

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022

Marek Sedláček



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## SYSTÉM DETEKTORŮ PLYNŮ A POŽÁRŮ V OBYTNÝCH PROSTORECH

SYSTEM OF GAS AND FIRE DETECTORS IN LIVING SPACES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Sedláček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

BRNO 2022

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

**Student:** Marek Sedláček

**ID:** 221068

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Systém detektorů plynů a požárů v obytných prostorech**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Prostudujte a sestavte seznam senzorů plynů, dále vytvořte seznam a způsob použití detektorů požárů. Navrhněte koncepci variabilního systému, který bude možné použít v obytném prostoru pro měření koncentrací plynů a detektory požáru, vyhodnocovat jejich hodnoty a odesílat je bezdrátově do mobilního zařízení a/nebo na server pro archivaci. Současně bude odesílat upozornění na nebezpečné koncentrace plynů. Navrhněte vhodný řídicí prvek pro senzorové moduly s bateriovým napájením. Společně s vedoucím práce vyberte skupinu senzorů a pro ně navrhněte obvodová zapojení, desky plošných spojů a ty realizujte.

Zařízení zkompletujte, oživte, naprogramujte obslužné firmwary a zprovozněte sběr dat. Dbejte na nízkou spotřebu senzorových modulů. Vytvořte aplikaci pro mobilní zařízení s Android a iOS, kde bude uživatel schopen zobrazovat měřená data, bude informován o překročených koncentracích, možném poplachu a také kapacitě baterie. Celý systém musí být modulární a uživatel si bude moct vybrat, které senzory použije a také jaký bude jejich počet. Provedte detailní testování celého systému.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] IoT Smoke Detector using MQ135 Gas Sensor & Nodemcu ESP8266 [online]. Electronic Clinic, 2019 [cit. 2021-6-18]. Dostupné z: <https://www.electronicclinic.com/iot-smoke-detector-using-mq135-gas-sensor-nodemcu-esp8266/>

[2] Nodemcu ESP8266 – Lab 17 MQ-2 Gas Sensor with Blynk App [online]. Mindstorm Engineering, 2021 [cit. 2021-6-18]. Dostupné z: <https://mindstormengg.com/nodemcu-esp8266-lab-17-mq-2-gas-sensor-with-blynk-app/>

**Termín zadání:** 11.2.2022

**Termín odevzdání:** 1.6.2022

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

**doc. Ing. Lucie Hudcová, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### **UPOZORNĚNÍ:**

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

## **ABSTRAKT**

Táto bakalárska práca je zameraná na prepojenie senzorov a mikrokontroléru prostredníctvom Wi-Fi na IoT sieť. Za tým účelom boli navrhnuté zariadenia na monitorovanie prítomnosti plynov v obytných priestoroch. Tieto zariadenia okrem monitorovania, taktiež sledujú prekročenie dovolených hodnôt, koncentrácie plynov a v prípade ich prekročenia sa spustí zvuková signalizácia, ktorá je súčasťou zariadenia. Namerané hodnoty koncentrácií plynov a kapacity batérie sú mikrokontrolérom odosielané prostredníctvom Wi-Fi na internet.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

detekcia dymu, detekcia úniku plynu, IoT, Blynk2.0, ESP32, TGS26XX

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis focuses on sensors and microcontrollers connecting via Wi-Fi to IoT networks. For that purpose, monitoring devices were designed. These devices monitor the presence of gases that can occur in households and in the case of exceeding the limits, they send an acoustic signalisation. The measured values and capacity of the battery are then sent by microcontrollers to the Internet via Wi-Fi.

## **KEYWORDS**

smoke detection, gas leak detection, IoT, Blynk2.0, ESP32, TGS26XX

SEDLÁČEK, Marek. *Systém detektorů plynů a požárů v obytných prostorech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2022, 66 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Marek Sedláček  
**VUT ID autora:** 221068  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2021/2022  
**Téma závěrečné práce:** Systém detektorů plynů a požárů v obytných prostorech

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\* Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Tomášovi Frýzovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Úvod</b>   | <b>12</b> |
| <b>1 Detekcia dymu</b>  | <b>13</b> |
| 1.1 Princíp fungovania senzorov na detekciu dymu . . . . .        | 13        |
| 1.2 Systém elektronickej požiarnej signalizácie . . . . .         | 15        |
| <b>2 Detekcia plynov</b>  | <b>17</b> |
| 2.1 Delenie plynov . . . . .                                      | 17        |
| 2.2 Princíp fungovania senzorov na detekciu plynov . . . . .      | 19        |
| 2.3 Umiestnenia detektorov v priestore a ich kalibrácia . . . . . | 24        |
| 2.4 Zóny merania úniku plynu . . . . .                            | 25        |
| <b>3 Komponenty riadiaceho systému</b>                            | <b>27</b> |
| 3.1 Riadiaca jednotka . . . . .                                   | 27        |
| 3.2 Sensory plynov . . . . .                                      | 29        |
| 3.3 Napájanie . . . . .   | 33        |
| 3.4 Porovnanie základného a rozšíreného zariadenia . . . . .      | 37        |
| 3.5 Komunikačné systémy . . . . .                                 | 38        |
| 3.6 Online systémy pre zber dát . . . . .                         | 40        |
| <b>4 Výsledné prevedenie výrobkov</b>                             | <b>42</b> |
| 4.1 Programovanie . . . . .                                       | 42        |
| 4.2 Analógovo digitálny prevodník . . . . .                       | 43        |
| 4.3 Schémy zapojenia . . . . .                                    | 44        |
| 4.4 Krabička . . . . .  | 46        |
| 4.5 Blynk2.0 . . . . .  | 46        |
| 4.6 Výdrž akumulátoru . . . . .                                   | 47        |
| 4.7 Meranie koncentrácie plynu . . . . .                          | 49        |
| 4.8 Výsledné prevedenie zariadení . . . . .                       | 50        |
| <b>Záver</b>  | <b>51</b> |
| <b>Literatura</b>   | <b>52</b> |
| <b>Seznam symbolů a zkratek</b>                                   | <b>57</b> |
| <b>Seznam příloh</b>  | <b>60</b> |
| <b>A Obrázky</b>  | <b>61</b> |

# Seznam obrázků

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1    | Bloková schéma pre návrh systému . . . . .                                    | 12 |
| 1.1  | Princíp ionizačného senzoru . . . . .   | 14 |
| 1.2  | Princíp fotoelektrického senzoru . . . . .                                    | 15 |
| 2.1  | Katalitický senzor . . . . .  | 19 |
| 2.2  | Polovodičový senzor . . . . .   | 20 |
| 2.3  | Elektrochemický senzor . . . . .  | 21 |
| 2.4  | Infračervený senzor . . . . .   | 22 |
| 2.5  | Fotoionizačný senzor . . . . .  | 22 |
| 2.6  | Tepelne-vodivostný senzor . . . . .   | 23 |
| 2.7  | Umiestnenie detektorov na zemný plyn a LPG . . . . .                          | 25 |
| 2.8  | Umiestnenie detektorov na oxid uhoľnatý . . . . .                             | 26 |
| 3.1  | ESP32 . . . . .   | 29 |
| 3.2  | MQ-X . . . . .  | 29 |
| 3.3  | GP v30 . . . . .  | 30 |
| 3.4  | TGS26XX . . . . .   | 31 |
| 3.5  | Princíp funkčnosti TGS26XX . . . . .  | 32 |
| 3.6  | Charakteristika citlivosti senzoru TGS2611 . . . . .                          | 33 |
| 3.7  | Počiatočná podmienka senzorov TGS2611 . . . . .                               | 34 |
| 3.8  | Bloková schéma základného zariadenia . . . . .                                | 37 |
| 3.9  | Bloková schéma rozšíreného zariadenia . . . . .                               | 38 |
| 4.1  | Vývojový diagram zjednodušeného zariadenia . . . . .                          | 43 |
| 4.2  | AD prevodník mikrokontroléra ESP32 . . . . .                                  | 44 |
| 4.3  | Schéma základného zapojenia . . . . .   | 44 |
| 4.4  | Schéma rozšírené zapojenie . . . . .  | 45 |
| 4.5  | Návrh krabičiek pre zariadenia . . . . .                                      | 46 |
| 4.6  | Návrh vizualizácie v aplikácii Blynk2.0 . . . . .                             | 46 |
| 4.7  | Mikrokontrolér ESP32 pri hlbokom spánku . . . . .                             | 48 |
| 4.8  | Závislosť výdrže akumulátoru na dĺžke hlbokého spánku . . . . .               | 48 |
| 4.9  | Závislosť kapacity batérie na čase . . . . .                                  | 49 |
| 4.10 | Závislosť koncentrácie oxidu uhoľnatého na čase, bez zmeny ovzdušia . . . . . | 49 |
| 4.11 | Meranie koncentrácie metánu a CO . . . . .                                    | 50 |
| 4.12 | Výsledné prevedenie zariadení . . . . .                                       | 50 |
| A.1  | DPS základného zapojenia . . . . .  | 61 |
| A.2  | DPS rozšíreného zapojenia TOP . . . . .                                       | 61 |
| A.3  | DPS rozšíreného zapojenia BOTTOM . . . . .                                    | 62 |
| A.4  | Vyrobená DPS základného zapojenia . . . . .                                   | 62 |
| A.5  | Vyrobená DPS rozšíreného zapojenia TOP . . . . .                              | 63 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| A.6  | Vyrobená DPS rozšíreného zapojenia BOTTOM . . . . .        | 63 |
| A.7  | Krabička pre rozšírené zapojenie . . . . .                 | 64 |
| A.8  | Krabička pre rozšírené zapojenie s DPS . . . . .           | 64 |
| A.9  | Krabička pre základné zapojenie . . . . .                  | 65 |
| A.10 | Krabička pre základné zapojenie s DPS . . . . .            | 65 |
| A.11 | Návrh vyzualizácie v mobilnej aplikácii Blynk2.0 . . . . . | 66 |

# Seznam tabulek

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Porovnanie mikrokontrolérov . . . . .        | 27 |
| 3.2 | Porovnanie senzorov plynov . . . . .         | 31 |
| 3.3 | Porovnanie komunikačných systémov . . . . .  | 39 |
| 3.4 | Porovnanie mobilných rozhraní . . . . .      | 41 |
| 4.1 | Krátkodobé expozičné limity plynov . . . . . | 47 |

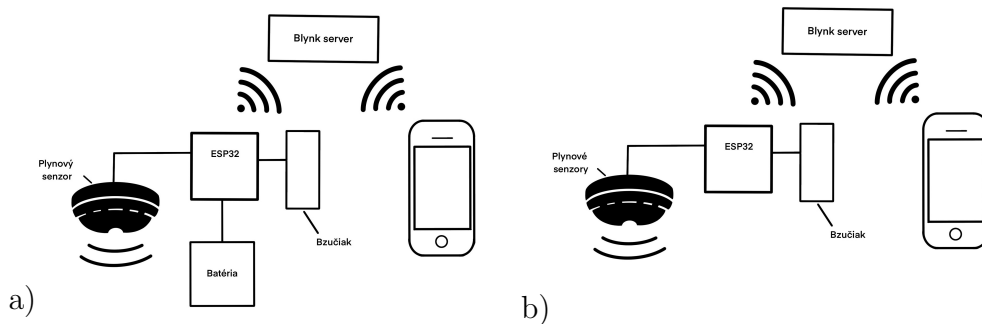
# Úvod

Aj napriek modernej dobe, ktorá ponúka veľké technické vymoženosti, sa mnohokrát stanú nešťastia, ktorým by sa dalo ľahko predísť. Medzi ne patria napríklad požiare, otravy a úniky plynov. Týmto katastrofám by sa dalo predchádzať, keby zariadenia na detekciu požiarov a plynov boli jednoduchšie a cenovo dostupnejšie.

Vďaka novým technológiám IoT (Internet of Things), ktoré sa v posledných rokoch výrazne rozšírili, sa dajú prevádzkovať jednoduchšie zariadenia s väčšou výdržou na vlastný akumulátor, ale hlavne s dobrými prenosovými parametrami. Čo sa dá využiť pri odosielaní nameraných hodnôt zo senzorov cez Wi-Fi modul.

V prípade zariadenia, ktoré má za úlohu merať koncentráciu plynov v ovzduší, nie je potrebné odosielať veľké množstvo dát, alebo tu nie je kladený dôraz na rýchlosť prenosu, či časté odosielanie paketov. Práve toto ponúka technológia IoT, malé množstvo dát, nie časté a nie príliš rýchle odosielanie.

Aby systém mohol správne vyhodnocovať aktuálny stav, musia k nemu byť pripojené snímače, ako je vidieť na obrázku 1, ktoré monitorujú určité veličiny. V rámci monitorovania úniku plynov v obytných priestoroch je kľúčový parameter koncentrácia plynov. Keďže mnohé senzory, ktoré merajú tieto koncentrácie by sa dali považovať za senzory s veľkou spotrebou (rádovo viac ako 50 mA), je potrebné zariadenia rozdeliť do dvoch skupín. Zariadenia, ktoré sú napájané výhradne len akumulátorom (Obr. 1a) ) a zariadenia, ktoré sú napájané zo zdroja a môžu obsahovať záložný akumulátor (Obr. 1b) ).



Obr. 1: a) Bloková schéma s akumulátorom b) Bloková schéma bez akumulátora

Vďaka odosielaniam nameraných dát prostredníctvom Wi-Fi, ktorú v dnešnej dobe väčšina domácností disponuje, sa môže kontrolovať koncentrácia plynov cez aplikáciu v mobilnom zariadení. Rovnako tak je dôležité kontrolovanie a odosielanie nameraných hodnôt kapacity batérie.

# 1 Detekcia dymu

Nasledujúca kapitola je zameraná na účinky dymu na ľudský organizmus a históriu detekcie dymov. Následne sú popísané dve metódy (ionizačná a fotoelektrická), ktoré sa využívajú pri detekcii požiaru. V závere tejto kapitoly je popísaný systém elektrickej požiarnej signalizácie (EPS), jeho delenie a najzákladnejšie normy a vyhlášky, ktoré sa venujú tejto problematike.

Pri požiaroch sú najväčším nebezpečenstvom plyny, ktoré vznikajú pri horení. Štatisticky je až 41 % úmrtí pri požiaroch zapríčinených dymom [1]. Účinky dymu na ľudský organizmus ako napríklad zvracanie, nevoľnosť, poruchy srdcovej činnosti, dýchania a vnímania [2], sa môžu líšiť podľa množstva a koncentrácie rôznych plynov, ktoré vznikajú pri horení.

V minulosti sa ľudia snažili zabrániť nežiadúcim požiarom, pomocou autonómnych elektrických signalizácií. Prvá bola patentovaná v roku 1890 F. R. Uptonom a ďalší patent bol udelený v roku 1902 G. A. Darbymu, za elektrický tepelný detektor. V 30. rokoch 20. storočia, sa fyzikovi W. Jaegerovi pri neúspešnom pokuse vynájsť senzor na jedovatý plyn, náhodne podarilo vynájsť senzor, ktorý pri cigaretovom dyme, menil prúd v obvode. Tento výrazný posun vpred, pripravil cestu, pre moderné detektory dymu [3].

V nasledujúcich rokoch sa detektory dymu vyvíjali a čoraz viac využívali v obytných priestoroch. V súčasnosti sú detektory dymu bežnou súčasťou mnohých obytných priestorov.

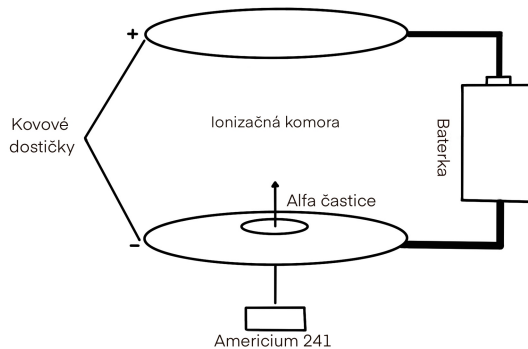
## 1.1 Princíp fungovania senzorov na detekciu dymu

V dnešnej dobe sa detekcia dymu považuje za najzákladnejšiu protipožiarňú ochranu. Podľa zistených štatistík je riziko úmrtia až o polovicu menšie, ak sa v objekte nachádza detektor dymu. Najčastejšie sa v praxi využívajú fyzické (ionizačné), alebo optické (fototoelektrické) detektory dymov [1].

### Ionizačné senzory

Ionizačné senzory využívajú k detekcii dymu ionizačnú komoru, ktorá sa skladá z dvoch doštičiek a rádioaktívnym zdrojom ionizačného žiarenia, viď obrázok 1.1. Na to sa používa rádioaktívny prvok americium-241, ktorý je zdrojom častíc alfa. Tie ionizujú atómy kyslíku a dusíku v komore. Pri ionizovaní atómu sa "vyráža" elektrón (so záporným nábojom), ktorý je priťahovaný k doštičke s kladným napätím. Ostáva atóm bez elektrónu (s kladným nábojom), ktorý je priťahovaný k doštičke so záporným napätím.

Elektronika v senzore sníma malý elektrický prúd, ktorý tieto pohybujúce sa častice predstavujú. Keď dym vstúpi do ionizačnej komory, naruší elektrický prúd vytváraný pohybom častíc tým, že sa častice dymu pripoja k iónom a neutralizujú ich [4]. Na základe toho sa rozpozná, že v monitorovanom objekte došlo k úniku dymu.



Obr. 1.1: Princíp ionizačného senzoru, prevzaté a upravené z [4]

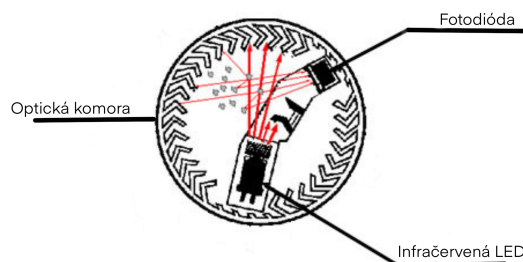
Výhodou ionizačných senzorov v porovnaní s fotoelektrickými senzormi, je ich nízka cena, to zaručuje bežnejšie použitie, lepšie a rýchlejšie detekujú menšie množstvo dymu.

Nevýhodou ionizačných senzorov je ich náchylnosť na falošný poplach. Avšak v praxi mnohokrát ionizačné senzory reagujú pomalšie na bežný požiar v interiéri, oproti fotoelektrickým senzorom [4].

## Fotoelektrické senzory

Fotoelektrické senzory sú zložené z optickej komory, v ktorej sa nachádza fotodióda a infračervená LED (Light-emitting Diode), viď. obrázok 1.2 . Princíp tohoto druhu senzorov je založený na prenose svetla z infračervenej LED k fotodióde. Tomuto prenosu napomáhajú mriežky optickej komory od ktorých sa svetelné lúče odrážajú. Po vstupe častíc dymu do komory, sa častice svetla vyžiarené z infračervenej LED, odrážajú od častíc dymu mimo fotodiódu. Intenzita svetla zachytená pomocou fotodiódy sa znižuje, v dôsledku rozptylu od dymových častíc. Na fotodiódu dopadá menšie množstvo svetelných lúčov a kvôli fotoelektrickému javu sa mení odpor fotodiódy. Obvody detekujú intenzitu svetla a porovnávajú ju so stanovenou úrovňou [5].

Výhody fotoelektrických senzorov je lepšia detekcia požiarov, ktoré dlhšiu dobu tlejú. Poskytujú adekvátne varovanie pre všetky druhy požiarov.



Obr. 1.2: Princíp fotoelektrického senzoru, prevzaté a upravené z [5]

Ich nevýhodou je pomalšia reakcia na rýchlo vzniknuté požiare. Avšak doporučuje sa inštalácia tzv. kombinovaných alarmov, ktoré pozostávajú z ionizačného senzoru a fotoelektrického senzoru [5]. Tieto kombinované detektory sú výhodnejšie z hľadiska ich presnosti a spoľahlivosti.

## 1.2 Systém elektronickej požiarnej signalizácie

Systém EPS (Elektronická Požiarna Signalizácia), je zbierka zariadení, ktoré slúžia na včasnú detekciu a signalizáciu požiaru. Obsahuje ústredňu, ktorej cieľom je prijímanie a vyhodnocovanie signálov z hlásičov. Počas poplachu ústredňa pomocou diaľkového prenosu privolá jednotku požiarnej ochrany. Systémy EPS tiež obsahujú hlásiče, ktoré sa delia na konvenčné (hlásiče, ktoré majú pevne nastavenú hodnotu vyhlásenia požiaru) a analógové (hlásiče, ktoré monitorujú prostredie a vyhodnocujú zmenu). Taktiež obsahuje napr. tlačítka na bezprostredné vyhlásenie požiarneho poplachu alebo spustenie hasenia, zvukové a svetelné signalizácie atď.

Systém EPS sa delí na konvenčné a adresné systémy

- **Konvenčné systémy** sa zapájajú do jednotlivých požiarnych uzlov. Ich nevýhodou je, že pri detekcii dymu, systém rozpozná len daný uzol, v ktorom detekcia nastala. Pri tomto druhu zapojenia sa nesmú kombinovať hlásiče s tlačítkami.
- **Adresné systémy** sa zapájajú do liniek, ktorých výhodou je, že pri detekcii dymu presne určia, ktorý hlásič hlási požiar. Jedna linka môže obsahovať hlásiče, tlačítka a dymové detektory.

Systémy EPS sa riadi vyhláškami, zákonmi a normami ČSN (Česká Státní norma), ktoré popisujú ich správne použitie, rozloženie aj určenie, jej vhodnú montáž, obsluhu aj pravidelné revízie, revíznym technikom [7], [6]. Problematikou sa zaoberajú najmä:

- Vyhláška č. 726/2002 Z. z.
- Norma ČSN 73 0875 - Požární bezpečnost staveb
- Norma ČSN 34 2710 - Elektrická požární signalizace
- Norma ČSN 73 0802 - Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty

Patria k nim aj mnohé ďalšie, ktorým sa v Českej Republike venuje: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

EPS má nadmerné využitie vo veľkých objektoch ako napríklad školy, nemocnice, divadlá, internáty atď. najmä kvôli rýchlej a komplexnej detekcii požiaru a vyhlásenie poplachu pomocou zvukovej a svetelnej signalizácie. Avšak nemá využitie v malých obytných priestoroch, keďže ich cena sa pohybuje rádovo v desiatkách tisíckach korún. Preto užívatelia menších priestorov, využívajú detektory, ktoré sú väčšinou napájané zo siete a zvukovú signalizáciu majú zabudovanú v sebe. Tieto detektory sú spoľahlivé a cenovo dostupnejšie, avšak nie sú spojené s ústredňou a teda ani s jednotkou požiarnej ochrany.

## 2 Detekcia plynov

Účinky plynov na ľudský organizmus ako napríklad: bolesť hlavy, malátnosť, pocit tlaku v očiach, atď., netreba brať na ľahkú váhu. V mnohých prípadoch v obytných priestoroch je vinníkom unikajúci zemný plyn. Jeho pôvodnou vlastnosťou je bezfarebnosť a bezzápachovosť, avšak tieto vlastnosti sa zmenia po pridaní tzv. odorizačnej zložky, ktorá tvorí špecifický zápach tohto plynu [8].

Ale napriek snahe zmeniť vlastnosti plynu, kvôli rýchlejšiemu odhaleniu jeho úniku, je mnoho prípadov otráv, či výbuchov plynu. Pričom v mnohých prípadoch by sa dalo týmto kolíziám predísť, použitím detektoru na únik plynu.

Ludia sa už v minulosti snažili detekovať úniky plynov a následne ich signalizovať a odstraňovať.

V 18. storočí si baníci so sebou prinášali do baní kanárikov na detekciu nebezpečných plynov ako je metán ( $CH_4$ ), oxid uhličitý ( $CO_2$ ) alebo oxid uhoľnatý ( $CO$ ). Kanárik, ktorý patrí do radu spevavcov, by v prítomnosti týchto plynov prestal spievať a nakoniec zomrel. Toto malo baníkom signalizovať prítomnosť nebezpečných plynov.

V roku 1815 S. H. Davy vynášiel plameňovú bezpečnostnú lampu, aby detekovala prítomnosť metánu v uhoľných baniach, ktorá fungovala na princípe zväčšovania sa plameňa v prítomnosti metánu a zmenšovania sa plameňa na čerstvom vzduchu. Táto plameňová bezpečnostná lamp (alebo Davyho lamp), sa dodnes používa v niektorých rozvojových krajinách, napr. India.

V roku 1926 začala moderná éra s vývojom senzorov katalytického spaľovania, kedy O. Johnson a P. Williams založili JW Instruments, ako prvú spoločnosť na svete, ktorá sa zameriavala na detekciu plynov. Táto firma bola ďalších 40 rokov na čele prvenstiev vývoja a výroby mnohých detektorov plynov vrátane výroby menších prenosnejších prístrojov [9].

V dnešnej dobe je mnoho spoločností, ktoré sa zaoberajú vývojom, návrhom a konštruovaním rôznych plynových senzorov. Či už sú to veľké senzory používané vo firmách, malé senzory v domácnostiach, alebo batériou napájané senzory, ktoré používajú napr. hasiči. Moderné technológie dnešnej doby ponúkajú širokú škálu možností.

### 2.1 Delenie plynov

Merané plyny, z hľadiska nebezpečia delíme do štyroch kategórií:

- horľavé
- toxické
- korozívne

- kyslík

## Horľavé plyny

Horľavé plyny sú definované ako plyny, ktoré môžu vytvoriť výbušné ovzdušie. Charakterizujú ich dva parametre a to dolná a horná hranica výbušnosti.

- **Dolná hranica** sa nazýva LEL (Lower Explosive Limit)
- **Horná hranica** sa nazýva UEL (Upper Explosive Limit)

Ak sa koncentrácia plynu nachádza pod hranicou LEL hovoríme, že zmes plynu a vzduchu je priveľmi chudobná na to, aby horela. V zmesi je nedostatok plynu na vyvolanie výbuchu. Riziko požiaru sa zvyšuje v priemere k percentu horľavého plynu. Pokiaľ sa v zmesi plynu a vzduchu nachádza plyn nad hranicou UEL, nehorí, nakoľko je príliš presýtený. Preto je najnebezpečnejšie, keď sa plyn nachádza medzi hranicami LEL a UEL [10].

## Toxické plyny

Toxické plyny sú to všetky zlúčeniny a prvky v plynnej forme, ktoré sú z pohľadu hygieny práce charakterizované expozičnými limitmi. Jedná sa o dve hodnoty, určené nariadením vlády, ktoré nesmú byť prekročené. Tieto hodnoty znamenajú, že človek nie je ohrozený toxickými plynmi prítomnými v okolitej atmosfére.

- **Najnižšia Prípustná Koncentrácia Priemerná (NPK-P)**, alebo taktiež označované ako STEL (Short-Term Exposure Limit), je to krátkodobý expozičný limit. Je prípustná priemerná expozícia za krátku dobu, prevažne 15 minút.
- **Prípustný Expozičný Limit (PEL)**, alebo taktiež označované ako TWA (Time Weighted Average), je to maximálne množstvo, ktorému môže byť človek vystavený po dobu 8 hodín [11].

Expozičné limity sa najčastejšie udávajú v jednotkách ppm (part per milion), ppb (part per billion) alebo  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Kedy ppm sa dá predstaviť ako pomer jedného plynu k druhému. Napríklad, 1 000 ppm metánu znamená, že ak by sme spočítali milión molekúl plynu, tak 1 000 z nich bude metanú a 999 000 molekúl by boli iné plyny [12].

## Korozívne plyny

Korozívne plyny sú plyny, ktoré sú nebezpečné kvôli ich korozívnym vlastnostiam, napr. oxid siričitý, oxid sírový, sulfán a chlorovodík. Sú nebezpečné jak pre človeka, tak aj pre materiály, ktoré podliehajú korózií. Vo vlhkom prostredí sú účinky korozívnych plynov väčšie. Patria súčasne aj medzi toxické plyny.

## Kyslík

Kyslík je v koncentráciách až 20,9% v zemskej atmosfére a je nevyhnutý k ľudskej existencii. Preto sa v detektoroch plynov používa predovšetkým meranie nedostatku kyslíku, aby sa predišlo ujme na zdravý v dôsledku vyčerpania kyslíka.

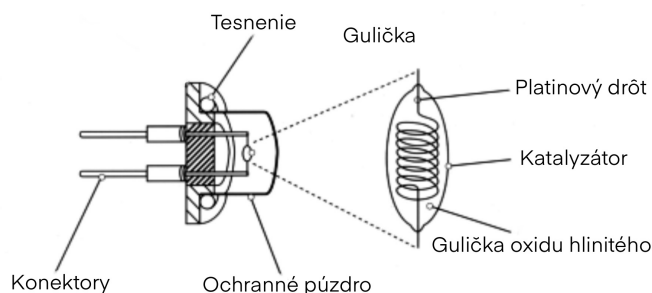
## 2.2 Princíp fungovania senzorov na detekciu plynov

Senzory detektorov plynov sa rozdeľujú podľa technológie na:

- katalytické
- polovodičové
- elektrochemické
- infračervené
- fotoionizačné
- tepelne-vodivostné

### Katalytické senzory

Katalytické senzory (alebo taktiež pellistor), sú najbežnejšie používané senzory v dnešnej dobe. Katalytický senzor sa skladá z dvoch platinových cievok zaliatych v hliníkových guľičkách. Guľičky sú vyhrievané na vysokú teplotu elektrickým prúdom, kedy jedna z guľičiek je impregnovaná špeciálnym katalyzátorom, ktorý umožňuje oxidáciu horľavých zlúčenín. Druhá guľička odstraňuje vplyv okolitých zmien. Tým sa guľička ešte viac zahrieva a vďaka tomu mení svoj elektrický odpor. Výsledný rozdiel napätia medzi aktívnou a pasívnou guľičkou je úmerný koncentráciám prítomných plynov. Tieto guľičky sú umiestnené pod ochranným púzdom, ako je vidieť na obrázku 2.1, ktoré slúži k ochrane pred fyzickým zničením.



Obr. 2.1: Katalytický senzor, prevzaté a upravené z [1]

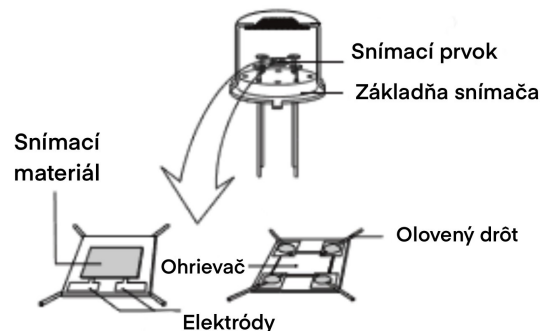
Detektory na princípe katalytických guľičiek, sa používajú v plynárenstve, chemickom priemysle a energetike. Ich časté využitie v praxi vyplýva z ich dobrých

vlastností, ako je dostatočná presnosť a stabilita, relatívne nízka cena, vysoká rýchlosť odozvy, veľká životnosť a iné.

Ich nevýhodou je vyššia energetická náročnosť, náchylnosť na poškodenie katalyzátoru, čo zapríčini zníženie citlivosti senzoru. Tieto senzory, nie sú využiteľné v atmosfére s nižším obsahom kyslíku ako 10 %, nakoľko počas merania sa plyn katalyticky spaľuje [13].

## Polovodičové senzory

Polovodičové senzory, taktiež známe ako MOS (Metal-Oxide-Semiconductor), detekujú plyny chemickou reakciou. Základ princípu polovodičových sensorov je v kremíkovej doštičke, ako je vidieť na obrázku 2.2, na ktorej je nanosená vrstva polovodiča. Keď sa plyn dostane do tenkej vrstvy oxidu ciničitého, ktorý sa najbežnejšie používa v týchto typoch sensorov, dochádza ku katalytickej oxidácii. Kyslíkové molekuly sú nahradené molekulami meraného plynu. V dôsledku toho sa mení vodivosť polovodiča. Elektrický odpor sa znižuje, keď sa dostane do kontaktu s monitorovaným plynom.



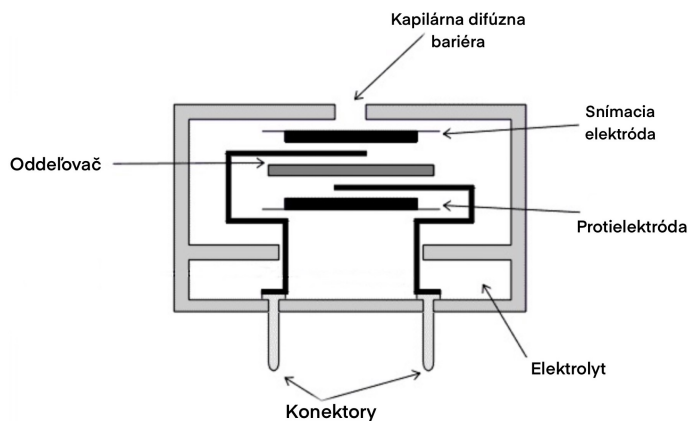
Obr. 2.2: Polovodičový senzor, prevzaté a upravené z [1]

Velkou výhodou polovodičových sensorov plynov, je rýchlosť ich časovej odozvy, nízka cena a pomerne veľká citlivosť.

Ich najväčšou nevýhodou je ich veľká závislosť na vlhkosti a teplote prostredia, v ktorej sú umiestnené, to má za následok menšiu stabilitu a väčšiu nepresnosť. Preto je potrebná ich častejšia kalibrácia a kontrolovanie. Tiež je potrebné, aby v ich prítomnosti bol v meranej atmosfére kyslík [14].

## Elektorchemické senzory

Princíp elektrochemických senzorov, alebo taktiež ECGS (Electrochemical Gas Sensors) senzorov, je založený na dvoch elektródach ponorených do elektrolytu. Tento systém sa nachádza v špeciálnom púzdre, ktorý je vidieť na obrázku 2.3. Elektrolyt môže byť v troch formách a to v tekutej, gélovej alebo poréznej hmote. Priestor s elektrolytom a elektródami je oddelený od okolitej atmosféry difúznou bariérou, ktorou prechádzajú molekuly meraného plynu. Tie reagujú s elektrolytom a s ich rastúcou koncentráciou rastie aj potenciál.



Obr. 2.3: Elektrochemický senzor, prevzaté a upravené z [1]

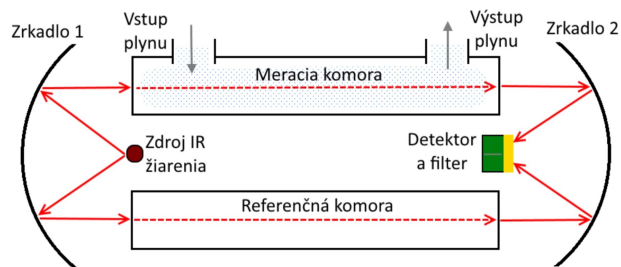
Výhodou elektrochemických detektorov je ich spoľahlivosť a citlivosť pre bežne používané plyny aj nízku cenu senzorov.

Nevýhodou je ich dlhá odozva, možnosť poškodenia vysokou koncentráciou plynu a pri senzoroch určených na meranie špeciálnych plynov je cena senzoru pochopiteľne vyššia [15].

## Infračervené senzory

Princíp infračervených senzorov, alebo taktiež IR (Infrared) senzorov, sú založené na vysielaní dvoch infračervených synchronných prerušovaných lúčov z jedného zdroja ako je vidieť na obrázku 2.4. Jeden z lúčov je merací, ten prechádza komôrkou, v ktorej je meraný plyn. Druhý lúč prechádza komôrkou so známym plynom. Pomocou druhého lúča tzv. referenčného, sa odstraňuje vplyv tlaku, teploty atď. Oba lúče sa porovnávajú na kovovej membráne. Tá pracuje ako kapacitný snímač. S nárastom koncentrácie meraného plynu sa znižuje úroveň výstupného signálu z infračerveného senzoru.

Výhodou týchto typov senzorov je, že sa pre ich detekciu nemusia vkladať do plynu, ale môžu sa použiť pri meraní na diaľku. To umožňuje monitorovať veľké



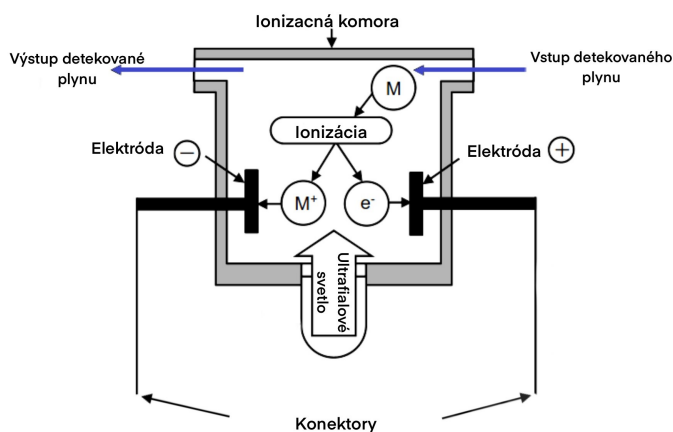
Obr. 2.4: Infračervený senzor, prevzaté z [16]

priestory. Ich výhodou je veľká citlivosť, vysoká životnosť, rýchla časová odozva na skokovú zmenu. K svojej funkčnosti nepotrebujú kyslík, ako to bolo napr. u katalytických a polovodičových senzorov.

Veľkou nevýhodou infračervených senzorov je ich neschopnosť merať plyny s jedným typom atómov. Pretože plyn je detekovaný meraním absorpcie na určitej frekvencii infračerveného žiarenia. Tá zodpovedá rotácií molekulárnej väzby medzi rozdielnymi atómami [17]. Od toho sa odvíja aj vyššia cena tohto typu senzorov.

## Fotoionizačné senzory

Princíp fotoionizačných senzorov, alebo tiež nazývaných ako PID (Photo Ionization Detector) senzory. Pozostávajú z ionizačnej komory, do ktorej vstupuje meraný plyn ako je vidieť na obrázku 2.5. Je založený na meraní vzniknutého elektrického náboja pri ionizácii meraného plynu. Meraný plyn je ionizovaný ultrafialovou žiarovkou, čo sa prejaví vznikom elektrického náboja [18]. Senzor detekuje vzniknutý náboj ionizovaného plynu a je prevedený na elektrický prúd, ktorý je konvertovaný a zosilnený.



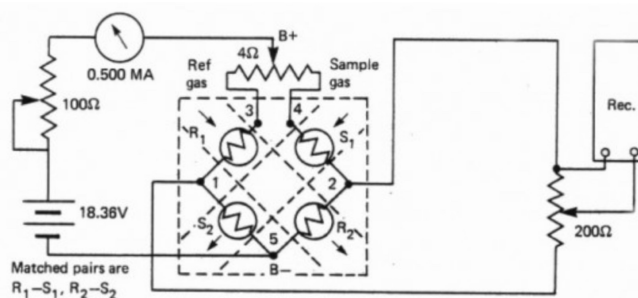
Obr. 2.5: Fotoionizačný senzor, prevzaté a upravené z [18]

Senzory na fotoionizačnom princípe majú výhodu vo vysokej citlivosti, rýchlej odozvy, nepodliehajú vplyvom teploty ani vlhkosti a majú veľkú presnosť aj pri veľmi nízkych koncentráciách.

Nevýhodou týchto senzorov je malá selektivita pri väčšine zlúčenín.

## Tepelne-vodivostné senzory

Tepelne-vodivostné senzory, tiež označované ako TCD (Thermal Conductivity Detector) senzory, pracujú na princípe porovnávania tepelnej vodivosti vzorky s referenčným plynom. V dvoch komorách sú umiestnené dve vyhrievané telieska rovnakej veľkosti. Jedna komora je s referenčným plynom, ktorého vlastnosti poznáme. Do druhej komory je privádzaná meraná zmes plynov. Ak je tepelná vodivosť meraného plynu vyššia ako referenčného plynu, teplota meraného prvku sa zníži a platí to aj naopak. Zmena teploty meraného prvku má za následok zmenu elektrického odporu. Schéma tepelne-vodivostného senzoru je znázornená na obrázku 2.6.



Obr. 2.6: Tepelne-vodivostný senzor, prevzaté z [1]

Výhoda tepelne-vodivostných senzorov je ich jednoduchosť, rýchla odozva a vysoká citlivosť pri plynch s vyššou tepelnou vodivosťou ako napr. vodík ( $H_2$ ), hélium (He), neón (Ne) a metán ( $CH_4$ ).

Ich nevýhody sú najmä nepresnosť pri meraní malých koncentrácií, výstupný signál značne ovplyvňuje zmena okolitej teploty. Plyn, ktoré majú relatívnu tepelnú vodivosť blízke 1 sú prakticky nemerateľné ako napr. CO,  $O_2$ , amoniak ( $NH_3$ ), dusík ( $N_2$ ). Tieto detektory sú nepoužiteľné pre viaczložkové zmesi plynov [19].

Vyššie popísané technológie na detekciu plynov vysvetľujú ich princíp a porovnávajú výhody a nevýhody jednotlivých typov senzorov. Pri porovnaní výhod a nevýhod boli vybrané polovodičové senzory. A to najmä kvôli dostupnosti, cene a rýchlosti časovej odozvy. Konkrétne tri rady polovodičových senzorov a to MQ-X, GP v30 a TGS26XX sú porovnané v kapitole 3.2.

## 2.3 Umiestnenia detektorov v priestore a ich kalibrácia

Táto kapitola je zameraná na rozdelenie detektorov podľa ich umiestnenia v priestore na pevné a prenosné. Taktiež sa venuje ich kalibrácií a rozdelenia podľa výstupných funkcií.

Pevné detektory plynov sa najčastejšie používajú k ochrane obytných priestorov, životného prostredia, či kultúrnych pamiatok. Môžu byť použité pre detekciu jedného, či viacerých typov plynov a ich účelom je trvalé monitorovanie priestoru. Obvykle sa pevné detektory pripájajú k ústredni, ktorej úlohou je koordinovanie celého systému a monitorovanie všetkých detektorov. V prípade zaznamenaného nebezpečenstva vo forme úniku plynu, ústredňa vyhlási poplach prostredníctvom zvukovej a/alebo vizuálnej signalizácie pomocou bzučiaku, alebo majáku. Pevné detektory plynov, nie je treba často kalibrovať, obvykle stačí jeden až dvakrát do roka [20].

Prenosné detektory plynov dokážu merať riziko toxicity, ako aj nadmerné množstvo alebo nedostatok kyslíku. Tieto zariadenia sú menšej veľkosti, väčšinou ich personál nosí v odevy, môže ich mať zabudované v opasku či postroji, alebo ich nosí v ruke. Prenosné detektory nie sú napevno spojené s ústredňou a sú napájané batériou. Pri zaznamenaní nebezpečenstva, sami vydávajú zvukovú a vizuálnu signalizáciu. Tento druh detektorov sa odporúča kalibrovať každý deň, keďže sa pri jeho používaní častejšie menia podmienky, ako napr. vlhkosť, teplota, iná koncentrácia prachových častíc atď. Nevýhodou prenosných detektorov plynou je ich vyššia cena v porovnaní s pevnými detektormi [21].

Kvôli potrebe presného merania a vyhodnocovania, je dôležitá správna kalibrácia a dôkladná údržba. Kalibrácia je proces, pri ktorom detektor plynov zmeria odozvu senzorov na nami známu koncentráciu plynu tzv. kalibračný plyn. Následne technik nastaví túto hodnotu ako bod kalibračnej krivky. Keďže kalibrácia je závislá od konštrukcie a princípu detektorov plynov, je potrebné sa riadiť odporúčením výrobcu [13]. Frekvencia kalibrácie, je závislá od podmienok, v ktorých sa zariadenie používa ako napr. vysoká teplota, vlhkosť, prašnosť, obvyklé úniky plynu, chemické výpary atď [17].

Normy ČSN EN 50244 ed. 2 alebo ČSN EN 50292 ed. 2 sa venujú aj rozdeleniu detektorov podľa vybavenia výstupných funkcií, pričom ich delia na dve skupiny, skupinu A a B.

- **Skupina A** je vybavená výstupnou funkciou pre spínanie pomocných zariadení, ako sú napr. ventilátor pre odvetrávanie a uzáver plynu. Pri signalizácii úniku napomáha k jej zastaveniu, prípadnému zmenšeniu škôd.
- **Skupina B**, ktorá je bez výstupných funkcií [23], [24].

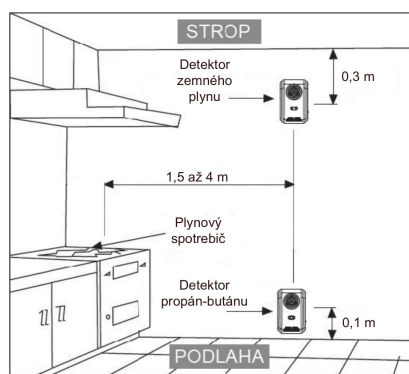
## 2.4 Zóny merania úniku plynu

Inštalácia, udržiavanie a kontrola detektorov plynov sa riadi podľa ČSN, ktoré sú prevzaté z anglickej verzie EN (Európska Norma). Táto časť sa venuje najdôležitejším z nich, ako napr. umiestneniu detektorov na zemný plyn, LPG (Liquid Petroleum Gas) a oxidu uhoľnatého (CO).

Pri meraní úniku plynu je dôležité dbať na umiestnenie plynového detektora. Aj napriek dobrým vlastnostiam vybraného detektora, pri zlom umiestnení, môže byť jeho účinnosť prakticky nulová. Pri umiestňovaní detektora je treba dbať najmä na druh plynu, ktorý sa bude merať a na umiestnenie dverí a okien v priestore. V neposlednej rade treba dbať na pokyny výrobcu. Najpravdepodobnejší priestor pre únik plynu môže byť miestnosť so samotným spotrebičom, ktorý využíva tento plyn [23].

### Umiestnenie detektorov na zemný plyn a LPG

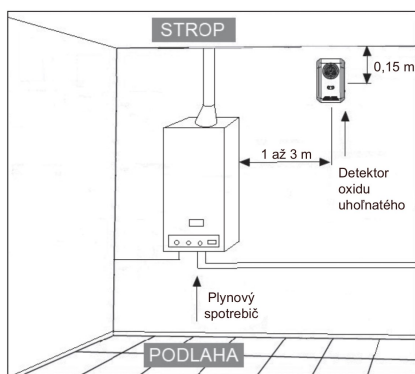
Pri detekovaní úniku zemného plynu, ktorého hlavnou zložkou je metán, sa detektor inštaluje 0,3 m od stropu, pretože hustota metánu je menšia ako hustota vzduchu. Rovnako ako metán sa v domácnostiach používa aj LPG, ktorý je zložený z propánu a butánu. Toto zloženie sa líši podľa toho, či sa jedná o tzv. zimmú zmes (približne 60 % propán, 40 % bután), alebo tzv. letnú zmes (40 % propán, 60 % bután). Hustota propánu a butánu je väčšia ako vzduch, preto sa detektory na tieto plyny inštalujú 0,1 m nad podlahu, to je vidieť na obrázku 2.7. K inštalácií, použitiu a údržbe detektorov horľavých plynov v obytných budovách, by sa mala aplikovať norma ČSN EN 50292 ed. 2 a zároveň je potrebné rešpektovať návod výrobcu [23].



Obr. 2.7: Umiestnenie detektorov na zemný plyn a LPG, prevzaté a upravené z [23]

## Umiestnenie detektorov na oxid uhoľnatý

Norma ČSN EN 50292 ed. 2 sa zaoberá aj detektormi oxidu uhoľnatého. Táto norma ich nariaďuje umiestniť do každej miestnosti, v ktorej sa nachádza spotrebič spaľujúci palivo. Ich umiestnenie môže byť dvojaké a to buď na strop (minimálne 0,3 m od najbližšej steny) alebo na stene (0,15 m od stropu) a zároveň horizontálne vo vzdialenosti 1 až 3 metre od hrany spotrebiča tak ako to zobrazuje obrázok 2.8.



Obr. 2.8: Umiestnenie detektorov na oxid uhoľnatý, prevzaté a upravené z [23]

## Zhrnutie

V práci je odporučené používanie, výber a umiestnenie detektorov úniku plynu, podľa vyššie uvedených noriem. Avšak bude na užívateľovi, či pri výbere a umiestňovaní dodrží dané odporúčenia.

## 3 Komponenty riadiaceho systému

Táto kapitola sa zaoberá výberom a popisom jednotlivých komponentov ako aj popisom ich funkčnosti pre základné a rozšírené zariadenie na detekciu plynov a požiarov v obytných priestoroch. Hlavným rozdielom medzi základným zariadením a rozšíreným je spôsob napájania, kedy základné zariadenie je napájané batériami, rozšírené zariadenie je napájané pomocou zdroju napätia. Taktiež aj počtom senzorov a GSM (Global System for Mobile Communications) modulom.

### 3.1 Riadiaca jednotka

Základom každého systému riadenia, je riadiaca jednotka, ktorá má za úlohu monitorovať a riadiť daný obvod. V dnešnej dobe, je mnoho mikrokontrolérov, ktoré by sa dali využiť ako riadiace jednotky, pre zariadenie na detekovanie plynov. Tabuľka 3.1 zobrazuje štyri platformy a to Raspberry PI3, Wipy 3.0, ESP8266 Lua a ESP32 DEVKIT V1 DOIT, ktoré sú porovnané na základe ich parametrov. A to najmä na počet pinov, pamäť programu, napájacie napätie, spotrebu v pracovnom režime, spotrebu v tzv. light sleep (ľahký spánok, *LS*) móde, alebo v tzv. deep sleep (hlboký spánok, *DS*) móde. Taktiež aj Wi-Fi pripojenie a ceny, ktoré sú platné k 1.1.2022.

Tab. 3.1: Porovnanie mikrokontrolérov

| Platforma          | Raspberry PI3 | Wipy 3.0      | ESP8266 Lua   | ESP32      |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| Mikroprocesor      | ARMv8         | Tensilica     | ESP-12E       | Xtensa LX6 |
| Architektúra       | 64 bitov      | 32 bitov      | 32 bitov      | 32 bitov   |
| Analógové piny     | 0             | 7             | 1             | 18         |
| Digitálne piny     | 4             | 31            | 11            | 2          |
| Pamäť programu     | 1 GB          | 8 MB          | 4 MB          | 4 MB       |
| Napájacie napätie  | 5 V           | 3,3 V - 5,5 V | 2,5 V - 3,6 V | 5 V        |
| Spotreba           | 300 mA        | 192 mA        | 80 mA         | 51 mA      |
| Spotreba v LS móde | -             | -             | 0,4 mA        | 10 mA      |
| Spotreba v DS móde | -             | 0,015 mA      | 0,02 mA       | 9 mA       |
| Wi-Fi              | ANO           | ANO           | ANO           | ANO        |
| Cena               | 1091 Kč       | 800 Kč        | 148 Kč        | 198 Kč     |

#### Mikrokontrolér Raspberry PI3

Raspberry PI3 Model B je jednodoskový počítač s 64-bitovým štvorjadrovým mikroprocesorom ARMv8. Frekvencia procesoru je 1,2 GHz, má videový a zvukový

vstup, rovnako ako videový a zvukový výstup. Jeho spotreba v normálnom režime je 300 mA a obsahuje pamäť vo veľkosti až 1 GB. Avšak digitálne GPIO piny, ktoré obsahuje, môžu byť použité len ako výstup. Analógové piny neobsahuje. Výhodou a dôvodom porovnania Raspberry PI3 Model B s ostatnými mikrokontrolérmi, je zabudovaná Wi-Fi 802.11 b/g/n a Bluetooth 4.1 LE [25].

### **Mikrokontrolér Wipy 3.0**

Wipy 3.0 je hardvér s nízkou spotrebou energie, navrhnutý pre IoT od spoločnosti Pycom. Má 32-bitový jednojadrový alebo dvojjadrový procesor Xtensa LX6. Vstupné napätie 5,5 V až 3,3 V. Počet digitálnych pinov 31, analógových vstupných pinov 7 a výstupné dva piny. Pracuje na frekvencii 240 MHz, pamäť SRAM (Static random access memory) je 4 MB a flash pamäť 8 MB [26].

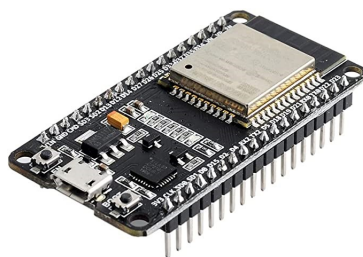
### **Mikrokontrolér ESP8266 Lua**

ESP8266 Lua je 32-bitový mikrokontrolér od firmy Espressif Systems, rovnako ako mikrokontrolér ESP32. ESP8266 Lua má 1 analógový a 11 digitálnych pinov a pracuje na frekvenciách 80 MHz/160 MHz a flash pamäť s veľkosťou 4 MB, tak ako to zobrazuje tabuľka 3.1. Taktiež obsahuje rozhrania ako napríklad UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter),  $I^2C$  (Internal Integrated Circuit),  $I^2S$  (Internet-IC Sound), PWM (Pulse Width Modulation), SPI (Serial Peripheral Interface) atď [27].

### **Mikrokontrolér ESP32**

Pre riadenie zariadenia na detekciu plynov bol vybraný mikrokontrolér ESP32 DEVKIT V1 DOIT, na základe najväčšieho počtu analógových pinov, zabudovaného Wi-Fi modulu, nízkej cene, dobrej dostupnosti a materiálom na spárovanie s Blynk serverom. Tento mikrokontrolér je od firmy Espressif Systems, ktorá bola založená v roku 2008 v Šanghaji a zameriava sa najmä na vývoj nízkoenergetických a výkonových Bluetooth a Wifi mikrokontrolérov. Mikrokontrolér ESP32, ktorý je na obrázku 3.1. Bol vybraný na základe väčšieho množstva analógových pinov, menšej spotreby a cene. ESP32 je novšou a zároveň výkonnejšou verziou mikrokontroléru, ktorý bol uvedený na trh v roku 2014 pod označením ESP8266, ktorý je taktiež porovnaný v tabuľke 3.1.

Mikrokontrolér ESP32 DEVKIT V1 DOIT je vybavený dvojjadrovým, 32-bitovým procesorom Tensilica Xtensa LX6, ktorý pracuje pri 80 MHz, 160 MHz alebo až pri 240 MHz. Taktiež je vybavený druhým procesorom s veľmi malou spotrebou energie, tiež označovaným ako ULP (Ultra Low Power) a rovnako tak pamäťou SRAM o veľkosti 520 kB. Rozhrania ESP32 sú napríklad pulzne šírková modulácia PWM,



Obr. 3.1: ESP32, prevzaté z [28]

$I^2C$ ,  $I^2S$ , SPI, UART, CAN2.0 (Controller Area Network). Mikrokontrolér ESP32 na rozdiel od ESP8266 je vybavený okrem Wi-Fi pripojenia, aj pripojením pomocou Bluetooth [29]. Tento mikrokontrolér podporuje uspávanie procesoru, čo sa využíva najmä pre úsporu energie, hlavne pri napájaní batériou.

## 3.2 Sensory plynov

Kapitola 1 bola venovaná detekcii dymu a kapitola 2 bola zameraná na senzory plynov z teoretického hľadiska. Táto podkapitola je zameraná na tri druhy senzorov, konkrétne MQ-X, GP v3 a TGS26XX. Tieto senzory môžu detekovať rozličné druhy plynov, záleží od konkrétneho senzora.

### MQ-X

Tento druh senzorov je najbežnejší a najpoužívanejší najmä kvôli jeho cene, dostupnosti a mnohým materiálom, ktoré sa venujú problematike zaoberajúcej sa senzormi MQ-X. Druh senzorov MQ-X je náročné používať v zariadeniach s batériovým napájaním, pretože väčšina senzorov z tejto rady majú spotrebu energie približne 150 mA, vid. tabuľka 3.2. MQ-X senzory detekujú plyny, napr. metán ( $CH_4$ ), bután ( $C_4H_{10}$ ), propán ( $C_3H_8$ ), dym, oxid uhoľnatý ( $CO$ ), vodík ( $H_2$ ) atď.



Obr. 3.2: MQ-X, prevzaté z [37]

MQ-X sú senzory typu MOS, kedy ich detekcia je založená na zmene odporu materiálu, keď sa dostane do kontaktu so snímaným plynom, ich podrobný princíp je popísaný v podkapitole 2.2. Väčšinou sa tento druh senzorov dodáva v podobe modulu, na ktorom je umiestnený senzor, integrovaný obvod, ktorého úlohou je analógový signál previesť na digitálny. Taktiež sa tam nachádza trimer, jeho otáčaním sa nastavuje citlivosť snímania senzora [12].

## GP v30

Iný druh senzorov, ktoré boli porovnávané, sú senzory s označením GP v30 (Gases PRO v30), ktorý je vidieť na obrázku 3.3. Senzory rady GP v30 fungujú na princípe pellistoru, ktorý je popísaný v kapitole 2.2 a môžu detekovať plyny ako napr. oxid uhoľnatý ( $CO$ ), oxid uhličitý ( $CO_2$ ), metán ( $CH_4$ ), kyslík ( $O_2$ ), oxid dusnatý ( $NO$ ), oxid siričitý ( $SO_2$ ), amoniak ( $NH_3$ ) atď.



Obr. 3.3: GP v30, prevzaté z [38]

Veľkou výhodou týchto senzorov je ich veľká presnosť a malá spotreba. Práve kvôli tomu, sú senzory typu GP v30 ľahko realizovateľné v obvodoch, ktoré sú napájané batériou. Taktiež ich výhodou je menšie vstupné napätie, oproti MQ-X a TGS26XX. Avšak ich veľkou nevýhodou, a zároveň dôvodom, kvôli ktorému neboli vybrané pre túto prácu je ich vysoká cena [38], vid. tabuľka 3.2.

## TGS26XX

Plynové senzory typu TGS (Taguchi Gas Sensor), vyrába japonská spoločnosť Figaro Engineering Inc., ktorá bola založená v roku 1968 a jej zakladateľom je Naoyoshi Taguchi [39]. Postupom času sa táto spoločnosť vyvíjala a rozširovala svoju ponuku senzorov plynov. V dnešnej dobe senzory typu TGS26XX sú známe po celom svete a môžu merať rozličné plyny napr. metán ( $CH_4$ ), bután ( $C_4H_{10}$ ), oxid uhoľnatý ( $CO$ ), amoniak ( $NH_3$ ), propán ( $C_3H_8$ ) atď.

TGS26XX sú senzory typu MOS, ktoré môžeme nájsť ako samostatný senzor, ako je vidieť na obrázku 3.4, alebo v podobe modulu, na ktorom sa nachádza senzor, trimer na nastavovanie citlivosti a integrovaný obvod, ktorého úlohou je previesť



Obr. 3.4: TGS26XX, prevzaté z [40]

analogové napätie na digitálne. Digitálny výstup modulu sa využíva vtedy, keď je potrebné zistiť, či meraný plyn presiahol nastavené parametre a nie je podstatné o aké množstvo sa jedná.

## Zhrnutie senzorov plynov

V tabuľke 3.2 vidíme, že senzory z rady TGS26XX majú najvyhovujúcejšie parametre pre zariadenie, keďže ich spotreba v porovnaní s cenou, ktorá je platná k 1.1.2022, je najoptimálnejšia. Druhy senzorov sa z hľadiska ich senzitivity a citlivosti nedajú objektívne porovnať, keďže každý senzor má rozdielne vlastnosti.

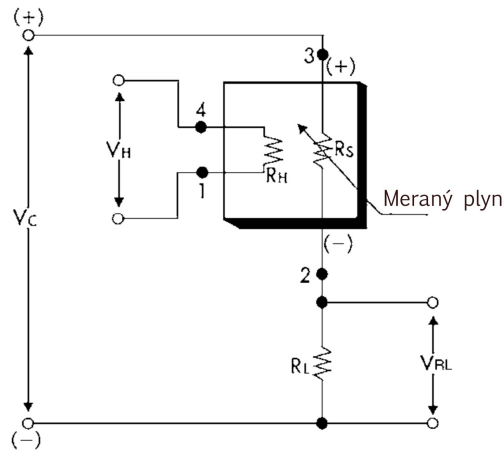
Tab. 3.2: Porovnanie senzorov MQ-X, GP v30 a TGS26XX

| Druh senzorov         | MQ-X      | GP v30    | TGS26XX   |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Napájacie napätie     | 5 V       | 3,3 V     | 5 V       |
| Spotreba              | 150 mA    | < 1 mA    | 60 mA     |
| Komunikačné rozhranie | Analógové | Analógové | Analógové |
| Cena                  | 60 Kč     | 2600 Kč   | 600 Kč    |

## Princíp funkčnosti senzorov TGS26XX

Princíp senzorov TGS26XX spočíva v deliči napätia. Pomocou napätia  $V_H$  sa vyhrieva odpor  $R_H$ , s ktorým sa porovnáva hodnota odporu  $R_S$ . Pri vniknutí meraného plynu k senzoru sa odpor  $R_S$  mení, čo zapríčiní zmenu výstupného napätia  $V_{RL}$ , ako je vidieť na obrázku 3.5. Vstupné napätie nesmie byť menšie ako 4,8 V alebo väčšie ako 5,2 V, v tomto prípade by namerané hodnoty neboli presne. Taktiež senzor ovplyvňuje teplota a vlhkosť ovzdušia, v ktorom sa senzor nachádza. Podľa technických informácií senzorov typu TGS26XX účinky teploty a vlhkosti sa dajú kompenzovať zabudovaním termistoru do obvodu. Taktiež by sa dal do obvodu pridať senzor (napr. DHT11), ktorý by mohol slúžiť na presnú kalibráciu. A to tak, že

namerané hodnoty zo senzoru DHT11 by prijímal mikrokontrolér, ktorý by hodnoty zaznamenával a na základe polynómov kalibroval senzor TGS26XX.



Obr. 3.5: Princíp funkčnosti TGS26XX, prevzaté a upravené z [40]

## Výpočet koncentrácie plynov

Na obrázku 3.6 je charakteristika citlivosti senzoru TGS2611. Je to logaritmická závislosť pomeru odporov  $R_S/R_0$  na koncentráciu plynov v jednotke *ppm*. V charakteristike je nemenná hodnota pomerov odporov iba pri čerstvom vzduchu v hodnote  $8,9 R_S/R_0$ . Každý druh senzoru, má túto hodnotu rozdielnu.

Po zmene koncentrácií plynov vo vzduchu sa zmení odpor  $R_S$  a tým aj napätie  $V_{RL}$ . Toto napätie zaznamená mikrokontrolér a pomocou vzťahu (3.1) vypočíta hodnotu odporu  $R_S$ .

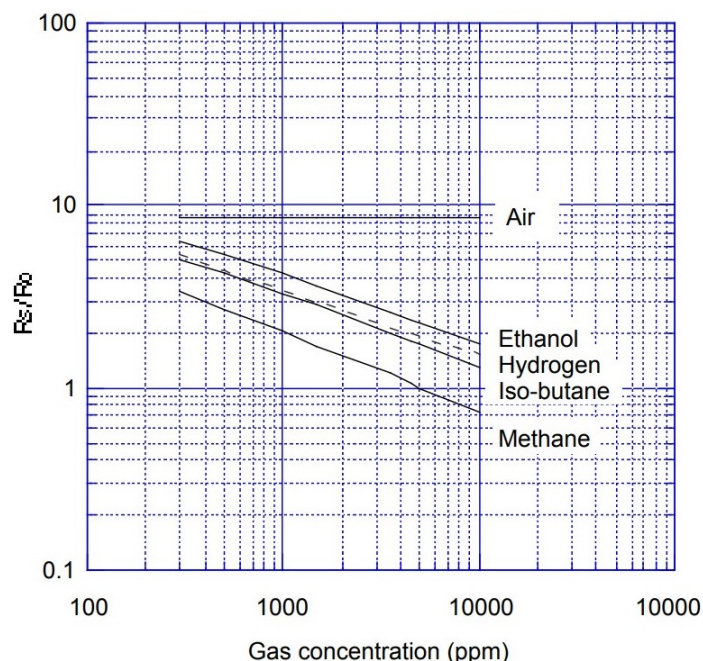
$$R_S = \frac{V_C - V_{RL}}{V_{RL}} \quad (3.1)$$

Z odporu  $R_S$  a hodnoty pomeru  $R_S/R_0$ , zisteného z charakteristiky citlivosti senzoru TGS2611, sa vypočíta hodnota odporu  $R_0$  podľa vzťahu (3.2).

$$R_0 = \frac{R_S}{8,9} \quad (3.2)$$

Jednoduchá kalibrácia sa odporúča vykonať po spustení zariadenia a to tak, že po určitú dobu je meraná a následne priemerovaná hodnota  $R_0$ .

Po uplynutí tejto doby mikrokontrolér zaznamená hodnotu napätia na senzore a pomocou vzťahu (3.1) sa napätie  $V_{RL}$  prepočíta na odpor  $R_S$ . Pomer odporov  $R_S/R_0$  sa vloží do vzťahu (3.3) na vypočítanie koncentrácie plynu.



Obr. 3.6: Charakteristika citlivosti senzoru TGS2611, prevzaté z [40]

$$Koncentr\u00e1cia = 10^{\frac{\log(\frac{R_S}{R_0}) - b}{m}} \quad (3.3)$$

Vo vzťahu (3.3) je potrebné dopočítať  $m$  a  $b$ , ktoré sa dopočítajú pomocou vzťahov (3.4) a (3.5). Neznáme  $y_0$ ,  $y_1$ ,  $x_0$ ,  $x_1$ ,  $x$  a  $y$  sú odčítané z charakteristiky citlivosti senzoru, z krivky požadovaného plynu.

$$m = \frac{\log(\frac{y_0}{y_1})}{\log(\frac{x_0}{x_1})} \quad (3.4)$$

$$b = \log(y) - m \cdot \log(x) \quad (3.5)$$

Po vyčítaní hodnôt z grafu, vypočítaním  $m$  a  $b$  vďaka vzťahu (3.3) dostaneme koncentráciu meraného plynu v jednotkách  $ppm$  [41].

### 3.3 Napájanie

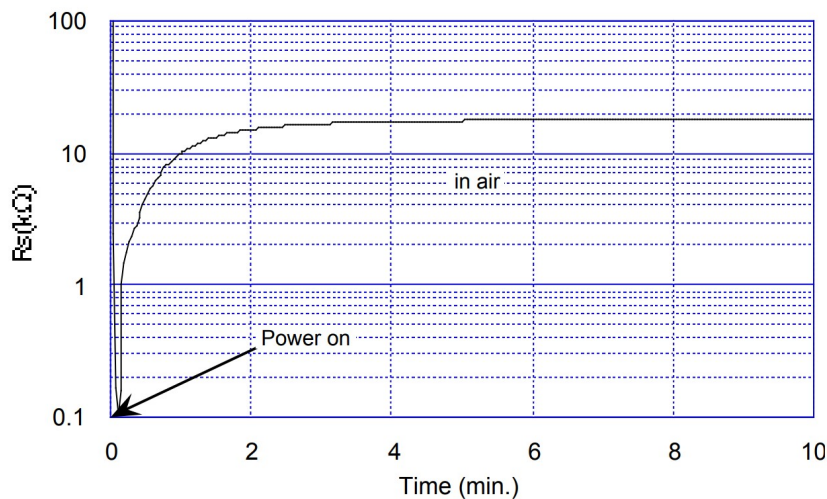
Táto podkapitola je zameraná najprv na prechodový jav (tzv. počiatková akcia) senzoru typu TGS26XX. Taktiež hrubý odhad celkovej spotreby zjednodušeného

a rozšíreného obvodu. V závere sú porovnané tri druhy batérií (*alkalické*, *Li-Pol* a *LiFePO<sub>4</sub>*) a výber jednej z nich.

Keďže zjednodušené zariadenie je napájané batériou, je potrebné dbať, aby jej výdrž bola čo najdlhšia, bez nutnosti ďalšieho dobitia. To sa docieli niekoľkými spôsobmi:

- výber senzorov s malou spotrebou
- uspávanie mikrokontroléru
- výber batérií s veľkou kapacitou
- uspávanie senzorov

Popis výberu senzorov s malou spotrebou je popísaný v podkapitole 3.2, možnosti uspávania mikrokontroléru sú v podkapitole 3.1 a výber batérií s veľkou kapacitou je v podkapitole 3.3. Pri uspávaní senzorov treba brať do úvahy tzv. počiatočnú akciu, pri ktorej odpor senzoru po privedení napätia najprv prudko vystúpi a následne prudko klesne, ako je vidieť na obrázku 3.7. Jeho ustálenie závisí od atmosférických podmienok a typu senzoru. Avšak k ustáleniu nedochádza skôr ako po 5 minútach.



Obr. 3.7: Počiatočná podmienka senzorov TGS2611, prevzaté z [40]

To znamená, že v prípade uspávania senzoru, by trvalo viac ako 5 minút, kým by sa senzor ustálil a bol by schopný merať presné hodnoty. Keďže hlavnou úlohou zariadení na detekciu plynov a požiarov v obytných priestoroch je ich spoľahlivé monitorovanie ovzdušia, tak nie je možné uspávať tieto senzory, pretože včasná signalizácia nebezpečenstva úniku je kľúčová.

## Hrubý výpočet výdrže akumulátoru

Pri výpočte výdrže batérie je potrebné poznať celkový potrebný výkon zariadenia za jednu hodinu. Keďže sa bude zariadenie uspať je potrebné tento výkon rozdeliť do dvoch častí a to do normálneho a tzv. spánkového režimu.

- **Normálny režim** je režim, v ktorom sa sčíta spotreba ( $I_{NORMAL}$ ) senzoru TGS26XX, mikrokontroléru ESP32, nabíjacieho/vybíjacieho obvodu MH-CD42 a AD prevodník ADS1115 podľa vzťahu (3.6).

$$I_{NORMAL} = TGS26XX + ESP32 + MHCD42 + ADS1115 \quad (3.6)$$

Po vypočítaní spotreby v *normálnom režime* je potrebné vypočítať čas ( $t_h$ ), ako dlho bude trvať tento stav za jednu hodinu (3600 sekúnd) podľa vzťahu (3.7). Čas v *normálnom režime* ( $t_{NORMAL}$ ) je čas, za ktorý sa namerá hodnota zo senzoru prostredníctvom mikrokontroléru ESP32 odošle na Blynk cloud. Toto sa bude vždy opakovať po uplynutí času v *spánkovom režime* ( $t_{SLEEP}$ ).

$$t_h = \frac{t_{NORMAL} \cdot t_{SLEEP}}{3600} \quad (3.7)$$

Pre získanie spotreby v *normálnom režime* za jednu hodinu ( $I_{hNORMAL}$ ) sa vynásobí sčítaný prúd ( $I_{NORMAL}$ ) s časom ( $t_h$ ) podľa vzťahu (3.8).

$$I_{hNORMAL} = I_{NORMAL} \cdot t_h \quad (3.8)$$

- **Spánkový režim** je režim, ktorý trvá počas tzv. uspania mikrokontroléru. To sa vykonáva kvôli zníženiu spotreby zariadenia. Výpočet spotreby v *spánkovom režime* za jednu hodinu sa vypočíta rovnako ako v *normálnom režime*, avšak spotreba mikrokontroléru ESP32 bude niekoľkonásobne menšia, keďže čas v *normálnom režime* je menší ako čas v *spánkovom režime*. To zapríčiní, že hodnota ( $I_{NORMAL}$ ), zo vzťahu (3.6) bude menšia v porovnaní s hodnotou v *normálnom režime*.

Na záver sa sčíta prúd za jednu hodinu ( $I_h$ ) v *normálnom* ( $I_{hNORMAL}$ ) a *spánkovom* ( $I_{hSLEEP}$ ) *režime* podľa vzťahu (3.9).

$$I_h = I_{hNORMAL} + I_{hSLEEP} \quad (3.9)$$

Pri počítaní výdrže batérie treba dbať na jej životnosť a do výpočtov zahrnúť fakt, že sa neodporúča vybíjať batériu pod 20% jej kapacity. Pre výpočet hodín výdrže

batérie ( $BAT_h$ ) sa vynásobí celková kapacita batérie ( $BAT_{capacity}$ ) s číslom 0,8 čo značí zvyšných 80 % kapacity batérie. Následne sa podelí prúdom za jednu hodinu ( $I_h$ ) podľa vzťahu (3.10).

$$BAT_h = \frac{BAT_{capacity} \cdot 0,8}{I_h} \quad (3.10)$$

Pri výpočte výdrže batérie bola spotreba ( $I_{NORMAL}$ ) v *normálnom režime* 111,65 mA. Zo vzťahu (3.7) bol vypočítaný čas  $t_h = 56$  minút (čas v *spánkovom režime* je 28 minút, po ňom nasledujú dve minúty v *normálnom režime*). Podľa vzťahu (3.8) bola vypočítaná spotreba v normálnom režime  $I_{hNORMAL} = 6252,4$  mA za jednu hodinu ( $t_h$ ). Rovnakým spôsobom sa postupoval aj pri výpočte spotreby v spánkovom režime a výsledný prúd za jednu hodinu bol  $I_h = 72,36$  mA. A na záver sa podľa vzťahu (3.10) vypočítala celková výdrž batérie ( $BAT_h$ ), ak budú použité 4 Li-Ion (Lítium-Iónové) batérie, každá s kapacitou 8800 mA, ktorá vyšla 389 hodín.

V prípade rozšíreného zariadenia, v ktorom je batéria použitá ako záložný zdroj, je potrebné aby dokázala napájať zariadenie v prípade výpadku elektrickej energie.

## Porovnanie akumulátorov

V zariadeniach na detekciu plynov a dymov v obytných priestoroch by sa dali použiť batérie rôznych typov. Či už najčastejšie používané alkalické, Li-Pol či Li-Ion batérie.

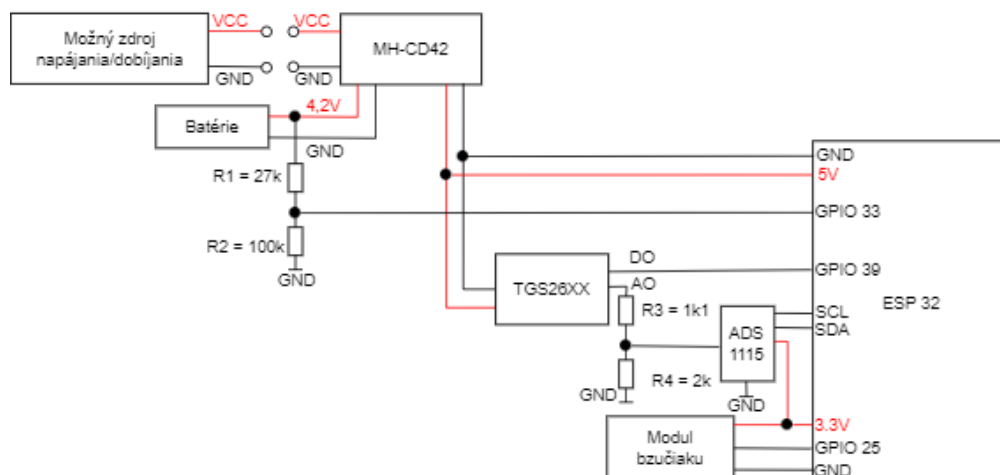
- **Alkalické**, taktiež známe ako tužkové batérie, sú kvôli dostupnosti najpoužívanejšie batérie. Napätie jednej batérie je 1,5 V a ich kapacita tiež nebýva najväčšia, takže v zariadení by bolo potrebné mnoho týchto batérií [43]. To sa kvôli obmedzenému priestoru nedá zrealizovať.
- **Li-Pol** (Lithium-Polymerové) batérie, ktorých výstupné napätie je 3,7 V sú v dnešnej dobe čoraz viac využívané. Výhodou týchto batérií je ich menšia hmotnosť v porovnaní s Li-Ion batériami. Taktiež je výhodou tvar kvádra, vďaka čomu, by bolo jednoduchšie ich umiestnenie do zariadenia na detekciu plynov a dymov v obytných priestoroch. Ich nevýhodou je, že pri nesprávnom použití alebo zlej kvalite, sa môžu vznietiť [43]. A pri väčších kapacitách batérií je ich cena väčšia ako cena Li-Ion batérií s rovnakou kapacitou.
- **Li-Ion** batérie sú batérie s výstupným napätím 3,7 V. Avšak pri plnom nabití môžu dosahovať až 4,2 V a pri vybíjaní sa môžu dostať až na hodnotu 3,2 V. Ich výhodou je dlhá životnosť (strata približne 0,1 % celkovej kapacity za mesiac), väčšie kapacity a nízka cena [44]. Keďže batéria obsahuje lítium, je väčšia pravdepodobnosť, že pri nesprávnom použití alebo kvalite sa môžu vznietiť.

## Zhrnutie

Pri napájaní oboch zariadení sú použité batérie typu Li-Ion. Pre dlhšiu výdrž ich používania v zariadení sa bude uspávať mikrokontrolér ESP32, avšak senzory typu TGS26XX sa uspávať nebudú. Čas výdrže nabitej batérie sa vypočíta zo vzťahov z podkapitoly 3.3.

## 3.4 Porovnanie základného a rozšíreného zariadenia

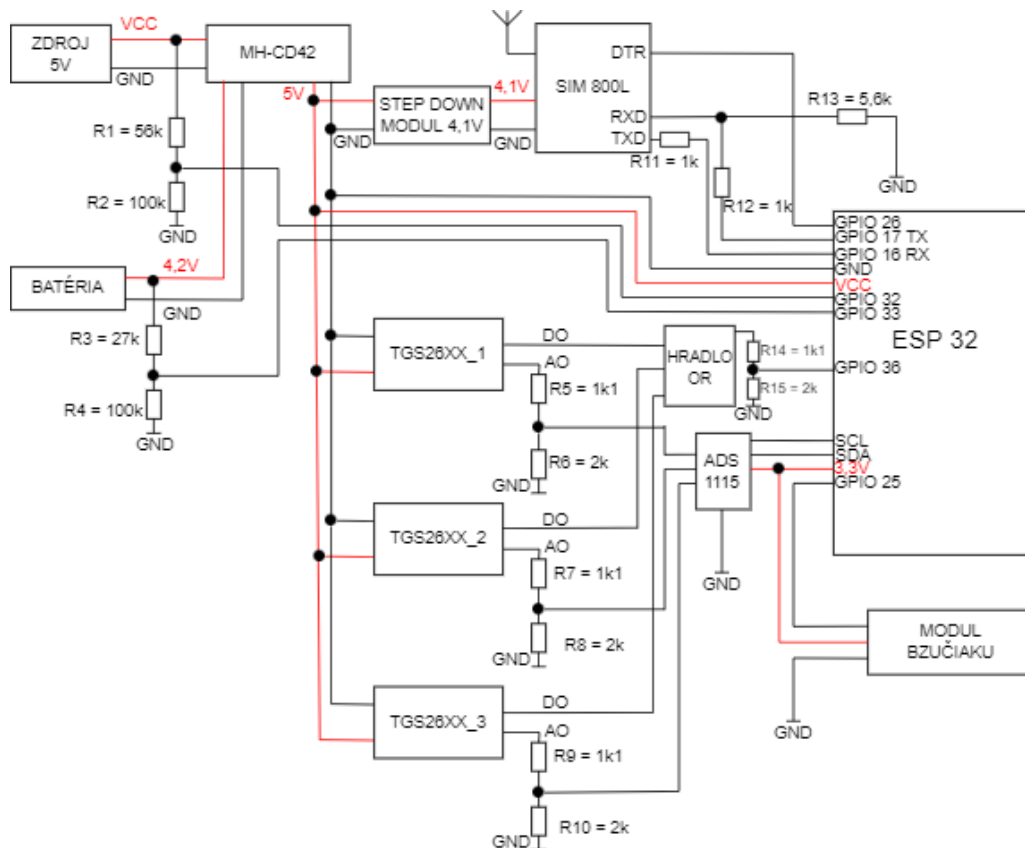
- **Základné zariadenie** sa skladá z mikrokontroléru ESP32, ktorého úlohou je riadiť celý obvod, merať a odosielať dáta na Blynk server prostredníctvom Wi-Fi, kde ich bude môcť užívateľ vidieť. V základnej verzii je možnosť umiestniť jeden senzor z rady TGS26XX, ktorý je k mikrokontroléru pripojený cez AD prevodník (ADS1115). Celý obvod je skrze nabíjací/vybíjací modul (MH-CD42) napájaný z batérií ako je vidieť na blokovej schéme 3.8. Bzučiak, ktorý je pripojený k mikrokontroléru ESP32, má za úlohu prostredníctvom zvukovej signalizácie oznámiť nadmerné množstvo meraného plynu.



Obr. 3.8: Bloková schéma základného zariadenia

- **Rozšírené zariadenie**, ktorej blokova schéma je na obrázku 3.9, pozostáva taktiež z mikrokontroléru ESP32, ktorý slúži na riadenie a komunikovanie pomocou IoT. V prípade nemožnosti pripojenia sa na Blynk server prostredníctvom Wi-Fi, zariadenie obsahuje aj modul SIM800L, ktorý môže odoslať namerané údaje pomocou GSM. Užívateľ sa bude môcť pomocou mobilného zariadenia, tabletu či počítaču pripojiť na Blynk server a sledovať namerané data. Do rozšíreného zariadenia sa dajú vložiť až 3 senzory z rady TGS26XX.

Taktiež obsahuje bzučiak, modul MH-CD42 a batérie, ktoré slúžia ako záložný zdroj pri výpadku elektrickej energie [23], [24].



Obr. 3.9: Bloková schéma rozšíreného zariadenia

### 3.5 Komunikačné systémy

Zariadenie v normálnom režime komunikuje prostredníctvom ESP32 cez Wi-Fi so serverom Blynk. Avšak pri výpadku elektrickej energie v obytných priestoroch sa namerané data nemajú ako odoslať na server, keďže sa predpokladá nefunkčnosť routru. Preto je vhodné mať záložnú komunikáciu pre odosielanie nameraných dát. Možnosti bezdrôtového odosielania dát zo zariadenia k užívateľovi je mnoho. V tejto podkapitole sú popísané najzákladnejšie tri záložné komunikácie, nad ktorými bolo uvažované v práci a to LoRa (Long Range), Sigfox a GSM.

## LoRa

Systém LoRa je určený na relatívne veľké vzdialenosti (5-30 km). Používa bezlicenčné pásmo (868 MHz) a techniku rozprestreného spektra (CSS). Má neobmedzený počet správ za deň a komunikácia je obojsmerná. Rýchlosť prenosu môže byť 0,25-50 kb/s ako je vidieť v tabuľke 3.3 a dĺžka správy je 255 bajtov. Taktiež sa využíva protokol LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) na komunikáciu medzi zariadeniami a aplikáciami na internete [30]. V roku 2020 v Českej Republike bolo pokrytie LoRaWAN okolo 70 % územia [31]. Výhodou je, že LoRaWAN má nulové licenčné poplatky, na rozdiel od SigFox, ktorá má licenčné poplatky v hodnote 25 Kč za mesiac [32].

## Sigfox

Systém Sigfox je určený na veľké vzdialenosti a to až (10-50 km), čo ukazuje aj tabuľka 3.3. V roku 2020 SigFox pokrýval 94 % územia v Českej Republike. Taktiež používa bezlicenčné pásmo (868 MHz) a rýchlosť prenosu je 100-600 b/s. Avšak užívateľ je obmedzený na 144 správ za deň s periódou 10 minút. Jedná sa však len o jednosmernú komunikáciu. Spätná komunikácia ide aktivovať len na vyžiadanie koncovým zariadeniam [31]. Šírka pásma je 100 Hz a dĺžka správy je maximálne 12 bajtov [30].

## GSM

Systém GSM je bunkový, 2 G plne digitálny systém s pásmom 890-960 MHz rozdeleným na tzv. *Uplink* (890-915 MHz) a tzv. *Downlink* (935-960 MHz). Šírka pásma je 200 kHz [33] a rýchlosť prenosu je menšia ako 20 kb/s vid. tabuľka 3.3. Jeho dostupnosť je všade tam, kde sa dá prijímať GSM signál (približne 99,98 % populácie).

Tab. 3.3: Porovnanie komunikačných systémov LoRa, Sigfox a GSM

| Technológia | Frekvencia  | Frekvenčné pásmo | Rýchlosť prenosu | Dosah prenosu |
|-------------|-------------|------------------|------------------|---------------|
| LoRa        | 868 MHz     | 125/250 kHz      | 0,25-50 kb/s     | 5-30 km       |
| Sigfox      | 868 MHz     | 100 Hz           | 100-600 b/s      | 10-50 km      |
| GSM         | 890-960 MHz | 200 kHz          | < 20 kb/s        | -             |

V tabuľke 3.3 sú komunikačné systémy, ktoré by sa dali použiť ako záložný zdroj komunikácie. Hlavnou myšlienkou zariadenia na detekciu úniku dymu a plynov je informovanie užívateľa o nameraných dátach, prípadne upozornenie o ich nadmernom

množstve. Z toho dôvodu by sa LoRa nedala použiť, keďže v prípade výpadku elektrickej energie, by nebolo možné pripojenie na server a odoslanie dát. Systém Sigfox by bol výhodnejší, avšak aj v dnešnej dobe jeho pokrytie nie je optimálne. V prípade obytného priestoru v meste, či na jeho okraji by bolo možné nadviazanie komunikácie, ale v dedinách či v prírode by sa to nemuselo podariť. Kvôli týmto faktorom bol vybraný ako záložný systém GSM. Konkrétne bol vybraný modul GSM800L.

## **GSM 800L**

Modul GSM800L dokáže odosielať a prijímať SMS (Short Message Service) a taktiež uskutočňovať alebo prijímať hovory. Napájacie napätie tohto modulu je 3,4-4,4 V, komunikácia s mikrokontrolérom je pomocou UART a modul podporuje prenosovú rýchlosť 1200-115200 b/s. Modul potrebuje externú anténu na pripojenie k sieti. Prúd potrebný počas uspania je 1 mA, pri odosielaní SMS to môže byť 80 mA, avšak počas prenosového impulzu môže modul GSM800L vyžadovať až 2 A.

### **3.6 Online systémy pre zber dát**

V dnešnej dobe existuje veľa možností diaľkového ovládania. Medzi najobľúbenejšie a najkomfortnejšie patrí ovládanie pomocou aplikácií v mobilnom telefóne, keďže mobilný telefón má každý pri sebe. Najznámejšie aplikácie sú Blynk2.0, Arduino IoT Cloud, ThingSpeak, Cayenne a ďalšie. Tieto aplikácie využívajú tzv. IoT. Vďaka tomu sa môžu bezdrôtovo spojiť s mikrokontrolérmi a senzormi a prijímať, alebo vymieňať si dáta.

Mnohé aplikácie boli navrhnuté na používanie jak prostredníctvom mobilných telefónov, tak aj pomocou platforiem na webových stránkach. Mnohé platformy okrem základných bezplatných plánov, majú k dispozícii aj platené plány, ktoré ponúkajú väčšie možnosti. Ďalej v tabuľke 3.4 boli porovnané tri najčastejšie používané platformy Blynk2.0, ThingSpeak a Arduino IoT Cloud, v bezplatnom móde.

Platforma ThingSpeak podporuje 4 zariadenia na rozdiel od Arduino IoT Cloud a Blynk2.0, ktoré ponúkajú dve zariadenia, ktoré k nim môžu byť pripojené. Výhodou Blynk2.0 je, že môže naraz až päť užívateľov sledovať jeden projekt, čo Arduino IoT Cloud nepodporuje a ThingSpeak podporuje len trochu. Táto vlastnosť môže poskytnúť lepšie možnosti pri sledovaní úniku plynu a dymu, keďže nie je viazané na jedno zariadenie, ktoré prína informácie. Pri vytváraní projektu, môže užívateľ použiť tzv. widgety, ktoré poskytujú informácie o zariadení. V prípade Arduino IoT Cloud je množstvo widgetov neobmedzené, avšak pri Blynk2.0 je množstvo obmedzené len na 30 widgetov [34], [35], [36].

Tab. 3.4: Porovnanie Arduino IoT Cloud, ThingSpeak a Blynk 2.0

| Platformy        | Arduino IoT Cloud | ThingSpeak | Blynk 2.0 |
|------------------|-------------------|------------|-----------|
| Počet zariadení  | 2                 | 4          | 2         |
| Počet užívateľov | -                 | 3          | 5         |
| Widgety          | Neobmedzené       | -          | Základné  |
| Android APP      | ANO               | NIE        | ANO       |
| iOS APP          | ANO               | NIE        | ANO       |
| História údajov  | 1 deň             | -          | 1 týždeň  |

Z tabuľky 3.4 je vidieť, že platforma ThingSpeak nepodporuje operačné systémy Android a iOS (iPhone Operating System), na rozdiel od Blynk2.0 a Arduino IoT Cloud. Pri výbere boli zohľadnené všetky tieto parametre a na ich základe bol vybraný Blynk2.0, keďže dĺžka histórie ukladania prijatých údajov je väčšia ako u Arduino IoT Cloud a taktiež podporuje operačný systém Android a iOS na rozdiel od ThingSpeak.

## 4 Výsledné prevedenie výrobkov

Táto kapitola je zameraná na vypracovanie zariadení z hľadiska SW (software) ako napríklad naprogramovania obslužných firmwarov, zber dát, odosielania a prijímania nameraných dát. Následne z hľadiska HW (hardware) ako napríklad plošných spojov, jej realizáciu a návrhu krabičky. V závere kapitoly sú vykonané merania koncentrácie metánu a oxidu uhoľnatého, taktiež pokles kapacity batérie na čase a koncentrácia oxidu uhoľnatého v uzavretej miestnosti.

### 4.1 Programovanie

Pri programovaní zariadení na detekciu úniku dymu a plynu je viacero možností, ako daný mikrokontrolér naprogramovať. Jedným zo základných a dobre prístupných možností je AVR template založený na jazyku C, ktorý ponúka veľa možností pre daný mikrokontrolér. Taktiež jednou z možností je jazyk Python, ktorý rovnako ako jazyk C ponúka širokú škálu možností.

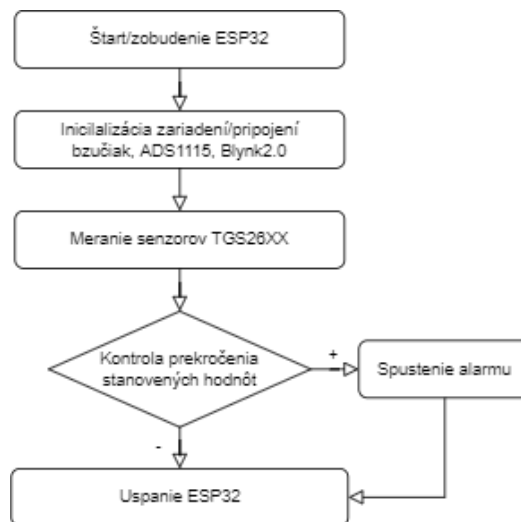
Znáмым vývojovým prostredím je Arduino IDE, ktoré využíva jazyk Wiring, ten je veľmi podobný jazyku C++. Pri programovaní oboch zariadení a kalibračného kódu, ktorý slúžil na prvotné skalibrovanie senzorov bolo použité programovacie prostredie Arduino IDE, pretože je možné doň implementovať množstvo už vytvorených knižníc. To malo za následok zjednodušenie programovania.

#### Vývojový diagram

Na grafické znázornenie kódu slúži vývojový diagram, ktorý je na obrázku 4.1. Je na ňom zjednodušene ukázané fungovanie programu pre základné zariadenie. V prvom kroku sa spustí program buď zapnutím zariadenia, alebo zobudením. Nasleduje inicializácia zariadení ako napríklad AD prevodníku ADS1115, bzučiaku alebo Blynku. Nasleduje meranie hodnoty senzoru TGS26XX a prepočet nameraných hodnôt na hodnoty koncentrácie v jednotkách ppm. V podmienke sa zistí, či je nameraná hodnota senzoru väčšia ako dovolená a ak nie je, tak sa namerané hodnoty pošlú na Blynk server. Ak áno, nameraná hodnota sa pošle na Blynk sever a popri tom sa spustí bzučiak na hlásenie poplachu. Dáta zo senzoru sa odošlú vždy po prebudení, alebo v momente ak keď sa hodnota dostane nad povolenú. Ak namerané hodnoty nepresahujú povolené, zariadenie sa uspí. Taktiež dôjde k uspaniu mikrokontroléru, keď namerané hodnoty presahovali povolené, ale ovzdušie sa zmenilo a už nepresahujú. Toto sa cyklicky opakuje každých 30 minút.

V prípade, že by sa zvýšila koncentrácia meraného plynu a mikrokontrolér by bol uspaný, je potrebné aby sa prebudil. ESP32 obsahuje tzv. external wake up pin,

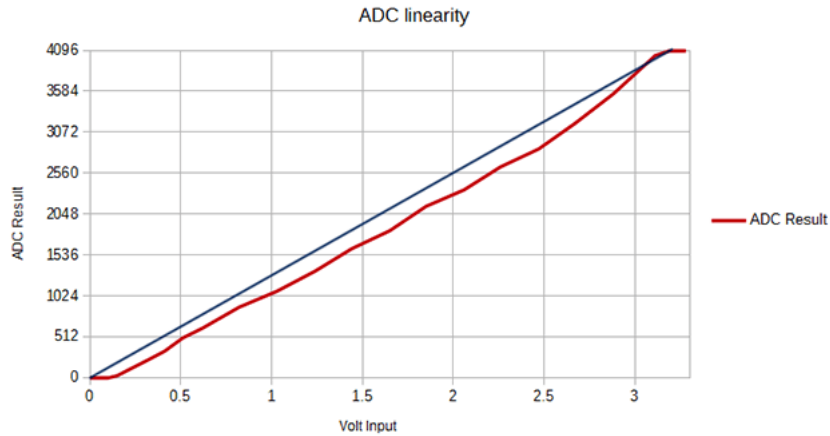
ktorý slúži na zobudenie MCU v prípade, že sa privedenie logická 0 alebo logická 1, závisí od nastavenia v kóde. Digitálny pin senzoru v prípade základného zariadenia je neustále pripojený k external wake up pinu (v prípade rozšíreného zariadenia sú digitálne piny senzorov pripojené k external wake up pinu cez logické hradlo OR). Na výstupe modulov senzoru typu TGS26XX je okrem analógového výstupu aj digitálny, ktorý zmení svoju hodnotu, ak sa zvýši koncentrácia meraného plynu (nastavuje sa pomocou trimru na module). Tento výstup je privedený práve na zmienený external wake up pin.



Obr. 4.1: Vývojový diagram zjednodušeného zariadenia

## 4.2 Analógovo digitálny prevodník

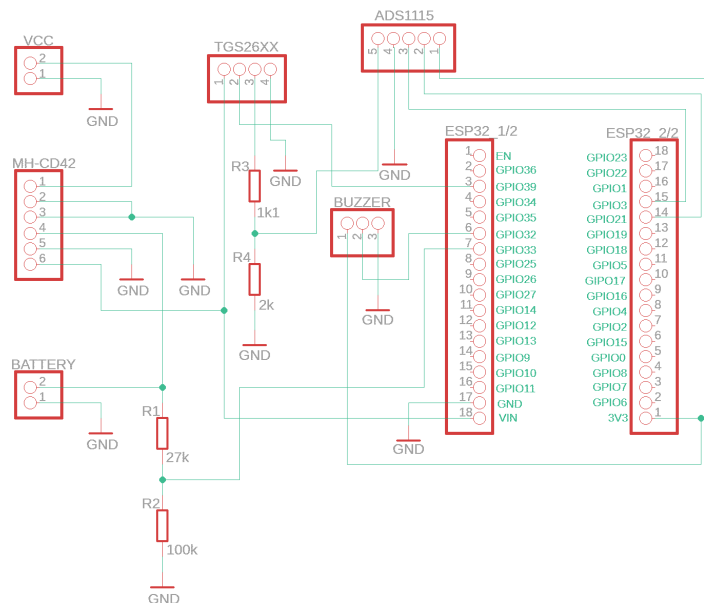
Mikrokontrolér ESP32 DEVKIT V1 DOIT obsahuje dva (jeden 8-kanálový a druhý 10-kanálový), 12-bitové integrované ADC (Analog-to-Digital Converter). Pri pripojení Wi-Fi, jeden AD prevodník nemusí fungovať správne, avšak ten druhý by mal, viď [45]. Preto bolo zo začiatku zamýšľané použitie ADC1, ktorý má 6 pinov. Pri pripojení senzorov na ADC, po ustálení, ukazovali hodnotu 0 V. Neskoršie preskúmanie ukázalo, že charakteristika interného AD prevodníku mikrokontroléru ESP32 nie je ani z ďaleka lineárna. Z grafu 4.2 je vidieť, že mikrokontrolér má problém rozlíšiť hodnotu od 0 V do 0,15 V a taktiež aj od 3,1 V do 3,3 V. Keďže plynové senzory typu TGS26XX sa ustália v okolí 0,1 V interný ADC ich teda nedokáže zaznamenať a meria 0 V. Z toho dôvodu bol pridaný externý ADC prevodník (ADS1115), ktorý je taktiež 12-bitový, 4-kanálový a funguje na zbernici  $I^2C$  [46].



Obr. 4.2: AD prevodník mikrokontroléra ESP32, prevzné z [46]

### 4.3 Schémy zapojenia

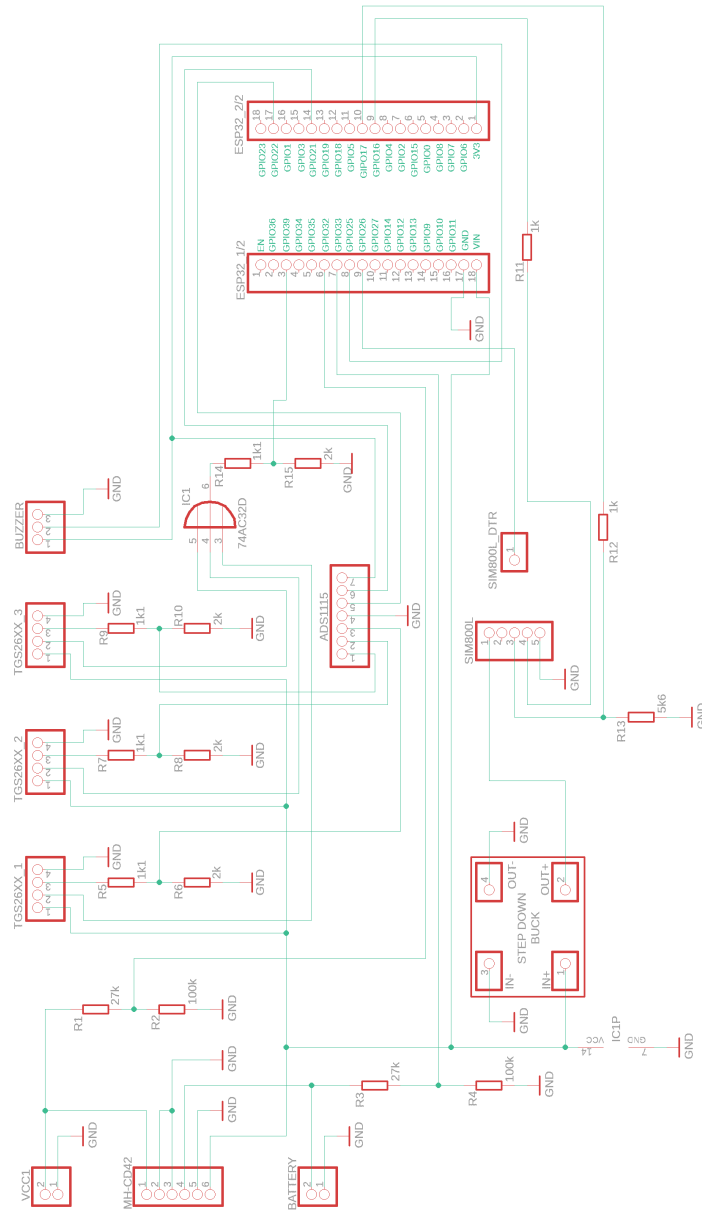
Návrh základnej schémy zapojenia, ktorá je na obrázku 4.3 a rozšírenej schémy zapojenia, ktorá je na obrázku 4.4 bol vytvorený v programe EAGLE.



Obr. 4.3: Schéma základného zapojenia

Pri návrhu sa dbalo na minimalizáciu, fyzickú odolnosť a praktickosť. Pripojenie jednotlivých senzorov, bzučiaku, MH-CD42 a mikrokontroléru na DPS je pomocou konektorov, ktorých výhodou je možnosť rýchlej výmeny. Základné zapojenie, má jednostrannú DPS, ktorá je na obrázku A.1. AD prevodník bol prispájkovaný na

DPS neskôr, keďže bol zistený problém s integrovaným AD prevodníkom v mikrokontroléry ESP32 až po vyleptaní DPS. Tento problém je objasnený v podkapitole 4.2. Avšak rozšírené zapojenie, má kvôli svojej zložitosti obojstrannú DPS s prekovmi. Jej vrchná strana je na obrázku A.2 a jej spodná strana na obrázku A.3.

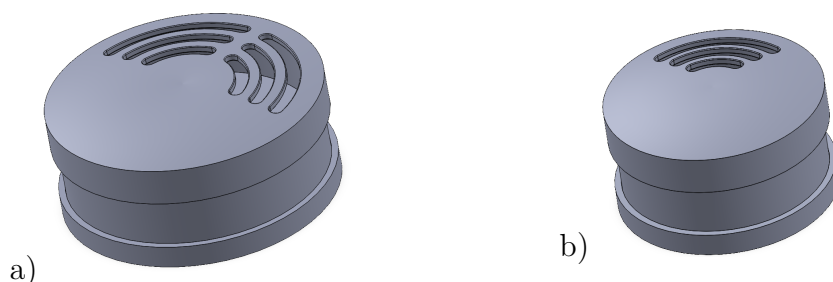


Obr. 4.4: Schéma rozšírené zapojenie

## 4.4 Krabička

Obe zariadenia majú DPS uloženú v krabičke, ktorá bola navrhnutá v programe SOLIDWORKS 2020. Návrh bol zameraný na praktickosť, eleganciu a minimalizáciu krabičky. Každé zariadenie má svoju krabičku. Rozšírené zariadenie má väčšie rozmery DPS, takže má väčšiu krabičku (viď obrázok 4.5a). Vytlačená krabička pre rozšírené zariadenie je na obrázku A.8. Základné zariadenie má menšiu krabičku, ktorá je vidieť na obrázku 4.5b). Vytlačená krabička na 3D tlačiarňi, pre základné zariadenie, je na obrázku A.10.

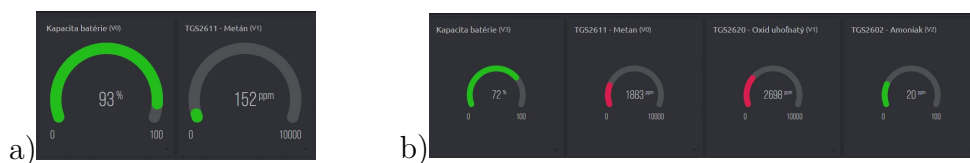
Ich výhodou je zloženie z troch častí čo zapríčini jednoduchú výmenu komponentov, batérií alebo samotnej DPS. V hornej časti sú otvory, ktorými vstupuje meraná koncentrácia plynov priamo k senzoru. Táto časť sa dá jednoduchým pootočením uvoľniť a tým sa otvorí vnútro krabičky. V strednej časti je z hornej strany uchytaná DPS a zo spodnej strany sú uchytané batérie. Posledná, spodná časť, má tri otvory ktoré slúžia na uchytenie na dané miesto. Taktiež nožičky na uchytenie prostrednej časti. Krabička sa jednoducho rozoberá, kvôli rýchlej kontrole alebo výmene senzorov či mikrokontroléru.



Obr. 4.5: a) Krabička pre rozšírené zapojenie b) Krabička pre základné zariadenie

## 4.5 Blynk2.0

Pri návrhu vizualizácií prostredníctvom widgetov na platforme Blynk2.0 bolo zamerané najmä na prehľadnosť, zrozumiteľnosť a jednoduchosť. Na obrázku 4.6 sú návrhy vizualizácie widgetov na internetovej stránke Blynk.



Obr. 4.6: a) Návrh widgetov pre základné zariadenie b) Návrh widgetov pre rozšírené zariadenie

Prvý widget ukazuje aktuálnu kapacitu batérie, zvyšné widgety ukazujú koncentráciu meraného plynu v jednotkách ppm. Pri prekročení dovolenej hodnoty meraného plynu, sa zmení farba widgetu a zobrazí sa notifikácia na mobilnom zariadení. Widgety sa dajú ľubovoľne premiestňovať, meniť, vymazať či pridávať. Vyzualizácia widgetov v mobilnej aplikácii Blynk je na obrázku A.11.

GSM800L modul sa dá pripojiť prostredníctvom konektorov na DPS rozšíreného zariadenia a po naprogramovaní obslužných firmverov by sa dal spojiť so základňovou stanicou (BTS). Avšak z dôvodu nedostatku času, program na GSM800L, nie je súčasťou obslužných firmverov rozšíreného zariadenia.

Hodnoty ppm, pri krátkodobom expozičnom limite, u niektorých plynov, ktoré môžu byť merané pomocou použitých senzorov TGS2611 a TGS2620 sa nachádzajú v tabuľke 4.1. Sú to minimálne hodnoty, pri ktorých zariadenie vyhlási poplach. Tieto hodnoty sa dajú nájsť na [17].

Tab. 4.1: Krátkodobé expozičné limity plynov

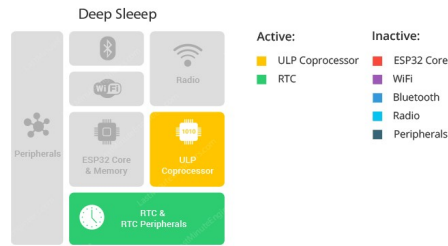
| Plyny         | ppm  | mg/m <sup>3</sup> |
|---------------|------|-------------------|
| Metán         | 754  | 1000              |
| Oxid uhoľnatý | 131  | 150               |
| Iso Butan     | 1957 | 4000              |
| Etanol        | 1596 | 3000              |

## 4.6 Výdrž akumulátoru

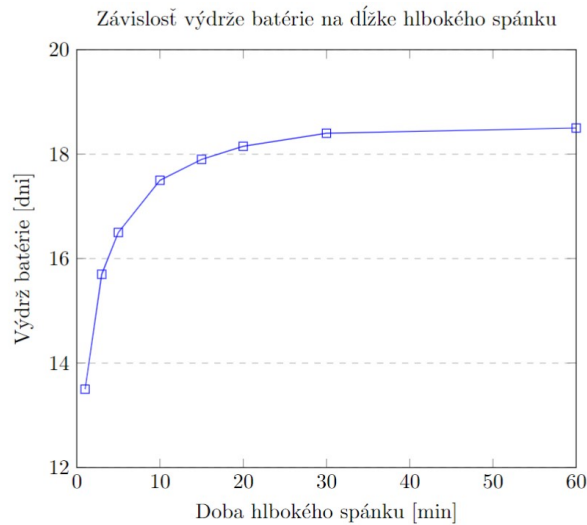
V podkapitole 3.3 bol výpočet hrubého odhadu výdrže akumulátoru. Táto výdrž sa dá zvýšiť tak, že sa mikrokontroléru predĺži čas v spánkovom režime. Vtedy mikrokontrolér uspí časti, ktoré nepotrebuje, ako napríklad Wi-Fi, CPU, väčšina pamäte RAM a všetky digitálne periférie. Zostane zapnuté iba RTC radič, RTC periférie a RTC pamäť [47], viď obrázok 4.7. Odhad výdrže akumulátoru pre rôzny čas MCU v hlbokom spánku je na obrázku 4.8. Pri tomto odhade bol predpokladaný čas v aktívnom režime 60 sekúnd a spotreba v tomto režime 111,56 mA a spotreba v hlbokom spánku 62,56 mA.

Z grafu 4.8 je vidieť, že pri vyšších hodnotách doby hlbokého spánku je zmena výdrže akumulátoru takmer nebadateľná. Z toho dôvodu bol čas v hlbokom spánku stanovený na hodnotu v okolí 30 minút.

Taktiež bola zmeraná výdrž *jedného* akumulátoru (pre urýchlenie merania), ktorého kapacita bola 8800 mA. Meranie bolo prevedené štyrikrát, viď obrázok 4.9, kedy pri prvom meraní boli zapojené 3 senzory k trvalému napájaniu a mikrokontrolér sa neuspával. Je vidieť, že táto závislosť je najstrmšia a doba vybitia je menšia



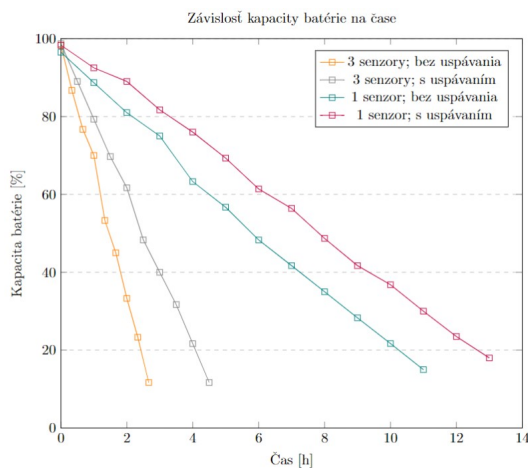
Obr. 4.7: Mikrokontrolér ESP32 pri hlbokom spánku, prevzaté a upravené z [47]



Obr. 4.8: Závislosť výdrže akumulátora na dĺžke hlbokého spánku

ako 3 hodiny. Pri druhom meraní bol mikrokontrolér uspávaný na 28 minút a následne sa na dve minúty zobudil. V predposlednom meraní bol použitý iba jeden senzor, ktorý bol trvalo napájaný z akumulátora. Taktiež bol k akumulátoru pripojený mikrokontrolér ESP32 ktorý sa neuspával. V poslednom meraní Bol znovu použitý iba jeden senzor, ale teraz sa uspával MCU. Z charakteristík je patrné, že výdrž batérie závisí najmä na počte senzorov (spotreba jedného senzoru je  $56\text{ mA} \pm 6\text{ mA}$ ) a až potom na uspávaní MCU.

Z grafu 4.9 je vidieť, že namerané charakteristiky sú takmer lineárne a výdrž akumulátora pri troch senzoch bez uspávania MCU je až päť krát menšia ako s jedným senzorom a s uspávaním MCU.

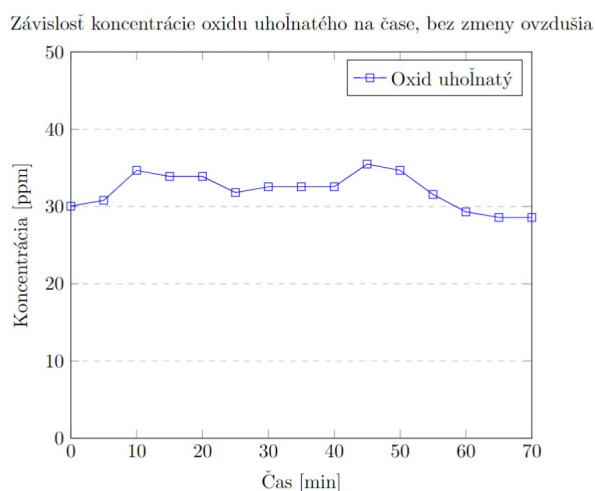


Obr. 4.9: Závislosť kapacity batérie na čase

## 4.7 Meranie koncentrácie plynu

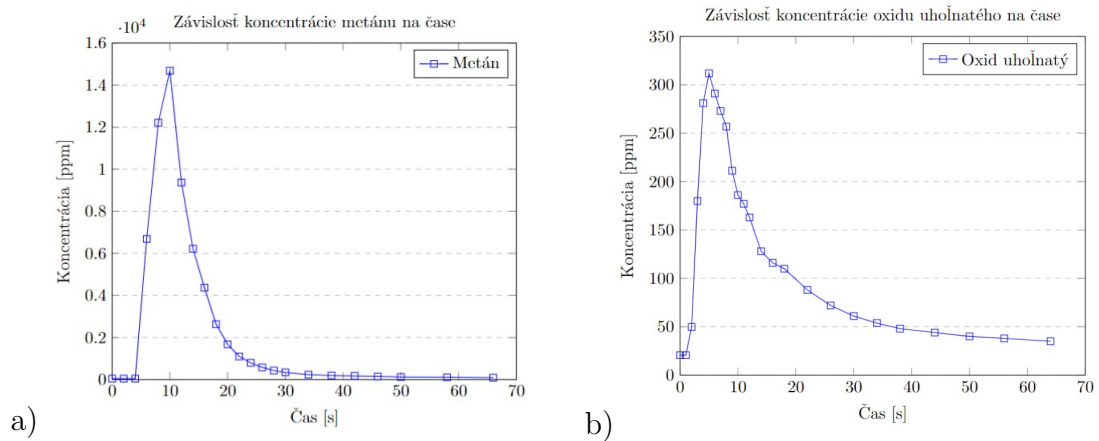
Pred meraním koncentrácie plynov bolo potrebné skalibrovať senzory a to tak, že sa na čistom vzduchu meralo ich napätie po dlhšiu dobu a následne sa prepočítalo na pomer  $RS/R0$ . Po skalibrovaní sa hodnota  $RS/R0$  na čistom vzduchu vložila do kódu na výpočet ppm, ktoré sa vypočítalo podľa vzťahu (3.3), viď podkapitola 3.2.

Na obrázku 4.10 je meranie oxidu uhoľnatého v miestnosti o rozmere  $25 m^3$ . Počas merania bola miestnosť bez prístupu čerstvého vzduchu a nachádzala sa v nej jedna osoba. Na začiatku sa koncentrácia CO zvyšovala (aj s drobnými pokleskami) až po hodnotu 35,5 ppm, ktorú dosiahla po 45 minútach. Po tomto čase bolo v miestnosti otvorené okno, čo zapríčinilo pokles koncentrácie CO.



Obr. 4.10: Závislosť koncentrácie oxidu uhoľnatého na čase, bez zmeny ovzdušia

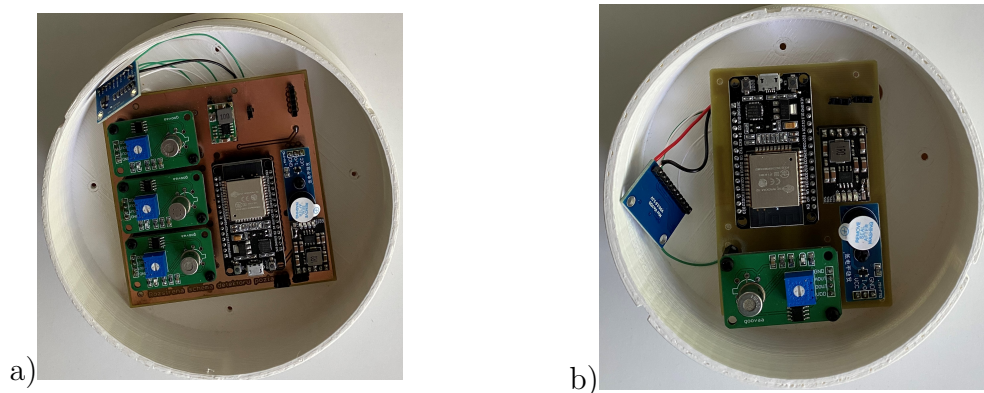
Pri meraní koncentrácie metánu vo vzduchu, so senzorom TGS2611, je z obrázku 4.11a) vidieť, že senzor okamžite reagoval na zvyšujúcu sa koncentráciu. Po ukončení zvyšovania koncentrácie metánu pomocou spreja, koncentrácia začala klesať, až po viac ako 65 sekundách sa vrátila na pôvodnú hodnotu. V prípade merania koncentrácie oxidu uhoľnatého, pomocou senzoru TGS2620, je z obrázku 4.11b) taktiež vidieť, že senzor hneď reagoval na rýchli nárast oxidu uhoľnatého. Po ukončení zvyšovania koncentrácie CO, sa meraná hodnota koncentrácie pomaly znižovala a až po viac ako 60 sekundách sa vrátila na pôvodnú hodnotu.



Obr. 4.11: a) Meranie koncentrácie metánu b) Meranie koncentrácie oxidu uhoľnatého

## 4.8 Výsledné prevedenie zariadení

Výsledné osadenie súčiastok, senzorov, mikrokontroléra a komponentov do DPS, je na obrázku 4.12. Rozšírené zariadenie je na obrázku 4.12a) a základné zariadenie je na obrázku 4.12b).



Obr. 4.12: a) Výsledné rozšírené zariadenie b) Výsledné základné zariadenie

## Záver

Výsledkom bakalárskej práce sú dva výrobky, ktoré dokážu detekovať, odhaliť a upozorniť na únik meraného plynu či dymu a tým predísť možnému poškodeniu na zdravý či majetku užívateľa.

Prvý výrobok, v práci označovaný ako základné zariadenie, bol navrhnutý na napájanie zo štyroch Li-Ion batérií. Obsahuje jeden senzor typu TGS26XX, ktorý dokáže detekovať meraný plyn a namerané hodnoty prijíma mikrokontrolér. Na základe najvyhovujúcejších parametrov bol vybraný MCU ESP32, ktorý tieto hodnoty spracováva a prepočítava na koncentráciu plynov v jednotkách ppm. Taktiež meria stav vybitia akumulátoru, ktorý MCU prepočítava na percentá. Zariadenie obsahuje nabíjací/vybíjací obvod MH-CD42, externý AD prevodník ADS1115 a bzučiak na zvukovú signalizáciu prekročenia koncentrácie meraného plynu. Pre zvýšenie výdrže batérie sa mikrokontrolér uspáva. Namerané hodnoty sa cez mikrokontrolér odosielajú prostredníctvom Wi-Fi na Blynk server. V Blynk aplikácií, alebo na webovej stránke sa dá sledovať nameraná koncentrácia plynu/plynov a kapacita batérie. Ak namerané hodnoty koncentrácie plynov, prekročili povolené hodnoty, aplikácia v mobilnom zariadení pošle notifikáciu.

Druhý výrobok je napájaný externým 5 V zdrojom a obsahuje 2 Li-Ion batérie, ktoré slúžia ako záložný zdroj pri výpadku elektrickej energie. Rozšírené zariadenie obsahuje až 3 senzory typu TGS26XX, ktoré detekujú meraný plyn. Rovnako ako základné zariadenie, aj rozšírené zariadenie obsahuje MH-CD42, ADS1115 a bzučiak. Toto zariadenie má možnosť pripojiť GSM modul (GSM800L), ktorý môže slúžiť ako záložná komunikácia v prípade výpadku Wi-Fi.

Pre obe zariadenia boli navrhnuté DPS v programe EAGLE a osadené DPS sú uložené v krabičkách. Tieto krabičky boli navrhnuté v programe SOLIDWORKS 2020 a vytvorené v 3D tlačiarni.

Výhodou oboch zariadení je možnosť pripojiť akýkoľvek senzor z rady TGS26XX a tým si vybrať aký plyn bude meraný. Ďalšou výhodou je meranie stavu batérie, aby užívateľ vedel včas dobiť batérie a tým predísť možnému ohrozeniu. Rovnako tak je výhodou bezdrôtové odosielanie dát pomocou IoT, keďže si namerané hodnoty môže užívateľ pozrieť odkiaľkoľvek zo svojho mobilného zariadenie či webovej stránky.

# Literatura

- [1] Kurák, O.: *Inteligentní systém pro detekci nežádoucích plynů a kouře v interiéru. 2018.*: [online]. [cit. 27.12.2021]. Dostupné z URL: <[https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=181446](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=181446)>.
- [2] Bc. Tóth, L.: *Otrava oxidom uhličitým a uhoľnatým, ako sa prejavuje a aké má riziká?.*: [www.zdravotenka.sk](http://www.zdravotenka.sk) [online]. [cit. 28.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://zdravoteka.sk/magazin/otrava-oxidom-uhlicitym-oxidom-uholnatym/>>.
- [3] *Smoke detector*: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org) [online]. 2021. [cit. 28.12.2021]. Dostupné z URL: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Smoke\\_detector](https://en.wikipedia.org/wiki/Smoke_detector)>.
- [4] *Brain, M.: How Smoke Detectors Work*: [www.plyn.cz](http://www.plyn.cz) [online]. [cit. 29.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://home.howstuffworks.com/home-improvement/household-safety/smoke.htm>>.
- [5] *Smoke detector*: [www.wikiwand.com](http://www.wikiwand.com) [online]. [cit. 29.12.2021]. Dostupné z URL: <[https://www.wikiwand.com/en/Smoke\\_detector](https://www.wikiwand.com/en/Smoke_detector)>.
- [6] *Bezpečnostní inženýrství - Elektronická požární signalizace - Stabilní hasicí zařízení* -: [uchi-old.vscht.cz](http://uchi-old.vscht.cz) [online]. [cit. 29.12.2021]. Dostupné z URL: <[http://uchi-old.vscht.cz/uploads/pedagogika/bezpecnostni\\_inzenyrstvi/09.BI.EPS.SHZ.pdf](http://uchi-old.vscht.cz/uploads/pedagogika/bezpecnostni_inzenyrstvi/09.BI.EPS.SHZ.pdf)>.
- [7] *Vyhláška č. 726/2002 Z. z.*: [www.epi.sk](http://www.epi.sk) [online]. [cit. 19.11.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.epi.sk/zz/2002-726>>.
- [8] *Otrava plynem: jak vaše tělo reaguje*: [www.plyn.cz](http://www.plyn.cz) [online]. 2020. [cit. 29.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.plyn.cz/otrava-plynem-jak-vase-telo-reaguje>>.
- [9] *Gas detector*: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org) [online]. 2021. [cit. 10.10.2021]. Dostupné z URL: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Gas\\_detector](https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_detector)>.
- [10] *Gas-related risks: flammability, toxicity and asphyxiation*: [www.be-atex.com](http://www.be-atex.com) [online]. [cit. 24.10.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.be-atex.com/en/gas-related-risks-flammability-toxicity-and-asphyxiation>>.
- [11] *Permissible exposure limits*: [www.safetyandhealthmagazine.com](http://www.safetyandhealthmagazine.com) [online]. 2015 [cit. 26.10.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.safetyandhealthmagazine.com/articles/11744-permissible-exposure-limits>>.

- [12] *MQ Series Gas Sensor*: [www.robu.in](http://www.robu.in) [online]. 2020. [cit. 15.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://robu.in/mq-series-gas-sensor/>>.
- [13] *Hrdina, J.: Design měřicí hlavice pro měření plynu. 2013.*: [online]. [cit. 28.10.2021]. Dostupné z URL: <[https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/25480/hrdina\\_2013\\_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/25480/hrdina_2013_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>.
- [14] *Detekce a analýza plynů, Měřicí principy*: [www.chromservis.eu](http://www.chromservis.eu) [online]. [cit. 23.10.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.chromservis.eu/g/gas-principles?lang=SK>>.
- [15] *Detekce plynů bezpečnostní a přístrojová technika*: [www.people.tuke.sk](http://www.people.tuke.sk) [online]. [cit. 5.11.2021]. Dostupné z URL: <<http://people.tuke.sk/jan.kizek/bezpe/Detekcia%20plynov.pdf>>.
- [16] *Šedivý, M.: Polovodičové senzory plynů pro detekci organických par a par. 2015.*: [online]. [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <[https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=105621](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=105621)>.
- [17] *Detekční systémy*: [www.chromservis.eu](http://www.chromservis.eu) [online]. [cit. 23.10.2021]. Dostupné z URL: <[https://www.chromservis.eu/media/0/05\\_pdf/Catalogues/chs-detekce2018\\_web.pdf](https://www.chromservis.eu/media/0/05_pdf/Catalogues/chs-detekce2018_web.pdf)>.
- [18] *What is Photoionization Detector (PID)?*: [instrumentationtools.com](http://instrumentationtools.com) [online]. [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://instrumentationtools.com/photoionization-detector/>>.
- [19] *Thermal conductivity detector*: [hiq.linde-gas.com](http://hiq.linde-gas.com) [online]. [cit. 10.11.2021]. Dostupné z URL: <[http://hiq.linde-gas.com/en/analytical\\_methods/gas\\_chromatography/thermal\\_conductivity\\_detector.html](http://hiq.linde-gas.com/en/analytical_methods/gas_chromatography/thermal_conductivity_detector.html)>.
- [20] *Fixed Gas Detectors*: [www.be-atex.com](http://www.be-atex.com) [online]. [cit. 15.11.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.be-atex.com/en/gas-detectors/fixed-gas-detectors>>.
- [21] *Portable Gas Detectors*: [www.be-atex.com](http://www.be-atex.com) [online]. [cit. 15.11.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.be-atex.com/en/gas-detectors/portable-gas-detectors>>.
- [22] *Detekce a analýza plynů, Měřicí principy*: [www.chromservis.eu](http://www.chromservis.eu) [online]. [cit. 23.10.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.chromservis.eu/g/gas-principles?lang=SK>>.

- [23] *Hlásiče požáru a detekce nebezpečných plynů*: [www.cahd.cz](http://www.cahd.cz) [online]. [cit. 15.11.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.hzscr.cz/soubor/hlasice-pozaru-a-detekce-plynu.aspx>>.
- [24] *ČSN EN 50244 ed. 2 (378371)*: [www.shop.normy.biz](http://www.shop.normy.biz) [online]. [cit. 19.11.2021]. Dostupné z URL: <<https://shop.normy.biz/detail/501316>>.
- [25] *Raspberry Pi 3 Model B 64-bit 1GB RAM*: [www.rpishop.cz](http://www.rpishop.cz) [online]. [cit. 14.5.2022]. Dostupné z URL: <<https://rpishop.cz/raspberry-pi-3b/283-raspberry-pi-3-model-b-64-bit-5060214370028.html#attachments>>.
- [26] *Pycom WiPy 3.0*: [olddocs.zerynth.com](http://olddocs.zerynth.com) [online]. [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <[https://olddocs.zerynth.com/r2.2.0/official/board.zerynth.pycom\\_wipy\\_v3/docs/index.html](https://olddocs.zerynth.com/r2.2.0/official/board.zerynth.pycom_wipy_v3/docs/index.html)>.
- [27] *NodeMCU ESP8266 Detailed Review*: [www.make-it.ca](http://www.make-it.ca) [online]. [cit. 30.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.make-it.ca/nodemcu-details-specifications/>>.
- [28] *DOIT DEVIT V1 ESP32-WROOM-32 Development Board ESP32 ESP-32S WiFi+Bluetooth-Compatible Dev Module CP2102 for Arduino*: [www.amazon.com](http://www.amazon.com) [online]. [cit. 1.1.2022]. Dostupné z URL: <<https://www.amazon.com/ESP32-WROOM-32-Development-ESP-32S-Bluetooth-Arduino/dp/B084KWNMM4>>.
- [29] *Kejřík, J.: Inteligentní líheň drůbeže*: [www.vut.cz](http://www.vut.cz) [online]. 2020. [cit. 3.11.2021]. Dostupné z URL: <[https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=209706](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=209706)>.
- [30] *Polák, L.: Perspektivní systémy (5G) Vývojové trendy v mobilních komunikacích*: [www.moodle.vut.cz](http://www.moodle.vut.cz) [online]. [cit. 22.4.2022]. Dostupné z URL: <[https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/414482/mod\\_resource/content/14/BPC\\_MKO\\_20\\_21\\_P11.pdf](https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/414482/mod_resource/content/14/BPC_MKO_20_21_P11.pdf)>.
- [31] *Přehled sítí pro IoT v Čechách*: [www.eshop.sectron.cz](http://www.eshop.sectron.cz) [online]. [cit. 14.5.2022]. Dostupné z URL: <<https://eshop.sectron.cz/cs/prehled-siti-pro-iot-v-cechach/a-6398/>>.
- [32] *Obrtáč, T.: NÁVRH KOMPLEXNÍHO SENZORU PRO LORA SÍŤ*: [www.vut.cz](http://www.vut.cz) [online]. [cit. 14.5.2022]. Dostupné z URL: <[https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=150111](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=150111)>.

- [33] *Polák, L.: Mobilní buňkový systém GSM – I. část*: [www.moodle.vut.cz](http://www.moodle.vut.cz) [online]. [cit. 22.4.2022]. Dostupné z URL: <[https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/407099/mod\\_resource/content/7/BPC\\_MK0\\_20\\_21\\_P05.pdf](https://moodle.vut.cz/pluginfile.php/407099/mod_resource/content/7/BPC_MK0_20_21_P05.pdf)>.
- [34] *Simple pricing that fits your scale*: [www.blynk.io](http://www.blynk.io) [online]. [20.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://blynk.io/pricing#plan-comparison>>
- [35] *Develop your Arduino code in the cloud and build smart IoT project*: [www.store.arduino.cc](http://www.store.arduino.cc) [online]. [20.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://store.arduino.cc/digital/create>>
- [36] *Standard License*: [www.thingspeak.com](http://www.thingspeak.com) [online]. [23.5.2022]. Dostupné z URL: <[https://thingspeak.com/prices/thingspeak\\_standard](https://thingspeak.com/prices/thingspeak_standard)>
- [37] *MQ Gas Sensor Range – Gas and Pollution Detectors*: [www.proto-pic.co.uk](http://www.proto-pic.co.uk) [online]. [cit. 22.4.2022]. Dostupné z URL: <<https://proto-pic.co.uk/product/mq-gas-sensor-range/>>
- [38] *Sensors*: [www.development.libelium.com](http://www.development.libelium.com) [online]. [cit. 22.4.2022]. Dostupné z URL: <<https://store.arduino.cc/digital/create>>
- [39] *History of FigaroEngineering Inc.*: [online]. [cit. 16.12.2021]. Dostupné z URL: <[https://www-figaro-co-jp.translate.goog/en/company/history.html?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=cs&\\_x\\_tr\\_hl=sk&\\_x\\_tr\\_pto=op,sc](https://www-figaro-co-jp.translate.goog/en/company/history.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=cs&_x_tr_hl=sk&_x_tr_pto=op,sc)>
- [40] *TGS 2600 - for the detection of Air Contaminants*: [www.figaro.co.jp](http://www.figaro.co.jp) [online]. 2013. [cit. 18.12.2021]. Dostupné z URL: <[https://www.figaro.co.jp/en/product/docs/tgs2600\\_product\\_information\\_rev02.pdf](https://www.figaro.co.jp/en/product/docs/tgs2600_product_information_rev02.pdf)>
- [41] *Interfacing MQ-2 Gas Sensor with evive*: [www.thestempedia.com](http://www.thestempedia.com) [online]. [cit. 23.4.2022]. Dostupné z URL: <<https://thestempedia.com/tutorials/interfacing-mq-2-gas-sensor-with-evive/>>
- [42] *Jechort, P.: Máte výpadek elektriny? Podívejte se, kde jsou aktuálně odstávky*: [www.skutecnost.cz](http://www.skutecnost.cz) [online]. 2021 [cit. 23.4.2022]. Dostupné z URL: <[https://www.skutecnost.cz/rubriky/bydleni/mate-vypadek-elektriny-podivejte-se-kde-jsou-aktualne-odstavky\\_853.html](https://www.skutecnost.cz/rubriky/bydleni/mate-vypadek-elektriny-podivejte-se-kde-jsou-aktualne-odstavky_853.html)>
- [43] *RadioShuttle Network Protocol*: [online]. [cit. 20.12.2021]. Dostupné z URL: <<https://www.radioshuttle.de/en/media-en/tech-infos-en/battery-powered-esp32/>>

- [44] *Kanálik, T.: Typy batérií: Aký je rozdiel medzi Li-Ion a Li-Pol akumulátormi?:* /www.mojandroid.sk [online]. 2020. [cit. 24.4.2022]. Dostupné z URL: <<https://www.mojandroid.sk/li-ion-li-pol-baterie/>>.
- [45] *ESP32 Pinout Reference: Which GPIO pins should you use?:* /www.randomnerdtutorials.com [online]. [cit. 24.4.2022]. Dostupné z URL: <<https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios/>>.
- [46] *ESP32 ADC Tutorial – Read Analog Voltage in Arduino:* /www.deepbluembedded.com [online]. 2021. [cit. 24.4.2022]. Dostupné z URL: <<https://deepbluembedded.com/esp32-adc-tutorial-read-analog-voltage-arduino/>>.
- [47] *Insight Into ESP32 Sleep Modes Their Power Consumption:* /www.lastminuteengineers.com [online]. [cit. 24.5.2022]. Dostupné z URL: <<https://lastminuteengineers.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/>>.

## Seznam symbolů a zkratek

|             |                                  |
|-------------|----------------------------------|
| <b>LED</b>  | Light-emitting Diode             |
| <b>ppm</b>  | part per milion                  |
| <b>ppb</b>  | part per bilion                  |
| <b>LEL</b>  | Lower Explosive Limit            |
| <b>UEL</b>  | Upper Explosive Limit            |
| $CH_4$      | Metán                            |
| $C_4H_{10}$ | Bután                            |
| $C_3H_8$    | Propán                           |
| $CO$        | Oxid uhoľnatý                    |
| $H$         | Vodík                            |
| $O_2$       | Kyslík                           |
| $NO$        | Oxid dusnatý                     |
| $SO_2$      | Oxid siričitý                    |
| $NH_3$      | Amoniak                          |
| $CO_2$      | Oxid Uhľičitý                    |
| $H_2$       | Vodík                            |
| <b>He</b>   | Hélium                           |
| <b>Ne</b>   | Neón                             |
| $HN_3$      | Amoniak                          |
| $N_2$       | Dusík                            |
| <b>ČSN</b>  | Česká Státni Norma               |
| <b>EN</b>   | Európska Norma                   |
| <b>LPG</b>  | Liquied Petroleum Gas            |
| <b>EPS</b>  | Elektrická Požiarná Signalizácia |

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <i>I<sup>2</sup>S</i>     | Internet-IC Sound                           |
| <b>CAN2.0</b>             | Controller Area Network                     |
| <b>SPI</b>                | Serial Peripheral Interface                 |
| <i>I<sup>2</sup>C</i>     | Internal Integrated Circuit                 |
| <b>UART</b>               | Universal Asynchronous Receiver Transmitter |
| <b>GPIO</b>               | General Purpose Input/Output                |
| <b>PWM</b>                | Pulse Width Modulation                      |
| <b>TGS</b>                | Taguchi Gas Sensor                          |
| <b>IDE</b>                | Integrated Development Environment          |
| <b>Li-Pol</b>             | Lithium-Polimerové                          |
| <b>VSCoDe</b>             | Visual Studio Code                          |
| <i>LiFePO<sub>4</sub></i> | Lithium-Železo-Fosfátové                    |
| <b>SRAM</b>               | Static Random Access Memory                 |
| <b>iOS</b>                | iPhone operating System                     |
| <b>APP</b>                | Aplikácia                                   |
| <b>IoT</b>                | Internet of Things                          |
| <b>MOS</b>                | Metal-Oxide-Semiconductor                   |
| <b>ECGS</b>               | Electrochemical Gas Sensors                 |
| <b>IR</b>                 | Infrared                                    |
| <b>PID</b>                | Photo Inization Detector                    |
| <b>TCD</b>                | Thermal Conductivity Detector               |
| <b>P</b>                  | Polovodič s dierovou vodivosťou             |
| <b>N</b>                  | Polovodič s elektrónovou vodivosťou         |
| <b>Z.z.</b>               | Zbierka zákonu                              |
| <b>BTS</b>                | Base Transceiver Station                    |

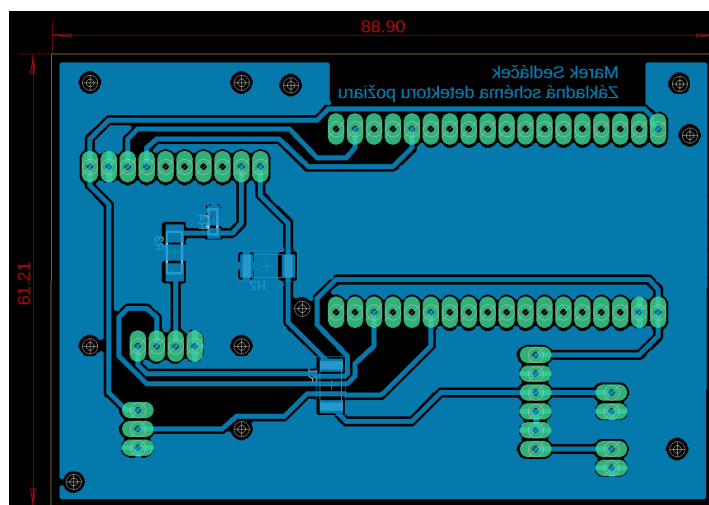
|            |   |
|------------|---|
| <b>GSM</b> | Global System for Mobile Communications |
| <b>SMS</b> | Short Message Service                   |
| <b>ADC</b> | Analog-to-Digital Converter             |
| <b>DPS</b> | Doska plošných spojov                   |
| <b>MCU</b> | Micro Controller Unit                   |

# Seznam příloh

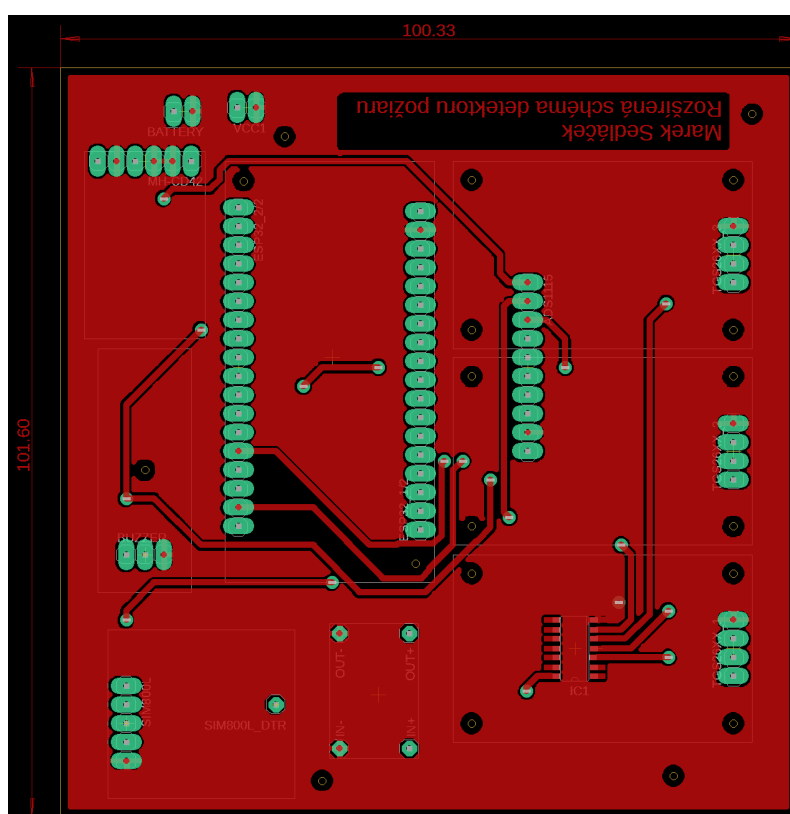
A Obrázky

61

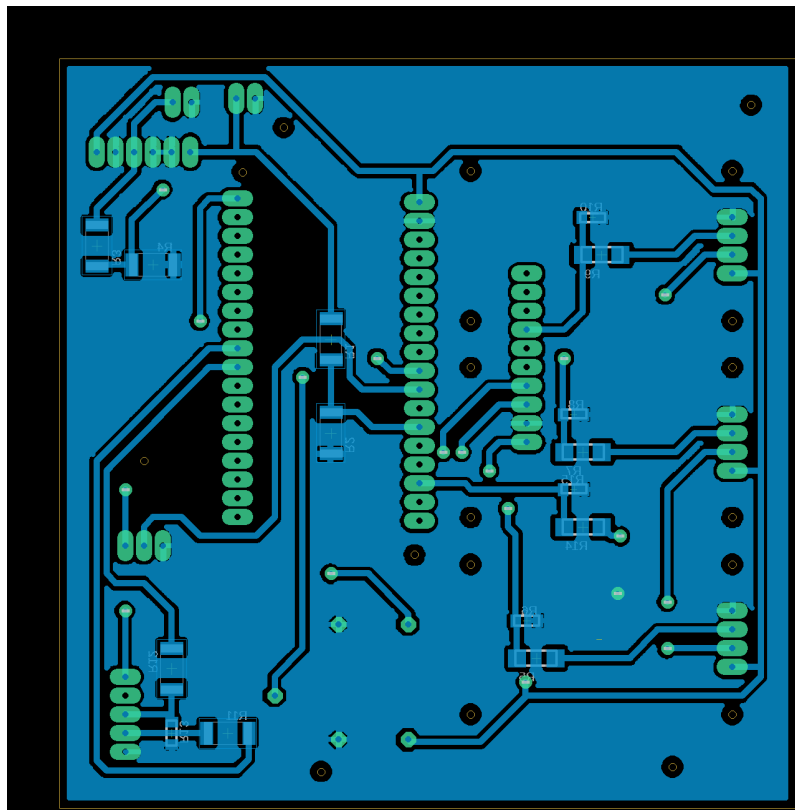
# A Obrázky



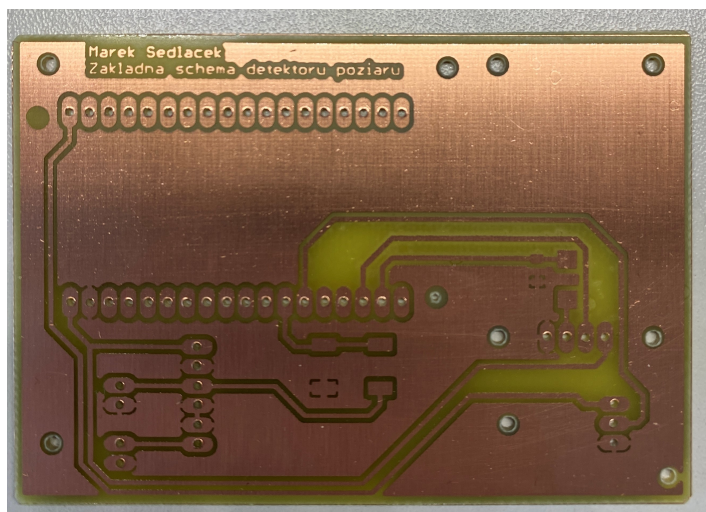
Obr. A.1: DPS základného zapojenia



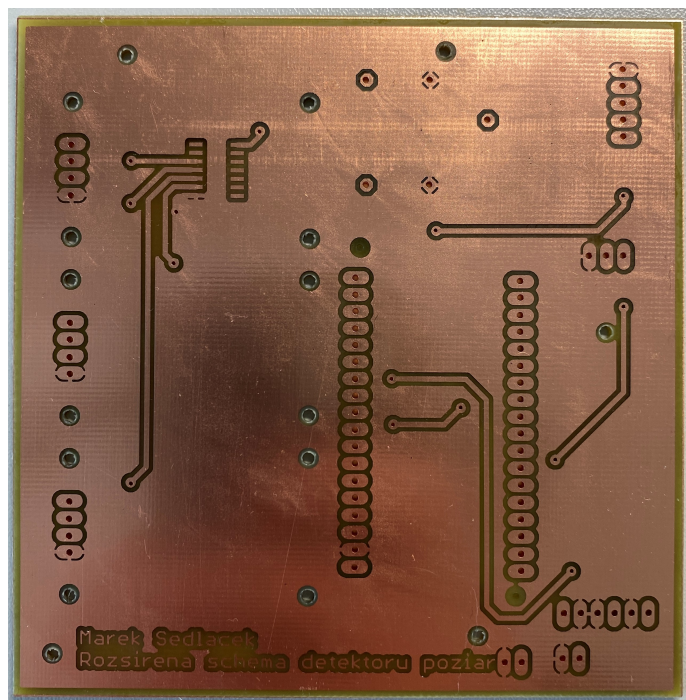
Obr. A.2: DPS rozšíreného zapojenia TOP



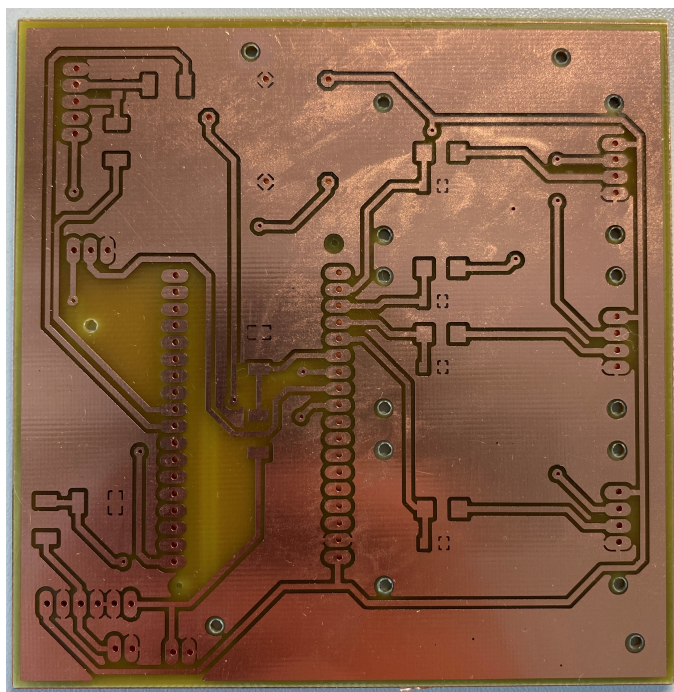
Obr. A.3: DPS rozšíreného zapojenia BOTTOM



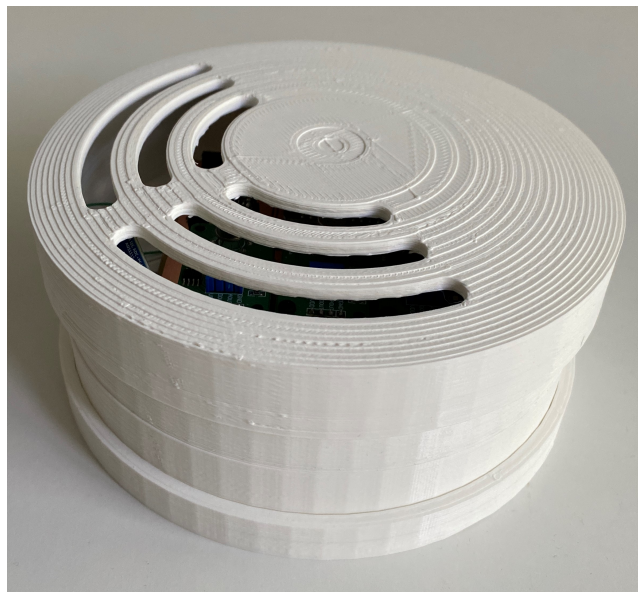
Obr. A.4: Vyrobená DPS základného zapojenia



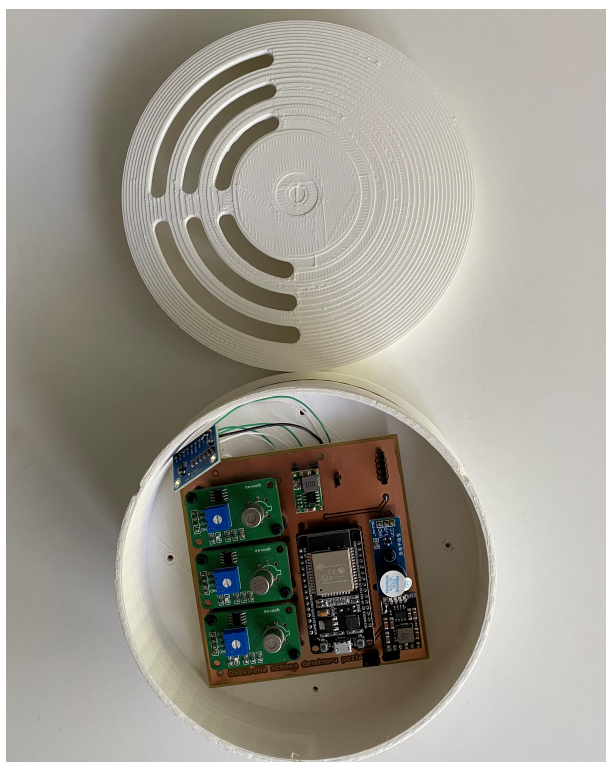
Obr. A.5: Vyrobená DPS rozšíreného zapojenia TOP



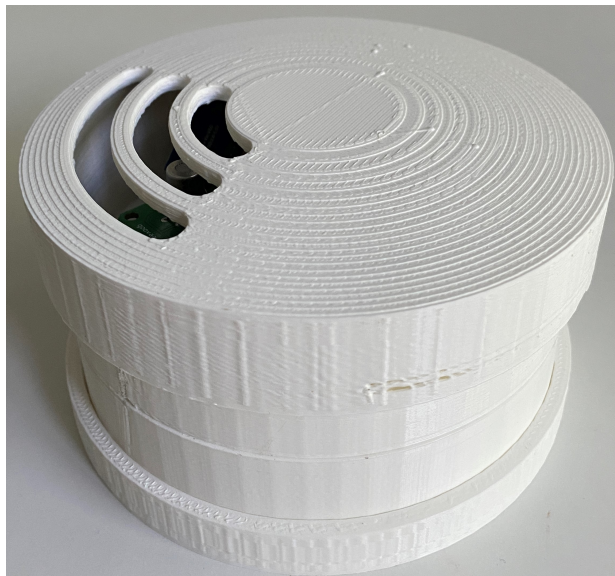
Obr. A.6: Vyrobená DPS rozšíreného zapojenia BOTTOM



Obr. A.7: Krabička pre rozšírené zapojenie



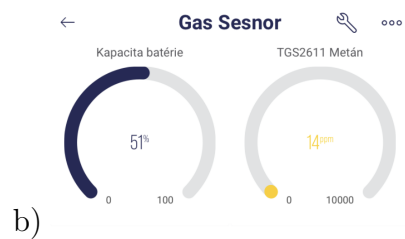
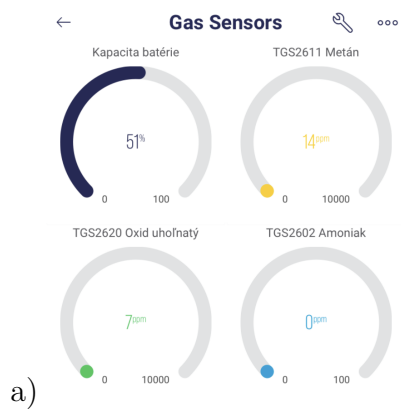
Obr. A.8: Krabička pre rozšírené zapojenie s DPS



Obr. A.9: Krabička pre základné zapojenie



Obr. A.10: Krabička pre základné zapojenie s DPS



Obr. A.11: Návrh vyzualizácie pre rozšírené zariadenie a), Základné zariadenie b)