

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2023

Bc. Matúš Paulech



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## SYSTÉM PRO VZDÁLENÉ ODEČTY SPOTŘEBY PLYNU, ELEKTŘINY A VODY

SYSTEM FOR REMOTE READINGS OF GAS, ELECTRICITY AND WATER CONSUMPTION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Matúš Paulech**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.**

**BRNO 2023**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

**Student:** Bc. Matuš Paulech

**ID:** 211268

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## **System pro vzdálené odečty spotřeby plynu, elektřiny a vody**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Navrhněte a realizujte systém pro vzdálené odečty plynu, elektřiny a vody. Provedte výběr vhodné komunikační technologie pro připojení jednotlivých čidel k bráně. Brána bude komunikovat pomocí WiFi/Ethernetu.

Během semestrálního projektu provedte návrh systému, testování odečtů měřidel a komunikaci mezi čidly a bránou.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] LINKS, C.; TESTA T.; ANDERSON J.; HOOGSTRAETEN W.H; SCHNAUFER D.; WARSCHAURE C: Internet of Things For dummies®, 2ND QORVO SPECIAL EDITION [online]. 1. vydanie. CHoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2021. ISBN 978-1-119-79820-0. Dostupné z URL: <<https://www.microwavejournal.com/articles/36950-internet-of-things-for-dummies>>

[2] RYES, A.; SALAM, S. Internet of Things From Hype to Reality The Road to Digitization [online]. 2. vydanie. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019. ISBN 978-3-319-99516-8. Dostupné z URL: <<https://core.ac.uk/download/pdf/326762892.pdf>>

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 19.5.2023

**Vedoucí práce:** Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.

**prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**  
předseda rady studijního programu

### **UPOZORNĚNÍ:**

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

## **ABSTRAKT**

Táto práca obsahuje návrh systému pre vzdialené odčítanie spotreby plynu, elektriny, vody a tepla a jeho následné zostrojenie. Práca sa zaoberá problematikou diaľkového odčítania meračov. Ďalej sa práca zaoberá popisom technológií a protokolov, ich výhodami a nevýhodami a výberom vhodných technológií pre daný systém. Práca sa taktiež zaoberá návrhom hardvérových komponentov, ich zostrojením a následným uvedením do prevádzky. Riadenie týchto komponentov je zabezpečené softvérom ktorý bol k tomuto systému vytvorený.

## **KĽÚČOVÉ SLOVÁ**

IoT, LoRa, diaľkové odčítanie, energie, IEC 62056-21, WLR089U0, ATSAMR34J18, Raspberry Pi

## **ABSTRACT**

This thesis includes a system design for remote reading of gas, electricity, water and heat consumption. The thesis deals with the issue of remote meter reading. Furthermore, the thesis deals with the description of technologies and protocols, their advantages and disadvantages, the selection of the most suitable one and its applications. The thesis also deals with the design of hardware components, their construction and subsequent commissioning. The management of these components is ensured by the software that was created for this system.

## **KEYWORDS**

IoT, LoRa, remote readings, energy, IEC 62056-21, WLR089U0, ATSAMR34J18, Raspberry Pi



## Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

**Meno a priezvisko autora:** Bc. Matúš Paulech  
**VUT ID autora:** 211268  
**Typ práce:** Diplomová práca  
**Akademický rok:** 2022/23  
**Téma záverečnej práce:** Systém pro vzdálené odečty spotřeby plynu, elektřiny a vody

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

## POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomovej práce pánovi Ing. Ondejovi Krajsovi, PhD. za odborné vedenie, konzultáciu, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

# Obsah

Úvod	11
<b>1 Merače spotreby</b>	<b>12</b>
1.1 Elektromer	12
1.1.1 Jednofázový elektromer	13
1.1.2 Trojfázový elektromer	13
1.1.3 Elektromechanický elektromer	13
1.1.4 Elektronický elektromer	13
1.2 Plynomer	14
1.2.1 Objemový plynomer	14
1.2.2 Rýchlostný plynomer	14
1.2.3 Dynamický plynomer	15
1.2.4 Ultrazvukový plynomer	15
1.3 Vodomer	15
1.3.1 Rýchlostné vodomery	15
1.3.2 Objemové vodomery	16
1.3.3 Vodomery hmotností	16
1.4 Kalorimeter	16
1.4.1 Mechanický kalorimeter	17
1.4.2 Ultrazvukový kalorimeter	17
1.5 Dialkové odčítanie	17
1.5.1 Odčítanie stavu pomocou pulzu S0	18
1.5.2 Odčítanie stavu pomocou pulzu vytvoreného LED diódou	19
<b>2 Internet vecí (IoT)</b>	<b>20</b>
2.1 Čo je to IoT	20
2.2 IoT architektúra	21
2.3 Vrstvy IoT architektúry	22
2.3.1 Senzorická vrstva	23
2.3.2 Transportná vrstva	23
2.3.3 Okrajová vrstva	23
2.3.4 Vrstva spracovania	24
2.3.5 Aplikačná vrstva	25
2.3.6 Biznis vrstva	25
2.3.7 Bezpečnostná vrstva	26
2.4 Stavby IOT architektúry	26
2.4.1 Sensory / akčné členy	27

2.4.2	Internetová brána . . . . .	28
2.4.3	Okrajové IT spracovanie dát . . . . .	29
2.4.4	Dátové centrum a cloud . . . . .	29
2.5	Senzory IoT . . . . .	30
2.6	Zabezpečenie IoT . . . . .	32
2.7	Technológie IoT . . . . .	32
2.7.1	Dátové technológie IoT . . . . .	33
2.7.2	Sietové technológie IoT . . . . .	34
2.8	Štruktúra LoRa správy . . . . .	38
2.8.1	Fyzická vrstva LoRa správy . . . . .	38
2.8.2	MAC vrstva LoRa správy . . . . .	38
2.8.3	Aplikačná vrstva LoRa správy . . . . .	39
2.9	Protokol IEC 62056 . . . . .	39
2.9.1	Protokol IEC 62056-21 . . . . .	39
2.10	MQTT protokol . . . . .	41
2.11	UART . . . . .	41
2.12	LoRa v Českej Republike . . . . .	42
<b>3</b>	<b>Systém pre vzdialené odčítanie</b>	<b>44</b>
3.1	Štruktúra systému . . . . .	44
3.2	Použité technológie . . . . .	45
3.3	LoRa modul . . . . .	46
3.3.1	Návrh DPS pre modul . . . . .	46
3.3.2	Napájanie DPS modulu . . . . .	49
3.3.3	Spotreba energie . . . . .	50
3.3.4	Časovač . . . . .	52
3.4	Návrh senzoru IEC-62056-21 . . . . .	53
3.5	Brána . . . . .	55
3.6	Vývojové prostredie . . . . .	56
3.6.1	Eagle . . . . .	56
3.6.2	Microchip studio . . . . .	56
3.7	Krabičky a kryty na moduly a senzor . . . . .	57
3.8	Programátor . . . . .	57
3.9	LoRa P2P protokol . . . . .	57
3.9.1	Formát správy LoRa P2P protokolu . . . . .	58
3.9.2	Výpis základných makro funkcií použitých v softvéri . . . . .	59
3.9.3	MiApp popis API funkcií . . . . .	60
3.9.4	Prihlásenie zariadenia k sieti . . . . .	61
3.9.5	Prenos dát v sieti . . . . .	62

3.10	Popis základných funkcií volaných pri spustení programu . . . . .	62
3.11	Energy Meter System Application . . . . .	64
	<b>Záver</b>	<b>66</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>67</b>
	<b>Zoznam symbolov a skratiek</b>	<b>72</b>
	<b>Zoznam príloh</b>	<b>75</b>
<b>A</b>	<b>Schéma a zapojenie DPS modulu</b>	<b>76</b>
A.1	Shcéma DPS modulu 1/2 . . . . .	76
A.2	Shcéma DPS modulu 2/2 . . . . .	77
A.3	Zapojenie DPS modulu predná strana . . . . .	78
A.4	Zapojenie DPS modulu zadná strana . . . . .	79
	A    Vyhotovená DPS uzlu predná strana . . . . .	80
	A    Vyhotovená DPS uzlu zadná strana . . . . .	81
A.5	Vyhotovená DPS modulu . . . . .	81
<b>B</b>	<b>Schéma a zapojenie DPS senzoru</b>	<b>82</b>
B.1	Shcéma DPS senzoru . . . . .	82
B.2	Zapojenie DPS senzoru predná strana . . . . .	83
B.3	Vyhotovená DPS senzoru . . . . .	83

# Zoznam obrázkov

2.1	Štruktúra IoT . . . . .	21
2.2	Vrstvy IoT . . . . .	22
2.3	Stavy IoT . . . . .	27
2.4	Snímacie zariadenie . . . . .	31
2.5	Prehľad technológií v závislosti na ich spotrebe, rýchlosti a dosahu . .	37
2.6	LoRa správa . . . . .	38
2.7	Správy protokolu IEC 62056-21 . . . . .	40
3.1	Schéma zapojenia systému pre vzdialené odčítanie spotreby plynu, elektriny a vody . . . . .	44
3.2	Diagram pinových výstupov modulu WLR089U0 . . . . .	47
3.3	Schéma Pin výstupov programátora MPLAB PICKit 4 . . . . .	57
3.4	Formát správy LoRa P2P protokolu . . . . .	58
3.5	EMSApp diagram . . . . .	63
A.1	Schéma DPS 1/1 . . . . .	76
A.2	Schéma DPS 2/2 . . . . .	77
A.3	Zapojenie DPS predná strana . . . . .	78
A.4	Zapojenie DPS zadná strana . . . . .	79
A.5	Vyhotovená DPS uzlu predná strana . . . . .	80
A.6	Vyhotovená DPS uzlu zadná strana . . . . .	81
A.7	Vyhotovená DPS modulu . . . . .	81
B.1	Shcéma DPS senzoru sch . . . . .	82
B.2	Zapojenie DPS senzoru predná strana . . . . .	83
B.3	Vyhotovená DPS senzoru . . . . .	83

## Zoznam tabuliek

3.1	Hodnoty prúdu na module WLR089U0 . . . . .	52
3.2	Najčastejšie časové intervaly oneskorenia . . . . .	54
3.3	Časové oneskorenia implementovaných rezistorov . . . . .	55

# Úvod

Táto Diplomová práca sa zaoberá možnosťou a návrhom vytvorenia systému pre vzdialené odčítanie spotreby plynu, elektriny, vody a tepla. Obzvlášť v dnešnej dobe, kedy je cena energií na trhu veľmi búrlivá a mení sa doslova zo dňa na deň, je pre spotrebiteľa dôležité vedieť si jednoducho sledovať, akú spotrebu má za určité obdobie. Na základe toho sa následne vie rozhodnúť či by mal šetriť alebo nie, poprípade si naplánovať na akých zariadeniach bude šetriť.

Je dôležité si uvedomiť, že, keď sú ceny energií pre veľkú časť populácie drahé, je potreba sa zamyslieť nad tým či spotrebiteľia míňajú energie uvážene alebo naopak, zbytočne plytvajú energiami a tým doslova vyhadzujú peniaze do vzduchu. Ak sú ceny energií neúnosné, treba šetriť každú korunu. To sa dá jedine tak, že si spotrebiteľ bude sledovať spotrebu energie na pravidelnej báze, a tak sa vyhne zbytočnému plytvaniu.

Systém pre vzdialené odčítanie spotreby plynu, elektriny, vody a tepla umožňuje jednoduché sledovanie spotreby energií na jednom mieste. Riešenie práce počíta so zariadeniami na odčítanie stavov, ktoré bude umiestnené na plynomere, elektromere, vodomere a kalorimetri a pomocou ktorého bude možné merať spotrebu energie a následne pomocou protokolu LoRa posielat dáta na bránu, a následne sa tieto dáta zo všetkých zariadení budú spotrebiteľovi zobrazovať na jednom mieste.

Práca sa najskôr zaoberá popisom problematiky týkajúcej sa vzdialeného odčítania stavov meračov, popis IOT systémov, ich architektúry, protokolov, a použití.

Ďalej sa práca zaoberá konkrétnym návrhom celého systému. Popisuje problémy vzniknuté pri navrhovaní tohto systému. Následne je v práci popísaný návrh jednotlivých častí systému, popisuje problematiku vzniknutú pri návrhu týchto komponentov a následné zostrojenie hardvérových častí systému.

V neposlednom rade sa práca zaoberá samotným softvérom pre vytvorené komponenty. Popisuje problematiku tvorby systému, výberu protokolu pre prenos dát a pre riadenie celého systému. Podrobne popisuje proces od príkazu k odčítaniu stavu z daného merača až po spracovanie týchto informácií na bráne systému.



# 1 Merače spotreby

Zariadenia, ako je napríklad elektromer, plynomer, vodomer alebo kalorimeter slúžia na meranie spotreby energie. Pomocou nich sa dá odčítať koľko napríklad daný byt, dom či firma, spotrebovala. Na základe toho sa určuje koľko daný spotrebiteľ zaplatí za energie. Tieto zariadenia sú väčšinou inštalované na prístupných miestach pre distribútorov energií, aby mali k odčítaniu jednoduchý prístup. Toto však nie je pre spotrebiteľa najlepšia cesta. V panelových domoch sa jednotlivé merače nachádzajú napríklad na spoločnej chodbe, na toalete, v kúpeľni, poprípade v pivnici. V rodinných domoch sa napríklad plynomer umiestňuje do oplotenia pri chodníku, elektromer a vodomer je zasa umiestnený niekde v dome, ako je napríklad toaleta, kúpeľňa, chodba či pivnica.

Z pohľadu Distribútorov energie je takéto riešenie jednoduchšie a nepredpokladá sa, že spotrebiteľ bude pravidelne kontrolovať tieto stavy. To sa však v dnešnej dobe mení a vzhľadom na ceny je aj pre spotrebiteľa dôležitejšie, ako doposiaľ kontrolovať si svoje stavy na pravidelnej báze. Pre to je dôležité, aby mal spotrebiteľ jednoduchý prístup k týmto meračom. Často krát spotrebiteľ nemá možnosť umiestňovať dané merače na jedno miesto s jednoduchým prístupom či už mu to neumožňuje distribútor energie, legislatíva, bezpečnosť alebo infraštruktúra, je preto potrebné nájsť iný spôsob. Tento spôsob spočíva v diaľkovom odčítaní týchto hodnôt na meračoch.

V súčasnosti sa v českej republike diaľkové odčítanie teší stále väčšej popularite, a to nielen zo strany distribútorov energie, ale častokrát hlavne zo strany spotrebiteľov. Distribútorom energie takéto diaľkové odčítanie poskytuje jednoduchšiu kontrolu, kedy na základe prístroja, ktorý umožňuje prijímať hodnoty zo senzorov na meračoch, môžu rýchlo a jednoducho získať tieto hodnoty, a tak šetriť čas na zdĺhavom manuálnom odčítaní na týchto zariadeniach. Práca sa však zameriava najmä na to, ako toto diaľkové odčítanie uľahčí sledovanie spotreby nie len distribútorom, ale jednotlivým spotrebiteľom. Spotrebiteľ bude mať možnosť si na jednom mieste zobrazit všetky aktuálne stavy, ich históriu a tým sa mu zjednoduší celý proces sledovania spotreby.

## 1.1 Elektromer

Elektromer je zariadenie, ktoré meria spotrebu elektrickej energie za určitý čas a tieto výsledky zobrazuje na displeji. Toto zariadenie väčšinou inštaluje distribútor elektrickej energie a na základe neho následne vystavuje faktúry za spotrebu elektrickej energie za určitú dobu. Podľa fázy sa elektromery delia na dva typy, a to jednofázový a trojfázový. Ďalej môžu byť elektromery rozdeľované podľa konštrukcie na elektromechanický a elektronický.

### **1.1.1 Jednofázový elektromer**

Tento elektromer sa používa pre meranie jednofázových spotrebičov a používa sa teda najmä v domácnostiach kde sa tieto jednofázové spotrebiče vyskytujú. Jednofázový elektromer je priamo zapojený medzi linku a záťaž. Skladá sa z dvoch magnetov, medzi ktorými sa nachádza hliníkový disk. Pri spotrebe elektriny sa vplyvom magnetického poľa hliníkový disk otáča. Na základe rýchlosti otáčania tohto disku sa následne meria veľkosť spotreby elektrickej energie, ktorú daný spotrebič, alebo zariadenie spotrebuje [1].

### **1.1.2 Trojfázový elektromer**

Naopak trojfázový elektromer sa používa na komerčné, alebo priemyselné použitie. V priemysle sú fabriky pripojené na sieť vysokého napätia a na to, aby bol merač chránený od vysokého prúdu je potrebné použiť transformátor, ktorý zníži veľkosť prúdu. Trojfázové elektromery majú tri fázové vodiče a jeden neutrálny vodič. Trojfázové vodiče sú zvyčajne zabalené v kovovom, alebo polykarbonátovom tele. Pokročilejšie typy trojfázových elektromerov majú dokonca v sebe funkciu proti neoprávnenej manipulácii. Moderné trojfázové elektromery sa dajú taktiež využiť aj pre jednofázové meranie [1].

### **1.1.3 Elektromechanický elektromer**

Elektromechanický elektromer je zastaralý, ale v dnešnej dobe v Českej republike stále používaný. Ako naznačuje jeho názov, elektromer sa skladá z kombinácie elektrickej a mechanickej technológie [2]. Vo vnútri elektromeru sa nachádzajú dva magnety a disk, ktorý sa pri záťaži vplyvom magnetického poľa začne otáčať. Čím je záťaž väčšia, tým sa disk rýchlejšie otáča a tým rýchlejšie rastie hodnota na displeji [2]. Displej tohto elektromeru sa skladá z viacerých otočných číselníkov, ktoré vo výsledku ukazujú spotrebovanú elektrickú energiu. Pokiaľ je spínač v elektromere otvorený, v tom prípade neprúdi elektrická energia a disk sa neotáča [2]. Akonáhle je spínač v stave zopnutia, elektrická energia začne prúdiť bude jej vplyvom otáčaný [2].

### **1.1.4 Elektronický elektromer**

Elektronický elektromer alebo inak nazývaný aj digitálny elektromer sa na prvý pohľad voči elektromechanickému elektromeru líši hlavne displejom, a to konkrétne tak, že na displeji sa už nezobrazujú analógové číselníky, ktoré sa pri spotrebe otáčajú, ale nachádza sa tu digitálny displej, na ktorom sa zobrazuje daná hodnota nameranej spotreby.

Elektronický elektromer funguje na princípe merania spotrebovanej energie na základe vysoko integrovaných komponentov alebo iných spôsobov integrovaných obvodov. Tieto zariadenia digitalizujú okamžité napätie a prúd cez sigma-delta ADC s vysokým rozlíšením. Súčinom napätia a prúdu zariadenie vypočíta okamžitý výkon vo wattoch [3].

## 1.2 Plynomer

Plynomer je zariadenie, ktoré meria spotrebu plynu za určitý čas a daný spotrebovaný objem plynu zobrazuje na displeji. Hlavnou jednotkou objemu plynu je meter kubický  $m^3$ . Plynomery inštaluje distribútor a je inštalovaný v bezpečnej vzdialenosti od elektrických zariadení, aby v prípade skratu nedošlo k vznieteniu. Podľa typu merania je možné rozlišovať rôzne druhy plynomerov [4]:

- Objemový plynomer,
- Rýchlostný plynomer,
- Dynamický plynomer,
- Ultrazvukový plynomer.

### 1.2.1 Objemový plynomer

Tento plynomer sa používa na priame meranie, pri čom využívajú tradičnú technológiu. Fungujú na princípe objemového prietoku a to tak, že rozdeľujú prúd plynu na špecifické segmenty, ktoré sa plnia a vyprázdňujú pri otáčaní plynomeru. Každá otáčka je spojená s konkrétnym objemom a na základe toho plynomer zobrazuje spotrebovaný objem na displeji v  $m^3$ . Tento merač má dostatočnú presnosť. Má však pohyblivé časti, takže pri použití takzvaného mokrého a špinavého plynu môže dôjsť k problémom [4].

### 1.2.2 Rýchlostný plynomer

Rýchlostný plynomer alebo inak nazvaný aj turbínový plynomer sa taktiež považuje za tradičnú technológiu merania. Tento plynomer meria objemový prietok vypočítaný na základe uhlovej rýchlosti rotora v merači. Rýchlostný plynomer má veľmi vysokú presnosť merania, ale vyžaduje kompenzáciu tlaku a teploty. Má tiež pohyblivé časti, takže pri použití sa musí zväžiť takzvaná čistota plynu. Tento merač je obmedzený na meranie nízkych prietokov a má vysokú tlakovú stratu [4].

### 1.2.3 Dynamický plynomer

Dynamický plynomer je merač, ktorý pracuje s tlakovým rozdielom pred a za clonou. Rozdiel tlakov sa zväčšuje, alebo znižuje na základe prietoku plynu cez clonu. Dynamický plynomer je bežne akceptovanou metódou merania prietoku v oblasti priemyslu. Nemá žiadne pohyblivé časti, a tak je ľahký na údržbu a obsluhu. Pri nízkom prietoku plynu je však menej citlivý, a tak aj klesá presnosť. Práve preto je takýto typ plynomeru používaný v priemysle a nie v domácnostiach [4].

### 1.2.4 Ultrazvukový plynomer

Takýto plynomer je zariadenie, ktoré nepriamo meria hmotnostný prietok. Ultrazvukový plynomer meria rozdiel v čase priechodu impulzu, ktorý prechádza od vysielača k prijímaču po smere prúdu a opačný impulz je vysielač proti prúdu a na druhej strane zachytený senzorom. Na základe časového rozdielu týchto dvoch impulzov plynomer určuje prietok plynu. Ultrazvukový plynomer nemá žiadne mechanické časti, a tak na rozdiel od predošlých zariadení je tento plynomer plne elektronický [4].

## 1.3 Vodomer

Vodomer je zariadenie, ktoré meria prietok kvapaliny za určitý čas a daný spotrebovaný objem kvapaliny zobrazuje na displeji. Hlavnou jednotkou objemu vody je  $m^3$ . Vodomer inštaluje distribútor a vo väčšine prípadov sa tieto merače nachádzajú na toalete alebo v kúpeľni. Podľa typu merania je možné rozlišovať rôzne druhy vodomero, ktoré sú definované nasledovne [4]:

- Rýchlostné vodomery,
- Objemové vodomery,
- Vodomery hmotností.

### 1.3.1 Rýchlostné vodomery

Tieto vodomery sa dajú tiež označiť aj ako mechanické vodomery. Využívajú princípu tlaku vody na koleso, ktoré sa roztáča a tým sa meria objem, ktorý prešiel cez merač. Takéto merače je možné rozdeliť do ďalších kategórií [5].

- **Lopatkový vodomer** - základom je lopatkové koleso, ktoré sa pod vplyvom prúdu vody otáča, a tak meria prietok, ktorý prenáša na číselník [5].
- **Skrutkový vodomer** - princíp je podobný, ako pri lopatkovom vodomere, ale miesto kolesa s lopatkami sa tu nachádza Skrutka, ktorá sa pod vplyvom prúdu vody otáča a počet otočiek prenáša na číselník [5].

- **Woltmanov vodomer** - tento merač je vhodný pre prietoky vyššie než  $25m^3 * h^{-1}$  pri trvalom prietoku [5].
- **Združený vodomer** - používa sa tam kde je odber vody kolísavý a spotreba nevyrovnaná. Ide o sústavu dvoch vodomero, ktoré sa vzájomne prepínajú podľa aktuálnej spotreby [5].
- **Tangenciálny vodomer** - je vodomer, ktorý má buď lopatky, alebo skrutku zasahujúcu do prierezu potrubia len čiastočne. Takýto vodomer sa využíva málo. Môže sa však využívať napríklad v poľnohospodárstve, kde voda môže obsahovať aj nečistoty [5].

### 1.3.2 Objemové vodomery

Merajú objem prúdiacej kvapaliny. Slúžia pre presné meranie odberu vody s malým prietokom. Tieto vodomery pracujú na princípe striedavého plnenia nádob vo vnútri vodomera. Do tejto skupiny vodomero, spadajú dva typy [5].

- **Elektromagnetický vodomer** - Používa sa pre meranie prietokov elektricky vodivých kvapalín. Pre správne fungovanie je potreba tento vodomer zapojiť do elektrickej siete, ale existujú aj také, ktoré sú napájané z batérie. Pracuje na základe elektromagnetickej indukcie pri pohybe vodiča v magnetickom poli [5].
- **Ultrazvukový vodomer** - Funguje podobne ako ultrazvukový plynomer. V prietokovej jednotke je vysielaný signál, ktorý je raz vyslaný po prúde a raz proti a na základe časového rozdielu týchto dvoch signálov sa určí veľkosť prietoku [5].

### 1.3.3 Vodomery hmotností

Vodomery hmotností merajú hmotnosť prúdiacej kvapaliny. Tieto vodomery sa používajú najmä v priemysle pre rôzne úlohy merania prietoku kvapalín. Využívajú sa na optimalizáciu chodu a zvyšovanie produktivity výrobných zariadení napríklad v chemickom priemysle [5].

## 1.4 Kalorimeter

Kalorimeter je zariadenie, ktoré meria množstvo tepla privedeného do radiátorov, poprípade podlahového kúrenia [6]. Používajú sa v bytových či rodinných domoch na meranie spotrebovaného tepla, ale taktiež sa používajú aj v oblasti priemyslu. Podľa typu merania je možné tieto zariadenia rozdeliť do dvoch základných kategórií, a to mechanický kalorimeter a ultrazvukový kalorimeter.

### 1.4.1 Mechanický kalorimeter

Mechanický kalorimeter je klasický princíp kolieska s lopatkami, ktoré sa pod vplyvom prúdu vody otáča a zmerané hodnoty prenáša na číselník. Tento kalorimeter nieje tak presný, skladá sa z mechanických častí, ktoré sa môžu opotrebovať, ale je veľmi ľahko vymeniteľný. Tieto kalorimetre často používajú ešte číselníkový displej [7].

### 1.4.2 Ultrazvukový kalorimeter

Ultrazvukový kalorimeter sa neskladá zo žiadnych pohyblivých častí a prietok sa tak získava pomocou ultrazvukového merania. Množstvo energie prenesenej od distribútora k spotrebiteľovi je definované rozdielom teplôt medzi teplejšou a chladnejšou stranou a objemom vody, ktorý pretiekol sústavou. Ultrazvukové meranie je založené na princípe, ktorý bol už spomenutý pri predchádzajúcich ultrazvukových meračoch. Skladá sa teda z dvoch senzorov, ktoré proti sebe vysielajú signály, a to raz v smere prúdenia a raz proti smeru. Podľa rozdielu v čase týchto impulzov sa určí prietok meračom. Tieto kalorimetre často používajú pre zobrazenie hodnôt už modernejšie digitálne displeje [8].

## 1.5 Dialkové odčítanie

Dialkové odčítanie meračov je v Českej republike celkom známa, ale ešte stále málo používaná metóda odčítavania. Zatiaľ čo v niektorých európskych štátoch je takáto metóda takmer bežná, v Českej republike je táto metóda stále vnímaná trochu s rezervou. Mnoho spotrebiteľov má stále nainštalované zastaralé merače, a tak možnosť dialkového odčítania nemajú. Na to, aby spotrebiteľia mohli realizovať dialkové odčítanie je potrebná re-inštalácia existujúcich meračov, a tak teda takúto možnosť veľa spotrebiteľov zavrhnú.

Jeden z veľkých problémov dialkových odčítaní meračov je nedostatočná informovanosť spotrebiteľov o takejto možnosti. Keď aj spotrebiteľ o takejto možnosti vie, často sa domnieva, že to prospeje iba distribútorom k jednoduchšiemu odčítaniu stavov. Opak je však pravdou. Ak sa spotrebiteľ rozhodne nainštalovať si merač s možnosťou odčítania stavov dialkovo, neľahčí odčítanie stavov iba zo strany distribútora, ale hlavne dokáže tieto stavy jednoducho odčítať aj sám, bez nutnosti ísť k meraču fyzicky.

V súčasnosti je na trhu mnoho poskytovateľov, ktorí poskytujú zariadenia ako vodomery, elektromery, plynomery či kalorimetre, ktoré sa dajú odčítať dialkovo. Častokrát poskytujú k týmto zariadeniam aj mobilné aplikácie, v ktorých spotrebiteľ

vidí všetky svoje zariadenia na jednom mieste. Na základe pravidelného plnenia dát spotrebiteľ vidí akú má aktuálnu spotrebu a akú mal spotrebu napríklad minulý mesiac a na základe toho si dokáže jednoducho vyhodnotiť či aktuálne mňa menej alebo viac energií, poprípade obmedziť spotrebu.

Na trhu sú momentálne dva základné druhy, ktoré výrobcovia poskytujú spotrebiteľom pre diaľkové odčítanie meračov, a to nasledujúce.

- **Smart merače** - alebo inak povedané chytré merače, sú merače, ktoré sú väčšinou digitálne. Skladajú sa z klasického merača a z hardvéru, ktorý zabezpečuje diaľkové odčítanie. Toto zariadenie častokrát prenáša údaje bezdrôtovo, poprípade po kábli, na jednu zbernicu, z ktorej si následne tieto údaje môže spotrebiteľ zobrazit. Takýto merač je mnohokrát súčasťou sústavy, ktorú taktiež daný výrobca vyrába a merač pracuje iba so špecifickou sústavou, a tak je spotrebiteľ zaviazaný si zabezpečiť celú sústavu od daného výrobcu.
- **Merače s pulzným výstupom** - sú merače, ktoré vydávajú pulz vo forme S0 pulzu alebo pomocou blikajúcej LED diódy. Tento pulz vždy predstavuje určitú jednotku. Na tieto merače sa následne dá nainštalovať senzor, ktorý bude snímať počet pulzov a následne tieto dáta odosielať pomocou sústavy, ktorú si už spotrebiteľ sám zvolí. Spotrebiteľ v tomto prípade, teda nieje obmedzený iba na zariadenia, ktoré sú s meračom kompatibilné, ale môže využiť širokú škálu možností na získavanie dát diaľkovým odčítaním.

### 1.5.1 Odčítanie stavu pomocou pulzu S0

S0 je rozhranie definované normou DIN 43864. S0 výstup je možné získať zo zariadení, ako je napríklad elektromer, plynomer, vodomer či kalorimeter. Rozhranie S0 slúži k tomu, aby bolo možné jednoducho a presne získať informácie od odbere energie. Rozhranie S0 je najlacnejším a najjednoduchším spôsobom, ako diaľkovo odčítať energiu z rôznych meračov. Sú známe aj iné rozhrania, ako je napríklad M-BUS alebo RS485, ale tieto riešenia nie sú také lacné [9].

Ak užívateľ chce získať množstvo spotrebovanej energie, ktoré daným meračom pretieklo, a to konkrétne pomocou rozhrania S0, je potrebný senzor, ktorý dokáže tieto impulzy zaznamenať. Ako už bolo spomenuté každý impulz odpovedá určitej jednotke. Na elektromery je napríklad jeden impulz jedna Watthodina. To znamená, že ak senzor zaznamená napríklad tisíc impulzov, výsledná hodnota bude jedna Kilowatthodina. Pri plynomere, vodomere a kalorimetri jeden impulz odpovedá zasa inej jednotke [9].

Zachytenie impulzov S0 môže mať viacero častí. Pri zachycovaní impulzu je možné tiež merať aj jeho vlastnosti a taktiež časové vzťahy medzi jednotlivými impulzmi. To sa dá využiť napríklad pre výpočet okamžitej alebo hodinovej spotreby.

Použitý algoritmus pri výpočte  $S_0$  by mal počítať s viacerými premennými. Mal by napríklad najskôr čakať určitú dobu, počas ktorej musí byť signál  $S_0$  nemenný. Keď je signál ustálený, prejde sa na druhý krok, ktorým je meranie dĺžky pulzu. Aby sa zabezpečilo, že pulz, ktorý je vysielaný je skutočne signál pulzu  $S_0$  a nie nejaké rušenie, je potrebné, aby sa kontrolovala dĺžka pulzu. Pokiaľ je signál konštantný po určitú dobu je senzorom započítaný ako pulz  $S_0$ . [9].

Senzor, ktorý zaznamenáva pulzy  $S_0$  by mal mať presné rozmery, medzi senzorom a vysielateľom nemôže byť žiadna prekážka, mal by byť presne umiestnený, odizolovaný od okolitého prostredia, a to hlavne pre to, aby nedochádzalo k zbytočným chybám merania.

### **1.5.2 Odčítanie stavu pomocou pulzu vytvoreného LED diódou**

Odčítavanie stavu pomocou pulzu vytvoreného LED diódou funguje na podobnom princípe, ako funguje odčítanie stavu pomocou pulzu  $S_0$ . Hlavným rozdielom je impulz, ktorý je tvorený LED diódou. Na to, aby bolo možné tento signál zachytiť je potrebný optický senzor, ktorý sníma počet impulzov vydaných LED diódou a počíta ich. Na základe toho potom podobne, ako pri signále  $S_0$  je možné určiť spotrebu.

Túto metódu odčítania je možné nájsť na starších zariadeniach, prevažne na elektromeroch, ktoré majú ešte stále starý číselníkový displej a nie digitálny displej. Odčítavanie stavu pomocou pulzu vytvoreného LED diódou má, teda tú výhodu, že je možné diaľkové odčítavanie aplikovať aj na staršie prístroje.

Pri tejto metóde je taktiež potrebné odstrániť chyby, šum a iné straty, ktoré by mohli meranie znehodnotiť. Odstraňovanie chýb pomocou algoritmu prebieha podobne, ako pri rozhraní  $S_0$ . Pomocou algoritmu je možné odstrániť napríklad chybné pulzy, krátke výpadky, a tak dosiahnuť presnosť merania.

Tak, ako senzor  $S_0$  tak aj senzor pre odčítanie stavu pomocou LED pulzov by mal mať presné rozmery, medzi senzorom a vysielateľom nemôže byť žiadna prekážka, mal by byť umiestnený na presné miesto a mal by byť odizolovaný od okolitého prostredia, aby nedochádzalo k zbytočným chybám merania.

Hallova sonda je senzor, ktorý slúži na meranie magnetického poľa. Používa sa v rôznych aplikáciách, ako napríklad v plynometroch na meranie prietoku plynu.

Pri meraní prietoku plynu Hallova sonda meria magnetické pole vytvorené prúdom, ktorý preteká cez vodič. Vodič s prúdom a senzor tvoria kruhový okruh a prietok plynu prechádza cez tento okruh. Ak plynomer meria prietok plynu, magnetické pole vytvorené prúdom sa mení, pretože rýchlosť plynu spôsobuje zmenu prúdu v okruhu. Hallova sonda zaznamená zmenu magnetického poľa a prevádza ju na signál, ktorý sa používa na výpočet prietoku plynu.



## 2 Internet vecí (IoT)

Internet vecí v skratke IoT pochádza z anglického slova Internet of Things. Internet vecí v poslednej dobe rastie čím ďalej tým viac. Dôvodom je veľká škála možností, ktorú Internet vecí ponúka. Cieľom Internetu vecí je umožniť predmetom okolo nás lepšie vnímať naše okolie, lacno medzi sebou komunikovať a vytvoriť lepšie prostredie pre užívateľov, a to také, kde sa každodenné predmety budú chovať podľa toho, čo budú užívatelia od nich potrebovať bez konkrétnych inštrukcií, ktoré by im bolo potrebné zadávať. Predpokladá sa, že Internet vecí bude schopný rýchlej analýzy tisícov parametrov súvisiacich či už s danou službou alebo zariadením a automaticky podnikne dané kroky, ktoré budú vyplývať z daných dát. Keď sa človek zamyslí, koľko vecí sa ľudia dokázali naučiť iba vďaka internetu, je iba ťažko predstaviteľné, koľko vecí by boli schopné naučiť sa zariadenia komunikujúce spolu pomocou internetu vecí. Mnohí ľudia veria, že IoT vytvorí najväčšiu technologickú príležitosť akú kedy ľudstvo ako také zažilo [10].

Pojem Internet vecí sa prvýkrát objavil v roku 1999, keď istý Kevin Ashton, v prezentácii, ktorú prezentoval v spoločnosti Procter & Gamble, tento pojem predstavil. Myšlienka RFID (radio-frequency identification), po slovensky rádiová frekvenčná identifikácia, sa v spoločnosti stala veľmi diskutovateľnou a na základe toho sa Kevin Ashton dostal do povedomia vedenia spoločnosti. Kevin Ashton vyslovil myšlienku „Internet vecí má potenciál zmeniť svet, minimálne tak, ako to dokázal internet. Možno ešte omnoho viac“. Následne v roku 2001 centrum MIT Auto-ID predstavilo ich víziu IoT. V roku 2005 bolo Medzinárodnou telekomunikačnou úniou oficiálne predstavený IoT [10].

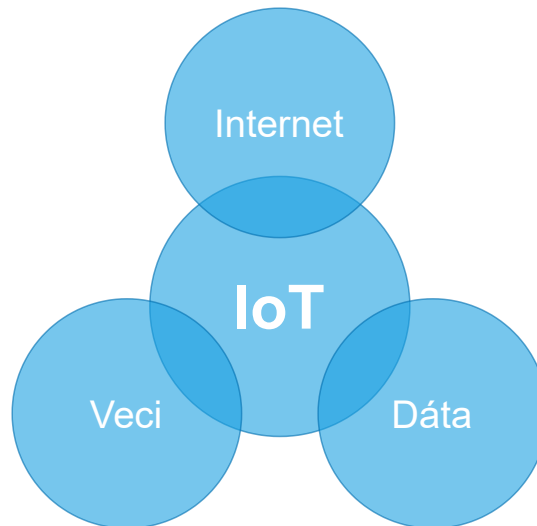
### 2.1 Čo je to IoT

Na to, aby sa Internet vecí mohol považovať za funkčnú sústavu musí obsahovať určité elementy, ktoré tento systém tvoria. Tieto elementy sú definované nasledovne [10].

- **Senzory** - slúžia na získavanie dát.
- **Identifikátory** - slúžia na identifikovanie dát.
- **Softvér** - slúži na analýzu a spracovanie dát.
- **Internetové prepojenie** - slúži na komunikáciu medzi jednotlivými zariadeniami.

Pokiaľ systém obsahuje všetky štyri elementy vymenované vyššie, je možné takýto systém pokladať za IoT. Pomocou IoT je možné vymieňať si dáta s výrobcom, operátorom a s ďalšími zariadeniami, ktoré sa nachádzajú v systéme. Internet vecí umožňuje fyzickým veciam, ako je napríklad auto alebo už vyššie spomínané merače,

posielať dáta a na základe týchto dát, môže systém, alebo priamo operátor riadiť tieto zariadenia v celom systéme. To umožňuje fyzickým veciam spájať sa s tými virtuálnymi a vytvárať jeden fungujúci svet. Jednoduchú štruktúru IoT je možné zobrazit jednoducho vid. Obr. 2.1 [10].



Obr. 2.1: Štruktúra Internetu vecí, prevzaté z [10], upravené

Z vyššie popísaných vecí vyplýva, že hlavná myšlienka IoT je fyzicky prepojiť všetko (senzory, zariadenia, stroje, ľudí, zvieratá, stromy) a posielať informácie cez internet pre ich monitorovanie, analýzu a následnú kontrolu [10].

## 2.2 IoT architektúra

Hoci sa môže zdať byť architektúra internetu vecí jednoduchá, v skutočnosti internet vecí obsahuje mnoho rôznych pohyblivých častí, ktoré musia navzájom spolu veľmi dobre spolupracovať, aby mohol systém fungovať ako celok [20]. Ak by čo i len jedna časť architektúry nefungovala správne, je nemožné doceliť správnu prevádzku systému, a tak systém nedokáže poskytovať správne dáta alebo v prípade kritickej chyby žiadne dáta. V IoT je architektúra rámec štyroch základných prvkov, ktorý definuje fyzické komponenty, funkčnú organizáciu a konfiguráciu siete, prevádzkové postupy a formáty údajov, ktoré majú byť použité [20].

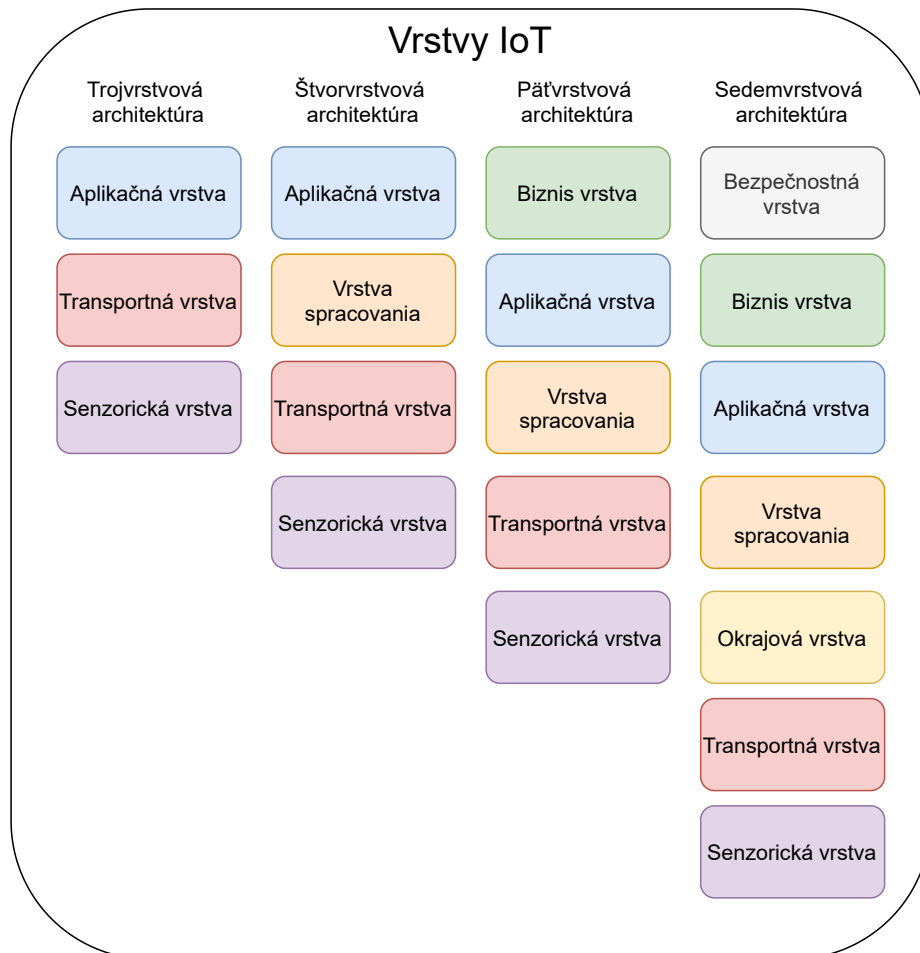
Pre implementáciu IoT však neexistuje žiadna štandardná architektúra, ktorá by sa použila v každom prípade. Každá jedna implementácia je použitá pre rôzne účely, a tak rôzne implementácie zahŕňajú rôzne technológie. Neexistuje tak jeden jednoduchý návod, ktorý by sa dal použiť na všetky možné implementácie [20].

## 2.3 Vrstvy IoT architektúry

Architektúre IoT chýbajú štandardizované protokoly, čo zvyšuje výzvy na aspekty systému, ako je kompatibilita, bezpečnosť a rôzne iné aspekty. Ako už bolo povedané, neexistuje jeden návod použiteľný pre všetky možné implementácie, ale zvyčajne sa IoT prvky, na základe zložitosti systému, delia do troch, až siedmich vrstiev [21].

Vrstvy architektúry IoT:

- Senzorická vrstva (Perception Layer),
- Transportná vrstva (Transport Layer),
- Okrajová vrstva (Edge Layer),
- Vrstva spracovania (Processing Layer),
- Aplikačná vrstva (Application Layer),
- Biznis vrstva (Business Layer),
- Bezpečnostná vrstva (Security Layer).



Obr. 2.2: Vrstvy architektúry IoT, prevzaté z [24], upravené

### 2.3.1 Senzorická vrstva

Túto vrstvu tvoria zariadenia, ktorým cieľom je zhromažďovanie a spracovávanie informácií. Na tieto účely sa využívajú rôzne snímače a senzory vykonávajúce rôzne funkcie, ako je napríklad vyhľadávanie polohy, meranie vibrácií, teploty, hmotnosti, vlhkosti, zrýchlenia a rôzne iné. Na to, aby bolo možné konfigurovať tieto objekty, je potrebné používať štandardizované mechanizmy plug and play, ktoré má použiť senzorická vrstva. Tieto dáta sa následne prenášajú na vyššie vrstvy na základe architektúry daného systému[22].

Táto časť architektúry v podstate zabezpečuje interakciu medzi IoT systémom a prostredím, a tak je jednou z troch základných súčastí každej IoT architektúry vid. Obr. 2.2.

Niekedy sa senzorická vrstva nazýva aj fyzická vrstva a to najmä kvôli tomu, že pozostáva prevažne z fyzických zariadení, ako už bolo spomenuté vyššie [25].

### 2.3.2 Transportná vrstva

Táto vrstva architektúry IoT systémov zabezpečuje prenášanie údajov z viacerých zariadení, ktoré sa nachádzajú v senzorickej vrstve, ako sú napríklad senzory, kamery a prenáša ich na bránu a následne do cloudového alebo dátového centra. Ako prvé je potrebné, aby brána konvertovala prichádzajúci vstup z analógového na digitálny formát. Následne brána ďalej môže využívať akýkoľvek z rady protokolov na prenos údajov a posilať ich do cloudového alebo lokálneho centra [21].

Transportná vrstva je základnou súčasťou každej architektúry IoT systémov. Táto vrstva poskytuje rozhranie medzi rôznymi sieťami, cez ktoré prúdi komunikácia celého systému. Úlohou tejto vrstvy je nie len prenášať informácie, ale aj bezpečnosť týchto informácií, pretože zabezpečuje aj integritu, dôvernú a autentifikáciu údajov. V neposlednom rade tiež poskytuje metódy prístupu k sieťam, ako sú napríklad čísla portov či konkrétne IP adresy [25].

Na základe poskytovania týchto služieb spomenutých vyššie, transportná vrstva zabezpečuje, bezpečnosť a spoľahlivosť sietí, ktoré sú súčasťou systému IoT [25].

### 2.3.3 Okrajová vrstva

Účelom tejto vrstvy je predspracovávať dáta, ktoré prúdia blízko okraju, kde IoT zbiera nové informácie. Typický výpočet na okraji prebieha na bránach.

Zväčšovaním IoT sietí, sa tak isto zväčšuje latencia a tým sa stáva jednou z hlavných výkonnostných výziev v súčasnom IoT. Problém spočíva v tom, že mnohopočetné zariadenia pripájajúce sa k rozbočovaču preťažia sieť a tým spôsobia latenciu.

Práve pre to sa v architektúre nachádza okrajová vrstva, ktorá tento problém rieši hlavne pomocou predspracovania údajov [21].

Na označenie okrajovej vrstvy sa často používa aj výraz hmlová vrstva. Je tu kladený dôraz na redukciu a konverziu sieťových tokov na informácie, ktoré sú ďalej pripravené na spracovanie a uloženie vo vyšších vrstvách. Hlavný princíp tejto vrstvy je ten, že spracovanie informácií sa začína, čo najbližšie k okraju siete, a tak teda informácia sa snaží odchytiť čo najskôr [23].

Tieto informácie sa vyhodnocujú ešte pred odoslaním do vyššej vrstvy, aby bolo možné určiť, ako s danými informáciami nakladať, ktoré treba uprednostňovať a ktoré zasa naopak filtrovať. Toto tiež umožňuje aj preformátovanie alebo dekódovanie údajov [23].

Predspracovanie dát teda umožňuje zachytiť informácie, včas ich analyzovať a na základe toho uprednostňovať potrebné informácie, ktoré sú pre chod systému kritické a naopak filtrovať informácie, ktoré nie sú až tak kritické a nie je teda problém ak sa odošlú neskôr.

### 2.3.4 Vrstva spracovania

Vrstva spracovania alebo inak nazývaná aj vrstva middleware je základným komponentom takmer každej architektúry systému IoT. Táto vrstva využíva najmä pripojenia mnohých počítačov súčasne, a to vo forme cloud computingu. Cloud computing sa používa hlavne pre jeho vynikajúci výpočetný, úložný, bezpečnostný a sieťový výkon [21].

Vrstva spracovania sa zaoberá najmä analýzou vstupných údajov s cieľom generovať nové poznatky, užitočné predpovede a včasné varovania. Keďže IoT zvyčajne často krát spracováva obrovské množstvá dát, ktoré sú generované zariadeniami na okraji siete, je potrebné mať prípravu údajov v tejto vrstve rozdelenú do troch prístupových stupňov [21]:

- **Akumulácia údajov** - vrstva spracovania správne identifikuje a na základe toho priraduje rôzne typy údajov k príslušnému úložisku. Dáta, ako napríklad video, audio, obrázky a streamy sú neštruktúrované, a tak zvyčajne vyžadujú viac úložného priestoru a sú uložené v takzvaných dátových jazerách. Naopak dáta zahŕňajúce hodnoty z prístroja, z protokolu a merania sú štruktúrované, a tak sú priestorovo efektívnejšie a ukladajú sa v takzvaných dátových skladoch.
- **Abstrakcia údajov** - tento stupeň zahŕňa agregáciu zdrojov, ako je napríklad zabezpečenie konverzie údajov do formátu, ktorý je ďalej možné čítať pomocou softvéru v aplikačnej vrstve.

- **Analýza údajov** - v tomto stupni vrstva spracovania využíva algoritmy strojového učenia, alebo takzvaného hĺbkového učenia. Tieto algoritmy sa špecializujú na zisťovanie vzorcov v rámci veľkých, zdanlivo náhodných údajov, nachádzajúcich sa v sieti.

### 2.3.5 Aplikačná vrstva

Táto vrstva patrí medzi jednu zo základných vrstiev každej architektúry. Aplikačná vrstva slúži na interakciu koncového užívateľa so systémom napríklad pomocou aplikácie pre smartfóny alebo nejakej webovej aplikácie. Pomocou tejto aplikácie je užívateľ schopný získavať údaje poskytované systémom alebo zadávať príkazy systému, čo má vykonať. Príklad takejto aplikácie je napríklad aplikácia v smartfóne na riadenie inteligentnej domácnosti[24].

Aj napriek tomu, že si väčšina vecí v IoT systéme po prvotnej konfigurácii už nevyžaduje ľudský zásah, je aplikačná vrstva nevyhnutná a bez tejto vrstvy by bol systém neúplný. Navyše, ako už bolo spomenuté, aplikačná vrstva neslúži iba na zobrazovanie informácií, ale aj na zasielanie príkazov. Tieto príkazy nemusia byť iba na koncové zariadenia, ako je napríklad príkaz na žiarovku, aby bola zapnutá. Tieto príkazy slúžia napríklad aj na počiatočné nastavenie a správu daných zariadení v systéme. Navyše aplikačná vrstva zahŕňa aj návrh dohôd o úrovni služieb pre systémy a siete IoT [24].

### 2.3.6 Biznis vrstva

Biznis vrstva alebo inak povedané aj obchodná vrstva, slúži hlavne na riadenie obchodných modelov, transakcií a rôznych iných vecí, týkajúcich sa práve obchodu. V tejto vrstve sa kladie dôraz najmä na obchodné pravidlá, obchodnú analýzu a riadenie rôznych obchodných procesov. Biznis vrstva zodpovedá za riadenie obchodnej logiky, nastavenie obchodných procesov, a to na základe interakcie pripojenými zariadeniami a ich poskytovanými dátami. Cieľom biznis vrstvy je, aby bolo zabezpečené splnenie všetkých obchodných cieľov daného systému IoT [25].

Biznis vrstva má taktiež ešte jednu dôležitú úlohu, a to ochrana súkromia používateľov. Zhromaždené dáta sú bezpečne uložené a užívatelia musia mať kontrolu nad používaním ich údajov. V tejto vrstve sa využíva taktiež analýza užívateľov a na základe toho je umožnené danému systému IoT personalizovať dáta a služby pre konkrétnych užívateľov [25].

### 2.3.7 Bezpečnostná vrstva

Bezpečnosť dát sa dnes radí medzi jednu z najdôležitejších požiadaviek na architektúru systému IoT. Bezpečnosť dát však nie je len najdôležitejšou požiadavkou na systémy IoT, ale taktiež aj jednou z najväčších výziev súčasnej doby pre systémy IoT a zariadenia v týchto systémoch. Zjednodušene by sa dalo povedať, že, aby bol systém považovaný za zabezpečený, mal by zahŕňať tri hlavné aspekty, a to [21]:

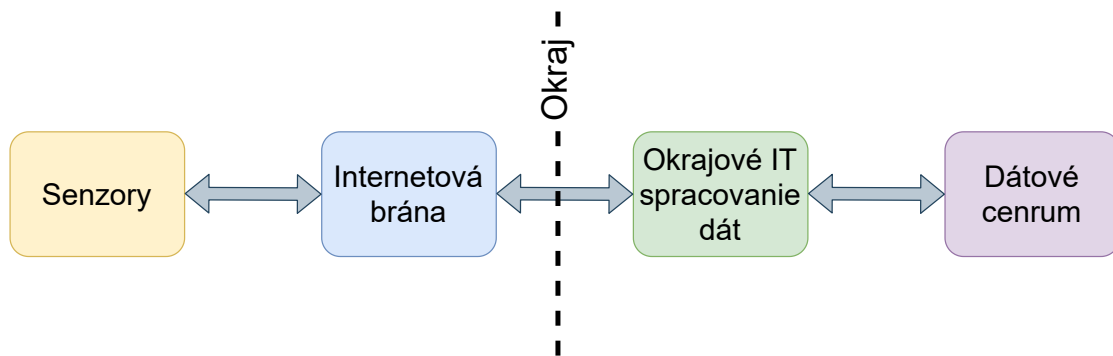
- **Zabezpečenie zariadenia** - sem patria fyzické zariadenia prítomné v systéme IoT. Tieto zariadenia a koncové body je potreba chrániť pred nežiadúcimi vírusmi, ako je napríklad malware či únosmi daných zariadení. Pokiaľ sa útočník zmocní takéhoto zariadenia, dokáže získavať z neho informácie. Od veľkosti útoku potom závisí či útočník dokáže manipulovať s dátami alebo dokonca napadnúť celý systém IoT.
- **Zabezpečenie cloudu** - všetky údaje musia byť niekde uložené. V systémoch IoT sa miesto, kde sú uložené údaje nazýva cloud. Keďže v cloude sú všetky uložené informácie daného systému IoT je potrebné mať tieto dáta zabezpečené, a tak ich chrániť pred únikom a zneužitím útočníkom či dokonca ich zničením.
- **Zabezpečenie pripojenia** - tento aspekt kladie dôraz na zabezpečenie a ochranu dát prúdiacich cez siete v systéme IoT. Toto zabezpečenie prebieha predovšetkým pomocou šifrovania. Ako štandardný protokol zabezpečenia transportnej vrstvy sa považuje protokol TLS.

## 2.4 Stavby IOT architektúry

Na rozdiel od vrstiev IoT architektúry sú stavby IoT architektúry dané pevnejšou štruktúrou. Táto štruktúra určuje, aké stavby by mal správny IoT systém obsahovať, aby jeho funkčnosť bola správna. Tieto stavby nie sú pevne dané, ale najčastejšie sú to tieto štyri stavby:

- senzory / akčné členy,
- internetová brána,
- okrajové IT spracovanie dát (edge IT),
- dátové centrum a cloud.

Stavby, ktoré sú vymenované vyššie sa môžu nazývať aj inak, avšak takéto pomenovanie je najčastejšie. Aj keď sa môže vyskytnúť iné pomenovanie niektorého zo stavov, tak funkcionálnosť tohto stavu je rovnaká. Štruktúru stavov v IoT systéme je možné vidieť na Obr. 2.3.



Obr. 2.3: Stavby architektúry IoT, prevzaté z [26], upravené

### 2.4.1 Sensory / akčné členy

Senzory sú fyzické zariadenia, ktoré sa nachádzajú na okraji IoT systémov. Tieto zariadenia zbierajú dáta z okolitého prostredia alebo z meraného objektu a následne tieto dáta premieňajú na užitočné dáta, s ktorými sa dá následne pracovať v systéme IoT. Pri zasahovaní akčných členov je možné zmeniť fyzické podmienky, ktoré generujú dáta. Akčné členy môžu napríklad vypnúť napájanie, nastaviť ventil prietoku vody alebo presunúť robotické rameno pri určitom procese montáže [26].

Na to, aby však systém IoT mohol pracovať s dátami je potrebné tieto dáta získať. Táto fáza sa nazýva snímacia alebo aj aktivačná fáza. V tejto fáze sa získavajú dáta z prostredia pomocou rôznych senzorov, ako je napríklad merač tlaku, merač teploty, detektor hladiny vody, senzor kvality vzduchu, monitor srdcového tepu a rôzne iné. Sensory a akčné členy môžu byť do systému pripojené pomocou káblu napríklad LAN. Toto je však v dnešnej dobe už zastaralé, a preto sa väčšinou uprednostňujú senzory s nízkou spotrebou energie, ktoré využívajú bezdrôtové technológie, ako napríklad LoRa alebo Zigbee [26].

V architektúre systémov IoT môžu byť dáta spracovávané v každej z vyššie uvedených štyroch stavov. Spracovávanie dát priamo na senzore nie je nemožné, ale je veľmi nepraktické. Údaje, ktoré je možné na senzore spracovať je obmedzené výpočtovým výkonom, ktorý na senzoroch a akčných členoch zvyčajne nie je dostatočný [26].

S ohľadom na výpočetný výkon senzoru alebo akčného člena sa spracovanie dát presúva na ďalšie stavy. Napríklad ak si systém vyžaduje rozsiahlejšie spracovanie, keď je potreba spojiť niekoľko viacerých údajov dohromady, využije sa pri tom dátové centrum alebo cloud, ktorý toto umožňuje. Napriek tomu však existujú prípady kedy je potrebné dáta spracovávať hneď na okraji systému, a teda na konkrétnych senzoroch a akčných členoch. Takýmto prípadom sú napríklad senzory na lietadle slúžiace na detekciu hrozieb. Keďže rýchlosť vyhodnotenie týchto údajov je pre bezpečný let



lietadla kritická, získané údaje sa vyhodnocujú priamo na daných senzoch. Pre dosiahnutie, čo najrýchlejšej odozvy sa teda používa vyhodnocovanie dát priamo na senzore, a teda na samotnom okraji siete systému IoT [26].

## 2.4.2 Internetová brána

Dáta, ktoré sa zbierajú na senzoch sú v analógovej forme. Pre ďalšie spracovanie týchto dát v IoT systéme je potrebný ich prevod do digitálnej formy. Proces agregácie a konverzie údajov je zabezpečený systémom získavania údajov. Tento systém sa pripája k sieti senzorov, agreguje výstupy a zabezpečuje analógovo-digitálnu konverziu. Internetová brána prijíma tieto digitalizované dáta a následne ich smeruje do ďalších stavov pre ich ďalšie spracovanie [26].

Tento stav nepozostáva iba z brány, ale aj zo zariadení, ktoré agregujú údaje a taktiež ich digitalizujú. Tieto zariadenia sa nachádzajú blízko senzorov a akčných členov. Napríklad meteorologická stanica má viacero senzorov a akčných členov, ktoré dodávajú údaje do takéhoto zariadenia. Toto zariadenie potom komunikuje s bránou, ktorá tieto údaje spracuje a pošle ďalej do vyšších stavov architektúry [26].

Dáta prúdiace na bránu je potreba predspracovávať, a to najmä preto, pretože veľké objemy dát prichádzajúcich zo všetkých senzorov by mohlo zahltiť sieť, a tak ju znefunkčniť. Na bránu sú teda poslané už predspracované dáta, ktoré nemajú taký veľký vplyv na rýchlosť siete systému [26].

Ďalším dôvodom prečo je potrebné dáta predspracovať je pre to, že analógové dáta, získané senzorom alebo akčným členom potrebujú na ich spracovanie špecializovaný softvér, pretože ich časové a štrukturálne charakteristiky sú špecifické. Najlepší spôsob je, aby digitálne dáta boli čo najskôr prevedené do digitálnej formy [26].

Brány sú zariadenia, ktoré sú mimo dátového centra, a tak slúžia ako medzistávka medzi senzormi a akčnými členmi a dátovým centrom. Dáta zo senzorov a akčných členov sú prijímané bránou a ďalej bránou pripravované pre ich spracovanie vo vyšších stavoch architektúry ako je napríklad ich posielanie do konkrétneho dátového centra. Brána by mala byť navrhnutá tak, aby nebola závislá na polohe a bola ľahko prenosná, jej implementácia by mala byť jednoduchá a mala by byť dostatočne odolná, a to či už po hardvérovej stránke, tak aj po softvérovej [26].

V súčasnosti sa využívajú aj takzvané inteligentné brány. Tieto brány sú stavané na základných funkciách brány a k týmto funkciám sú pridávané ďalšie funkcie, ako je napríklad analýza dát, ochrana softvéru voči napadnutiu alebo funkcia služby správy údajov. Takýmito bránami je umožnená analýza dátových tokov v reálnom čase [26].

### 2.4.3 Okrajové IT spracovanie dát

Po tom, ako sú dáta agregované a prevedené do digitálnej formy, sú pripravené pre ďalší stav. Týmto stavom je práve okrajové IT spracovanie dát. V tomto stave sa pristupuje k ďalšiemu spracovaniu dát, aby mohli byť dáta poslané do ďalšieho stavu, a to konkrétne do dátového centra alebo cloudu. Pri spracovaní dát v tomto stave vstupujú do procesu okrajové IT systémy. Tieto systémy môžu byť umiestnené v okrajových lokalitách, ako je napríklad vzdialená kancelária. Okrajové IT systémy vykonávajú viac analýz, ako bolo vykonané v predchádzajúcich stavoch. Vo všeobecnosti sú tieto zariadenia umiestňované v blízkosti snímačov na miestach, ako je napríklad rozvodná skriňa [26].

Okrajové IT systémy sú taktiež používané ako prevencia proti zahľteniu dátového centra, a tak zníženie jeho záťaže. Ak by sa v architektúre okrajové IT systémy nevyskytovali a do dátového centra by prúdili dáta iba jedným veľkým kanálom, boli by kladené veľmi vysoké nároky na dátové centrum. Navyše by dochádzalo k veľkému oneskoreniu dát, problémom pri ich ukladaní a existoval by veľmi vysoký bezpečnostný problém, že by tento kanál bol napadnutý, a tak ovplyvnené všetky dáta prúdiace v systéme cez tento kanál. V prípade prerušenia tohto kanálu by bol systém paralizovaný. Toto všetko dokazuje akou dôležitou súčasťou architektúry je okrajové IT spracovanie dát, a to najmä pri veľkých systémoch [26].

V okrajových IT systémoch sú dáta predspracovávané, aby boli lepšie použiteľné a zrozumiteľnejšie pre vyšší stav, a teda dátové centrum. Taktiež tu môžu byť dané dáta triedené a do dátového centra posielané iba tie potrebné, čo značne zlepšuje rýchlosť prúdenia dát v systéme. Môžu tu byť spracované napríklad spracovať dáta ohľadom teploty v motore, tie sa vyhodnotia a do dátového centra sa odošlú iba informácie o tom, že je všetko v poriadku alebo nie [26].

V súčasnosti sa pri okrajovom IT spracovaní dát začína používať strojové učenie. Pomocou strojového učenia dokáže tento stav určiť napríklad hroziace problémy a taktiež ich rozdeliť podľa krízových požiadavkov. Do dátového centra sa následne odošlú už spracované a ľahko zrozumiteľné informácie, poprípade návrh na riešenie daného problému. To umožňuje reagovať rýchlo na hroziaci problém alebo na už aktuálny problém a na základe zrozumiteľných informácií aplikovať správny postup na riešenie problému [26].

### 2.4.4 Dátové centrum a cloud

V dátovom centre alebo v cloude sa zhromažďujú údaje zo všetkých zariadení v celom IoT systéme. Dáta sem už prúdia spracované v konečnom stave, nepotrebujú teda ďalšiu analýzu, a tak sa dané dáta iba uložia alebo tu prúdia predspracované dáta určené na ďalšiu analýzu. Dáta, ktoré sem neprúdia spracované, ale sú iba

predspracované a nie sú teda v konečnom stave si vyžadujú buď informácie o zariadeniach, ku ktorým nemajú prístup v nižších stavoch alebo nebol nižšími stavmi poskytnutý dostatočný výpočetný výkon na ich spracovanie. Taktiež sa tu analyzujú dáta, ktoré nepotrebujú okamžitú odozvu, a tak nie je potrebné ich v predchádzajúcich stavoch spracovávať. V dátovom centre alebo v cloude sa vykonáva hĺbková analýza a tým sa dokáže spojiť a vyhodnotiť údaje z viacerých koncových zariadení, ktoré doteraz nebolo možné spojiť a vyhodnotiť [26].

Spracovanie týchto údajov môže prebiehať lokálne, a teda v dátovom centre. Toto centrum je na jednom mieste a obsahuje veľké množstvo dát. Jeho problém je, že ak sú všetky dáta na jednom mieste, je potrebné vynaložiť veľa prostriedkov na jeho zabezpečenie, aby bol odolný voči útokom. Zatiaľ čo v minulosti sa používali najmä veľké dátové centrá, kde sa zromažďovali všetky informácie na jednom mieste, v súčasnosti sa preferuje využívanie cloudu. Cloud je v podstate úložisko rozdelené na viacero častí, ktoré sa fyzicky nenachádzajú na jednom mieste, ale sú rozmiestnené, a tak sú dáta viac chránené a v prípade zlyhania jedného serveru nebudú všetky dáta stratené. Tieto servery sú navzájom medzi sebou prepojené, a tak IoT systém tieto servery považuje za celok nazývaný cloud.

## 2.5 Senzory IoT

Senzor je zariadenie, ktoré dokáže detektovať udalosti alebo zmeny v jeho vlastnom prostredí a na základe toho poskytuje zodpovedajúci výstup. Senzory sa často používajú napríklad na meranie teploty, tlaku, prúdu, pohybu, zvuku a iné. Väčšina takýchto senzorov má analógový vstup, na základe, ktorého poskytuje digitálny výstup. Pretože tu dochádza k zmene analógového signálu na digitálny je potrebné, aby senzor obsahoval AD prevodník, čiže prevodník analógového signálu na digitálny[10].

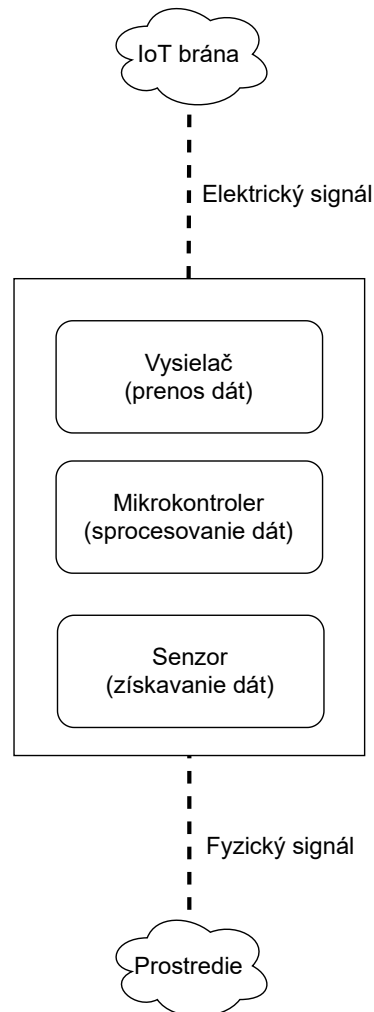
Na senzory sa tiež môžu vnímať podobne, ako na päť ľudských zmyslov. Senzory tvoria takzvaný front-end systémov IoT, v preklade prednú časť, čo znamená, že tvoria tú časť IoT, ktorú môže byť užívateľmi pozorovaná. Senzory sú veľmi potrebné v každom IoT, pretože nám poskytujú toľko potrebné údaje o prostredí, kde sa nachádzajú. Takéto senzory sa využívajú napríklad v stavebníctve, energetike, zdravotníctve, vo fabrikách a mnohých iných odvetviach, kde sa využíva ich služieb ako premostenie medzi fyzickými objektami a internetom[10].

Senzory môžu byť veľmi jednoduché, musia však spĺňať jednu ich základnú predurčenú úlohu, ktorou je zber rôznych dát podľa typu senzoru a následné vysielanie týchto dát ďalej do systému [10]. Tieto senzory nemusia vysielat počas celej doby, ale častokrát stačí, keď pošlú dané údaje za daný čas. To v podstate znamená, že senzor môže zbierať dáta z elektromeru počas doby odpovedajúcej jednej hodine

a následne po tejto dobe poslať dáta na bránu, kde sa následne spracujú. Takto sa veľmi šetrí energia a senzory vydržia funkčné počas dlhej doby.

Na to, aby mohli senzory odosielať dáta potrebujú byť spojené so zariadeniami, ktoré takéto funkcie umožňujú. IoT snímacie zariadenie sa preto skladá z viacerých častí vid', Obr. 2.4. Zvyčajne sú to tri a tie sú nasledujúce [10]:

- senzor,
- mikrokontroler,
- zariadenie na transport signálu.



Obr. 2.4: Snímacie zariadenie, prevzaté z [10], upravené

## 2.6 Zabezpečenie IoT

Zabezpečenie dát v systéme IoT je jednou z najdôležitejších vecí. Je potreba, aby sa k dátam, ktoré putujú sieťou nedostal nikto iný, ako ten pre koho sú určené. Na to, aby dáta boli zabezpečené pred zneužitím, je potreba dáta šifrovať. Toto šifrovanie však nemôže spôsobovať veľkú záťaž a tým spomaľovať celý tok dát.

Zabezpečenie IoT je pravdepodobne jednou z najväčších príležitostí pre technologické firmy a predpokladá sa, že tento problém bude výzvou ešte nejakú dobu. Pred IoT sa dôležité dáta udržiavali v takzvanej bubline, kde sa nachádzala celá sieť a zariadenia, ktoré tieto dáta obsahovali, boli zabezpečené sieťovým zariadením, takzvaným firewallom, ktorý bol na základe dôležitosti informácie aj viac vrstvový. V prípade IoT sú však dáta získavané z externých, často mobilných zdrojov, ktoré sa nachádzajú na verejne prístupných miestach, čo umožňuje prípadným útočníkom odcudziť dáta užívateľom alebo poslať užívateľovi dáta, ktoré budú zmanipulované, poprípade mu dokážu poškodiť systém. Za oblasti IoT, ktoré sú najzraniteľnejšie sa považujú nasledovné [10].

- **Prístup k dátam počas transportu** - dáta prúdia v IoT sieťach neustále. Tok dát je napríklad od senzoru k bráne, z brány do dátových centier. Zdrojom takýchto dát môžu byť napríklad senzory pohybu v dome, bezpečnostné kamery a rôzne iné. Tieto dáta môžu byť ukradnuté priamo pri prenose, a preto musia byť protokoly, ktoré sa na daný prenos používajú zabezpečené [10].
- **Kontrola nad IoT zariadeniami** - umožňuje neoprávneným osobám prevziať kontrolu nad celou sieťou a zariadeniami v nej. Útočník v nej môže napríklad vypnúť všetky bezpečnostné systémy domu, ktoré sa nachádzajú v sieti alebo napríklad zablockovať prístup k určitým zariadeniam [10].
- **Priamy prístup k dátam** - priamy prístup k dá tam zariadení či do konca k bráne je veľmi nebezpečný. Útočník tým získa všetky informácie, ktoré prúdia cez zariadenie a tieto informácie vie zneužiť, poprípade znehodnotiť alebo vymazať. Útočník môže pomocou priameho prístupu jednoduchšie ochromiť celý tok dát, a taktiež dočasne alebo trvalo poškodiť zariadenie [10].
- **Ukradnutie identity** - pomocou ukradnutia identity či už oficiálnej alebo internetovej je útočník schopný riadiť všetko, tak, ako by bol toho schopný užívateľ, ktorému bola identita odcudzená [10].

## 2.7 Technológie IoT

Komunikačné protokoly sú základnou kostrou IoT systémov. Zabezpečujú pripojenie IoT zariadení do siete, a teda v konečnom dôsledku pre aplikácie a používateľov. Tieto protokoly umožňujú prenos dát medzi rôznymi vrstvami IoT architektúry.

To je zabezpečené tým, že protokoly definujú formát v akom budú dáta prenášané, kódovanie dát, adresovanie dát a celkovú štruktúru, akou sú dátové balíky transportované od uzlov k zariadeniam [11].

IoT ekosystém zahŕňa širokú škálu odlišných technológií podporujúcich short-range network, v preklade siete krátkeho dosahu, lokálne siete a wide area network, v preklade široko oblastné siete, pričom všetky tieto siete existujú súčasne. Každá technológia má svoje vlastné charakteristiky z hľadiska dosahu, snímania a kontroly a taktiež každá z týchto technológií ma za možnosť vysielat rôzne typy informácií. Spoločne tieto technológie môžu pokryť všetky bezdrôtové rozsahy a možnosti. Napríklad taký Bluetooth pracuje dobre na krátke vzdialenosti, zatiaľ čo Narrowband IoT pracuje dobre na dlhé vzdialenosti [11].

Protokoly zaisťujú práve komunikáciu medzi danými zariadeniami v sieti. IoT protokoly sú nevyhnutná časť všetkých IoT technológií a bez nich by hardware jednoducho nefungoval. Dá sa teda skonštatovať, že IoT protokoly umožňujú zariadeniam vymieňať si medzi sebou dáta kontrolovane a zmysluplne. [11]

S dnešným počtom niekoľko miliárd zariadení IoT existuje taktiež niekoľko desiatok technológií, ktoré zabezpečujú prenos dát. Tieto technológie sa delia do dvoch hlavných kategórií, ktoré sú nasledovné:

- dátové technológie,
- sieťové technológie.

### 2.7.1 Dátové technológie IoT

Dátové technológie IoT sú technológie, ktoré poskytujú dátovú komunikáciu medzi hardvérom bez potreby internetového pripojenia. Tieto technológie sa väčšinou využívajú na lokálnej úrovni. Medzi najznámejšie protokoly používané v dnešnej dobe patria nasledovné [12]:

- Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP),
- Message Queuing Telemetry Transport (MQTT),
- Data Distribution Service (DDS),
- HyperText Transfer Protocol (HTTP),
- Constrained Application Protocol (CoAp),
- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP),
- WebSocket,
- Messaging and Presence Protocol (XMPP).

Pred tým, ako bude zvolený správny protokol je potrebné určiť faktory, ktoré budú brané do úvahy pri výbere tohto protokolu. Rôzne protokoly používané v sieťach internetu vecí sa vyznačujú rôznymi výhodami a nevýhodami vzhľadom na nižšie uvedené faktory.

Najdôležitejšie faktory pre výber protokolu na prenos údajov sú:

- množstvo a typ údajov, ktoré sa majú odoslať,
- interval a požadovaná rýchlosť prenosu,
- spoľahlivosť pripojenia,
- spotreba energie,
- bezpečnosť dát,
- komunikácia medzi okrajovými zariadeniami.

## 2.7.2 Sieťové technológie IoT

Sieťové technológie IoT zvyčajne využívajú internet pre spojenie viacerých zariadení. Niektoré z technológií môžu fungovať samostatne, zatiaľ čo iné musia pracovať spoločne s inými technológiami pre možnosť pripojenia do internetu. Každá technológia má iné vlastnosti a je vhodná pre rôzne účely. Líšiť sa môžu napríklad v rýchlosti alebo v dosahu vid. Obr. 2.5. Sieťové technológie IoT, ktoré v dnešnej dobe patria medzi najpoužívanejšie sú nasledovné.

- **Cellular** - v preklade bunkový, je technológia, ktorá využíva súčasné mobilné siete, ako je napríklad LTE alebo najnovšie 5G. Táto technológia zvyčajne pracuje v IoT na nízkej frekvencii výsledkom čoho je dosah na väčšie vzdialenosti [13]. Pomocou týchto sietí je možné prepojiť fyzické zariadenia s internetom. Moderné technológie, ako je napríklad 5G má veľký dosah a vysokú rýchlosť vid. Obr. 2.5. Používa sa napríklad na prenesenie veľkého množstva dát na veľkú vzdialenosť.
- **Bluetooth** - je vhodný pre komunikácie na krátku vzdialenosť, ako napríklad prenos dát medzi telefónom a sluchátkami s bluetooth technológiou. Táto technológia má však využitie aj pri premávke. Vozidlá, ako napríklad mestská hromadná doprava, hasičské vozidlá, sanitky alebo policajné vozidlá majú možnosť pomocou bluetooth komunikovať napríklad so semaformi, a tak v prípade núdze môžu nastaviť zelenú v ich smere a ostatným účastníkom cestnej premávky prichádzajúcich z iných smerov nastaviť červenú. Takáto aplikácia tejto technológie je v angličtine známa pod názvom traffic signal prioritization v skratke TSP. Aj keď sa dá na tento účel použiť aj táto technológia zvyčajne sa však radšej volí technológia v angličtine známa pod názvom Dedicated Short-Range Communications v skratke DSRC, ktorá má pre tieto účely lepšie vlastnosti. Ďalšie využitie bluetooth technológie je možné nájsť napríklad v umiestnení bluetooth senzorov v okolí komunikácií, na základe ktorých je možné získať informácie o vozidlách, ktoré majú vysielacie zariadenie. Pomocou týchto dát je možné zistiť napríklad, kde sa dané vozidlo nachádza, akou ide rýchlosťou a mnoho iných informácií [13].

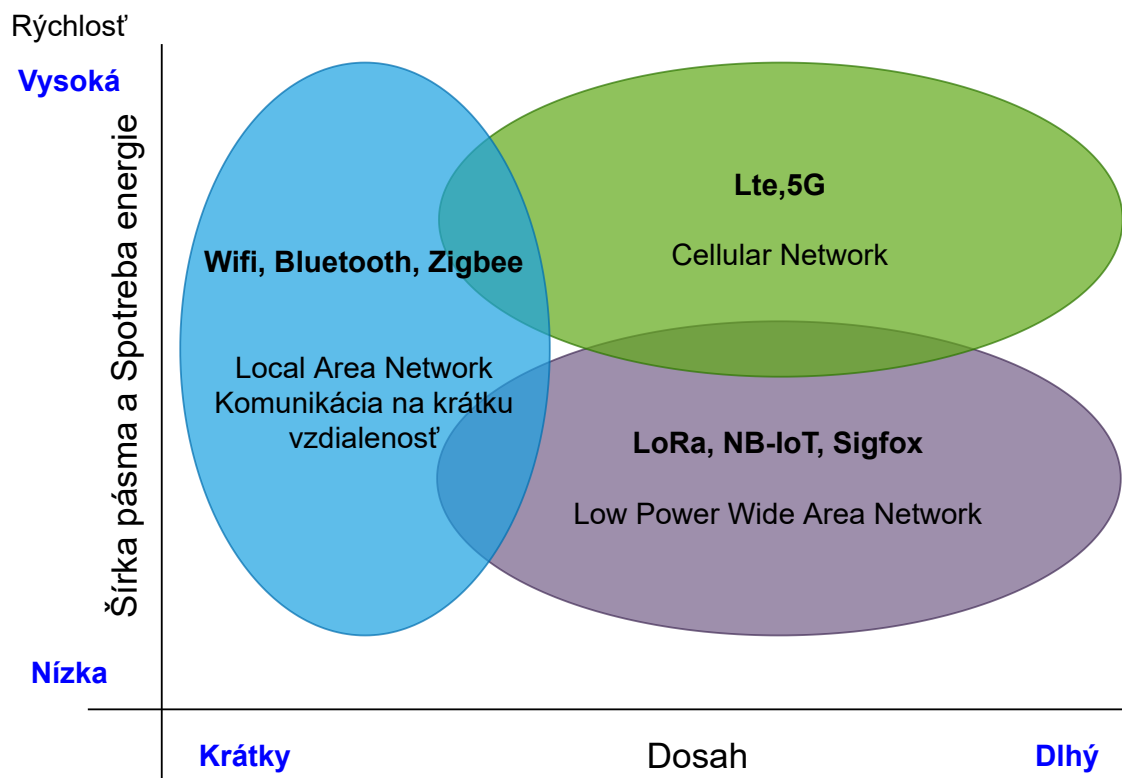
- **Wi-Fi** - je dnes takmer najznámejšia technológia v danom zozname. Wifi je dnes prítomná takmer všade okolo nás. Väčšina domov či bytov majú dnes doma zariadenie, ktoré používa wifi. Každý smartfón má dnes už v sebe zabudovaný wifi modul, vďaka ktorému vie pomocou wifi komunikovať s internetom. Wifi slúži najmä na prenos veľkého objemu dát na malé vzdialenosti. Wifi pracuje najmä na dvoch rôznych frekvenciách, a to 2,4 GHz a 5 GHz. 2,4 GHz signál má veľký dosah, ale menšiu rýchlosť. Signál o sile 5 GHz má zasa oproti signálu o sile 2,4 GHz menší dosah, ale rýchlosť prenosu dát je omnoho vyššia.
- **Sigfox** - Technológia Sigfox patrí do rodiny Low Power Wide Area Network v skratke LPWAN, čo je rodina technológií, ktorá obsahuje zariadenia, ktoré nepotrebujú veľkú energiu na svoju prevádzku a pritom dokážu pokryť veľkú oblasť svojim signálom, a to až niekoľko desiatok kilometrov. Rýchlosť prenášaných dát je však malá. Sigfox využíva moduláciu Differential Binary Phase-Shift Keying, v skratke D-BPSK, kde správa má šírku 100 Hz a rýchlosť jej odosielania pre Európu je 100 bps a pre Ameriku 600bps. Frekvenčné spektrum je pre Európu štandardizované na 868 MHz a 915 MHz pre Ameriku. Výhody použitia D-BPSK spočívajú v tom, že prináša vysokú účinnosť v prístupe k spektrálnemu médiu a je ľahko implementovateľná. Nízka bitová rýchlosť umožňuje použitie lacných komponentov v časti vysielača [14].
- **NB-IoT** - je odvodené z anglického slova Narrowband, čo v preklade znamená úzkopásmový. NB-IoT rieši požiadavky obrovského množstva zariadení s nízkou priepustnosťou, nízkou spotrebou energie, vylepšeným pokrytím v interiéri a optimalizovanou sieťovou architektúrou. Poskytovatelia mobilných sietí považujú NB-IoT za kľúčovú technológiu, pretože im umožňuje využiť licencované spektrum tejto technológie. Toto licencované spektrum pre NB-IoT je definované pre šírku kanálu 200 kHz pre uplink a downlink, čo umožňuje poskytovateľom mobilných sietí optimalizovať ich spektrum s množstvom možností nasadenia pre GSM (Global System for Mobile Communications), WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) a LTE (Long-Term Evolution) spektrum. NB-IoT pracuje v móde frequency-division duplexing v skratke FDD, s maximálnym nahrávaním dát 60 kbps a sťahovaním 30 kbps. NB-IoT je definovaný linkou o veľkosti 164 dB. V porovnaní s GPRS (General Packet Radio Service), ktorý používajú mnohé služby typu stroj-stroj, má linku o veľkosti 144 dB. Tento rozdiel o 20 dB je najmä v tom, že by sa mala zvýšiť možnosť prenikania signálu cez steny v budovách, pivniciach a zároveň splniť požiadavky na výdrž batérie [13].
- **Zigbee** - je otvorený štandard používaný pre malý prenos dát s veľmi nízkou spotrebou energie. V teórii sa dajú zariadenia Zigbee používať spoločne aj napriek tomu, že sú od rôznych výrobcov. V praxi sa to však moc



neuplatňuje, pretože Zigbee produkty sú rozširované a upravované o rôzne funkcie rôznymi predajcami, a tak nastávajú konflikty a nedajú sa tieto zariadenia spolu kombinovať. Zigbee používa sieťový protokol mesh, ktorý umožňuje takzvaný self-healing, čo znamená, že protokol sa dokáže vysporiadať s rôznymi zlyhaniami, napríklad so zlyhaním pri odosielaní správy. Zigbee je založený na špecifikácii 802.15 asociácie Institute of Electrical and Electronics Engineers v skratke IEEE. Zigbee slúži na kontrolu sietí senzorov pre štandard IEEE 802.15.4. Zigbee operuje na frekvenciách o hodnotách 2,4 Ghz, 900 MHz a 868 MHz. Existuje niekoľko špecifikácií Zigbee, ako napríklad Zigbee PRO, Zigbee RF4CE a Zigbee IP. Zigbee definuje tri typy uzlov, a to koordinátori, smerovače a koncové zariadenia. Úlohou koordinátora je uchovať informácie o sieti vrátane bezpečnostných kľúčov, smerovače sa zasa starajú o smerovanie dát v sieti. Koncové zariadenia sú hlavne zariadenia s nízkou spotrebou častokrát napájané len z batérií a komunikovať môžu iba s koordinátorom, alebo smerovačom. Zigbee aliancia pracuje na zjednodušení integrácie bezdrôtových zariadení, aby umožnila výrobcom bezdrôtových zariadení zavádzať cenovo výhodnejšie a energeticky efektívnejšie produkty [15].

- **LoRa** - je rádio frekvenčná modulácia pre nízko energetické zariadenia pracujúce v širokopásmovej sieti LPWAN. Názov LoRa (Long Range) je spojený s extrémne veľkým dosahom, ktorý táto technológia umožňuje. LoRa má väčšinou dosah päť kilometrov v metských oblastiach a v otvorených oblastiach je dosah signálu až pätnásť, niekedy aj viac kilometrov. Kľúčové vlastnosti LoRa sú najmä veľmi nízke požiadavky na energetickú spotrebu, čo umožňuje používanie zariadení, ktoré môžu byť napájané aj pomocou batérií a častokrát tieto zariadenia sú stavané tak, že vydržia byť v prevádzke kludne aj 10 rokov, a to všetko pri napájaní z batérie, bez potreby dobíjania. K technológii LoRa patrí aj LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). Tento protokol využíva hviezdicovú topológiu, ktorá umožňuje aplikáciám používať komunikáciu na veľké vzdialenosti, poprípade hĺbkovú komunikáciu medzi veľkým počtom zariadení, ktoré majú nízke nároky na energiu a zbierajú veľké množstvo dát. Veľká výdrž batérie je podporovaná tým, že vysielacie dáta sú malé, vysielajú sa iba po krátku dobu, častokrát niekoľko krát za deň. LoRaWAN môže podporovať milióny zariadení, ktoré dokážu odosielať správy, ale počet týchto zariadení je obmedzený počtom brán, ktoré sú v sieti inštalované. Jedna osem kanálová brána môže posielat až jeden a pol milióna správ za dvadsaťštyri hodín. Ak by každé zariadenie pripojené na bránu posielalo správu každú hodinu, brána môže podporovať až šesťdesiat tisíc zariadení. Na vytvorenie LoRaWAN siete je potrebné veľmi málo brán v porovnaní s veľkým množstvom koncových zariadení, ktoré môžu byť v tejto sieti inštalované a na základe

toho je takáto sieť cenovo veľmi výhodná. Taktiež vysielacie, ktoré pracujú na LoRa rádio frekvenčnej modulácii sú lacné. LoRa ponúka kompromis medzi silou signálu a dátovým prenosom. LoRa operuje vo fixnej šírke pásma a to 125 KHz pre posielanie a 500 KHz pre sťahovanie dát. LoRa navyše využíva ortogonálne faktory šírenia, ktoré umožňujú šetriť energiu batérie a tým zvýšiť jej výdrž, a to pomocou adaptívnych optimalizácií úrovni výkonu, a rýchlosti prenosu dát jednotlivých koncových uzlov. Napríklad koncové zariadenie, ktoré je umiestnené blízko brány, bude mať nastavenú silu vysielacieho signálu na menšiu hodnotu ako zariadenie, ktoré bude vysielat na niekoľko kilometrov, a tak bude podstatne ušetrená energia, ktorá je potrebná na prenos [16]. Hlavný rozdiel teda medzi technológiou LoRa a protokolom LoRaWAN je v tom, že LoRa je technológia pre prepojenie dvoch zariadení, zatiaľ čo pomocou LoRaWAN sa na jednu bránu dokáže pripojiť viacero zariadení, a tak tvoria sieť.

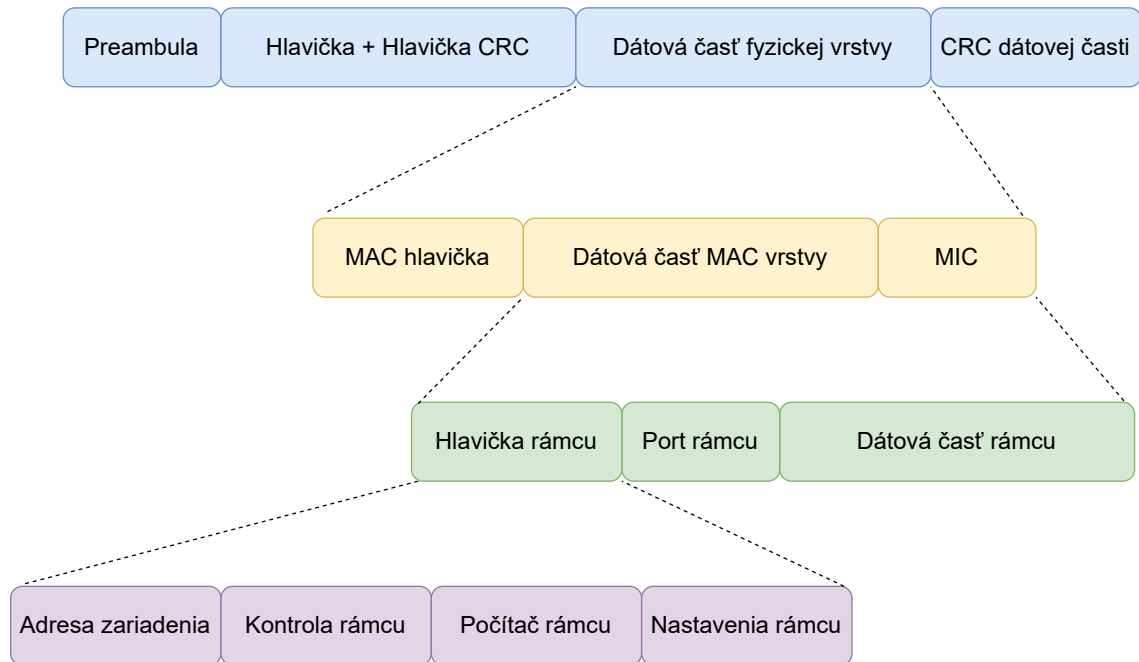


Obr. 2.5: Prehľad technológií v závislosti na ich spotrebe, rýchlosti a dosahu, prevzaté z [19], upravené

## 2.8 Štruktúra LoRa správy

Architektúru LoRa správy je možné vidieť na obrázku 2.6 a je rozvrstvená do troch vrstiev a to [31]:

- Fyzická vrstva,
- Vrstva adresy riadenia prístupu k médiám, v skratke (MAC),
- Aplikačná vrstva.



Obr. 2.6: Štruktúra LoRa správy, prevzaté z [31], upravené

### 2.8.1 Fyzická vrstva LoRa správy

Rámec fyzickej vrstvy sa rozdeľuje na štyri časti. Na začiatku je preambula, ktorá definuje synchronizáciu a schému modulácie paketov. Trvanie preambuly je 12.25 terasekundy. Za preambulou nasleduje hlavička a hlavička CRC. Tu sa nachádzajú informácie, ako je dĺžka dátového poľa a taktiež či sa v správe nachádzajú CRC dáta. Ďalej sa tu nachádza CRC dátovej časti a samotná dátová časť fyzickej vrstvy, ktorá obsahuje rámec MAC [31].

### 2.8.2 MAC vrstva LoRa správy

Rámec spracovávaný v tejto vrstve sa skladá z MAC hlavičky, MAC dát a kódu integrity správy v skratke MIC. Hlavička obsahuje typ správy a verziu protokolu.

Typ správy môžu byť buď dáta alebo sa môže tiež jednať o rámec riadenia. Pri procese aktivácie spojenia môžu byť MAC dáta nahradené aj žiadosťami o pripojenie alebo odpoveďami na tieto žiadosti. Pre výpočet hodnoty MIC sa používa MAC hlavička a MAC dáta. Pomocou toho sa vypočíta kľúč sieťovej relácie označovaný aj ako *NwkSKey*. Tento kľúč zabezpečuje overenie koncového uzla a zabraňuje falšovaniu správ [31].

### 2.8.3 Aplikačná vrstva LoRa správy

Konkrétne dáta správy, teda MAC dáta sú spracovávané v aplikačnej vrstve, ktorá sa skladá z hlavičky rámcu, port rámcu a konkrétnych dát rámcu. Hlavička rámcu sa skladá z adresy zariadenia, kontroly rámcu, počítateľ rámcu, nastavenie rámcu. Port obsahuje údaje na základe toho o akú aplikáciu sa jedná. Dáta rámcu sú chránené proti zneužitiu pomocou kľúča aplikačnej relácie označovaného aj ako *AppSKey*. Daný kľúč je tvorený pomocou šifrovacieho algoritmu založeného na princípe pokročilého štandardu šifrovania 128 v skratke AES 128 [31].

## 2.9 Protokol IEC 62056

International Electro technical Commision v skratke IEC, je celosvetová organizácia zahŕňajúca všetky národné elektrotechnické komisie. IEC 62056 je súbor noriem pre meranie elektriny. Normy IEC 62056 sú medzinárodnými štandardmi špecifikácie DLMS/COSEM. Cieľom IEC je podporovať medzinárodnú kooperáciu týkajúcu sa všetkých otázok ohľadom normalizácie v elektrickej a elektronickej oblasti [17].

IEC 62056 popisuje špecifikácie hardvéru a protokolu pre lokálne vymieňanie dát merača. Medzi časti IEC 620656 protokolu patria nasledovné [17]:

- IEC62056-53,
- IEC62056-62,
- IEC62056-61,
- IEC62056-21,
- IEC62056-46.

### 2.9.1 Protokol IEC 62056-21

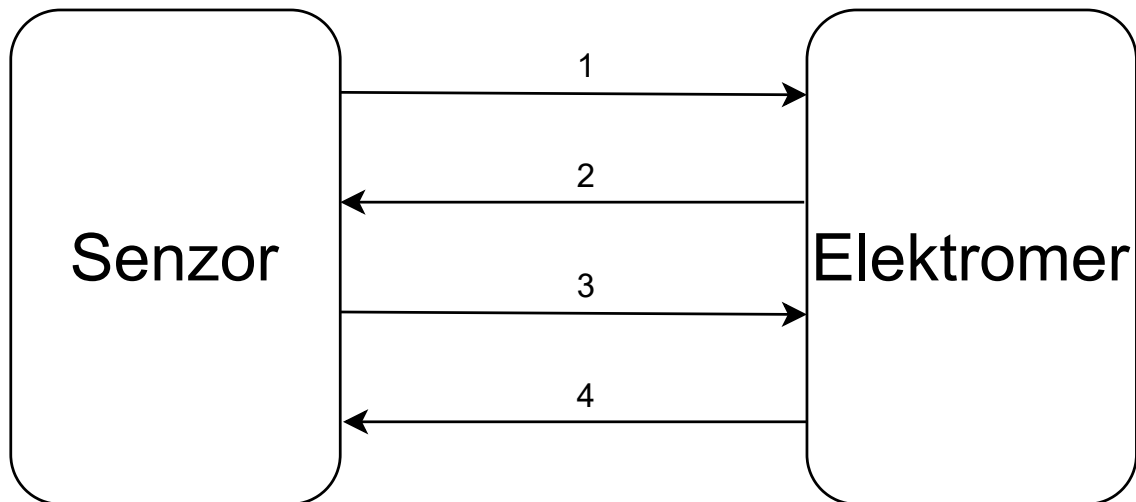
IEC 62056-21 je časť IEC 62056. V takýchto zariadeniach patriacich k tejto špecifikácii je jednotka zvaná hand-held unit v skratke HHU alebo jednotka s ekvivalentnými vlastnosťami pripojená k tarifnému zariadeniu, alebo skupine zariadení. Takéto spojenie môže byť trvalé alebo rozpojiteľné, využívajúce optické, alebo elektronické spojky. Elektrické rozhranie je používané pre stále spojenie alebo, keď je potrebné

čítať viac ako jedno tarifné zariadenie. Optická spojka by mala byť jednoducho odpojiteľná, aby bolo možné získať dáta pomocou HHU. Tento protokol umožňuje čítanie a programovanie tarifných zariadení. Tento protokol je najvhodnejší pre použitie na meranie v prostredí elektrickej energie. Zatiaľ čo protokol je podrobne definovaný, jeho použitie a aplikácia sa už ponechávajú na užívateľovi. Táto norma je založená na referenčnom modeli pre komunikáciu v otvorených systémoch [18].

Protokol ponúka niekoľko režimov implementácie. Jednotka HHU alebo ekvivalentná jednotka sa chová ako nadriadená, zatiaľ čo tarifné zariadenie je tejto jednotke podriadené, a to v režimoch A až D. V protokolovom režime E funguje HHU, ako klient a tarifné zariadenie sa chová ako server [18].

Pomocou tohto protokolu je teda možné programovať senzory, ktoré následne dokážu odčítavať dáta z elektromerov a posilať ich na ďalšie spracovanie.

Znázornenie priebehu komunikácie medzi senzorom a elektromerom pomocou protokolu IEC 62056-21 je možné vidieť na obrázku 2.7.



Obr. 2.7: Správy protokolu IEC 62056-21, prevzaté z [35], upravené

1. Request message - správa pomocou ktorej senzor zaháji komunikáciu zašle žiadosť o dáta.
2. Identification message - správa obsahuje informácie ako je typ zariadenia, verzia zariadenia a mnohé iné základné informácie.
3. Acknowledgment - v preklade potvrdenie. Senzor posila na elektromer potvrdenie že identifikácia prebehla úspešne, môže pokračovať v komunikácii a je pripravený na prijímanie dát.
4. Data message - v posledom kroku elektromer odosiela dáta pomocou IEC 62056-21 na senzor. Dáta obsahujú napríklad aktuálnu spotrebu, celkovú spotrebu v kWh.

## 2.10 MQTT protokol

MQTT protokol je protokol s otvorenými správami, ktorý poskytuje jednoduchý spôsob distribúcie telemetrických informácií. Tento protokol je protokol s nízkou réžiou, aby vyhovoval obmedzeniam šírky pásma a CPU. Je navrhnutý pre zastavané prostredie, aby dokázal jeho signál prekonať viaceré prekážky ktoré v zastavaných oblastiach narazí [34].

Tento protokol je dnes používaný v IoT, slúži na prepojenie inteligentných zariadení a je open source, takže je voľne dostupný pre každého [34].

MQTT je zameraný na maximalizáciu dostupnej šírky pásma. Komunikačný model MQTT publish/subscribe (v slovenčine teda zverejniť/predplatiť) je alternatívou k tradičnej architektúre klient server, ktorá komunikuje priamo s koncovým bodom. Klient, ktorý posiela správu, nie je v priamom spojení s klientom, ktorý správu prijíma a tak spojenie medzi nimi je zabezpečené pomocou tretích strán [34].

V MQTT sa teda klienti rozdeľujú na vydávateľov a takzvaných predpratliteľov. Vydávateľ publikuje správy a naopak predplatiť sa prihlási k odberu týchto správ. Obe funkcie môžu byť implementované v rovnakom klientovi MQTT. Ak chce zariadenie alebo klient odoslať údaje na server, nazýva sa táto akcia zverejnenie. V opačnom prípade ak chce klient získať nejaké údaje z takéhoto serveru sa táto akcia nazýva predplatné V rámci modelu publish/subscribe sa viacerí klienti môžu pripojiť na tretiu stranu kde sa nachádzajú údaje a odberať iba témy, ktoré ich zaujímajú [34].

## 2.11 UART

Univerzálny asynchrónny prijímač-vysielač, v skratke UART patrí medzi jedny z najpoužívanejších protokolov na komunikáciu medzi zariadeniami. Ak je správne nakonfigurovaný a následne implementovaný, dokáže UART pracovať s rôznymi typmi sériových protokolov, ktoré zabezpečujú vysielenie a prijímanie sériových dát. Komunikácia pri sériových protokoloch funguje pomocou prenášania jednotlivých bitov, a to pomocou jednej linky. To znamená, že jedna linka slúži iba pre jednosmernú komunikáciu. Aby bola dosiahnutá obojsmerná komunikácia, je potrebné, aby boli použité dve takéto linky. UART je taktiež asynchrónny protokol, čo znamená, že neexistuje žiadny hodinový signál pre to, aby boli jednotlivé bity synchronizované. Vstupné bity prúdia teda priamo z vysielačieho zariadenia k prijímaciemu koncu, a to ako prúd bitov, teda bit za bitom [27].

Mikrokontroléry, počítače či vstavané systémy využívajú UART väčšinou ako formu hardvérového komunikačného protokolu medzi zariadeniami [27].

Pomocou tohto protokolu dokáže napríklad mikroprocesor odosielať dáta na bránu a prijímať dáta napríklad zo senzora.

Každý UART sa skladá z dvoch základných signálov, ktoré sú:

- Prijímač označovaný ako *RX*,
- Vysielač označovaný ako *TX*.

Ako už názov naznačuje, účelom týchto signálov (liniek), je vysielat a prijímať sériové dáta na sériovú komunikáciu.

Komunikácia UART prebieha tak, že vysielač je pripojený k riadiacej dátovej zbernici. Táto zbernica posieľa dáta, ktoré sú v paralelnej forme. Zo zbernice sú tieto dáta ďalej prenášané po prenosovej linke sériovo, takže bit po bite až na prijímač. Ten následne prevedie prijaté sériové dáta opäť na paralelné, ktoré dokáže spracovať prijímacie zariadenie [27].

Z vyššie popísaného priebehu komunikácie UART vyplýva, že Sériová linka spája vysielač vysielačieho zariadenia s prijímačom prijímacieho zariadenia a naopak. V prípade, že by nebolo toto prepojenie spravené aj v opačnom smere, bude možná komunikácia iba v jednom smere.

Na to, aby bola UART komunikácia implementovaná správne je potrebné nielen nastaviť konkrétne piny pre vysielač a prijímač, ale taktiež aj prenosovú rýchlosť. Táto prenosová rýchlosť musí byť nastavená rovnako, a to ako v prijímacom, tak aj vo vysielačom zariadení. Prenosová rýchlosť je hodnota, ktorá určuje maximálny počet bitov za sekundu, ktoré sa majú po linke preniesť [27].

## 2.12 LoRa v Českej Republike

LoRa a LoRaWAN sa v českej republike tešia čoraz väčšej popularite. Z narastajúcim počtom zariadení Internetu vecí sa taktiež rozširuje pokrytie sieťou LoRa. Budovanie LoRa siete v Českej republike spadá pod správu Českých Rádiokomunikácií v skratke CRA.

České Rádiokomunikácie na začiatku roka 2017 pokrývali svojou sieťou 60,2 percenta obyvateľstva Českej republiky. LoRa bola vybraná Českými Rádiokomunikáciami ako technológia pre budovanie siete, ktorá bude slúžiť zariadeniam Internetu vecí. LoRa v Českej republike pracuje na frekvencii 868 megahertzov, čo je frekvencia určená pre Európu [28].

LoRa sieť sa v Českej republike stále zväčšuje. Nedávno o tom svedčí aj fakt, že v roku 2021 firma České Rádiokomunikácie uzavrela rámcovú zmluvu na dobu päť rokov o spolupráci so spoločnosťou Vantage Towers, ktorá sa zaoberá infraštruktúrami sietí. České rádiokomunikácie budú tak môcť rozmiestniť až 500 vysielačov na základné stanice spoločnosti Vantage Towers [29].

Už v roku 2015, čo je rovnaký rok, ako vznikla aj LoRa, Česká republika začala inštalovať prvé LoRa vysieláče, a tak začala budovať svoju sieť. V súčasnosti vďaka vysokému pokrytiu patrí Česká republika medzi popredné krajiny s možnosťou implementácie IoT zariadení do siete.



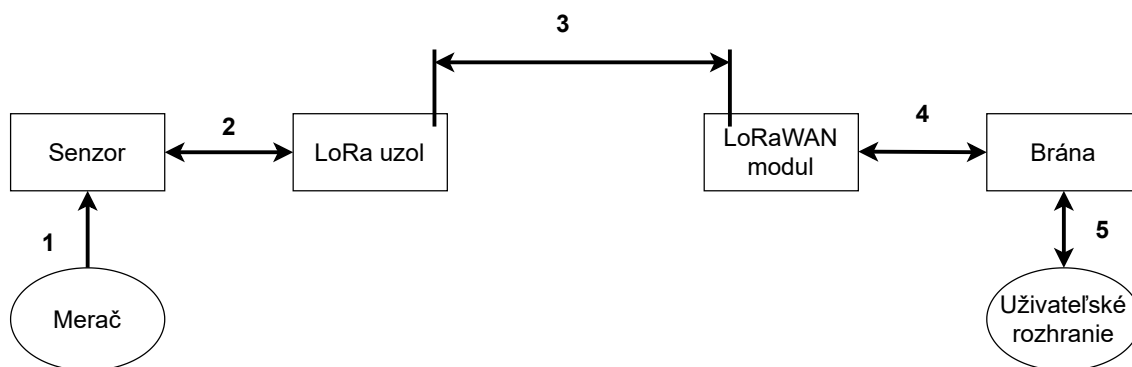
### 3 Systém pre vzdialené odčítanie

Systém pre vzdialené odčítanie spotreby plynu, elektriny a vody je systém, pomocou ktorého si spotrebiteľ bude môcť na diaľku odčítať plyn, elektrinu, vodu a teplo. Skladá sa zo základných častí, ktoré sú k takémuto odčítaniu potrebné. Systém teda pozostáva zo senzoru pre odčítanie hodnôt meračov, z uzlu, ktorý odosiela dáta na bránu, samotná brána ku ktorej je pripojený LoRa modul a následne užívateľské rozhranie, kde sa budú všetky tieto dáta zobrazovať.

#### 3.1 Štruktúra systému

Na to, aby bolo možné systém zostrojiť, bolo potrebné spraviť návrh celého systému. Do úvahy sa muselo brať viacero faktorov na základe, ktorých sa štruktúra systému formovala. Bolo potrebné zvoliť takú štruktúru systému, aby bol systém schopný prenášať dáta od senzoru, alebo zariadenia určeného na odčítanie stavov, ktorým sú snímané hodnoty, až po bránu, ktorou sú všetky tieto dáta zbierané. Na základe zvoleného protokolu, ktorým je LoRa bolo potrebné zvoliť aj dané súčiastky. Všetky tieto ďalšie časti systému sú popísané v nasledujúcich kapitolách. Na to, aby teda systém pre vzdialené odčítanie spotreby plynu, elektriny a vody fungoval, bolo potrebné zvoliť správnu štruktúru systému. Tento systém, pre odčítanie merača, bude pozostávať z niekoľkých častí vid. Obr. 3.1:

- senzor,
- LoRa uzol,
- LoRa modul,
- brána,
- užívateľské rozhranie.



Obr. 3.1: Schéma zapojenia systému pre vzdialené odčítanie spotreby plynu, elektriny a vody.

1. Odčítavanie aktuálnych stavov z meracieho zariadenia pomocou senzoru.
2. Senzor pošle dáta na uzol podporujúci LoRa pomocou UART výstupu.
3. LoRa uzol pošle bezdrôtovo pomocou technológie LoRa dáta na LoRa modul.
4. LoRa modul dáta spracuje a odošle na bránu, ktorou je v danom systéme Raspberry Pi.
5. Bána pošle dáta na užívateľské rozhranie, kde si tieto dáta môže daný spotrebitel zobrazit.

## 3.2 Použité technológie

Pre účel odčítania meračov bolo možné použiť rôzne technológie. Tieto technológie by sa dali rozdelit na dve hlavné kategórie, a to drôtové a bezdrôtové.

Ako drôtovú technológiu by bolo možné využit napríklad technológia Ethernet. Táto technológia by však bola nepraktická z viacero dôvodov. Ako hlavný dôvod sa dá uviesť práve obmedzenie prenosu dát po kábli. V tomto prípade má spotrebitel síce možnosť odčítat si všetky hodnoty meračov dialkovo, ale zobrazovanie dát je viazané na dĺžku kábla, a tak je teda veľmi často toto miesto stolný počítač alebo notebook. Tento spôsob je v dnešnej dobe dost zastaralý a nepraktický, a preto sa skôr ponúka možnosť bezdrôtového prenosu dát.

Druhá možnosť v prípade dialkového odčítania je teda bezdrôtová. V prípade bezdrôtovej komunikácie sa dá použiť množstvo technológií. Technológie, ktoré sa dajú pre takýto účel použiť sú napríklad Wifi, Bluetooth, LoRa, Zigbee.

Technológia Wifi je pre prenos dát použiteľná, ale nieje úplne ideálna. Z vymenovaných technológií patrí k tej, pomocou ktorej systém dokáže preniesť najväčší objem dát, to však v prípade navrhovaného systému nie je potrebné. Jej nevýhoda pri danom použití spočíva najmä v jej vysokej spotrebe energie. Toto je hlavný dôvod, prečo je táto technológia nevhodná. Ďalšia jej nevýhoda je v jej dosahu, ktorý je celkom malý. Na základe týchto skutočností bola technológia Wifi ako možnosť prenosu dát vylúčená.

V prípade technológii bluetooth je výhoda nízkej spotreby. Veľkosť prenesených dát je taktiež dostačujúca. Jej najväčšiu nevýhodou je dosah signálu ktorý je veľmi malý. Hlavným dôvodom prečo teda technológia bluetooth nie je pre daný systém vhodná spočíva v jej malom dosahu, a preto sa nad jej implementáciou prestalo uvažovať.

Zigbee technológia je veľmi podobná technológii LoRa. Zigbee môže pracovať na frekvencii až 2450 MHz, čo znamená, že môže posielat dáta o rýchlosti až 250 kbps. Spotreba energie pri prevádzke Zigbee zariadení je nízka. Dosah signálu je až do 100 metrov. Táto technológia je vhodná pre použitie dialkového odčítania meračov.

LoRa technológia nedokáže pracovať na frekvencii vyššej ako 928 MHz, čo znamená, že jej prenosová rýchlosť dát je menšia, ako pri použití Zigbee. Jej energetická náročnosť je však menšia v porovnaní so Zigbee. Dosah signálu v prípade LoRa je omnoho lepší ako v prípade Zigbee, a to až do 5 kilometrov v zastavaných oblastiach, a až do 15 kilometrov v otvorených oblastiach. Keďže pre odčítanie dát z meračov, nie je potreba prenos veľkého objemu dát, je potrebné dosiahnuť čo najväčšiu úsporu energie a dosah a toto dokonale splňa technológia LoRa.

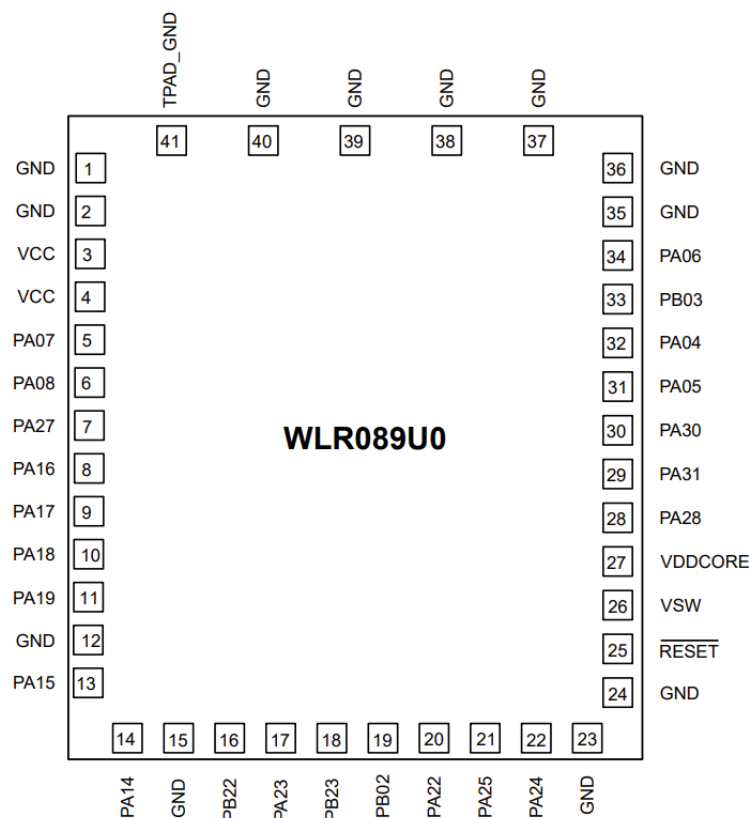
### 3.3 LoRa modul

Pre prenos prijímanie signálu je potrebné mať modul, ktorý takýto signál spracuje. Modul bol vybraný na základe niekoľkých podmienok, ktoré sú pre implementáciu vhodné. Spotreba modulu musí byť veľmi malá, a to hlavne z toho dôvodu, aby sa dal modul používať niekoľko rokov bez potreby dobíjania. Ďalšiu takouto podmienkou bolo, aby modul podporoval technológiu LoRa. Tento modul taktiež umožní spracovanie dát z rôznych zariadení určených na odčítanie stavov meračov, ako je napríklad optický senzor IEC-62056-21, ale napríklad aj pripojenie Hallovej sondy, pomocou ktorej je možné odčítať stav plynu. V neposlednom rade sa uvažovalo aj nad cenou celej sústavy, preto bolo potrebné vybrať cenovo dostupné súčiastky.

Takéto podmienky splňoval práve modul WLR089U0 so zabudovaným procesorom ATSAMR34J18. Tento modul má veľmi nízku spotrebu energie, podporuje LoRa a je cenovo dostupný. Momentálne sa na trhu dá tiež kúpiť aj WLR089 XPLAINED PRO EVALUATION KIT. Tento vývojový kit umožňuje jednoduchý prístup k modulu WLR089U0. Taktiež obsahuje zabudovaný debugger. Z dôvodu vysokej ceny však bolo rozhodnuté, že sa navrhne a zostrojí doska plošných spojov, v skratke DPS, založená na predlohe zapojenia tohto kitu. To podstatne zníži cenu a navyše bude umožnené zmeniť rozloženie a rozmery navrhovanej dosky. Tento faktor bol pri práci využitý a na DPS neboli namontované nepotrebné súčiastky, a naopak pridali sa niektoré súčiastky ako napríklad prepínač DIP, či nabíjačka. Schémy navrhovanej dosky je možné vidieť na obrázkoch viď. Obr. A.1 a Obr. A.2.

#### 3.3.1 Návrh DPS pre modul

Ako už bolo spomenuté, ako predloha pre návrh modulu bol zvolený kit WLR089 XPLAINED PRO EVALUATION KIT. Výrobcom tohto kitu je Microchip. Microchip je výrobca ktorý konštruuje rôzne mikrokontroléry, mikroprocesory a rôzne iné produkty. Základom kitu WLR089 XPLAINED PRO EVALUATION KIT je procesor ATSAMR34J18. Tento procesor je umiestnený v module WLR089U0.



Obr. 3.2: Diagram pinových výstupov modulu WLR089U0, prevzaté z [30], upravené

Daný modul tak umožňuje jednoduchšie napojenie na rôzne DPS a jeho rozloženie pin výstupov umožňuje aj použitie flex pinov. Jednotlivé rozloženie pinov je možné vidieť na obrázku 3.2

Na doske sa vyskytujú nasledujúce súčiastky:

- **SMD rezistory** - skratka SMD znamená v slovenčine Povrchovo montované súčiastky. Na návrhu modulu je pripravených pre namontovanie osemnásť SMD rezistorov s označením *R1* až *R18* s hodnotami od 39 ohmov až po 1 megaohm.
- **SMD kapacitory** - V návrhu je celkovo zahrnutých dvanásť SMD kapacitorov. Tieto kapacitory nesú označenie *C1* až *C12* a majú hodnoty od 4,7 pikofaradov až 100 nanofaradov.
- **SMD LED** - po slovensky svetlo vydávajúca dioda v skratke LED je v návrhu použitá tri krát. Všetky diódy sú zelené a nesú označenie *LED1* až *LED3*. Dióda *LED3* svieti podľa toho aký výstup poskytuje nabíjačka MCP73831T-2DCI/OT. Svieti teda podľa toho či je pripojená batéria, alebo je DPS napájaná cez mini USB. Dióda *LED1* je pripojená na na pin PA19 a dióda *LED2* zasa na pin PA18 modulu WLR089U0. Tieto LED je možné nakonfigurovať na rôzne funkcie. Napríklad, že budú svietiť v momente ak bude LoRa aktívna,

alebo keď budú odosielané dáta tak bude dióda napríklad blikať.

- **SMD induktory** - súčasťou DPS sú aj dva induktory označené *L1* a *L2*. Induktor *L1* má hodnotu 10 mikro Henry a induktor *L2* má hodnotu 1 mikro Henry.
- **Flex piny** - Súčasťou dosky sú aj takzvané flexpiny. Tieto piny zabezpečujú, že sa medzi ne môže jednoducho vložiť a vybrať modul WLR089U0 bez potreby pevného upevnenia pomocou spájkovačky a cínu. Toto riešenie teda zabezpečuje flexibilitu a v prípade potreby sa dá jednoducho vymeniť modul za modul.
- **Tlačítka** - na doske sa taktiež nachádzajú 2 tlačítka, s názvami *user* a *reset*. Tlačítko *reset* je privedené na pin RESET, čo umožňuje reset modulu WLR089U0 a tlačítko *user* je privedené na pin PA28. Toto tlačítko je možné naprogramovať na rôzne funkcie, ako je napríklad to, že v prípade stlačenia tlačítka manuálne sa automaticky odošlú všetky dáta na bránu.
- **Mini USB** - Mini USB v návrhu dosky zabezpečuje napájanie a tiež je pripojené na piny PA25 a PA26 modulu WLR089U0 čo umožňuje ďalšiu komunikáciu s modulom pomocou rozhrania mini USB. Súčiastka mini USB nesie označenie UX60SC-MB-5S8.
- **Schottkyho dióda** - tieto diódy na DPS slúžia na riadenie napájania a teda či bude sústava napájaná pomocou mini USB alebo pomocou batérií. Na DPS sa nachádzajú dve takéto diódy a to dióda s označením *D1* a *D2*.
- **NUP2114** - v obvode slúži NUP2114 ako ochrana pred preťažením elektronických zariadení nachádzajúcich sa na DPS.
- **Pamäť** - Nachádza sa tu tiež pamäť AT25DF041B-SSH-N-T. Je to sériová flash pamäť určená pre systémy, kde je potrebné rýchlo ukladať a čítať dáta.
- **Nabíjačka** - na DPS sa nachádza nabíjačka MCP73831T-2DCI/OT. Táto súčiastka zabezpečuje, že je možné nabíjať Lithium-ionové v skratke Li-Ion, alebo Lithium-polymérové batérie v skratke Li-Pol.
- **Časovač** - funkciu časovaču pre DPS zabezpečuje súčiastka TPL5111. Tento časovač môže byť naprogramovaný s funkciou oneskorenia. Funkcia je taká, že tento časovač, po určité stanovenú dobu je vypnutý, po uplynutí danej doby časovač automaticky zapne napájanie a prepustí prúd ďalej do dosky. Časovač je pripojený na pin PA27 modulu WLR089U0 pomocou ktorého je možné tento časovač ovládať. Časovač je ďalej pripojený na DualIn-line package spínač, v skratke DIP spínač. K tomu všetkému je časovač pripojený ešte aj na regulátor napätia.

- **Regulátor napätia** - pre regulovanie napätia v obvode je použitá súčiastka MAX77827AEFD+T. Táto súčiastka zabezpečuje že napätie privedené na jej vstup prevedie na výstupné napätie v rozsahu 2,3 až 5,3 Voltu. Modul WLR089U0 potrebuje pre napájanie 3,3 Voltu a tak je zvolená konfigurácia s výstupom 3,3 Voltu.
- **Spínač DIP** - Na DPS sa taktiež nachádza aj spínač DIP, ktorý slúži na manuálne nastavenie oneskorenia spínania prúdu prúdiaceho ďalej do obvodu.
- **THT jumper** - Trough Hole Technology Jumper v skratke THT jumper. Tento jumper je pripojený na en pin časovača a taktiež na en (enable) pin regulátora napätia. Tento pin zabezpečuje povolenie alebo zakázanie vstupu prúdu do ďalších častí DPS.
- **Modul WLR089U0** - V neposlednom rade je potrebné spomenúť hlavnú súčasť DPS, a to konkrétne modul WLR089U0. K tomuto modulu sú pripojené pin hlavičky s označením *JP1*, *JP2* a *SV1*. Na *JP1* sa nachádzajú potrebné spoje, ktoré vedú na konkrétne piny modulu. Hlavičky *JP2* a *SV1* slúžia na pripojenie k debuggeru, alebo na pripojenie pomocou UART k Raspberry Pi, alebo k zariadeniu na odčítanie spotreby.

### 3.3.2 Napájanie DPS modulu

Napájanie DPS je jednou zo základných faktorov, ktoré bolo potrebné zohľadniť pri výbere a návrhu dosky. DPS môže byť napájaná z dvoch zdrojov. Jeden zdroj je pomocou mini USB konektoru. Druhý zdroj, pomocou ktorého je možné systém napájať sú batérie. V návrhu sa počíta s tromi tužkovými batériami. Keďže DPS môže byť napájaná z dvoch zdrojov, ktoré sú vyššie popísané, tak napájanie môže byť realizované oba pomocou jedného zdroja, teda pomocou batérie alebo miniUSB, alebo môžu byť k DPS doske pripojené oba zdroje. Riešenie, ako sa DPS vyrovná s dvoma pripojenými zdrojmi zároveň sa popisuje nižšie.

Ak je DPS napájaná pomocou mini USB konektoru, prúd prúdi do nabíjačky na vstup číslo štyri, ďalej tečie na spínač, kde je podľa stavu prepustené ďalej alebo nie. Ak je prúd prepustený, tečie ďalej do regulátora napätia, kde sa napätie z hodnoty 5 Voltov prevedie na napätie o hodnote 3,3 Voltu. Tento prúd je ďalej vpustený do ostatných častí dosky, kde sa nachádza aj modul WLR089U0, ktorý operuje práve pri napätí o tejto hodnote.

Druhou možnosťou ako môže byť DPS napájaná je pomocou troch tužkových batérií zapojených sériovo. Z batérií ide prúd priamo do spínača, kde sa podľa stavu v spínači určí, či prúd spínač prepustí alebo nie. Pokiaľ je spínač v stave prepustenia, prúd tečie ďalej až k regulátoru napätia, kde je napätie upravené na hodnotu 3,3 Voltu. Tento prúd je ďalej vpustený do ostatných častí dosky, kde sa nachádza aj

modul WLR089U0, ktorý operuje práve pri napätí o tejto hodnote.

Môže nastať situácia, kedy je k doske pripojené napájanie ako s mini USB konektorom tak aj z batérií. Pre tento účel sa v obvode nachádzajú Schottkyho diódy. Keďže dnešné tužkové batérie majú napätie zväčša 1,5 Voltu a ráta sa s tromi batériami zapojenými formou sériového zapojenia, výsledné napätie bude 4,5 Voltu. Naopak napätie, s ktorým sa počíta na vstupe mini USB konektoru je napätie o hodnote 5 Voltov. V prípade teda, že bude zapojené súčasne aj napájanie pomocou mini USB konektoru a aj napájanie pomocou batérií, riešenie DPS zaistí, že prúd prúdiaci z mini USB konektoru bude mať prednosť pred prúdom prúdiacim z batérií. To, že prúd prúdiaci z mini USB konektoru bude mať prednosť a batérie budú zároveň popri tomto scenári aj dobíjané pomocou nabíjačky zabezpečujú práve Schottkyho diódy, ktoré prepúšťajú napätie o väčšej hodnote. V prípade, že sa preruší napájanie pomocou mini USB konektoru, DPS bude automaticky napájaná pomocou batérií. Toto riešenie zabráni prípadnému nechcenému výpadku v prípade, ak sa nečakane preruší napájanie DPS pomocou mini USB.

DPS modulu je možné napájať nie len pomocou tužkových batérií, ale aj iných typov batérií, ako je napríklad Li-Ion batéria alebo takzvaná SAFT batéria. Každá typ batérie má svoje výhody aj nevýhody.

Napríklad SAFT batéria má veľmi veľkú výdrž, ktorá sa pohybuje v hodnotách niekoľko *Ah*. Voľba inštalácie je teda vhodná pre uzol, ktorý bude umiestnený v ťažko prístupných miestach. Takáto batéria je schopná dodávať energiu aj niekoľko rokov, a tak je potrebné k danému uzlu pristupovať iba raz za niekoľko rokov. Je potrebné mať na uzol viac priestoru, keďže batéria je objemnejšia.

V prípade použitia tužkových batérií je veľmi výhodná cena takýchto batérií. Ich výdrž nie je taká vysoká, ako v prípade použitia SAFT batérie, no napriek tomu sa pri troch tužkových batériách s kapacitou dokopy 7500 *mAh* predpokladá doba života asi 290 dní.

V neposlednom rade existuje možnosť pripojenia Li-Ion batérie. Pri inštalácii takejto batérie sa predpokladá, že v blízkosti bude taktiež možnosť zapojenia uzla do elektrickej siete pomocou mini USB. Ako už bolo spomínané Li-Ion batérie je možné nabíjať a tak v prípade ak na DPS bude namontovaná aj nabíjačka a uzol bude napájaný zo siete, tak sa takáto Li-Ion batéria bude dobíjať a po odpojení uzla zo siete, bude opäť využívaná energiu z dobitej Li-Ion batérie.

### 3.3.3 Spotreba energie

Veľmi dôležitým faktorom ktorý bolo potrebné v práci zohľadniť bola spotreba energie. Keďže zariadenie na čítanie stavov spolu s LoRa uzlom sa môže nachádzať na ťažko prístupných miestach, alebo miestach kde nie je možnosť napájania zo siete,

bolo potrebné uvažovať o module, ktorý by mal čo najmenšiu spotrebu energie. Takýto modul je práve WLR089U0, Aj napriek tomu, že tento modul má aj pri operatívnom režime veľmi malú spotrebu a to maximálne  $41.54 \mu A$ . Veľkosť meraného prúdu sa môže líšiť podľa nastavenia vysielačej a prijímacej antény, podľa módu mikrokontroléra a ďalších vecí ktoré je možné vyčítať z tabuľky 3.1.

Na základe tabuľky je potom možné dosadiť do vzorca hodnoty a získať tak teoretické údaje, koľko asi by mal daný modul vydržať vykonávať svoju činnosť, bez toho aby minul všetku energiu.

$$\text{životnosť} = \frac{\text{kapacita (mAh)}}{\text{spotreba (mA)}}$$

Ak by bolo uvažované napríklad o klasických troch tužkových batériách s kapacitou jednej batérie 2500 mAh a modul by bol v aktívnom, vysielačom móde so silou vysielača 15, tak by mohol byť modul na takéto batérie napájaný 7 dní 12 hodín a 32 minút. Toto je však iba teoretický výpočet. Ak by sa do výpočtu zahrnul faktor vybíjania batérie, ktorý je asi 20 percent, tak by sa práce schopnosť znížila na 6 dní a 26 minút. Tento problém by bolo možné vyriešiť vložení väčšej batérie, zariadenie by bolo tak veľké, a tak by bolo toto riešenie nepraktické.

Práve z tohto dôvodu bol na danú DPS zavedený časovač s hardvérovým oneskorením, nastaviteľným pomocou DIP prepínača. To umožňuje prerušiť prúd prúdiaci do modulu a tak ušetriť značnú časť energie. Ako je možné vidieť v tabuľke 3.1, modul WLR089U0 podporuje dva nízkoenergetické módy a to konkrétne pohotovostný a záložný. Ak by sa teda uvažovalo, že uzol bude v záložnom režime počas celej doby, v aktívnom režime by bol iba počas doby vysielačania, čo by bolo asi dve minúty, a hardvérové oneskorenie by bolo nastavené na jednu hodinu, uzol by v takomto prípade bol aktívny iba dve minúty každú hodinu. To podstatne predĺži životnosť napríklad už spomínaných tužkových batérií. Po dosadení do rovnice a pripočítaní vybíjania batérie o hodnotu 20 percent, je teoretický výsledok výdrže batérií napájajúcich LoRa uzol 180 dní a 11 hodín, čo je podstatné navýšenie oproti predchádzajúcej možnosti, kedy zariadenie neustále vysielačalo. Tento výsledok vyšiel pri voľbe, kedy je predpokladaný odober modulu v aktívnom režime  $41.54 \text{ mA}$ . Ak by bolo teda uvažované o možnosti zvolenia nižšej sily vysielača, bol by čas životnosti batérie predĺžený až na 291 dní a 20 hodín.

Keďže v systéme sa ráta s prenosom na kratšie vzdialenosti, bola by sila vysielača nastavená na hodnotu 7 dostatočujúca a tak by tužkové batérie o celkovej kapacite  $7500 \text{ mAh}$  teoreticky vydržali 291 dní. Ak by bolo potrebné túto výdrž navýšiť, stačilo by jednoducho pripojiť batériu s vyššou kapacitou a tak by zariadenie mohlo fungovať aj niekoľko rokov, bez potreby výmeny batérie.



Tab. 3.1: Hodnoty prúdu na module WLR089U0, prevzaté z [30], upravené

Mód	mód MCU	Parametre vysielča	Typicky nameraný prúd	Jednotka
Vysielací mód	Aktívny	Frekvencia = 868 MHz Sila vysielča = 15	41.54	mA
Vysielací mód	Aktívny	Frekvencia = 868 MHz Sila vysielča = 7	25.68	mA
Prijímací mód	Aktívny	Frekvencia 868MHz Sila prijímača = 125 kHz	12.68	mA
Prijímací mód	Aktívny	Frekvencia 868MHz Sila prijímača = 250 kHz	13.36	mA
Nízko energetický mód	Pohotovostný	Spánok	1.608	μA
Nízko energetický mód	Záložný	Spánok	642	nA

### 3.3.4 Časovač

Na to, aby modul nemusel byť stále v operatívnom stave sa tu nachádza časovač. Ako už bolo spomenuté tento časovač je priamo pripojený na pin PA27 modulu WLR089U0, čo umožňuje pomocou softvéru prerušiť napájanie všetkých súčiastok v DPS, ktoré sa nachádzajú za týmto časovačom. Časovač však taktiež poskytuje možnosť delay alebo slovensky povedané oneskorenie. Na DPS je toto oneskorenie riešené pomocou spínača DIP, ku ktorému sú pripojené rezistory o určitých hodnotách vid. Tab. 3.2, na základe, ktorých je následne tvorené oneskorenie. To, že sa na DPS nachádza spínač DIP, na ktorom sa nachádzajú až štyri spínače umožňuje hardvérové kombinovanie rôznych kombinácií oneskorení.

Hlavná výhoda tejto funkcionality je tá, že modul nemusí nepretržite pracovať v operatívnom móde. Naopak, prebudí sa napríklad iba raz za hodinu, a to iba na niekoľko sekúnd. Počas toho, ako bude modul operovať v pracovnom režime, odošle potrebné dáta na bránu a potom je modulom WLR089U0 poslaná na časovač logická jednotka, ktorá spôsobí opätovné uzavretie prúdenia prúdu do modulu. V tom momente začne plynúť hardvérovo nastavená perióda po ktorej časovač opäť začne prepúšťať prúd do modulu. Toto umožňuje veľké šetrenie potrebnou energiou, a tak ak bude modul napájaný iba pomocou batérií, toto riešenie umožní modulu mať

dostatok energie na to, aby pracoval bez problémov po dobu niekoľko rokov, bez potreby výmeny či dobitia batérií.

V práci je DPS navrhnutá tak, že obsahuje rezistory o hodnotách  $22.1\text{ k}\Omega$ ,  $57.6\text{ k}\Omega$ ,  $124\text{ k}\Omega$  a  $169\text{ k}\Omega$ . Rezistory ktoré budú do návrhu osadené boli vyberané na základe štandardu E96, ktorý slúži ako zoznam preferovaných hodnôt rezistorov. Preto sú aj časové výsledky v tabuľke 3.3 približné a môžu sa tak v skutočnosti líšiť o niekoľko sekúnd, čo ale v konečnom dôsledku nemá na riešenie, ktoré je v práci popisované veľký vplyv, pretože oneskorenie, ktoré je v práci využité sa pohybuje v rádoch minút až hodín.

### 3.4 Návrh senzoru IEC-62056-21

Senzor IEC-62056-21 je tá časť v systéme, ktorá sa pripojí na dané zariadenie, v tomto prípade elektromer, z ktorého chce užívateľ odčítavať danú spotrebu. Hlavné časti senzoru IEC-62056-21 sú fototranzistor a dióda. Tento konkrétny protokol však obsahuje iba jeden typ meračov a to konkrétne elektromer.

V rámci práce bol navrhnutý senzor pre elektromer s protokolom IEC62056-21. Tento senzor pozostáva z častí:

- SMD rezistory  $R1$  a  $R2$ ,
- fototranzistor,
- LED dióda,
- hlavička s pinmi ktoré slúžia na napájanie (3,3 Voltu) a na prenos dát pomocou UART takže sú tu piny  $TX$  a  $RX$ .

Do riešenia sa zahrňuje aj možnosť vytvorenia ďalších zariadení určených na odčítanie meračov napríklad spomínaného čítača určeného na pulzy S0, kde je možné využitie základného návrhu, ale DPS už nebude obsahovať LED diódu, ale iba fototranzistor, ktorý bude pri každom pulze zasielať signál na LoRa uzol. Pri plynomery je možné pre odčítanie využiť Hallovu sondu, ktorá bude posielať dáta po sériovej linke na LoRa uzol.

Tab. 3.2: Najčastejšie časové intervaly oneskorenia, prevzaté z [32]

Čas oneskorenia	Vypočítaný odpor ( $k\Omega$ )	Najbližšia reálna hodnota ( $k\Omega$ )	Dva paralelne zapojené 1% tolerancia rezistoru ( $k\Omega$ )
1s	5.2	5.202	7.15 // 19.1
2s	6.79	6.788	12.4 // 15.0
3s	7.64	7.628	12.7 // 19.1
4s	8.3	8.306	14.7 // 19.1
5s	8.85	8.852	16.5 1/ 19.1
6s	9.27	9.223	18.2 // 18.7
7s	9.71	9.673	19.1 // 19.6
8s	10.18	10.18	11.5 1/ 8.87
9s	10.68	10.68	17.8 // 26.7
10s	11.2	11.119	15.0 // 44.2
20s	14.41	14.405	16.9 // 97.6
30s	16.78	16.778	32.4 // 34.8
40s	18.75	18.748	22.6 // 110.0
50s	20.047	20.047	28.7 // 66.5
1min	22.02	22.021	40.2 // 48.7
2min	29.35	29.349	35.7 // 1650
3min	34.73	34.729	63.4 // 76.8
4min	39.11	39.097	63.4 // 102 0
5min	42.9	42.887	54.9 // 196 0
6min	46.29	46.301	75.0 // 121 .0
7min	49.38	49.392	97.6 // 100 0
8min	52.24	52.224	88.7 // 127.0
9min	54.92	54.902	86.6 // 150 0
10min	57.44	57.437	107.0 // 124.0
20min	77.57	77.579	140.0 // 174 0
30min	92.43	92.233	182.0 // 187 0
40min	104.67	104.625	130.0 // 536.00
50min	115.33	115.331	150.0 // 499.00
1h	124.91	124.856	221 .0 // 28700
1h30min	149.39	149.398	165.0 // 1580.0
2h	170	170	340.0 // 340 0

Tab. 3.3: Časové oneskorenia implementovaných rezistorov, prevzaté z [32], upravené

Označenie rezistoru alebo ich paralelnej kombinácie	Približný čas oneskorenia	Hodnota odporu ( $k\Omega$ )
R1 // R2 // R3 // R4	16 s	13.06
R1 // R2 // R3	18 s	14.15
R1 // R2 // R4	21 s	14.59
R1 // R2	25 s	15.97
R1 // R3	40 s	18.757
R1 // R4	45 s	19.5
R1	1 min	22.1
R2 // R3 // R4	2 min 10 s	31.91
R2 // R3	4 min	39.3
R2 // R4	5 min	42.96
R2	10 min	57.6
R3 // R4	17 min	71.52
R3	1 h	124
R4	2h	169

### 3.5 Brána

Zakúpenie hotovej brány určenej na používanie je cenovo nákladné. Preto sa pristúpilo k návrhu vlastnej LoRa brány, ktorá bude niekoľkonásobne menej nákladná, ako už kupovaný hotový produkt. Vytvorená LoRa brána sa skladá z dvoch hlavných súčiastok a to LoRa modulu a Raspberry Pi, konkrétne sa jedná o model 3 ale dá sa taktiež použiť aj iný model. Podstatou je, aby dané Raspberry Pi podporovalo UART komunikáciu a malo tak piny *RX*, *TX* a *GND*. LoRa modul teda prijíma dáta zo všetkých zariadení v danej sieti a pomocou UART tieto dáta predáva Raspberry PI, ktoré ďalej s týmito dátami pracuje.

Po tom ako Raspberry Pi prijme dáta z LoRa modulu pomocou UART rozhrania, je možné tieto dáta zobrazit napríklad pomocou terminálu. Pre lepšiu prácu s týmito dátami sa na slúži skript napísaný v programovacom jazyku Python. Tento skript zabezpečuje dekódovanie prijatých dát a na základe adresy s ktorej dáta prišli, dokáže určiť o ktoré zariadenie sa jedná. Prijaté dáta následne zapíše do súboru typu JSON.

Súbor typu JSON je súbor do ktorého sú ukladané údaje ktoré sú relatívne ľahko zrozumiteľné pre človeka, ale aj pre stroj. V tomto súbore sa nachádza kľúč a k nemu priradená hodnota. Pri zápise nových hodnôt sa tieto hodnoty pridajú už

k existujúcim. Tieto hodnoty sa rozdeľujú najmä na základe času kedy boli zapísané. Keďže je tieto súbory možné ľahko spracovať strojovo, umožňuje to jednoduchý prenos dát napríklad na vyplnenie tabuľky, či grafu. Taktiež je možné tieto dáta spracovávať pomocou protokolu MQTT a potom s nimi následne pracovať napríklad v softvéri zvanom Home Assistant, ktorý slúži práve na prácu zo smart zariadeniami.

## 3.6 Vývojové prostredie

Pri práci bolo využitých viacero vývojových, alebo návrhových prostredí, ako je napríklad Eagle, pomocou ktorého sa navrhovala DPS, Microchip studio, pomocou ktorého sa realizoval softvér pre DPS, Visual Studio Code, pomocou ktorého sa vytváral skript v programovacom jazyku Python, ktorý je určený pre Raspberry Pi a Onshape, pomocou ktorého sa modelovali kryty a krabičky pre moduly a senzor.

### 3.6.1 Eagle

Pre návrh modelu DPS bol použitý program Eagle. Eagle je skratka odvodená z názvu Easily Applicable Graphical Layout. Tento softvér slúži na návrh DPS. V tomto programe je možné nakresliť DPS, umiestniť na ňu rôzne komponenty a navrhnuť ich vzájomné prepojenie. Taktiež dokáže hlásiť prípadné chyby, ako napríklad nepripojené súčiastky, prekryvanie súčiastok a podobne. Tento program bol využitý pri návrhu DPS LoRa modulu a návrhu DPS senzoru.

### 3.6.2 Microchip studio

Microchip Studio je nový názov pre ešte donedávna známy program pod názvom Atmel Studio. Ako už názov napovedá, tento program patrí k produktu firmy Microchip. Microchip Studio program spadajúci pod programy nazývané integrované vývojové prostredie v skratke IDE. Toto IDE podporuje širokú škálu mikrokontrolérov, ako je napríklad Atmel, Avr alebo SAM. Súčasťou Microchip Studia je editor kódu, ale aj debugger a rôzne iné funkcie. Taktiež podporuje pripojenie programátora, pomocou ktorého je možné nahráť kód napríklad do procesoru na DPS

Microchip Studio je voľne dostupné. Jeho základy pochádzajú z IDE od firmy Microsoft a to konkrétne z IDE Visual Studio. To je značne vidieť aj na grafickom prevedení a rôznych iných funkcionalitách.

Celý kód ktorý tvorí software pre DPS, je napísaný v programovacom jazyku C. Tento programovací jazyk je často používaný pre tvorenie softvéru pre rôzne mikroprocesory a to najmä pre jeho skvelú možnosť písania rýchleho a efektívneho kódu, pomocou ktorého je možné jednoduchý prístup k hardvéru a pamäti.

### 3.7 Krabičky a kryty na moduly a senzor

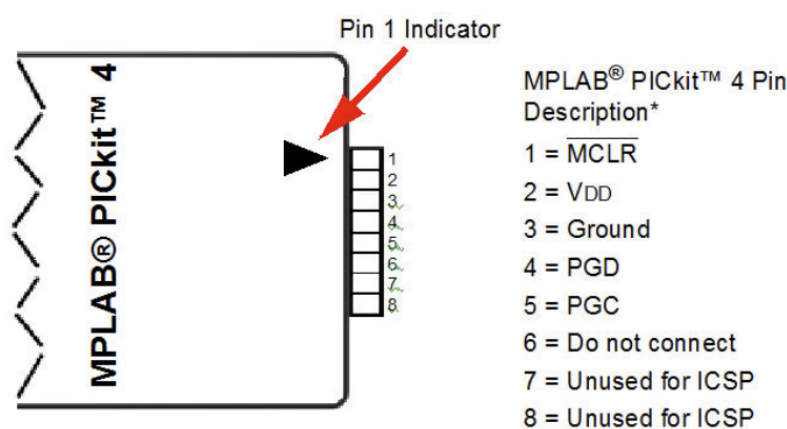
Na to aby boli moduly chránené od vonkajšieho prostredia bolo potrebné vymodelovať pre ne krabičky. Tieto krabičky boli vymodelované pomocou softvéru Onshape. Tento softvér je intuitívny a voľne dostupný na internete.

Kryt bol taktiež vymodelovaný aj pre senzor. Tento kryt umožňuje pridanie magnetov a tak jednoduché umiestnenie senzoru na elektromer, ktorý je na takéto umiestnenie prispôbený.

Tieto modely exportované do súborov, ktoré boli použité pri tlači v 3D tlačiarňi a následne bolo do vyhotovených krabičiek a krytov vložené dané DPS.

### 3.8 Programátor

V tejto doske nebude zabudovaný debugger, preto je potrebné modul naprogramovať pomocou programátora alebo tiež nazývaného aj debugger. Procesor AT-SAMR34J18 podporuje viacero programmerov ako napríklad Atmel-ICE, SAM-ICE alebo aj MPLAB® PICKit™ 4 In-Circuit Debugger. Práve programátor MPLAB PICKit 4 bol použitý pri programovaní DPS s modulom WLR089U0. Schému výstupov tohto programátora je možné vidieť na obr. 3.3.



Obr. 3.3: Schéma Pin výstupov programátora MPLAB PICKit 4, prevzaté z, [33]

### 3.9 LoRa P2P protokol

Pre softvérovú funkčnosť komunikácie vytvoreného systému bol zvolený protokol P2P teda Peer to Peer. Tento protokol je vytvorený spoločnosťou Microchip a poskytuje funkcie potrebné pre chod vytvoreného systému. Protokol LoRa P2P je

variáciou MiWi Stack, ktorý je určený výhradne pre sam R34. Ako už z názvu vyplýva ide o protokol založený na technológii LoRa

Tento protokol bol vybratý hneď z niekoľkých dôvodov. Ako hlavný dôvod je ten, že je založený na technológii LoRa ktorá bola zvolená, ako technológia pre vytvorený systém. Ďalšou jeho výhodou, je že podporuje režimy spánku, s ktorými sa v systéme taktiež počíta. Tak isto dokážte automaticky aktívne skenovať sieť a detektovať tak existujúce spojenia. Taktiež umožňuje komunikáciu formou unicastu pri ktorom dokáže posielat zabezpečené dáta. Tento protokol nepotrebuje tak zložitý softvér ako niektoré iné protokoly. Na riešenie ktoré je pre systém potrebné, protokol P2P plne postačuje a splňa všetky jeho požiadavky.

Aj keď sa môže s počiatku zdať, že tento protokol podporuje prepojenie iba jedného zariadenia s druhým, nie je tomu tak. Pomocou tohto protokolu sa na bránu dokáže pripojiť viacero zariadení. Tieto zariadenia síce nedokážu smerovať dáta, ale na základe toho, že sa o systéme uvažovalo, že jeho prostredie bude pokrývať napríklad jednu budovu, alebo menšiu oblasť, nie je smerovanie dát potrebné. Predpokladá sa teda, že každý uzol je v dosahu brány a dokáže s ňou priamo komunikovať.

Topológia takéhoto systému je hviezda, kedy v centre sa nachádza brána, a na okrajoch sa nachádzajú uzly, kde sa nachádzajú zariadenia na odčítanie stavov.

### 3.9.1 Formát správy LoRa P2P protokolu

Formát správy tohto protokolu je možné vidieť na obrázku 3.4, kde v hornom riadku sú čísla označujúce počet bajtov a v spodnom riadku je názov, čo dané pole obsahuje.

2	1	2	2/8	0/2	8	Variabilné	2
Kontrola rámca	Sekvenčné číslo	Cieľové PAN ID	Cieľová adresa	Zdrojové PAN ID	Zdrojová adresa	Dáta	Kontrola súvislosti rámca

Obr. 3.4: Formát správy LoRa P2P protokolu, prevzaté z

1. **Kontrola rámca** - kontrola rámca je určená pre rôzne parametre a atribúty ako je napríklad typ rámca, či je povolené zabezpečenie, alebo napríklad aj mód zdrojovej a cieľovej adresy, ktorý môže mať pri zdrojovej adrese formát iba 64 bitový ale pri cieľovej adrese môže byť tento formát buď 16 bitový alebo 64 bitový.
2. **Sekvenčné číslo** - toto číslo začína náhodným číslom a následne je navýšené o jedna, vždy keď sú dáta odoslané.
3. **Cieľové PAN ID** - obsahuje PAN identifikátor pre cieľové zariadenie.
4. **Cieľová adresa** - obsahuje cieľovú adresu. Táto adresa musí byť zhodná so zvoleným módom adresy.

5. **Zdrojové PAN ID** - obsahuje PAN identifikátor pre cieľové zariadenie a musí sa zhodovať s intra-PAN definíciou v kontrole rámca.
6. **Zdrojová adresa** - tu sa nachádza adresa zdrojového zariadenia, odkiaľ bola správa odoslaná.
7. **Dáta** - obsahuje konkrétne dáta daného rámca, ako napríklad výčet dát z elektrómeru.
8. **Kontrola súvislosti rámca** - pole určené pre kontrolu súvislosti rámca, či všetky polia, ktoré tento rámec obsahuje sú správne. Dokáže detekovať a popri prípade previesť korekciu chýb.

### 3.9.2 Výpis základných makro funkcií použitých v softvéri

v tejto časti sa nachádza výpis a význam základných makro funkcií použitých softvérovou časťou systému.

- **FULL\_CHANNEL\_MAP** - pomocou tejto makro funkcie je možné nastaviť rôzne pásma podporované pre rôzne oblasti sveta ako je napríklad Európa, Amerika, alebo napríklad India.
- **CONNECTION\_SIZE** - určuje maximálny počet P2P spojení, ktoré je zariadenie schopné zvládať v rovnaký čas.
- **ENABLE\_HAND\_SHAKE** - umožňuje stacku protokolu takzvaný handshake pred zahájením komunikácie s druhým zariadením. Bez tohto procesu by vysielateľ mohli vysielateľ iba pomocou broadcastu alebo na pevne danú unicastovú adresu.
- **ENABLE\_ED\_SCAN** - táto makro funkcia umožňuje zariadeniu vykonať takzvaný ED sken, ktorý zabezpečuje nájdenie kanálu, na ktorom, je najmenšie rušenie a vysielateľ na ňom.
- **ENABLE\_ACTIVE\_SCAN** - povoľuje zariadeniu vykonávať aktívny sken pre detekciu existujúcich spojení.
- **ENABLE\_SECURITY** - umožňuje zariadeniu komunikáciu pomocou zabezpečených dát.
- **ACK\_TIMEOUT\_INTERVAL** - definuje čas doby, počas ktorej paket čaká na potvrdenie prijatia prenosu dát.
- **RFD\_WAKEUP\_INTERVAL** - v tomto makre je definovaný čas po ktorom sa zariadenie má opäť prebudiť v prípade prechodu do spánku.
- **RFD\_DATA\_WAIT** - časovač definujúci limit pre zariadenie v režime spánku na prijatie správy od prijatia žiadosti z daného zariadenia.
- **DATA\_RETRY\_ATTEMPT** - určuje maximálny čas, za ktorý môže koncový uzol opakovať pokus pre zahájenie úspešnej komunikácie.
- **CONNECTION\_RETRY\_TIMES** - určuje maximálny čas, za ktorý sa



môže uzol pokúšať o nadviazanie spojenia.

- ***CONNECTION\_INTERVAL*** - definuje interval v sekundách medzi dvomi vysielanými požiadavkami pre spojenie.
- ***ACTIVE\_SCAN\_RESULT\_SIZE*** - definuje maximálny počet výsledkov aktívneho skenovania, ktoré môžu byť stackom uchované.
- ***INDIRECT\_MESSAGE\_SIZE*** - určuje maximálny počet paketov, ktoré môže zariadenie uložiť pre ďalšie odoslanie zariadeniu, ktoré je momentálne v režime spánku.
- ***ENABLE\_NETWORK\_FREEZER*** - povoľuje funkciu nazývanú *network freezer*, ktorá zabezpečuje takzvané zmrazenie siete, ktoré povoľuje ukladanie dôležitých parametrov do takzvaného NVN.
- ***ENABLE\_SLEEP\_FEATURE*** - povoľuje funkcionality prechodu zariadenia do spánku pomocou softvérového príkazu.

### 3.9.3 MiApp popis API funkcií

MiApp je knižnica v jazyku C, určená pre bezdrôtové komunikačné moduly. Táto knižnica je vytvorená spoločnosťou Microchip. V ďalšej časti sa nachádza popis základných funkcií tejto knižnice.

- ***MiApp\_ProtocolInit*** - hlavná funkcia užívateľského rozhrania určená pre inicializáciu bezdrôtového protokolu vyvinutého spoločnosťou Microchip.
- ***MiApp\_Set*** - ďalšia z hlavných funkcií určená pre nastavenie rôznych hodnôt LoRa P2P stacku.
- ***MiApp\_StartConnection*** - funkcia určená pre aplikačnú vrstvu, pomocou ktorej sa zahajuje PAN.
- ***MiApp\_SearchConnection*** - pomocou tejto funkcie je možné vykonávať a určovať parametre pre aktívny sken.
- ***MiApp\_EstablishConnection*** - táto funkcia slúži na zahájenie komunikácie s už existujúcim PAN. V prípade P2P protokolu je možné zostaviť jedno alebo viacero spojení.
- ***MiApp\_RemoveConnection*** - táto funkcia je určená na ukončenie spojenia.
- ***MiApp\_ConnectionMode*** - pomocou tejto funkcie je možné definovať, akým spôsobom hostiteľské zariadenie bude prijímať požiadavky na pripojenie.
- ***MiApp\_SendData*** - Táto funkcia slúži pre odosielanie unicastovej správy. Je v nej definované niekoľko parametrov ako je napríklad cieľová adresa, dĺžka adresy, dĺžka správy, a rôzne iné.
- ***MiApp\_SubscribeDataIndicationCallback*** - funkcia určená pre registráciu takzvanej callback správy.

- ***MiApp\_NoiseDetection*** - pomocou tejto funkcie je možné vykonávať detekciu šumu na viacerých kanáloch.
- ***MiApp\_TransceiverPowerState*** - Táto funkcia umožňuje vypnutie alebo zapnutie vysielача, čo umožňuje šetrenie energie v prípade že vysielач nie je potrebné používať.
- ***MiApp\_Get*** - toto je hlavná funkcia pre získanie rôznych hodnôt.
- ***Total\_Connections*** - funkcia poskytujúca celkový počet aktívnych a neaktívnych pripojení v sieti
- ***MiApp\_ResetToFactoryNew*** - funkcia slúžiaca k resetu systému.
- ***sm\_sleep*** - funkcia určená pre vysielач a modul pre ich prechod do spánku.
- ***SwTimerCreate*** - pomocou tejto funkcie je možné získať ID časovač, ktoré sa má použiť.
- ***SwTimerStart*** - táto funkcia zabezpečuje spustenie časovača a umožňuje pracovať s takzvaným timeoutom.
- ***PHY\_SetAttribute*** - slúži pre nastavenie atribútov fyzickej vrstvy ako je napríklad šírka pásma.
- ***PHY\_GetAttribute*** - slúži pre získanie atribútov fyzickej vrstvy ako je napríklad šírka pásma.
- ***PHY\_SetTxPower*** - pomocou tejto funkcie je možné nastaviť vysielací výkon.
- ***calculate\_ToA*** - funkcia poskytujúca výpočet čas vysielania pre daný počet bajtov.

### 3.9.4 Prihlásenie zariadenia k sieti

Ako už názov naznačuje, táto časť sa bude zaoberať prihlásenie jednotlivých zariadení do siete. Proces prihlásenia je vypísaný v nasledujúcich bodoch [36]:

1. Pri resetovaní zariadenia na základe freezer konfigurácie, zariadenie získa predchádzajúce informácie o sieti alebo začne celý proces znovu
2. Pomocou funkcie *MiApp\_ProtocolInit* inicializuje zariadenie adresu a požadované parametre daného zariadenia
3. Na základe konfigurácií uvedených v hlavičkovom súbore *miwi\_config.h*, ak je *ENABLE\_ED\_SCAN* povolené, zariadenie vykoná takzvaný ED sken, ktorý zabezpečuje nájdenie kanálu s najmenším rušením. Následne ak je povolené *ENABLE\_ACTIVE\_SCAN*, zariadenie aktívne vyhľadá dostupné siete.
4. Ak sa po prehladaní dostupných sietí nenájde žiadne aktívne zariadenie, je spustený proces, kedy bude toto zariadenie aktívne pre požiadavky o pripojenie ďalších zariadení
5. V prípade že zariadenie nájde iné aktívne zariadenie v sieti, tak na základe

zvoleného kanálu a adresy dané zariadenie spustí proces pripojenia so žiadosťou o pripojenie.

6. Zariadenie na druhom konci, ktoré túto požiadavku prijalo pošle spätnú odpoveď a po prijatí tejto správy zariadením, ktoré požiadavku vyslalo si zariadenie uloží podrobnosti o pripojení do svojej tabuľky
7. Následne ak je povolené sériové rozhranie UART, tak sa informácie o pripojení zobrazia na výstupe tejto sériovej linky, napríklad v terminále na Raspberry Pi.

### 3.9.5 Prenos dát v sieti

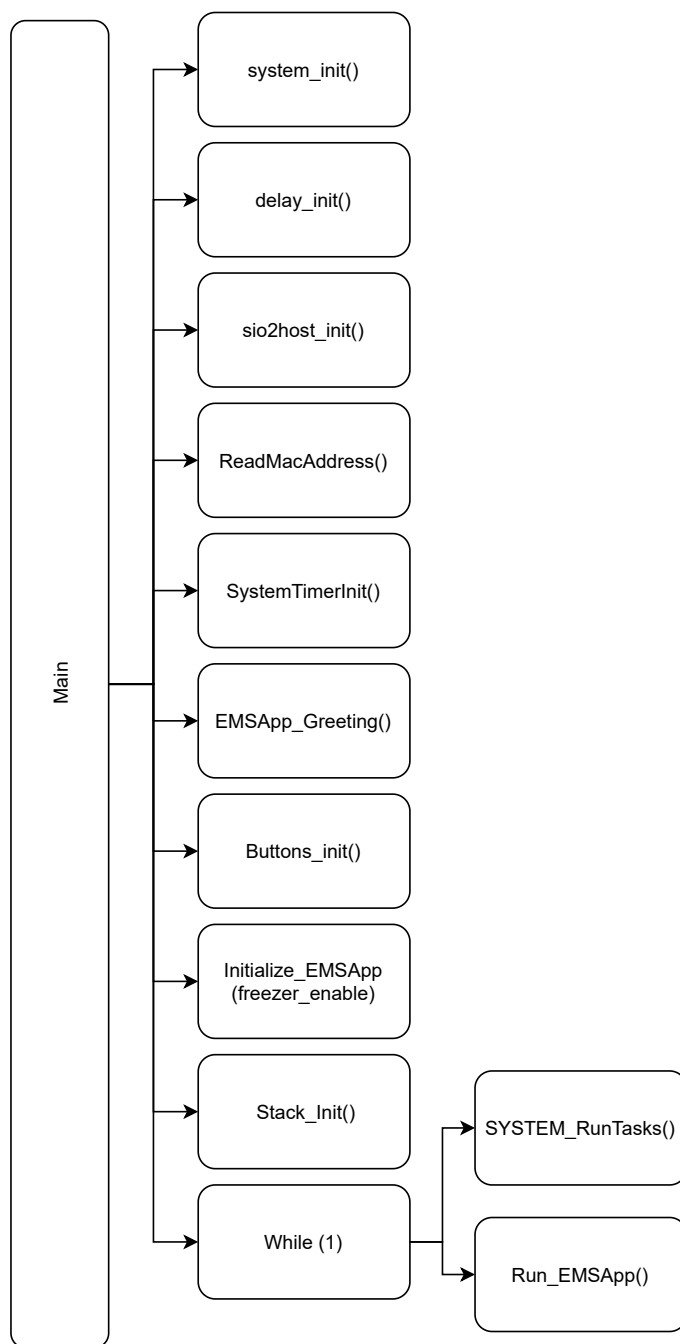
Po tom ako bolo vytvorené spojenie medzi dvomi zariadeniami je možné zahájiť samotný prenos dát v sieti. Tento prenos je popísaný v nasledujúcich bodoch [36]:

1. Prenos dát je definovaný pomocou funkcie *MiApp\_SendData*. Táto funkcia ako už bolo popisované umožňuje spustenie prenosu dát na základe informácií nachádzajúcich sa v tabuľke pripojení, ktorá bola aktualizovaná v kroku prihlásenia sa zariadenia k sieti
2. Prenos unicastových dát je založené na IEEE adrese uloženej v tabuľke pripojení. V prípade vysielania broadcast správy, bude táto správa doručená na všetky aktívne zariadenia v sieti
3. Údaje prijaté na koncovom zariadení je možné zobrazit v prípade povolenia sériovej komunikácie napríklad v terminále.
4. Zariadenie ktoré takúto správu prijme následne odošle informáciu o úspešnom doručení spätne na zariadenie z ktorého bola správa odoslaná.

## 3.10 Popis základných funkcií volaných pri spustení programu

Na EMS diagrame vid. Obr. 3.5 je možné vidieť základné funkcie ktoré sú volané pri spustení programu. Následné vysvetlenie týchto funkcií je popísané ďalej v tejto časti

- ***system\_init()*** - táto funkcia volá rôzne inicializačné funkcie ako je napríklad *system\_clock\_init()*, ktorá sa stará o konfiguráciu takzvaných hodín systému. Ďalej sa tu volá funkcia *system\_board\_init()*, ktorá zabezpečuje konfiguráciu hardvéru. Ďalej sú tu volané funkcie *\_\_system\_events\_init()* *\_\_system\_extint\_init()* *\_\_system\_divas\_init()*, v ktorých sa inicializujú rôzne druhy hardvéru



Obr. 3.5: EMSApp diagram

- ***delay\_init()*** - táto funkcia sa stará o možnosť oneskorenia. Používa sa napríklad na definovanie oneskorenia poslania opakovanej správy alebo na definovanie času, pre opätovné pripojenie zariadenia.
- ***sio2host\_init()*** - v prípade že je definované makro *ENABLE\_CONSOLE*, tak je táto funkcia sa stará o prenos dát po sériovej linke URAT.

- ***ReadMacAddress()*** - táto funkcia zabezpečuje čítanie MAC adresy daných zariadení.
- ***SystemTimerInit()*** - úlohou tejto funkcie je definovať časovač. Tento časovač sa využíva napríklad pri prechode zariadenia do spánku a pomocou tejto funkcie sa definuje časovač po ktorého uplynutí sa má zariadenie prebudiť.
- ***EMSApp\_Greeting()*** - táto funkcia je definovaná v *EMSApp\_output.c*, kde je zabezpečené prijatie dát a ich zobrazovanie v konzole pomocou sériového prenosu UART
- ***Buttons\_init()*** - táto funkcia sa stará o definovanie a správu tlačítok umiestnených na DPS.
- ***Initialize\_EMSSApp()*** - funkcia starajúca sa o inicializáciu protokolu MAC vrstvy a výberu koncového zariadenia.
- ***Stack\_Init()*** - funkcia zabezpečujúca inicializáciu celej aplikácie EMSApp
- ***cyklus while*** - na konci tejto funkcie je cyklus while, v ktorom sa nachádza funkcia *SYSTEM\_RunTasks()*, ktorá sa volá v prípade, že bolo zadaných niekoľko úloh, ktoré je potreba riešiť súčasne. Táto sa funkcia dokáže uprednostňovať úlohy podľa priority.  
Ďalej sa v cykle while volá funkcia *Run\_EMSSApp()*, ktorá sa stará o štart protokolu P2P.

Ak bolo v momente volania funkcie zverejnených niekoľko úloh, sú vykonávané v poradí podľa priority vrstiev: úloha vrstvy s najvyššou prioritou sa vykoná ako prvá

### 3.11 Energy Meter System Application

Výsledný systém pre vzdialené odčítanie nesie názov Energy Meter System Application v skratke EMSApp, vychádza z prechádzajúcich popísaných častí. V základe sa dá rozdeliť systém na časť, ktorá sa nachádza na merači alebo v jeho blízkosti, teda uzol a na časť, ktorá tvorí bránu a užívateľské rozhranie. Na merači sa nachádza senzor, alebo zariadenie na odčítanie stavov, a LoRa uzol. Brána je tvorená LoRa modulom a Raspberry Pi.

Zariadenie na čítanie stavov s LoRa uzlom môže byť spojené napríklad pomocou UART rozhrania. Je teda pripojené napájanie, zem, *RX* a *TX* piny. Systém je navrhnutý tak, aby LoRa uzol spal počas celej doby, až pokiaľ nedostane signál k prebudeniu. Tento signál môže byť zadaný buď softvérovo alebo hardvérovo, pomocou DIP prepínača a časovača. Keď sa LoRa uzol prebudí, vyčíta dáta zo senzoru. Ak je tento senzor zostavený napríklad na odčítanie protokolu IEC 62056-21, tak LoRa uzol, pošle príkaz, aby senzor vyčítal dáta z elektromeru na základe tohto protokolu. LoRa uzol tieto dáta následne odošle na LoRa modul, ktorý spolu s Raspberry Pi tvorí bránu.

Tu sa systém dostáva do druhej fázy. Doteraz prebiehala komunikácia iba medzi LoRa uzlom a senzorom pripojený na tento uzol pomocou UART. Teraz je však potrebné aby sa preniesli informácie z LoRa uzlu na LoRa modul. Na to slúži LoRa P2P protokol ktorý zabezpečuje tento bezdrôtový prenos. Naviazanie dát a ich prenos je popísaný v predchádzajúcich kapitolách.

Po odoslaní dát uzlom na bránu môže byť uzol prepnutý do režimu spánku buď softvérovým príkazom, alebo hardvérovým prepnutím časovaču a to tak, že modul uzol po obdržaní správy, že dáta boli správne doručené, pošle logickú jednotku na časovač, ktorý zavrie prívod prúdu do modulu.

Prenášané dáta zachytené pomocou LoRa modulu sú ďalej spracovávané na bráne. Tento modul je priamo spojený s Raspberry Pi pomocou rozhrania UART. Cez toto rozhranie pošle na Raspberry Pi prijaté dáta, kde sa ďalej tieto dáta spracovávajú, popis spracovania dát na Raspberry Pi je popísaný vyššie.

## Záver

Diplomová práca sa zaoberala návrhom a zostrojením systému pre vzdialené odčítanie plynu, elektriny a vody. Pri riešení práce bola naštudovaná problematika týkajúca sa danej témy. Na základe týchto poznatkov bola vybratá vhodná technológia pre použitie vzdialeného odčítania a to konkrétne technológia LoRa. Vďaka riešeniu pomocou LoRa je možné dáta posielat bezdrôtovo a s nízkou spotrebou na veľké vzdialenosti, čo je pre užívateľa dôležité.

Práca sa ďalej zaoberá zvolením správnych súčiastok pre jednotlivé časti systému. Ako hlavný prvok hardvéru bol zvolený modul WLR089U0 v ktorom je zabudovaný mikrokontroler ATSAMR34J18 . Tento modul umožňuje univerzálnu, lacnú a hlavne energeticky nízko náročnú implementáciu do systému.

Výsledkom práce sú taktiež modely a schémy jednotlivých hardvérových častí systému ako je LoRa modul a LoRa uzol, kde základ pre obe tieto časti tvorí modul WLR089U0. Taktiež bol vytvorený model a schéma senzoru IEC 62056-21 pre odčítanie stavov z elektromeru. Na základe týchto DPS schém a modelov boli vyrobené a zostrojené konečné hardvérové zariadenia.

V práci je podrobný popis energetickej náročnosti systému, rôzne varianty jeho napájania a kroky ktoré boli podniknuté, aby energetická náročnosť daného systému bola čo najmenšia.

K technológii LoRa bol zvolený protokol LoRa P2P protokol. Tento protokol umožňuje komunikáciu medzi zariadeniami v sieti a pomocou tohto protokolu môže byť k bráne pripojených viacero zariadení. V prípade teda ak bude potrebné odčítavať stavy z viacero zariadení, napríklad elektromer, plynomer či vodomer je možné pomocou tohto protokolu daného výsledku docieľiť.

Práca taktiež obsahuje návrh a popis softvérovej časti, ktorou je taktiež možné riadiť energetickú náročnosť systému a to napríklad na základe zvolenej sily vysielачu alebo v prípade neaktivity uzlu jeho prechod do režimu spánku. Softvérová časť sa stará o pripojenie do siete ak existuje, ak takáto sieť neexistuje tak o jej vytvorenie a následné posielanie a prijímanie správ medzi zariadeniami v tejto sieti.

Systém teda dokáže odčítat stavy meračov na diaľku a to takým spôsobom, že LoRa uzol, ku ktorému je pripojené zariadenie určené na odčítanie stavov, dokáže získať a uložiť danú spotrebu zariadenia. Následne sú dáta s obsahom danej spotreby poslané bránu, ktorú tvorí LoRa modul, ktorý je prepojený pomocou sériovej linky UART s Raspberry Pi. V Raspberry Pi sú tieto dáta spracovávané a zapisované do súboru typu JSON, ktorý je určený na ďalšie spracovanie pomocou protokolu MQTT.

## Literatúra

- [1] FAHAD, S.: *Energy Meters and its types, Single Phase Energy Meter and Three Phase Energy Meter* [online]. 2020, posledná aktualizácia 2.12.2020. Dostupné z URL: <[https://www.electronicclinic.com/energy-meters-and-its-types-single-phase-energy-meter-and-three-phase-energy-meter/Electro\\_mechanical\\_induction\\_type\\_energy\\_meter](https://www.electronicclinic.com/energy-meters-and-its-types-single-phase-energy-meter-and-three-phase-energy-meter/Electro_mechanical_induction_type_energy_meter)>
- [2] SARVAR, I.: *Electro-Mechanical Energy Meters* [online]. 2017, posledná aktualizácia 28.3.2017. Dostupné z URL: <<https://engineerexperiences.com/electro-mechanical-energy-meters.html>>
- [3] MIECHEA", N. C.; OKAFOR, K. Ch.; OGUNGBENRO, O. A.: *Digital Metering System: A Better Alternative for Electromechanical Energy Meter in Nigeria* [online]. 2011, posledná aktualizácia 5.9.2011. dostupné z URL: <[https://www.researchgate.net/publication/292769534\\_Digital\\_Metering\\_System\\_A\\_Better\\_Alternative\\_for\\_Electromechanical\\_Energy\\_Meter\\_in\\_Nigeria](https://www.researchgate.net/publication/292769534_Digital_Metering_System_A_Better_Alternative_for_Electromechanical_Energy_Meter_in_Nigeria)>
- [4] COX, B.: *6 Styles of Natural Gas Meters (Including Residential)* [online]. 2020, posledná aktualizácia 15.5.2020. Dostupné z URL: <<https://www.lincenergysystems.com/blog/residential-natural-gas-meter-types/>>
- [5] DŘEVOJÁNKOVÁ, Z.: *Vodoměry - 2. část* [online]. 2022, posledná aktualizácia 17.2.2022. Dostupné z URL: <<https://www.topin.cz/clanky/vodomery-2-cast-detail-8551>>
- [6] BOHDALOA, Z.: *Kalorimetry - kompaktní měřiče tepla fungují velmi spolehlivě* [online]. 2017, posledná aktualizácia 30.10.2017. Dostupné z URL: <<https://vytapani-klimatizace.bydleniprokazdeho.cz/voda-plyn-a-topeni/kalorimetry-kompaktni-merice-tepla-funguji-velmi-spolehlive.php>>
- [7] DMS FLOW MEASUREMENT AND CONTROLS LIMITED: *Heat Metering Technology Selection (and getting it right first time)* [online]. Dostupné z URL: <<https://www.cibse.org/media/m0lpxr3f/200212-cibse-wm-cpd-seminar-on-heat-metering-selection.pdf>>
- [8] SIEMENS: *Ultrasonic compact heat and heat/cooling energy meters* [online]. 2021, posledná aktualizácia 7.12.2021. Dostupné z URL: <[https://hit.sbt.siemens.com/RWD/DB/ES/es/Assets/A6V10376915\\_Ultrasonic%20compact%20heat%20and%20heat\\_cooling%20energy%20me\\_en.pdf](https://hit.sbt.siemens.com/RWD/DB/ES/es/Assets/A6V10376915_Ultrasonic%20compact%20heat%20and%20heat_cooling%20energy%20me_en.pdf)>



- [9] ONLINETECHNOLOGY: *Měření energie* [online]. 2021, posledná aktualizácia 9.4.2021. Dostupné z URL: <<https://wiki.merenienergie.cz/subdom/wiki/index.php?title=S0#>>
- [10] RYES, A.; SALAM, S. *Internet of Things From Hype to Reality The Road to Digitization* [online]. 2. vydanie. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019. ISBN 978-3-319-99516-8. Dostupné z URL: <<https://core.ac.uk/download/pdf/326762892.pdf>>
- [11] LINKS, C.; TESTA T.; ANDEROSN J.; HOOGSTRAETEN W.H; SCHNAUFER D.; WARSCHAURE C: *Internet of Things For Dummies®, 2ND QORVO SPECIAL EDITION* [online]. 1. vydanie. CHoboken, New Jersey, Spojené štáty americké: John Wiley & Sons, 2021. ISBN 978-1-119-79820-0. Dostupné z URL: <<https://www.microwavejournal.com/articles/36950-internet-of-things-for-dummies>>
- [12] HEREDIA R.: *IoT Protocols and Standards: An Introductory Guide* [online]. 2022, posledná aktualizácia 11.4.2022. Dostupné z URL: <<https://www.zipitwireless.com/blog/iot-protocols-and-standards-an-introductory-guide>>
- [13] HANES D.; SALGUEIRO G.; GROSSETETE P.; BARTON R.; HENRY J.: *IoT fundamentals: networking technologies, protocols, and use cases for the Internet of things* [online]. 1. vydanie Indianapolis, IN: Cisco press, 2017. ISBN 978-1-58714-456-1. Dostupné z URL: <[https://kupdf.net/download/iot\\_5c7031c9e2b6f51e2666673e\\_pdf](https://kupdf.net/download/iot_5c7031c9e2b6f51e2666673e_pdf)>
- [14] HEREDIA R.: *Long Range SigFox Communication Protocol Scalability Analysis Under Large-Scale, High-Density Conditions* [online]. 2019, posledná aktualizácia 2.4.2019. Dostupné z URL: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8660398>>
- [15] ROSENCRANCE L.: *Zigbee* [online]. 2019, posledná aktualizácia 2.4.2019. Dostupné z URL: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8660398>>
- [16] SEMTECH CORPORATION: *LoRa® and LoRaWAN®: A Technical Overview* [online]. 2019, posledná aktualizácia 11.2.2020. Dostupné z URL: <[https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa\\_and\\_LoRaWAN-A\\_Tech\\_Overview-Downloadable.pdf](https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf)>

- [17] RAJISHA R.; JAGANNIVAS J.; SHAILESHWARI M. U.: *COMMUNICATING WITH AN ENERGY METER USING IEC 62056 THROUGH TCP/IP PROTOCOL* [online]. 2012, posledná aktualizácia apríl 2012. Dostupné z URL: <<https://www.interscience.in/cgi/viewcontent.cgi?article=1054&context=ijcns>>
- [18] INTERNATIONAL ELECTRO TECHNICAL COMMISSION: *INTERNATIONAL STANDARD IEC62056-21* [online]. 2002, posledná aktualizácia máj 2002. Dostupné z URL: <[https://www.ungelesen.net/protagWork/media/downloads/solar-steuerung/iec62056-21%7Bed1.0%7Den\\_.pdf](https://www.ungelesen.net/protagWork/media/downloads/solar-steuerung/iec62056-21%7Bed1.0%7Den_.pdf)>
- [19] SLUDDEN J.: *Key Considerations for Selecting the Ideal IoT Network Connectivity* [online]. 2022, posledná aktualizácia 16.2.2022. Dostupné z URL: <<https://www.machineq.com/post/key-considerations-for-selecting-the-ideal-iot-network-connectivity>>
- [20] REYNOLDS I.J.H.: *INTERNET OF THINGS IOT Architecture* [online]. 2020, posledná aktualizácia 23.7.2020. Dostupné z URL: <<https://www.zibtek.com/blog/iot-architecture/>>
- [21] SIMMONS A. : *Internet of Things (IoT) Architecture: Layers Explained* [online]. 2022, posledná aktualizácia 13.11.2022. Dostupné z URL: <<https://dgtlinfra.com/internet-of-things-iot-architecture/>>
- [22] RAMESH P.; REDDY M.S.V.R.; REDDY P.B. : *Architecture, Protocols, Layers and Elements of IoT* [online]. 2021, posledná aktualizácia 9.9.2021. Dostupné z URL: <<https://ijcrt.org/papers/IJCRT2109166.pdf>>
- [23] MANSAF A.; MANZOOR A.; SYED A.A. : *INTERNET OF THINGS AND ITS APPLICATIONS* [online]. 2020, posledná aktualizácia 2021. Dostupné z URL: <[https://mrcet.com/downloads/digital\\_notes/EEE/IoT%20&%20Applications%20Digital%20Notes.pdf](https://mrcet.com/downloads/digital_notes/EEE/IoT%20&%20Applications%20Digital%20Notes.pdf)>
- [24] HOWWEL J. : *An Introduction To IoT Architecture* [online]. 2023, posledná aktualizácia 3.4.2023. Dostupné z URL: <<https://101blockchains.com/iot-architecture/>>
- [25] SHOCK S. : *The 5 Layers of IoT Architecture that give it super powers* [online]. 2023, posledná aktualizácia 3.1.2023. Dostupné z URL: <<https://novotech.com/learn/m2m-blog/blog/2023/01/03/the-5-layers-of-iot-architecture-that-give-it-super-power/>>

- [26] SEGHBROECK G.V. : *The 4 stages of creating an IoT architecture* [online]. 2019, posledná aktualizácia 3.5.2019. Dostupné z URL: <<https://www.tengu.io/tengu-blog/4-stages-creating-iot-architecture>>
- [27] PEŇA E.; LEGASPI M.G. : *UART: A Hardware Communication Protocol Understanding Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* [online]. 2020, posledná aktualizácia 4.12.2020. Dostupné z URL: <<https://www.analog.com/media/en/analog-dialogue/volume-54/number-4/uart-a-hardware-communication-protocol.pdf>>
- [28] LOM M.; PŘIBYL O. : *Sítě pro internet věcí v České republice* [online]. 2017, posledná aktualizácia 6.11.2017. Dostupné z URL: <<https://elektro.tzb-info.cz/informacni-a-telekomunikacni-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice>>
- [29] SLÍŽEK D.: *České Radiokomunikace rozšíří síť LoRa na 500 vysílačů Vantage Towers* [online]. 2021, posledná aktualizácia 7.10.2021. Dostupné z URL: <[hyphenshttps://www.lupa.cz/aktuality/ceske-radiokomunikace-rozsiri-sit-lora-na-500-vysilacu-vantage-towers/](https://www.lupa.cz/aktuality/ceske-radiokomunikace-rozsiri-sit-lora-na-500-vysilacu-vantage-towers/)>
- [30] MICROCHIP TECHNOLOGY INC: *WLR089U0 Low Power LoRa® Sub-GHz Module Data Sheet* [online]. 2021, posledná aktualizácia 2021. Dostupné z URL: <<https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/WSG/ProductDocuments/DataSheets/70005435B.pdf>>
- [31] HARINI R.: *LORA Technology Basics and Applications* [online]. 2021, posledná aktualizácia 2.1.2021. Dostupné z URL: <[https://wiki.control.fel.cvut.cz/mediawiki/images/c/c5/Dp\\_2018\\_buricova\\_martina.pdf](https://wiki.control.fel.cvut.cz/mediawiki/images/c/c5/Dp_2018_buricova_martina.pdf)>
- [32] Texas Instruments: *TPL5111 Nano-Power System Timer for Power Gating* [online]. 2015, posledná aktualizácia september 2018. Dostupné z URL: <[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tp15111.pdf?ts=1684128107407&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.co.kr%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tp15111.pdf?ts=1684128107407&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.co.kr%252F)>
- [33] Microchip Technology: *MPLAB® PICkit™ 4 In-Circuit Debugger User's Guide* [online]. 2020, posledná aktualizácia 2020. Dostupné z URL: <<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002751F.pdf>>
- [34] BERNSTEIN C.; BRUSH K.; GILLIS A. S.: *MQTT (MQ Telemetry Transport)* [online]. 2021, posledná aktualizácia január 2021. Dostupné z URL: <<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/MQTT-MQ-Telemetry-Transport>>

- [35] Feuerhahn ZIMMERMANN D.; FEUERHAH S.: *j62056 User Guide* [online]. 2022, posledná aktualizácia 19.9.2022. Dostupné z URL: <<https://www.openmuc.org/iec-62056-21/files/j62056-doc.pdf>>
- [36] Microchip Technology: *atsamr34\_long\_range\_p2p* [online]. 2021, posledná aktualizácia 19.10.2021. Dostupné z URL: <[https://github.com/MicrochipTech/atsamr34\\_long\\_range\\_p2p/blob/master/01\\_learning\\_phase/README.md#step12](https://github.com/MicrochipTech/atsamr34_long_range_p2p/blob/master/01_learning_phase/README.md#step12)>

## Zoznam symbolov a skratiek

<b>m<sup>3</sup></b>	Metrov štvorcových
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>TLS</b>	Transport Layer Security
<b>IT</b>	Informačné technológie
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>LoRa</b>	Long Range
<b>LoRaWAN</b>	Long Range Wide Area Network
<b>AD</b>	Analog-to-Digital
<b>TCP/IP</b>	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
<b>MQTT</b>	Queuing Telemetry Transport
<b>DDS</b>	Distribution Service
<b>HTTP</b>	HyperText Transfer Protocol
<b>CoAp</b>	Constrained Application Protocol
<b>AMQP</b>	Advanced Message Queuing Protocol
<b>XMPP</b>	Messaging and Presence Protocol
<b>LTE</b>	Long-Term Evolution
<b>TSP</b>	Traffic Signal Prioritization
<b>DSRC</b>	Dedicated Short-Range Communications
<b>Hz</b>	Hertz
<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>MHz</b>	Megahertz

<b>LPWAN</b>	Low-Power Wide Area Network
<b>D-BPSK</b>	Differential Binary Phase Shift Keying
<b>NB-IoT</b>	Narrowband Internet of Things
<b>WCDMA</b>	Wideband Code Division Multiple Access
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>FDD</b>	Frequency-Division Duplexing
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>bps</b>	bits per second
<b>kbps</b>	kilobits per second
<b>dB</b>	decibel
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>RF4CE</b>	Radio Frequency for Consumer Electronics
<b>MAC</b>	Media Access Control
<b>CRC</b>	Cyclic Redundancy Check
<b>MIC</b>	Media Independent Handover
<b>AES</b>	Advanced Encryption Standard
<b>IEC</b>	International Electro technical Commision
<b>DLMS</b>	Device Language Message Specification
<b>COSEM</b>	Companion Specification for Energy Metering
<b>HHU</b>	Hand Held Unit
<b>UART</b>	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
<b>DPS</b>	Doska Plošných Spojov
<b>DIP</b>	Dual Inline Package
<b>SMD</b>	Surface Mounte Devices
<b>USB</b>	Universal Serial Bus

<b>Li-Ion</b>	Lithium-Ion
<b>Li-Pol</b>	Lithium Polymer
<b>mAh</b>	miliampér hodín
<b>mA</b>	miliampér
<b>µA</b>	mikroampér
<b>nA</b>	nanoampér
<b>Ω</b>	Ohm
<b>kΩ</b>	Kilo ohm
<b>MΩ</b>	Mega ohm
<b>P2P</b>	Peer to Peer
<b>PAN ID</b>	Personal Area Network Identifier
<b>V</b>	Volt
<b>Wh</b>	Watt hodina
<b>kWh</b>	Kilowatt hodina
<b>V</b>	Volt

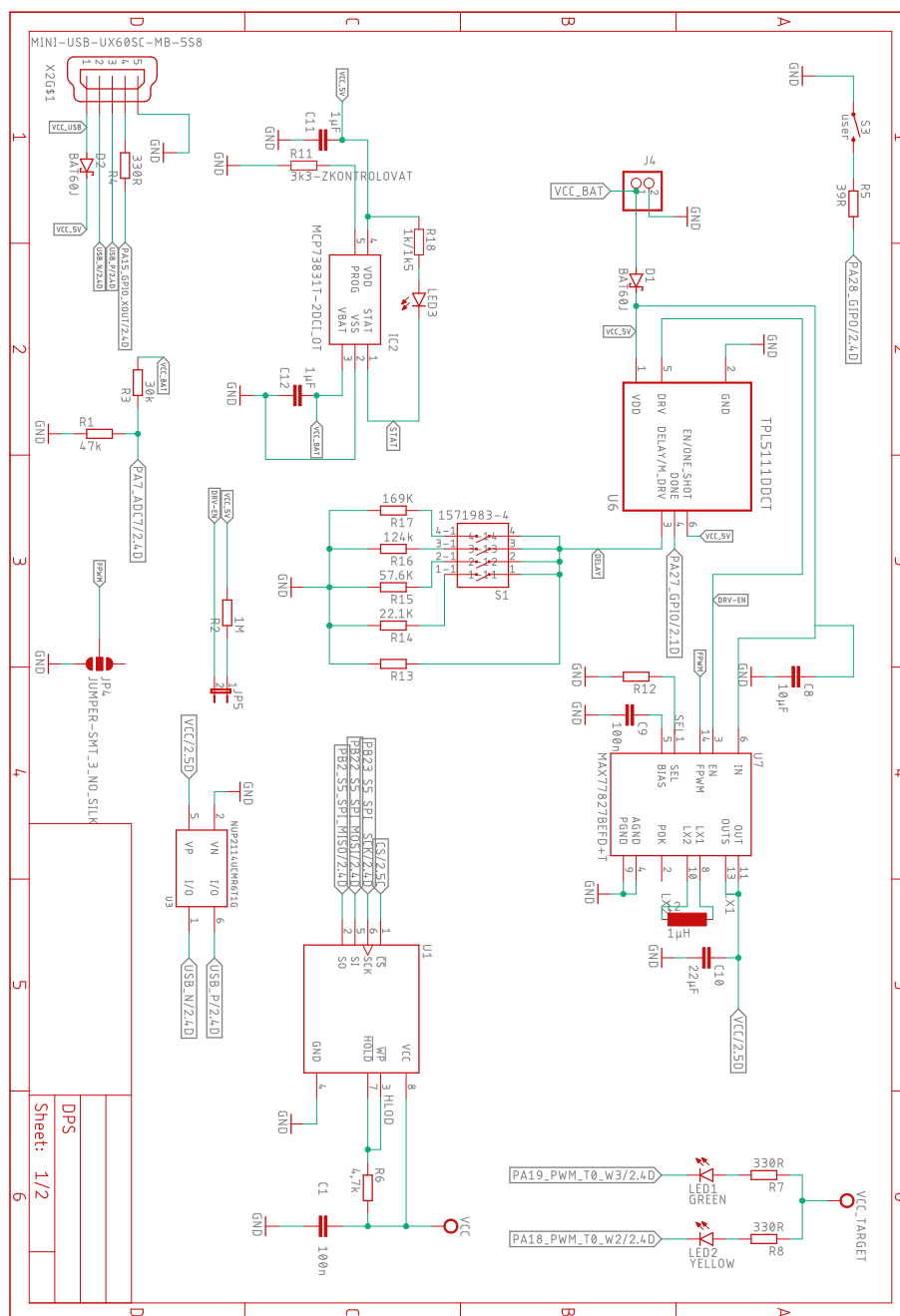
# Zoznam príloh

<b>A</b>	<b>Schéma a zapojenie DPS modulu</b>	<b>76</b>
A.1	Shcéma DPS modulu 1/2 . . . . .	76
A.2	Shcéma DPS modulu 2/2 . . . . .	77
A.3	Zapojenie DPS modulu predná strana . . . . .	78
A.4	Zapojenie DPS modulu zadná strana . . . . .	79
	A    Vyhotovená DPS uzlu predná strana . . . . .	80
	A    Vyhotovená DPS uzlu zadná strana . . . . .	81
A.5	Vyhotovená DPS modulu . . . . .	81
<b>B</b>	<b>Schéma a zapojenie DPS senzoru</b>	<b>82</b>
B.1	Shcéma DPS senzoru . . . . .	82
B.2	Zapojenie DPS senzoru predná strana . . . . .	83
B.3	Vyhotovená DPS senzoru . . . . .	83



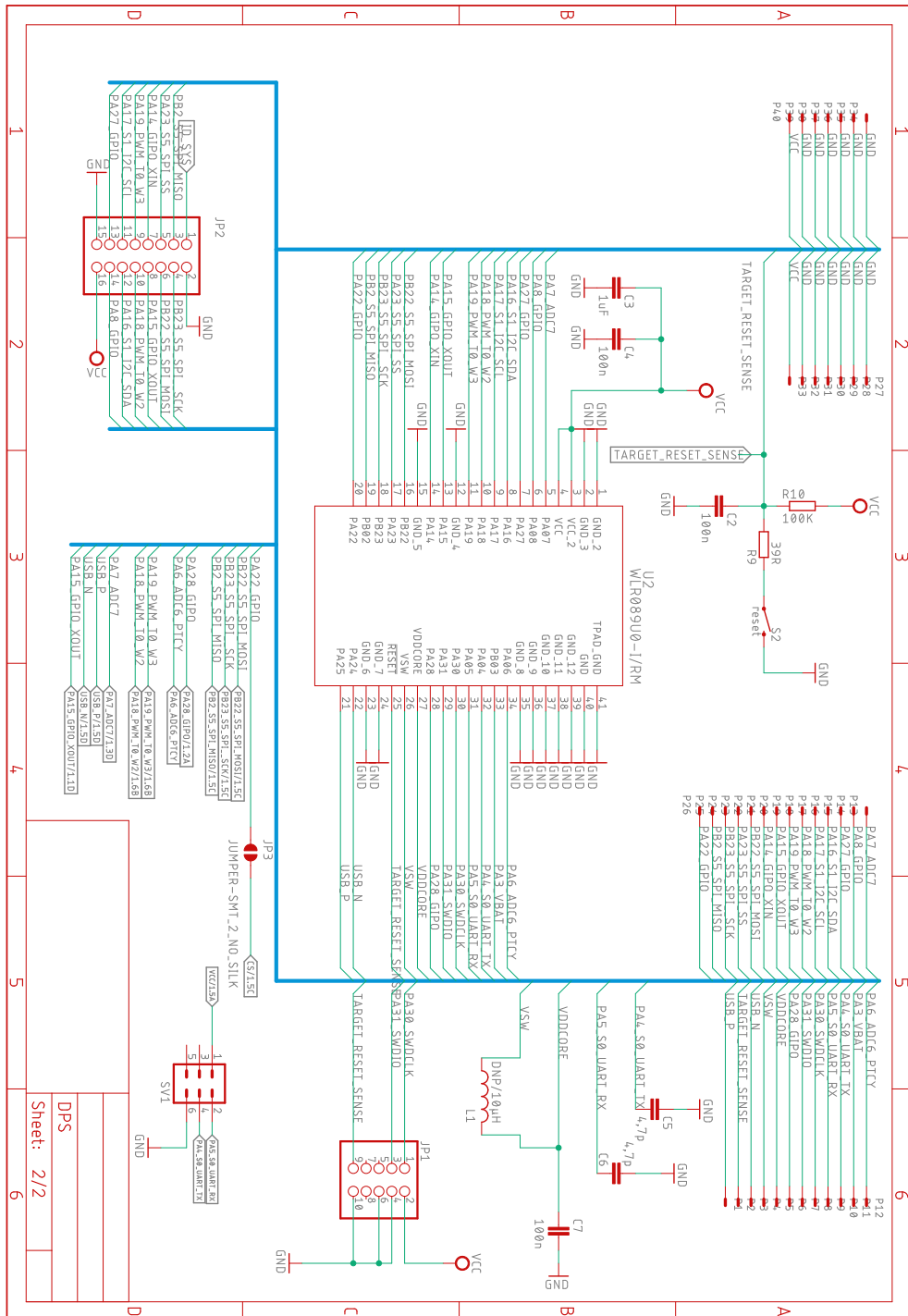
# A Schéma a zapojenie DPS modulu

## A.1 Schéma DPS modulu 1/2



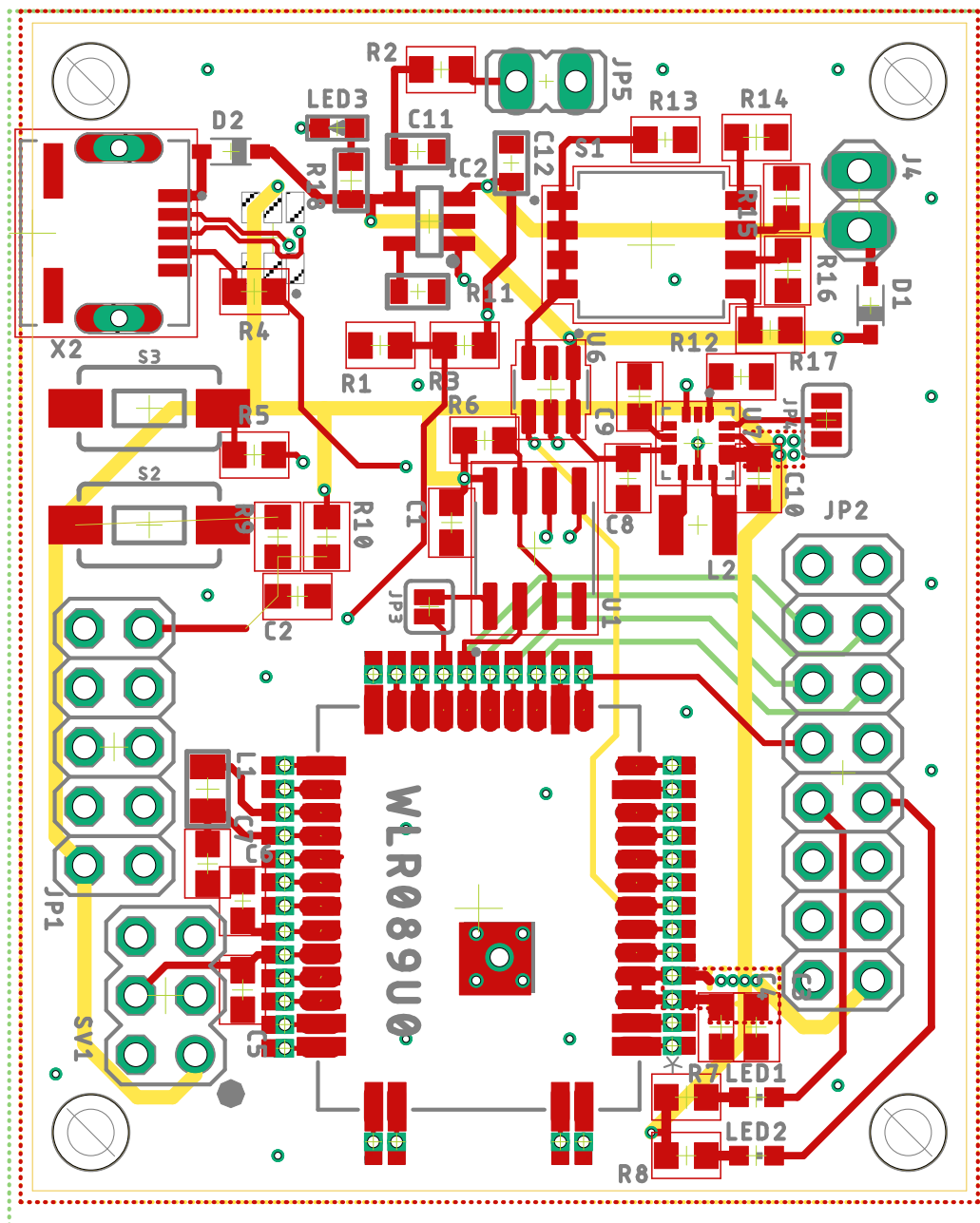
Obr. A.1: Schéma DPS 1/2

## A.2 Schéma DPS modulu 2/2



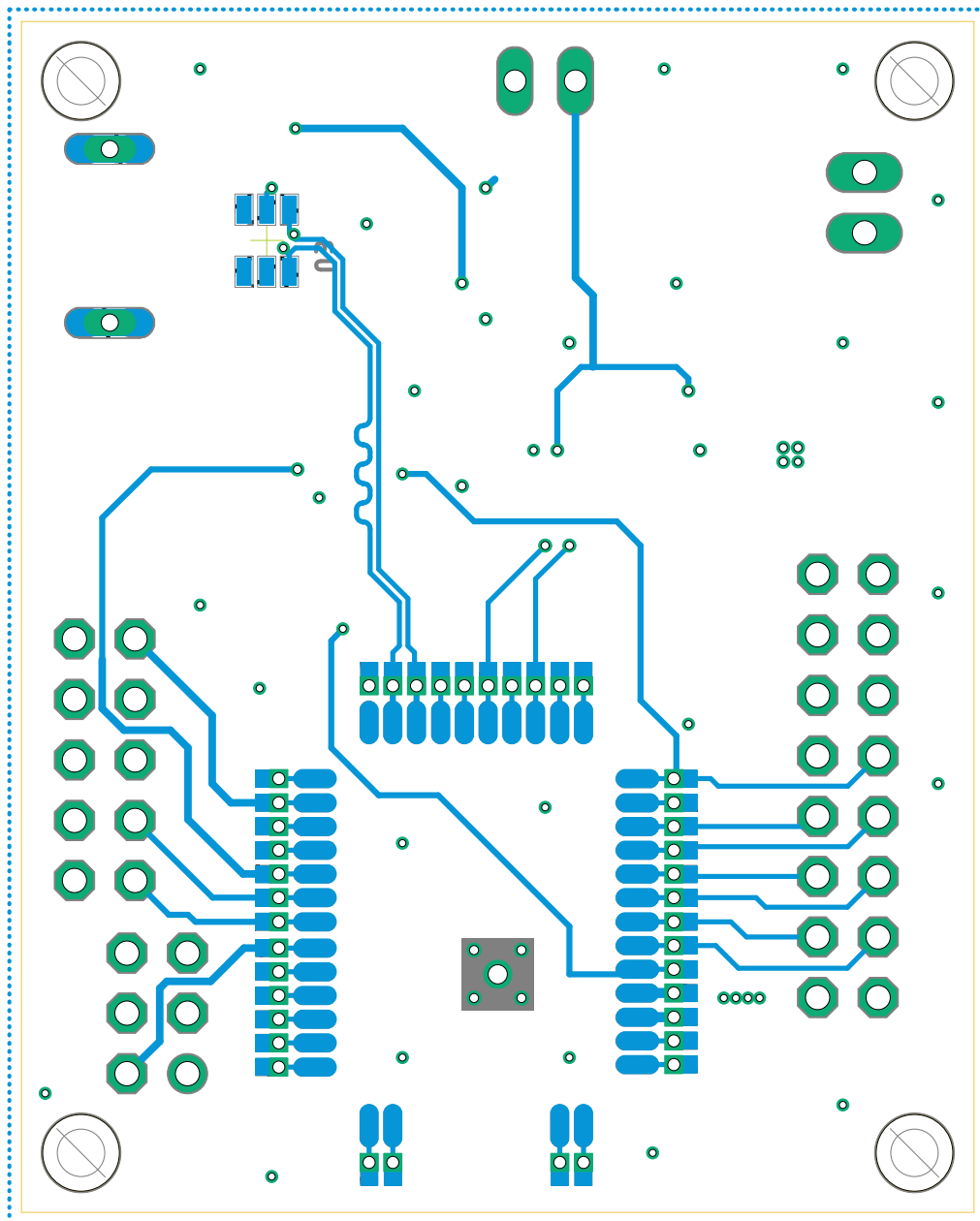
Obr. A.2: Schéma DPS 2/2

### A.3 Zapojenie DPS modulu predná strana



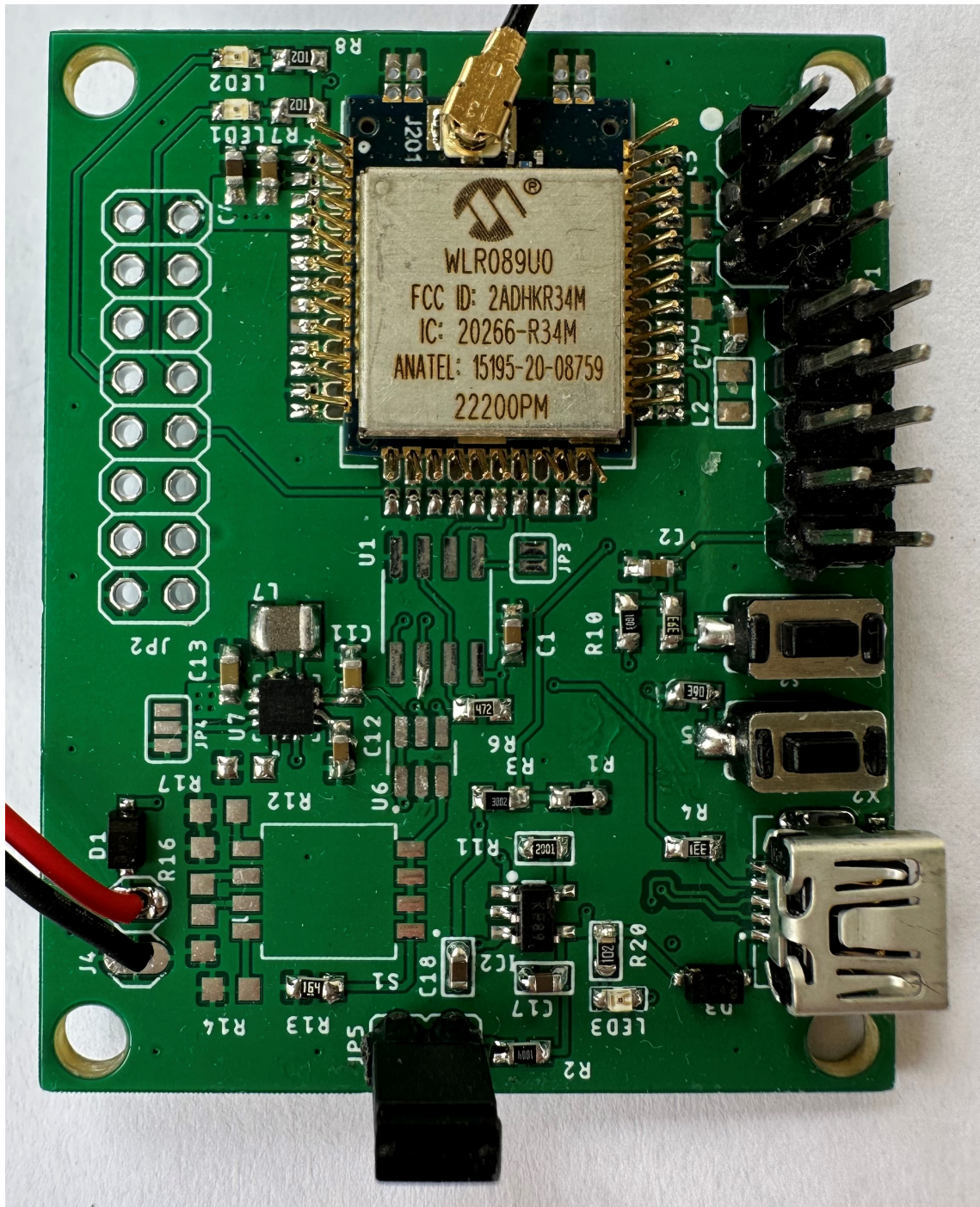
Obr. A.3: Zapojenie DPS predná strana

## A.4 Zapojenie DPS modulu zadná strana



Obr. A.4: Zapojenie DPS zadná strana

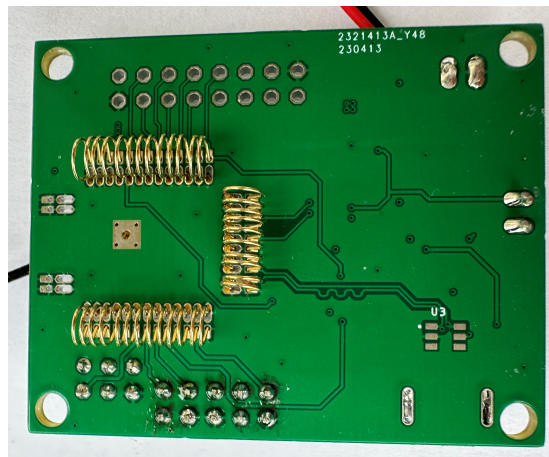
## A Vyhotovená DPS uzlu predná strana



Obr. A.5: Vyhotovená DPS uzlu predná strana

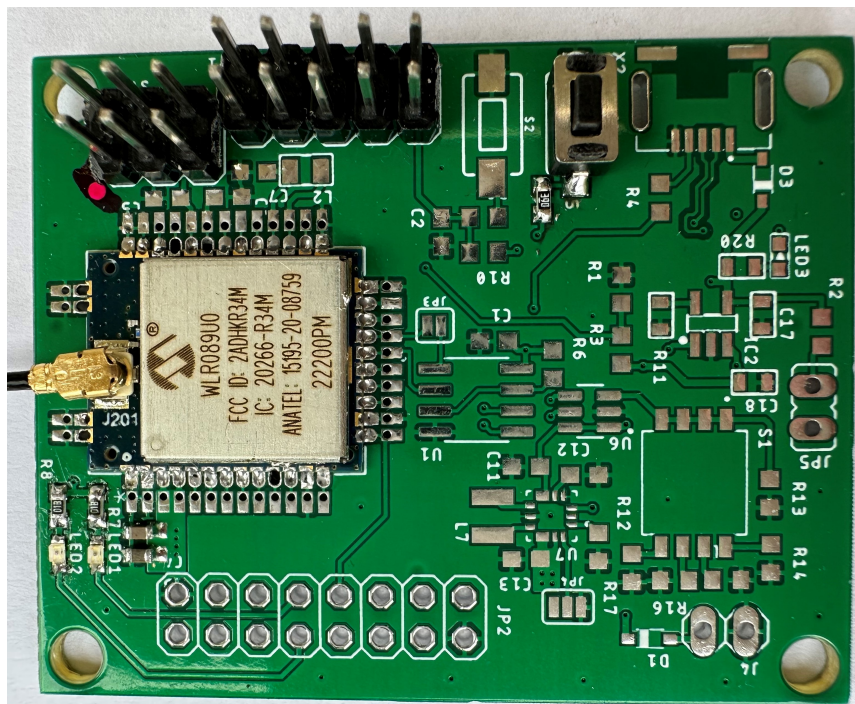


## A Vyhotovená DPS uzlu zadná strana



Obr. A.6: Vyhotovená DPS uzlu zadná strana

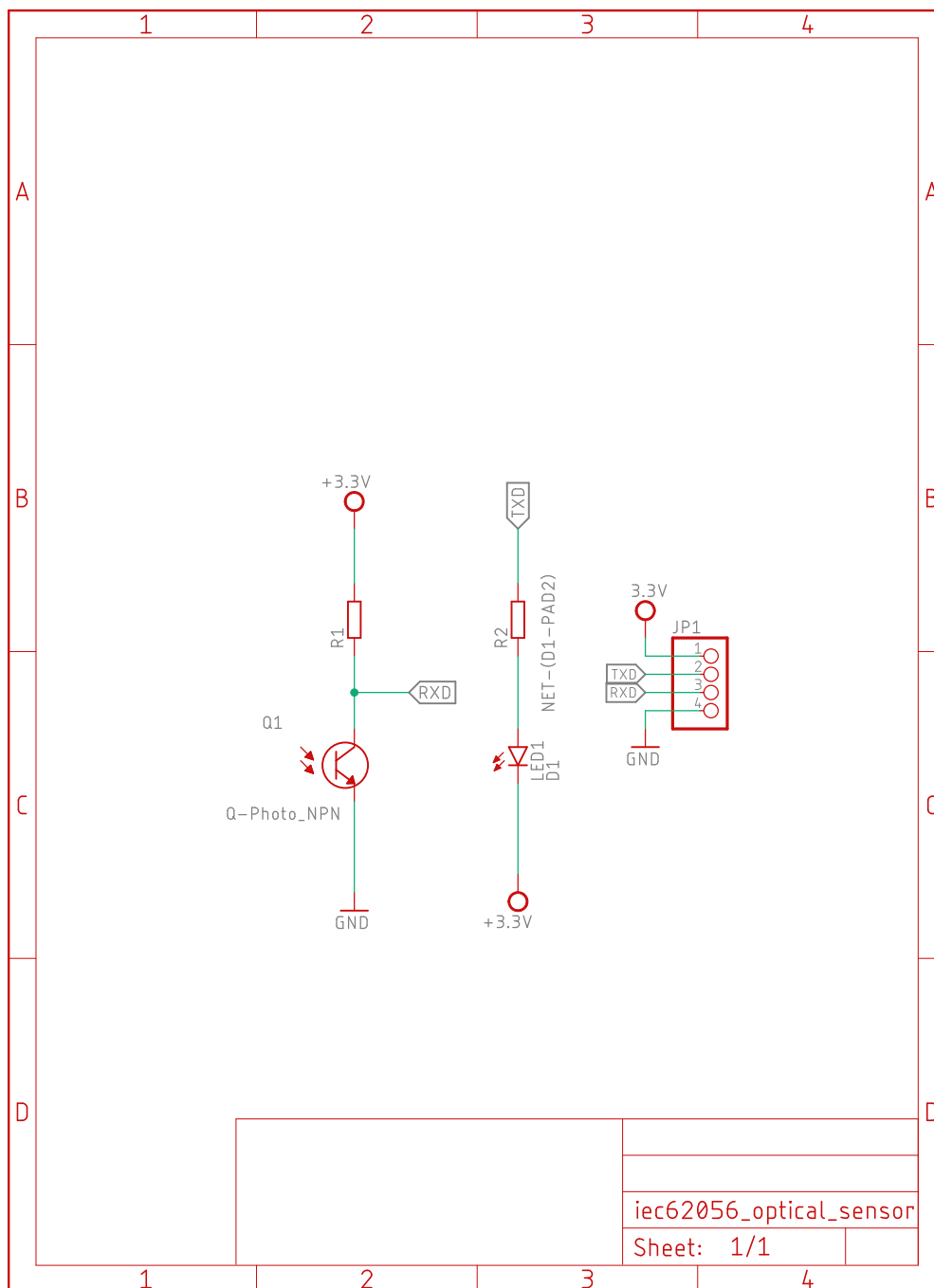
## A.5 Vyhotovená DPS modulu



Obr. A.7: Vyhotovená DPS modulu

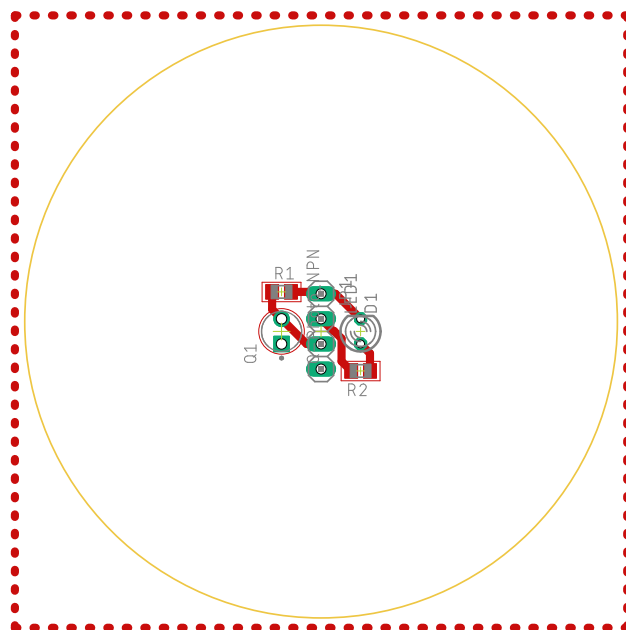
## B Schéma a zapojenie DPS senzoru

### B.1 Schéma DPS senzoru



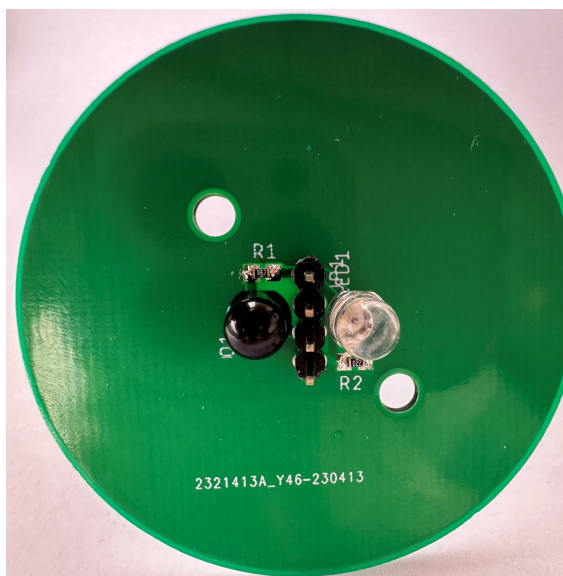
Obr. B.1: Schéma DPS senzoru sch

## B.2 Zapojenie DPS senzoru predná strana



Obr. B.2: Zapojenie DPS senzoru predná strana

## B.3 Vyhotovená DPS senzoru



Obr. B.3: Vyhotovená DPS senzoru