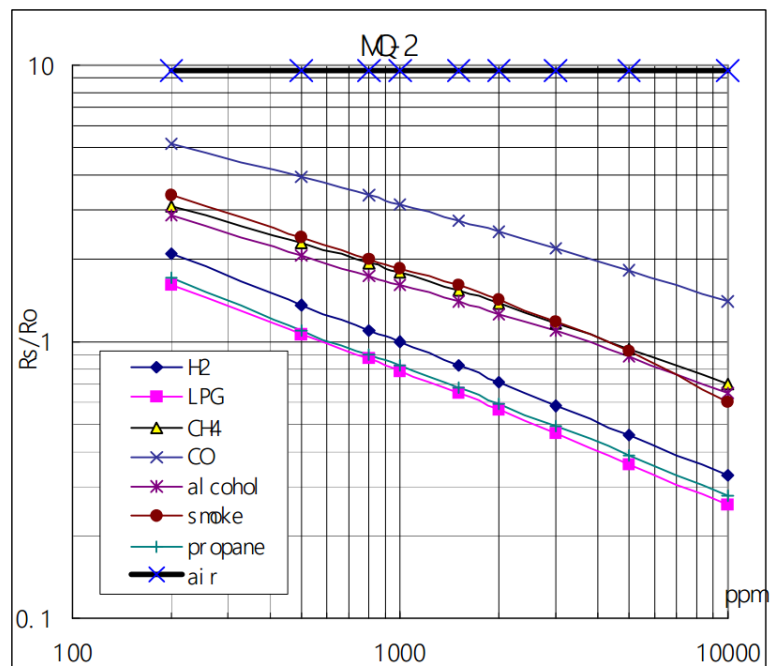
### 3.1.1 MQ-2

Polovodičové MOS čidlo MQ-2 je vhodné k detekci hořlavých plynů s vysokou citlivostí zvláště na propan (viz obrázek 3.1.2). Senzitivním materiálem je SnO<sub>2</sub>. Rozsah detekce je 300 až 10 000 ppm. Čidlo je vhodné k použití v poplašných zařízeních a přenosných detektorech plynu.

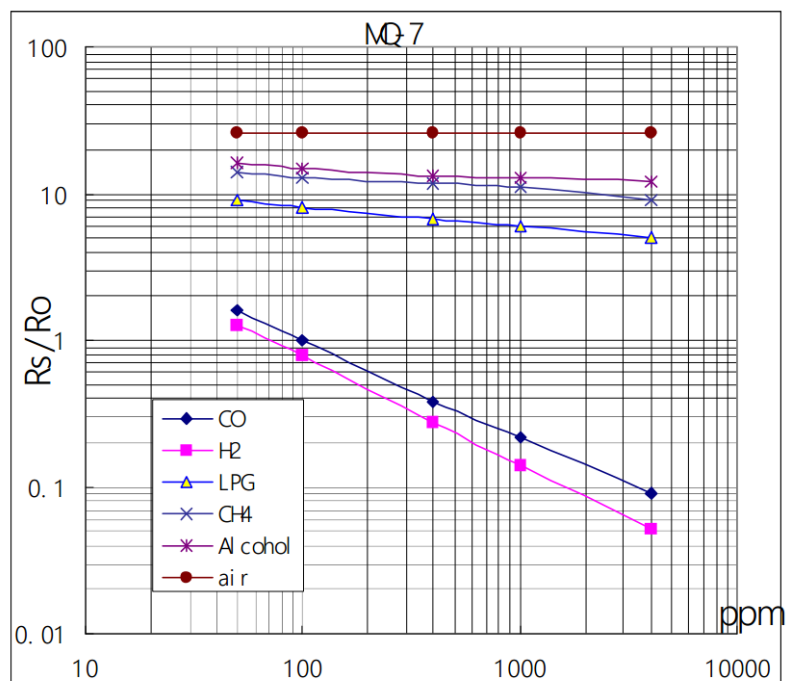
### 3.1.2 MQ-7

Čidlo MQ-7 je také polovodičové opět se senzitivním materiálem SnO<sub>2</sub>. Citlivost na různé plyny je zobrazena na obrázku 3.1.2. Rozsah detekce je od 10 do 500 ppm

oxidu uhelnatého. Využívá se obdobně v poplašných zařízeních zvýšené koncentrace, případně přenosných detektorech.



Obrázek 3.1: Graf citlivosti čidla MQ-2 [7]



Obrázek 3.2: Graf citlivosti čidla MQ-7 [8]

## 4 Použitá quadkoptera

Quadkoptera nebo obecně multikoptéra je dálkově řízený stroj schopný letu s letovými vlastnostmi podobné vrtulníku. Quadkoptera má čtyři rotory uspořádané do čtverce, dva z nich se otáčejí po směru a zbylé dva proti směru hodinových ručiček. Změnou rychlosti otáčení jednotlivých rotorů je možné měnit tah a natočení. Rané konstrukce a návrhy byly zamýšleny pro převoz lidské posádky, ale příliš se neprosadily.

Dnešní vývoj se spíše ubírá směrem bezpilotních, či dálkově řízených dronů pro rozličné účely. Výhoda těchto strojů tkví ve velké stabilitě během letu. S rozvojem elektroniky bylo možné osadit stroje výkonnou řídicí jednotkou, akcelerometry, navigačním systémem GPS a kamerami, což výrazně zvýšilo oblíbenost strojů u armády a záchranných složek, ale i u vědců a kutilů. Pro svůj malý rozměr a stabilní, klidný let je možné s quadkopterou létat i uvnitř budov.

Vývoj aplikace byl cílen na středně velkou quadkopteru schopnou unést kolem kilogramu nákladu a dobou letu kolem 20 min. Quadkoptera vznikla v rámci jiné bakalářské práce a je ve vlastnictví ústavu ITE na fakultě Mechatroniky, informatiky a mezioborových studií[?, qkp]





Obrázek 4.1: Cílová quadkoptera

## 4.1 Využití quadkoptery

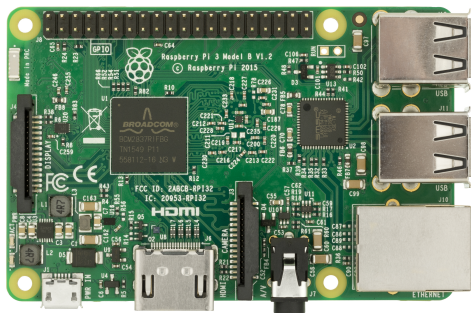
Dnes jsou quadkoptery využívány armádou a policií pro sledování a průzkum oblastí a záchrannými složkami během pátracích a záchranných akcí na místech, kde je obtížné využít standardní techniku. Na univerzitách se často zkoumají a testují letové vlastnosti modifikovaných quadkopter (více rotorů, rotory v jiném než čtvercovém uspořádání), komunikace a kooperace více quadkopter či samostatné operace na základně dat vyhodnocených ze senzorů (př. sledování cíle). Jednoduchý design, relativně nízká cena a možnost rozličných velikostí dělá z quadkoptery ideální platformu pro různé aplikace a inovace. Příkladem může být quadkoptera sázející stromy, vzdušný rozvoz léků nebo autonomní 3D mapování.

## 5 Raspberry Pi jako minikontroler

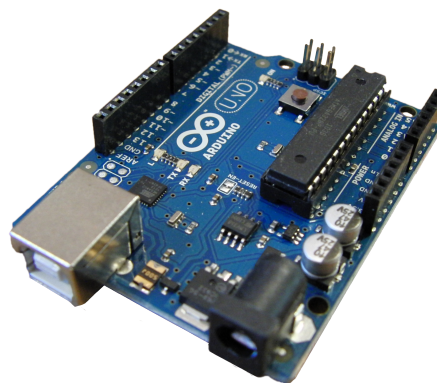
Raspberry Pi je miniaturní počítač o velikosti zhruba platební karty, který byl vyvinut britskou nadací Raspberry Pi Foundation pro podporu výuky informatiky ve školách a rozvojových zemích. Popularita tohoto produktu předčila očekávání a RPi našlo i využití mimo svůj původní cílový trh, například v robotice. Nízká cena (Model B třetí generace vyjde na 35 \$, což zhruba odpovídá 1 250 Kč) a relativně velký výkon dovolil studentům experimentovat s počítačem beze strachu a způsoby, které si na klasickém stolním počítači nemohli dovolit, nebo netušili, že jsou možné. Výhoda RPi také spočívá v Raspberry Pi komunitě, která disponuje velkým množstvím projektů pod volně šiřitelnou licencí a ochotou pomoci novým i stávajícím členům.

### 5.1 Výhody využití Raspberry Pi místo Arudina

Arduino je jednodeskový open source počítač od firmy Atmel, zhruba o stejné velikosti jako RPi. Vznik platformy byl též motivován podporou výuky informatiky s cílem seznámit studenty s funkcí různých automatických zařízení (pračka, mikrovlnná trouba, řídicí elektronika v autě a jiné stroje). Na rozdíl o RPi není Arduino zamýšleno jako plnohodnotný stolní počítač a jeho řídicí program musí být vyvíjen zvlášť a do zařízení nahrán. Program je poté uvnitř Arduina spuštěn a obvykle běží ve smyčce až do vypnutí přístroje. Hodí se tak k jednoúčelovým aplikacím s opakující se funkcí (měření teploty, otevírání a zavírání vrat/oken) a většinou je možné ho díky nízké spotřebě napájet pouze malou baterií. Hlavní výhodou Arduina je množství rozšiřitelných modulů, které se dají snadno zakoupit a osadit. Jako příklad může být Radio modul, GSM modul, Kamera, 7segment display, GPS, Akcelerometry a další. Pro některé složitější projekty může být ale velmi malý výkon a paměť Arudina nedostačující a je nutné se poohlédnout po silnější alternativě.



Obrázek 5.1: Raspberry Pi



Obrázek 5.2: Arduino

Pokud budeme chtít výše zmíněný projekt otevírání a zavírání oken obohatit o funkci, která bude online kontrolovat počasí a dle těchto výsledků upraví cyklus otevírání, budeme potřebovat konektivitu k internetu, výpočetní výkon pro parsování stránek s předpovědí a robustnější řídicí program schopný reakce na více proměnných. K tomuto účelu se více hodí RPi. I když je Většina Arduino modulů hardwarově kompatibilní a lze je bez větší problémů připojit k RPi, je však nutné přepsat kompletně celý řídicí software do jiného programovacího jazyka.

## 5.2 Technické parametry a typ Raspberry Pi

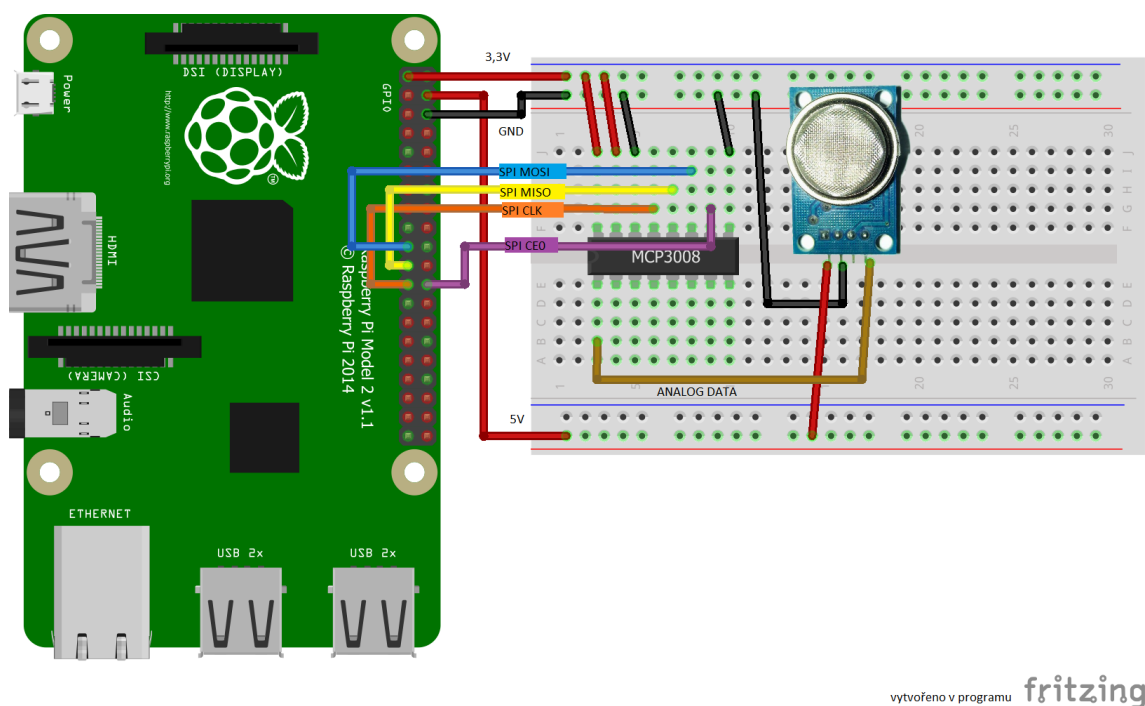
V současné době existují dva typy RPi. Jsou to modely A a B, případně jejich rozšířená verze plus s vyšším výkonem. Liší se od sebe počtem USB vstupů, výkonem procesoru a počtem GPIO pinů.

Pro účely této bakalářské práce byl zvolen model B druhé generace. Obsahuje čtyřjádrový procesor ARMv7 běžící na frekvenci 900 MHz, 1 GB RAM, 40 pinů GPIO, 4x USB port, 3,5 mm jack pro výstup stereo audia a kompozit videa, HDMI port, CSI kamera port, DSI display port, MicroSD slot, 10/100 ethernet a MicroUSB pro napájení.

## 6 Návrh hardwarového zapojení

Tato část se zabývá návrhem a následnou implementací hardwarového zapojení. Pro rychlé vytvoření prototypu a odhalení možných nedostatků projektu bylo využito nepájivé kontaktní pole. Dále kapitola obsahuje cenovou kalkulaci všech využitých komponent a popis případných úskalí a nedostatků sestaveného prototypu.

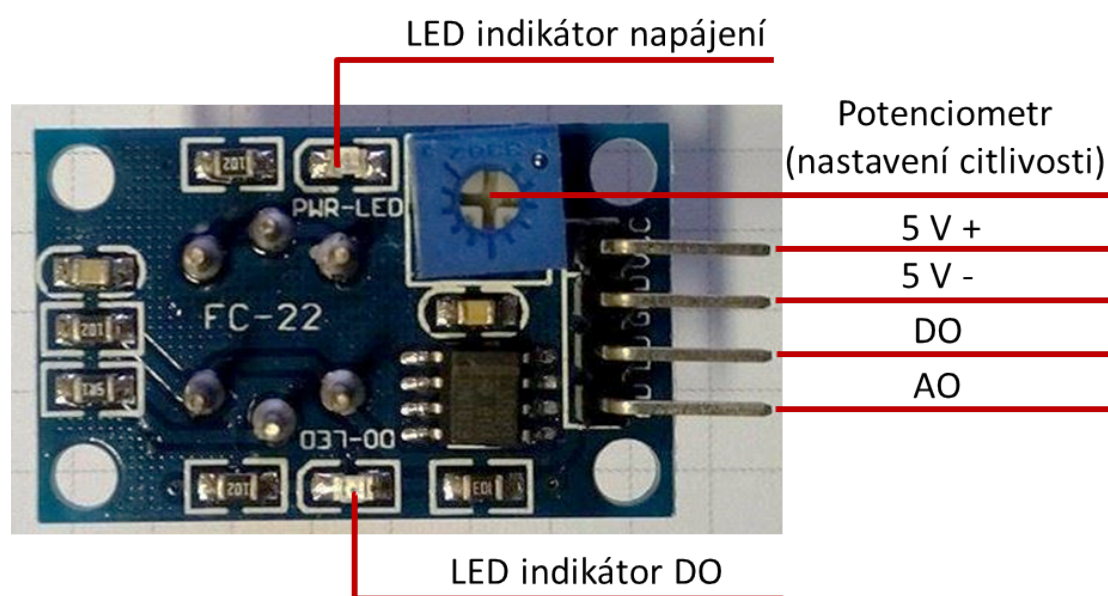
### 6.1 Popis komponent a schéma projektu



Obrázek 6.1: Návrh zapojení hardwaru

Oba druhy vybraných čidel, MQ-2 pro detekci hořlavých plynů a MQ-7 pro detekci CO, jsou připojeny na modulu FC-22, který se prodává jako modul pro detekci plynů

k Arduino. Čidla se dají koupit samostatně, ale při špatné manipulaci, nebo špatném zapojení pinů může dojít k nenávratnému poškození a znehodnocení. Tyto problémy hotový modul odstraňuje a ulehčuje tak práci s čidly. Modul obsahuje čtyři piny, analogový a digitální výstup, zem a napájení, set kontrolních diod a potenciometr. Analogový výstup je použit k odečítání hodnot z čidla, hodnota na tomto výstupu je závislá na koncentraci měřeného plynu v okolní atmosféře. Potenciometr slouží k nastavení prahu digitálního výstupu. V případě překročení této hodnoty se rozsvítí dioda D0 a napětí na pinu DO signalizuje logickou jedničku a může být využito například k sepnutí alarmu. Obvod obsahuje kontrolní diodu, která indikuje napájení celého obvodu. Pokud svítí, je čidlo vyhříváno a na pinu AO (analogový výstup) můžeme měřit koncentraci plynu jako hodnotu napětí.



Obrázek 6.2: Modul FC-22 pro MQ čidla

Bohužel Raspberry Pi neumí číst analogovou hodnotu napětí na GPIO pinech. Je tedy nutné převést spojitý analogový výstup na digitální. K tomu slouží analogově digitální konvertor (ADC). V projektu je využit konvertor MCP3008. Jedná se o osmikanálový, desetibitový převodník, pracující na principu postupného přibližování (SAR) s podporou SPI rozhraní. Pro možné využití SPI rozhraní v řídicím software je nutné propojit správné GPIO piny podle návodu dodávaným s převodníkem.

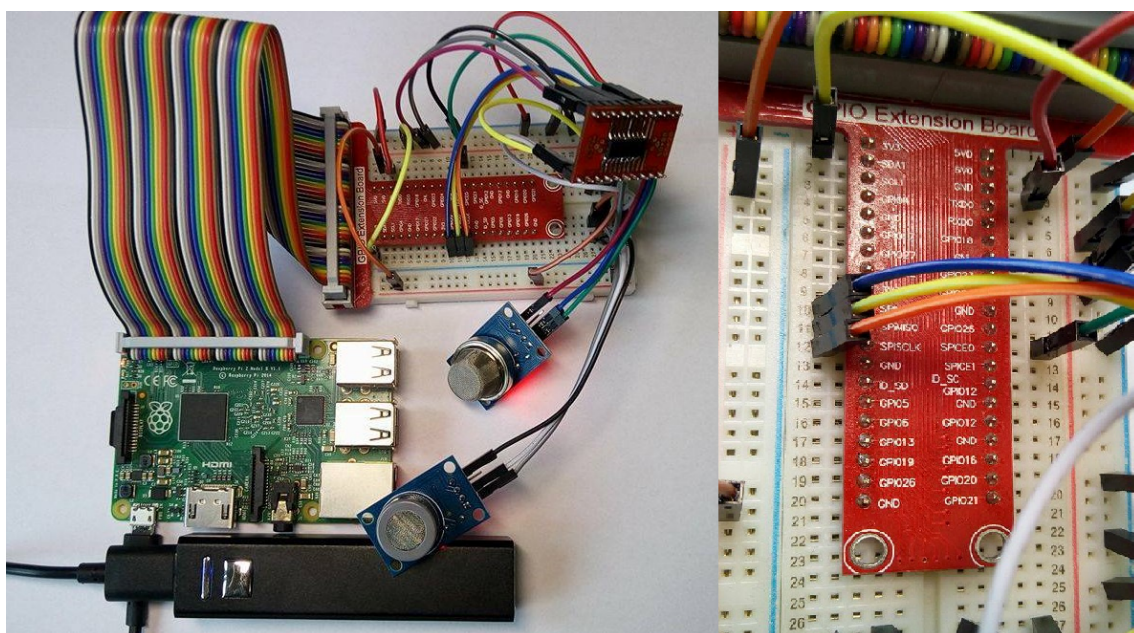
Posledním prvkem v projektu je powerbanka pro napájení Raspberry Pi. Jelikož není využito připojení monitoru a USB periférií, které nejvíce zvyšují spotřebu, je



možné napájet Raspberry Pi stejným způsobem jako mobilní telefon. Počítač je schopen běžet i více jak hodinu na jedno nabití, což je mnohem více než maximální doba letu většiny quadkopter.

## 6.2 Implementace

Jednotlivé komponenty byly zapojeny podle katalogových listů výrobců. Finální podoba prototypu je vidět na obrázku níže. Zde stojí za povšimnutí propojení nepájivého pole s Raspberry Pi pomocí 40 pinového kabelu a GPIO rozšiřující deskou s popisky jednotlivých pinů. Během seznamování se s Raspberry Pi mi tato deska velmi pomohla a vřele ji mohu doporučit.



Obrázek 6.3: Vzhled projektu vlevo, detail GPIO rozšíření vpravo

## 6.3 Cena prototypu a nedostatky

Celková cena projektu dosáhla 1 500 Kč, přičemž největší podíl zde má Raspberry Pi. Všechny součástky byly objednány přes aukční systém [www.ebay.com](http://www.ebay.com) z důvodu nižších cen.

Tabulka 6.1: Cenová kalkulace projektu[14].

| Předmět                                                    | Počet kusů | Cena za kus (Kč) |
|------------------------------------------------------------|------------|------------------|
| Raspberry Pi model B, 2. gen                               | 1          | 970              |
| Propojovací kabely 3x40 ks                                 | 1          | 56               |
| MQ-2 plynové čidlo - modul                                 | 2          | 50               |
| MQ-7 plynové čidlo -modul                                  | 2          | 50               |
| MCP3008 převodník, 4 ks balení                             | 1          | 281              |
| Set: nepájivé pole, 40pin kabel,<br>GPIO rozšiřující deska | 1          | 149              |
| <b>Celková cena</b>                                        |            | <b>1556</b>      |

Převodník MCP3008 je standardně prodáván ve dvou verzích montáže SMD a THT. Pro nepájivé pole je lepší využít typ THT, bohužel tuto informaci jsem zjistil až po objednávce, a proto byl převodník připájen na malou desku plošných spojů, aby šlo propojit jednotlivé vstupy a výstupy. Dalším nedostatkem prototypu je napájení jednotlivých prvků. Momentálně jsou čidla i konvertor napájena pomocí Raspberry Pi, pokud bychom ale chtěli využít všech osmi kanálů, které máme na převodníku k dispozici a zvýšit tak přesnost měření, nebo zvětšit spektrum detekovaných plynů, bylo by nutné vytvořit samostatný napájecí okruh. To by znamenalo další váhu navíc.

## 7 Softwarový návrh

Tato sekce se zabývá návrhem a implementací softwaru pro měření koncentrací plynů v ovzduší. Popisuje postup pro konfiguraci Raspberry Pi a výhody zvoleného operačního systému. Řídicí program čidel je napsán v jazyku Python, který je standardní součástí linuxové distribuce Raspbian a je vhodný k psaní aplikací využívající GPIO piny.

### 7.1 Příprava Raspberry Pi

Před prvním spuštěním Raspberry Pi je nutné nahrát vybraný operační systém na MicroSD kartu a vložit ji do příslušného slotu. Návod k instalaci je k nalezení na [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org), nebo je možné u prodejce zakoupit přeinstalovanou SD kartu s NOOBS. NOOBS je zkratka pro New out of box software a jedná se program, který usnadňuje uživatelům instalaci vybraného operačního systému pro Raspberry. Na výběr jsou zde různé distribuce Linuxu, Windows 10 IoT Core, nebo specifické operační systémy pro multimediální centra.

#### 7.1.1 Windows 10 IoT Core

Windows 10 IoT Core je operační systém od společnosti Microsoft pro vestavěné zařízení. Výhodou je snadné propojení s ostatními službami společnosti Microsoft jako je například Microsoft Azure případně spouštění UWP (Universal Windows Platform) aplikací. Tvorba aplikací probíhá na jiném počítači (podobně jako u Arduina), kde je nutné mít nainstalovaný Windows 10 a integrované vývojové prostředí Visual Studio, a poté jsou nahrány do Raspberry Pi. Vývoj ve Visual studiu umožňuje využití mnoha nástrojů a usnadňuje práci v týmu pro tvorbu složitějších aplikací. V případě aplikace pro tuto bakalářskou práci je celý postup tvorby a ladění aplikací zbytečně složitý a nevyužívá Raspberry Pi jako plnohodnotný počítač.[10]



### 7.1.2 Raspbian

Raspbian je linuxový operační systém optimalizovaný pro použití na Raspberry Pi. Tento plnohodnotný OS obsahuje mimo základních aplikací i různé nástroje vhodné pro tvorbu a správu nového softwaru. Vývoj aplikací může probíhat přímo na Raspberry Pi například v jazyku Python, který je součástí instalace. Je to také nepoužívanější operační systém na Raspberry Pi a v případě komplikací je snadnější nalézt pomoc na internetu. Nevýhodou je nutnost externí myši, klávesnice a monitoru pro práci s Raspberry Pi, což může být nepříjemné pro vlastníky a uživatele notebooků.

### 7.1.3 Ostatní

Druh aplikace pro měření plynovými čidly není vhodný pro využití v multimediálním centru. Jiné distribuce Linuxu také nepřinášejí žádné specifické výhody a proto nejsou použity ve prospěch Raspbianu.

## 7.2 Struktura a funkce programu

Software pro obsluhu čidel a záznam dat naměřených z postaveného prototypu by neměl být napsán „na míru“, ale naopak by měl podporovat budoucí rozšíření a výměnu různých částí kódu. Při správné struktuře programu je možné v případě rozbití a nahrazení součástky za jiný typ, vyměnit i část obslužného kódu bez nutnosti přepisování celé aplikace. Tvorba programu byla z tohoto důvodu rozdělena do tří logických celků. Definice funkčností a popis každého celku jsou popsány níže.

### 7.2.1 Hlavní program

Hlavní program se stará o inicializaci ostatních modulů, výpis dat na obrazovku a jejich následné uložení do souboru. Předpoklad je, že aplikace poběží automaticky na pozadí bez připojeného monitoru. Proto není třeba implementovat grafické uživatelské rozhraní a pro ladění programu postačí pouze konzolový výstup. Data jsou současně s výpisem do konzole také ukládána do textového csv souboru.

### 7.2.2 AD převodník

AD převodník slouží pro čtení analogového signálu z čidel a jeho následnou konverzi do diskrétních hodnot. Jeho komunikace pomocí GPIO pinů se může lišit podle zvo-

leného typu, nebo podporovaného rozhraní pro komunikaci. Je tedy nutné vytvořit obecnou definici funkcí AD převodníku, kterou by měla splňovat každá implementace. Nás bude zajímat čtení analogové hodnoty ze specifického čidla dle kanálu, ke kterému je připojen, případně hromadné čtení všech hodnot ze všech kanálů. Abstraktní třída, kterou může cílová implementace dědit vypadá takto:

```
from abc import ABCMeta, abstractmethod
""" Base AD converter classs """
class ADConverter(metaclass=ABCMeta):

    """ Returns float converted value of selected channel """
    @abstractmethod
    def getChannelData(self, channel):
        pass

    """ Returns list of tuples all active channels. First value
    in tuple is channel number, second is its value """
    @abstractmethod
    def getAllData(self):
        pass
```

V konstruktoru této třídy je možné naprogramovat propojení GPIO pinů podle zvoleného rozhraní nebo nastavení převodníku. Metoda **GetChannelData(self,channel)** vrací float hodnotu analogového vstupu příslušného kanálu a metoda **GetAllData()** vrací seznam všech hodnot ze všech aktivních kanálů. Jelikož Python je dynamicky typovaný skriptovací jazyk, je dobré řádně komentovat příslušné třídy a metody, protože nelze z jejich signatury zjistit typy vstupních proměnných, nebo typ návratové hodnoty.

### 7.2.3 Čidla

Programová část kódu pro správu čidel obdobně definuje společné funkce pro všechna čidla. Každé čidlo by mělo nést informaci o kanálu, ke kterému je připojeno a mít metodu pro výpis naměřené koncentrace plynu.

```
from abc import ABCMeta, abstractmethod
""" Base gas senzor class """
class Sensors(metaclass=ABCMeta):
```

```

""" Sets a specific channel for senzor"""
@abstractmethod
def setChannel(self, channel):
    pass

""" Returns name of gas and value of its concentration in ppm"""
@abstractmethod
def getGasConcentration(self):
    pass

""" Returns raw data value for storage"""
@abstractmethod
def getRawData(self):
    pass

```

Třída *Senzors* definuje obecný senzor s metodami *setChannel()*, pro nastavení numerické hodnoty použitého kanálu na převodníku a *getGasConcentration()*, pro získání textové reprezentace názvu plynu a jeho naměřené koncentrace.

Obě použitá čidla jsou polovodičového typu a jsou schopna detekovat koncentrace několika plynů zároveň. Podávají tak pouze kvantitativní analýzu plynu bez možného určení jeho druhu. Pro monitorování úniku hořlavých látek a toxických plynů jsou čidla univerzálnější a není nutné kupovat pro každý nebezpečný plyn jiné. Čidla splňují svůj účel a mohou odhalit stav nebezpečí, bohužel pro přesnou detekci plynů je nutné využít čidla jiná.

Citlivost senzitivního materiálu v čidlech může být pro každý plyn jiná, což je nutné při použití zohlednit. K tomu slouží graf citlivosti čidel a pomocí něj je možné upravit naměřené hodnoty a lépe vyhodnotit koncentraci. Z grafu citlivosti jsou získány hodnoty dvou bodů a mezi nimi vypočtena rovnice přímky. Ta slouží ke konverzi naměřených hodnot pro jednotlivé plyny na hodnotu koncentrace v jednotkách ppm.

## 7.3 Automatické zapnutí

Pro šetření výkonu počítače se většina programů zapíná až v momentě, kdy k tomu dá jeho uživatel pokyn. Bylo by velmi neefektivní nosit spolu s minipočítačem a quadkopterou ještě myš, klávesnici a monitor, a proto je nutné zařídit automatické spuštění programu po zapnutí počítače. Z více možných způsobů bylo nako-

nec vybráno vytvoření spouštěcího skriptu a jeho přesun do /etc/init.d adresáře. Hlavička skriptu musí splňovat požadavky, které jsou popsány na wiki stránkách Raspbianu [11]. Finální podobna skriptu vypadá takto:

```
#!/bin/sh
#Launcher script - change your path!!
cd /
cd /home/pi/BP
sudo python MainProgram.py
cd /

# /etc/init.d/bp_launcher.py
### BEGIN INIT INFO
# Provides:          bp_launcher.py
# Required-Start:    $remote_fs $syslog
# Required-Stop:     $remote_fs $syslog
# Default-Start:     2 3 4 5
# Default-Stop:      0 1 6
# Short-Description: Start daemon at boot time
# Description:       Enable service provided by daemon.
### END INIT INFO
```

Poté již jen stačí souboru přidat práva pro spuštění, provést aktualizaci skriptů a restartovat počítač následujícími příkazy:

```
sudo chmod +x bp_launcher.py
sudo update-rc.d bp_launcher.py defaults
sudo reboot
```

## 8 Testování měření

Prvním testem bylo napájení z powerbanky. Byla využita powerbanka o celkové kapacitě 2 200 mAh, která vydržela napájet zařízení se dvěma čidly více než hodinu. Bohužel při zapojení třetího čidla se Raspberry Pi samovolně vypnulo. Ani odpojení všech periférií nepomohlo, a tak maximální počet aktivních čidel bez externího napájení byl stanoven na dvě.

Testování vybraných čidel bylo obtížné ze dvou důvodů. Prvním je nutnost uměle vytvářet zvýšené koncentrace měřených plynů, jelikož se přirozeně nevyskytují v atmosféře. Na tom závisí i druhý problém, a to obtížnost zpětné validace naměřených koncentrací.

Obrázek grafu 8 ukazuje záznam z měření. Pro měření byl opakovaně použit plyn ze zapalovače, na který je čidlo MQ-2 velmi citlivé. Je zde vidět celkem rychlý pokles vrcholů v grafu, což je dáno krátkou expozicí danému plynu a jeho možností se volně rozptýlit do okolí.



Obrázek 8.1: Měření koncentrace LPG plynu

Následující obrázek ukazuje záznam z jiného měření a snaží se demonstrovat závislost koncentrace na citlivosti senzoru jednotlivých plynů. K výpočtu koncentrace plynu byla použita shodná data. Z grafu je zřejmé, že hodnota odpovídající relativně malé koncentraci plynu LPG je stejná jako hodnota, která lze změřit na

výstupu čidla při až 4x vyšší koncentraci kouře.



Obrázek 8.2: Graf změřených hodnot a závislost koncentrace podle citlivosti

## 8.1 Použití jiných čidel

Lepší alternativou použitých čidel by bylo využít čidla pro detekci kyslíku a oxidu uhličitého, jejichž výskyt v atmosféře je zdokumentován, což usnadňuje odhalení případných nepřesností měření. Je také snadné pomocí procesu hoření hodnoty těchto plynů měnit v uzavřeném prostředí. Bohužel čidla pro detekci kyslíku a oxidu uhličitého bývají založena na IR principu a jejich cena se pohybuje řádově v tisících a nebylo je možné pořídit.

## 9 Závěr

V rámci této bakalářské práce byl vytvořen funkční prototyp měřicího systému určený pro detekci plynů a vhodný k nasazení na quadkopteru. Rešeršní část se zabývá popisem používaných principů pro detekci plynů a jejich výhodami či nevýhodami. Průzkum trhu vyloučil použití mnoha metod z důvodu různých nedostatků, jako jsou rozměry, váha, cena, nebo prodej pouze komplexních detektorů a absence prodeje samostatných čidel.

Práce seznamuje čtenáře s mikropočítačem Raspberry Pi, jeho možným využitím a technickými možnostmi. Dále popisuje princip, vlastnosti quadkoptery a různé aplikace pro její využití.

Řídící software měřicího systému je napsán v jazyce Python a jeho návrh je vytvořen za účelem snadného rozšíření. V případě výměny součástky je možné vyměnit i příslušnou obslužnou část kódu bez nutnosti přepisovat celou aplikaci.

Funkční vzorek byl otestován a zaznamenané měření bylo vyhodnoceno a pospáno. Nevýhodou měření byla obtížnost navození vyšších koncentrací měřeného plynu a možnost kontroly naměřených dat. Při měření koncentrace kyslíku nebo oxidu uhličitého můžeme otestovat naměřené hodnoty s průměrnou koncentrací těchto plynů v atmosféře. Bohužel pořízení čidel pro detekci těchto plynů je finančně náročné.

Do budoucna je možné otestovat jiné typy čidel a rozšířit tak využití celé aplikace. Spolu s funkcemi, které dnes nabízí mnohé quadkoptery by bylo možné vytvořit automatizované měření za pomoci letových plánů. To může sloužit jak ke klasické kontrole prostředí, tak ke zlepšování podmínek, například odhalení špatně odvětrávaných míst měřením koncentrace  $\text{CO}_2$  na pracovištích.

## Literatura

- [1] MOORE, David W. Gas Detectors. OSA Magazine [online]. 2010, (4). Dostupné z: [http://www.osamagazine.com/article.php?article\\_id=150](http://www.osamagazine.com/article.php?article_id=150)
- [2] Měřicí principy - Detekce a analýza plynů. CHROMSERVIS [online]. [vid. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.chromservis.eu/g/gas-principles?lang=CZ>
- [3] TME Czech Republic s.r.o. - Elektronické součástky [online]. [vid. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/>
- [4] Conrad Electronic – obchod s elektronikou a technikou [online]. [vid. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/>
- [5] GM electronic - elektronické součástky, komponenty. GM electronic, spol. s.r.o. [online]. [vid. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/>
- [6] OPEKAR, František. Senzory plyných látek. In: Senzory [online]. Praha: VŠCHT, 2007 [vid. 2008-06-18], s. 186–202. ISBN 978-80-86238-20-3. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/anl/paci/PAC/prezentace/senzory.pdf>
- [7] TECHNICAL DATA MQ-2 GAS SENSOR [online]. B.m.: HANWEI ELECTRONICS CO. Dostupné z: [https://raw.githubusercontent.com/SeeedDocument/Grove-Gas\\_Sensor/master/res/MQ-2.pdf](https://raw.githubusercontent.com/SeeedDocument/Grove-Gas_Sensor/master/res/MQ-2.pdf)
- [8] TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR [online]. B.m.: HANWEI ELECTRONICS CO. [vid. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- [9] JELÍNEK, Marek. Návrh koncepce a praktická realizace funkčního vzorku robotické multikoptéry. Liberec, 2013. Technická univerzita v Liberci.



- [10] Windows 10 IoT Core: The operating system built for your Internet of Things. Microsoft Windows Dev Center [online]. [vid. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/iot>
- [11] Debian Wiki [online]. [vid. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://wiki.debian.org/cs/FrontPage?action=show&redirect=HlavniStranka>
- [12] NORRIS, Donald. Raspberry Pi: projekty [automatizace a zabezpečení domácnosti : detektor zemětřesení a radonu : přehrávač MP3]. Přeložil Václav LOSÍK. Brno: Computer Press, 2015. ISBN 978-80-251-4346-9.
- [13] MONK, Simon. Raspberry Pi Cookbook: Software and Hardware Problems and Solutions. B.m.: O'Reilly Media, Inc., 2016. ISBN 978-1-4919-3907-9.
- [14] eBay [online]. [vid. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/>

## A Obsah přiloženého CD

Struktura a obsah adresářů na přiloženém CD je následující:

### **/Dokumentace**

Text bakalářské práce ve formátu pdf.

### **/Software**

Zdrojové kódy aplikace.

### **/Data**

Ukázka naměřených dat, Excel soubory s grafy