



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

**ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ**

DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

**MULTISENZOROVÝ MODUL PRO RASPBERRY PI  
ZERO**

MULTISENSOR MODULE FOR RASPBERRY PI ZERO

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. MIROSLAV KAŽIMÍR**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Doc. Ing. VLADIMÍR JANOUŠEK, Ph.D.**

BRNO 2022

## Zadání diplomové práce



Student: **Kažimír Miroslav, Bc.**  
Program: Informační technologie  
Obor: Počítačové a vestavěné systémy  
Název: **Multisenzorový modul pro Raspberry Pi Zero**  
**Multisensor Module for Raspberry Pi Zero**  
Kategorie: Vestavěné systémy  
Zadání:

1. Prostudujte problematiku distribuovaných řídicích systémů, IoT a domácí automatizace. Seznamte se s existujícími otevřenými řešeními s využitím Raspberry Pi, volitelně i SoC Espressif. Seznamte se také s existujícími řešeními, která aplikují Raspberry Pi v roli PLC v domácí automatizaci.
2. Definujte požadavky na dostatečně univerzálně použitelné mutisenzorové zařízení pro domácí automatizaci. Uvažujte senzor pohybu, senzor otevření dveří, kameru, senzory teploty a vlhkosti apod. Uvažujte i možnost připojení aktuátorů, např. prostřednictvím optotriaků, tranzistorů nebo relé. Vhodným způsobem řešte napájení a pro komunikaci použijte WiFi a MQTT, volitelně lze uvažovat i jiné prostředky komunikace.
3. Na základě definovaných požadavků navrhnete vlastní hardwarové řešení i softwarové vybavení multisenzorového zařízení na bázi Raspberry Pi Zero.
4. Navržené zařízení realizujte v potřebném počtu instancí a demonstруйте ve vhodné aplikaci s využitím IoT brány na bázi Raspberry Pi vybavené softwarem Node-RED a Home Assistant. Proveďte testování v reálném provozu a vyhodnoťte dosažené výsledky.
5. Výsledné hardwarové i softwarové řešení zveřejněte formou open source a vytvořte plakát stručně popisující realizované zařízení a možnosti jeho aplikace.

### Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Janoušek Vladimír, doc. Ing., Ph.D.**

Vedoucí ústavu: Hanáček Petr, doc. Dr. Ing.

Datum zadání: 1. listopadu 2021

Datum odevzdání: 29. července 2022

Datum schválení: 3. listopadu 2021

## Abstrakt

Táto práca sa zaoberá problematikou distribuovaných riadiacich systémov v domácej automatizácii. Zameriava sa na otvorené systémy a možnosti ich rozšírenia o nové zariadenia s dostatočne univerzálnym využitím. Riešenie spočíva v návrhu multisenzorových zariadení, ktoré by pokryli viaceré funkcie vyžadované takýmito systémami. V práci bol vytvorený monitor miestnosti v podobe prídavného modulu pre počítač Raspberry Pi Zero a modulárny nástenný vypínač využívajúci platformu ESP32. Prínosom tejto práce sú nové otvorené zariadenia s potenciálom ďalšieho rozšírenia o prídavné moduly.

## Abstract

This work deals with the issue of distributed control systems in home automation. It focuses on open systems and the possibilities of expanding them with new devices with sufficiently universal use. The solution lies in the design of multi-sensor devices that would cover several functions required by such systems. This work includes the creation of a room monitor in the form of an add-on module for the Raspberry Pi Zero computer and a modular wall switch using the ESP32 platform. The benefits of this work are new open devices with the potential for further expansion with additional modules.

## Klíčové slová

domáca automatizácia, distribuované riadiace systémy, Raspberry Pi, Raspberry Pi Zero, Espressif, ESP32, Internet vecí, senzory, monitor miestnosti, chytrý nástenný vypínač, MQ-2, VEML7700, EKMC1691111, SPH0645LM4H, SCD40

## Keywords

home automation, distributed control systems, Raspberry Pi, Raspberry Pi Zero, Espressif, ESP32, Internet of Things, sensors, room monitor, smart wallswitch, MQ-2, VEML7700, EKMC1691111, SPH0645LM4H, SCD40

## Citácia

KAŽIMÍR, Miroslav. *Multisenzorový modul pro Raspberry Pi Zero*. Brno, 2022. Diplomová práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Doc. Ing. Vladimír Janoušek, Ph.D.

# Multisenzorový modul pro Raspberry Pi Zero

## Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne pod vedením pána doc. Ing. Vladimíra Janouška, Ph.D. Uviedol som všetky literárne pramene, publikácie a ďalšie zdroje, z ktorých som čerpal.

.....  
Miroslav Kažimír  
28. júla 2022

## Podakovanie

Chcem poďakovať vedúcemu svojej práce, pánovi doc. Ing. Vladimírovi Janouškovi, Ph.D., za usmernenia pri vypracovaní tejto práce a za umožnenie voľnej realizácie nových nápadov. Ďalej sa chcem poďakovať Ing. Viktorovi Kovaříkovi za pomoc a rady pri fyzickej realizácii prototypov. Veľké poďakovanie patrí tiež mojej rodine za podporu pri realizácii tejto práce a za to, že sme to spolu vydržali počas pandémie COVID-19. Nesmiem zabudnúť tiež na priateľov, ktorí mi boli počas tejto doby veľkou oporou, a to konkrétne na Michala Géciho, Roderika Bandyho, Róberta Ristveya, Tomáša Práška a mojich spolupútnikov pri štúdiu Ing. Mareka Schauera, Bc. Andreja Hučka, Ing. Filipa Jaška, Ing. Martinu Grzybowskiú, Ing. Juraja Kubiša a Ing. Jana Bartoňa.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Domáca automatizácia a jej prvky</b>	<b>3</b>
2.1	Riadiace jednotky . . . . .	3
2.2	Snímacie a akčné prvky . . . . .	16
2.3	Komunikačné rozhrania . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Softvérové riešenia pre domácu automatizáciu</b>	<b>30</b>
3.1	OpenHAB . . . . .	30
3.2	Home Assistant . . . . .	32
3.3	Node-RED . . . . .	34
3.4	Mervis . . . . .	35
3.5	Loxone . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Návrh nových prvkov domácej automatizácie</b>	<b>39</b>
4.1	Cieľový priestor . . . . .	39
4.2	Dizajn systému . . . . .	40
4.3	Identifikácia funkčných blokov monitora miestnosti . . . . .	42
4.4	Identifikácia funkčných blokov nástenného ovládača . . . . .	56
4.5	Návrh schém . . . . .	60
4.6	Návrh dosiek plošných spojov . . . . .	68
<b>5</b>	<b>Implementácia a testovanie</b>	<b>75</b>
5.1	Softvér pre monitor miestnosti . . . . .	75
5.2	Firmvér pre nástenný ovládač . . . . .	77
5.3	Testovanie prototypov . . . . .	79
5.4	Zverejnenie podkladov . . . . .	80
<b>6</b>	<b>Záver</b>	<b>81</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>82</b>
<b>A</b>	<b>Obsah priloženého pamäťového média</b>	<b>86</b>
<b>B</b>	<b>Schémy navrhnutých modulov</b>	<b>87</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Trendom pri dnešných novostavbách a rekonštrukciách starších bytov, domov, ale aj iných obytných, či neobytných stavieb, je inštalácia rôznych elektronických zariadení, ktoré odberenia obyvateľov od niektorých rutinných činností. Takéto prístroje preberajú úlohy, ktoré by bežne vykonával človek, ako napríklad otvorenie brány, zapnutie svetla, zapnutie vykurovania alebo klimatizácie, či zatiahnutie žalúzií. Zariadenia, ktoré dokážu snímať prostredie a spravovať niektoré prvky domácnosti samostatne bez zásahu človeka, tvoria spolu systém domácej automatizácie.

Na trhu je dostupné veľké množstvo komerčných riešení domácej automatizácie, ktoré majú uzavretý systém a nie je možné ich vzájomne prepájať so systémami iných výrobcov. Zákazníci sa preto môžu rozhodnúť používať vzájomne kompatibilné zariadenia od jedného výrobcu alebo začať používať produkty rôznych výrobcov, ktoré však väčšinou nemajú vzájomne kompatibilné systémy a nedokážu spolupracovať. Tento problém sa snažia vyriešiť otvorené centrály domácej automatizácie, ktoré umožňujú integrovať stále viac a viac zariadení od rôznych výrobcov a ovládať ich z jedného miesta.

Z pohľadu budúceho vývoja sa môže skrývať potenciál práve v návrhu nových zariadení, ktoré by boli všeobecne kompatibilné s rôznymi systémami. Ďalším faktorom je odbúranie potreby kúpy viacerých jednoúčelových zariadení a hľadanie možností v integrácii viacerých funkcií do jedného zariadenia.

Mojou osobnou motiváciou pri riešení tejto problematiky je začínajúca rekonštrukcia nášho rodinného domu po starých rodičoch, vďaka ktorej sa naskytla možnosť nasadenia systému domácej automatizácie. Snažím sa nájsť ideálnu kombináciu snímacích zariadení pre jednotlivé miestnosti, ktoré by boli kompaktné, cenovo dostupné a otvorené, čo by umožnilo ich integráciu do cieľového systému.

Cieľom tejto práce je navrhnúť a vytvoriť vlastné kompaktné a dostatočne univerzálne zariadenie pre domácu automatizáciu, ktoré by v sebe integrovalo viacero funkcií a bolo by možné ho pripojiť k centrálnym jednotkám s otvoreným systémom.

Práca sa skladá z viacerých častí. Na začiatku prináša prehľad niekoľkých hardvérových prvkov, ktoré je možné využiť v systémoch domácej automatizácie. Ďalej predstavuje softvérové riešenia využiteľné pri riadení takýchto systémov. V druhej časti sa práca zaoberá návrhom nových otvorených prvkov domácej automatizácie pre domácnosť, pri čom sa venuje konkrétnym použitým hardvérovým súčiastkam a realizácii výsledných prototypov. Posledná časť opisuje implementáciu softvéru pre vytvorené prototypy a ich testovanie.

## Kapitola 2

# Domáca automatizácia a jej prvky

Systém domácej automatizácie je technologické riešenie, ktoré umožňuje automatizáciu väčšiny elektronických, elektrických a technologických úloh v domácnosti. Využíva kombináciu hardvérových a softvérových technológií, ktoré umožňujú kontrolu a správu spotrebičov a zariadení v domácnosti. Dom s automatizačným systémom je tiež známy ako inteligentný dom. [33]

V domácej automatizácii sa využívajú tzv. distribuované riadiace systémy. Sú to systémy senzorov, ovládačov a pridružených počítačov, ktoré sú rozmiestnené po celom objekte, pričom každý takýto prvok má svoj jedinečný účel. Tým môže byť zber údajov, riadenie procesov, ukladanie údajov, či ich grafické zobrazenie. Jednotlivé prvky komunikujú v objekte s centrálnym riadiacim prvkom, ktorý dokáže vyhodnotiť stav celého systému a vykonávať automatizované rozhodnutia. [2]

Táto kapitola poskytuje základný prehľad niektorých dostupných hardvérových prvkov domácej automatizácie so zameraním najmä na otvorené systémy, ktoré si môže používateľ nakonfigurovať podľa vlastných predstáv, no práca s nimi vyžaduje aj určité elementárne znalosti z oblasti elektrotechniky.

Ďalej sa kapitola venuje všeobecnému prehľadu snímacích a akčných prvkov pre domácnosti, či iné objekty, a to najmä z hľadiska cieľového použitia v oblasti zabezpečenia, dosiahnutia určitého komfortu prostredia, či pohodlia pri ovládaní.

V poslednej časti sa kapitola venuje typicky využívaným komunikačným rozhraniam vnútri jednotlivých produktov, no aj medzi týmito produktami navzájom, a to opäť so zameraním na technológie určené najmä pre domácnosti.

### 2.1 Riadiace jednotky

V prvej sekcii je poskytnutý prehľad riadiacich jednotiek a mikrokontrolérov, ktoré je možné využiť pri tvorbe systému domácej automatizácie. Ide konkrétne o riadiace jednotky, ktoré dokážu zastrešovať snímanie a ovládanie celej domácnosti, medzi ktoré patria napr. počítače Raspberry Pi, či jednotky Unipi. Sekcia však popisuje aj mikrokontroléry ako ESP8266, či ESP32, ktoré je možné využiť ako riadiace prvky pri jednotlivých zariadeniach domácnosti. na záver sa sekcia venuje komerčnému riešeniu od spoločnosti Loxone, ktoré je však možné vďaka doplnkom jednoducho rozšíriť o prvky s otvoreným systémom.

### 2.1.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je séria malých jednodoskových počítačov vyvinutých nadáciou Raspberry Pi Foundation so sídlom v Spojenom kráľovstve, ktorej hlavným zámerom je popularizácia výpočtovej techniky a digitálnych technológií medzi širokou verejnou. Sprístupnením a vloženie technológií do rúk bežných ľudí sa tak otvárajú kreatívne možnosti pri vzdelávaní, či riešení vlastných problémov a tvorbe vlastných projektov. [28]

Základným počítačom z tejto série je Raspberry Pi model B, ktorý má veľkosť 85.6 mm × 56.5 mm, čo je štandardná veľkosť takmer všetkých modelov a zodpovedá zhruba veľkosti kreditnej karty. Väčšina modelov má k dispozícii konektory USB, Ethernet (RJ-45), Jack 3,5 mm, HDMI, DSI, CSI, pomocou ktorých je možné pripojiť rôzne periférne zariadenia, či pripojiť sa k internetu. Neoddeliteľnou súčasťou je tiež GPIO (general purpose input-output - všeobecne použiteľný vstup-výstup) header, čo je sada 40 pinov, ktoré sú svojim rozmiestnením kompatibilné naprieč takmer celou sériou počítačov Raspberry Pi. V rámci nich sú poskytnuté rozhrania ako SPI (Serial peripheral interface), I2C (Inter-integrated circuit) a UART (Universal asynchronous receiver-transmitter), ale aj napájanie.

Kompaktnosť a konektivita týchto počítačov tvorí základný predpoklad na ich využitie vo vstavaných systémoch využívaných napríklad v inteligentnej domácnosti, či ako multi-mediálne centrum alebo server slúžiaci ako domáce úložisko dát.[29]

#### Raspberry Pi 4 Model B

Jedným z najnovších prírastkov do série je počítač Raspberry Pi 4 Model B. Predstavuje aktuálne najvýkonnejší model, ktorý môže nahrádzať aj stolové počítače využívané na bežné účely ako úprava dokumentov, prehliadanie webu, počúvanie hudby, prezeranie videí, či nenáročné hry.

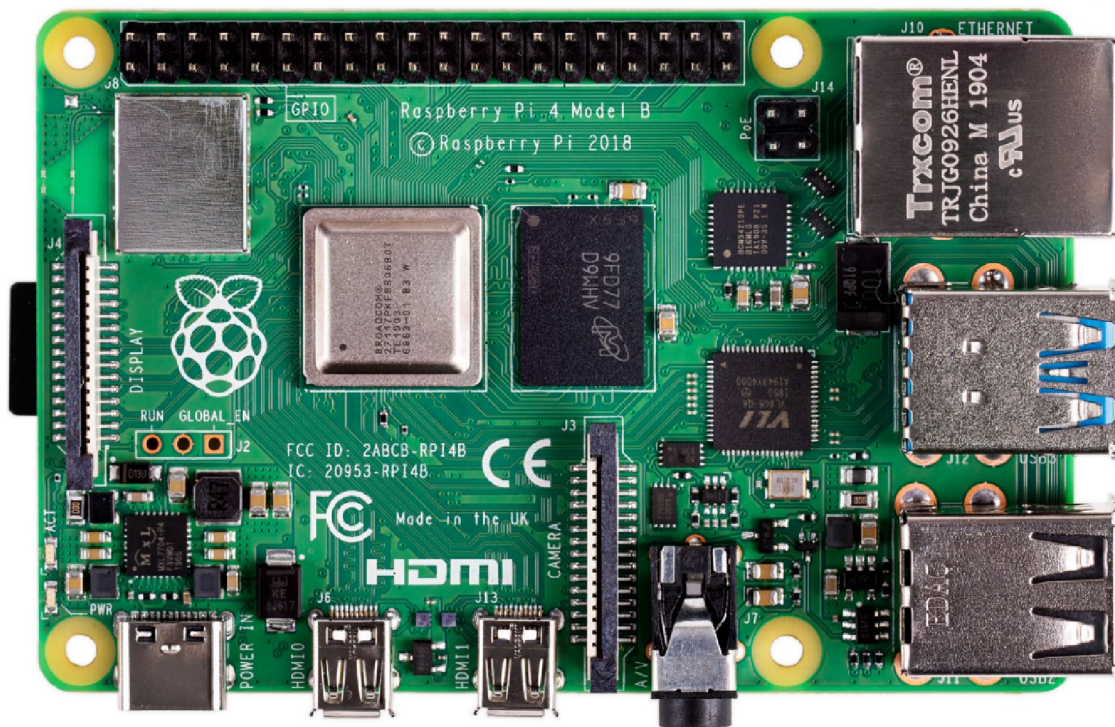
Model 4B je vybavený 4-jadrovým 64-bitovým ARM procesorom Broadcom BCM2711 s frekvenciou 1,5 GHz a pamäťou SDRAM LPDDR4-3200 veľkosti 2 GB, 4 GB alebo 8 GB v závislosti od konfigurácie. Z pohľadu spracovania videa je schopný kódovať a dekódovať formát H264 s rozlíšením 1080p a dekódovať formát H.265 s rozlíšením 4K. Podporuje zároveň aplikačné rozhrania na vykresľovanie 3D grafiky OpenGL ES 3.1 a Vulkan 1.0.

Možnosti pripojenia zahŕňajú bezdrôtové pripojenie WiFi s frekvenciou 2,4 GHz a 5 GHz so štandardom IEEE 802.11ac, Bluetooth 5.0, BLE (Bluetooth Low Energy) a drôtové pripojenie pomocou rozhrania Gigabit Ethernet. Ďalej model 4B disponuje 4 USB portami, z ktorých 2 sú USB 3.0 a 2 USB 2.0, dvoma micro-HDMI portmi, ktoré podporujú rozlíšenie 4K, portmi DSI (Display Serial Interface) a CSI (Camera Serial Interface) na pripojenie displeja a kamery, 4-pólovým konektorom Jack 3,5 mm na stereo audio a kompozitné video a v neposlednom rade obsahuje štandardizovaný 40-pinový GPIO header.

Napájanie je možné prostredníctvom konektora USB-C alebo napájacieho pinu GPIO, v oboch prípadoch s napájacím napätím 5 V a minimálnym prúdom 3 A.

Raspberry je kompatibilné s niekoľkými operačnými systémami (OS), no tým najzákladnejším je Raspberry Pi OS (predtým známy ako Raspbian), ktorý je postavený na systéme Debian a je dostupných viacero variant s grafickým užívateľským rozhraním, či bez neho. Ďalej medzi ne patrí LibreElec, ktorý ponúka mediálne centrum Kodi, distribúcie Ubuntu, ako Ubuntu Desktop, Ubuntu Server, Ubuntu Core, systém pre retro hry RetroPie, či TLXOS. Operačný systém je potrebné umiestniť na MicroSD kartu, na ktorú je vyhradený slot zo spodnej strany mikropočítača. Karta slúži aj ako základné úložisko dát v prípade, že užívateľ nepoužíva ďalšie externé úložisko. [29]





Obr. 2.1: Počítač Raspberry Pi 4 Model B (prevzaté z [29])

### 2.1.2 Raspberry Pi Zero

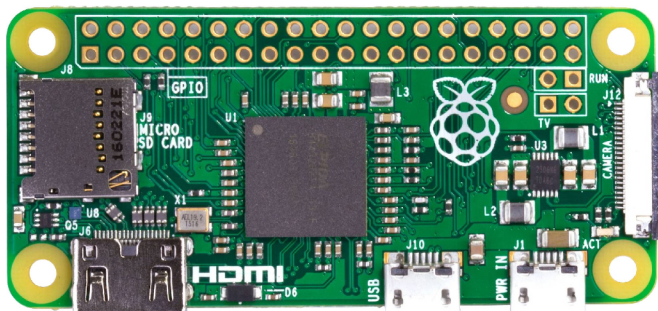
Jedným z ďalších cieľov vývojárov počítačov Raspberry bolo vyvinúť jeho menšiu verziu, ktorú bude možné využiť pre jednoduchšie aplikácie, kde je potrebný kompaktnější rozmer počítača, a kde nie je potrebná taká miera pripojiteľnosti, akú ponúkajú štandardné verzie počítačov Raspberry Pi pri modeloch s označením B.

Verzia Zero má rozmer 65 mm x 30 mm. Je osadená procesorom BCM2835 výrobcu Broadcom, ktorý má 32-bitovú architektúru ARMv6Z, jedno jadro a frekvenciu taktu 1 GHz. Rovnaký procesor je využitý aj v počítačoch Raspberry Pi 1 pri modeloch A, A+, B, B+ a Raspberry Pi Compute Module 1. Zero disponuje 512 MB pamäte RAM a v porovnaní s väčšími modelmi ponúka iba nasledovné možnosti pripojenia:

- mini HDMI port
- micro USB OTG (On-the-go) port<sup>1</sup>
- micro USB port na napájanie
- 40-pinový GPIO header kompatibilný s ostatnými modelmi počítačov Raspberry
- piny pre kompozitné video a pre externý reset
- konektor CSI (verzia 1.3) na pripojenie kamery

<sup>1</sup>USB OTG (On-the-go) je rozšírenie štandardu USB, ktoré umožňuje zariadeniu vykonávať nielen rolu hostiteľa alebo periférneho zariadenia, ale umožňuje túto rolu podľa potreby meniť. Technológia je využitá najmä v mobilných zariadeniach a tabletoch. [39]

Nenájde sa na ňom teda klasický HDMI konektor, DSI konektor na pripojenie obrazovky, konektor USB-A, audio Jack a ani Ethernet (RJ-45).



Obr. 2.2: Počítač Raspberry Pi Zero (prevzaté z [4])

Operačný systém je potrebné osadiť na externú pamäťovú kartu, ktorá sa vloží do pripraveného slotu pre microSD karty. Zero podporuje iba 32-bitové operačné systémy, pričom tým hlavným preferovaným je Raspbian. Vzhľadom k nižšiemu dostupnému výkonu sa však neodporúča používať Zero ako desktop, ale radšej použiť odľahčenú verziu OS, napr. bez grafického užívateľského rozhrania (GUI).

Počítač sa vyrába v konfigurácii bez bezdrôtového pripojenia s označením Raspberry Pi Zero tak, ako je zobrazený na obrázku 2.2, alebo v konfigurácii s bezdrôtovým pripojením Wifi so štandardom 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.1 a Bluetooth Low Energy (BLE). Táto rozšírená verzia nesie označenie Raspberry Pi Zero W. U predajcov je však dostupná aj ďalšia verzia, a to Raspberry Pi Zero H (prípadne WH), ktorá má už z výroby osadený GPIO header - teda kolíky na pinoch. [30]

### 2.1.3 Unipi

Spoločnosť Unipi technology sa zaoberá vývojom a výrobou riadiacich jednotiek, prevodníkov, senzorov a systémov, ktoré umožňujú široké spektrum využitia v rodinných domoch, či priemysle, a to najmä vďaka softvérovej otvorenosti a možnosti úprav na zákazku.

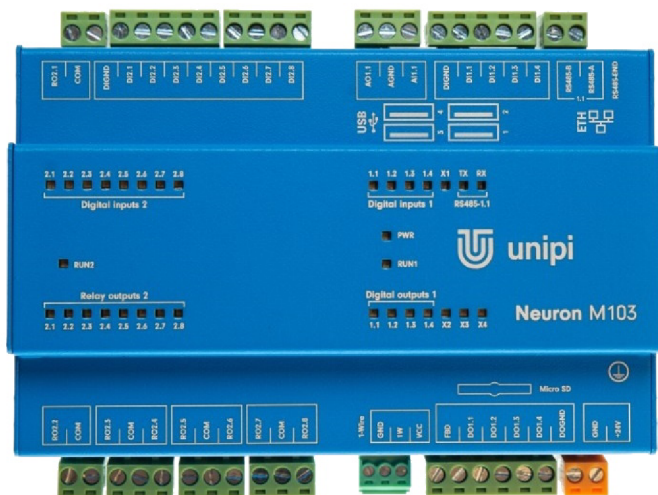
Produkty Unipi ponúkajú možnosti regulácie a monitoringu spotreby energií, ovládania vykurovania, osvetlenia, vzduchotechniky, tepelných čerpadiel a tiež ovládanie prostredníctvom mobilnej aplikácie, tabletu alebo notebooku. V priemysle nájdu využitie pri automatizácii výrobných procesov, zbere dát, vzdialenej správe, či pri ovládaní technických zariadení budov.

Medzi hlavné produkty Unipi patria Unipi Neuron určený primárne pre domácu automatizáciu, Unipi 1.1, ktoré slúži ako rozširujúci modul pre počítač Raspberry Pi, ďalej sú to Unipi Patron a Unipi Axon, určené najmä pre priemyselné využitie a Unipi Gate, ktorý slúži ako prevodník medzi rozhraním Ethernet a RS-485. V ponuke sú aj rozširujúce moduly, senzory, či ďalšie vstavané systémy a možnosť zákazkového vývoja. [37]

#### Unipi Neuron

Unipi Neuron je modulárny programovateľný logický kontrolér (PLC) určený pre riadenie, reguláciu a monitorovanie inteligentných systémov budov, systémov HVAC (vykurovanie, ventilácia, klimatizácia) a ďalších automatizačných systémov v domácnosti, či priemysle.

Predstavuje vysoko flexibilné a cenovo dostupné riešenie vďaka svojej modulárnej architektúre a kompaktnému dizajnu.



Obr. 2.3: Unipi Neuron M103 [38]

Štandardné modely Neuron využívajú ako výpočtový modul integrovaný počítač Raspberry Pi 3 Model B, prípadne Raspberry Pi 4 Model B. Majú jednu až tri sekcie, pričom každá sekcia je ovládaná vlastným procesorom STM32, ktorý riadi vstupy a výstupy a komunikuje s centrálnou procesorovou jednotkou. Komponenty sú uzavreté v odolnom hliníkovom puzdre so stupňom ochrany IP20, ktoré rozmerovo dodržiava elektrikárske štandardy modulov určených na montáž na DIN lištu elektrických rozvádzačov.

V závislosti od konkrétneho modelu môže Neuron ponúknuť pri rôznych konfiguráciách tieto vstupy a výstupy:

- 64 digitálnych vstupov
- 4 digitálne výstupy
- 56 reléových výstupov
- 9 analógových vstupov
- 9 analógových výstupov
- 9 analógových výstupov
- 3x RS-485 (EIA-485)

Okrem týchto možností má Neuron aj jedno 1-Wire rozhranie, a keďže je založený na Raspberry Pi, tak aj 4 USB porty umožňujúce pripojiť napr. externé prevodníky, či dátové úložiská. Neodporúča sa však ich využitie na napájanie externých zariadení. Zvláštnosťou je zaslepenie HDMI konektora, čo však výrobca zdôvodňuje možnou nestabilitou

systému spojenou s používaním grafického čipu a následným prehrievaním jednotky. Niektoré displeje môžu jednotku poškodiť už len samotným pripojením prostredníctvom HDMI z dôvodu rozdielov potenciálov uzemnenia. Užívateľ odstránením tohoto zaslepenia HDMI konektora prichádza o záruku.

Z pohľadu elektroinštalácie je dôležitým faktorom aj zatažiteľnosť reléových výstupov. Je nimi možné spínať maximálne striedavé napätie 250 V alebo jednosmerné napätie 30 V, a maximálny spínaný prúd (aj pri krátkodobom preťažení) je 5 A. Takáto zatažiteľnosť teda neumožňuje pripájať zariadenia s výrazne vyšším výkonom, akými môžu byť napríklad elektromotory, či výhrevné telesá.

Unipi Neuron rovnako, ako samostatne používaný počítač Raspberry Pi, neobsahuje interné úložisko, a potrebuje externú pamäťovú kartu, ideálne typu SLC (Single Level Cell), ktorá ponúka rýchlejšie prenosové rýchlosti, dlhšiu výdrž a nižšiu spotrebu energie. Táto pamäťová karta môže slúžiť ako úložisko dát, no v prvom rade slúži pre operačný systém jednotky. Oficiálne podporované operačné systémy sú založené na systéme Linux Debian, pričom výrobca ponúka predpripravené obrazy diskov so systémom Mervis, systémom Node-Red a opensource OS. Prvé dva systémy budú podrobnejšie popísané v sekciách 3.3 a 3.4 v nasledujúcej kapitole. Opensource OS je určený primárne pre vývojárov, či výrobcov ďalších originálnych produktov založených na Unipi Neuron, a zahŕňa niektoré základné ovládače, napríklad pre Modbus TCP. [38]

#### 2.1.4 ESP8266

Na rozdiel od Raspberry Pi a Unipi, ktoré sa označujú ako počítače, je zariadenie ESP8266 od výrobcu Espressif označované ako SoC (System on a Chip – systém na čipe), či ako mikrokontrolér. Jeho využitie je primárne v oblasti internetu vecí, pričom spĺňa základné požiadavky, ako spoľahlivý výkon, efektívne využitie energie a kompaktný dizajn.

ESP8266 dokáže aj s jeho kompletnými sieťovými funkciami WiFi fungovať v aplikáciách ako hlavný samostatný mikrokontrolér alebo môže byť použitý v aplikáciách s inými mikrokontrolérmi. Obsahuje vlastnú pamäť flash, ktorá je využívaná ako pamäť pre program a dáta. Zvýšiť výkon systému a optimalizovať systémovú pamäť pomáha aj integrovaná vysokorýchlostná pamäť cache.

Uplatnenie mikrokontroléra je možné v oblastiach domácej automatizácie, inteligentných zásuvkách, či svetlách, priemyselných bezdrôtových zariadeniach, senzorických sieťach, IP kamerách, nositeľnej (tzv. wearable) elektronike, bezpečnostných identifikačných štítkoch, či Wifi pozičných systémoch.

Jedným z možných využití mikrokontrolérov ESP je použitie v role WiFi adaptéra pre komplexnejšie aplikácie bez potreby väčšieho množstva externých obvodov. Všetko potrebné je integrované priamo v kompaktnom dizajne samotného SoC. Samotné vysielané a prijímané dáta je možné potom prenášať prostredníctvom rozhrania UART, či SPI (popísané v sekcii 2.3).

#### Procesor

ESP8266EX je riadené 32-bitovým RISC procesorom Tensilica L106, ktorý dosahuje maximálnu frekvenciu 160 MHz s extra nízkou spotrebou energie. Wifi zásobník a operačný systém reálneho času (RTOS - Real-Time Operating System) umožňujú využiť až 80% výpočtového času pre používateľské aplikácie.

## Pamäť

Okrem integrovanej pamäte SRAM a ROM obsahuje ESP8266EX aj externú pamäť SPI flash s veľkosťou maximálne 16 MB (v závislosti od konkrétnej verzie). na SoC sa nenachádza programovateľná pamäť ROM, preto musia byť užívateľské programy uložené v pamäti SPI flash, ku ktorej procesor pristupuje, ako už z názvu vyplýva, cez rozhranie SPI.

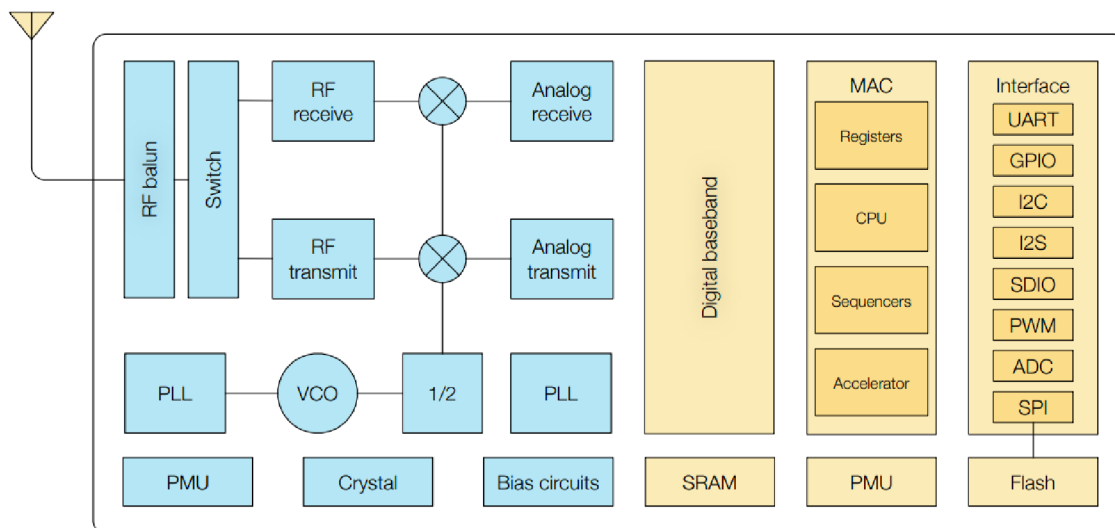
Nahrávanie programu je možné pomocou voľne dostupných nástrojov na vývoj softvéru pre túto platformu, tzv. ESP8266 RTOS SDK (software development kit). SDK obsahuje aj knižnice so základnými funkciami pre ESP8266.

## Komunikačné rozhrania a periférie

Bezdrôtová komunikácia je možná pomocou Wifi (WLAN) s protokolmi 802.11 b/g/n (HT20) s frekvenciou 2.4 GHz (2400 MHz – 2483.5 MHz), pričom podporuje protokol WLAN MAC a TCP/IP. Wifi je možné prevádzkovať v režime klienta aj prístupového bodu. Z pohľadu bezpečnosti podporuje zabezpečenie WPA a WPA2, a použitie šifrovania WEP, TKIP, či AES.

Drôtová komunikácia je možná prostredníctvom rozhrania GPIO, ktoré obsahuje 17 GPIO pinov, ktorým je možné prideliť rôzne funkcie nastavením príslušných registrov. Ako je možné vidieť aj vo funkčnom blokovom diagrame na obrázku 2.4, GPIO piny môžu byť nahradené niekoľkými typmi rozhraní, ako UART, I2C, I2S, SDIO, či SPI.

Mimo samotnej komunikácie môžu byť 4 GPIO piny využité aj na pulznú šírkovú moduláciu (PWM - pulse width modulation) s frekvenčným rozsahom nastaviteľným od 1000  $\mu$ s do 10000  $\mu$ s, t.j. medzi 100 Hz a 1 kHz. Jeden GPIO pin poskytuje rozhranie infračerveného diaľkového ovládania a jeden pin je pripojený k analógovo-digitálnemu prevodníku s presnosťou 10 bitov.



Obr. 2.4: Funkčný blokový diagram ESP8266EX (prevzaté z [7])

## Napájanie a spotreba

Prevádzkové napätie ESP8266EX je od 2,5 V do 3,6 V, pričom typické napájanie je 3,3 V. Prevádzkový prúd je v priemere okolo 80 mA.

Spotreba sa líši v závislosti od konkrétneho módu použitia. Pri spustenej rádio-frekvenčnej komunikácii v tzv. aktívnom móde to môže byť od 50 mA pri prijímaní do 170 mA pri odosielaní. V modem-sleep móde, počas ktorého je vypnutá bezdrôtová komunikácia, je spotreba približne 15 mA. Pri light-sleep móde je pozastavený procesor a periférie pri spotrebe 0,9 mA. Najhlbší možný spánok, tzv. deep-sleep, pri ktorom zostane zapnutý len časovač reálneho času RTC (real-time clock), udrží spotrebu na úrovni 20  $\mu$ A. V stave úplného vypnutia zostáva zanedbateľná spotreba 0,5  $\mu$ A. Celkovo je teda možné ušetriť prepnutím do niektorého z módov spánku značné množstvo energie, čo umožňuje napájať mikrokontrolér aj z batérie. [7]

### 2.1.5 ESP32

Výkonnejším mikrokontrolérom od spoločnosti Espressif je mikrokontrolér ESP32, ktorý je nasledovníkom modelu ESP8266 a poskytuje navyše napríklad procesor s 2 jadrami v porovnaní s jedno-jadrovým pri ESP8266, viac GPIO pinov, rýchlejšiu Wifi a podporu Bluetooth a Bluetooth low energy (BLE). Táto sekcia sa venuje konkrétnemu typu mikrokontroléra ESP32, a to modulu ESP32-WROOM-32.

Modul ESP32-WROOM-32 je výkonný mikrokontrolér použiteľný na širokú škálu aplikácií, medzi ktoré patrí domáca automatizácia, inteligentné riadenie budov, priemyselná automatizácia, zber dát z IoT senzorov, bezdrôtové ovládanie, či nositeľná elektronika. Okrem toho má schopnosť spracovať zvuk a obraz, resp. video, vďaka čomu môže slúžiť ako audio prehrávač, ale aj ako nástroj na rozpoznávanie reči alebo obrazu. Zaujímavosťou je tiež možnosť jeho využitia na vytvorenie tzv. mesh Wifi siete s ostatnými modulmi ESP32. [5]

#### Procesor a pamäť

Jadrom modulu je mikroprocesor Xtensa® LX6, ktorý má 2 jadrá, 32-bitovú architektúru a frekvenciu taktu nastaviteľnú od 80 MHz do 240 MHz. Je navrhnutý tak, aby bol škálovateľný a adaptívny, a má tiež koprocesor s ultra nízkym výkonom, ktorý je možné použiť pri vykonávaní menej náročných úloh, ako napr. sledovanie periférií. ESP32 funguje na operačnom systéme freeRTOS s LwIP, pričom má zabudovaný aj protokol TLS 1.2 s hardvérovou akceleráciou. [6]

Priamo pri procesore sa nachádza aj pamäť ROM s veľkosťou 448 KB určená pre bootovanie a základné funkcie a pamäť SRAM s veľkosťou 520 KB určená pre dáta a inštrukcie. Ďalej obsahuje aj pamäte SRAM pri časovači RTC, a to konkrétne pamäť RTC FAST s veľkosťou 8 KB určenú pre úschovu dát, ktorá je prístupná procesoru počas zobúdzania z režimu hlbokého spánku, a pamäť RTC SLOW s rovnakou veľkosťou 8 KB, ku ktorej môže pristupovať koprocesor počas režimu hlbokého spánku. [5]

Najväčšiu pamäť však podobne ako pri mikrokontroléroch ESP8266 tvorí pri module ESP32-WROOM-32 externá SPI flash pamäť, ktorá je dostupná vo veľkostiach 4 MB, 8 MB a 16 MB v závislosti od konkrétneho typu modulu.

#### Komunikačné rozhrania a periférie

Medzi bezdrôtové komunikačné rozhrania patrí Wi-fi podporujúce protokoly 802.11b/g/n, a teda na frekvencii 2,4 GHz, s maximálnou rýchlosťou prenosu dát až 150 Mbps pri štandarde 802.11n. Anténa je integrovaná priamo na plošnom spoji, no pri niektorých typoch ESP32 je možné aj pripojenie externej antény. Wi-fi umožňuje aj bezpečné šifrované be-

zdrôtové (OTA) aktualizácie firmvéru, čo umožňuje inováciu produktov aj po ich uvedení na trh.

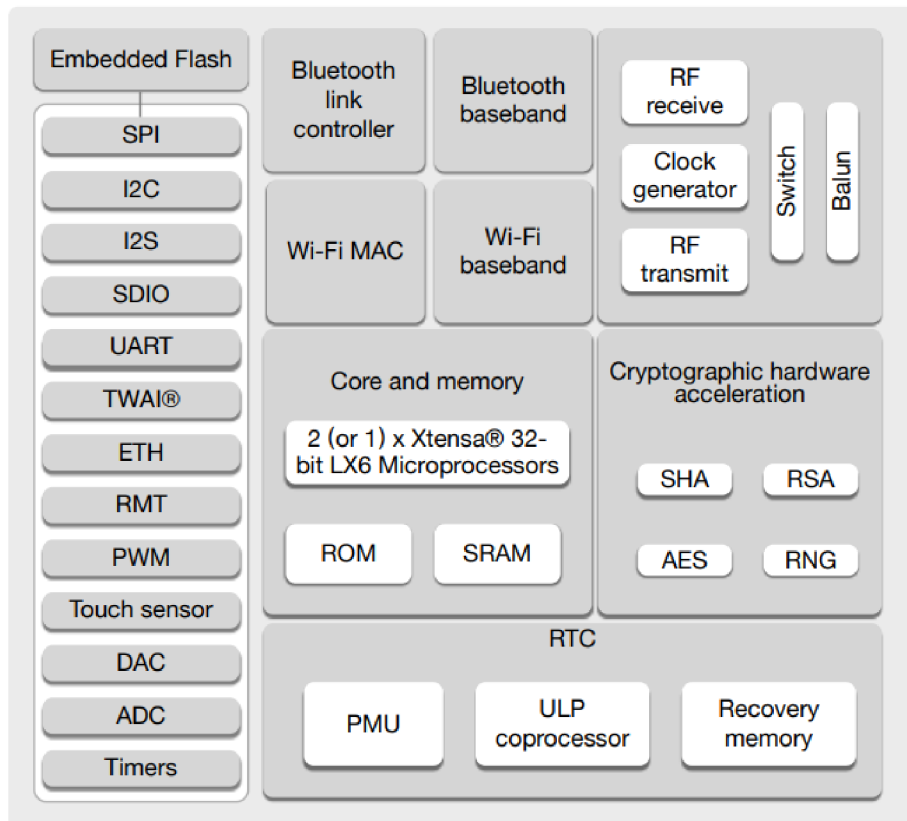
Ďalšou možnosťou bezdrôtového pripojenia je Bluetooth a Bluetooth low energy (BLE), čo umožňuje pripojenie blízkych zariadení, napr. mobilných telefónov, tabletov, či nositeľných zariadení. To robí v kombinácii s Wi-fi tento modul atraktívnym na všestranné použitie v bezdrôtových aplikáciách. [6]

Drôtové pripojenie ESP32 je zabezpečené prostredníctvom vstupno-výstupných GPIO pinov, ktoré sú multiplexované, vďaka čomu môžu plniť funkciu rôznych komunikačných rozhraní, či byť pripojené k perifériám. Celkovo je dostupných 34 GPIO pinov, na ktorých sú dostupné zároveň tieto zbernice: UART, I2C, I2S, SDIO, SPI, QSPI, EMAC (Ethernet MAC), JTAG, TWAI.

Niektoré piny môžu byť pripojené na periférie ako dva 8-bitové digitálno-analógové prevodníky, dva 12-bitové analógovo-digitálne prevodníky, kapacitné dotykové senzory, generátory pulznej šírkovej modulácie, Hallov senzor, či infračervený vysielač a prijímač.

ESP32 ponúka aj ďalšie funkcie, ktoré sú zobrazené vo funkčnom blokovom diagrame na obrázku 2.5, medzi ktoré patrí aj kryptografická hardvérová akcelerácia, teda dedikovaný hardvér určený na šifrovanie, a to konkrétne AES, Hash (SHA-2), RSA, ECC a ponúka aj generátor náhodných čísel (random number generator - RNG). Medzi periférie sa radí aj už spomínaný koprocesor s ultra nízkym výkonom.

Vďaka radiču SD/SDIO/MMC je možné okrem pripojenia rozhrania SDIO navyše čítať aj pamäťové karty Secure Digital (SD), karty Multimedia Cards (MMC), eMMC a používať pevné disky typu CE-ATA. [5]



Obr. 2.5: Funkčný blokový diagram ESP32 (prevzaté z [5])

## Napájanie a spotreba

Napájacie napätie je minimálne 3,0 V, maximálne 3,6 V a typická hodnota je 3,3 V. Zdroj napätia by mal dodávať prúd minimálne 0,5 A. Maximálna prúdová zaťažiteľnosť GPIO výstupu je 40 mA a absolútna kumulatívna maximálna zaťažiteľnosť je 1200 mA. [6]

Spotreba čipu ESP32 sa podobne, ako v prípade ESP8266, líši medzi konkrétnymi režimami aktivity / spánku a výrobca uvádza taktiež rozdiely v spotrebe pri použití rôznych frekvencií procesora. Pri aktívnom móde s prebiehajúcou bezdrôtovou komunikáciou (Wi-fi alebo Bluetooth / BLE) sa spotreba pohybuje typicky medzi 95 mA až 240 mA. Režimy spánku sa však jemne od ESP8266 odlišujú, a to vďaka prítomnosti koprocessora.

Pri režime modem-sleep, v ktorom je vypnutá bezdrôtová komunikácia sa spotreba pohybuje medzi 20 mA až 31 mA pri frekvencii procesora 80 MHz, 27 mA až 44 mA pri frekvencii 160 MHz a 30 mA až 68 mA pri frekvencii 240 MHz. V režime light-sleep, v ktorom je navyše vypnutý procesor, je spotreba 0,8 mA. V režime deep-sleep sú dáta o pripojení Wi-fi a Bluetooth uložené v pamäti RTC a spotreba dosahuje v závislosti od zapnutia koprocessora hodnoty medzi 10  $\mu$ A a 150  $\mu$ A. Predposledným režimom je režim hibernácie, pri ktorom je zapnutý len časovač RTC a spotreba je 5  $\mu$ A. No a v poslednom prípade, v režime úplného vypnutia, je spotreba 1  $\mu$ A.

ESP32 teda poskytuje dostatočnú variabilitu režimov šetrenia energie, ktoré sú vhodné najmä pri aplikáciách, kde je potrebné využiť napájanie pomocou akumulátora. [5]

### 2.1.6 Loxone

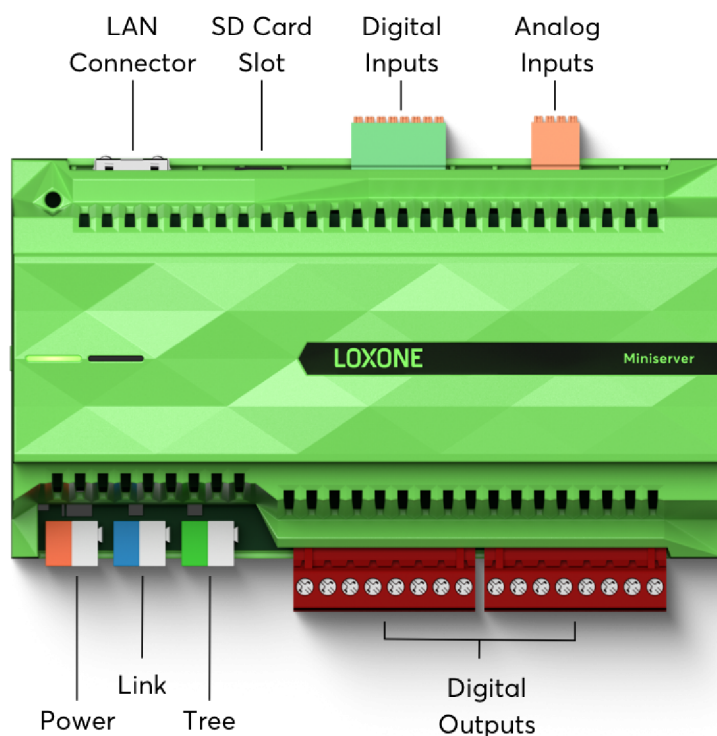
Loxone je spoločnosť poskytujúca kompletne komerčné riešenie inteligentnej domácnosti s možnosťou čiastočnej integrácie zariadení ďalších výrobcov. Základným článkom systému Loxone je Miniserver, ktorý slúži ako centrála pre všetky ďalšie prvky systému. Medzi ne patria reléové moduly, rozšírenia pre analógové aj digitálne vstupy a výstupy, ako aj rôzne zbernice, nástenné aj diaľkové ovládače, senzory, detektory, radiátorové termostatické hlavice, žalúziové ovládače, osvetlenie, zabezpečovacie prvky, audio systémy alebo prístupový systém.

Systém zariadení Loxone je do veľkej miery uzavretý, ale prostredníctvom rozširujúcich modulov je možné ho doplniť o rôzne otvorené rozhrania ako 1-Wire, RS232, RS485, DMX, či Modbus. Zároveň je možné naň napojiť akékoľvek zariadenie využívajúce protokol HTTP, a to prostredníctvom LAN pripojenia ku lokálnej sieti.

### Miniserver

Miniserver je centrálna jednotka pre riadenie inteligentnej elektroinštalácie pre všetky možné automatizačné úkony. Je to zariadenie vyvinuté pre profesionálnych elektrikárov, ktoré je možné pripevniť na DIN lištu v domovom rozvážači a následne jednoducho zapojiť.





Obr. 2.6: Loxone Miniserver s popisom konektorov (prevzaté z [17])

Jednotka má k dispozícii niekoľko rozhraní a vstupných, či výstupných konektorov, ktoré sú popísané na obr. 2.6. Patrí medzi ne:

- LAN konektor,
- napájací konektor,
- rozhranie Link,
- rozhranie Tree,
- 8 digitálnych vstupov (s jednosmerným napätím 24 V)
- 4 analógové vstupy (0 - 10 V)
- 8 digitálnych výstupov (bez napätia)

Miniserver je potrebné napájať jednosmerným prúdom s napätím 19,2 V až 30 V. Typicky sa používa 24 V napájací zdroj, ktorý môžu využiť aj ďalšie rozširujúce zariadenia Loxone. Typická spotreba miniservera je 1,85 W, maximálne 3 W. Strana výkonu pri maximálnej záťaži je 6,7 W.

Digitálne vstupy majú maximálne vstupné napätie 24 V s jednosmerným prúdom. Logické hodnoty sú definované nasledovne: Pri napätí od 0 V do 4,5 V je vstup v hodnote 0, pri napätí od 4,5 V do 6 V je vstup nedefinovaný, a pri napätí od 6 V do 24 V má vstup logickú hodnotu 1. Vstup je tiež možné použiť ako frekvenčné počítadlo. Je naň možné priviesť signál s frekvenciou od 1 Hz po 250 Hz, pričom minimálna šírka pulzu musí byť aspoň 2 ms. Presnosť merania je  $\pm 1$  Hz.

Analogové vstupy podporujú jednosmerný prúd s napätím od 0 V do 10 V. Vnútorný analógovo-digitálny prevodník má rozlíšenie 12 bitov. Vstupy je možné využiť aj v digitálnom režime, kde pri vstupnom napätí od 0 V do 0,9 V ide o logickú úroveň 0 a od 1,5 V do 10 V ide o logickú úroveň 1.

Digitálne výstupy sú tvorené relé s 2 kontaktmi. Nie sú teda napájané zvnútra a je potrebné na ne priviesť externé napájanie. To môže byť buď pomocou jednosmerného prúdu s napätím maximálne 30 V a záťažou 10 A alebo pomocou striedavého prúdu s napätím 250 V a záťažením maximálne 10 A.

Rozhrania Link a Tree sú uzavreté rozhrania slúžiace na komunikáciu s ďalšími zariadeniami Loxone. Rozhranie Link sa používa na komunikáciu s rozširujúcimi modulmi umiestnenými typicky v tom istom rozvádzači ako miniserver a umožňuje pripojenie až 30 zariadení, tzv. Extensions. Tree je rozhranie vyvinuté pre integráciu senzorov a aktorov. Na jedno rozhranie je možné pripojiť až 50 rôznych zariadení.

Na ovládanie miniservera je potrebné jeho pripojenie buď k počítaču alebo ku lokálnej sieti, a to pomocou LAN konektora RJ-45. Softvér so všetkými nastaveniami miniservera je umiestnený na microSD karte, pre ktorú je vo vrchnej časti pripravený slot. Súčasťou softvéru je webový server, ku ktorému je možné pristupovať lokálne aj bez externého cloud riešenia. Na podrobnú konfiguráciu slúži softvér Loxone Config pre operačné systémy Windows. Samotné ovládanie je možné po úvodnom nastavení vykonávať prostredníctvom jednoduchého softvéru Loxone App dostupného pre zariadenia s operačnými systémami Android, iOS, OS X, Windows, či Linux. [17]

## Rozšírenia (Extensions)

Loxone poskytuje ku svojim Miniserverom veľké množstvo rozširujúcich modulov, ktorými je možné výrazne rozšíriť jeho pole použitia. Tieto Extension moduly sa pripájajú k Miniserveru prostredníctvom rozhrania Link, pričom ak sú v jednom rozvádzači, môžu zdieľať aj spoločný napájací zdroj s napätím 24 V – samozrejme za podmienky, že dokáže dodať dostatočný prúd pre všetky komponenty.

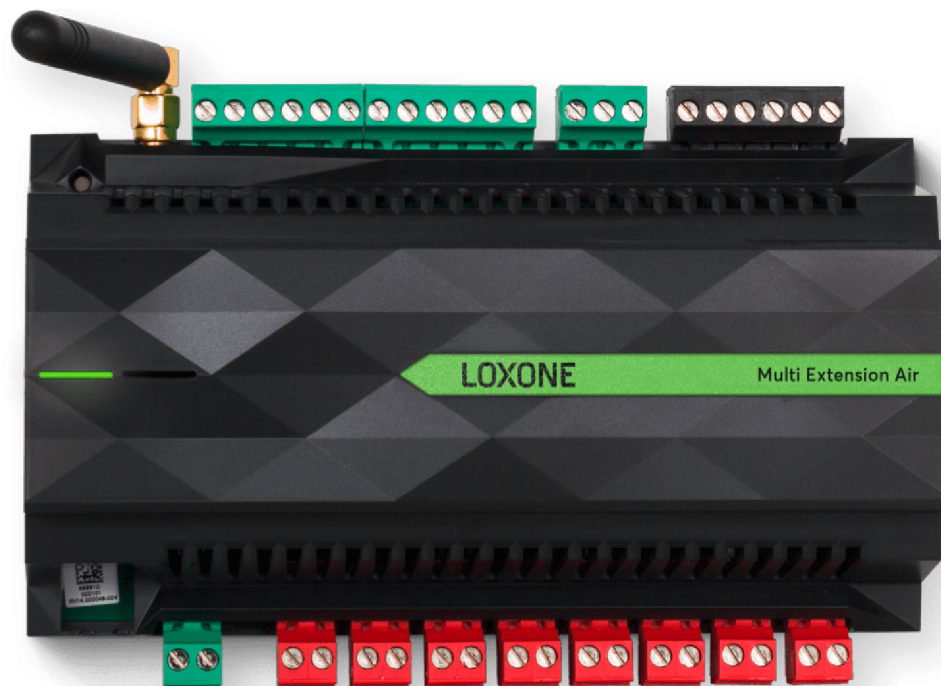
Jedným typom rozšírení sú Extension moduly umožňujúce komunikáciu Loxone zariadení s inými zbernicami. Medzi ne patria Extension moduly ako RS232, RS485, DMX, DALI, KNX, Internorm, Fröling, Schüco, Modbus, 1-Wire a EnOcean. Väčšina z týchto modulov zaberá 2 miesta na DIN lište.

Medzi ďalšie moduly, ktoré rozširujú základnú funkcionálnosť v rámci protokolov Loxone Link, Tree a Air, patria:

- Tree Extension  
Rozširuje systém o ďalšie 2 zbernice Tree, na ktoré je možné napojiť až 50 zariadení.
- Air Base Extension  
Rozširuje systém o možnosť pripojenia bezdrôtových zariadení prostredníctvom protokolu Loxone Air
- Dimmer Extension  
Ponúka 4 smievateľné kanály – prvý pre výkon až 400 W a zvyšné 3 pre výkon 210 W. Je vhodný pre odporové, kapacitné a induktívne záťaže. Zároveň rozširuje systém o 8 digitálnych vstupov (24 V)

- Relay Extension  
Ide o modul obsahujúci 14 relé s maximálnym spínaným napätím 250 V (striedavé) a prúdom 16 A. To umožňuje spínanie takmer akéhokoľvek zariadenia v domácnosti.
- DI Extension  
Rozširuje systém o 20 digitálnych vstupov (24 V) s možnosťou frekvenčného čítača so signálom do 250 Hz.
- AI Extension  
Poskytuje 8 analógových vstupov, z čoho 4 je možné využiť na meranie napätia (0 V až 10 V) a 4 na meranie prúdu (4 mA až 20 mA). Analógové napäťové vstupy je možné využiť aj ako digitálne vstupy (24 V).
- AO Extension  
AO (Analog out) Extension obsahuje 4 analógové výstupy s napätím od 0 V do 10 V a maximálnym zaťažením 20 mA.
- Multi Extension Air  
Najväčší rozširujúci modul sa pripája ku zvyšku systému bezdrôtovo prostredníctvom protokolu Air. Jeho napájacie napätie je 18 V až 28 V (jednosmerné) a maximálna spotreba 1,74 W (typicky 0,34 W). Poskytuje 8 digitálnych výstupov (relé) pre použitie so striedavým prúdom s napätím do 250 V a max. záťažou 16 A alebo jednosmerným prúdom s napätím do 30 V a záťažou do 5 A. Okrem nich má 4 digitálne PWM výstupy (s pulznou šírkovou moduláciou) s napätím od 12 V do 28 V, frekvenciou od 26 Hz do 1627 Hz a maximálnym zaťažením 2,1 A na kanál. 12 digitálnych vstupov umožňuje čítať na vstupné signály s frekvenciou do 500 Hz, pričom s logickou hodnotou 0 pri napätí od 0 V do 2,2 V a 1 pri napätí od 3,8 V do 28 V. Poslednou možnosťou pripojenia je rozhranie 1-Wire, na ktoré je možné napojiť 20 senzorov.

Ukážky rozširujúcich zariadení je možné vidieť na obr. 2.7 (Multi Extension Air), obr. 2.8 (Air Base Extension) a obr. 2.9 (1-Wire Extension).



Obr. 2.7: Loxone Multi Extension Air [17]



Obr. 2.8: Loxone Air Base Extension  
(prevzaté z [17])



Obr. 2.9: Loxone 1-Wire extension (prevzaté z [17])

## 2.2 Snímacie a akčné prvky

Nevyhnutnou súčasťou každého systému domácej automatizácie sú snímacie a akčné prvky. Snímacie prvky monitorujú premenné hodnoty prostredia, v ktorom sa nachádzajú a akčné prvky môžu na základe vyhodnotenia dát z týchto snímačov vykonávať požadované funkcie.

### 2.2.1 Snímače

Na trhu sú dostupné mnohé typy snímačov rôznych fyzikálnych veličín. Z pohľadu domácej automatizácie sú významné snímače, ktoré dokážu s použitím ďalších snímačov a akčných prvkov dosiahnuť požadované pohodlie a bezpečnosť.

Medzi základnú výbavu v domácej automatizácii patria senzory na monitorovanie týchto oblastí:

- **Teplota**

Senzory tepla sú dnes využívané v mnohých zariadeniach a v prostredí domácej automatizácie ide o tie najzákladnejšie senzory. Existujú rôzne typy týchto senzorov, najčastejšie ide o termočlánky, odporové teplotné detektory, termistory, infračervené senzory alebo integrované obvody. Cieľom týchto senzorov je previesť nasnímané teplo na elektrický prúd, a to buď analógovo alebo s digitálnym výstupom.

- **Vlhkosť**

Monitorovanie vlhkosti je užitočné najmä pre továrne a iné priestory, kde je potrebné zabrániť kondenzácii vodnej pary na povrchoch. Pre rodinné domy má význam najmä na udržiavanie vlhkosti v požadovanej úrovni. [11]

- **Výskyt ohňa, dymu a nebezpečných plynov**

Najčastejšou príčinou škody na majetku je požiar. Ten môže vzniknúť pri varení, pri elektrickom skrate, ale aj pri úniku konkrétnych typov výbušných plynov. Pre zabezpečenie pred požiarom je preto žiadúce sledovať nie len vzniknutý dym, ale aj koncentráciu výbušných plynov v ovzduší.

V domácnostiach na Slovensku je obvykle privedený zemný plyn. Jeho distribúciu zabezpečuje spoločnosť SPP-distribúcia, ktorá v pravidelných mesačných intervaloch zverejňuje jeho presné zloženie. V januári roku 2022 predstavuje toto zloženie z 94,298% metán, z 3,1% etán, z 0,683% propán a v zanedbateľných množstvách aj ďalšie plyny. Najväčší význam má preto sledovať senzormi koncentráciu metánu. [32]

Ďalším život ohrozujúcim faktorom pre ľudí je koncentrácia oxidu uhoľnatého, ktorý nie je detegovateľný bez pomoci snímačov.

Dnešné snímače vzduchu umožňujú nie len detekciu nebezpečných plynov, ale aj monitorovanie celkovej kvality vzduchu a koncentrácie prachu, sadze, peľov a ďalších znečisťujúcich častíc. [44]

- **Otvorenie okien a dverí**

Prvou líniou v zabezpečení je sledovanie otvorenia dverí, či okien. Takéto senzory dajú systému okamžite vedieť, či niekto vstúpil alebo opustil priestor a môže na nich byť naviazané aj zapínanie, či vypínanie svetiel. Niektoré typy senzorov umožňujú sledovanie rozbitia okien. [44]

- **Pohyb**

na snímanie a detekciu pohybu existujú 2 najčastejšie využívané typy senzorov – pasívne infračervené (PIR), ultrazvukové, mikrovlnné, či senzory s kombináciami týchto technológií. Detekcia pohybu je významná pre bezpečnosť domácnosti alebo pre monitorovanie prítomnosti človeka v miestnosti. [44]

- **Únik vody**

Druhou najčastejšou príčinou poistných udalostí v domácnostiach je únik vody. Sensory na detekciu úniku vody umiestnené v blízkosti umývadiel, práčky, umývačky riadu, čerpadiel, či technických miestností, umožňuje odhaliť takéto úniky včas a zabrániť tak nožnej škode. [44]

- **Svetlo**

Pri osvetlení a tienení sú dôležité najmä senzory svetla. Ide o fotoelektrické senzory, ktoré premieňajú svetelnú energiu (fotóny) na elektrickú energiu. Existujú 2 populárne typy týchto sensorov, a to fotorezistory a fotodiódy. na základe nameraných hodnôt môže systém domácej automatizácie automaticky zvýšiť alebo znížiť úroveň osvetlenia v danej miestnosti. [11]

## 2.2.2 Akčné prvky

Aby dokázala centrálna jednotka domácej automatizácie meniť premenné prostredia, vyžaduje zapojenie zariadení, ktoré toto prostredie dokážu ovplyvňovať – tzv. akčné prvky alebo aktory. Medzi príklady niektorých základných akčných prvkov v domácnosti patria:

- **Reléové moduly**

Moduly s relé dokážu v praxi zapínať a vypínať takmer čokoľvek, čo sa k nim pripojí. V domácnostiach sa najčastejšie používajú moduly na inštaláciu do elektrických rozvádzačov, ako v prípade zariadení od spoločnosti Loxone. Dôležitým faktorom týchto modulov je napätie a maximálny prúd, ktorý dokážu spínať.

Príkladom takýchto modulov sú napríklad moduly od spoločnosti Denkovi<sup>2</sup>, ktoré umožňujú pripojenie prostredníctvom rôznych komunikačných rozhraní. [3]

- **Svetlá**

Okrem jednoduchého zapínania a vypínania svetla je pri dnešných svetlách možné nastaviť aj ich intenzitu. Niektoré typy svetiel podporujú tiež zmenu teploty bieleho svetla, či zmenu farby v režime RGB.

- **Termostaty**

Termostat je obvykle kombináciou senzora teploty a ovládača vykurovacieho telesa. Obvykle sa používajú na reguláciu teploty v celom objekte. Pre reguláciu jednotlivých miestností je možné využiť napríklad radiátorové termostatické hlavice.

- **Otvárače dverí**

Inteligentné zámky umožňujú odomykať dvere pomocou telefónu, či zariadení typu intercom, ktoré slúžia na komunikáciu s človekom pred vstupnými dverami. [35]

Na trhu je množstvo ďalších dostupných typov akčných prvkov pre rôzne využitia, pričom pravidelne pribúdajú nové, a to nie len v oblastiach ako osvetlenie, vykurovanie, či prístup do domácnosti, ale aj v nových oblastiach, akými sú ovládanie multimédií, inteligentných vysávačov, kosačiek, či riadenie zavlažovania.

---

<sup>2</sup><https://denkovi.com/>

## 2.3 Komunikačné rozhrania

Táto sekcia obsahuje prehľad komunikačných rozhraní používaných medzi jednotlivými hardvérovými súčiastkami vnútri zariadení, ale aj medzi zariadeniami navzájom. Popisuje univerzálne asynchrónne sériové rozhranie UART, rozhrania I2C, I2S a sériové periférne rozhranie SPI. Ďalej sa venuje rozhraniam používaným hlavne medzi zariadeniami, a to komerčným rozhraniam spoločnosti Loxone a protokolu MQTT.

### 2.3.1 UART

Univerzálne asynchrónne sériové rozhranie (universal asynchronous receiver/transmitter - UART) je hardvérový komunikačný protokol používajúci sériovú komunikáciu medzi 2 zariadeniami s variabilnou rýchlosťou bez synchronizačného hodinového signálu. Obvykle sa rozhranie používa s 2 linkami vedenými medzi zariadeniami, pričom pre každý smer komunikácie je vyčlenená jedna linka. Vzniká tak obojsmerné (full-duplex) rozhranie.

Prenos dát prebieha na základe vnútorného hodinového signálu odosielateľa, pričom príjemca sa pri prijímaní riadi vlastným interným hodinovým signálom. Základom je, aby mali odosielateľ a príjemca nastavenú rovnakú prenosovú rýchlosť (tzv. baud rate). V prípade, že tieto hodnoty nie sú rovnaké, dochádza obvykle k dezinterpretácii prijímaných dát na strane príjemcu.

Dáta prenášané rozhraním UART majú formu paketu, ktorý sa skladá zo 4 základných častí:

- **Štartovací bit**

Pokiaľ neprebíha komunikácia, linka je normálne nastavená na vysokej úrovni napätia. Na začiatku komunikácie dochádza k zmene úrovne na nízku na čas jedného taktu hodin. V momente, keď príjemca zachytí túto zmenu úrovne, začína čítať prenášané bity podľa frekvencie prenosovej rýchlosti.

- **Dátový rámec**

V dátovom rámci sa nachádzajú samotné prenášané bity – obvykle 5 až 8 bitov, no v prípade nepoužitia paritného bitu ich môže byť aj 9.

- **Paritné bity**

Ku dátovému rámci sa pripája paritný bit, na základe ktorého je možné určiť, či došlo k chybe pri prenose. V dátovom rámci sa spočíta počet bitov s hodnotou 1 a pokiaľ je ich počet párny, paritný bit má hodnotu 0, v opačnom prípade 1.

- **Stop bit**

na ukončenie komunikácie sa na záver odošle jeden alebo dva bity s vysokou hodnotou, po ktorých sa prenos končí.

Na UART je možné postaviť aj vyššie komunikačné protokoly vytvorením rámcov zložených z hlavičky, dát, či kontrolného kódu CRC. [27]

### 2.3.2 I2C

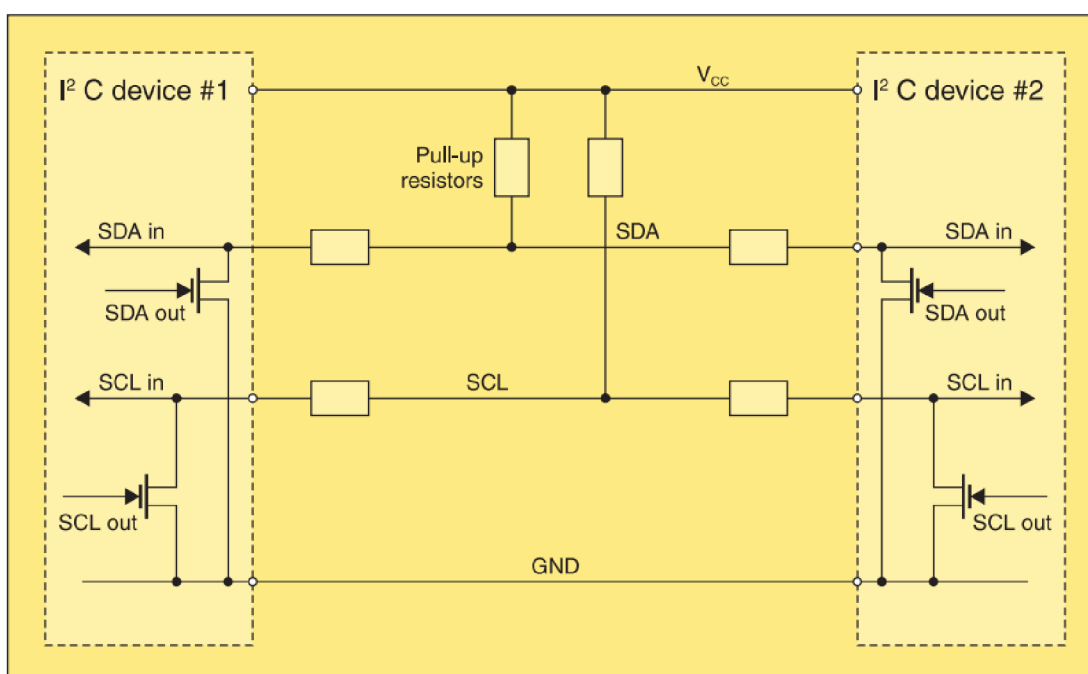
Inter-Integrated Circuit (IIC alebo tiež I2C) je komunikačná zbernica využívaná na prenos dát primárne vo vnútri vstavaných systémov medzi mikrokontrolérmi, prípadne ich perifériami. Medzi prednosť zbernice I2C patrí možnosť prepojenia väčšieho množstva zariadení

na jednu zbernicu s ľahkou infraštruktúrou využívajúcou iba 2 vodiče. To je však zároveň aj jej limitom, pretože v jednom momente môžu vzájomne komunikovať iba 2 zariadenia, aj to iba v režime half-duplex, pri ktorom sa dáta prenášajú vždy iba jedným smerom.

I<sup>2</sup>C využíva iba 2 signálové vodiče:

- **SDA** (serial data) slúži na prenos dát medzi zariadením, ktoré riadi komunikáciu (master), a podriadeným zariadením (slave).
- **SCL** (serial clock) udáva synchronizačný hodinový signál. Tento signál vždy udáva zariadenie, ktoré riadi komunikáciu.

Vodiče SDA a SCL sú cez tzv. pull-up rezistory napevno pripojené ku napájaciemu napätiu systému, čím je udržiavaná napätová úroveň vodičov v hodnote logickej 1. Ako je možné vidieť na obrázku 2.10, pri komunikácii zariadenia menia túto úroveň do hodnoty logickej 0. Veľkosť pull-up rezistorov je teda potrebné zvoliť tak, aby sa s frekvenciou hodinového signálu stihla vrátiť úroveň napätia na vodičoch do hodnoty logickej 1.



Obr. 2.10: Zbernica I<sup>2</sup>C s dvomi pripojenými zariadeniami (prevzaté z [16])

Pre výber cieľa komunikácie využíva protokol I<sup>2</sup>C adresovanie s adresami dĺžky 7 bitov alebo v rozšírenom režime 10 bitov. Pri 7-bitovom adresovaní by mohlo ľahko dôjsť k tomu, že by sa na jednej zbernici nachádzali 2 zariadenia s rovnakou adresou, keďže 7 bitov umožňuje adresovať pri teoretickom maxime iba 128 zariadení. Výrobcovia zariadení preto obvykle vyrábajú niekoľko variánt toho istého čipu s rôznymi adresami alebo pridávajú čipom ďalšie vstupné piny určené na externé nastavenie adresy.

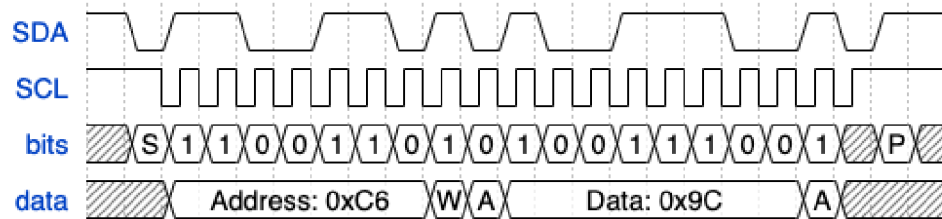
Rýchlosť prenosu dát je možné s prihliadnutím na kompatibilitu pripojených zariadení vybrať medzi týmito režimami:

- režim nízkej rýchlosti (low speed mode) - 10 kb/s



- štandardný režim (standard mode) - 100 kb/s
- rýchly režim (fast mode) - 400 kb/s
- rýchly režim + (fast mode +) - 1 Mb/s
- vysoko-rýchlostný režim (high speed mode) - 3,4 Mb/s

Režim nízkej rýchlosti a rýchly režim + sa vyskytujú iba pri niektorých implementáciách I2C a nie sú úplne bežné.



Obr. 2.11: Ukážka prenosu dát medzi zariadeniami master a slave so zápisom dát do zariadenia slave (prevzaté z [1])

Samotný prenos dát na zbernici I2C je znázornený na obrázku 2.11 a pozostáva štandardne z týchto častí:

#### 1. Štartovací bit

Štartovací bit udáva začiatok prenosu uvedením logickej úrovne na vodiči SDA do hodnoty 0, zatiaľ čo vodič SCL ešte nezačal prenášať hodinový signál a je v logickej hodnote 1.

#### 2. Adresa

Adresa pozostáva štandardne zo 7 bitov. Protokol definuje aj adresy rezervované na špeciálne účely. Takouto adresou je napr. adresa 0, ktorá je určená na zasielanie dát všetkým zariadeniam, ktoré podporujú tzv. general call. Ďalšou významnou je adresa začínajúca číslom 11110 (binárne), ktorá deklaruje režim adresovania s adresami dĺžky 10 bitov.

#### 3. Typ prenosu

Bit nasledujúci za adresou určuje smer prenosu dát. Ak ide o zápis dát do zariadenia slave, bit má logickú hodnotu 1, ak o čítanie, bit má hodnotu 0.

#### 4. Potvrdenie

Zariadenie slave s danou adresou odpovie potvrdzovacím (acknowledgement) bitom. Potvrdenie sa opakuje následne aj pri prenose dát.

#### 5. Dáta

Prenos dát prebieha v blokoch zložených z 8 bitov dát nasledovaných 1-bitovým potvrdením doručenia. Potvrdzovací bit odosiela vždy prijímajúca strana naspäť odošielateľovi. Týchto dátových blokov môže byť v závislosti od veľkosti prenášaných dát viac.

## 6. Koniec prenosu

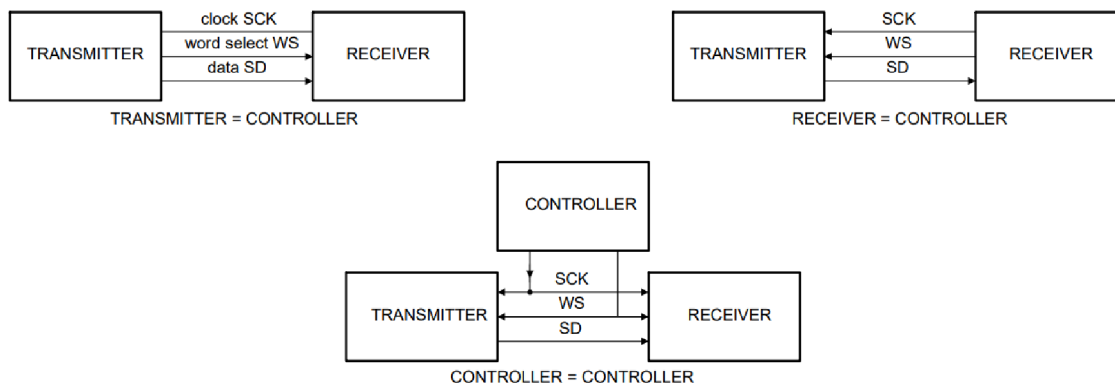
Prenos sa ukončuje uvedením zbernice do tzv. stop podmienok. Tie nastávajú v momente, keď hodinový signál SCL zostane v hodnote 1 a dátová linka SDA prejde z hodnoty 0 do hodnoty 1. Koniec prenosu nenastáva kedykoľvek, ale vždy po doručení celistvého dátového bloku vrátane potvrdenia.

I2C sa označuje ako tzv. multi-master protokol. Komunikáciu totiž nemusí riadiť jediné konkrétne master zariadenie, ale riadenie môže kedykoľvek prevziať na tej istej zbernici aj iné zariadenie. [16]

### 2.3.3 I2S

Inter-IC sound (I2S) je sériová zbernica určená na prenos audio dát medzi integrovanými obvodmi. Bola vyvinutá v roku 1986 spoločnosťou Philips Semiconductors čisto za účelom prenosu audio dát a ich oddeleniu od iných riadiacich komunikačných zberníc. Za účelom minimalizácie potrebných pinov pozostáva zbernica z 3 signálových vodičov:

- **SCK** (serial clock) - hodinový signál určený pre prenos časovo multiplexovaných audio dát na vodiči SD
- **WS** (word select) - výber slova, ktorý slúži na výber konkrétneho kanála (ľavého alebo pravého), ktorý sa má prenášať,
- **SD** (serial data) - vodič, po ktorom sa prenášajú sériové audio dáta od vysielača k prijímaču.

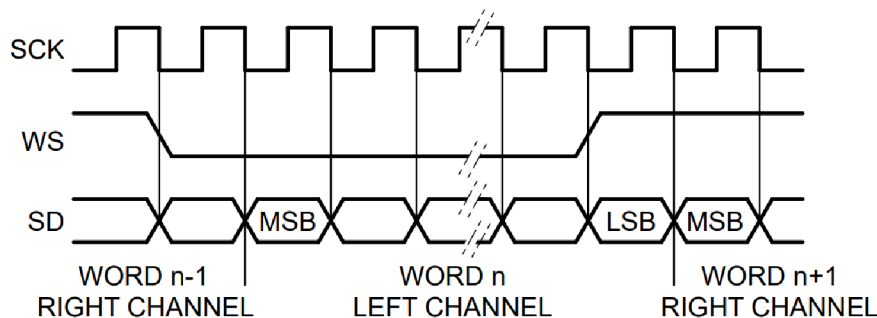


Obr. 2.12: Typy systémových konfigurácií zbernice I2S [21]

Obrázok 2.12 znázorňuje niektoré základné typy konfigurácii systému. Vysielač ako ovládač musí generovať hodinový signál, signál výberu slova a dáta. V zložitých systémoch však môže byť niekoľko vysielačov a prijímačov, čo sťažuje definovanie ovládača. V takýchto systémoch je zvyčajne systémový ovládač, ktorý riadi tok digitálnych audio dát medzi rôznymi integrovanými obvodmi. Vysielače potom musia generovať dáta pod kontrolou externých hodín.

Vysielač a prijímač nemusia mať vopred schválenú dĺžku slova prenášanú po SD vodiči. Vysielač vysiela dáta, ktoré má, a prijímač prijíma dáta, ktoré dokáže použiť. Na obr. 2.13 je ukážka prenosu dát prostredníctvom zbernice, kde je vidieť, že protokol využíva

každú periódu hodin a nenecháva medzery medzi LSB (least significant bit - bit s najnižším významom) z jedného slova a MSB (most significant bit - bit s najvyšším významom) z nasledujúceho prenášaného slova.



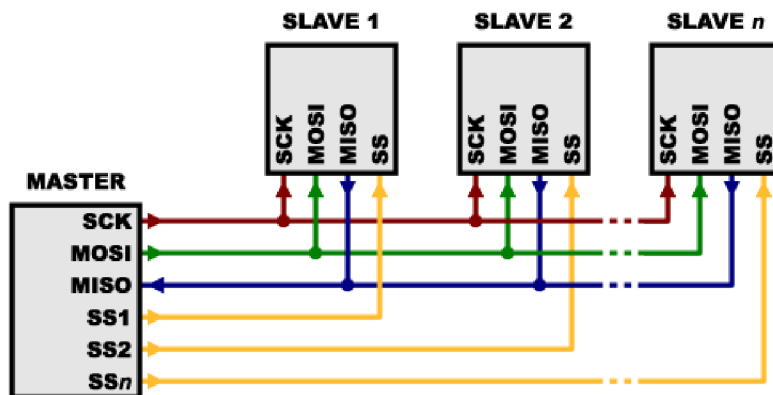
Obr. 2.13: Ukážka prenosu dát zbernicou I2S (prevzaté z [21])

Signál WS pri logickej hodnote 0 vyberá na prenos kanál č. 1 (ľavý) a pri logickej hodnote 1 kanál č. 2 (pravý). WS sa mení vždy jednu periódu pred samotným prenosom nasledujúceho slova. To umožňuje cieľovému vysielateľu odvodiť synchronne časovanie sériových dát, ktoré budú nastavené na prenos. Ďalej umožňuje prijímaču uložiť predchádzajúce slovo a vymazať vstup pre ďalšie slovo.

Protokol I2S nešpecifikuje maximálnu rýchlosť prenosu dát. Ktorékoľvek zariadenie môže zastávať riadiacu rolu systému tým, že dodáva nevyhnutný hodinový signál, od ktorého si cieľové zariadenia odvodí svoj interný hodinový signál. Hodinový signál je zároveň v porovnaní s protokolom I2C nepretržitý. Zároveň je pri protokole I2S vďaka jeho point-to-point charakteru možné vynechať pull-up rezistory a vďaka použitiu signálu WS aj vynechať réžiu zbernice spojenú s adresovaním. [21]

### 2.3.4 SPI

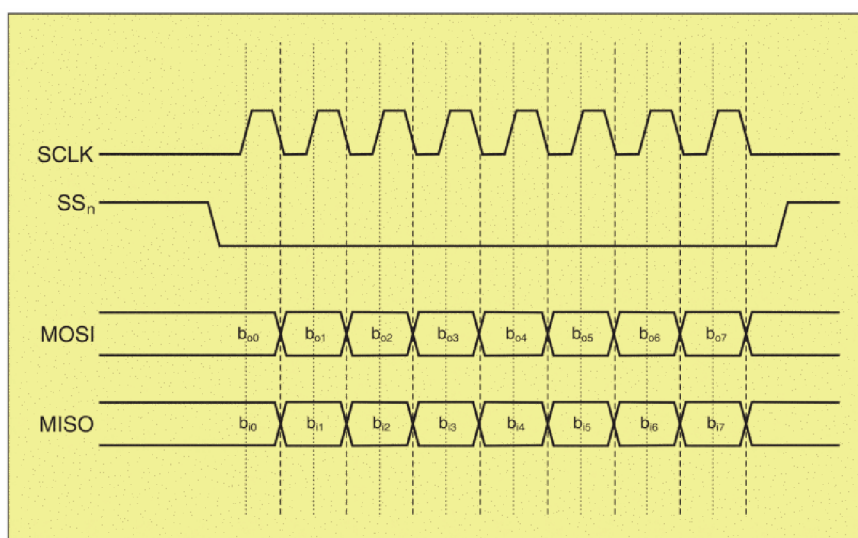
Sériové periférne rozhranie (serial peripheral interface - SPI) je komunikačná zbernica, ktorá bola vytvorená za účelom prenosu dát medzi digitálnymi komponentami vo vstavaných systémoch. Využíva sa pri komunikácii na krátke vzdialenosti medzi mikrokontrolérmi a ich periférnymi zariadeniami. Je založená na princípe master - slave, teda jedno hlavné (master) zariadenie iniciuje komunikáciu s ostatnými (slave) zariadeniami, ktoré sú k nemu pripojené.



Obr. 2.14: Prepojenie zariadení master a slave<sup>3</sup>

Prenos zabezpečujú 4 vodiče medzi zariadeniami master a slave (viď obr. 2.14):

- **SCLK** (serial clock) udáva synchronizačný hodinový signál. Jeho základná logická hodnota počas doby nečinnosti môže byť 1 alebo 0 v závislosti od konkrétneho nastavenia systému.
- **MOSI** (master out slave in) slúži na prenos bitov z posuvného registra zariadenia master do posuvného registra zariadenia slave.
- **MISO** (master in slave out) naopak slúži na prenos bitov posuvného registra zariadenia slave do registra zariadenia master.
- **SS** (slave select), označovaný tiež CS (chip select), sa používa na výber zariadenia slave, s ktorým zariadenie master komunikuje. Master má obvykle týchto vývodov viac, a na základe toho, s ktorým slave zariadením chce komunikovať, nastaví príslušný vývod SS na logickú úroveň 0.



Obr. 2.15: Dátový prenos prostredníctvom rozhrania SPI (prevzaté z [16])

Na začiatku prenosu je potrebné uviesť SS vývod smerujúci k vybranej periférii do hodnoty logickej nuly. S každým taktom sa presunie medzi zariadeniami master a slave 1 bit (viď obr. 2.15). Na prenos 8-bitového registra je nutné počkať 8 taktov signálu SCLK. [16]

### 2.3.5 Loxone Link, Tree a Air

Rozhrania Link, Tree a Air od spoločnosti Loxone slúžia na prepojenie ich vlastných zariadení. Všetky tieto rozhrania sú teda uzavreté, no vďaka nim a použitiu rozširujúcich modulov je možné systém Loxone rozšíriť o mnohé otvorené rozhrania.

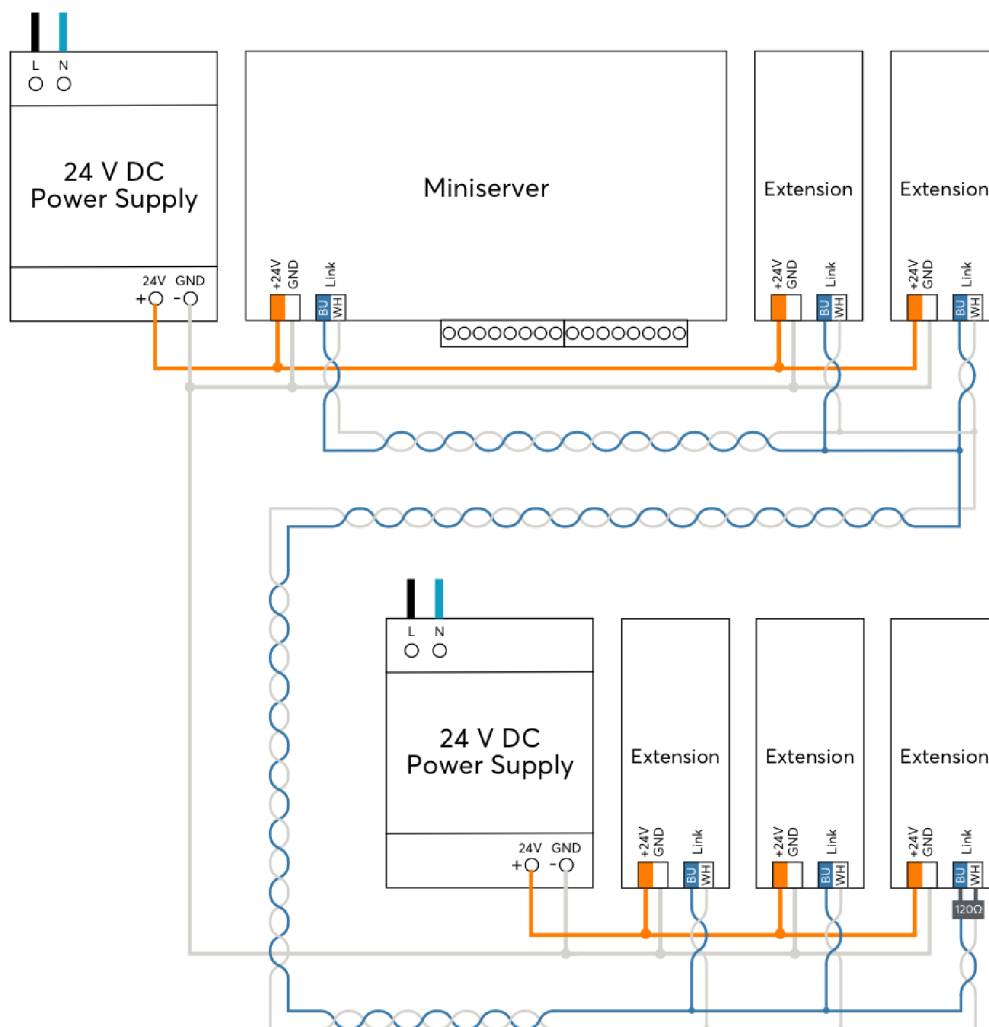
### 2.3.6 Loxone Link

Loxone Link umožňuje prepojenie centrálného Miniservera a rozširujúcich Extension modulov. Je to rozhranie s 2 vodičmi a umožňuje pripojiť až 30 ďalších modulov. na prepojenie

<sup>3</sup>Prevzaté z URL: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi>

v celej budove sa používa kábel CAT5, CAT6 alebo CAT7, vďaka čomu môže mať rozhranie dĺžku až do 500 metrov. Rozhranie je nutné zakončiť pri poslednom rozširujúcom module prepojením jeho vodičov zakončovacím odporom s hodnotou 120  $\Omega$ .

Na obr. 2.16 je možné vidieť ukážku prepojenia Miniservera s rozširujúcimi modulmi pomocou rozhrania Link. Ak sú zariadenia napájané z viacerých rôznych zdrojov (napr. v inej časti domu), je potrebné pre správnu funkčnosť prepojiť spolu ich zeme. [17]



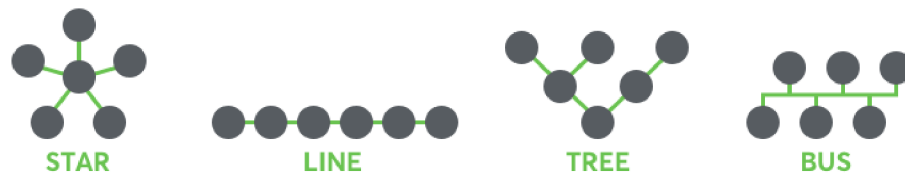
Obr. 2.16: Ukážka prepojenia rozširujúcich modulov pomocou rozhrania Loxone Link (prevzaté z [17])

### 2.3.7 Loxone Tree

Rozhranie Loxone Tree prepája Miniserver alebo rozširujúce moduly Tree Extension s ďalšími zariadeniami Loxone umiestnenými v celom objekte. Medzi tie patria napr. inteligentné vypínače Touch Tree, rôzne druhy osvetlenia, senzory pohybu, radiátorové hlavice, moduly s relé, RGBW moduly pre LED svietidlá, či Intercom pre riešenie prístupu do objektu.

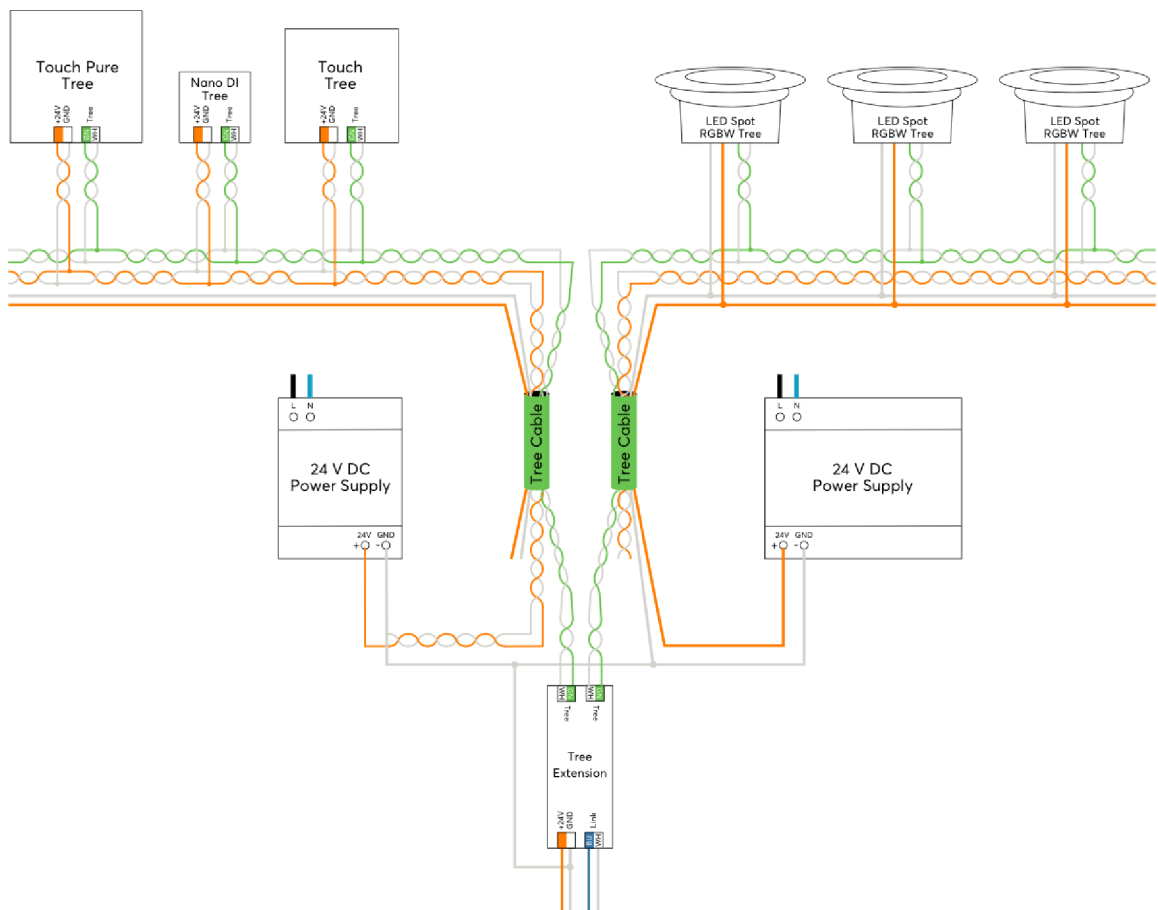
Ku jednej vetve rozhrania Tree je možné pripojiť až 50 zariadení a môže mať maximálnu dĺžku až 500 metrov. Zariadenia je možné zapájať v rôznych topológiách, ktoré znázorňuje

obr. 2.17. Patrí medzi ne zapojenie za sebou, hviezdicové zapojenie, stromové zapojenie alebo zapojenie v podobe zbernice.



Obr. 2.17: Dátový prenos prostredníctvom rozhrania SPI (prevzaté z [17])

Spoločnosť vyrába pre toto rozhranie aj špecifický kábel, ktorý obsahuje 2 žily pre dátové rozhranie Tree, 2 žily pre napájanie zariadení s napätím 24 V a 2 žily s väčším prierezom vodiča (1,5 mm<sup>2</sup>) pre pripojenie zariadení s vyšším odberom (napr. svetlá). Maximálna dĺžka vodiča 500 m však platí iba pre dátový vodič. V prípade napájania je dôležité zobrať do úvahy stratu napätia s narastajúcou dĺžkou kábla. Obr. 2.18 ukazuje vzorové zapojenie zariadení pomocou tejto kabeláže. [17]



Obr. 2.18: Ukážka zapojenia zariadení pomocou rozhrania Tree a špeciálnej Tree kabeláže (prevzaté z [17])

### 2.3.8 Air

Loxone Air je bezdrôtové rozhranie pre komunikáciu rôznych typov zariadení systému Loxone. Ide napríklad o bezdrôtové varianty zariadení, ktoré sú určené pre rozhranie Tree, ale aj Multi Extension Air, viaceré senzory, či diaľkové ovládače. Produkty s rozhraním Air sú primárne určené pre miesta, kde nie je možné priviesť kabeľáž pre rozhranie Tree.

Air funguje v Európe na frekvencii 868 MHz a využíva 4 kanály, a to 868,3 MHz, 865,3 MHz, 866,3 MHz a 867,3 MHz. na jeden Air Base Extension je možné napojiť až 128 rôznych Air zariadení. Z informácií dostupných u výrobcu je možné zistiť, že protokol Air je šifrovaný technológiou IPSec a využíva technológiu Mesh, pri ktorej každé zariadenie okrem prijímania dát zároveň tieto dáta posiela ďalej, čím sa zväčšuje dosah signálu. [17]

### 2.3.9 MQTT

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) je komunikačný protokol vyvinutý pre aplikačnú vrstvu modelu TCP/IP. Je založený na komunikácii klienta so serverom s využitím publish/subscribe (publikovanie/odoberanie) vzoru komunikácie. Je ľahký, otvorený, jednoduchý a navrhnutý tak, aby sa dal ľahko implementovať. Vďaka týmto vlastnostiam je ideálny na využitie v mnohých situáciách v prostredí, kde nie je priestor na zložitú formu komunikácie. Ide napríklad o komunikáciu M2M (Machine to Machine), teda komunikáciu stroja so strojom alebo v zariadeniach internetu vecí (IoT), kde je vyžadovaná čo najkratšia komunikačná stopa alebo je dôležitá šírka využitého prenosového pásma siete. [22]

#### Publikovanie/Odobranie

Alternatívou tradičnej klient-server architektúry, kde klient priamo komunikuje s koncovým bodom, je vzor publish/subscribe (publikovanie/odoberanie) alebo skrátene pub/sub. Model pub/sub oddeľuje klienta, ktorý odosiela (publikuje) správu od klienta alebo klientov, ktorí správu prijímajú (odberateľov). Odosielatelia a prijímatelia sa nikdy priamo nekontaktujú a ani nemusia vedieť o vzájomnej existencii. Spojenie má na starosti tretia strana – broker (sprostredkovateľ). Jeho úlohou je filtrovať prichádzajúce správy a distribuovať ich správne odberateľom.

Oddelenie komunikujúcich strán má niekoľko rozmerov:

- priestorové oddelenie – odosielateľ a odberateľ sa nemusia vzájomne poznať,
- časové oddelenie – odosielateľ a odberateľ nemusia bežať súčasne v tom istom čase
- oddelenie synchronizácie – operácie na oboch stranách nie je nutné prerušovať počas odosielania alebo prijímania.

MQTT používa filtrovanie správ na základe témy / predmetu (topic), podľa ktorého broker dokáže určiť, ktorým odberateľom má dané správy preposlať.

#### Klient/Sprostredkovateľ

Za klienta je považované každé zariadenie, ktoré je pripojené ku MQTT sprostredkovateľovi. Označenie odosielateľ a odberateľ je použité len na označenie, či daný klient správy odosiela alebo prijíma. Jeden klient však môže byť zároveň odosielateľom aj odberateľom správ.

Klientom môže byť akékoľvek zariadenie, napríklad veľmi malé zariadenie s obmedzenými zdrojmi, ktoré sa pripája cez bezdrôtovú sieť a má minimálnu knižnicu MQTT, alebo

aj typický počítač s grafickým klientom MQTT určeným na testovacie účely. Klientská implementácia protokolu je priamočiara a má efektívnu implementáciu, čo je jedným z dôvodov, prečo je MQTT ideálne pre malé zariadenia. Knižnice pre MQTT klientov sú dostupné pre veľké množstvo programovacích jazykov a nástrojov, ako C, C++, C#, Go, Java, JavaScript, .NET, Android, iOS, Arduino a ďalšie.

Sprostredkovateľ (broker) je srdcom pub/sub protokolu a môže v závislosti od implementácie obsluhovať až milióny súčasne pripojených klientov. Sprostredkovateľ je zodpovedný za prijímanie všetkých správ, ich filtrovanie, určovanie, kto je prihlásený na ich odber, a odosielanie správ týmto prihláseným klientom. Uchováva tiež údaje o aktuálnych reláciách všetkých klientov, ktorí majú trvalé relácie, vrátane odberov, či zmeškaných správ. Ďalšou zodpovednosťou brokera je autentifikácia a autorizácia klientov. [9]

### **Kvalita služby (Quality of Service – QoS)**

Úroveň kvality služby (QoS) je dohoda medzi odosielateľom správy a príjemcom správy, ktorá definuje záruku doručenia konkrétnej správy.

V MQTT sú definované 3 úrovne kvality služby:

- **QoS level 0**

Pri úrovni 0 neexistuje žiadna garancia doručenia správy. Príjemca nepotvrdzuje prijatie správy a správa nie je uložená za účelom jej opätovného odoslania. Je označovaná aj ako "odošli a zabudni".

- **QoS level 1**

Táto úroveň zaručuje doručenie správy aspoň raz. Odosielateľ uloží správu, kým nedostane od príjemcu potvrdenie o jej prijatí. Ak odosielateľ nedostane po určitom čase potvrdenie, správu odošle znova. Ak je príjemcom správy sprostredkovateľ, odošle správu všetkým odberateľom a až následne odošle potvrdenie o doručení odosielateľovi správy. Správy sú označené identifikátorom, aby bolo možné určiť, ktorej správe patrí potvrdenie o doručení.

- **QoS level 2**

Najvyššia úroveň služieb zaručuje, že každú správu dostanú príjemcovia iba raz. Level 2 je najbezpečnejší, ale zároveň najpomalší level kvality služieb. Medzi odosielateľom a príjemcom prebiehajú 2 toky žiadostí a odpovedí, ktoré poskytujú záruku doručenia. Kvôli koordinácii doručenia je paket pôvodnej správy označený identifikátorom.

Kvalita služby je definovaná samostatne pre správy medzi odosielateľom a sprostredkovateľom a medzi sprostredkovateľom a odberateľom. Pri publikovaní správy sprostredkovateľovi definuje kvalitu služby odosielateľ. Pri odosielaní správy od sprostredkovateľa ku odberateľovi určuje kvalitu služby odberateľ pri úvodnom prihlásení k odberu danej témy u sprostredkovateľa. Ak je kvalita služby určená odberateľom nižšia ako kvalita definovaná odosielateľom, sprostredkovateľ odošle odberateľovi správu s nižšou úrovňou kvality služby.

### **Bezpečnosť**

Protokol MQTT je možné zabezpečiť na viacerých úrovniach modelu TCP/IP. Na sieťovej úrovni je to možné napr. pomocou pripojenia klientov a sprostredkovateľa prostredníctvom virtuálnej privátnej siete (VPN), či inou formou oddelenia siete. Na transportnej vrstve je možné prenos dát zabezpečiť šifrovaním pomocou protokolu TLS/SSL.

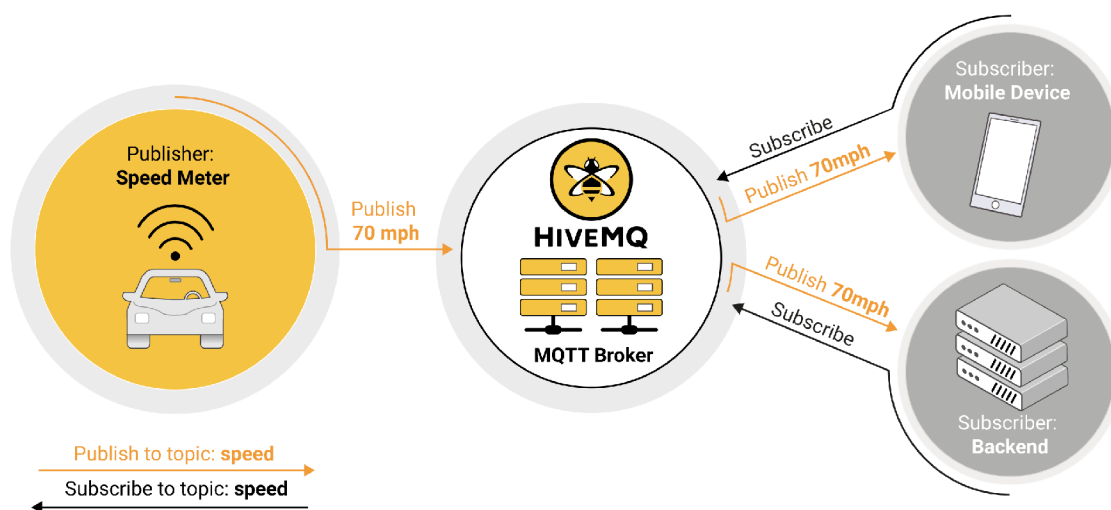


Pri týchto vrstvách je dôležité uvedomiť si citlivé miesta operačného systému, kde sprostredkovateľský softvér (broker) beží. Ide najmä o porty a nastavenie ich dostupnosti z verejnej siete, teda celkovo kvalitný firewall.

Na aplikačnej vrstve je protokol zabezpečený pomocou autentifikácie klientov s použitím užívateľského mena a hesla. Okrem tohoto zabezpečenia je možné šifrovať aj samotný obsah správ posielaných prostredníctvom MQTT a zabezpečiť tým ďalšiu vrstvu zabezpečenia. [9]

### Príklad komunikácie

Na obr. 2.19 je zobrazená architektúra a zjednodušená ukážka komunikácie prostredníctvom protokolu MQTT. V strednej časti je sprostredkovateľ (broker) – v tomto prípade od spoločnosti HiveMQ. Po stranách sú klienti, pričom naľavo ide o odosielateľa (publisher) a vpravo o odoberateľov (subscribers). Príklad ukazuje odosielanie aktuálnej rýchlosti z vozidla sprostredkovateľovi na tému (topic) s názvom **speed** (rýchlosť). Zvyšní klienti sa pripojili na odber témy s názvom **speed**, na základe čoho sprostredkovateľ odošle týmto klientom správu s rýchlosťou.



Obr. 2.19: Ukážka komunikácie prostredníctvom MQTT (prevzaté z [9])

V ukážke sú vynechané úvodné správy pri pripojení klientov a potvrdzovacie správy o doručení, ktoré sú však závislé od definovanej úrovne kvality služby. [9]

## Kapitola 3

# Softvérové riešenia pre domácu automatizáciu

### 3.1 OpenHAB

Open Home Automation Bus (openHAB) je open-source softvér na domácu automatizáciu. Jeho hlavným cieľom je vyriešiť problém mnohých systémov od rôznych výrobcov, ktorí vyvíjajú vlastné platformy s vlastnými domácimi centrálnymi, ktoré sú vzájomne nekompatibilné a nedokážu spolu komunikovať. OpenHAB tvorí centrálu domácej automatizácie, ktorá v sebe umožňuje integrovať ovládanie množstva rôznych zariadení a systémov od rôznych výrobcov, čím dáva možnosť ich vzájomného prepojenia v rámci jedného systému.

OpenHAB sa nesnaží nahrádzať existujúce riešenia, ale snaží sa ich vylepšiť. Je možné ho pomenovať aj ako systém systémov, ktorý poskytuje akúsi abstrakciu od samotných zariadení a zameriava sa na jednoduché každodenné používanie. Samotné podsystémy sú teda konfigurované nezávisle a OpenHAB iba používa ich rozhrania na ich ovládanie, či získavanie potrebných dát.

Softvér je postavený na niekoľkých základných konceptoch:

- **Things**

Things (z angličtiny veci) sú entity, ktoré môžu byť fyzicky pridané do systému. Môžu poskytovať viac funkcií - napr. meranie teploty a detekciu pohybu v jednom zariadení. Nemusia to byť len fyzické zariadenia, ale aj webové služby, či akékoľvek zdroje informácií alebo funkcií.

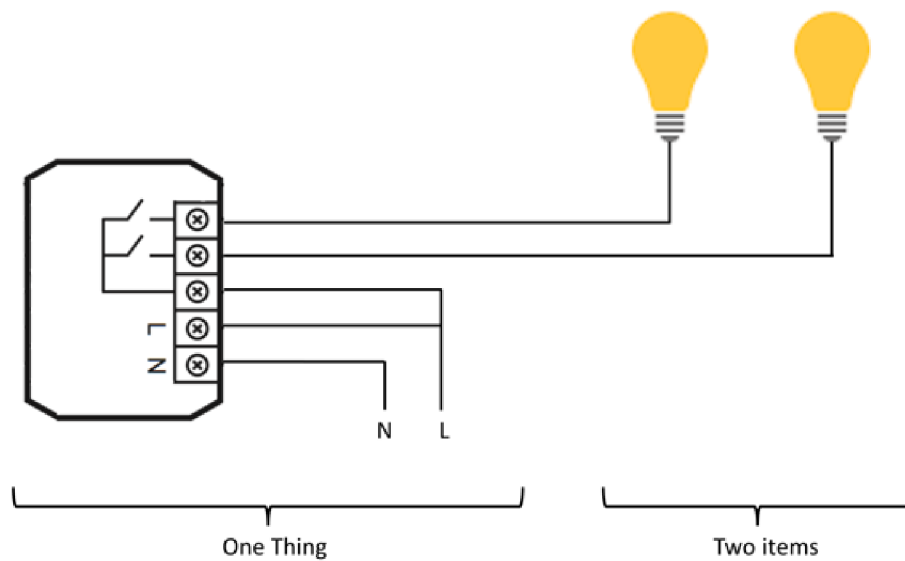
- **Bindings**

Väzby sú akési softvérové adaptéry slúžiace na prístupenie vecí systému. Poskytujú spôsob prepojenia položiek

- **Items**

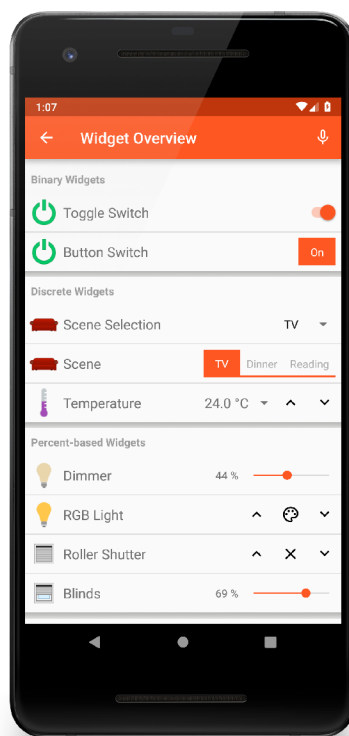
Položky (anglicky items) reprezentujú schopnosti, ktoré môžu používať aplikácie. Majú svoj stav a môžu dostávať príkazy.

Ilustrácia konceptu vecí (things) a položiek (items) je zobrazená na obr. 3.1. na ľavej strane je vidieť zariadenie plniace funkciu relé, ktoré zodpovedá za zapínanie 2 žiaroviek. Zariadenie je chápané ako vec a žiarovky ako položky, ktoré je možné osobitne prostredníctvom tohoto zariadenia ovládať.



Obr. 3.1: Ukážka konceptu platformy OpenHAB (prevzaté z [23])

OpenHAB má k dispozícii niekoľko rôznych typov grafických užívateľských rozhraní, z ktorých si používateľ môže vybrať a prispôbiť si dané rozhranie podľa seba. Ide o webové rozhrania, ku ktorým sa prístupuje cez prehliadač, no okrem nich sú k dispozícii aj aplikácie pre operačné systémy Android, iOS a Windows 10. Na obr. 3.2 je zobrazená ukážka takejto aplikácie na mobilnom zariadení s operačným systémom Android.



Obr. 3.2: Ukážka aplikácie OpenHAB na operačnom systéme Android (prevzaté z [23])

## Platformy

Systém je napísaný v jazyku Java a podporuje viaceré platformy. Užívatelia, ktorí plánujú systém iba testovať, môžu využiť bežný počítač alebo Mac a operačné systémy Windows, Linux (Ubuntu, Debian, RedHat, CentOS, Fedora atď.) alebo MacOS. Obvyklejšie je však využitie nástroja OpenHAB v nepretržitej prevádzke na dedikovaných platformách, ktoré by poskytovali nepretržitý prístup k internetu, dostatočné možnosti pripojenia periférií, energetickú efektívnosť, nezaberali veľa miesta a umožňovali rozšíriteľnosť pre ďalší softvér (napr. MQTT server). Medzi takéto platformy patrí napr. populárne Raspberry Pi vo verziách 3B a 4B alebo domáce NAS (Network-attached storage) servery ako Synology DiskStation. [23]

## 3.2 Home Assistant

Home Assistant je voľne dostupný open-source softvér na domácu automatizáciu navrhnutý ako centrálny riadiaci systém pre inteligentné domáce zariadenia so zameraním na lokálne ovládanie a súkromie. Je určený najmä pre využitie na samostatných platformách s nonstop prevádzkou, pričom ku prístupu a ovládaniu sa následne používa webové rozhranie, mobilné aplikácie pre Android alebo iOS, alebo virtuálny asistent ako Google Assistant, či Amazon Alexa.

Hlavným cieľom softvéru Home Assistant je, podobne ako v prípade softvéru OpenHAB, možnosť integrácie množstva zariadení a systémov od rôznych výrobcov. Home Assistant ich priamo podporuje niekoľko tisíc, ďalšie je však možné integrovať prostredníctvom rôznych komunikačných protokolov a zberníc, medzi ktoré patrí napr. MQTT, The Things Network, Modbus, KNX, Zigbee.

### Verzie a podporované platformy

Home Assistant je dostupný v niekoľkých verziách. Najviac preferovaná a používaná je verzia Home Assistant Operating System, čo je odľahčený a optimalizovaný operačný systém s požadovanými minimálnymi nárokmi pre Home Assistant. Druhou je Home Assistant Container, teda samostatná kontajnerová inštalácia Home Assistant Core určená napr. pre Docker. Medzi alternatívne verzie patria Home Assistant Supervised a Home Assistant Core, ktorý je potrebné inštalovať manuálne s použitím virtuálneho prostredia jazyka Python. Existujú aj ďalšie alternatívne možnosti inštalácie, ktoré sú určené napr. pre NAS servery.

Medzi najpoužívanejšie platformy pre Home Assistant patrí Raspberry Pi verzie 3 alebo 4, ODROID, Asus Tinkerboard, no nemá problém ani s generickými procesormi typu x86-64, ako napr. pri Intel NUC. Typicky teda ide o dedikovaný hardvér za účelom vyššej efektivity pri nepretržitej prevádzke. Home Assistant je však možné prevádzkovať aj na bežných počítačoch s operačným systémom Windows, MacOS alebo Linux, a to ideálne formou virtuálneho stroja s Home Assistant Operating System alebo inštalovaním verzie Core. Vhodnou alternatívou sú aj už spomenuté NAS servery s použitím virtuálneho stroja alebo kontajnera v nástroji Docker.

### Podporované integrácie

Integrácia je akýmsi adaptérom medzi reálnymi fyzickými zariadeniami, systémami, či webovými službami, a prostredím Home Assistant. Takýto adaptér predstavuje napríklad implementáciu špecifického komunikačného protokolu so zariadením tretej strany - napr. komunikačnou bránou od výrobcu termostatických radiátorových hlavíc. Integrácia umožňuje

využiť dáta z týchto zariadení štandardným spôsobom v prostredí Home Assistant, a taktiež dané zariadenia ovládať.

Systém podporuje aktuálne takmer 2000 takýchto integrácií, medzi ktoré patria napr. zabezpečovacie systémy, rôzne typy senzorov, komunikačné brány pre multimediálne systémy, domáce spotrebiče ako práčky a chladničky, inteligentné vypínače, reléové spínače, klimatizácie, vykurovacie telesá, sieťové smerovače, NAS servery, geolokačné systémy, kamery, systémy prevodu textu na reč, systémy ovládania hlasom a mnohé iné.

## **Konfigurácia**

Pri prvotnej konfigurácii systému je potrebné nastaviť základné parametre ako užívateľa, názov priestoru a polohu priestoru. Systém následne vyhľadá všetky automaticky identifikovateľné zariadenia nachádzajúce sa v lokálnej sieti. Následne systém užívateľa presmeruje na dashboard, čo je akýsi základný panel so všetkými dostupnými dátami a možnosťami ovládania. Po úvodnom nastavení obsahuje iba základné dáta a obvykle si vyžaduje ďalšiu detailnejšiu konfiguráciu.

Nastavenia dostupné prostredníctvom webového rozhrania a mobilných aplikácií umožňujú iba čiastočné konfigurovanie systému. To zahŕňa základné nastavenie tzv. integrácií - vopred pripravených zariadení a systémov podporovaných softvérom Home Assistant, nastavenie týchto zariadení, či umiestnenie zariadení vrámci konkrétnych priestorov.

Podrobnejšia konfigurácia je pre laického používateľa na prvý pohľad trochu komplikovanejšia, keďže sa vykonáva úpravou konfiguračných súborov vo formáte YAML. Webová stránka Home Assistant však obsahuje detailný návod na ich úpravy a možnosti integrácie ďalších zariadení, ktoré zatiaľ nie sú pokryté predpripravenými integráciami od tvorcov softvéru Home Assistant.

## **Automatizácia**

Home Assistant má ako centrála inteligentnej domácnosti nazbierané dáta, a má možnosti ovládania rôznych zariadení. To otvára možnosti ich využitia pre domácu automatizáciu. Home Assistant ponúka 2 základné možnosti tvorby automatizácie. Prvou je využitie komunitou vopred pripravených návrhov (tzv. blueprints), z ktorých si používateľ podľa potreby vyberie a nakonfiguruje podľa potrieb daného návrhu. Druhou možnosťou je využitie editora automatizácií, kde si používateľ môže podrobne nastaviť typ spúšťača (napr. pokles teploty pod určitú hranicu alebo príchod osoby do domu), podmienky spustenia (napr. vonku je tma) a napokon akciu, ktorá sa má vykonať (napr. zapnutie vykurovania, zapnutie svetla a pod.).

## **Dashboard**

Dashboard (prístrojový panel) je pre používateľov rýchla, prispôsobiteľná a výkonná cesta na riadenie ich inteligentnej domácnosti s použitím mobilných zariadení alebo počítačov. Home Assistant poskytuje 29 rôznych kariet, ktoré je možné umiestniť na dashboard. Väčšina z nich sú akési prázdne schránky, ktoré poskytujú formu pre zobrazenie dát z jednotlivých zariadení, či formu spôsobu ich ovládania. Na základe použitých zariadení teda používateľ vyberie vhodné karty a nakonfiguruje ich tak, aby zodpovedali požadovanému zobrazeniu nameraných dát alebo ovládačom špecifických zariadení.

Medzi základné karty patria napríklad: entita, senzor, tlačidlo, svetlo, termostat, meradlo, predpoveď počasia, štatistický graf, graf histórie, priestor, kalendár, energie, pohľad

(obsahujúci viacero údajov) obrázkov, ovládač médií, mapa, denník udalostí, a mnoho ďalších.

Dashboard je možné rozdeliť na viacero záložiek, tzv. pohľadov (Views), ktoré je možné využiť napr. na oddelenie miestností, poschodí, či oddelenie interiérov od exteriérov. Všetky karty, pohľady, ako aj samotný dashboard, umožňujú zmenu vzhľadu, nastavenie tém, či pridanie vlastného pozadia.

## Doplňky

Home Assistant nie je obmedzený len na samotný softvér Home Assistant, ale ponúka aj zaujímavé rozširujúce doplnky (Add-ons). Medzi tie zaujímavejšie patrí AdGuard – blokátor reklamy na báze DNS, automatizačné nástroje tretích strán (napr. NodeRed) alebo funkcia cieľového zariadenia Spotify Connect. Ďalej sú to rôzne druhy databázových systémov, DNS, či systémových ovládačov.[10]

## 3.3 Node-RED

Node-RED je programovací nástroj založený na toku (flow-based), pôvodne vyvinutý tímom IBM's Emerging Technology Services a aktuálne je súčasťou OpenJS Foundation.

Programovanie založené na toku vynašiel v 70. rokoch 20. storočia J. Paul Morrison. Predstavuje spôsob, ako opísať správanie aplikácie pomocou siete "čiernych"boxov alebo uzlov (node), ako sú nazvané v Node-RED. Každý uzol má presne definovaný účel – dostane nejaké údaje, ktoré spracuje podľa definovaných vzorcov, a potom tieto údaje odovzdá ďalej. Sieť je zodpovedná za tok dát medzi uzlami.

Tento typ programovania je veľmi vhodný na vizuálnu reprezentáciu a stáva sa tým dostupnejším pre širší okruh používateľov. Ak užívateľ dokáže rozložiť problém na jednotlivé kroky, môže získať predstavu o funkcii celého toku (flow) aj bez toho, aby rozumel jednotlivým riadkom kódu v rámci každého uzla.

Node-RED pozostáva zo softvéru bežiaceho na pozadí, ktorý je postavený na Node.js. Užívateľ sa k nemu môže pripojiť prostredníctvom webového prehliadača a priamo v prehliadači vytvorí svoju aplikáciu. V prostredí Node-RED je k dispozícii paleta s dostupnými uzlami, z ktorej užívateľ presúva uzly do pracovného priestoru, kde ich následne môže spájať. Paletu týchto uzlov je možné jednoducho rozšíriť inštaláciou nových uzlov vytvorených komunitou užívateľov. Toky, ktoré užívateľ vytvorí, je možné zdieľať ako súbory vo formáte JSON. Užívateľ po vytvorení toku dokáže jedným kliknutím dostať svoje nastavenia do zariadenia, kde fyzicky Node-RED beží, a ihneď ich uplatniť. [24]

### Uzly (Nodes)

Uzol (node) je základný element nástroja Node-RED a môže reprezentovať rôzne veci. Pôvodným účelom uzlov bolo reprezentovať správy protokolu MQTT. Po rozšírení existujú uzly reprezentujúce rôzne fyzické aj virtuálne prvky, napr. vstupné, či výstupné piny počítača Raspberry Pi, rôzne externé zariadenia, ako napr. relé, či domáce spotrebiče, ale aj virtuálne prvky, ako napr. prvky systému Home Assistant – tlačidlá, senzory a ďalšie.

Okrem rozširujúcich uzlov existuje niekoľko hlavných typov uzlov, ktoré tvoria predvoľený súbor uzlov určených na tvorbu blokov a tokov. Patria medzi ne tieto typy uzlov:

- **Inject**

Uzol typu Inject (vložiť) možno použiť na automatické spustenie tokov v pravidelných

intervaloch alebo manuálne spustenie toku kliknutím na tlačidlo uzla priamo v editore. Správa odoslaná uzlom Inject môže mať nastavenú tému a obsah, pričom tento obsah môžu tvoriť rôzne dátové typy ako textový reťazec, číslo, časovú značku a ďalšie.

- **Debug**

Pri ladení tokov je vhodné využiť uzol typu Debug (ladiť), ktorý umožňuje zobrazit správy z miesta, kde je v rámci pracovného priestoru toku umiestnený. Tieto správy sa zobrazujú v bočnom ladiacom okne, ale je možné ich zároveň ukladať do záznamu o činnosti.

- **Function**

Funkčný uzol umožňuje použiť na spracovanie prichádzajúcej správy pred jej odoslaním ďalej funkcie napísané v jazyku JavaScript.

- **Change**

Uzol typu Change (zmena) je možné využiť na úpravu vlastností správy či kontextových vlastností bez nutnosti využitia uzlu typu Function. Každý takýto uzol môže byť nakonfigurovaný s viacerými operáciami typu nastaviť, zmeniť, presunúť alebo odstrániť pre konkrétne vlastnosti správy. Hodnota vlastností môže byť aj výsledkom výrazu JSONata, čo je deklaratívny dopytovací a transformačný jazyk pre údaje JSON.

- **Switch**

Switch (prepínač) je typ uzla, ktorý umožňuje smerovanie správ do rôznych vetiev toku na základe vyhodnotenia súboru pravidiel voči daným správam. Názov "switch" nie je odvodený od pojmu vypínač, ale od výrazu switch používaného v mnohých programovacích jazykoch. Uzol však bude smerovať správy na všetky výstupy, kde bude splnená podmienka, nie iba na jeden konkrétny (pokiaľ tak nie je priamo nastavený).

- **Template**

Uzol typu Template (šablóna) možno použiť na generovanie textu pomocou vlastností správy, ktoré danú šablónu vyplnia. Na generovanie výsledku sa využíva šablónovací jazyk Moustache.

Vo výslednom toku sa uzly navzájom prepoja a počas samotného behu aplikácie správy putujú zo vstupných uzlov cez všetky možné typy uzlov až ku výstupným uzlom, ktoré na základe funkcie celého toku vykonajú požadovanú činnosť. [24]

## Platformy

Medzi platformy, na ktorých môže Node-RED fungovať, patria fyzické počítače, ale aj virtuálne nástroje. Systém môže bežať lokálne pod operačnými systémami Linux a Windows. Medzi ďalšie platformy patrí Raspberry Pi s operačným systémom Raspbian, zariadenia BeagleBone, ale experimentálne aj zariadenia s operačným systémom Android. Systém môže fungovať aj vo virtuálnom prostredí ako Docker, na virtuálnych strojoch Microsoft Azure, IBM Cloud, AWS alebo platforme FlowForge. [24]

## 3.4 Mervis

Mervis je primárna oficiálne podporovaná softvérová platforma pre programovanie riadiacich jednotiek Unipi. Umožňuje vytvárať programy, vytvárať webové užívateľské rozhrania

pre interakciu s používateľmi, nastavovať dlhodobé ukladanie dát do miestnej databázy alebo databázy v cloude, či nastaviť vzdialený prístup k jednotke cez internet.

Platforma pozostáva z viacerých softvérov, ktoré sa starajú o konkrétne časti systému. Základom systému je softvér Mervis RT, ktorý beží priamo na jednotke Unipi a vykonáva ovládací program. K vytvoreniu takéhoto programu slúži softvér Mervis IDE, kde sa jednotka konfiguruje, programuje, ladí a je možné v ňom navrhnúť aj vizualizáciu. Ďalším softvérom je databáza Mervis DB, služba pre vzdialený servisný prístup Mervis Proxy a nástroj na dohľad, vizualizáciu a kompletný dispečing Mervis SCADA. [36]

### **Mervis IDE**

Softvér Mervis IDE je hlavný nástroj na tvorbu projektov, ktoré sa v prostredí Mervis označujú ako riešenia. Každé takéto riešenie obsahuje parametre pripojenia jednej alebo viacerých jednotiek, ich konfiguráciu, programy, knižnice a užívateľské rozhrania.

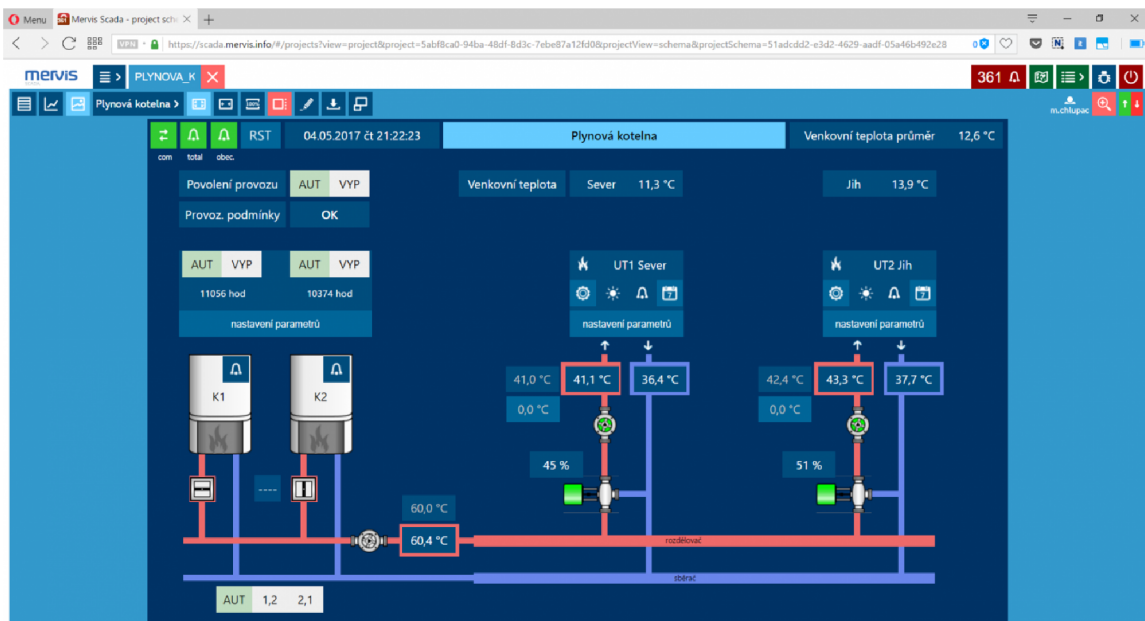
Po pripojení k jednotke je možné spravovať jej konfiguráciu, aktualizovať prostredie Mervis RT, no hlavne vytvárať programy metódou funkčných blokov alebo štruktúrovaného textu. Metóda funkčných blokov je postavená na podobnom princípe, ako pri platforme Node-RED, kde si užívateľ vyberá predpripravené bloky s istou funkciou a vzájomne ich prepája. Prácu so softvérom si preto dokážu rýchlo osvojiť aj používatelia bez hlbších znalostí programovania. [36]

### **Mervis SCADA**

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, tzn. dispečerské riadenie a zber dát) je dôležitou súčasťou celej platformy Mervis. Zaisťuje základné funkcie systému, ktoré sú potrebné pre monitoring a správu technológie technickým personálom.

Pri platforme Mervis má SCADA podobu online služby, ktorá beží na serveroch Unipi. Jednotlivé PLC sa k nej pripájajú pomocou Mervis Proxy, musia teda mať dostupné internetové pripojenie. Na získanie štatistických dát z histórie je potrebné, aby ich PLC ukladali v Mervis DB, z ktorej si ju následne prevezme SCADA. Prístup k samotnému SCADA softvéru je možný prostredníctvom webového grafického užívateľského rozhrania.





Obr. 3.3: Ukážka rozhrania Mervis SCADA (prevzaté z [36])

Na obr. 3.3 je zobrazená ukážka webového rozhrania Mervis SCADA pre plynovú kotolňu, ktorá znázorňuje niektoré možnosti zobrazenia získaných dát a riadiacich prvkov rozhrania. [36]

## 3.5 Loxone

Spoločnosť Loxone poskytuje pre svoje zariadenia Miniserver vlastný operačný systém, ktorý je možné konfigurovať pomocou softvéru Loxone Config pre operačný systém Windows. na ovládanie už nakonfigurovaného systému slúži aplikácia Loxone App, ktorá je dostupná pre širšie spektrum zariadení a operačných systémov, počnúc Windowsom, Linuxom, OS X, až po mobilné systémy Android a iOS. [17]

### 3.5.1 Konfigurácia

Úvodná konfigurácia Miniservera sa vykonáva prostredníctvom softvéru Loxone Config. Po jeho spustení a pripojení ku zariadeniu Miniserver užívateľ vytvorí projekt pre daný objekt, kde je potrebné zadať všetky miestnosti vrátane množstva dverí, okien, priradení typu miestnosti a s možnosťou priradiť danej miestnosti špecifickú ikonu.

Po úvodnom nastavení priestoru užívateľ môže začať pripájať a párovať (ručne alebo automaticky) nové zariadenia Loxone Extension, Loxone Tree a v prípade využitia bezdrôtového rozhrania aj zariadenia Loxone Air. Po spárovaní je možné každé zariadenie samostatne konfigurovať a pridávať na pracovné plochy.

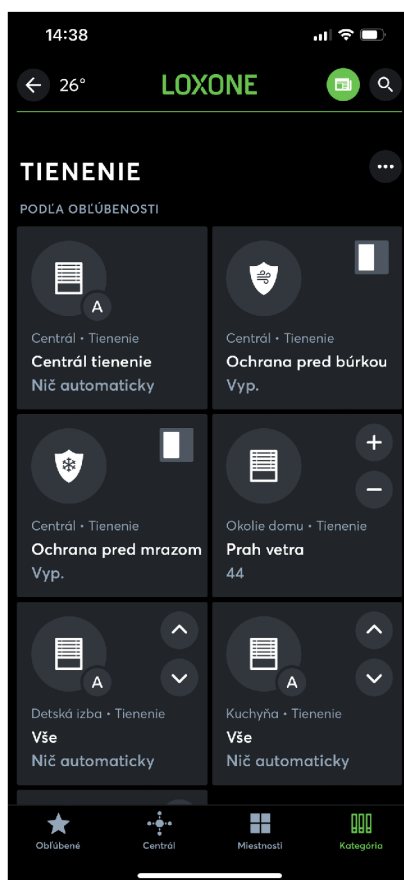
Pracovné plochy sú podobne ako v prípade nástroja Node-RED miesta, kde je možné vytvárať tzv. tok (flow). na plochy je možné pridať fyzické zariadenia ako vypínače, digitálne a analógové vstupy a výstupy, ale aj virtuálne uzly ako reguláciu vykurovania, ventilácie, klimatizácie, či iných funkčných prvkov.

Veľkým prínosom v tomto uzavretom systéme je možnosť konfigurácie virtuálnych vstupov a výstupov prostredníctvom protokolu HTTP, vďaka čomu je možné systém výrazne

rozšíriť aj bez využitia senzorov a aktorov výhradne od výrobcu Loxone. Takýmto HTTP vstupom a výstupom, no zároveň aj ďalším komunikačným protokolom ako RS232, či RS485, je možné nakonfigurovať špecifické formáty správ, ktoré majú prijímať a odosielať. [17]

### 3.5.2 Ovládanie

Systém je možné ovládať prostredníctvom aplikácie Loxone App, kde sa po spustení a prihlásení ku Miniserveru zobrazia všetky miestnosti s dostupnými zariadeniami a pripravenými ovládacími prvkami, ako napr. vypínače, ovládače teploty, sily vetrania, jasú svetla, či farby RGBW led osvetlenia. Aplikácia samozrejme ukazuje aj aktuálny stav senzorov v jednotlivých miestnostiach, napr. aktuálnu teplotu, vlhkosť, koncentráciu CO<sub>2</sub>, pohyb, či stav otvorenia/uzavretia okien a dverí.



Obr. 3.4: Ukážka aplikácie Loxone App (prevzaté z [17])

Na obr. 3.4 je ukážka možností automatického a manuálneho ovládania tienenia v jednotlivých miestnostiach a centrálne v celom dome. Systém poskytuje aj ochranu pred búrkou a mrazom, kedy pri dosiahnutí podmienok určitej teploty resp. počasia sám zareaguje a vytiahne žalúzie, aby ich chránil pred poškodením.

Samotné vizuálne zobrazenie miestnosti vrátane jej prvkov je možné v aplikácii konfigurovať. Pri tejto konfigurácii je možné aj zobraziť aktuálny podrobný stav jednotlivých zariadení, čo má význam najmä pri kontrole stavu batérie pri bezdrôtových zariadeniach. [17]

## Kapitola 4

# Návrh nových prvkov domácej automatizácie

Táto kapitola sa zaoberá dizajnom nových hardvérových prvkov vhodných pre inteligentnú domácnosť a popisuje postup ich návrhu, použité hardvérové komponenty a ich prepojenie, a v neposlednom rade návrh dosiek plošných spojov a ich fyzické vyhotovenie.

### 4.1 Cielový priestor

V rámci tejto diplomovej práce sa počíta s finálnym využitím zariadení v rodinnom dome, ktorý prechádza čiastočnou rekonštrukciou, počas ktorej je plánovaná montáž rekuperácie, nová elektroinštalácia a postupné pridávanie ďalších prvkov inteligentnej domácnosti. Z tohoto dôvodu je možné uvažovať aj nad riešeniami, ktoré si vyžadujú prívod elektriny na nové miesta, či využitie špecifického napájacieho napätia.

Dom je dvojpodlažný s neobývanou povalou, pričom prízemie je postavené z kameňa a poschodie z tehál. Kamenné múry na prízemí spôsobujú v interiéri veľmi vysoké percento vzdušnej vlhkosti, ktoré dosahuje v extrémoch úroveň až 85%. Takéto vysoké percentá vlhkosti spôsobujú vznik plesní, môžu spôsobiť zdravotné problémy, a v neposlednom rade neprosievajú ani bežným domácim spotrebičom. Montážou núteného vetrania spojeného s rekuperáciou a sledovaním úrovne vlhkosti v interiéri je možné výrazne prispieť k zlepšeniu podmienok pre bývanie v tomto priestore.

Do základnej výbavy domu, ktorá priamo súvisí s plánovanými zariadeniami inteligentnej domácnosti, patrí plynové ústredné kúrenie a ohrevom teplej úžitkovej vody a plynový sporák. Plánovaná rekonštrukcia má dom doplniť o ďalšie zariadenia, ktoré majú zabezpečovať:

- reguláciu vykurovania v celom objekte riadením plynového kotla,
- reguláciu teploty v jednotlivých miestnostiach pomocou radiátorových ventilov,
- ventiláciu s rekuperáciou vzduchu a príslušnú reguláciu intenzity vetrania,
- tienenie pomocou exteriérových žalúzií,
- centralizované riadenie osvetlenia s možnosťou jednoduchého ovládania v jednotlivých miestnostiach,
- a prípadné ďalšie funkcie.

Zhrnutím týchto plánovaných funkcií je možné predpokladať konkrétne potreby centrálnej inteligentnej domácnosti získať jednotlivé premenné daného priestoru. Ide najmä o teplotu, vlhkosť, kvalitu vzduchu, bezpečnosť vzhľadom na plynový sporák na varenie, úroveň osvetlenia, či vnímanie prítomnosti jednotlivých členov domácnosti v konkrétnych miestnostiach. Na tieto plánované funkcie by mali nadväzovať aj navrhované nové prvky pre tento priestor.

Na funkciu centrálnej domácej automatizácie je v pláne využiť zariadenie Loxone Miniserver. Z dôvodu, že k rekonštrukcii elektrických rozvádzačov ešte len dôjde a toto zariadenie aktuálne nie je k dispozícii, uvažuje sa v rámci diplomovej práce s použitím centrálnej jednotky v podobe počítača Raspberry Pi s platformou Home Assistant a Node-RED. Po dokončení elektroinštalácie dôjde k napojeniu na virtuálne HTTP rozhranie Miniservera.

## 4.2 Dizajn systému

V dobe, kedy je na trhu veľké množstvo hardvérových produktov pre inteligentnú domácnosť, je potrebné pri návrhu nového produktu zohľadniť to, aký má mať pre koncového používateľa prínos a pridanú hodnotu v porovnaní s inými produktmi. Ako už bolo spomenuté v predošlých kapitolách, mnohé komerčné riešenia sú uzavreté a koncový užívateľ si nemôže ľubovoľne upraviť ich funkčnosť, či úplne meniť charakter ich použitia. Pre ľudí, ktorí však majú isté technické, či programátorské znalosti, majú pridanú hodnotu práve riešenia, ktoré si môžu modifikovať podľa ich potreby. To je jednou z motivácií, prečo vytvárať modulárne produkty s možnosťou zámény konkrétnych modulov s cieľom dosiahnuť ich iné využitie.

Cieľom návrhu je vytvorenie produktov využívajúcich počítač Raspberry Pi Zero a mikrokontrolér ESP32-WROOM-32 v prostredí inteligentnej domácnosti. Tieto produkty pozostávajú zo samotného počítača a mikrokontroléra, ktoré tvoria ich základ, a prídavných modulov, ktoré im dodávajú potrebnú funkčnosť.

Riadenie inteligentnej domácnosti si vyžaduje potrebné informácie o jednotlivých miestnostiach, ktoré sa v čase menia. Ide najmä o premenné ako teplota a vlhkosť vzduchu, jas, pohyb a zvuk (resp. hluk). Domácnosť využívajúcu rekuperáciu vhodne doplní najmä senzor oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), vďaka ktorému je možné regulovať intenzitu vetrania. Z pohľadu bezpečnosti je dôležitá aj koncentrácia nebezpečných látok vo vzduchu - najmä zemného plynu, či dymu v prípade požiaru. Centrála inteligentnej domácnosti dokáže tieto premenné vyhodnotiť a vykonať ďalšie kroky k dosiahnutiu cieľov požadovaných užívateľom.

### 4.2.1 Prvky systému

Pri tvorbe nových zariadení pre inteligentnú domácnosť je potrebné si definovať niektoré základné otázky:

- Kde budú zariadenia umiestnené?
- Aké senzory budú obsahovať?
- Aký riadiaci prvok (mikrokontrolér) budú potrebovať?
- Akým spôsobom budú napájané?
- Aký budú mať vonkajší vzhľad?
- Budú dostatočne praktické pre cieľovú domácnosť?

Pre snímanie jednotlivých premenných sú potrebné rôzne typy senzorov a taktiež je dôležité ich vhodné umiestnenie v miestnosti. Najlepšie miesto na snímanie dymu, či zemného plynu (CNG) je v blízkosti stropu. Snímanie teploty, vlhkosti a koncentrácie CO<sub>2</sub> má naopak väčší význam vykonávať v úrovni, kde sa pohybujú ľudia. Pri snímaní pohybu, zvuku a jasú záležitosti najmä od nasmerovania senzorov, ich priestorovej charakteristiky (zorného poľa) a vzdialenosti od snímaného objektu.

V súvislosti so senzormi je potrebné vybrať si vhodný mikrokontrolér, či mikropočítač, ktorý bude zvládať spracovanie údajov z týchto senzorov a jeho výkon nebude príliš malý alebo naopak zbytočne veľký. Taktiež je potrebné zvážiť, či na napájanie mikrokontroléra aj senzorov postačuje batéria alebo bude vhodnejšie zvoliť trvalé napájanie z elektrickej siete.

Vzhľad a praktickosť produktov je dôležitá v kontexte s priestorom, v ktorom sa produkty po inštalácii budú nachádzať. Montáž je možná napríklad do znížených stropov, obkladov zo sadrokartónových dosiek, elektroinštalačných škatuliek v stenách, kde je dané zariadenie možné ukryť a ponechať viditeľné iba nevyhnutné časti. Nie až tak estetickou možnosťou je montáž na stenu, či umiestnenie na nábytku. Ak však používateľ nepočíta s väčšou rekonštrukciou alebo pri vykonávaní rekonštrukcie na takéto zariadenia nemyslí včas, aj takéto varianty majú zmysel.

Ako najvhodnejšia kombinácia v tomto priestore sa ukazuje umiestnenie počítača Raspberry Pi Zero v blízkosti stropu miestnosti a mikrokontroléra ESP32 v elektrikárskej škatulke v pozícii nástenného vypínača, a to hneď z niekoľkých dôvodov:

- Počítač Raspberry Pi Zero je možné využiť plnohodnotnejšie vďaka možnosti pripojenia kamery, čo umožňuje rozšírenie jeho využitia ako súčasť kamerového systému.
- Nástenný vypínač má typizovaný rozmer škatulky, ktorá sa umiestňuje do steny. Rozmery Raspberry Pi Zero sú síce malé, avšak jeho umiestnenie do škatulky by mohlo predstavovať pri niektorých typoch škatuliek problém.
- Pre mikrokontrolér ESP32 je možné navrhnuť dosku plošných spojov, ktorá sa pohodlne zmestí do bežnej elektrikárskej škatulky.
- Pri predpoklade, že do elektrikárskej škatulky bežne nevedie prívod s jednosmerným prúdom a napätím 5 V, je nutné počítať aj s priestorom pre umiestnenie napájacieho modulu. To sa ukazuje jednoduchšie v kombinácii s mikrokontrolérom ESP32, ako s počítačom Raspberry Pi Zero.

Tieto dôvody spolu s ideálnym umiestnením snímacích prvkov vedú k rozhodnutiu vytvoriť 2 výsledné zariadenia – Monitor miestnosti a Nástenný vypínač.

#### 4.2.2 Modularita nástenného vypínača

Pri tvorbe predbežného dizajnu nástenného vypínača sa ukazuje vhodnosť vytvorenia modulárneho systému jeho vnútorných prvkov. Užívateľ by tak mohol mať k dispozícii viaceré typy modulov s rôznymi senzormi, či rozdielnym typom napájania. Výsledné zariadenie by si užívateľ mohol vyskladať podľa vlastných predstáv a potrieb. Z tohoto dôvodu je navrhovaný nástenný vypínač vnútorne rozčlenený na tieto moduly:

- hlavný modul,
- vonkajší modul,

- a vnútorný modul.

Motivácia k oddeleniu týchto modulov je praktická nie len z pohľadu modularity, ale najmä z pohľadu šírenia vygenerovaného tepla. Ak by sa nachádzali všetky polovodičové súčiastky na jedinej doske plošných spojov, mohlo by to nepriaznivo ovplyvňovať zvyšné prvky umiestnené na tejto doske, a to najmä niektoré typy senzorov. Vyčlenenie súčiastok generujúcich teplo a ich presun na inú dosku plošných spojov, sa preto ukazuje ako veľmi vhodné a v niektorých prípadoch priam nevyhnutné riešenie.

### **Hlavný modul**

Hlavný (alebo tiež core) modul je základným modulom obsahujúcim mikrokontrolér a potrebné obslužné obvody ako regulátor napätia, či obvody a konektory pre možnosť naprogramovania daného mikrokontroléra prostredníctvom konektora micro-USB.

Modul musí byť dostatočne malý, aby sa zmestil do inštalačnej elektrikárskej škatulky umiestnenej pod omietkou. Modul sa nachádza v strede medzi vonkajším a vnútorným modulom, a k týmto modulom je fyzicky pripevnený pomocou dištančných stĺpikov a pripojený prostredníctvom konektorov. Konektory sú obojstranné, je teda možné sa k nim pripojiť z hornej aj spodnej strany modulu.

### **Vnútorný modul**

Cieľom vnútorného modulu je zabezpečenie napájacieho napätia vhodného pre hlavný a vonkajší modul. Umiestnenie tohoto modulu je najhlbšie v elektrikárskej škatulke, preto je najvhodnejší na pripojenie potrebných prívodných vodičov prostredníctvom konektorov.

Mimo samotného napájania môže modul plniť aj účel konvertora pre rôzne ďalšie fyzické komunikačné rozhrania. Tento modul sa zospodu pripája k hlavnému modulu a zdieľa spoločné konektory s hlavným aj vonkajším modulom.

### **Vonkajší modul**

Jediný modul, ktorý nie je umiestnený vnútri elektrikárskej škatulky, ale je upevnený na jej povrchu, je vonkajší modul. Tento modul obsahuje otvory na pripevnenie dištančných stĺpikov umiestnené na identickom mieste ako hlavný a vnútorný modul, no mimo týchto otvorov sú potrebné aj otvory na montáž modulu na elektrikársku škatulku a ďalšie otvory pre upevnenie prípadného vonkajšieho krytu.

Keďže tento modul je ako jediný na povrchu, práve na ňom sa nachádzajú senzory prostredia a tlačidlá na ovládanie priradených funkcií.

## **4.3 Identifikácia funkčných blokov monitora miestnosti**

Prvým vyvíjaným prototypom je zariadenie na monitorovanie miestnosti postavené na počítači Raspberry Pi Zero a multisenzorovom module, ktorý je na tento počítač napojený. Multisenzorový modul má s počítačom identický rozmer, umiestnenie vstupno-výstupných pinov na pripojenie a otvorov na pripevnenie dištančných stĺpikov slúžiacich k pevnému fyzickému spojeniu s počítačom.

Vzhľadom k plánu umiestniť zariadenie v blízkosti stropu a ideálne v rohu miestnosti, je na modul umiestnený senzor dymu a zemného plynu (CNG) MQ-2, senzor pohybu

EKMC1691111, senzor svetla VEML7700 a mikrofóny SPH0645LM4H-1. Senzor MQ-2 ponúka iba analógový výstup, ktorý počítač Raspberry Pi Zero nedokáže priamo spracovať z dôvodu absencie analógových vstupov. Na modul je preto nutné umiestniť aj analógovo-digitálny prevodník MCP3422 a prevodník napätových úrovní rozhrania I2C PCA9306D, ktorý zaistí zmenu napätovej úrovne rozhrania I2C medzi úrovňou 3,3 V na počítači Raspberry Pi Zero a úrovňou 5 V na prevodníku MCP3422.

Veľkosť uvedených senzorov s príslušnými komponentami a priestorové obmedzenia modulu spôsobujú, že na modul nie je možné pridať väčšie množstvo snímačov. Vzhľadom na jeden voľný analógový vstup na prevodníku MCP3422 je vytvorená možnosť pripojiť prídavný modul senzora prachu GP2Y1010AU0F, ktorý môže byť využitý v prípade umiestnenia v blízkosti ventilácie.

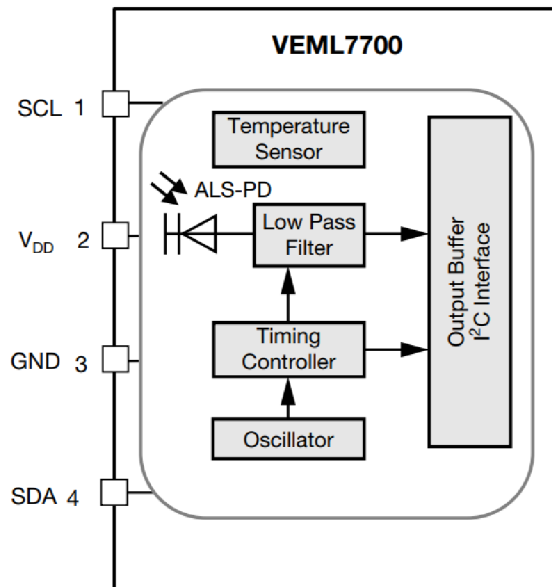
Pri tvorbe je tiež zvažované možné budúce pričlenenie systému ovládania termostatických radiátorových hlavíc značky eQ-3. Tie je možné ovládať prostredníctvom špeciálneho protokolu eQ-3, ktorého komunikácia prebieha na frekvencii 868 MHz prostredníctvom rádio-frekvenčného modulu CC1101 od výrobcu Texas Instruments. Komunikácia s týmto systémom bola navrhnutá a implementovaná v rámci bakalárskej práce s názvom *Centrála pro regulaci vytápění kompatibilní se systémem eQ-3* na Fakulte informačních technologií Vysokého učení technického v Brne v roku 2018. Monitor miestnosti má teda pripravené rozhranie pre pripojenie modulu CC1101. [12]

Táto sekcia obsahuje podrobný popis jednotlivých komponentov použitých v tomto module, kde rieši ich funkciu, napájanie a tiež spôsob komunikácie s počítačom Raspberry Pi Zero. V závere sekcie sú zvažované tiež možnosti napájania samotného počítača.

#### 4.3.1 Senzor svetla VEML7700

VEML7700 je veľmi citlivý snímač okolitého svetla (ambient light sensor - ALS) s vysokou presnosťou. Obsahuje vysoko citlivú fotodiódu, zosilňovač s nízkou úrovňou šumu a 16-bitový analógovo-digitálny prevodník. Podporuje ľahko použiteľné komunikačné rozhranie I2C zbernice a dodatočnú funkciu prerušenia.

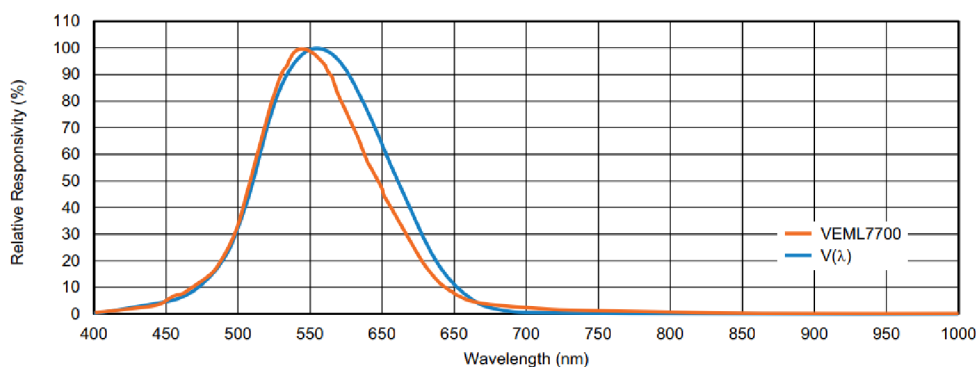
Hodnotu okolitého svetla je možné vďaka I2C zbernici vyčítať priamo ako digitálny údaj s presnosťou až 0.0036 lx. Rozsah 16-bitového prevodníka je dynamický, vďaka čomu je možné detegovať hodnoty od 0 lx do 120 klx. Dynamický rozsah umožňuje senzor zabudovať do obalu, ktorý vo veľkej miere redukuje prísun svetla, no aj do priehľadného obalu s následným vystavením senzora priamemu slnečnému žiareniu.



Obr. 4.1: Funkčný blokový diagram VEML7700 (prevzaté z [41])

Napájanie je možné zabezpečiť zdrojom s napätím medzi 2,5 V až 3,6 V. Napájanie zbernice I2C prostredníctvom pull-up rezistorov by malo byť zabezpečené rovnako napätím medzi 2,5 V až 3,6 V. VEML7700 nie je príliš citlivý na externé rušenie, preto pri jeho napájaní postačuje kondenzátor s nízkou kapacitou 100 nF. V prípade, že sa však môže vyskytnúť väčší šum v napájaní, je vhodné umiestniť pred napájací pin R-C obvod s odporom s hodnotou 10  $\Omega$  a kondenzátorom s kapacitou 10  $\mu\text{F}$ .

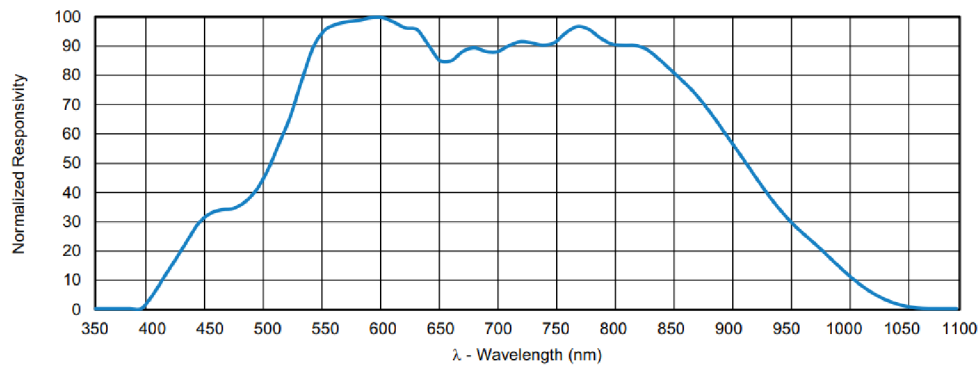
VEML7700 je veľmi precízny v predchádzaní rozdielu medzi rôznymi svetelnými podmienkami, napr. pri fluorescenčnom svetle, slnečnom svetle, halogénovom svetle alebo LED svetle. V grafe na obr. 4.2 je možné vidieť relatívnu odozvu (os y) na jednotlivé vlnové dĺžky (os x) senzora VEML7700 v porovnaní s fotopickou krivkou ľudského oka  $V(\lambda)$ . Maximálna odchýlka od menovitej hodnoty je 10%.



Obr. 4.2: Spektrálna odozva kanálu ALS senzora VEML7700 (prevzaté z [41])

ALS je však iba jedným kanálom senzora VEML7700. Druhým je tzv. white channel, teda kanál bielej farby, ktorý poskytuje oveľa vyššiu odozvu na omnoho širšie spektrum vlnových dĺžok. Odozvu tohoto kanála je možné vidieť v grafe na obr. 4.3.





Obr. 4.3: Spektrálna odozva bieleho kanálu senzora VEML7700 (prevzaté z [41])

Spotreba senzora sa v závislosti od nastavenia režimu úspory energie a obnovovacieho času pri napájacom napätí 3,3 V pohybuje od  $2 \mu\text{A}$  do  $45 \mu\text{A}$ . Ak senzor meria hodnoty vo väčších časových intervaloch, odporúča sa jeho vypnutie, vďaka čomu sa spotreba zníži na  $0,5 \mu\text{A}$ . [41]

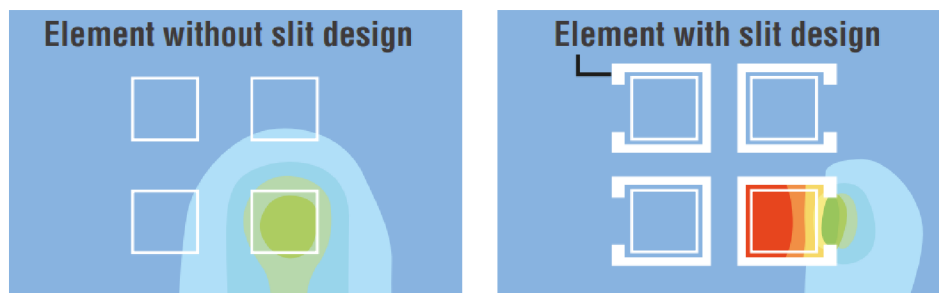
#### 4.3.2 Senzor pohybu EKMC1691111

Senzor EKMC1691111 je tzv. pyroelektrický alebo pasívny infračervený (PIR) senzor určený na detekciu pohybu v snímanom priestore. Vychádza zo série PaPIR senzorov výrobcu Panasonic, ktoré sú oproti bežným PIR senzorom zdokonalené o niektoré zaujímavé vlastnosti.

Senzory PaPIR obsahujú až 4 pyroelektrické kryštály spolu na jednom nosnom substráte. Vďaka tomu sú redukované falošné zopnutia. Tie môžu vyvolávať objekty, ktoré náhle výrazne zmenia teplotu napríklad po zatičení slnečných lúčov z exteriéru.

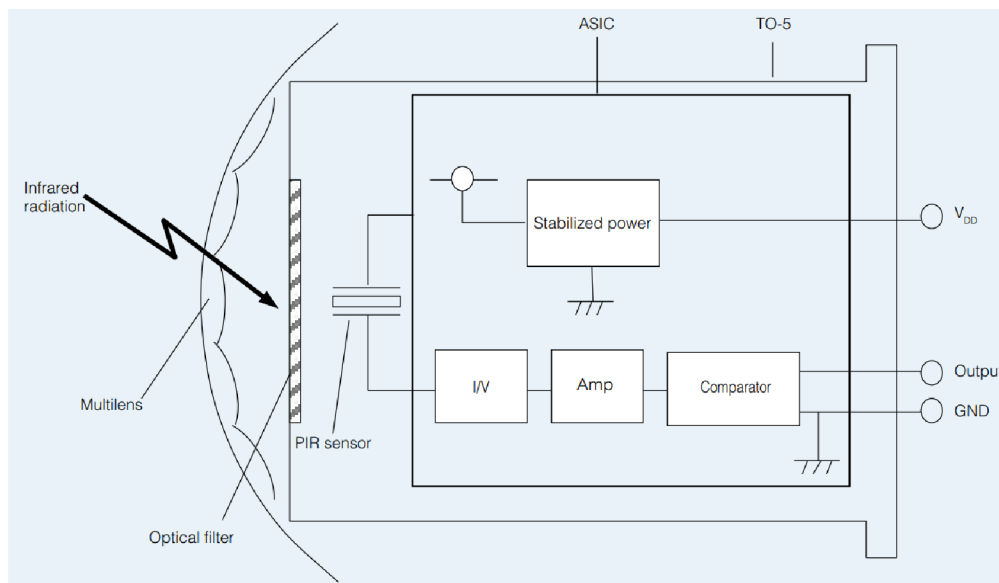
Detekciu pohybu môže v prípade PIR senzorov ovplyvniť aj ich nevhodné umiestnenie. Je preto odporúčané senzor používať najmä v interiéri mimo dosahu priameho slnečného žiarenia, ktoré by mohlo ovplyvniť senzor a viesť ku falošnej detekcii pohybu. [26]

Pyroelektrické prvky majú pri PaPIR senzoroch štrbinový dizajn, čím sú oddelené snímacie oblasti. To zabráňuje tepelnému presluchu medzi snímacími prvkami a detekcia je vďaka tomu spoľahlivá aj pri nízkom teplotnom rozdiel medzi cieľovým objektom a pozadím. V ukážke na obr. 4.4 je možné naľavo vidieť bežný PIR senzor s tepelnými presluchmi medzi snímacími prvkami a napravo PaPIR senzor, ktorý má medzi prvkami štrbiny.



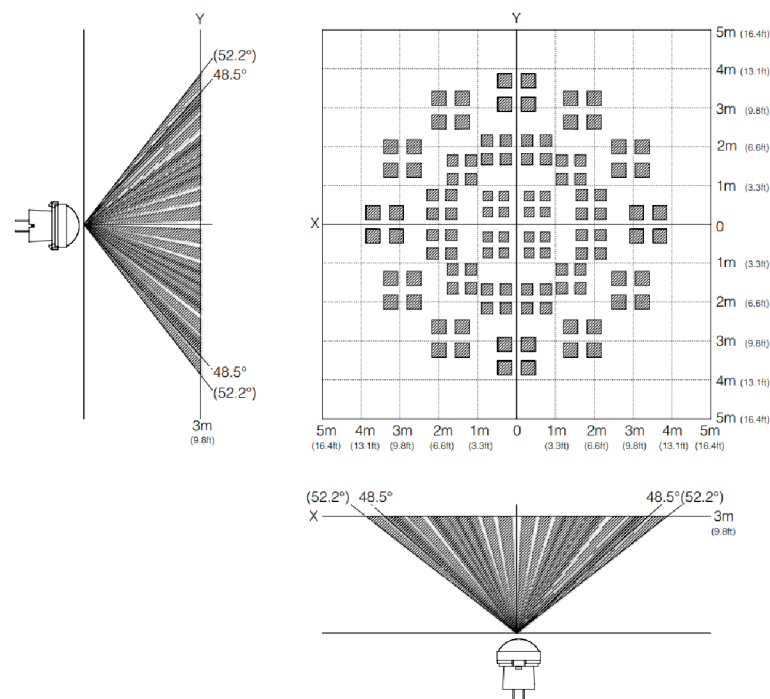
Obr. 4.4: Porovnanie tepelných presluchov medzi snímacími prvkami bežného PIR senzora a senzorov PaPIR (prevzaté z [25])

V blokovom diagrame senzorov PaPIR s digitálnym výstupom na obr. 4.5 je možné vidieť, že senzor má vstavaný vnútorný ASIC (Application Specific Integrated Circuit) obvod, teda integrovaný obvod určený pre túto špecifickú aplikáciu. Ten obsahuje zosilovač, komparátor a I/V obvod. I/V obvod slúži na konverziu prúdového signálu z pyroelektrického prvku na napätie, pričom poskytuje vylepšený odstup signálu od šumu vďaka vnútornému kondenzátoru so spätnou väzbou a operačnému zosilovaču.



Obr. 4.5: Blokový diagram senzorov PaPIR (prevzaté z [25])

Konkrétny typ senzora EKMC1691111 je určený na detegovanie mierneho pohybu pre typické použitie na vzdialenosti medzi 2,5 m až 4 m. Zorné pole senzora je  $104^\circ \times 104^\circ$  a obsahuje 112 detekčných zón. Pohybujúci sa objekt by mal dosahovať rýchlosť 0,5 m/s, mať veľkosť aspoň 20 cm x 20 cm, dosahovať teplotný rozdiel od okolia aspoň  $4^\circ\text{C}$ , no najmä vykonať pohyb vrámci 1 detekčnej zóny senzora. Presné polohy detekčných zón pri vzdialenosti 3 m od snímanej oblasti sú zobrazené v obr. 4.6. [25]



Obr. 4.6: Detekčná oblasť senzora EKMC1691111 pri vzdialenosti 3 m (prevzaté z [25])

Napájacie napätie senzora EKMC1691111 je minimálne 3,0 V a maximálne 6,0 V. Na stabilizáciu napájacieho napätia je možné použiť keramický kondenzátor s kapacitou 0,1  $\mu\text{F}$  a elektrolytický kondenzátor s kapacitou 100  $\mu\text{F}$ . Oba je potrebné pripojiť a umiestniť čo najbližšie k napájaciemu pinu a druhou stranou pripojiť k zemi. Spotreba senzora v pohotovostnom režime, resp. režime spánku je 170  $\mu\text{A}$ . [26]

Senzor má jeden digitálny výstup v podobe otvoreného kolektora s maximálnym výstupným prúdom v čase detekcie pohybu je 100  $\mu\text{A}$ . Po privedení napájacieho napätia potrebuje senzor stabilizačný čas maximálne 30 sekúnd, počas ktorého je výstup senzora nestabilný a vysoká alebo nízka hodnota výstupu nekorešponduje s reálne detegovaným pohybom. [25]

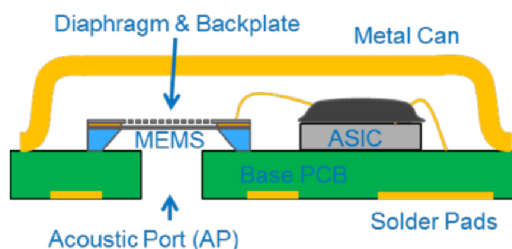
Pre monitor miestnosti je tento senzor vhodný najmä z dôvodu, že deteguje už malé pohyby, pričom postačuje ovplyvnenie jednej detekčnej zóny, a má pomerne široké zorné pole. Detekčná vzdialenosť by mala postačovať na menšie miestnosti, no v prípade potreby detekcie pohybu na väčšie vzdialenosti má senzor kompatibilnú veľkosť a piny aj s ďalšími senzormi zo série EKMC. Vďaka tomu je možné senzor bez zmeny návrhu plošného spoja nahradiť za iný typ.

### 4.3.3 Mikrofón SPH0645LM4H-1

SPH0645LM4H-1 je miniatúrny MEMS mikrofón od výrobcu Knowles so zvukovým portom umiestneným na spodnej strane. Pozostáva z vysokovýkonného akustického snímača SiSonic™, sériového analógovo-digitálneho prevodníka a rozhrania na úpravu signálu do štandardu 24-bitového formátu rozhrania I2S. Keďže rozhranie I2S umožňuje pripojiť mikrofón priamo k mikroprocesoru, nie je potrebný externý kodek, čím sa šetrí miesto a spotreba. Vďaka tomu je mikrofón SPH0645LM4H-1 mimoriadne vhodný na použitie pre prenosné aplikácie, či do zariadení inteligentnej domácnosti.

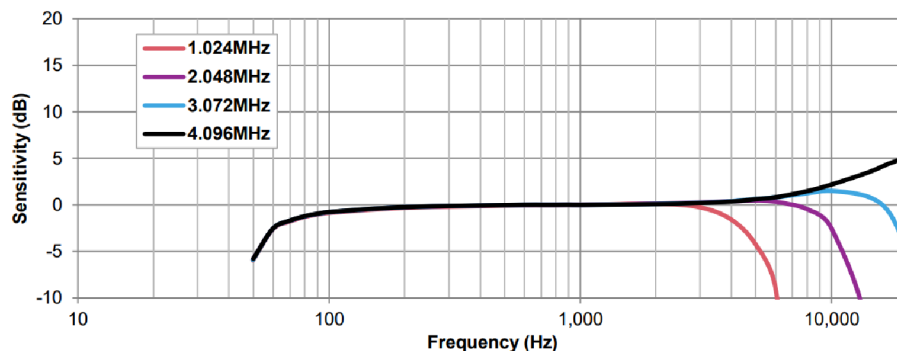
Mikrofón je všesmerový s relatívne plochou krivkou frekvenčnej odozvy a poskytuje možnosť zapojenia 2 mikrofónov do stera na úrovni zbernice I2S. Na svoju veľkosť pomerne vysoký odstup signálu od šumu vo výške 65 dB a vďaka obalu je odrušený od rádiových vplyvov. [14]

Na obr. 4.7 je možné vidieť mikrofón typu SiSonic zvnútra. Obal sa skladá z podkladovej dosky plošných spojov a vonkajšej kovovej schránky. Zo spodnej strany sú na doske spájkové plošky pre pripojenie k hlavnej DPS a otvor pre prienik zvuku - tzv. akustický port. Zvuková vlna po vstupe do obalu zasiahne MEMS, ktorého hlavnými prvkami sú zadná doska a membrána, ktoré spolu tvoria kondenzátor. Zadná doska je mechanicky pevná a má otvory, ktoré umožňujú prienik vzduchu. Membrána pred ňou je poddajná a vplyvom tlakovej vlny (zvuku) sa pohybuje, čím zachytáva zvuk do elektrickej podoby. Ďalšou súčasťou mikrofónu je ASIC, ktorý zahŕňa potrebné obslužné obvody. [13]



Obr. 4.7: Mikrofón SiSonic (prevzaté z [13])

Frekvenčná odozva zobrazená v grafe na obr. 4.8 má relatívne plochú krivku, čo znamená, že mikrofón špecificky nezvýrazňuje ani nepotláča žiadnu konkrétnu frekvenciu. Jednotlivé farebné krivky v grafe reprezentujú odozvu pri použití konkrétnych frekvencií hodinového signálu BCLK zbernice I2S.



Obr. 4.8: Typická frekvenčná odozva voľného pola normalizovaná na 1 kHz (prevzaté z [14])

Napájacie napätie mikrofónu je medzi 1,62 V a 3,6 V s typickou hodnotou 1,8 V. Potrebný napájací prúd je typicky 600  $\mu\text{A}$ . V režime spánku je napájací prúd maximálne 10  $\mu\text{A}$ , typicky však 3  $\mu\text{A}$ . Rozdiel medzi aktívnym režimom a režimom spánku závisí od použitej frekvencie hodinového signálu. Ak je frekvencia vyššia alebo rovná 1 MHz, mikrofón prechádza do aktívneho režimu. Ak je frekvencia nižšia ako 1 kHz, mikrofón prechádza do režimu spánku.

Pri samotnom zapojení je potrebné použiť čo najbližšie pri napájacom porte oddeľovacie kondenzátory – jeden s kapacitou 0,1  $\mu\text{F}$  a voliteľne aj druhý s kapacitou 200 pF s napojením

medzi napájací port a zem. na signály WS, BCLK a DIN rozhrania I2S je odporúčané použitie tlmiace odpory veľkosti  $27\ \Omega$  až  $51\ \Omega$  na zlepšenie integrity signálu znížením prekmitov a zvonenia spôsobeného rozptylovou indukčnosťou a kapacitou. Tieto tlmiace odpory by mali byť umiestnené čo najbližšie zdroju riadenia (mikrokontroléru). V prípade použitia 2 mikrofónov v režime stereo je potrebný odpor za dátovým výstupom každého mikrofónu ešte pred ich spoločným prepojením a taktiež pripojiť signál SEL jedného mikrofónu k zemi a druhého ku napájacímu napätiu. [14]

V prípade monitoru miestnosti je využitie mikrofónov vhodné na snímanie zvuku, resp. hluku v miestnosti, snímanie zvukových povelov ako napr. zatlieskanie na ovládanie svetiel, zdroj zvuku pre kamerový systém, či ako možná náhrada iných snímacích zariadení napr. pre systém Google Assistant.

#### 4.3.4 Senzor plynov MQ-2

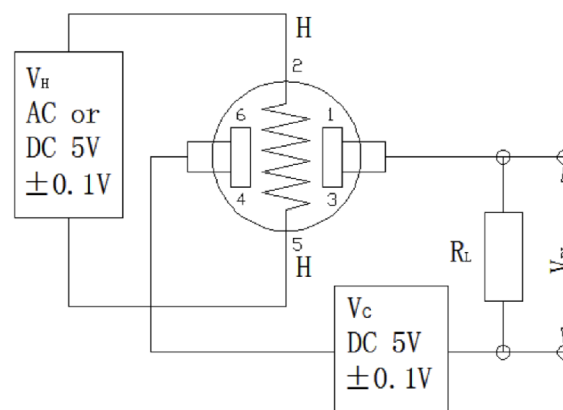
Senzor SEN-17049 od výrobcu Winsen Electronics Technology, známy tiež pod označením MQ-2, je senzor detegujúci niektoré typy plynov vo vzduchu. Senzor je jedným z mnohých typov senzorov série MQ a je to tzv. MOS (metal oxide semiconductor - polovodič z oxidu kovu) typ senzora, inak nazývaný aj chemirezistor, teda chemický odpor.

Princíp funkcie spočíva v zmene odporu snímacieho materiálu po kontakte s materiálom (určitým typom plynu). Koncentráciu plynu je možné zisťovať s použitím jednoduchého napäťového deliča a meraním napätia.

Senzor obsahuje vnútri 2 oddelené obvody. Jedným je napájaný výhrevný článok a druhým samotný snímací materiál. Na obrázku 4.9 je znázornený senzor a napojenie jeho výstupných pinov.

Výhrevný článok je napájaný prostredníctvom pinov 2 a 5 označením H a je možné ho napájať jednosmerným alebo striedavým prúdom s napätím  $5\ \text{V}$  s toleranciou  $\pm 0,1\ \text{V}$ . Odpor článku je pri izbovej teplote  $29\ \Omega \pm 3\ \Omega$  a jeho spotreba je maximálne  $950\ \text{mW}$ .

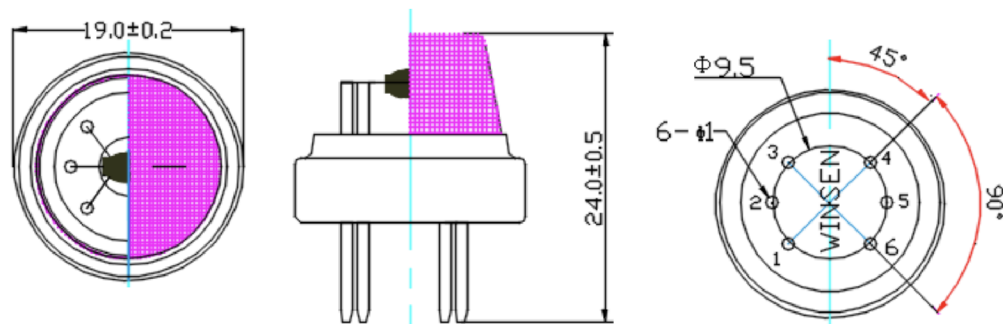
Snímací element je pripojený na piny 1 a 3, a piny 4 a 6, ktoré je potrebné vo dvojiciach spolu prepojiť. Nadväzuje naň záťažový odpor  $R_L$ , ktorý je súčasťou napäťového deliča. Element je napájaný jednosmerným prúdom s napätím  $5\ \text{V}$  a rovnako s toleranciou  $\pm 0,1\ \text{V}$ . Výstupné napätie snímača sa pohybuje v rozsahu od  $2,5\ \text{V}$  do  $4\ \text{V}$ . [43]



Obr. 4.9: Testovací obvod senzora MQ-2 (prevzaté z [43])

Samotný senzor je uzavretý v dvoch vrstvách jemnej sieťoviny z nehrdzavejúcej ocele, ktorá vytvára sieť proti explózií. Na obrázku 4.10 popisujúcom štruktúru senzora je vy-

obrazená ružovou farbou. Zabezpečuje, aby výhrevné teleso vnútri nespôsobilo pri meraní horľavých plynov nechcený výbuch. Poskytuje tiež ochranu snímača a filtruje suspendované častice, vďaka čomu do komory snímača prenikajú iba plynné prvky. Sieťka je ku zvyšku tela pripevnená pomocou upínacieho krúžku.

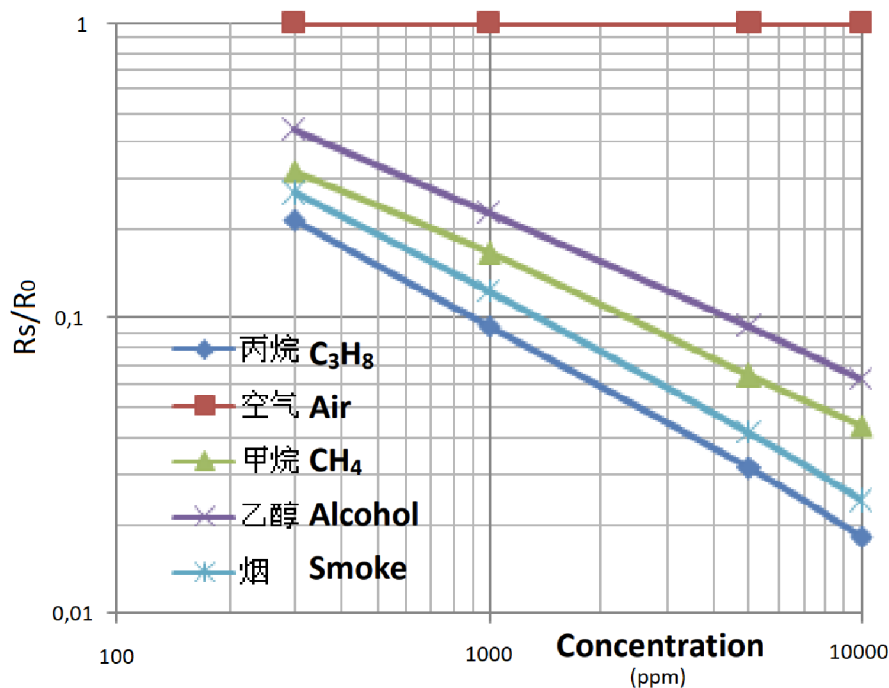


Obr. 4.10: Štruktúra senzora MQ-2 (prevzaté z [43])

Pod ochrannou sieťkou sa nachádza štruktúra v tvare hviezdy tvorená snímacím a výhrevným prvkom pripojeným platinovými drôtikmi na 6 spojovacích nožičiek (pinov), ktoré prechádzajú bakelitovou základňou. Rúrkový snímací prvok je vyrobený z keramiky na báze oxidu hlinitého ( $Al_2O_3$ ) a má povlak z oxidu cíničitého ( $SnO_2$ ), ktorý je materiálom citlivým na horľavé plyny. Keramický substrát iba zvyšuje účinnosť ohrevu a zaisťuje neustále zahrievanie oblasti snímača na pracovnú teplotu.

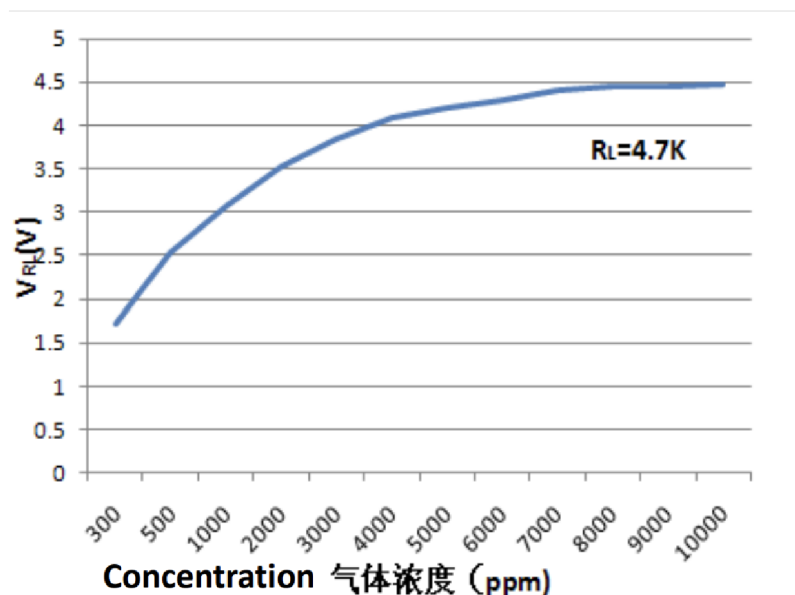
Vykurovací systém teda tvorí keramika na báze oxidu hlinitého s niklovo-chrómovou špirálou a snímací systém tvorí povlak oxidu cíničitého a platinové drôty prepájajúce tento povlak s nožičkami. [15]

Senzitivita na jednotlivé plyny je zobrazená v grafe na obr. 4.11. na zvislej osi je pomer odporu snímača ( $R_s/R_0$ ), na vodorovnej osi je koncentrácia plynov.  $R_s$  znamená odpor v cieľovom plyne s rôznou koncentráciou,  $R_0$  znamená odpor snímača v čistom vzduchu. Graf zobrazuje výsledok štandardného testovania pre jednotlivé plyny v tomto poradí: propán ( $C_3H_8$ ), čistý vzduch, metán ( $CH_4$ ), alkohol a dym.



Obr. 4.11: Typická krivka citlivosti senzora MQ-2 (prevzaté z [43])

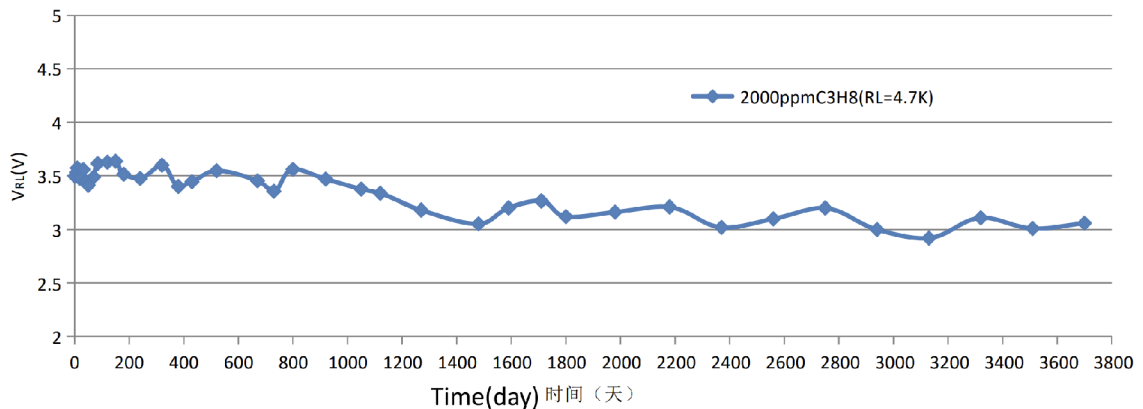
Dokumentácia senzora poskytuje graf zobrazujúci výstupné napätie ( $V_{RL}$ ) senzora v závislosti od koncentrácie častíc vo vzduchu iba pre plyn propán. Tento graf je zobrazený na obr. 4.12, pričom pri teste bol použitý záťažový odpor  $R_L$  s hodnotou 4,7 K $\Omega$ .



Obr. 4.12: Graf citlivosti senzora MQ-2 na propán (prevzaté z [43])

Senzor v dlhodobom horizonte vykazuje známky prirodzeného degradovania, čo ukazuje graf na obrázku č. 4.13 pre plyn propán pri koncentrácii 2000 ppm a pri použití odporu  $R_L$  s hodnotou 4,7 K $\Omega$ . Dlhodobú stabilitu môže významne ovplyvniť aj kontakt s vodou, koro-

zívnyimi plynmi s vysokou koncentráciou, organickou kremíkovou parou, nízkymi teplotami pod bodom mrazu, soľami alkalických kovov, či halogénmi ako fluór.



Obr. 4.13: Graf dlhodobej stability senzora MQ-2 na propán (prevzaté z [43])

Pred používaním je potrebné senzor nechať zohriať, na čo by mal byť výhrevný element zapojený minimálne 48 hodín. Senzor si tak nepriamo vyžaduje trvalé napájanie z elektrickej siete, keďže nie je možné ho zapnúť len v čase merania, ale výhrevný článok musí senzor predhriať v dostatočnom časovom predstihu. V prípade kontinuálneho sledovania koncentrácie plynov ho teda nemá význam ani vypínať. [43]

Keďže senzor poskytuje analógový výstup vo forme napätia, ktoré je potrebné merať, vyžaduje si analógovo-digitálny prevodník umožňujúci merať napätie minimálne v rozsahu výstupného napätia senzora, teda medzi 2,5 V a 4 V, ideálne však v plnom rozsahu vstupného napätia, čo predstavuje 0 V až 5 V.

MQ-2 bol pre monitor miestnosti vybraný z toho dôvodu, že umožňuje snímať dym aj horľavé plyny, čo je ideálna kombinácia pre bezpečnosť v domácnosti. Alternatívou na snímanie dymu by boli tiež infračervené senzory, no tie by si vyžadovali použitie špeciálnej komory, čo by predstavovalo vzhľadom k veľkosti celého prídavného modulu výraznejšiu komplikáciu.

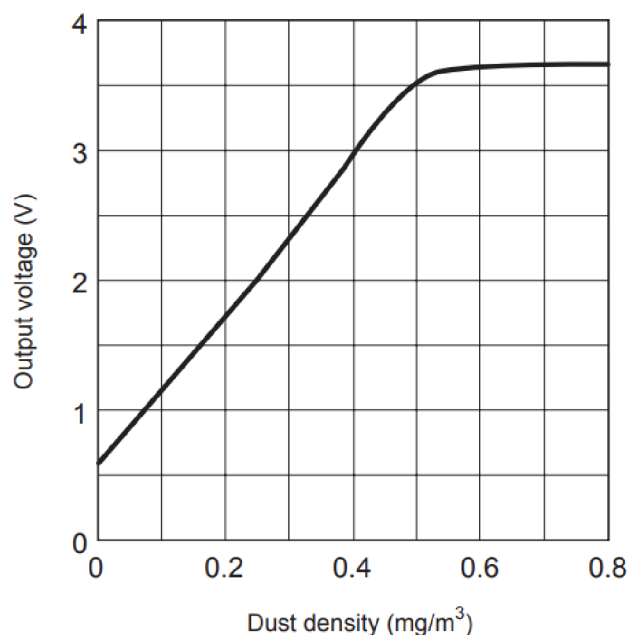
#### 4.3.5 Senzor prachu

Modul na snímanie prachu v ovzduší od výrobcu Waveshare je postavený na báze senzora prachu GP2Y1010AU0F od spoločnosti Sharp. Dokáže zaznamenať v ovzduší častice s priemerom od 0,8  $\mu\text{m}$  s koncentráciou v ovzduší až do 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Senzor obsahuje internú infračervenú diódu na detekciu svetla odrazeného od prachu vo vzduchu a generovanie výstupného napätia úmerného jeho hustote. Takýmto spôsobom umožňuje meranie koncentrácie prachu a dymu v ovzduší.

Napájacie napätie modulu je v rozpätí od 2,5 V do 5,5 V, pričom jeho výstupné napätie rastie proporčne s rastúcou koncentráciou prachu. Obrázok 4.14 zobrazuje graf závislosti výstupného napätia (os y) od hustoty prachu (os x), kde je možné vidieť rozsah merateľných hodnôt hustoty prachu od 0  $\text{mg}/\text{m}^3$  do 0,5  $\text{mg}/\text{m}^3$ .





Obr. 4.14: Graf závislosti výstupného napätia od aktuálnej koncentrácie prachu senzora GP2Y1010AU0F (prevzaté z [42])

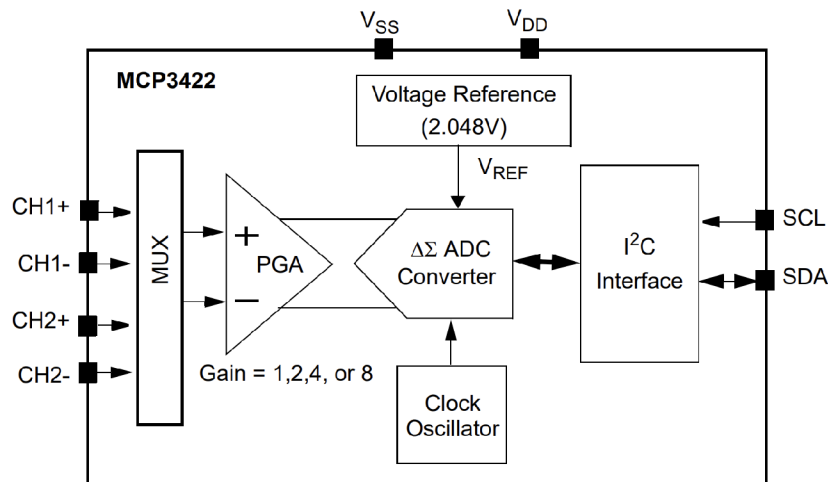
Samotné meranie prebieha rozsvietením diódy na dobu 0,32 ms, pričom hodnotu výstupného napätia modulu je potrebné zaznamenať po 0,28 ms od jej rozsvietenia. Interval meraní by nemal byť menší ako 10 ms. [42]

#### 4.3.6 Analógovo-digitálny prevodník MCP3422

Použitie senzorov s analógovým výstupom pri počítači Raspberry Pi Zero, ktorý nemá k dispozícii analógové vstupy, si nevyhnutne vyžaduje využitie samostatného analógovo-digitálneho (A/D) prevodníka.

MCP3422 od výrobcu Microchip je multikanálový delta-sigma analógovo-digitálny prevodník s rozhraním I2C a vysokou presnosťou s maximálnym rozlíšením 18 bitov. Verzia MCP3422 má dostupné 2 vstupné analógové kanály a má pevnú adresu na komunikáciu pomocou I2C, zatiaľ čo vyššia verzia MCP3423 má adresu nastaviteľnú. Najvyššia verzia MCP3424 disponuje 4 vstupnými analógovými kanálmi a taktiež nastaviteľnou adresou rozhrania I2C.

Na funkčnom blokovom diagrame prevodníka MCP3422 na obr. 4.15 sú zobrazené základné vnútorné prvky a piny tohoto čipu. Prevodník má vnútorné referenčné napätie 2,048 V, ktoré umožňuje meranie diferenčného vstupu v rozsahu od -2,048 V do 2,048 V, v plnom rozsahu teda 4,096 V. Pre takéto meranie sa používajú pre jednotlivé kanály oba vstupné piny + a - označené v závislosti od kanála ako CH1+/- alebo CH2+/- . Pre meranie vstupu s jedným zakončením sa tento vstup pripája na pin s označením + a pin s označením - sa v tomto prípade pripája k zemi. Takýto vstup je možné merať iba v kladnej polovičnej mierke, preto sa pri použití tejto konfigurácie znižuje presnosť o 1 bit (záporné hodnoty nebudú nikdy namerané).



Obr. 4.15: Funkčný blokový diagram A/D prevodníka MCP3422 (prevzaté z [18])

Čip obsahuje zosilňovač s programovateľným nastavením vstupnej citlivosti, konkrétne s hodnotami citlivosti 1, 2, 4 alebo 8. V závislosti od požadovaného rozlíšenia alebo potrebnej rýchlosti merania je možné zvoliť 4 kombinácie rýchlosti prenosu dát:

- 3,75 vzoriek za sekundu pri rozlíšení 18 bitov,
- 15 vzoriek za sekundu pri rozlíšení 16 bitov,
- 60 vzoriek za sekundu pri rozlíšení 14 bitov,
- 240 vzoriek za sekundu pri rozlíšení 12 bitov.

Používateľ si okrem týchto možností rozlíšenia a rýchlosti môže zvoliť, či chce použiť režim jednorazovej konverzie alebo režim kontinuálnej konverzie. V jednorazovom režime sa vykoná konverzia po zaslaní príkazu na jej vykonanie a prevodník sa po jej vykonaní prepne do pohotovostného režimu s nízkou spotrebou  $0,3 \mu\text{A}$  (typicky). Pri režime kontinuálnej konverzie prebieha konverzia neustále podľa nastavení rýchlosti. Typická spotreba počas konverzie je  $145 \mu\text{A}$ . Uvedené spotreby platia pri napájacom napätí 5 V.

Prevodník je možné napájať jednosmerným napätím v rozsahu od 2,7 V do 5,5 V, typicky sa však využíva napätie 3 V alebo 5 V. Rozhranie I<sup>2</sup>C používa napätie na rovnakej maximálnej úrovni ako napájacie napätie prevodníka. Podporuje štandardný mód s frekvenciou hodinového signálu 100 kHz, rýchly mód s frekvenciou 400 kHz a vysoko-rýchlostný mód s frekvenciou 3,4 MHz. [18]

#### 4.3.7 Prekladač napätových úrovní PCA9306

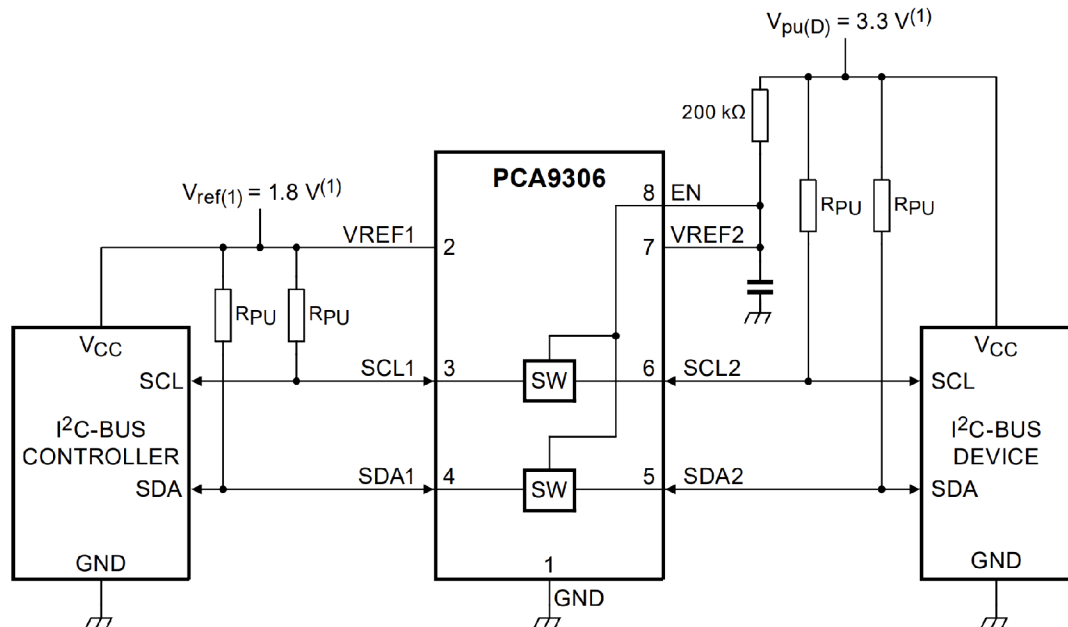
Pri používaní 2 rôznych napätových úrovní na jednej zbernici je potrebné medzi týmito úrovňami zabezpečiť v jednom smere zvýšenie a v opačnom smere zníženie napätia. Na tento účel slúžia prekladače (resp. konvertory) napätových úrovní, ktoré zabezpečia túto zmenu úrovne. Sú využívané najmä v prípadoch, keď je potrebný preklad vo veľmi rýchlom čase, napr. pri zbernici I<sup>2</sup>C alebo SPI.

PCA9306 od výrobcu NXP Semiconductors je duálny obojsmerný prekladač napätových úrovní určený pre zbernice I<sup>2</sup>C a SMBus. Umožňuje preklad bez použitia pinu na zmenu

smeru prekladu. Funguje pri napätí od 1,0 V do 3,6 V na jednej strane zbernice a napätí od 1,8 V do 5,5 V na strane druhej. Jeho súčasťou je aj vstupný EN (enable) pin, ktorý pri privedení vysokej úrovne zapína a umožňuje samotný preklad.

Maximálny čas propagácie medzi napätovými úrovňami je menej ako 1,5 ns, čo umožňuje využitie štandardného módu, rýchleho módu a tzv. rýchleho plus módu zbernice I2C. Samotný preklad je možný medzi týmito typickými úrovňami:

- 1,0 V a 1,8 V, 2,5 V, 3,3 V alebo 5 V,
- 1,2 V a 1,8 V, 2,5 V, 3,3 V alebo 5 V,
- 1,8 V a 3,3 V alebo 5 V,
- 2,5 V a 5 V,
- 3,3 V a 5 V.



Obr. 4.16: Typický aplikačný obvod prevodníka PCA9306 s trvalo zapnutým prekladom (prevzaté z [20])

Obrázok 4.16 ukazuje typický aplikačný obvod prevodníka, kde je možné vidieť na ľavej strane nižšiu napätovú úroveň a na pravej strane vyššiu. Referenčná úroveň napätia sa privádza na piny VREF1 a VREF2. Samotné signály zbernice I2C sa privádzajú na piny SCL1 a SDA1 pre napätovú úroveň VREF1 a na piny SCL2 a SDA2 pre napätovú úroveň VREF2. Zapínací signál EN je odvodený od vyššej napätovej úrovne, pričom pred vstup EN a VREF2 sa umiestňuje ešte odpor s hodnotou 200 kΩ. Na zbernici I2C musia byť samozrejme na oboch stranách pripojené pull-up odpory znázornené ako  $R_{PU}$ . [20]

#### 4.3.8 Napájanie počítača Raspberry Pi Zero

Vzhľadom k umiestneniu počítača v blízkosti stropu a prípadným možnostiam jeho zapuzdrenia, je žiadúce nájsť vhodný spôsob jeho napájania. Plánovaná rekonštrukcia cieľového

priestoru umožňuje doviest na potrebné miesto inštalácie napájacie napätie 24 V (jednosmerné) alebo typických 230 V (striedavé). Existujú teda 2 možnosti, ako zariadenie napájať:

- **Sieťový adaptér**

Počítač je možné napájať pomocou bežného sieťového adaptéra, ktorý sa pripája do zásuvky s napájaním 230 V. Adaptér má na výstupe konektor micro-USB, ktorým sa pripája k počítaču, a dodáva napätie 5,1 V obvykle s prúdom 2,5 A alebo väčším.

- **Napájací modul**

Druhou možnosťou v prípade iného dostupného napájacieho napätia je použitie rozširujúceho napájacieho modulu. Príkladom je modul Zero2Go Omini Rev2<sup>1</sup>, ktorý umožňuje napájanie jednosmerným prúdom s napätím od 3,5 V do 28 V až z 3 rôznych vstupov. Zariadenie obsahuje tzv. step-down a step-up konvertor napätia, ktoré podľa vstupného napätia prepína s cieľom dosiahnuť referenčné napätie 5 V. Modul si tiež vyberá z 3 vstupov ten, na ktorý je privedené najväčšie napätie. Jedinou nevýhodou je možný vznik konfliktu na zbernici I2C, kde má modul adresu 0x29, a tiež s pinmi 7 a 11 počítača Raspberry Pi Zero. [40]

Pre účely diplomovej práce je využitý bežný sieťový adaptér, no pri rekonštrukcii sa počíta s prívodom napájacieho napätia 24 V a využitím niektorého z dostupných napájacích modulov alebo použitím hotového externého konvertora napätia z 24 V na 5 V.

## 4.4 Identifikácia funkčných blokov nástenného ovládača

Základom nástenného ovládača je mikrokontrolér ESP32-WROOM-32, ktorý je podrobnejšie popísaný v časti 2.1.5. Mimo neho tvorí významné funkčné bloky nástenného ovládača senzor CO<sub>2</sub>, teploty a vlhkosti SCD40, prevodník USB-UART a konvertory napätia. V prípade hlavného (core) modulu to je napäťový regulátor pre zmenu napätia z 5 V na 3,3 V, a v prípade vnútorného napájacieho modulu to je konvertor z 24 V na 5 V.

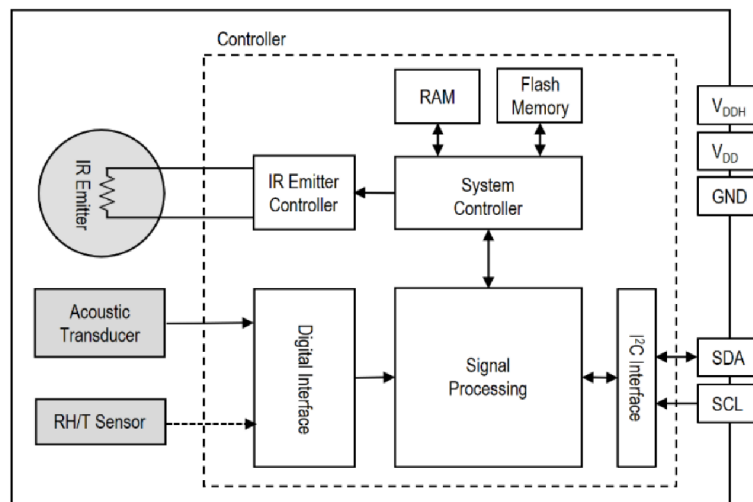
Ďalšími prvkami sú 4 tlačidlá, 4 LED diódy, a taktiež voliteľná možnosť pripojenia modulu so senzorom prachu GP2Y1010AU0F popísaného v časti 4.3.5. Podobne ako pri monitore miestnosti je vytvorená možnosť pripojenia rádio-frekvenčného modulu CC1101 pre použitie so systémom eQ-3.

### 4.4.1 Senzor SCD40

SCD40 je miniatúrny snímač CO<sub>2</sub> založený na princípe fotoakustického snímania a patentovanej technológii PAsens® a CMOSens® spoločnosti Sensirion, ktorá ponúka vysokú presnosť za nízku cenu, a to všetko vo veľmi malej veľkosti iba 10,1 mm x 10,1 mm x 6,5 mm. Vstavaný snímač teploty a vlhkosti umožňuje aj čiastočnú kompenzáciu vplyvov prostredia na meranie.

CO<sub>2</sub> je kľúčovým ukazovateľom kvality ovzdušia v interiéri, pretože jeho vysoké hladiny ohrozujú kognitívnu výkonnosť a pohodu človeka. SCD40 umožňuje inteligentným ventilačným systémom regulovať ventiláciu energeticky efektívnym spôsobom. Jeho umiestnenie v miestnostiach a prepojenie s ventiláciou tak môže pomôcť udržať nízku koncentráciu CO<sub>2</sub> pre zdravé a produktívne prostredie.

<sup>1</sup><https://thepihut.com/products/zero2go-omini-rev2-wide-input-range-power-supply>



Obr. 4.17: Funkčný blokový diagram senzora SCD40 (prevzaté z [31])

Obrázok 4.17 obsahuje funkčný blokový diagram senzora SCD40, na ktorom je možné vidieť vnútorný ovládač, ktorý zabezpečuje kompletne spracovanie nameraných veličín a ich následné uloženie do vnútornej pamäte. Pamäť flash slúži na trvalé uloženie konfiguračných údajov ako posun teploty, nastavenie nadmorskej výšky, či nastavenie automatickej kalibrácie. Na komunikáciu so sensorom je využívaná zbernica I2C v štandardnom režime s maximálnou frekvenciou hodinového signálu 100 kHz. I2C adresa je pevne daná a má v hexadecimálnom kóde hodnotu 0x62.

### Presnosť snímania

Technická dokumentácia senzora SCD40 uvádza vysoký výstupný rozsah koncentrácie CO<sub>2</sub> medzi 0 ppm až 40000 ppm, avšak zaručená presnosť merania CO<sub>2</sub> pri senzore SCD40 je  $\pm 50$  ppm + 5% z čítania pri hodnotách v rozmedzí 400 ppm až 2000 ppm. Typický čas odozvy senzora je 60 sekúnd. Úbytok presnosti merania za 1 rok je pri použití auto-kalibračného algoritmu  $\pm 5$  ppm + 0,5% z čítania.

Rozsah merania relatívnej vlhkosti (RH) je plnohodnotný, teda 0% až 100%. Presnosť pri teplotách -10 °C – 60 °C je  $\pm 9\%$  RH. Pri teplotách medzi 15 °C – 35 °C a RH 20% – 65 % sa táto presnosť zvyšuje na  $\pm 6\%$  RH. Doba odozvy senzora pri meraní RH je typicky 90 sekúnd a úbytok presnosti počas 1 roka menší ako 0,25% RH. Senzor teda vzhľadom na presnosť a dobu odozvy nie je úplne ideálny na samostatné meranie vlhkosti, avšak pokiaľ nie je potrebné kriticky presné meranie RH, tento senzor by mal na približné určenie RH postačovať.

Zabudovaný senzor teploty má rozsah od -10 °C do 60 °C s presnosťou merania  $\pm 1,5$  °C. Pri teplotách medzi 15 °C – 35 °C sa táto presnosť zvyšuje na  $\pm 0,8$  °C. Typický čas odozvy pri meraní teploty je 120 s a úbytok presnosti menší ako 0,03 °C za rok. Podobne ako pri vlhkosti tento senzor nie je ideálny na samostatné meranie teploty, keďže neposkytuje dostatočnú presnosť a potrebuje na ustálenie merania dlhšiu dobu. Pokiaľ však tieto faktory nie sú v aplikácii nevyhnutné, senzor by mal na toto meranie postačovať.

## Napájanie a spotreba

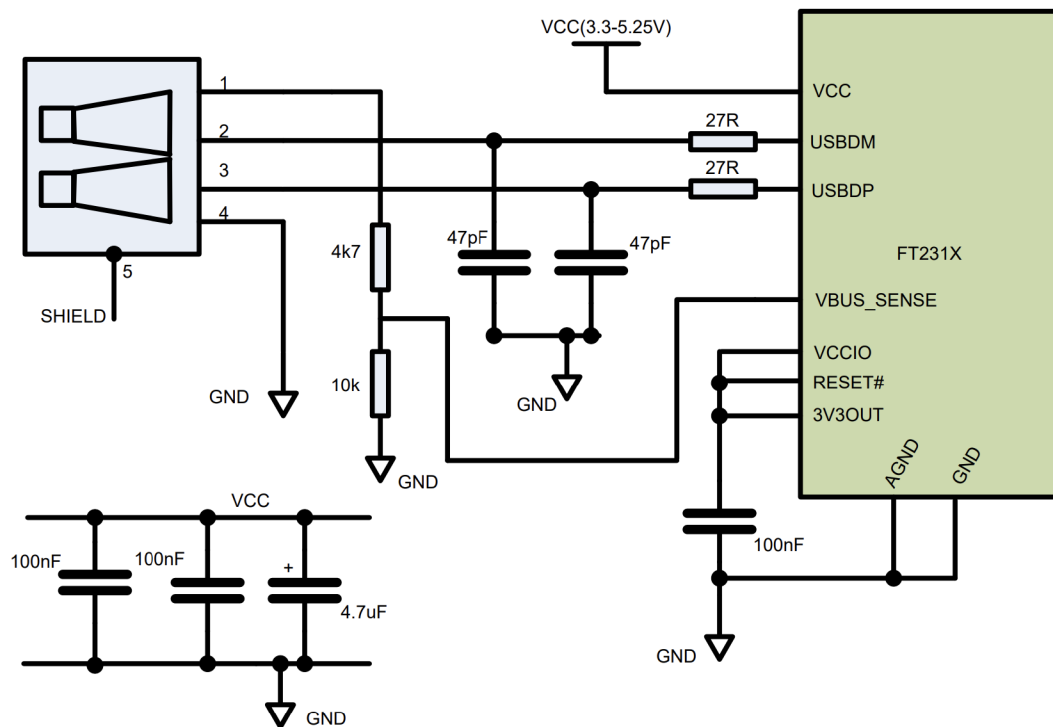
Napájacie napätie senzora je minimálne 2,4 V a maximálne 5,5 V, typicky sa však používa napätie 3,3 V alebo 5 V. Senzor je citlivý na zvlnenie napätia, odporúča sa preto použiť lineárny regulátor napätia s maximálnym zvlnením 30 mV od vrchola k vrcholu. Pri napájanom napätí 3,3 V je maximálny špičkový napájací prúd 205 mA, typicky 175 mA. Priemerný napájací prúd počas periodického merania je typicky 15 mA (max. 18 mA) a pri meraní s nízkym výkonom je to 3,2 mA (max. 3,5 mA). [31]

### 4.4.2 Prevodník USB-UART FT231XS

Mikrokontrolér ESP32-WROOM-32 je možné programovať a komunikovať s ním prostredníctvom rozhrania UART. Aby nebolo nutné pri programovaní obvodu využívať externý obvod (programátor), je praktické doplniť prototyp o prevodník z rozhrania USB 2.0 na rozhranie UART.

FT231XS je prevodník medzi rozhraním USB 2.0 a rozhraním UART, ktorý zahŕňa všetky potrebné súčasti na prevod medzi týmito rozhraniami na jednom čipe bez potreby programovania špecifického firmvéru. Okrem rozhrania UART podporuje aj rozhrania RS232, RS422 a RS485 s dátovým tokom od 300 baud do 3 Mbaud. Ovládače Virtual Com Port (VCP) a Direct (D2XX) eliminujú vo väčšine prípadov potrebu vývoja USB ovládača. Zariadenie je dodávané pred-programované s unikátnym sériovým číslom USB.

Napájanie je možné buď zbernicou USB, zbernicou s prepínaním napätia alebo napájaním samým sebou. Má integrované regulátory napätia z 5 V na 3,3 V a 1,8 V, a na vstupoch zbernice USB má tiež integrovaný konvertor napätovej úrovne na 3,3 V. Zároveň umožňuje detekciu USB nabíjania batérie a detekciu prítomnosti zdroja s vyšším výkonom, aby sa umožnilo jej lepšie nabíjanie. Vzorová schéma zapojenia pri napájaní prevodníka samým sebou je viditeľná na obr. 4.18.



Obr. 4.18: Schéma zapojenia prevodníka FT231X pri napájaní samým sebou (prevzaté z [8])

Prevodník podporuje tzv. full handshake, čo znamená, že poskytuje na pinoch signály potrebné pre rozpoznanie aktuálneho stavu prenosu dát. Tieto piny je pri prepojení s mikrokontrolérom ESP32-WROOM-32 možné využiť na jeho reštart a uvedenie do režimu nahrávania nového firmvéru. K tomuto sú využité piny DTR# a RTS#. [8]

#### 4.4.3 Konvertory napájacieho napätia

Súčasťou plánovanej rekonštrukcie cieľového priestoru sú napájacie rozvodky s jednosmerným prúdom s napätím 24 V. Napájanie modulu je preto navrhnuté na použitie týchto rozvodov a počíta sa so zdrojom napájania s napätím 24 V.

Konverzia napájacieho napätia je riešená v 2 stupňoch. V prvom stupni sa na vnútornom napájacom module konvertuje napätie 24 V na napätie 5 V pomocou konvertora TPS54233. V druhom stupni sa na hlavnom module reguluje napätie 5 V na cieľové napätie 3,3 V.

Pri návrhu je využitý online nástroj Webench Power Designer<sup>2</sup> od spoločnosti Texas Instruments, ktorý umožňuje na základe požadovaných parametrov vybrať vhodný konvertor a pripraví aj vhodné prídavné komponenty ako kondenzátory, odpory, diódy, či induktory. Medzi parametre patrí najmä vstupné a výstupné napätie a požadovaný výstupný prúd, je však možné špecifikovať aj ďalšie podrobnejšie požiadavky.

#### Prevod z 24 V na 5 V

Napätie 5 V je získané pomocou spínaného (switching) zdroja napätia TPS54233D, ktorý je tzv. krokový (step-down) menič napätia smerom dolu. Pri vstupnom napätí 24 V a požadovanom výstupnom napätí 5 V a prúde 1,2 A dosahuje zdroj efektívnosť 86,4% pri spínacej

<sup>2</sup><https://webench.ti.com/power-designer/>

frekvencii 300 kHz a pracovnom cykle 19,65%. Prúd 1,2 A je zvolený z dôvodu dostatočnej rezervy pre prípad tvorby ďalších variantov modulov, ktoré by mali vyššiu spotrebu.

Jednou z nevýhod spínaných step-down zdrojov napätia je generovanie zákmitov vyšších frekvencií vo výstupnom napätí. Naopak veľkou výhodou je efektívnosť a menej vygenerovaného odpadového tepla. [34]

### Prevod z 5 V na 3,3 V

Na zmenu napätia na 3,3 V je využitý regulátor napätia s nízkym výpadkom (tzv. low dropout – LDO) TPS76733QPWP, ktorý má pri vstupnom napätí 5 V a výstupnom napätí 3,3 V s prúdom 1 A efektívnosť 66%. Výstupné napätie má odchýlku s toleranciou 2%. Regulátor dokáže redukovať výkyvy s frekvenciou 300 kHz vygenerované pri prevode z 24 V na 5 V približne o 33,21 dB.

Výhodou LDO regulátora sú malé odchýlky napätia na výstupe a potlačenie neželaných výkyvov napätia vstupného napätia. Nevýhodou je produkovanie tepla, konkrétne rozptyl výkonu 1,7 W v podobe tepla, pričom tepelný odpor medzi spojmi a okolitým prostredím ( $\Theta_{JA}$ ) je 32,6 °C/W. Konkrétny typ obalu tejto súčiastky však umožňuje dostatočný odvod tepla pomocou 8 pinov GND/HSINK. [34]

## 4.5 Návrh schém

Táto sekcia sa detailne venuje zapojeniu súčiastok na všetkých navrhovaných moduloch, a taktiež vzájomnému prepojeniu modulov nástenného vypínača. Opisuje výsledné schémy použité pri návrhu rozloženia dosiek plošných spojov (DPS). Na úvod ale opisuje softvér Altium Designer, ktorý je použitý nie len pri návrhu schém, ale aj pri následnej tvorbe dosiek plošných spojov a finálnych podkladov pre výrobu prototypov.

### 4.5.1 Altium Designer

Altium je spoločnosť, ktorá vyvíja súbor softvérových nástrojov slúžiacich k jednoduchému prepojeniu výrobcov súčiastok, ich distribútorov a dizajnérov dosiek plošných spojov s cieľom zefektívnenia a zrýchlenia vývoja a výroby elektronických produktov.

Vlajkovou loďou tejto spoločnosti je softvér Altium Designer, ktorý v sebe zahŕňa nástroje široké spektrum nástrojov potrebných pri tvorbe návrhu finálnych produktov. Medzi tieto nástroje patria napríklad:

- **Tvorba schém**

Slúži na zachytenie zámeru návrhu a poskytuje nástroje na zapojenie schémy, overenie návrhu, transparentné vytvorenie netlistu (popisu zapojenia elektrického obvodu) a tvorbu rôznych variantov schém.

- **Hierarchický a multi-kanálový dizajn**

Softvér umožňuje navrhovať pokročilú elektroniku s jednoduchou navigáciou na všetkých hierarchických úrovniach, v jednotlivých prepojeniach, či komponentoch.

- **Jednotná správa knižníc**

Platforma spája knižnice schematických značiek a pôdorysov (footprintov) súčiastok, ich životný cyklus a aktuálne plánovanie dodávateľského reťazca, vďaka čomu je možné vhodne vybrať komponenty už v čase návrhu.



- **Zmiešaná simulácia**  
Pomocou rýchlej a presnej simulácie v pokročilom nástroji SPICE je možné preskúmať nápady pred samotnou výrobou.
- **Rozloženie DPS**  
Intuitívna technológia plánovania dosiek zahŕňa natívnu podporu 3D, správu jednotlivých vrstiev dosiek a ovládacie prvky zahŕňajúce faktor leptania, či model drsnosti povrchu.
- **Multi-board dizajn**  
Softvér umožňuje návrh multi-board produktov, teda produktov s viacerými doskami, a taktiež prácu s viacerými doskami už priamo pri návrhu.
- **Interaktívne smerovanie**  
Vďaka interaktívnemu smerovaniu je možné jednoducho prepájať cesty (vodiče) na doske. Smerovanie zabezpečí potlačenie, presunutie, či obídenie ďalších komponentov a umožňuje tiež sledovať oneskorenie konkrétnej cesty, čo má veľký prínos pri vodičoch vedených v páre.
- **Správa údajov**  
Softvér umožňuje tímovú spoluprácu vďaka prepojeniu dát na jednom centralizovanom mieste. Platforma tak splňa potreby rastúcich spoločností, ako napr. návrhové pracovné priestory, či manažment životného cyklu projektu a vydania.
- **Výstupy pre výrobu**  
Altium Designer pokrýva viaceré typy výrobných výstupov tak, aby bolo možné splniť požiadavky výrobcu dosiek. Výstupy je možné exportovať vo formátoch ODB++, IPC-2581 a Gerber X2 so vstavaným CAM editorom.
- **Výrobné výkresy**  
Okrem dokumentácie zahŕňajúcej schémy je možné exportovať aj výrobné výkresy samotného návrhu DPS.

Veľkou výhodou nástroja Altium Designer je tiež možnosť priameho exportu BOM (bill of materials) listu, čo je tabuľka zahŕňajúca všetky použité komponenty vrátane ich označenia v schéme / na doske. Ak užívateľ využíva online databázu súčiastok, tak je možné zistiť ich dostupnosť a cenu, a vytvoriť si tak dokument, ktorý už len vloží do pripraveného formulára pri objednávke produktov. Aj takýmto spôsobom tento softvér umožňuje ušetriť množstvo času.

Altium Designer je určený iba pre operačný systém Windows, aktuálne minimálne od verzie 8.1, ideálne však Windows 10 alebo 11. Pre operačné systémy Linux a OS X je určená online verzia s názvom Upverter. Minimálne hardvérové požiadavky pre softvér sú procesor Intel® Core™ i5 alebo ekvivalentný, 4 GB pamäte RAM, 10 GB priestoru na disku, grafická karta s podporou DirectX 10, monitor s rozlíšením aspoň 1680 x 1050 px, softvér Adobe® Reader® (pre otvorenie súborov vo formáte 3D PDF), webový prehliadač a nástroje Microsoft Office.

#### 4.5.2 Monitor miestnosti

Schéma monitora miestnosti pozostáva z blokov so vstupno-výstupnými (GPIO) rozhraniami, mikrofónmi, konvertorom logických úrovní rozhrania I2C, A/D prevodníkom, meničom úrovne GPIO, PIR senzorom, senzorom okolitého svetla a plynovým senzorom.

## Vstupno-výstupné rozhrania

Vstupno-výstupné rozhrania obsahujú 40-pinový GPIO konektor (samica) s označením P1 na pripojenie k počítaču Raspberry Pi Zero, 4-pinový konektor (samec) P2 ako predprípravu k možnému pripojeniu modulu senzora prachu GP2Y1010AU0F a 8-pinový konektor (samec) P3 ako predprípravu k možnému pripojeniu modulu s RF komunikačným modulom CC1101. 8-pinový konektor pre modul CC1101 má piny s rozstupom 2 mm, zvyšné konektory používajú typizovaný rozstup 2,54 mm.

## Mikrofóny

Dvojica mikrofónov SPH0645LM4H-B so schematickým označením MIC1 a MIC2 je napájaná napätím 3,3 V, ktoré je privedené na piny VDD. Pred každým mikrofónom sú umiestnené oddelovacie kondenzátory s kapacitou 0,1  $\mu$ F a 200 pF. Napájacie napätie je privedené pri jednom mikrofóne aj na vstup SELECT za účelom určenia výstupného kanála. Vstup SELECT je na druhom mikrofóne pripojený k zemi, podobne ako piny GND na oboch mikrofónoch. Vstup SELECT určuje, či bude daný mikrofón posielat dáta ako ľavý alebo pravý kanál.

Vstupy WS, BCLK a Data Out sú súčasťou rozhrania I2S. Signál WS je napojený na pin 36 konektora P1 a signál BCLK na pin 11. Oba tieto signály majú osobitne medzi konektorom a rozvetvením k jednotlivým mikrofónom odpor R1 a R2 s hodnotou 51  $\Omega$ . Signál Data out je pri oboch mikrofónoch vedený cez odpor s hodnotou 51  $\Omega$  (R3, R4), následne je spojený do jedného vodiča a vedený na pin 37 konektora P1.

## Konvertor logických úrovní I2C

Z dôvodu použitia A/D prevodníka s napájacím napätím 5 V je potrebné zabezpečiť, aby aj rozhranie I2C fungovalo na napäťovej úrovni 5 V. K tomuto účelu je využitý prekladač napäťových úrovní PCA9306D,118 s označením U4.

Na prvý prívod referenčného napätia VREF1 je privedené napätie s veľkosťou 3,3 V a na druhý prívod referenčného napätia VREF2 a na vstup EN, ktorý slúži na povolenie prekladu, je privedené napätie 5 V. Podľa referenčnej schémy je medzi napájanie a vstupy vložený ešte odpor R8 s hodnotou 200 k $\Omega$  a medzi vstupy a zem oddelovací kondenzátor C8 s kapacitou 100 pF.

Rozhranie I2C s napäťovou úrovňou 3,3 V z počítača Raspberry Pi je privedené na pin SCL1 a SDA1 prekladača U4. Pin SCL1 je pripojený na pin 6 konektora P1 a pin SDA1 na pin 4 konektora P1. Rozhranie I2C s napätím 5 V je ďalej vedené z pinu SCL2 na sieť s označením I2C\_SCL\_5V a z pinu SDA2 na sieť z označením I2C\_SDA\_5V.

Každé rozhranie I2C potrebuje mať na oboch signálových vodičoch pull-up rezistor, v tomto prípade je teda potrebný pull-up rezistor aj na strane s referenčným napätím 3,3 V, aj na strane s referenčným napätím 5 V. Boli zvolené rezistory s hodnotou 2,2 k $\Omega$ , a to konkrétne R9, R10, R11, R12. Keďže počítač Raspberry Pi má na svojich výstupoch rozhrania I2C už integrované pull-up rezistory, súčiastky R9 a R10 nie je potrebné inštalovať, avšak je pre ne ponechaný priestor pre prípad využitia s inými mikrokontrolérmi.

## Analógovo-digitálny prevodník

Analógovo-digitálny prevodník MCP3422A1-E/SN s označením U5 je potrebný pri prevode analógového výstupu plynového senzora SEN-17049 (MQ-2) a jeho druhý analógový vstup

môže byť využitý pre pripojenie senzora prachu GP2Y1010AU0F prostredníctvom pinu 2 konektora P2, alebo na pripojenie akéhokoľvek iného analógového signálu s maximálnym napätím 5 V.

Prevodník je napájaný napätím 5 V privedeným na vstup VDD a nachádza sa pri ňom oddeľovací kondenzátor C9 s kapacitou 0,1  $\mu\text{F}$  a tantalový elektrolytický kondenzátor C10 s kapacitou 10  $\mu\text{F}$ . Pin VSS je pripojený k zemi a rozhranie I2C s napätovou úrovňou 5 V je privedené na piny SDA a SCL. Konkrétne ide o sieť I2C\_SDA\_5V privedenú na pin SDA a sieť I2C\_SCL\_5V privedenú na pin SCL.

Prevodník je zapojený pre spôsob merania s jedným vstupom, z toho dôvodu sú vstupy CH1– a CH2– pripojené k zemi. Keďže v tomto nastavení dokáže prevodník merať v kladnom smere iba napätie do úrovne 2,048 V, je potrebné napätie na vstupe pomerovo znížiť z úrovne 5 V na maximálnu úroveň 2,048 V. K tomu slúžia napätové deliče s odporami R13 a R14 s hodnotou 6,8 k $\Omega$  a odpory R15 a R16 s hodnotou 10 k $\Omega$ . Výstupy z týchto deličov majú podľa rovnice pre deliče  $V = V_{vstup} * ((R_2)/(R_1 + R_2))$  po doplnení  $V = 5V * (6800/(10000 + 6800))$  výsledné napätie 2,0238 V. Výstupy z deličov sú následne vedené na vstupy CH1+ a CH2+ prevodníka U5.

### Prevodník úrovne GPIO

Účelom využitia prevodníka napätovej úrovne je získanie GPIO pinu s napätovou úrovňou 5 V pre senzor prachu GP2Y1010AU0F alebo akékoľvek iné zariadenie s referenčným napätím 5 V, ktoré môže byť pripojené na pin 1 konektora P2. Prevodník je napojený na pin 17 konektora P1, ktorý reprezentuje GPIO24 počítača Raspberry Pi. Využíva tranzistor BSS138W-7-F typu MOSFET s označením Q1.

Sieť GPIO24 s napätovou úrovňou 3,3 V je pripojená ku pinu 2 (source) tranzistora Q1 a zároveň je na ňu cez odpor R17 s hodnotou 10 k $\Omega$  pripojené napätie 3,3 V. Toto napätie je zároveň privedené na pin 1 (gate – hradlo) tranzistora Q1. Na jeho pin 3 (drain) je pripojený na sieť GPIO24\_5V s napätovou úrovňou 5 V, ku ktorej je ešte cez odpor R18 s hodnotou 10 k $\Omega$  pripojený 5 V zdroj napätia.

### PIR senzor

Senzor pohybu EKMC1603111 so schematickým označením U1 je pripojený pinom VDD k napájaciemu napätiu 3,3 V a je pri ňom umiestnený oddeľovací kondenzátor C5 s kapacitou 0,1  $\mu\text{F}$  spolu s elektrolytickým kondenzátorom C6 s kapacitou 100  $\mu\text{F}$ . Výstup senzora je pripojený ku pinu 15 konektora P1, ktorý reprezentuje GPIO23 počítača Raspberry Pi. Výstup je podľa referenčného zapojenia zároveň prepojený so zemou prostredníctvom pull-down rezistora R5 s hodnotou 100 k $\Omega$ .

### Senzor okolitého svetla

Senzor okolitého svetla VEML7700-TT má schematické označenie U3. Je napájaný s napätím 3,3 V prostredníctvom pinu VDD a nachádza sa pred ním oddeľovací kondenzátor C7 s kapacitou 0,1  $\mu\text{F}$ . Senzor je pripojený ku rozhraniu I2C s referenčným napätím 3,3 V ešte medzi konektorom P1 a prekladačom napätových úrovní U4.

### Plynový senzor

Senzor SEN-17049 (MQ-2) so schematickým označením U2 má 6 pinov, z ktorých piny s označením A (pin 1 a 3) sú pripojené na jednu stranu snímacieho elementu a piny s ozna-

čením B (pin 4 a 6) sú pripojené na jeho druhú stranu. Piny H (2 a 5) sú pripojené k výhrevnému elementu.

Senzor je napájaný s napätím 5 V, ktoré je privedené na konektory 1, 2 a 3. Pri senzore sa nachádza oddeľovací kondenzátor C11 s kapacitou 0,1  $\mu\text{F}$ . Medzi výhrevný element a zem je vložený prídavný odpor R7 s hodnotou 2  $\Omega$ , ktorý zabezpečuje zníženie prípadného vyššieho vstupného napätia na bezpečnú úroveň pod 5 V. Napájací adaptér počítača Raspberry Pi má totiž v niektorých prípadoch výstupné napätie až 5,20 V. Druhý odpor s označením R6 a hodnotou 4,7 k $\Omega$  je takzvaný záťažový odpor  $R_L$ , ktorý je dôležitý pre samotné meranie, ako je uvedené v časti 4.3.4.

### 4.5.3 Hlavný (Core) modul nástenného vypínača

Hlavný modul nástenného vypínača tvoria v schéme bloky MCU (MicroController Unit – mikrokontrolér), kontrolné tlačidlá MCU, GPIO konektory, pripojenie USB a prevodník z USB na UART, regulátor napätia a volič napájacieho napätia.

#### Mikrokontrolér (MCU)

ESP32-WROOM-32D-N16 je verzia mikrokontroléra (MCU) ESP32 s vnútornou pamäťou flash, ktorá má veľkosť 16 MB. Mikrokontrolér má už svojho nástupcu s označením 32E, avšak z dôvodu výpadkov v dodávateľských reťazcoch bola využitá verzia 32D, ktorá je plne kompatibilná s verziou 32E. V schéme je mikrokontrolér označený ako súčiastka U1.

Napájanie MCU je zabezpečené napätím 3,3 V, pričom pred samotným MCU je za účelom filtrácie napätia pridaný oddeľovací kondenzátor C1 s kapacitou 22  $\mu\text{F}$  a oddeľovací kondenzátor C2 s kapacitou 100 nF. Vstup EN (enable) určujúci zapnutie MCU je pripojený k napätiu 3,3 V prostredníctvom pull-up rezistoru R1 s hodnotou 10 k $\Omega$  a k zemi cez oddeľovací kondenzátor C3 s kapacitou 100 nF.

Všetky vstupno-výstupné GPIO piny sú vyvedené na GPIO konektory. Výnimkou sú piny 17 až 22, ktoré slúžia k pripojeniu vnútornej pamäte flash mikrokontroléra ESP32-WROOM-32D, a piny RXD0 a TXD0, ktoré tvoria zbernicu UART a sú prepojené s USB-UART prevodníkom.

#### Kontrolné tlačidlá

Mikrokontrolér dokáže fungovať aj bez akýchkoľvek kontrolných tlačidiel, napriek tomu je však vhodné využiť tlačidlá na jeho reštart a ovládanie zavádzania nového firmvéru. Na ovládanie týchto funkcií sú teda pridelené 2 tlačidlá SKRKAHE020 so schematickým názvom RST pri tlačidle slúžiacom k reštartu mikrokontroléra a so schematickým názvom BOOT pri tlačidle slúžiacom k nastaveniu mikrokontroléra do stavu, v ktorom očakáva zavedenie nového firmvéru.

Tlačidlo RST je pripojené k sieti EN a k zemi, pričom jeho zatlačením a uvoľnením je pin EN mikrokontroléra na moment stlačenia uzemnený a mikrokontrolér sa reštartuje. Podobne je to pri tlačidle BOOT, ktoré je pripojené k pinu I00 na MCU a k zemi, a jeho stlačením sa mikrokontrolér uvedie do režimu zavádzania nového firmvéru. Pri oboch tlačidlách je paralelne s tlačidlom pripojený aj kondenzátor (C4 a C5) s kapacitou 100 nF, ktorý slúži na čiastočné potlačenie neželaných zákmitov napätia spôsobených zatlačením / uvoľnením tlačidla.

## GPIO konektory

Všeobecne použiteľné vstupno-výstupné konektory P1 a P2 slúžia k prepojeniu jednotlivých modulov nástenného vypínača, preto je zvolený na tomto mieste konektor typu SSQ-108-03-G-D, ktorý má po osadení z jednej strany dosky podobu zásuvky a z druhej strany lištu s pinmi. Konektor má 16 kontaktov, oba teda umožňujú prepojiť až 32 rôznych signálov, resp. sietí.

Konektory obsahujú vývody pinov mikrokontroléra U1 okrem už spomínaných špeciálnych vývodov, ktoré sú vynechané. Zároveň je prostredníctvom nich prenášané napájacie napätie, a to konkrétne v tejto podobe:

- **Sieť 5VEXT** prenáša vstupné napätie 5 V z externého zdroja napájania prostredníctvom spodného napájacieho modulu.
- **Sieť 5V** poskytuje napájanie komponentov s napájacím napätím 5 V. Výber napätia pre túto sieť zabezpečuje volič napätia J2 buď z napájania USB konektora alebo z napájania poskytnutého spodným napájacím modulom.
- **Sieť 3V3** poskytuje napájanie komponentov s napájacím napätím 3,3 V, ktoré je získané prostredníctvom napäťového regulátora.

Z praktických dôvodov sú tieto siete a sieť GND slúžiaca ako zem zdvojené a nachádzajú sa na oboch konektoroch P1 aj P2. Ak by došlo k nedokonalému kontaktu konektorov, prúd môže stále smerovať cez druhý konektor. Zároveň sa týmto spôsobom môže rozdeliť záťaž na jednotlivé piny.

## Pripojenie USB a USB-UART prevodník

Na pripojenie k rozhraniu USB slúži Micro-USB konektor J1, ktorý je napojený na prevodník rozhrania USB na rozhranie UART FT231XS-U so schematickým názvom U2. Medzi nimi je ešte vložená ochrana pred elektrostatickými výbojmi (ESD – electrostatic discharge) U3 v podobe súčiastky RCLAMP0502A.TCT.

Dátové párové vodiče D- a D+ sú privedené z konektora J1 na piny D- a D+ ochrany U3, podobne ako napájanie z pinu VBUS konektora J1 na pin VCC ochrany U3. Pin GND a taktiež plôšky SHLD1 až SHLD4 sú pripojené k zemi.

Chránené dátové párové vodiče sú následne vedené z pinu D-\_PROT a D+\_PROT ochrany U3 na piny USBDM a USBDP prevodníka U2. Jeden aj druhý dátový vodič je medzi ochranou U3 a prevodníkom U2 napojený ku kondenzátoru s kapacitou 47 pF pripojenému k zemi a ďalej je vedený cez odpor s hodnotou 27  $\Omega$ . Pre kladný párový vodič je to kondenzátor CP a odpor RDP, a pre záporný párový vodič je to kondenzátor CM a odpor RDM.

Napájanie z pinu VBUS konektora J1 je pred prevodníkom U2 napojené na oddeľovací kondenzátor C6 s kapacitou 100 nF, C7 s kapacitou 4,7  $\mu$ F a C8 s kapacitou 10 nF, a následne prechádza cez feritový filter FB1 na pin VCC prevodníka U2. Feritový filter slúži na filtráciu vyšších frekvencií v okolí 400 MHz. Prevodník je v režime napájania samého seba, z toho dôvodu sú prepojené jeho piny 3V3OUT, VCCIO a RESET#, ku ktorým je pripojený ešte kondenzátor C9 s kapacitou 100 nF.

Rozhranie UART z prevodníka je vedené z pinu TXD cez odpor R2 s hodnotou 1 k $\Omega$  na pin RXD0 mikrokontroléra U1. Podobne je vedený druhý signál rozhrania z pinu RXD prevodníka U2 cez odpor R3 s hodnotou 1 k $\Omega$  na pin TXD0 mikrokontroléra U1.

Prevodník U2 poskytuje aj možnosť automatického resetu a ustanovenia stavu zavádzania firmvéru mikrokontroléra U1 prostredníctvom špeciálnej logiky dvoch tranzistorov Q1 a Q2 s odpormi R5 a R6 pripojených k sieti EN a sieti I00 MCU U1. K tomuto účelu slúžia výstupy prevodníka U2 s označením DTR a RTS.

### Regulátor napätia

Na získanie napätia 3,3 V z pôvodného napätia 5 V, ktoré je privedené na modul, je využitý regulátor s nízkym výpadkom, inak nazývaný tiež low drop-out (LDO) regulátor. Ide o súčiastku TPS76733QPWPRQ1 v schéme označenú názvom U4. Na jej vstupy s označením IN je privedené napájanie 5 V, pričom pred vstupmi IN sa nachádza ešte oddeľovací kondenzátor C17 s kapacitou 47 nF. Výstupy s označením OUT sú následne napojené na sieť 3V3, teda sieť s napätím 3,3 V. Za regulátorom je na tejto sieti pridaný elektrolytický kondenzátor C18 s kapacitou 15  $\mu$ F a sieť je tiež cez odpor R12 s hodnotou 249 k $\Omega$  napojená ku negovanému vstupu RESET. Negovaný vstup EN je pripojený spolu s ďalšími pinmi GND a GND/HSINK (slúžiacimi k odvodu tepla) k zemi.

### Volič napätia

Poslednou časťou je volič zdroja napájania s napätím 5 V pozostávajúci z 3 pinov, ktoré je možné spojiť prepojkou podľa toho, odkiaľ má byť zariadenie napájané. Stredný pin sa považuje za výstup, zatiaľ čo na postranných pinoch je privedené napájanie z napájacieho modulu (sieť 5VEXT) a z konektora USB (sieť 5VUSB).

#### 4.5.4 Vrchný modul nástenného vypínača

Schéma vrchného modulu, ktorý je ako jediný na povrchu elektrikárskej škatulky, pozostáva z konektorov na pripojenie k hlavnému (core) modulu, konektorov predpripravených na pripojenie RF modulu CC1101 a senzora prachu, resp. koncentrácie malých častíc (particulate matter - PM). Hlavným prvkom modulu je senzor CO<sub>2</sub>, teploty a vlhkosti, ovládacie tlačidlá a LED podsvietenie.

### Konektory

Modul obsahuje spolu 4 konektory. Konektory P1 a P2 slúžia na pripojenie k hlavnému modulu – majú teda totožné rozloženie pinov, ako pri hlavnom module.

Ako príprava pre pripojenie senzora prachu (resp. častíc vo vzduchu) slúži konektor P3. Ten má vyvedené napájacie napätie 3,3 V, zem a GPIO piny GPIO26 a GPIO27 z konektora P1.

Posledným je konektor P4, ktorý slúži ako príprava na pripojenie RF modulu CC1101. Modul CC1101 má piny s menším rozstupom, a to len 2 mm. Z tohoto dôvodu je aj rozstup pinov konektora P4 iba 2 mm namiesto bežného rozstupu 2,54 mm. Konektor má okrem napájacieho napätia 3,3 V a zeme vyvedené aj SPI rozhranie z mikrokontroléra hlavného modulu prostredníctvom konektora P2, a tiež špeciálne signály GD00 a GD02, z ktorých je však potrebný iba pin GD02, ktorý je napojený na pin GPIO25 konektora P1.

### Senzor CO<sub>2</sub>, teploty a vlhkosti

Najdôležitejšiu súčiastku na module predstavuje senzor SCD40-D-R2 so schematickým názvom U1, ktorý slúži na meranie koncentrácie CO<sub>2</sub>, teploty a relatívnej vlhkosti. Senzor je

napájaný napätím 3,3 V a nachádza sa pri ňom oddelovací kondenzátor C5 zabezpečujúci redukciu krátkodobých výkyvov napätia.

Na komunikáciu s mikrokontrolérom na hlavnom module používa senzor rozhranie I2C. Ako I2C rozhranie sú využité piny GPIO21 a GPIO22 privedené prostredníctvom konektora P2. Pin GPIO21 slúži ako signál SDA a pin GPIO22 ako signál SCL. Tie sú ďalej vedené na piny SDA a SCL senzora U1. Modul obsahuje aj pull-up rezistory R1 a R2 s rezistenciou 2,2 k $\Omega$ , ktoré sú k týmto signálom napojené.

### **Tlačidlá**

Ku hlavnému účelu nástenného vypínača – jednoduchému ovládaniu pridelených funkcií – slúžia 4 spínače (tlačidlá) B3F-4000, schematicky pomenované SW1 až SW4. Tie sú pripojené ku GPIO pinom, a to konkrétne v takomto poradí:

- SW1 ku pinu GPIO32,
- SW2 ku pinu GPIO33,
- SW3 ku pinu GPIO34,
- SW4 ku pinu GPIO35.

Všetky tieto GPIO piny sú napojené na vlastné pull-up rezistory (R3 až R6) s rezistenciou 10 k $\Omega$ . Stlačením tlačidiel teda dôjde k prepojeniu daných pinov k zemi. Na čiastočné potlačenie výkyvov napätia spojených so stlačením / pustením tlačidla je paralelne s každým tlačidlom zapojený kondenzátor s kapacitou 100 nF (kondenzátory C1 až C4).

### **Podsvietenie**

K podsvieteniu tlačidiel sú použité 4 LED diódy IN-S85AT5B D1 až D4, pred ktorými sú za účelom dosiahnutia potrebného napájacieho napätia a prúdu pripojené rezistory R7 až R10 s rezistenciou 82  $\Omega$ . Každú LED diódu je možné ovládať samostatne vďaka osobitnému pripojeniu ku GPIO pinom, a to v tomto poradí:

- D1 ku pinu GPIO36,
- D2 ku pinu GPIO39,
- D3 ku pinu GPIO12,
- D4 ku pinu GPIO14.

#### **4.5.5 Napájací modul nástenného vypínača**

Vnútorňý modul, ktorý je umiestnený najhlbšie v inštaláčnej elektrickárskej krabicičke, je hlavným zdrojom napájacieho napätia 5 V pre ostatné moduly. Obsahuje konektory P1 a P2, ktoré sú rozložením pinov totožné s konektormi P1 a P2 na hlavnom module. Na pripojenie ku zdroju trvalého napájania slúži pevný blok so svorkami s označením 1729018 od výrobcu Phoenix Contact. Umožňuje pripojenie vodičov s priemerom 0,14 mm<sup>2</sup> až 1,5 mm<sup>2</sup>, ktoré sa upevňujú pomocou skrutky. V schéme je svorka označená ako konektor J1.

## Menič napätia 24 V na 5 V

Základom napájacieho modulu je krokový menič napätia smerom dole (tzv. step-down) z napätia 24 V na napätie 5 V. K zmene napätia je využitý konvertor TPS54233D (v schéme U1) od výrobcu Texas Instruments s príslušnými pomocnými súčiastkami. Schéma zapojenia konvertora je vygenerovaná prostredníctvom online nástroja Webench Power Designer.

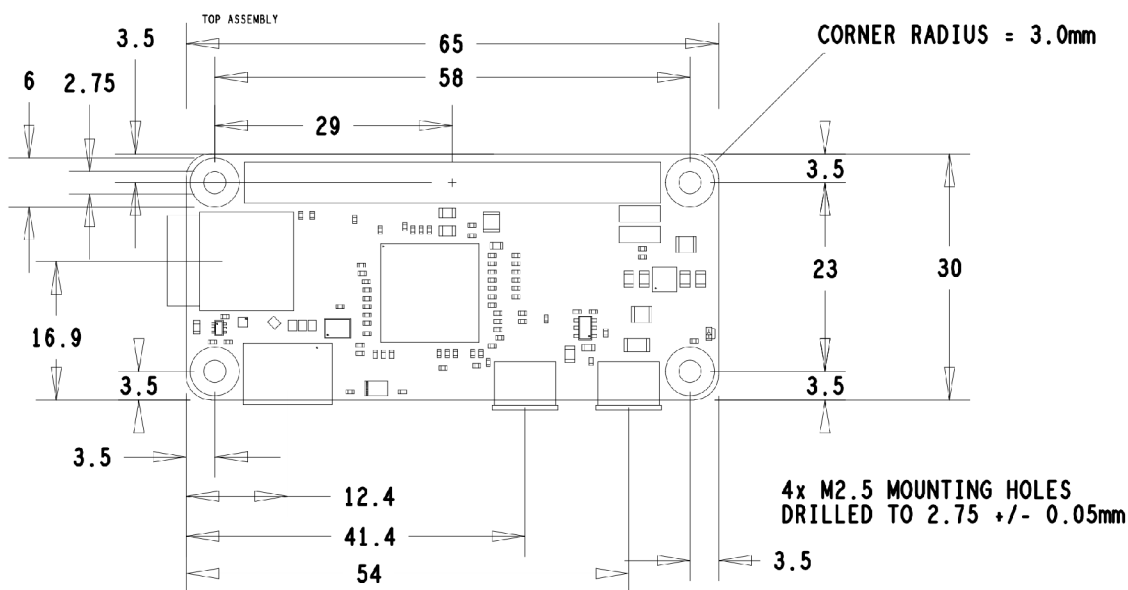
## 4.6 Návrh dosiek plošných spojov

Sekcia návrhu dosiek plošných spojov (DPS), v angličtine označovaných ako printed circuit boards (PCB), popisuje jednotlivé moduly navrhovaných prototypov. Konkrétne sa zaoberá veľkosťou, umiestnením jednotlivých súčiastok a prepojením modulov do výsledného celku.

Pri navrhovaných moduloch boli vybrané polovodičové súčiastky s obalmi, ktoré majú väčší rozmer, než by bolo nevyhnutné. Dôvodom je ručné osádzanie dosiek, pri ktorom by mohlo dôjsť s príliš malými súčiastkami ku nepresnostiam a napríklad ku vzniku neželaných prepojení a skratov.

### 4.6.1 Monitor miestnosti

Doska monitoru miestnosti je navrhovaná ako rozširujúci modul pre počítač Raspberry Pi Zero. Jej rozmer preto kopíruje rozmer počítača, a to vrátane zaoblených hrán a otvorov pre fyzické spojenie pomocou dištančných stĺpikov. Obrázok 4.19 zobrazuje výkres fyzických rozmerov počítača Raspberry Pi Zero.



Obr. 4.19: Výkres fyzického návrhu dosky počítača Raspberry Pi Zero (rozmery v mm) (prevzaté z [30])

Navrhovaný modul má rozmery 65 mm x 30 mm s montážnymi otvormi s priemerom 2,5 mm vo všetkých 4 rohoch, ktoré sú umiestnené vo vzdialenosti 3,5 mm od oboch hrán dosky. Fixne sú umiestnené tiež GPIO piny, pričom 40-pinový GPIO header sa nachádza



vo vzdialenosti 3,5 mm od dlhšej 65 mm hrany a má stred vo vzdialenosti 29 mm od stredú montážnych otvorov, resp. 32,5 mm od kratších hrán dosky.

Doska má 4 signálové vrstvy, z ktorých vonkajšie vrstvy slúžia pre bežné cesty (vodiče). Jedna vnútorná vrstva je pripojená na zem a druhá slúži na napájanie a je rozdelená na 2 časti – jednu s napätím 3,3 V a druhú s napätím 5 V. Vrchná a spodná vrstva je navyše vyplnená medeným polygónom pripojeným k zemi, ktorý pomáha s potlačením šumu a s distribúciou tepla na doske.

### **Umiestnenie komponentov**

Pri umiestnení komponentov sa počíta s vertikálnym naklonením modulu aj samotného počítača Raspberry Pi Zero. Tento fakt je dôležitý najmä z dôvodu distribúcie tepla zo senzora dymu a plynov MQ-2. Všetky senzory sa nachádzajú na hornej strane modulu, ktorá zostane po pripnutí k počítaču viditeľná. Na opačnej strane modulu, ktorá bude nasmerovaná k počítaču, sa nachádzajú prevažne obslužné obvody.

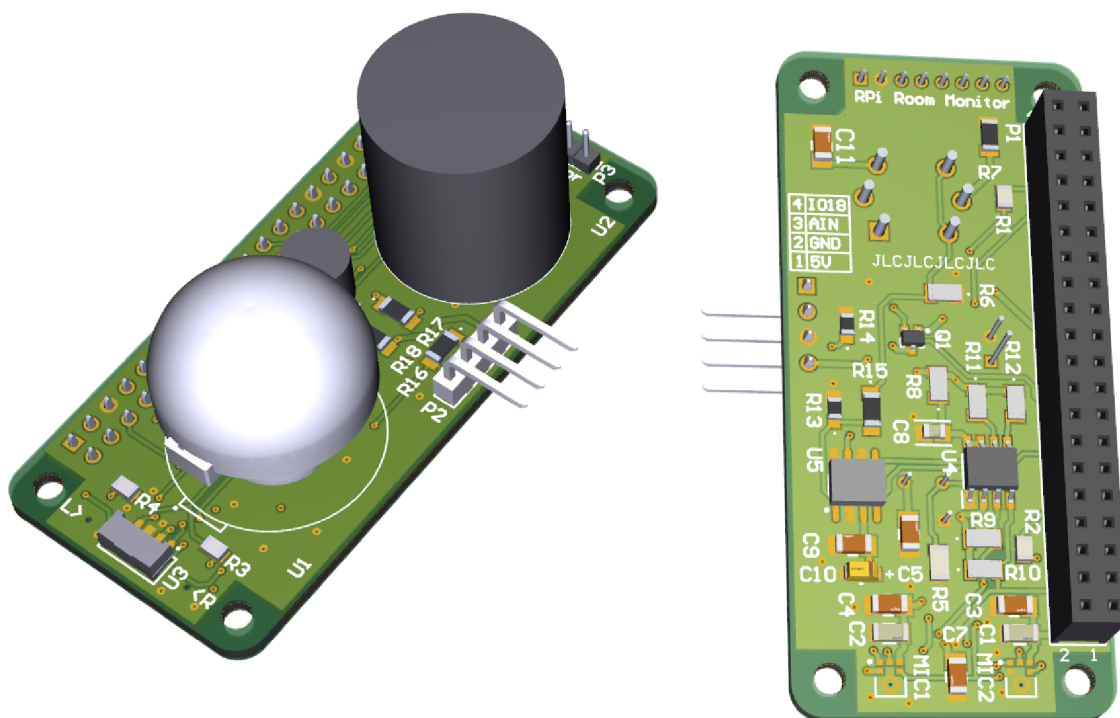
Pri vertikálnom natočení je umiestnený najvyššie na doske senzor MQ-2., pričom ostatné komponenty sú od neho čo najviac vzdialené. Dôvodom je výhrevné teleso senzora, ktoré by mohlo nepriaznivo ovplyvňovať funkciu zvyšných komponentov, a to najmä senzorov.

Nižšie na doske sa nachádza senzor pohybu EKMC1603111 a úplne dole sa nachádza senzor okolitého svetla VEML7700 tak, aby ho čo najmenej zatienoval senzor pohybu. Po bokoch senzora svetla sa nachádzajú snímacie otvory pre mikrofóny SPH0645LM4H-B, ktorých telo sa nachádza z opačnej strany dosky.

Na opačnej strane dosky sa nachádza A/D prevodník MCP3422 a prekladač logických úrovní PCA9306D,118. Tieto a aj ďalšie súčiastky sú umiestnené pri vertikálnom natočení v spodnej časti dosky, aby bola čo najviac eliminovaná teplota od senzora MQ-2.

Všetky oddeľovacie kondenzátory slúžiace na filtráciu vstupného napätia pred súčiastkami sa nachádzajú najbližšie k týmto súčiastkam, ako je to fyzicky a priestorovo možné.

Okrem spomínaného 40-pinového GPIO konektora sa na module nachádza aj príprava pre 8-pinový konektor na pripojenie RF modulu CC1101, ktorý má rozstup pinov 2 mm a je umiestnený úplne v hornej časti modulu. Ďalší konektor so 4 pinmi je pripravený na pripojenie modulu senzora prachu GP2Y1010AU0F a nachádza sa medzi senzormi MQ-2 a EKMC1603111 na opačnej strane ako 40-pinový GPIO konektor. Pre tento konektor je z praktických dôvodov zvolená lišta pinov so zalomením o 90°.



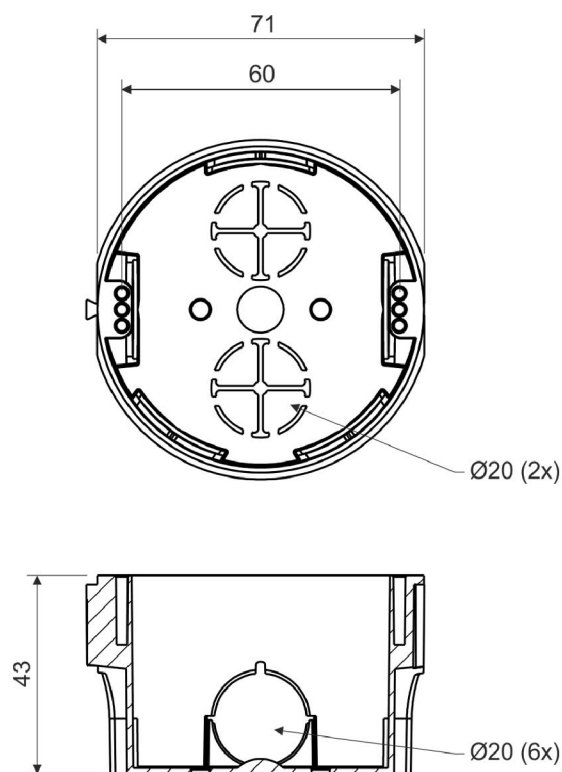
Obr. 4.20: Návrh modulu monitora miestnosti v 3D

Výsledný návrh modulu monitora miestnosti je zobrazený na obr. 4.20 vo forme 3D modelu. Niektoré súčiastky nemajú dostupné plnohodnotné 3D modely, preto sú na ich mieste zobrazené iba alternatívne 3D útvary.

#### 4.6.2 Nástenný vypínač

Nástenný vypínač je navrhnutý ako modulárny systém zložený z 3 dosiek, ktoré vzájomným spojením vytvárajú funkčný celok. Spojenie je možné vytvoriť s použitím samotných konektorov, ktoré zabezpečujú komunikáciu modulov, ale aj pomocou dištančných stĺpikov.

Dosky sú zostavené tak, aby ich bolo možné umiestniť do bežnej elektrikárskej inštaláčnej škatuľky s vonkajším priemerom 71 mm a montážnymi otvormi pre skrutky vo vzdialenosti 60 mm, ktorej náčrt je zobrazený na obr. 4.21. Škatuľka má hĺbku 43 mm a je potrebné počítať, aby sa do nich okrem modulov zmestila aj nevyhnutná dĺžka prívodného kábla.



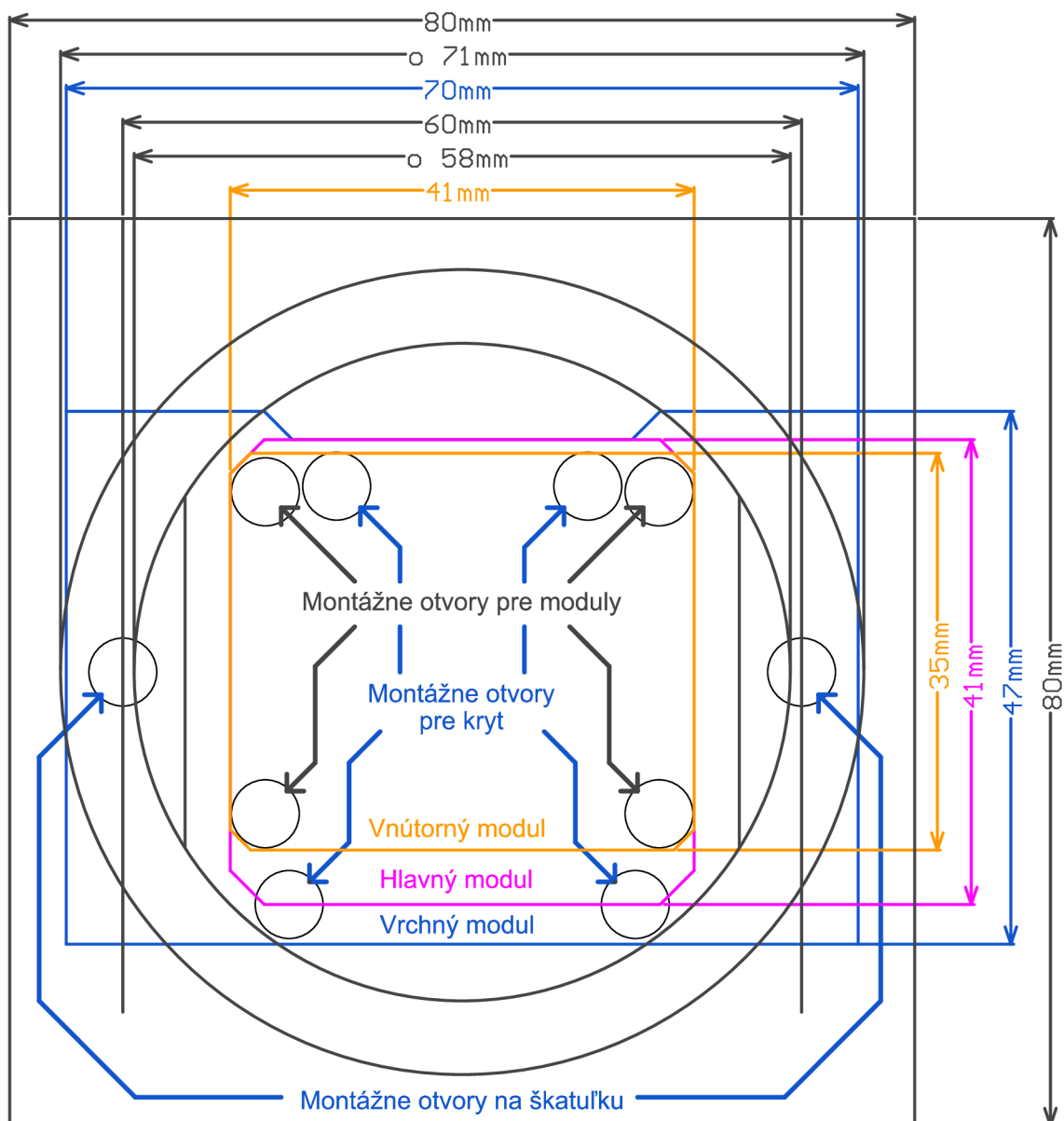
Obr. 4.21: Elektrikárska inštaláčna krabica typu KP 68 KA<sup>3</sup>

Z tohoto nákresu a z bežných rozmerov nástenných škatuliek 80 mm x 80 mm je následne odvodená aj požadovaná maximálna veľkosť modulov, ktoré majú byť umiestnené vnútri škatulky a modulu, ktorý má byť pripevnený na povrchu škatulky. Na obr. 4.22 je možné vidieť vyobrazené obrysy bežnej nástennej škatulky 80 mm x 80 mm a zároveň obrysy inštaláčnej škatulky pod omietku s priemerom 71 mm. Táto škatulka má vnútorné výčnelky, ktoré tento priemer obmedzujú na 58 mm a v okolí otvorov pre skrutky je to ešte menej. Samotné otvory na montážne skrutky sú vo vzdialenosti 60 mm.

V obrázku sú ďalej znázornené jednotlivé moduly. Modrú farbu má obrys vrchného modulu s rozmerom 70 mm x 47 mm, ktorý má zároveň pripravené montážne otvory na škatulku a montážne otvory pre prípadný kryt. Výška tohoto modulu umožňuje, aby ponad a popod neho prenikal vzduch k modulom pod ním a odvádzalo sa tým vygenerované teplo. Ružovou farbou je zvýraznený hlavný modul, ktorý má rozmer 41 mm x 41 mm. Vnútorňý modul s oranžovým obrysom má najmenší rozmer 41 mm x 35 mm. Hlavný aj vnútorňý modul majú skosené okraje, aby sa zabránilo zbytočnému zachyteniu o okraj škatulky, prípadne o kabeláž pri montáži.

Všetky moduly je navzájom možné fyzicky spojiť dištančnými stĺpkami, pre ktoré sú pripravené montážne otvory označené v nákrese ako otvory pre moduly. Nachádzajú sa v rohoch vnútorného modulu a ich polohu následne kopíruje aj hlavný a vrchný modul.

<sup>3</sup>Prevzaté z: <https://stekel.sk/rozvadzace-skrine-krabice/instalacna-krabica-kp-68-ka/>

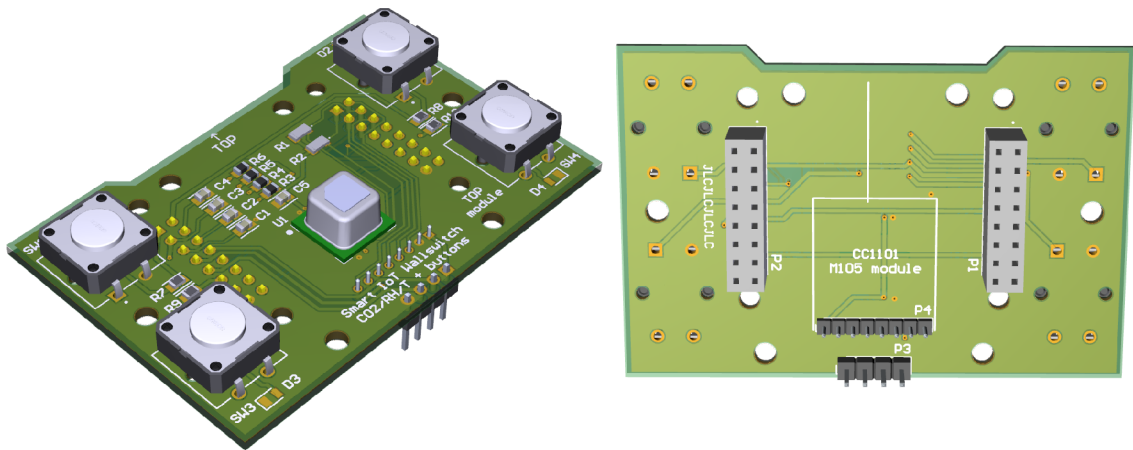


Obr. 4.22: Náskres rozmerov modulov nástenného vypínača a rozmerových obmedzení

Na základe návrhu veľkosti jednotlivých modulov podľa náčrtu na obr. 4.22 je možné s istotou povedať, že sa moduly svojou šírkou a výškou zmestia do akejkoľvek bežnej škatuľky. Z pohľadu hĺbky však záleží aj od konkrétneho typu použitých konektorov, ktoré tvoria v tomto prípade pinové lišty a zásuvky.

## Vrchný modul

Na vrchnom module, ktorého 3D model je zobrazený na obr. 4.23, sa v rohoch nachádzajú 4 tlačidlá, vedľa ktorých sú LED diódy. V hornej časti sú LED diódy umiestnené nad tlačidlami, v spodnej časti naopak pod tlačidlami. V strede modulu sa nachádza senzor CO<sub>2</sub>, teploty a vlhkosti SCD40, ktorý by nemal byť ovplyvnený teplotou iných súčiastok. To je hlavný dôvod jeho oddelenia od ostatných súčiastok generujúcich teplo, ktoré sú preto na samostatných moduloch. Prepojenie s nimi zabezpečujú 2 GPIO konektory umiestnené medzi montážnymi otvormi pre dištančné stĺpiky.



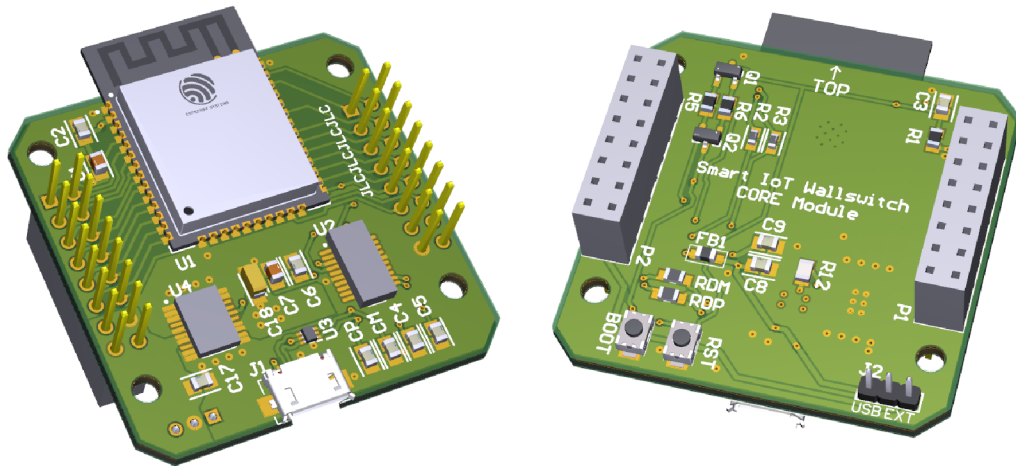
Obr. 4.23: Návrh vrchného modulu nástenného vypínača v 3D

Na vnútornej strane dosky, ktorá bude otočená dovnútra škatulky, sa v spodnej časti nachádza príprava pre RF modul CC1101 vo forme konektora – lišty s 8 pinmi s rozstupom 2 mm. Pod ním je príprava na pripojenie modulu senzora prachu GP2Y1010AU0F vo forme konektora so 4 pinmi.

Doska modulu z dôvodu menšieho počtu súčiastok a ich prepojení nevyžaduje až 4 signálové vrstvy, preto bola zvolená 2-vrstvová varianta. Na zníženie rušenia a zabezpečenie jednoduchého pripojenia súčiastok k zemi sú na oboch stranách medené polygóny pripojené k zemi.

## Hlavný modul

Doska hlavného modulu kopíruje umiestnenie GPIO konektorov zvyšných modulov. Spredu sa v jej hornej časti nachádza mikrokontrolér ESP32-WROOM-32D, ktorého anténa vyčnieva mimo jej pôdorysu. Pod ním je na pravej strane umiestnený prevodník USB-UART FT231XS-U a na ľavej strane regulátor napätia TPS76733QPWPRQ1. V spodnej časti sa v strede nachádza konektor micro USB. Z opačnej strany dosky je v blízkosti regulátora volič zdroja napájania a vľavo dole aj tlačidlá slúžiace na reštart a nahrávanie firmvéru. Návrh v podobe 3D modelu je zobrazený na obr. 4.24.

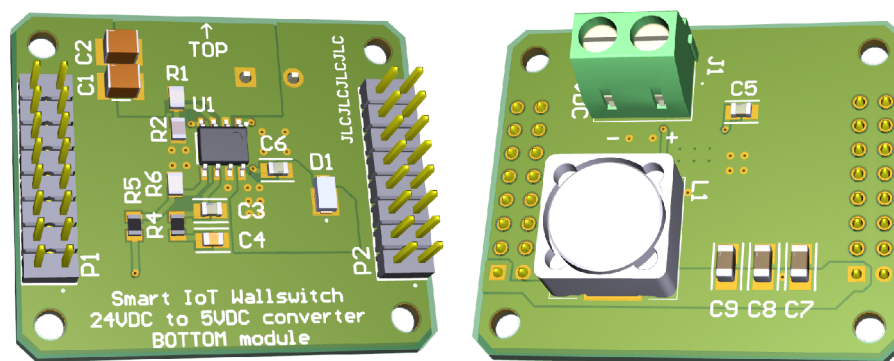


Obr. 4.24: Návrh hlavného modulu nástenného vypínača v 3D

Väčší počet súčiastok a menší rozmer spôsobil potrebu využitia 4 signálových vrstiev, z ktorých jedna vnútorná vrstva je pripojená k zemi a druhá rozvádza potrebné napájacie napätia medzi komponentami. Na vrchnej signálovej vrstve sú špecificky vytvorené medené polygónové plochy v okolí regulátora napätia, ktoré primárne odvádzajú teplo od jeho pinov, no zároveň slúžia ako vodivé plochy pre siete pripojené k týmto pinom. Konkrétne ide o polygóny pripojené k sieťam s napätím 5 V a 3,3 V. Celá zvyšná plocha, a taktiež zvyšná plocha signálovej vrstvy z opačnej strany dosky, je pokrytá polygónom pripojeným k zemi.

### Vnútorňý modul

Napájací vnútorňý modul je tvorený konvertorom napätia TPS54233D s jeho obslužnými obvodmi, napájacím konektorom a GPIO konektormi k pripojeniu ostatných modulov. Rozloženie všetkých súčiastok sa odvíja od rozloženia medených polygónov na 2 signálových vrstvách dosky. Tieto polygóny sú rozmiestnené tak, aby čo najefektívnejšie odvádzali teplo vyprodukované konvertorom.



Obr. 4.25: Návrh vnútorného napájacieho modulu nástenného vypínača v 3D

Na obr. 4.25 je zobrazený 3D model návrhu modulu, kde je možné čiastočne pozorovať aj spomínané polygóny. Okrem nich slúži na odvod odpadového tepla z vrchnej vrstvy dosky na spodnú aj zvýšené množstvo prekovených dier.

## Kapitola 5

# Implementácia a testovanie

Kapitola implementácia a testovanie popisuje softvér implementovaný pre účely testovania vytvorených hardvérových prototypov a samotné testovanie prototypov s použitím softvérových platforiem pre riadenie inteligentnej domácnosti Node-RED a Home Assistant.

### 5.1 Softvér pre monitor miestnosti

Úlohou obslužného softvéru pre monitor miestnosti je získavanie nameraných dát zo senzorov a následné odosielanie týchto dát ďalej do centrálnej jednotky systému. Táto sekcia popisuje časti softvéru, ktoré komunikujú s konkrétnymi senzormi, formu, akou získavajú dáta, a formu komunikácie s centrálou inteligentnej domácnosti.

Modul obsahuje 4 snímače – senzor plynu a dymu MQ-2, senzor pohybu EKMC1691111, senzor okolitého svetla VEML7700 a mikrofóny SPH0645LM4H-B. Okrem nich je možné pripojiť externý modul so senzorom prachu GP2Y1010AU0F a rádio-frekvenčný modul CC1101.

Implementácia sa zaoberá najmä spomínanými 4 snímačmi a senzorom prachu. Pripojenie komunikačného modulu CC1101 je voliteľné a príprava pre jeho využitie bola ponechaná z dôvodu možného zapojenia do existujúceho systému Centrály pre ovládanie vykurovania kompatibilného so systémom eQ-3, ktorý bol implementovaný v rámci rovnomennej baka-lárskej práce. [12]

Obslužný program je napísaný v jazyku C a C++ s výnimkou skriptu na inštaláciu ovládača mikrofónu, ktorý je v jazyku Python.

#### 5.1.1 Získanie a spracovanie dát zo snímačov

Senzor MQ-2 a modul na snímanie prachu so senzorom GP2Y1010AU0F majú analógové výstupy, preto je k získavaniu ich dát využitý analógovo-digitálny prevodník MCP3422. Senzor pohybu EKMC1691111 má jednoduchý digitálny výstup a senzor svetla VEML7700 používa na komunikáciu rozhranie I2C.

#### Senzory MQ-2 a GP2Y1010AU0F

Senzory MQ-2 a GP2Y1010AU0F majú iba analógový výstup, ktorého napätová úroveň závisí od množstva snímaných častíc konkrétnych plynov, dymu alebo prachu v ovzduší. Na prevod do digitálnej podoby je použitý prevodník MCP3422, ktorý komunikuje pro-

stredníctvom rozhrania I2C, pričom konkrétny typ súčiastky s označením MCP3422A1 má I2C adresu 105, hexadecimálne 0x69.

Plynový senzor MQ-2 je potrebné napájať neustále a pred samotným meraním uskutočniť jeho kalibráciu, ktorá spočíva v napájaní jeho výhrevného elementu po dobu aspoň 24 hodín. Výhrevný aj snímací element sú teda neustále pripojené k napájaniu a po úvodnej kalibrácii je možné merať výstupné napätie snímača kedykoľvek.

Modul so senzorom GP2Y1010AU0F nevyžaduje pre použitím žiadnu kalibráciu. Samotné meranie hustoty prachu prebieha tak, že sa zapne integrovaná infračervená dióda a následne sa počká 0,28 ms na uskutočnenie merania výstupného napätia. Po ukončení merania sa dióda vypne, aby nedochádzalo ku predčasnej degradácii senzora. Na ovládanie diódy je využitý výstup GPIO 24.

Spracovanie nameraných hodnôt prebieha nasledovne:

- Výstupné napätie senzora MQ-2 nie je softvérom nijak ovplyvnené, keďže naň môže mať vplyv konkrétny typ senzora a jeho odchýlka v meraní. Nastavenie určitého prahu na spustenie alarmu je preto ponechané na užívateľa, ktorý si prahovú hodnotu môže podľa potreby nastaviť v centrálnej jednotke.
- Nameraná hodnota senzora prachu je spracovaná tak, že výsledné napätie je vynásobené číslom 11 kvôli deliču napätia umiestnenému na module. Od výsledku je odpočítaná hodnota 0,4 mV, ktorá reprezentuje hustotu 0 mg/m<sup>3</sup> a výsledok je vynásobený pomerom krytia 0,2 uvedeným v demonštračnej aplikácii na stránke výrobcu.<sup>1</sup>

Pri analógovo-digitálnom prevode s prevodníkom MCP3422 je využitá obslužná knižnica *MCP342x ADC library*<sup>2</sup>, ktorá implementuje funkcie na ovládanie prevodníka a získavanie nameraných dát prostredníctvom rozhrania I2C. Knižnica bola modifikovaná pre využitie na počítači Raspberry Pi.

## Senzory EKMC1691111 a VEML7700

Pohybový senzor EKMC1691111 má jednoduchý digitálny výstup, ktorý má v prípade zaznamenaného pohybu logickú hodnotu 1, v opačnom prípade hodnotu 0. Jediné obmedzenie senzora je pri jeho uvedení do prevádzky, kedy je potrebné vyčekať 30 sekúnd na stabilizáciu jeho vnútorných obvodov.

Senzor okolitého svetla VEML7700 komunikuje pomocou rozhrania I2C s adresou 16 (hexadecimálne 0x10). Senzor podporuje niekoľko režimov citlivosti a presnosti merania. Ideálne je však využiť automatické meranie podľa aktuálnych podmienok, ktoré opisuje aplikačná poznámka senzora VEML7700 [41] na strane 9. Tá spočíva v postupnom zvyšovaní vstupnej citlivosti a prispôbovaní času integrácie senzora.

Pri implementácii senzora VEML7700 do systému je využitá voľne dostupná knižnica *DFRobot\_VEML7700*<sup>3</sup>, ktorá umožňuje manuálne nastavenie potrebných parametrov senzora, ale aj automatické meranie podľa aplikačnej poznámky. Výsledné hodnoty poskytuje v jednotkách lux.

<sup>1</sup>[https://www.waveshare.com/wiki/Dust\\_Sensor](https://www.waveshare.com/wiki/Dust_Sensor)

<sup>2</sup><https://github.com/stevemarle/MCP342x>

<sup>3</sup>[https://github.com/DFRobot/DFRobot\\_VEML7700](https://github.com/DFRobot/DFRobot_VEML7700)



## Mikrofón

Mikrofón SPH0645LM4H s rozhraním I2S je zakomponovaný do operačného systému ako jedno z vstupných audio rozhraní. K tomuto účelu je využitý zvukový ovládač pre I2S mikrofóny<sup>4</sup> dostupný od spoločnosti Adafruit. Ku ovládaču je dostupný jednoduchý inštalračný skript<sup>5</sup>, ktorý umožňuje nastaviť automatické načítanie ovládača pri spustení systému.

Zo zvukového rozhrania je vďaka ovládaču možné nahrávať zvuk jednoducho pomocou príkazu `arecord` s parametrom `plughw` udávajúcim číslo rozhrania, ktoré je potrebné zistiť vopred vypísaním všetkých dostupných vstupných zariadení príkazom `arecord -l`. [19]

### 5.1.2 Komunikácia s centrálou

Komunikácia s centrálou prebieha prostredníctvom bezdrôtovej siete Wifi s využitím protokolu MQTT. Monitor miestnosti sa ako klient pripája k MQTT serveru, ktorý beží na centrálnej jednotke. Spracované údaje zo senzorov posielajú monitor miestnosti k priradenej téme s názvom `room_monitor`, pod ktorou sú obsiahnuté nasledujúce podradené témy. Sensory do týchto tém publikujú nasledovne:

- **Merania senzora MQ-2**

Výsledky merania zo senzora MQ-2 spracované analógovo-digitálnym prevodníkom sú zasielané vo forme číselného výsledku prevodu. Konkrétne ide prevod s rozlíšením 12 bitov, ktorého rozsah je kvôli znamienku znížený na polovicu. Maximálna hodnota teda predstavuje číslo 2047 a bit s najnižším významom reprezentuje napätie 1 mV. Senzor má priradenú MQTT tému `mq2`.

- **Merania senzora VEML7700**

Výstupné hodnoty v jednotkách lux získané automatickým meraním majú pri odosielaní správ priradenú tému `light`.

- **Detekcia pohybu**

Pohyb zaznamenaný senzorom EKMC1691111 je oznámený pomocou správy s obsahom 1 v priradenej téme s názvom `motion`.

- **Výsledky merania senzora prachu**

V prípade použitia senzora prachu je priradená hodnotám aktuálnej koncentrácie prachu v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  téma s názvom `dust`.

Časový rozostup meraní senzorov MQ-2, VEML7700 a senzora prachu je 5 sekúnd. V prípade senzora pohybu je jeho stav sledovaný kontinuálne.

## 5.2 Firmvér pre nástenný ovládač

Firmvér pre mikrokontrolér ESP32-WROOM-32D umiestnený na hlavnom module nástenného ovládača má podobne ako obsluhový softvér monitora miestnosti na starosti získavanie dát a ich odosielanie centrálnej jednotke inteligentnej domácnosti. Firmvér teda pozostáva z niekoľkých častí:

- získavanie dát zo senzora CO<sub>2</sub>, teploty a vlhkosti SCD40,

<sup>4</sup>[https://github.com/adafruit/Raspberry-Pi-Installer-Scripts/tree/main/i2s\\_mic\\_module](https://github.com/adafruit/Raspberry-Pi-Installer-Scripts/tree/main/i2s_mic_module)

<sup>5</sup><https://github.com/adafruit/Raspberry-Pi-Installer-Scripts/blob/main/i2smic.py>

- reagovanie na stlačenie ovládacích tlačidiel,
- obsluha podsvietenia LED diódami,
- pripojenie k sieti Wifi
- a komunikácia s centrálou prostredníctvom MQTT.

Tieto hlavné úlohy je možné doplniť o sledovanie aktuálnej koncentrácie prachu so senzorom GP2Y1010AU0F a o funkciu nástenného termostatu v systéme eQ-3 prostredníctvom modulu CC1101, ktorý bol implementovaný v bakalárskej práci spomínanej v úvode sekcie 4.3.

Firmvér ovládača je implementovaný v jazyku C s použitím oficiálneho vývojového rozhrania pre platformu ESP32 od výrobcu Espressif s názvom Espressif IoT Development Framework (skrátene ESP-IDF). Rozhranie poskytuje komplexný balík nástrojov, ktorý zahŕňa knižnice, nástroje na preklad kódu a jeho nahratie do mikrokontroléra, a taktiež monitorovanie počas behu aplikácie.

### Senzor SCD40

Komunikácia so senzorom prebieha prostredníctvom zbernice I2C, kde má zariadenie adresu 0x62. Na kompletne ovládanie senzora je dostupná knižnica Embedded I2C SCD4x Driver<sup>6</sup> od výrobcu Sensirion. Knižnica si vyžaduje úpravu súboru `sensirion_i2c_hal.c`, kde je potrebné implementovať I2C komunikáciu pre konkrétnu platformu, v tomto prípade pre ESP32 v prostredí ESP-IDF.

Senzor sa dodáva vopred kalibrovaný, preto nie je potrebná úvodná kalibrácia. Po spustení je potrebné zapnúť periodické meranie, pri ktorom senzor vygeneruje výsledky každých 5 sekúnd. Pred čítaním je vhodné overiť dostupnosť nových nameraných dát pomocou príkazu `get_data_ready_status` a v prípade kladnej odpovede prečítať namerané dáta. Príkazom `read_measurement` sa získajú súčasne dáta o koncentrácii CO<sub>2</sub> v jednotkách ppm, nameraná teplota v °C a relatívna vlhkosť v percentách.

### Komunikácia s centrálou

Komunikácia s centrálnou jednotkou prebieha prostredníctvom bezdrôtovej siete Wifi a protokolu MQTT. Pri implementácii je použitá klientská knižnica ESP-MQTT, ktorá je súčasťou aplikačného rozhrania ESP-IDF. Podporuje komunikáciu s využitím protokolov TCP, SSL, Websocket a Websocket Secure. Ide o plnohodnotného MQTT klienta, ktorý podporuje všetky základné funkcie protokolu vrátane úrovni kvality služby. ESP-MQTT zároveň umožňuje využitie viacerých nezávislých inštancií (klientov) MQTT v jednej aplikácii.

Klient sa pripája ku serveru sprostredkovateľa, ktorý je súčasťou centrálnej jednotky domácej automatizácie. Samotná komunikácia je navrhnutá jednoducho a priamo. Téma (topic) pre všetky správy nástenného ovládača začína reťazcom `wallswitch`, pod ktorým sú podradené témy pre konkrétne oblasti:

- **Stav tlačidiel**

Každé tlačidlo má pridelenú vlastnú podradenú MQTT tému začínajúcu reťazcom `swX`, kde písmeno X označuje číslo konkrétneho tlačidla na module. Do príslušnej témy klient po zmene stavu publikuje správu o stlačení alebo pustení tlačidla. V prípade stlačenia je to správa s číslom 1, v prípade pustenia správa s číslom 0.

<sup>6</sup><https://github.com/Sensirion/embedded-i2c-scd4x>

- **Výsledky merania senzora SCD40**  
Číselné hodnoty z meraní senzora SCD40 majú pridelené témy podľa ich typu. Koncentrácia CO<sub>2</sub> má tému `co2`, teplota má tému `temperature` a vlhkosť má tému `humidity`. Po každom meraní sa odošlú 3 správy s dátami na všetky 3 témy.
- **Výsledky merania senzora prachu**  
V prípade použitia senzora prachu je priradená hodnotám aktuálnej koncentrácie prachu v  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  téma s názvom `dust`.
- **Ovládanie podsvietenia**  
Ovládanie LED podsvietenia vypínača je ponechané na centrálu, preto v tomto prípade ide o opačný smer komunikácie a klient sa prihlasuje na odber tém priradených ku konkrétnym LED diódam. Názov tém obsahuje reťazec `ledX`, kde písmeno `X` reprezentuje číslo konkrétnej LED diódy. Podobne ako v prípade tlačidiel sú obsahom správ číslice 0 a 1, pričom 0 reprezentuje vypnutie príslušnej LED diódy a 1 naopak jej zapnutie.

### 5.3 Testovanie prototypov

Systém v cieľovom priestore počíta s nasadením centrálnej jednotky Miniserver od spoločnosti Loxone. Stav rekonštrukcie rodinného domu však zatiaľ neumožňuje jeho inštaláciu a testovanie. Z toho dôvodu bola pri testovaní prototypov využitá centrálna jednotka v podobe počítača Raspberry Pi so softvérovým vybavením v podobe systémov Home Assistant a Node-RED. Táto centrála môže aj po nasadení systému Loxone plniť niektoré vedľajšie úlohy domácej automatizácie a ostať tak aj v budúcnosti súčasťou systému.

Základným systémom centrálnej jednotky je systém Home Assistant, ktorý poskytuje možnosť inštalácie vstavaných doplnkov. Node-RED je teda nainštalovaný ako vstavaný doplnok systému Home Assistant a môže vďaka tomu využívať niektoré jeho prvky.

Súčasťou systému je aj MQTT server v úlohe sprostredkovateľa (broker). Jednotlivé prototypy zasielajú správy serveru, odkiaľ si ich následne prevezme odberateľ, ktorým je v tomto prípade samotný Home Assistant, pričom spracovanie niektorých vstupných dát prebieha v prídavnom rozhraní Node-RED.

#### 5.3.1 Sensory, tlačidlá a podsvietenie

Samotné testovanie spočíva v nastavení prijímania konkrétnych číselných údajov prostredníctvom protokolu MQTT. V prípade monitora miestnosti ide o prijímanie správ z témy `room_monitor` s podradenými témami `mq2`, `light`, `motion` a `dust`. Pri nástennom vypínači je názov témy `wallswitch` s podradenými témami `co2`, `temperature`, `humidity` a témami priradenými ku 4 tlačidlám `sw1` až `sw4`. 4 LED diódy ovladača je možné zapínať prostredníctvom tém `led1` až `led4`.

Jednotlivé prijímané údaje zo sensorov sú zobrazené vo forme číselných údajov, prípadne grafov v grafickom užívateľskom rozhraní systému Home Assistant. Keďže ide o testovací systém a nie sú v ňom konkrétne zariadenia, ktoré by bolo možné pomocou tlačidiel ovládať, preukázanie ich funkčnosti je demonštrované zapnutím alebo vypnutím LED diódy, ktorej je priradené rovnaké číslo ako tlačidlu. Po prvom stlačení tlačidla a odoslaní správy na tému `sw1` tak dôjde pomocou rozhrania Node-RED ku zapnutiu LED diódy priradenej k téme `led1`. Po jeho opätovnom stlačení dôjde k jej vypnutiu.

### 5.3.2 Testovanie mikrofónov

Pri testovaní mikrofónov na samotnom module monitora miestnosti sa ukázalo, že kvalita výstupného zvuku nie je dostatočná na to, aby bolo možné mikrofóny využiť na rozpoznávanie hovoreného textu a ovládanie pomocou hlasového asistenta. Z toho dôvodu bola ďalšia práca s mikrofónmi vynechaná.

Testovanie jednoznačne viedlo k záveru, že v prípade budúcej aktualizácie modulu by bolo vhodnejšie využiť mikrofón s väčšou membránou, ktorý by bol schopný lepšie zachytiť zvuk, prípadne na modul pridať ďalšie špeciálne súčiastky na spracovanie zvukového signálu.

## 5.4 Zverejnenie podkladov

Jedným z cieľov tejto práce je otvorenosť navrhovaného systému a konkrétnych zariadení. Preto sú podklady pre vytvorenie hardvéru a implementovaný softvér zverejnené pre otvorené použitie.

Hardvérové podklady zahŕňajú ku každému navrhovanému modulu samotný projekt pre softvér Altium Designer, ale aj výstupné súbory v podobe schém, 3D modelu vo formáte PDF, podkladov k výrobe dosiek plošných spojov vo formáte Gerber a otvorov vo forme NC Drill. Pre osadenie súčiastok je k dispozícii ich kompletný rozpis vo forme listu BOM (bill of materials), a taktiež montážne nákresy a súbory typu pick and place slúžiace na prístrojové osadenie súčiastok.

Softvérové podklady zahŕňajú vytvorený obslužný softvér pre monitor miestnosti a nástenný ovládač vrátane použitých knižníc.

Všetky tieto podklady sú zverejnené na portáli Github<sup>7</sup> vo forme repozitárov, a to konkrétne v repozitári s názvom `room-monitor`<sup>8</sup> obsahujúcom podklady k monitoru miestnosti a v repozitári s názvom `wallswitch`<sup>9</sup> obsahujúcom podklady k nástennému vypínaču.

---

<sup>7</sup><https://github.com/>

<sup>8</sup><https://github.com/mireckazimir/room-monitor>

<sup>9</sup><https://github.com/mireckazimir/wallswitch>

# Kapitola 6

## Záver

Cieľom tejto práce bolo navrhnuť a vytvoriť kompaktné a dostatočne univerzálne viacúčelové zariadenie pre domácu automatizáciu, ktoré by bolo možné pripojiť k centrálnym jednotkám s otvoreným systémom. V rámci práce bol vytvorený monitor miestnosti vo forme prídavného modulu pre počítač Raspberry Pi Zero a modulárny nástenný vypínač využívajúci platformu ESP32.

Práca zahŕňa prehľad hardvérových prvkov použiteľných v distribuovaných riadiacich systémoch a existujúcich otvorených riešení, ktoré aplikujú počítač Raspberry Pi v role centrály domácej automatizácie. Ďalej rieši potreby snímania konkrétnych vlastností prostredia užitočných pre centrálu domácej automatizácie a vhodnosť využitia konkrétnych senzorov a ich umiestnenie v snímanej miestnosti. Na základe požiadaviek popisuje návrh nových zariadení na báze Raspberry Pi Zero a ESP32 a fyzickú realizáciu ich prototypov. V závere sa venuje implementácii a testovaniu prototypov, a vyhodnocuje dosiahnuté výsledky.

V rámci práce boli vytvorené 4 dosky plošných spojov, z ktorých 3 tvoria modulárny nástenný vypínač, a jedna rozširujúci modul monitora miestnosti pre Raspberry Pi Zero. Vďaka vytvoreným zariadeniam je možné získať prehľad o aktuálnom stave miestnosti, v ktorom sa zariadenia nachádzajú, a to konkrétne o teplotu, vlhkosť, koncentráciu CO<sub>2</sub>, výbušných plynov a dymu, okolitom svetle, pohybe a zvuku.

Pri tvorbe tejto práce som si vyskúšal postup pri návrhu a fyzickej realizácii hardvérových prototypov, a naučil som sa pracovať s profesionálnym nástrojom na návrh dosiek plošných spojov Altium Designer.

Prácu je možné ďalej rozvíjať najmä návrhom nových vnútorných a vonkajších modulov nástenného vypínača. Vnútorne moduly by mohli byť stavané pre iné napájacie napätie a mohli by zahŕňať tiež možnosť pripojenia niektorého drôtového komunikačného rozhrania. Vonkajšie moduly by sa mohli zamerať na rôzne ďalšie premenné prostredia – napríklad pohyb, svetlo, či teplota a vlhkosť bez merania CO<sub>2</sub>. Modul monitora miestnosti by naopak vyžadoval lepší mikrofón alebo presunutie mikrofónu do lepšej polohy v miestnosti. Uverejnenie podkladov tejto práce vo forme open-source tak ponecháva možnosť ďalšieho rozvoja pre kohokoľvek, kto oň prejaví záujem.

# Literatúra

- [1] BALDASSARI, F. *I2C in a Nutshell* [online]. Memfault Interrupt, január 2020 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://interrupt.memfault.com/blog/i2c-in-a-nutshell>.
- [2] CONTROL STATION. *What is a Distributed Control System?* [online]. Control Station, apríl 2018 [cit. 2022-01-09]. Dostupné z: <https://controlstation.com/blog/what-is-a-distributed-control-system/>.
- [3] DENKOVI ASSEMBLY ELECTRONICS. *Relay board, usb relay and ethernet relay* [online]. [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://denkovi.com/>.
- [4] ELECTRONIC, C. *Raspberry Pi Zero* [online]. Conrad Electronic, 2021 [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: <https://www.conrad.sk/p/raspberry-pi-zero-raspberry-pi-zero-512-mb-1-x-10-ghz-2373137>.
- [5] ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32 Datasheet* [online]. Verzia 3.8. Shanghai: Espressif Systems, August 2016, rev. 10. 2021, [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf).
- [6] ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32-WROOM-32 Datasheet* [online]. Verzia 3.0. Shanghai: Espressif Systems, august 2016, rev. 11. 2020, [cit. 2022-01-11]. Dostupné z: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf).
- [7] ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP8266EX Datasheet* [online]. Verzia 6.6. Október 2020, rev. 10. 2020, [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf).
- [8] FTDI. *USB to FULL HANDSHAKE UART IC FT231X Datasheet* [online]. Verzia 1.4. Glasgow: Future Technology Devices International, február 2012, rev. 21. 9. 2021, [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: [https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2021/10/DS\\_FT231X.pdf](https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2021/10/DS_FT231X.pdf).
- [9] HIVEMQ. *MQTT Essentials: The Ultimate Guide to MQTT for Beginners and Experts* [online]. [cit. 2022-02-14]. Dostupné z: <https://www.hivemq.com/mqtt-essentials/>.
- [10] HOME ASSISTANT. *Home Assistant - Awaken your home* [online]. [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.home-assistant.io/>.
- [11] INTUZ. *An All-Inclusive Guide On The Top IoT Sensors In The Market* [online]. Intuz, november 2021 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.intuz.com/guide-on-top-iot-sensor-types>.

- [12] KAŽIMÍR, M. *Centrála pro regulaci vytápění kompatibilní se systémem eQ-3*. Brno, CZ, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Dostupné z: <https://www.fit.vut.cz/study/thesis/21157/>.
- [13] KNOWLES. *SiSonic Design Guide (Application Note AN24)* [online]. Verzia 1. Itasca: Knowles Electronics, november 2017, rev. 15. 11. 2017, [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: [https://www.knowles.com/docs/default-source/default-document-library/sisonic-design-guide.pdf?sfvrsn=ddda77b1\\_14](https://www.knowles.com/docs/default-source/default-document-library/sisonic-design-guide.pdf?sfvrsn=ddda77b1_14).
- [14] KNOWLES. *SPH0645LM4H-1 Datasheet* [online]. Verzia A. Itasca: Knowles Electronics, august 2019, rev. 27. 8. 2019, [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.knowles.com/docs/default-source/default-document-library/sph0645lm4h-1-datasheet.pdf>.
- [15] LAST MINUTE ENGINEERS. *How MQ2 Gas/Smoke Sensor Works? & Interface it with Arduino* [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/mq2-gas-senser-arduino-tutorial/>.
- [16] LEENS, F. An introduction to I2C and SPI protocols. *IEEE Instrumentation Measurement Magazine*. February 2009, zv. 12, č. 1, s. 8–13. DOI: 10.1109/MIM.2009.4762946. ISSN 1941-0123.
- [17] LOXONE ELECTRONICS. *Loxone – Všetko pre inteligentnú elektroinštaláciu* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/>.
- [18] MICROCHIP TECHNOLOGY. *MCP3422/3/4 datasheet* [online]. Verzia C. Rev. august 2009, [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/22088c.pdf>.
- [19] NELSON, C., NOSONOWITZ, D. a ADA. *Adafruit I2S MEMS Microphone Breakout: Raspberry Pi Wiring & Test* [online]. adafruit, február 2017 [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/adafruit-i2s-mems-microphone-breakout/raspberry-pi-wiring-test>.
- [20] NXP SEMICONDUCTORS. *PCA9306 – Dual bidirectional I2C-bus and SMBus voltage-level translator (Product data sheet)* [online]. Verzia 9.1. Rev. 31. 8. 2021, [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCA9306.pdf>.
- [21] NXP SEMICONDUCTORS. *UM11732: I2S bus specification* [online]. Verzia 3.0. Rev. 17. 2. 2022, [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/user-manual/UM11732.pdf>.
- [22] OASIS MQTT TECHNICAL COMMITTEE. *MQTT: The Standard for IoT Messaging* [online]. [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <https://mqtt.org/>.
- [23] OPENHAB. *OpenHAB - a vendor and technology agnostic open source automation software for your home* [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.openhab.org/>.
- [24] OPENJS FOUNDATION & CONTRIBUTORS. *Node-RED* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://nodered.org>.

- [25] PANASONIC CORPORATION. *PaPIRs - PIR MOTION SENSORS 2019* [online]. Kadoma: Panasonic Corporation, 2019, [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: [https://api.pim.na.industrial.panasonic.com/file\\_stream/main/fileversion/245448](https://api.pim.na.industrial.panasonic.com/file_stream/main/fileversion/245448).
- [26] PANASONIC CORPORATION. *PaPIRs - PIR MOTION SENSORS FAQ's* [online]. Kadoma: Panasonic Corporation, 2019, Rev. marec 2020, [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: [https://api.pim.na.industrial.panasonic.com/file\\_stream/main/fileversion/244673](https://api.pim.na.industrial.panasonic.com/file_stream/main/fileversion/244673).
- [27] PEÑA, E. a LEGASPI, M. G. UART: A Hardware Communication Protocol Understanding Universal Asynchronous Receiver/Transmitter. *Analog dialogue*. Norwood, Massachusetts: Analog Devices, Inc. 2020, zv. 54, č. 4. ISSN 1552-3284.
- [28] RASPBERRY PI FOUNDATION. *About us* [online]. [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/about/>.
- [29] RASPBERRY PI FOUNDATION. *Raspberry Pi 4 Model B* [online]. [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>.
- [30] RASPBERRY PI FOUNDATION. *Raspberry Pi Zero* [online]. [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero/>.
- [31] SENSIRION. *SCD4x Datasheet* [online]. Verzia 1.1. Rev. apríl 2021, [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: [https://sensirion.com/media/documents/C4B87CE6/61652F80/Sensirion\\_CO2\\_Sensors\\_SCD4x\\_Datasheet.pdf](https://sensirion.com/media/documents/C4B87CE6/61652F80/Sensirion_CO2_Sensors_SCD4x_Datasheet.pdf).
- [32] SPP – DISTRIBÚCIA. *Zloženie zemného plynu a emisný faktor* [online]. SPP – distribúcia, 2022 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.spp-distribucia.sk/dodavatelja/informacie/zlozenie-zemneho-plynu-a-emisny-faktor/>.
- [33] TECHOPEDIA. *Home Automation System* [online]. Techopedia, jún 2018 [cit. 2022-01-09]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/29999/home-automation-system>.
- [34] TEEL, J. *How to Pick the Right Voltage Regulator(s) for Your Design* [online]. Predictable Designs [cit. 2019-10-02]. Dostupné z: <https://predictabledesigns.com/how-to-pick-the-right-voltage-regulators-for-your-design/>.
- [35] THOMA, M. *The Ultimate Smart Home Starter Guide* [online]. Medium, október 2021 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://medium.com/geekculture/the-ultimate-smart-home-starter-guide-9e94c76447cd>.
- [36] UNIFI TECHNOLOGY. *Mervis [Unifi.technology Knowledge Base]* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://kb.unifi.technology/cs:sw:01-mervis>.
- [37] UNIFI TECHNOLOGY. *Unifi* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www.unifi.technology/>.
- [38] UNIFI TECHNOLOGY. *Unifi Neuron - Knowledge Base* [online]. [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://kb.unifi.technology/cs:hw:02-neuron>.
- [39] USB IMPLEMENTERS FORUM. *On-The-Go and Embedded Host Supplement to the USB Revision 3.0 Specification* [online]. Verzia 1.1. Rev. 10. 5. 2012, [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://www.usb.org/document-library/go-and-embedded-host-supplement-usb-revision-30-specification-revision-11>.



- [40] UUGEAR. *Zero2Go Omini Rev2 User Manual* [online]. Verzia 1.0. Rev. 14. 7. 2021, [cit. 2022-07-14]. Dostupné z:  
[https://www.uugear.com/doc/Zero2Go\\_Omini\\_Rev2\\_UserManual.pdf](https://www.uugear.com/doc/Zero2Go_Omini_Rev2_UserManual.pdf).
- [41] VISHAY SEMICONDUCTORS. *Designing the VEML7700 Into an Application (Application Note)* [online]. Aplikačná poznámka. Editoval Reinhard Schaar. Rev. 20. 9. 2019, [cit. 2022-04-11]. Dostupné z:  
<https://www.vishay.com/docs/84323/designingveml7700.pdf>.
- [42] WAVESHARE. *Dust Sensor User Manual* [online]. Verzia 1.4. Rev. 29. 12. 2015, [cit. 2022-03-17]. Dostupné z:  
<https://www.waveshare.com/w/upload/0/0a/Dust-Sensor-User-Manual-EN.pdf>.
- [43] WINSEN ELECTRONICS TECHNOLOGY. *Flammable Gas Sensor MQ-2 Datasheet* [online]. Verzia 1.5. Zhengzhou: Winsen Electronics Technology, apríl 2018, rev. 1. 4. 2018, [cit. 2022-03-15]. Dostupné z:  
[https://eu.mouser.com/datasheet/2/813/MQ\\_2-1915159.pdf](https://eu.mouser.com/datasheet/2/813/MQ_2-1915159.pdf).
- [44] WRITER, S. *8 sensors to help you create a smart home* [online]. IBM, december 2016 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z:  
<https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/sensors-smart-home/>.

## Príloha A

# Obsah priloženého pamäťového média

```
/
├── src/
│   ├── hardware/
│   │   ├── room_monitor/
│   │   └── wallswitch/
│   │       ├── top/
│   │       ├── core/
│   │       └── 24V/
│   └── software/
│       ├── room_monitor/
│       └── wallswitch/
├── doc/
│   ├── prototypes/
│   ├── poster/
│   ├── latex/
│   └── diplomova_praca.pdf
```

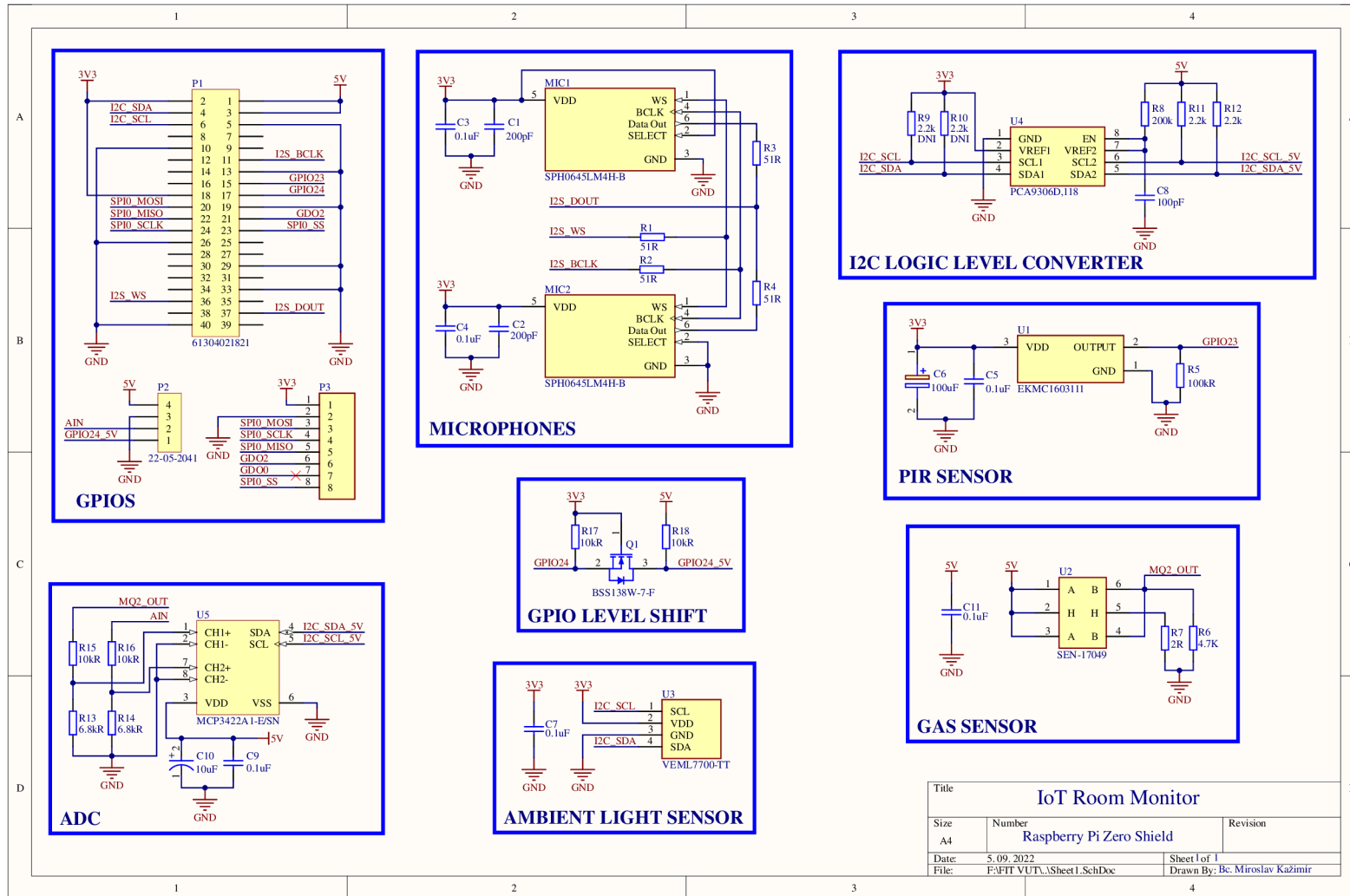
- Zdrojové súbory hardvéru a softvéru sú umiestnené v adresári `src/`
- Podklady k tvorbe hardvéru sú obsahom podadresára `hardware`, kde sú rozdelené podľa konkrétnych modulov. Rovnako to platí pri podadresári `software` obsahujúcom softvérové implementácie pre dané moduly.
- Všetky podadresáre adresára `src/` obsahujú súbor `readme`, ktorý zahŕňa informácie o súboroch v týchto podadresároch
- Adresár `/doc/` obsahuje text práce, zdrojové súbory k jeho vyhotoveniu v adresári `latex/` a plagát v adresári `poster/`. Okrem nich obsahuje fotografie z priebehu fyzického osadenia dosiek plošných spojov súčiastkami v adresári `prototypes/`.

## Príloha B

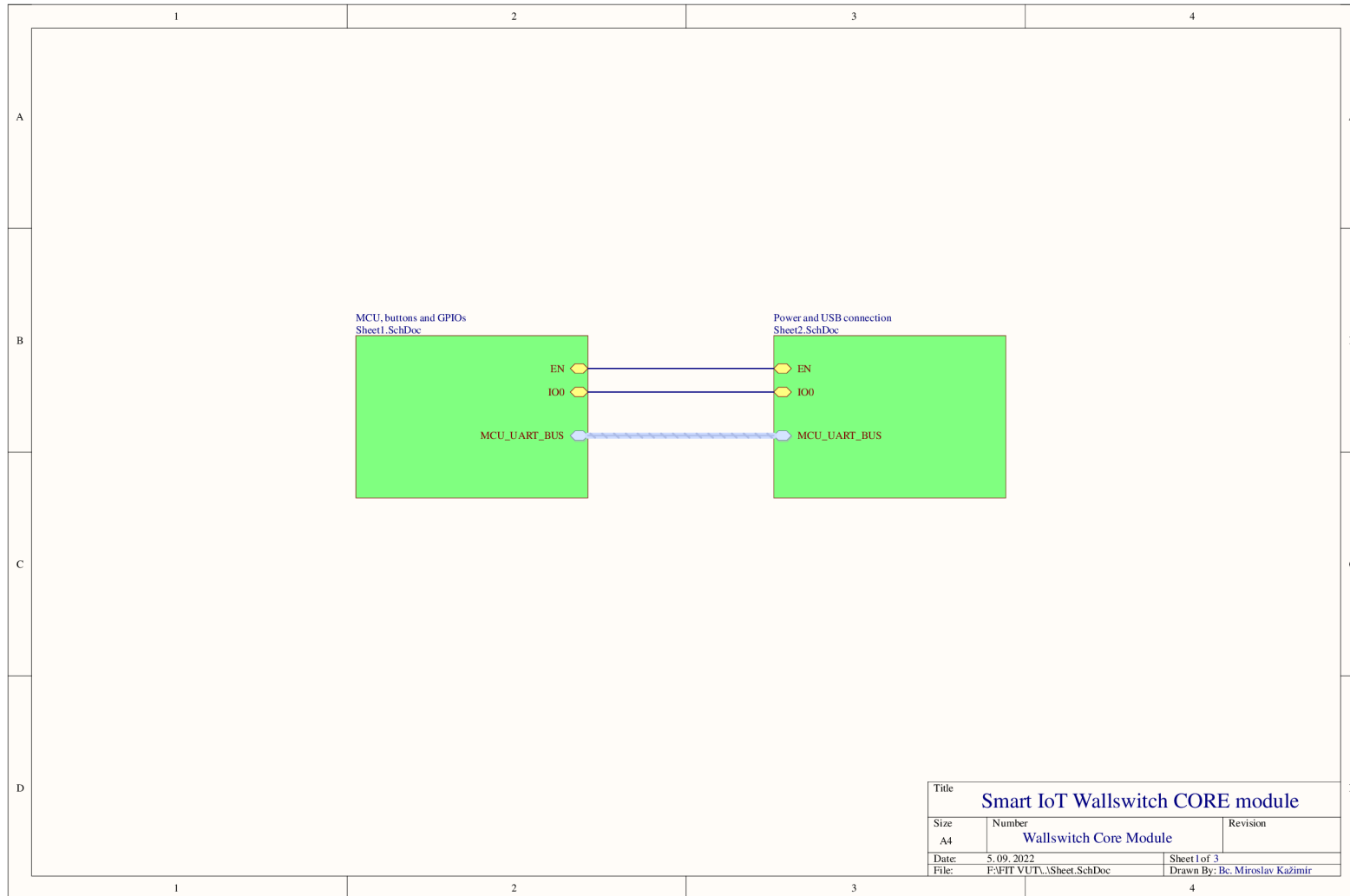
# Schémy navrhnutých modulov

Súčasťou tejto prílohy sú schémy 4 navrhnutých modulov:

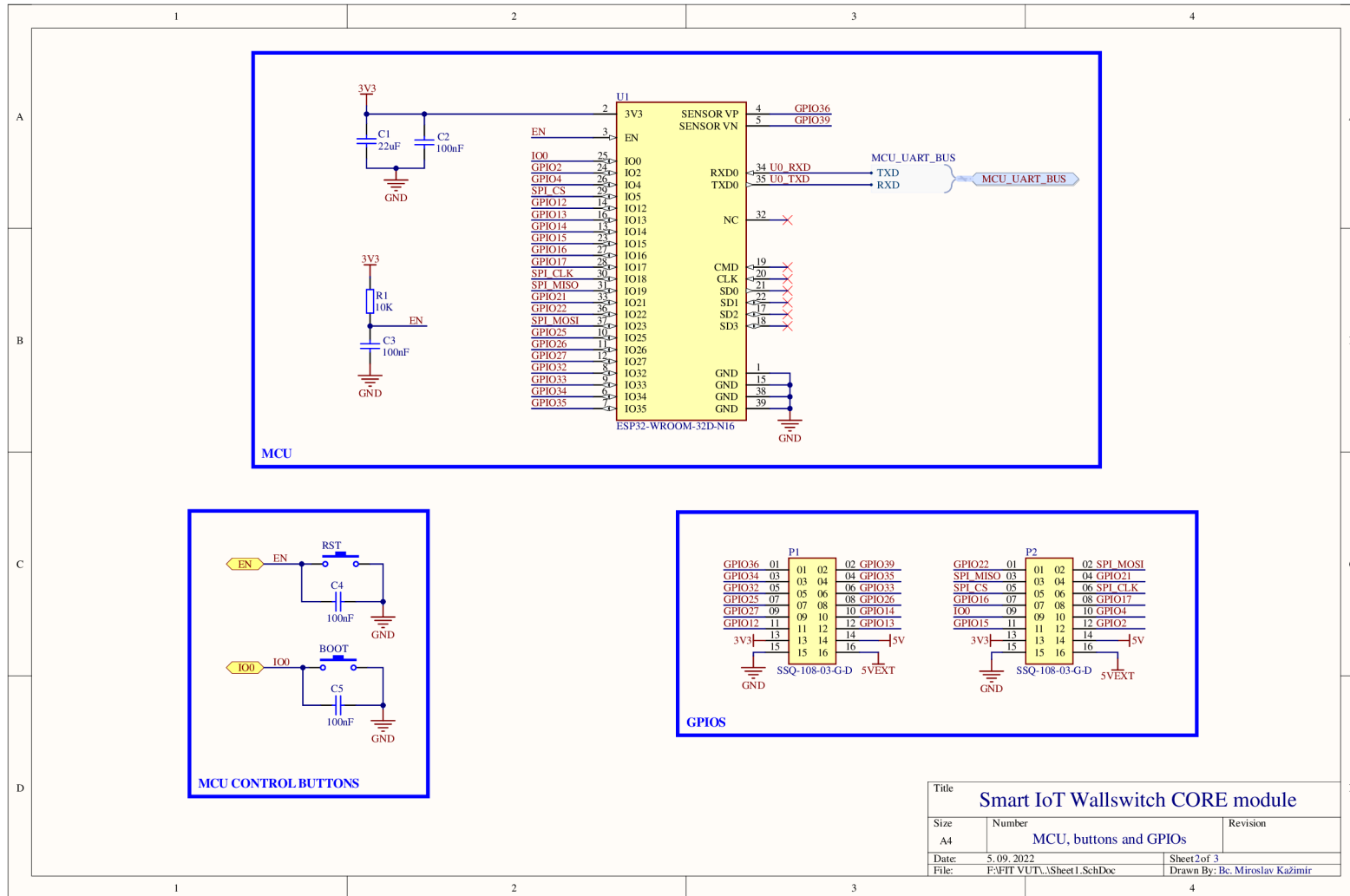
- Schéma rozširujúceho modulu monitora miestnosti pre počítač Raspberry Pi Zero je zobrazená v obr. [B.1](#).
- Schéma hlavného modulu nástenného vypínača je rozdelená do 3 častí v obr. [B.2](#), [B.3](#) a [B.4](#).
- Schéma vonkajšieho modulu je zobrazená v obr. [B.5](#).
- Schéma napájacieho modulu, ktorý konvertuje 24 V na 5 V je zobrazená na obr. [B.6](#).



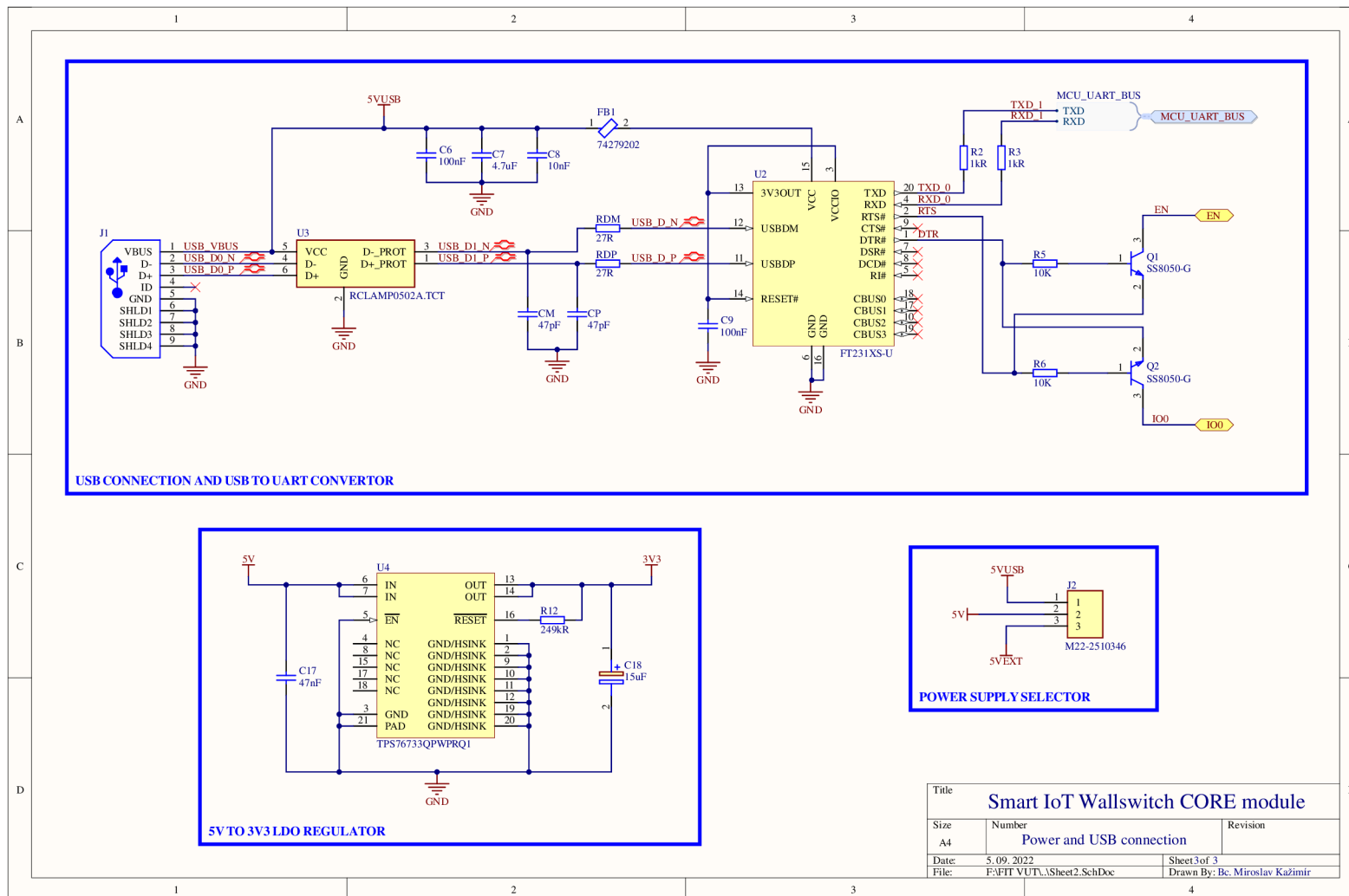
Obr. B.1: Schéma zapojenia rozširujúceho modulu monitora miestnosti



Obr. B.2: Schéma zapojenia hlavného modulu nástenného vypínača (1. časť)

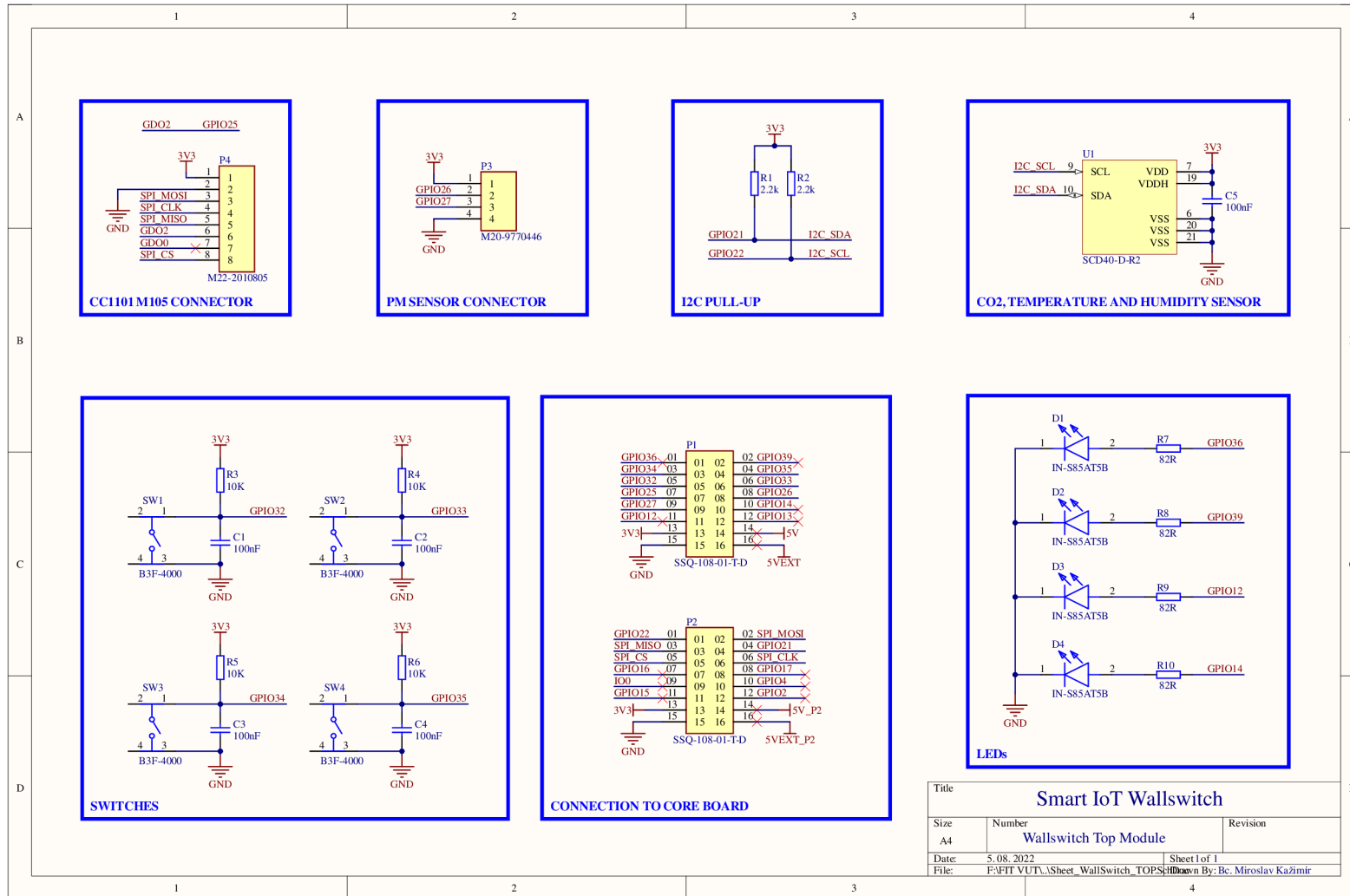


Obr. B.3: Schéma zapojenia hlavného modulu nástenného vypínača (2. časť)



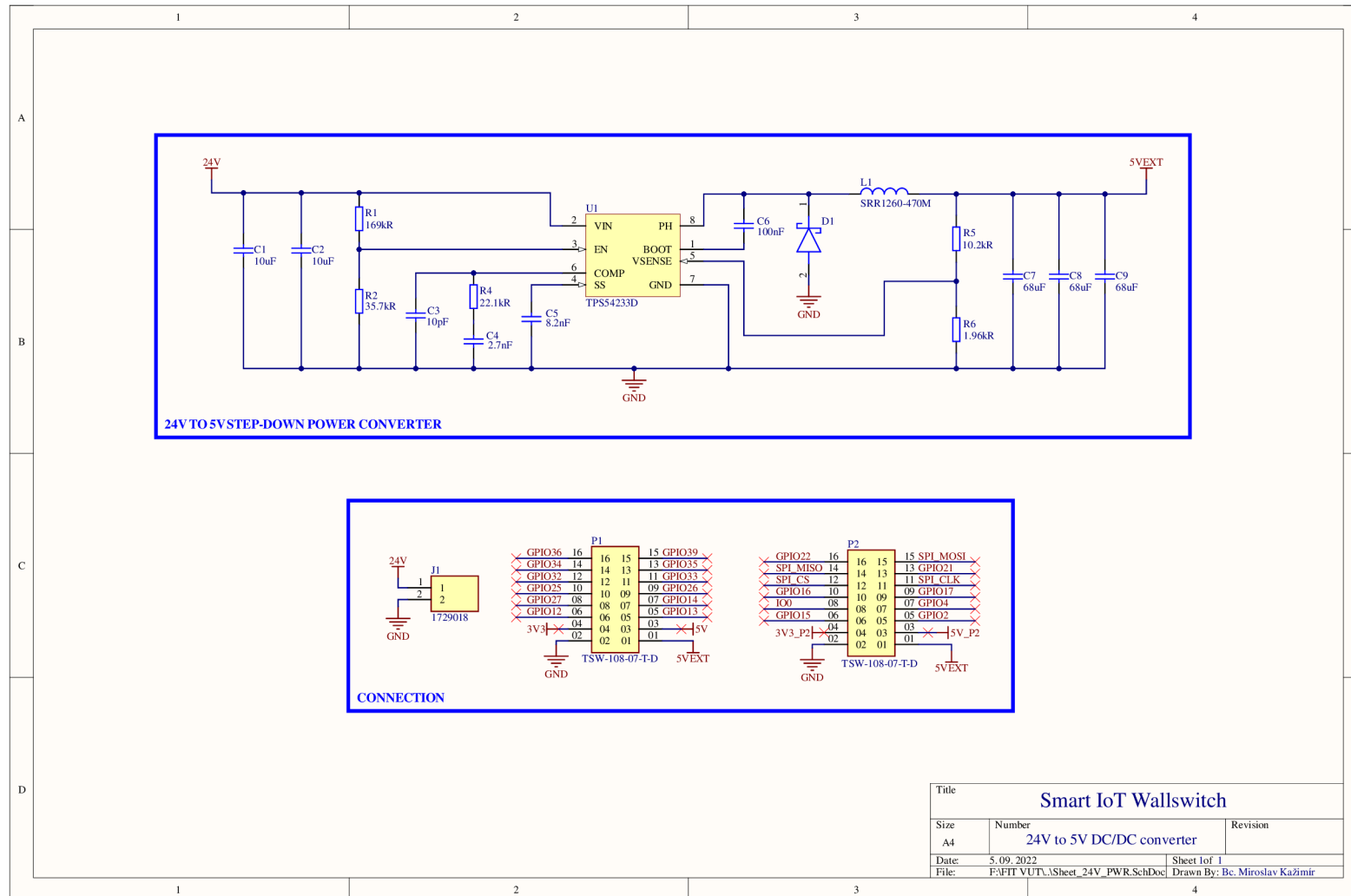
Title		
Smart IoT Wallswitch CORE module		
Size	Number	Revision
A4	Power and USB connection	
Date:	5.09.2022	Sheet 3 of 3
File:	F:\FIT VUT\...\Sheet2.SchDoc	Drawn By: Bc. Miroslav Kazimir

Obr. B.4: Schéma zapojenia hlavného modulu nástenného vypínača (3. časť)



Obr. B.5: Schéma zapojenia vonkajšieho modulu nástenného vypínača





Obr. B.6: Schéma zapojenia vnútorného napájacieho modulu nástenného vypínača