

Monitorování fyzikálních veličin pomocí sítí IoT

Stanislav Kaděrka

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Stanislav Kaděrka**
Osobní číslo: **A18211**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Monitorování fyzikálních veličin pomocí sítí IoT**
Téma práce anglicky: **Monitoring Physical Values Using IoT Networks**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte rešerši popisující aktuální stav internetu věcí (Internet of Things – IoT). Zaměřte se na bezdrátové přenosy dat a situaci v České republice.
2. Z různých hledisek srovnajte aktuálně dostupná řešení pro připojení k sítím IoT.
3. Navrhněte zařízení pro monitorování fyzikálních veličin s přenosem dat pomocí sítí IoT
4. Sestavte navržené zařízení a ověřte jeho funkčnost při monitorování vybrané fyzikální veličiny.
5. Vypracujte návod pro použití vytvořeného zařízení.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. AZIZ, Benjamin. *Engineering Secure Internet of Things Systems*. London: The Institution of Engineering and Technology, 2016, 1 online zdroj (xi, 259 stran): IET security series. ISBN 9781785610547. Dostupné také z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1351397&authtype=ip,shib&custid=s3936755>
2. BEHMANN, Fawzi a Kwok WU. *Collaborative internet of things (C-IOT): for future smart connected life and business*. Chichester: Wiley, 2015, xxi, 282 s. ISBN 9781118913741.
3. GILCHRIST, Alasdair. *Industry 4.0: the industrial internet of things*. New York: Apress, [2016], xiii, 250 s. ISBN 9781484220467.
4. *Sigfox.cz - Connecting Things* [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://sigfox.cz/cs>
5. *Objevte svět IoT – Pomůžeme vám využít internet věcí* [online]. [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://www.cra.cz/objevte-svet-iot>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Chalupa, Ph.D.**
Ústav řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2021**

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 15. ledna 2021

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Veselí nad Moravou, dne 5.5.2021

Stanislav Kaděrka v.r.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá fenoménem IoT (Internet of things – Internetu věcí) a bezdrátovými přenosy dat v sítích IoT. Cílem práce je popsat aktuální stav internetu věcí zejména v České republice a na základě získaných informací zvolit vhodné technické řešení pro připojení zařízení, které bude pomocí sítě IoT monitorovat libovolnou fyzikální veličinu.

Klíčová slova:

IoT, Internet věcí, bezdrátové sítě, LoRaWAN, SigFox, NarrowBand-IoT, Arduino, LoRa CRA

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the phenomenon of IoT (Internet of Things) and with wireless data transmission in IoT networks. The objective of this thesis is to describe the current state of the Internet of Things, especially in the Czech Republic, and based on the information obtained to choose a suitable technical solution for connecting device that will monitor any physical quantity using the IoT network.

Keywords:

IoT, Internet of things, wireless networks, LoRaWAN, SigFox, NarrowBand-IoT, Arduino, LoRa CRA

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Chalupovi, Ph.D. za odborné vedení, za konzultace, rady a zpětnou vazbu při zpracování této práce.

Dále děkuji Ing. Jaromírovi Novotnému a Ing. Jaromírovi Novotnému ml. za sdílení zkušeností, za pomoc a poskytnutí technického zázemí při realizaci hardware v praktické části práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 INTERNET VĚCÍ	11
1.1 DEFINICE POJMŮ.....	11
1.2 HISTORIE.....	12
1.3 SOUČASNOST – TRENDY A VYUŽITÍ.....	12
1.4 BEZPEČNOST.....	13
1.5 CLOUD COMPUTING.....	13
2 BEZDRÁTOVÉ PŘENOSY	14
2.1 2G / 3G.....	14
2.2 4G (LTE ADVANCED).....	14
2.3 5G.....	14
2.4 WI-FI.....	15
2.5 BLUETOOTH / BLE.....	15
2.6 ZIGBEE.....	15
2.7 WIRELESSHART.....	16
2.8 Z-WAVE.....	16
2.9 LoRAWAN.....	17
2.9.1 Obecné informace.....	17
2.9.2 RF pásmo.....	17
2.9.3 RF modulace.....	18
2.9.4 Formát zprávy.....	18
2.9.5 Zabezpečení.....	20
2.9.6 Vyšší vrstvy komunikace.....	21
2.9.6.1 Třídy zařízení.....	21
2.9.6.2 Aktivace koncových zařízení.....	22
2.9.7 LoRaWAN v České republice.....	23
2.10 SIGFOX.....	24
2.10.1 Obecné informace.....	24
2.10.2 RF pásmo.....	24
2.10.3 RF modulace.....	24
2.10.4 Formát zprávy.....	25
2.10.5 Zabezpečení.....	26
2.10.6 SigFox v České republice.....	26
2.11 NB-IoT.....	27
2.11.1 Obecné informace.....	27
2.11.2 RF pásmo.....	28
2.11.3 RF modulace.....	28
2.11.4 Formát zprávy.....	28
2.11.5 NB-IoT v České republice.....	29
3 SROVNÁNÍ SÍTÍ	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	32
4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ	33

4.1	ZVOLENÁ TECHNOLOGIE PŘENOSU	33
4.2	POUŽITÉ KOMPONENTY	33
4.2.1	Arduino Pro Mini 3,3V	34
4.2.2	Bezdrátový modul Microchip RN2483 + anténa	34
4.2.3	Modul s BME280	35
4.2.4	Teplotní čidlo D18B20	35
4.2.5	Stabilizátor napětí STLQ015M33R	35
4.2.6	Baterie 18650	36
4.2.7	Ostatní komponenty	37
4.3	SCHÉMA ZAŘÍZENÍ, NÁVRH A VÝROBA DPS	37
4.3.1	Schéma	37
4.3.2	Deska plošných spojů	38
4.4	NÁVRH A VÝROBA ŠASI	39
4.5	PROGRAM ZAŘÍZENÍ	40
4.5.1	Komunikace s BME280	40
4.5.2	Komunikace s DS18B20	40
4.5.3	Komunikace s RN2483A	41
4.5.4	Cyklus spánku	41
4.5.5	Měření stavu baterie	42
4.6	SPOTŘEBA ENERGIE	42
4.7	APLIKAČNÍ ČÁST	43
	ZÁVĚR	45
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	46
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55
	SEZNAM TABULEK.....	56
	SEZNAM PŘÍLOH.....	57

ÚVOD

Tato práce se zabývá Internetem věcí (IoT) a bezdrátovými přenosy dat v rámci IoT. Přesto, že tento pojem možná často nepoužíváme, každý z nás se s Internetem věcí nepochybně dennodenně setkává a těchto „věcí“ nepřetržitě využívá. Jedná se zkrátka o fenomén dnešní doby, ať už mluvíme o chytrých domácnostech, zařízeních monitorujících fyzickou aktivitu (fitness náramky), nových automobilech, nebo třeba celých „chytrých městech“. Během posledních dvaceti let tento sektor prošel obrovským vývojem a neustále se vyvíjí jak chytrá zařízení k Internetu věcí připojená, tak i samotné sítě, prostřednictvím kterých tato zařízení komunikují.

Smyslem této bakalářské práce je prozkoumat tuto oblast především z hlediska technického, konkrétně popsat různé možnosti přenosu dat v rámci IoT v České republice. Jelikož problematika IoT je velmi komplexní a obsáhlá, tato práce se soustředí jen na její malou část. Po stručném obecném úvodu k IoT, jsou zde popsány různé způsoby bezdrátového spojení „věcí“, kdy je důraz kladen především na nižší vrstvy ISO/OSI modelu, jelikož protokolů např. aplikační vrstvy se v IoT využívá skutečně mnoho. Práce se poté podrobněji zaměřuje na sítě z kategorie LPWAN (Low Power Wide Area Network) tedy na tři v Česku provozované IoT sítě NB-IoT, SigFox a LoRaWAN. Důkladně je popsána především poslední zmíněná síť LoRaWAN z důvodu jejího použití v praktické části.

Na základě teoretické části práce je zvoleno nejvhodnější technické řešení pro praktickou část, kdy úkolem je monitorovat libovolnou fyzikální veličinu pomocí vybrané IoT sítě. Při volbě vhodné sítě a návrhu zařízení je kladen důraz především na (geografickou) dostupnost řešení a s tím spojenou nízkou energetickou náročnost. Součástí praktické části je i návrh a výroba samotného zařízení a vytvoření návodu k jeho použití.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 INTERNET VĚCÍ

1.1 Definice pojmů

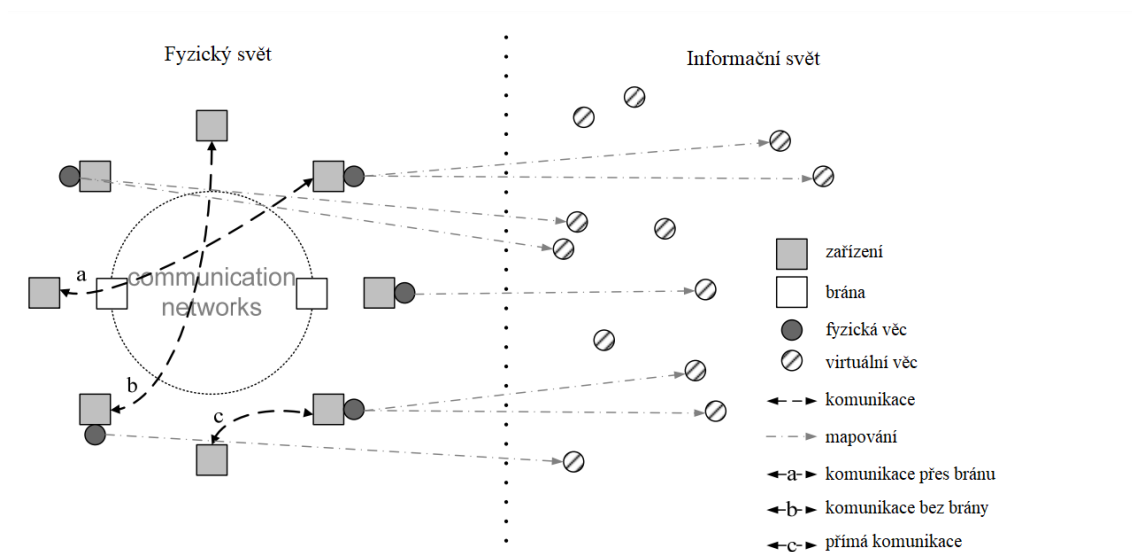
Nejprve si definujme pojem Internet věcí. Existuje mnoho výkladů tohoto pojmu. Mezinárodní Telekomunikační Unie (The International Telecommunication Union - ITU) říká, že **Internet věcí** je „Globální infrastruktura pro informační společnost, umožňující pokročilé služby pomocí propojení (fyzických a virtuálních) věcí na základě existujících a vyvíjejících se interoperabilních informačních a komunikačních technologií“. [1]

Věc je zde definována jako „Objekt fyzického světa (fyzická věc) nebo informačního světa (virtuální věc), který je možné identifikovat a integrovat do komunikačních sítí“ [1]

Jiná definice říká, že internet věcí jsou „Senzory a akční členy zabudované do fyzických objektů, propojené prostřednictvím kabelových a bezdrátových sítí“. [2]

„Internet věcí je systém vzájemně propojených výpočetních zařízení, mechanických a digitálních strojů, předmětů, zvířat nebo lidí, kterým jsou poskytovány jedinečné identifikátory (UID) a schopnost přenášet data po síti bez požadavku interakcí lidí, nebo člověka s počítačem.“ [3]

Obecně tedy můžeme říci, že Internet věcí je síť různých zařízení, které pomocí senzorů shromažďují data o svém stavu. Tato data jsou poté analyzována a dále využívána. Tato komunikace může fungovat i opačným směrem, tedy „věci“ umí data nejenom odesílat, ale i přijímat a na základě informací o jejich stavu je tedy možné je i vzdáleně ovládat.



Obrázek 1. Technický přehled IoT [1]

1.2 Historie

I když název Internet věcí zazněl poprvé až v roce 1999, první zařízení, které do této kategorie spadalo, se objevilo již v roce 1982 na univerzitě Carnegie Melon. Speciálně upravený automat na Coca-Colu dokázal díky připojení k Internetu hlásit, zda je v něm dostatek nápojů a jakou mají teplotu.

Pojem Internet věcí poprvé použil a popsal Kevin Ashton, kdy při prezentaci pro firmu Procter & Gamble formuloval myšlenku, že doposud byly všechny informace na internetu závislé na lidech. „Kdybychom měli počítače, které by shromažďovaly veškerá dostupná data o daných věcech bez jakékoli pomoci od nás, byli bychom schopni vše sledovat a počítat a výrazně snížit plýtvání, ztráty a náklady. Věděli bychom, kdy je třeba věci vyměnit, opravit nebo doplnit a zda jsou čerstvé nebo překročily datum spotřeby či trvanlivosti.“ [4] Ashton věřil, že předpokladem pro IoT je radiofrekvenční identifikace (RFID). Pokud budou všechna zařízení označena, můžou být inventarizována, sledována a spravována pomocí počítače.

1.3 Současnost – trendy a využití

Jak již bylo řečeno, Internet věcí se prakticky stal nedílnou součástí našich životů a setkáváme se s ním denně v různých odvětvích. IoT podle těchto odvětví můžeme rozčlenit do pěti různých kategorií: [5]

- **Consumer IoT**, neboli spotřebitelský IoT, se kterým se většina lidí setkává nejčastěji. Obsahuje různé osobní zařízení (např. chytré hodinky), ale i chytré domácnosti (např. ovládání světel), chytré asistenty atd.
- **Commercial IoT**, tedy komerční IoT zahrnuje využití zařízení IoT v obchodech, kancelářích, skladech, hotelech, ve zdravotnictví a mnoha dalších komerčních odvětvích.
- **Industrial IoT** je pravděpodobně aktuálně nejdynamičtěji rozvíjejícím se odvětvím IoT, jelikož je velmi úzce spjatý s pojmem Průmysl 4.0. Týká se aplikací IoT v průmyslu, tedy např. v automatizaci výroby, zemědělství, zdravotnictví, logistiky a mnoha dalších.
- **Infrastructure IoT** se zabývá vývojem inteligentních infrastruktur, které využívají aplikací IoT za účelem zvýšení efektivity a úspor nákladů. Patří sem například řízení dopravy, chytrá města atd.
- **Military IoT**, neboli IoMT (Internet of Military Things), zahrnuje využití IoT ve vojenském prostředí. Zaměřuje se především na zvyšování situačního povědomí, posílení

hodnocení rizik a zkrácení doby odezvy. Mezi běžné aplikace IoMT patří propojení lodí, letadel, tanků, vojáků, dronů atd., díky čemuž produkuje data využitelná ke zlepšení vojenských postupů, systémů, vybavení a strategie.

1.4 Bezpečnost

Spolu s mnoha společenskými, ekologickými a ekonomickými výhodami představuje rychle se rozvíjející propojený svět rostoucí bezpečnostní rizika a prostor k různým útokům. Ruku v ruce s rozvojem trendu IoT tedy musí jít i potřeba jeho vhodného zabezpečení. Otázka bezpečnosti je mimo jiné důležitá proto, že součástí IoT jsou i zařízení a aplikace spadající pod kritickou infrastrukturu.

Tato práce se širokou problematikou bezpečnosti IoT zabývá pouze okrajově, převážně na úrovni šifrování přenášených dat na různých vrstvách sítě.

1.5 Cloud computing

Nedílnou součástí Internetu věcí je tzv. cloud computing. Cloud může být definován jako centralizovaný systém poskytování služeb a programů servery dostupnými z Internetu.

Koncová zařízení IoT často mívají z důvodu nízké spotřeby energie mizivý výpočetní výkon, proto je potřeba infrastrukturu pro ukládání, zpracování a analýzu dat provozovat na jiném zařízení. U sítí malého rozsahu (typicky chytrá domácnost) se tato infrastruktura často nachází v místě provozu sítě. Nicméně u rozlehlých sítí je využití cloudových služeb v podstatě nutností. Data ze zařízení jsou nejprve zpracovány síťovými servery a následně jsou směrována často právě do cloudu provozovatele sítě.

2 BEZDRÁTOVÉ PŘENOSY

2.1 2G / 3G

Druhá a třetí generace mobilních sítí, tedy sítě GSM (Global System for Mobile communication) a UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) spadají do kategorie sítí WWAN (Wireless Wide Area Network) a jsou primárně určeny pro připojení mobilních telefonů. Tyto sítě jsou již technologicky překonány a v mnoha zemích jsou mobilními operátory vyřazovány z provozu.

V České republice jsou momentálně (duben 2021) provozovány tři 2G sítě (převážně pro hlasové služby) a dvě 3G sítě, jejichž vypnutí je plánováno do konce roku 2021. [6] Z uvedených důvodů je význam těchto sítí pro IoT nyní již spíše marginální.

2.2 4G (LTE Advanced)

LTE (Long Term Evolution) Advanced je čtvrtou generací mobilních sítí typu WWAN, která slouží především pro vysokorychlostní připojení mobilních zařízení k internetu. Pro 4G síť je definováno celkem 88 frekvenčních pásem [7], maximální přenosová rychlost dosahuje až 1 GBps. 4G sítě jsou již hojně využívány i k připojení různých zařízení, u kterých je zapotřebí rychlý a kontinuální přenos dat a není nutné řešit energetickou náročnost.

V České republice jsou 4G sítě provozovány třemi mobilními operátory v celkem pěti pásmech v rozmezí od 800 do 2600 MHz.

Úzká část pásma této sítě je používána pro provoz sítě NarrowBand-IoT, která se samostatně popsaná v kapitole 2.11).

2.3 5G

Sítě s označením 5G, jež jsou technickým nástupcem mobilních WWAN čtvrté generace, jsou považovány za revoluci nejen v IoT, ale i v mnoha dalších odvětvích. Nabízí mnohonásobně rychlejší datový přenos, kratší odezvy a možnost připojit více zařízení, což teoreticky otevírá nové možnosti pro různé aplikace, jako je autonomní řízení automobilů, průmysl 4.0, chytrá města atd. Budování sítí páté generace je v této době ve velmi rané fázi, která je navíc, jelikož se jedná o kritickou infrastrukturu, mnohdy bržděna geopolitickými aspekty. První komerční 5G síť byla spuštěna v roce 2019 v Jižní Koreji. [8]

V ČR buduje 5G sítě celkem 5 subjektů ve frekvenčních pásmech 700 MHz a 3,5 GHz. Klíčové pásmo 700 MHz využívají tři mobilní operátoři, aktuálně je pokryto pouze malé procento území, převážně jde o části velkých měst. [9][10]

2.4 Wi-Fi

Názvem Wi-Fi je označována rodina bezdrátových standardů spadající do kategorie WLAN (Wireless Local Area Network), která vznikla primárně jako bezdrátová alternativa k ethernetu. Je definována normou IEEE 802.11, která se od roku 1997 s rostoucími požadavky na počet připojených zařízení a přenosovou rychlost neustále vyvíjí – aktuálně jsou běžně dostupné zařízení podporující standard 802.11ax s označením Wi-Fi 6 (tedy 6. generace). Wi-Fi pracuje v bezlicenčních pásmech 2,4 GHz a 5GHz. Teoretická maximální přenosová rychlost u standardu 802.11ax je až 9,6 Gbps. Wi-Fi síť je v dnešní době běžnou součástí mnoha domácností, což mimo původního účelu připojení osobních zařízení (laptopy, mobilní telefony) dává prostor i k připojení různých zařízení z kategorie IoT, např. chytrých spotřebičů.

2.5 Bluetooth / BLE

Bluetooth je prvním zástupcem z kategorie WPAN, tedy Wireless Personal Area Network s dosahem do 100 m (až 400 m u verze 5.0). Jde o otevřený standard pro bezdrátovou komunikaci, definovaný normou IEEE 802.15.1 a původně byl vyvinut v roce 1994 firmou Ericsson. Od té doby prošla tato technologie dlouhým postupným vývojem až k aktuální verzi 5.0 a stala se nedílnou součástí mnoha mobilních zařízení. Bluetooth pracuje v bezlicenčním pásmu 2,4 GHz a jeho maximální přenosová rychlost je 3 Mbps. [11]

Od verze 4.0 bluetooth definuje také novou kategorii – BLE (Bluetooth Low Energy). Již z názvu je patrné, že toto řešení se zaměřuje na nízkou spotřebu energie a je tedy určeno IoT aplikace, které nevyžadují vysokou přenosovou rychlost a nepřetržitý přenos dat. BLE je hojně využíván například u chytrých hodinek, fitness náramků a jiných periférií připojených k mobilním telefonům.

2.6 ZigBee

ZigBee je další z bezdrátových technologií spadající do kategorie WPAN. Je postavena na normě IEEE 802.15.4 a její standardizaci zastřešuje Zigbee Alliance (aktuální verze specifikace r21 je z roku 2015). Technologie funguje v bezlicenčním frekvenčním pásmu 2,4 GHz. Jelikož je i zde kladen velký důraz na nízkou energetickou náročnost, maximální přenosová

rychlost činí pouhých 250 kbps. ZigBee nachází v IoT uplatnění zejména v automatizaci a řízení budov, jak obytných, tak i průmyslových a to především díky topologii sítě mesh, dosahu jednotlivých zařízení v desítkách metrů, šifrování AES-128 v síťové i aplikační vrstvě a možnosti propojit tisíce zařízení. [12]

2.7 WirelessHART

Technologie WirelessHART má velmi podobné rysy, jako již zmíněná technologie ZigBee. Stejně jako ZigBee využívá frekvenčního pásma 2,4 GHz, přenosová rychlost je 250 kbps, tvoří topologii mesh a její fyzická vrstva je definována normou IEEE 802.15.4. Vyšší vrstvy se již od ZigBee liší a jsou popsány specifikací IEC 62591. Základními rozdíly jsou jiná metoda přístupu na linkové vrstvě (TDMA – Time Division Multiple Access) a podpora automatického přepínání mezi 16 kanály nosné frekvence. Výhody této technologie jsou vyváženy její vyšší energetickou náročností. [13]

2.8 Z-Wave

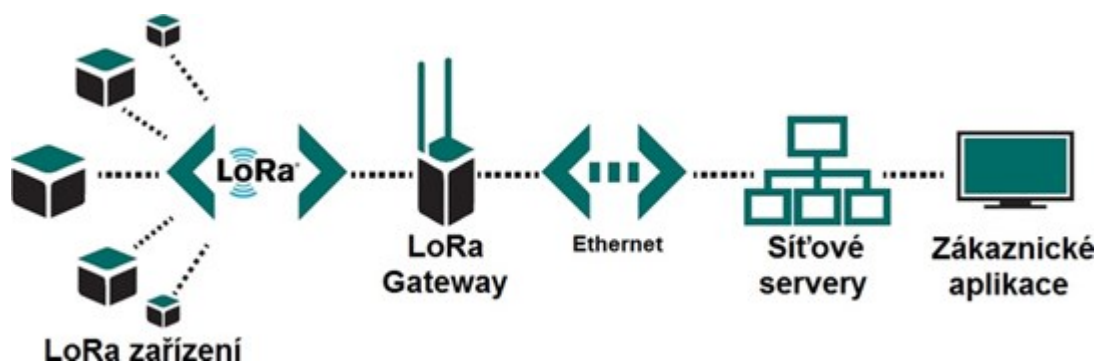
Z-Wave je další z komunikačních protokolů kategorie WPAN a s topologií sítě mesh, který je využíván především v pro budování inteligentních domácností. Původně byl vyvinut v roce 1999 společností Zensys, postupem času jej začaly využívat i další firmy, což vedlo k založení Z-Wave Alliance, která dnes protokol zastřešuje. Z-Wave využívá bezlicenčních frekvencí pod hranicí 1 GHz (pro Evropu 868 Mhz), což zvyšuje jeho odolnost proti rušení, zejména díky menšímu zatížení tohoto pásma (ve srovnání s hojně využívaným pásmem 2,4 GHz). Maximální přenosová rychlost je 100 kbps, pro zabezpečení je využito šifrování AES-128. [14]

2.9 LoRaWAN

2.9.1 Obecné informace

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) je prvním ze tří zástupců kategorie LPWA sítí. Jde o otevřené řešení, využívající rádiové komunikace v bezlicenčním pásmu pro přenos malého množství dat na velkou vzdálenost, řádově jednotky až desítky kilometrů v závislosti na terénu. Síť má topologii star-of-stars (hvězda hvězd), kdy se koncová zařízení připojují k bránám, které zprostředkovávají předání zprávy centrálnímu serveru. Umožňuje obousměrnou komunikaci. Rychlost přenosu se pohybuje v rozmezí 250 bps až 50 kbps. Hlavním cílem přenosu v této síti je co nejmenší energetická náročnost koncových zařízení, kdy zařízení vysílající několikrát denně může mít životnost baterie řádově v letech v závislosti na četnosti vysílání a přijímání dat. [15]

Za touto technologií stojí více subjektů, které sdružuje LoRa Alliance. LoRa Alliance je autorem specifikace LoRaWAN (aktuálně ve verzi 1.0.4 z října 2020), která popisuje komunikační protokol mezi koncovými zařízeními v síti a základovými stanicemi (tzv. branami - LoRa Gateway) na linkové vrstvě ISO/OSI modelu.



Obrázek 2. Architektura LoRaWAN [20]

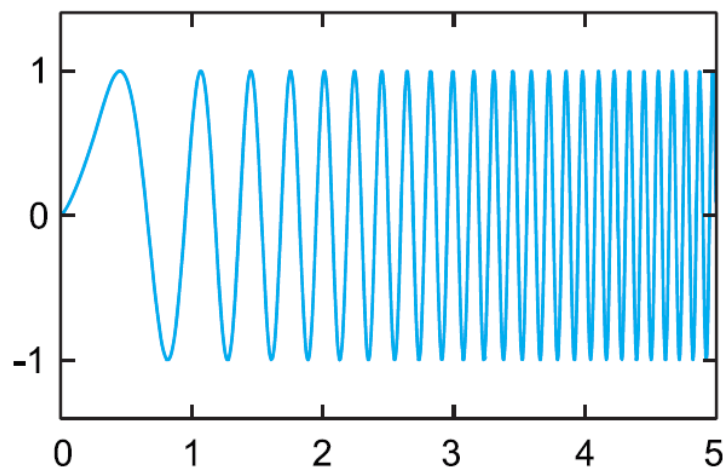
2.9.2 RF pásmo

Technologie LoRa pracuje v ISM (industrial, scientific and medical) bezlicenčním pásmu, tedy v pásmu, kde je možno používat homologovaná zařízení bez licenčních poplatků, komunikace v tomto pásmu s sebou ovšem nese určitá omezení. Maximální použitelný vysílací výkon koncového zařízení je omezen na 25 mW. Zařízení také může ke komunikaci využít pouze 1 % celkového času, tedy například během jedné hodiny provozu může komunikovat 36 sekund, zbytek času musí být nečinné. [16]

Pro LoRa v Evropě jsou stanoveny tři komunikační kanály na frekvencích 868,1 MHz, 868,3 MHz a 868,5 MHz, šířka pásma je 125 kHz, nebo 250 kHz. [17]

2.9.3 RF modulace

Fyzická vrstva LoRa, která je patentovaná firmou Semtech, je založená na Chirp modulaci, využívající techniky rozprostřeného spektra (CSS – Chirp Spread Spectrum). „Při použití CSS modulace je generován takzvaný chirp signál, který lineárně s časem zvyšuje svoji frekvenci od spodní hranice pásma po horní hranici pásma (chirp-up), anebo svoji frekvenci snižuje (chirp-down). Po dosažení horní hranice se frekvence vrací na spodní hranici a proces se opakuje. Na tento signál je následně přerušováním (chirp) modulována přenášená informace.”[19] Díky tomu, že změna frekvence při chirp modulaci neprobíhá skokově, nýbrž lineárně, je umožněna komunikace více zařízení zároveň na stejném kanálu a vysílání je odolné proti Dopplerovu jevu. [17][19]

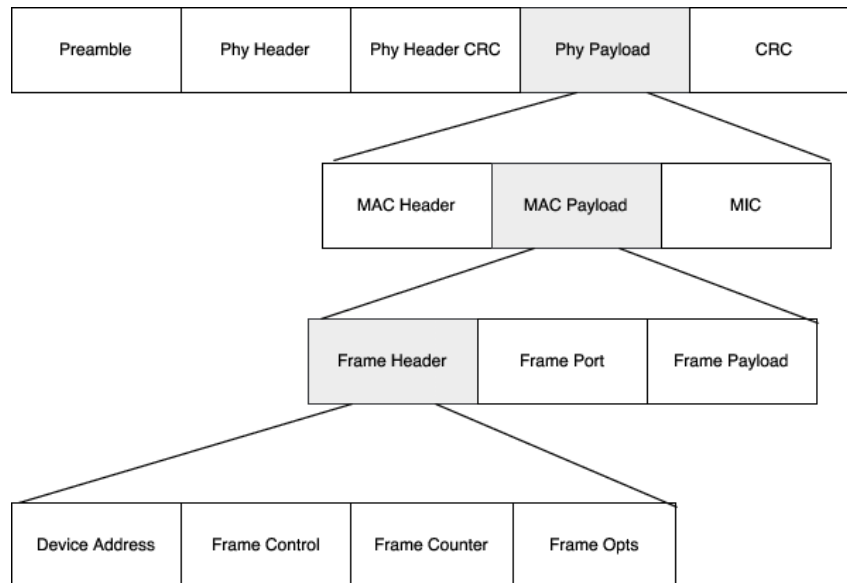


Obrázek 3. Signál (chirp-up) modulovaný technikou CSS v časové oblasti [18]

Hlavním parametrem LoRa modulace je tzv. faktor rozptření (SF – Spreading Factor), který nabývá hodnot od 7 do 12. Změna tohoto faktoru ovlivňuje maximální vzdálenost, na kterou je zařízení schopné komunikovat, na úkor přenosové rychlosti. [17]

2.9.4 Formát zprávy

Formát LoRaWAN zprávy je znázorněn na Obrázek 4, kdy jednotlivé řádky odpovídají různým vrstvám komunikace. V dalším textu budou jednotlivé vrstvy popsány v analogii k referenčnímu modelu ISO/OSI.



Obrázek 4. Formát zprávy LoRaWAN [25]

Fyzická vrstva

První řada Obrázek 4 znázorňuje fyzickou vrstvu PHY. Rámec fyzické vrstvy se skládá z úvodu (Preamble) zajišťující synchronizaci přijímače s příchozím datovým tokem a definuje nastavení modulace. Následuje hlavička rámce (Phy Header) a její kontrolní součet (Phy Header CRC), zajišťující její integritu. Hlavička (s kontrolním součtem) má délku 20 bitů a obsahuje informace o kódování zbytku rámce, délce Phy Payload (datového pole na fyzické vrstvě) a o přítomnosti 16 bitů dlouhého kontrolního součtu Phy Payload (CRC), který je obsažen pouze v uplink zprávách. [21][22]

Linková vrstva

Na druhé řadě Obrázek 4 je popsána linková vrstva MAC a jak z obrázku vyplývá, paket této vrstvy je zapouzdřen uvnitř Phy Payload vrstvy fyzické. MAC paket je složen z 1 byte dlouhé hlavičky (MAC Header), která specifikuje použitou verzi protokolu, typ zprávy (datová nebo řídicí), zda se jedná o uplink či downlink a zda má být přijetí zprávy potvrzováno. Následuje MAC datové pole (MAC Payload) o délce závislé na nosné frekvenci a datovém toku (minimálně 7 byte). Na konci MAC paketu je 4 bity dlouhý MIC (Message Integrity Code), vypočítaný z MAC Header a MAC Payload za pomoci klíče relace (NwksKey, popsán v kapitole 2.9.5), sloužící k ověření integrity celého paketu. [21][22]

Aplikační vrstva

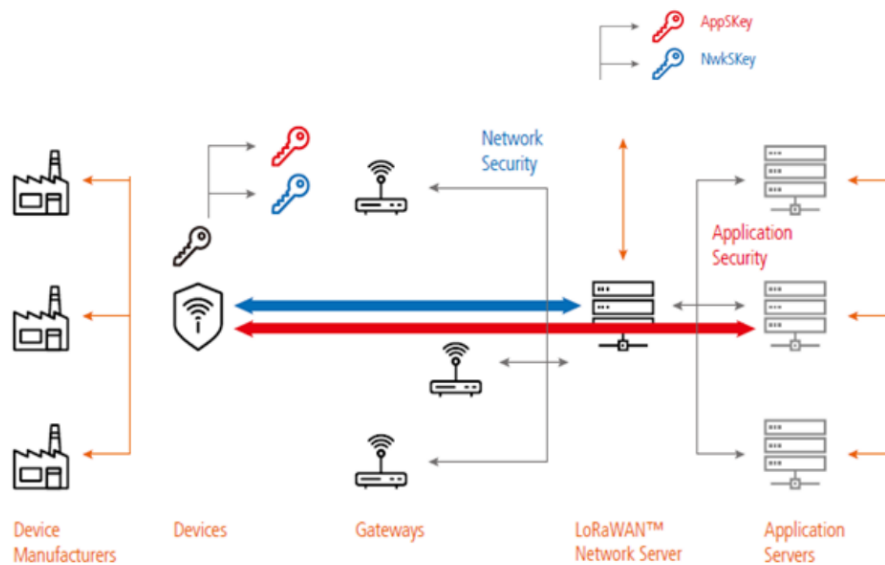
Poslední dvě řady Obrázek 4 popisují datový rámec aplikační vrstvy zprávy zapouzdřený uvnitř MAC datového pole linkové vrstvy. Datový rámec začíná hlavičkou (Frame Header).

Tato hlavička obsahuje adresu zařízení (Device Address) o velikosti 4 byty, 1 řídicí byte datového rámce (Frame Control), 2-bytový čítač rámců (Frame Counter) a 0 – 15 bytů dlouhé nastavení parametrů (Frame Opts), např. pro změnu datového toku, či vysílacího výkonu. Následuje volitelný parametr portu (Frame Port), který určuje typ aplikace. Rámec je zakončen datovým polem (Frame Payload), tedy samotnými daty, šifrovanými pomocí klíče aplikační relace (AppSKey, popsán v kapitole 2.9.5). [21][22]

2.9.5 Zabezpečení

Specifikace LoRaWAN definuje několik identifikátorů pro zařízení. Každé koncové zařízení má unikátní 64-bitový identifikátor DevEUI (Device Identifier), který zařízení přiděluje výrobce (případně vývojář). Přidělování rozsahů těchto identifikátorů je v kompetenci IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Dále je pro komunikaci využíván 32-bitový identifikátor AppEUI (Application Identifier), který jednoznačně určuje poskytovatele aplikace pro koncové zařízení. [42]

Kryptografické zabezpečení probíhá za použití algoritmu AES (Advanced Encryption Standard) s délkou klíče 128 bitů, který pracuje v provozním čítačovém režimu (CTR - Counter mode). LoRaWAN používá různé klíče na různých vrstvách komunikace, což je znázorněno na Obrázek 5. Za pomoci 128-bitového aplikačního klíče (AppKey) jsou vygenerovány dva relační klíče – klíč síťové relace NwkSKey (Network Session Key) a klíč aplikační relace AppSKey (Application Session Key). Klíč síťové relace je sdílen jak koncovým zařízením, tak serverem a slouží k vytvoření a ověření kódu integrity zprávy (MIC – Message Integrity Code). Klíč aplikační relace slouží k šifrování a dešifrování datové části posílané zprávy. LoRaWAN vytváří klíčové proudy za pomoci těchto dvou klíčů (AppSKey a NwkSKey) a čítačů přijímaných a odesílaných zpráv. Každá zpráva je poté zašifrována pomocí operace XOR s odpovídajícím klíčem z klíčového proudu. Nevýhodou tohoto řešení je, že po šifrování zůstává délka datové části zprávy stejná. Tato skutečnost může být v kombinaci s přečtením čítačů zneužita k rekonstrukci proudu klíčů a tedy k prolomení šifrování. [42]



Obrázek 5. Architektura LoRaWAN se znázorněním zabezpečení [43]

2.9.6 Vyšší vrstvy komunikace

Vyšší vrstvy komunikace jsou definovány specifikací LoRaWAN. Struktura zprávy na MAC vrstvě a na vrstvě aplikační již byla popsána v kapitole Formát zprávy, v této kapitole jsou popsány důležité prvky komunikace, jako třídy koncových zařízení a způsoby jejich aktivace.

2.9.6.1 Třídy zařízení

LoRaWAN rozlišuje tři takzvané třídy připojených zařízení:

Třída A

Jedná se o základní třídu, která musí být podporována všemi koncovými zařízeními. Komunikace je vždy iniciována koncovým zařízením a je plně asynchronní. Zařízení může vysílat kdykoliv (uplink), přičemž každé vysílací okno je následováno jedním či dvěma krátkými přijímacími okny (downlink), které slouží buď k přenosu síťových příkazů, nebo k možnosti oboustranné komunikace. Zařízení může opět vysílat až po úspěšném příjmu paketu v přijímacím okně 1 (resp. 2), nebo po vypršení časové platnosti druhého okna. Výhodou této třídy je nejnižší spotřeba energie, kdy síť nevyžaduje pravidelné vysílání, tedy zařízení může po vysílání vstoupit do režimu nízké spotřeby energie na libovolnou dobu definovanou jeho programem. [21]

Třída B

Na rozdíl od zařízení třídy A, může zařízení otevřít v plánovaný čas další přijímací okna. Zařízení je pomocí brány časově synchronizováno se serverem, což umožňuje serveru vědět, kdy má zařízení otevřeno přijímací okno. [21]

Třída C

Zařízení otevírá přijímací okna vždy, pokud zrovna nevysílá. Tato třída je energeticky nejnáročnější, ale nabízí nejmenší zpoždění při komunikaci ze serveru na koncové zařízení. [21]

2.9.6.2 Aktivace koncových zařízení

Pokud má zařízení komunikovat v síti LoRaWAN, musí nejprve projít aktivačním procesem, při kterém dochází ke sdílení relačních klíčů NwkSKey AppSKey. Specifikace definuje dvě metody aktivace.

OTAA

Při použití metody Over-The-Air Activation (Aktivace vzduchem) zařízení před samotným vysláním vyšle požadavek na připojení (Join-request). Tento požadavek obsahuje DevEUI a AppEUI zařízení a 2-bytovou kryptografickou nonci zařízení DevNonce, která musí být v následujícím požadavku vždy změněna, čímž je zabráněno opakovanému úspěšnému použití odposlechnutého požadavku. Za pomoci aplikačního klíče AppKey, který je mezi koncovým zařízením a síťovým serverem předsdílen, je vypočítán kód MIC. Požadavek není nijak šifrován. Jakmile síťový server požadavek obdrží, ověří předchozí neexistenci zaslané DevNonce a následně ověří hodnotu MIC. Při úspěšném ověření server vygeneruje NwkSKey a AppSkey a odešle je spolu s dalšími informacemi (AppNonce – slouží k vytvoření klíčů, NetID – identifikátor sítě, DevAddr – adresa zařízení v síti) a parametry komunikace (DLSettings, RxDelay, CFList) na zařízení v tzv. Join-accept zprávě, která je zašifrována pomocí AppKey. Koncové zařízení tuto zprávu přijme, dešifruje a tím získá údaje potřebné pro další komunikaci. [21][23]

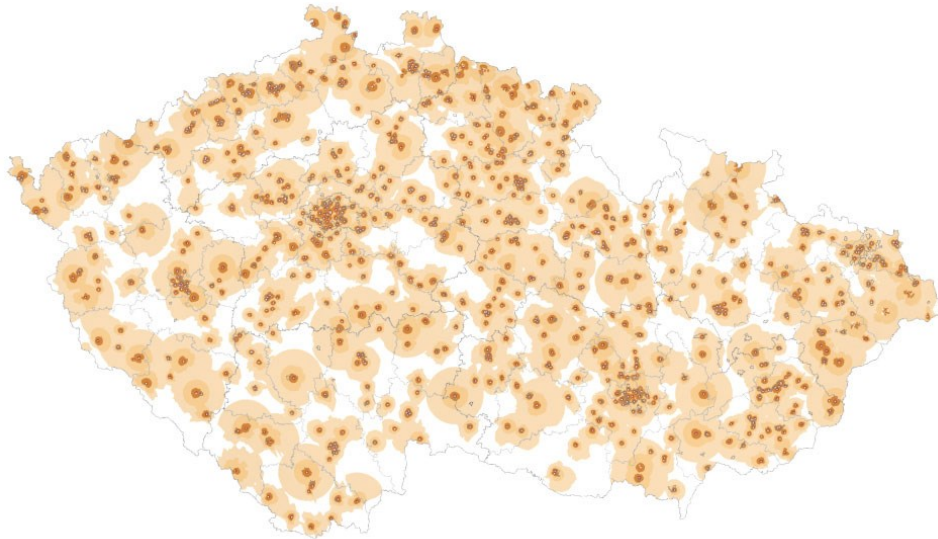
ABP

Activation by personalization (aktivace přizpůsobením) umožňuje připojení zařízení bez použití procedury join request – join accept, díky provázání koncového zařízení s konkrétní LoRaWAN sítí. Při použití této metody jsou všechny údaje potřebné ke komunikaci, tedy DevAddr, NwkSKey a AppSkey, již uloženy v koncovém zařízení i na síťovém serveru a jsou neměnné. [21]

2.9.7 LoRaWAN v České republice

LoRa CRA

V české republice technologii LoRaWAN používají České radiokomunikace, které využily své stávající infrastruktury vysílačů a díky té aktuálně pokrývají asi 80 % území České republiky.



Obrázek 6. Mapa pokrytí LoRaWAN v české republice (červen 2020) [26]

Služby IoT v LoRa CRA jsou komerčním produktem, výsledné náklady na provoz určuje počet připojených koncových zařízení a počet příchozích a odchozích zpráv na tato zařízení, případně počet API požadavků. V základní variantě s limitem 10000 uplinků za měsíc a ročním závazkem lze připojit 10 zařízení za cenu zhruba 240,- Kč měsíčně. [24]

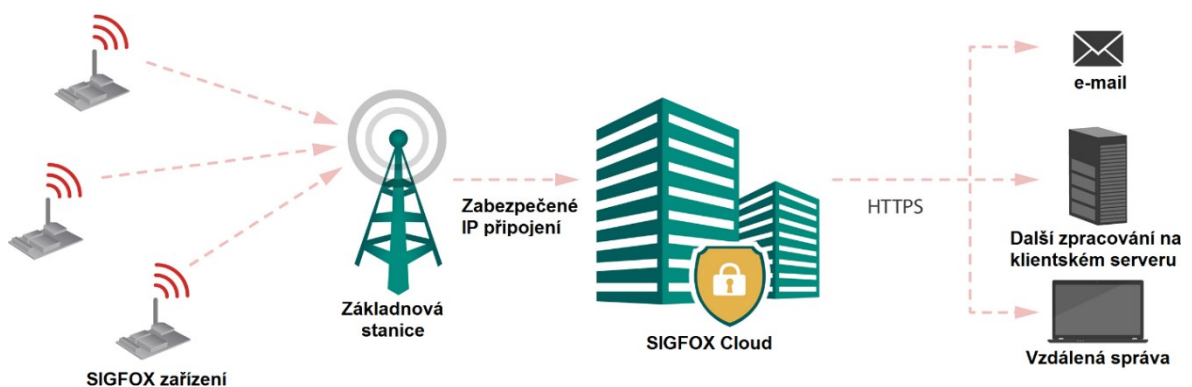
The Things Network

The Things Network (TTN) je celosvětové otevřené komunitní LoRaWAN řešení. TTN je členem LoRa Aliance. Jednotlivé brány provozují uživatelé této služby, momentálně v síti pracuje celosvětově zhruba 18 tisíc bran ve 151 zemích. Počet přijímaných a odesílaných zpráv v síti není nijak omezen a provoz koncových zařízení je tedy zdarma. V České republice je TTN zatím velmi málo rozšířená, jelikož geografické umístění bran není nijak koordinováno, pokryty jsou převážně centra větších měst. Nicméně přidání vlastní brány pro pokrytí požadované oblasti je velmi jednoduché a pořizovací náklady na hardware jsou kompenzovány nulovými paušálními náklady na provoz. Více informací o této síti lze nalézt na adrese www.thethingsnetwork.org. [27]

2.10 SigFox

2.10.1 Obecné informace

SigFox je dalším zástupcem kategorie LPWAN sítí, i u něj je kladen důraz především na nízkou energetickou náročnost při dosahu v řádu jednotek až desítek kilometrů. Jde o mezinárodní síť, která je zastřešována francouzskou společností SigFox a díky partnerským operátorům této firmy je aktuálně provozována v 73 zemích světa. Síť je založena na topologii hvězda (star), každá základová stanice (SigFox gateway) pokrývá určenou oblast. Rychlost přenosu dat je pouhých 100 bps (uplink), resp. 600 bps (downlink) Na rozdíl od LoRaWAN se nejedná o otevřenou technologii a zprávy přijaté bránami putují vždy do síťových severů v SigFox Cloudu. Z cloudu je možné následně data přeposílat do zákaznické platformy. [28][30]



Obrázek 7. Architektura SigFox [20]

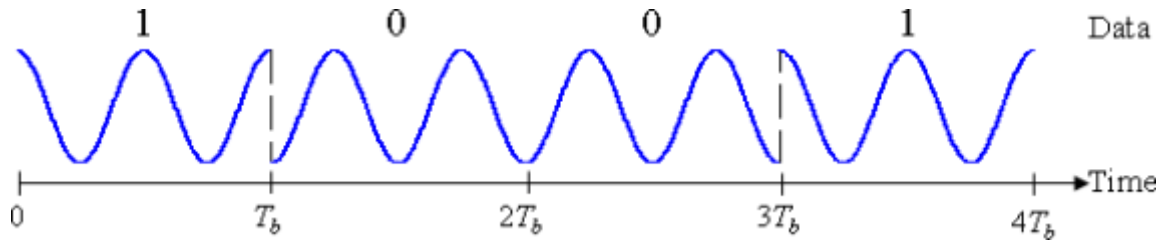
2.10.2 RF pásmo

SigFox, stejně jako LoRaWAN, pracuje v ISM pásmu, tedy s sebou nese také stejná omezení jak vysílacího výkonu koncového zařízení (25 mW), tak poměrné časové délky (můžeme použít termín střídy) komunikace (1 %)

Pro SigFox jsou v Evropě stanoveny dva komunikační kanály a to 868,13 MHz pro uplink a 869,525 MHz pro downlink. Šířka pásma je 200 KHz. [31]

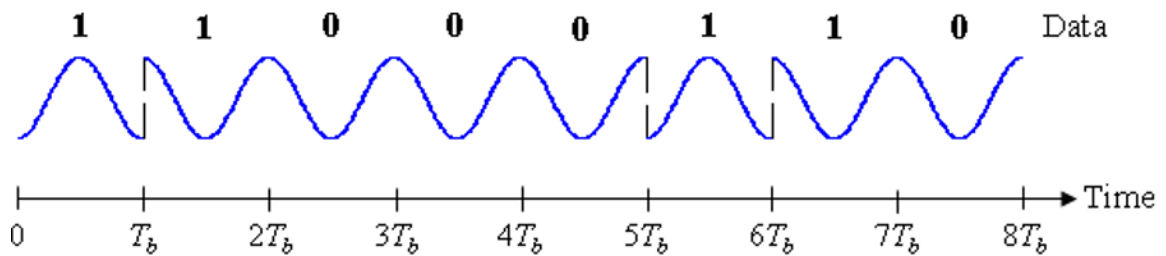
2.10.3 RF modulace

RF modulace fyzické vrstvy sítě SigFox je založená na binárním klíčování s fázovým posunem (BPSK – Binary Phase-shift Key) Při této modulaci je u velmi úzkých kousků frekvenčního spektra měněna fáze nosné rádiové vlny, čímž jsou kódována data. Brána tak přijímá signál v malém kousku spektra, takže je signál odolnější proti vyšším úrovním šumu. [32]



Obrázek 8. Kódování BPSK [32].

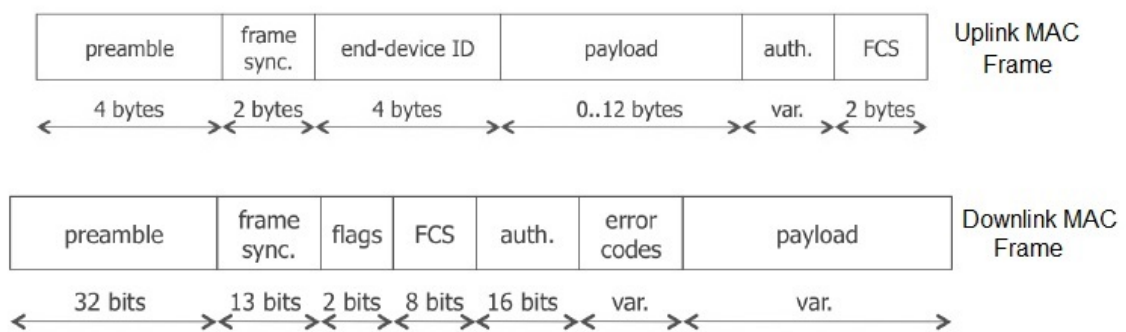
SigFox využívá rozšířenou metodu této modulace, diferenciální binární klíčování s fázovým posunem (DBPSK – Differential Binary Phase-shift Key) (Obrázek 9). Na rozdíl od BPSK, kde datům odpovídá konkrétní fáze signálu (což je patrné z Obrázek 8), u DBPSK data způsobují určitou změnu fáze. [32]



Obrázek 9. Kódování DBPSK [33]

2.10.4 Formát zprávy

SigFox zprávu lze opět rozdělit na vrstvy analogicky k referenčnímu modelu ISO/OSI. Velikost celého uplink rámce je 26 bytů.



Obrázek 10. Formát uplink a downlink zprávy SigFox [34]

Fyzická vrstva

Fyzický rámec vrstvy PHY obsluhuje MAC rámec při přijímání a odesílání dat, zajišťuje jeho modulaci a deomodulaci a přidává či odebírá ze zprávy preambuli, pro zajištění synchronizace komunikace. [34]

Linková vrstva

Složení rámce MAC vrstvy zprávy je znázorněno na Obrázek 10. Rámec obsahuje preambuli a dvoubytový synchronizační rámec pro synchronizaci komunikace, ID koncového zařízení, datové pole (aplikační vrstvy), autentikační token a je zakončen kontrolním součtem rámce (FCS – Frame Check Sequence). [34]

Aplikační vrstva

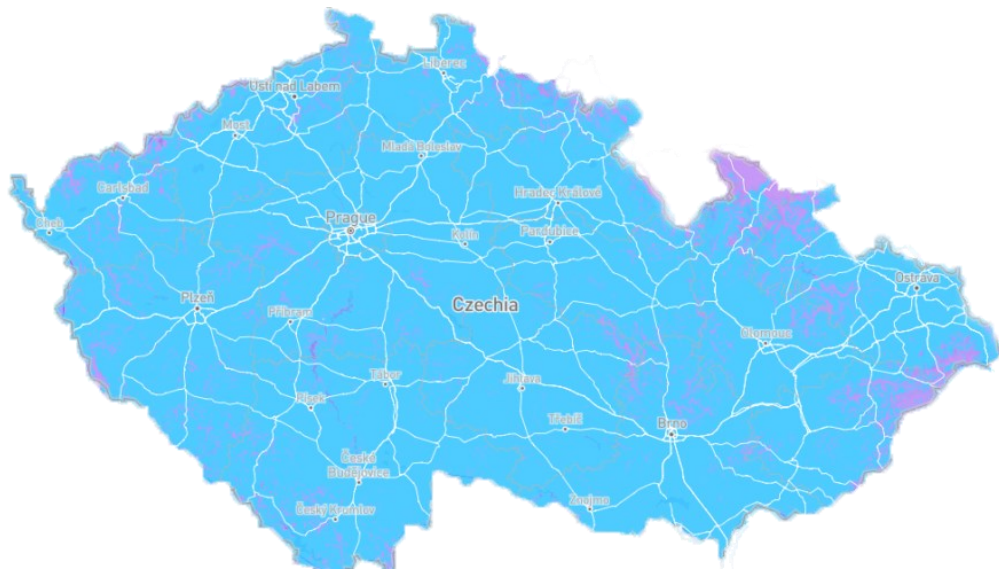
Aplikační vrstva obsahuje užitečná data aplikace a je tedy definována konkrétními požadavky samotné aplikace. [34]

2.10.5 Zabezpečení

SigFox nabízí volitelné šifrování datového pole pomocí algoritmu AES-128. K šifrování dat je využit 16-bytový klíč, předsdílený mezi koncovým zařízením a síťovým serverem a tzv. inicializační vektor o velikosti 16 bytů, který obsahuje data specifická pro konkrétní koncové zařízení a sekvenční čítač. Tyto hodnoty jsou následně použity koncovým zařízením jako maska pro operaci XOR s daty. Po přijetí zprávy je tato opačným postupem dešifrována na síťovém serveru. [29]

2.10.6 SigFox v České republice

V České republice provozuje síť SigFox společnost SimpleCell Networks a.s. Díky spolupráci se společností T-Mobile, která poskytla pro umístění základových stanic SigFoxu svou stávající infrastrukturu, pokrývá síť aktuálně asi 94 % území. Cena připojení jednoho zařízení se začíná na cca 15,- Kč za měsíc při limitu 2 uplink zpráv denně. [35]



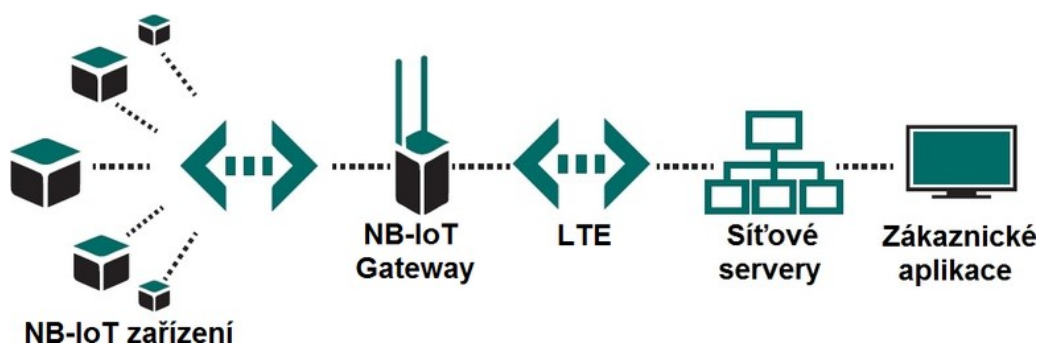
Obrázek 11. Mapa pokrytí sítě SigFox (červen 2020) [36]

2.11 NB-IoT

2.11.1 Obecné informace

Poslední sítí z kategorie LPWAN je NB-IoT (NarrowBand Internet of Things). Tato síť se od předchozích dvou liší především tím, že využívá úzkou část pásma, určenou pro technologii LTE. Díky tomu je často budována na LTE sítích mobilních operátorů, kdy je možné NB-IoT provozovat po úpravě softwaru na stávající infrastruktuře. K provozu zařízení v těchto sítích je zapotřebí SIM karty. Síť má hvězdicovou topologii, kdy se jednotlivé koncové zařízení připojují k základovým stanicím a ty data směřují na síťové servery provozovatele. Nabízí přenosovou rychlost 127 kbps (resp. 159 kbps při uplinku). [37]

Za technologií NB-IoT stojí skupina 3GPP (3rd Generation Partnership Project), která zastřešuje různé standardizační organizace, vyvíjející protokoly pro mobilní komunikaci.



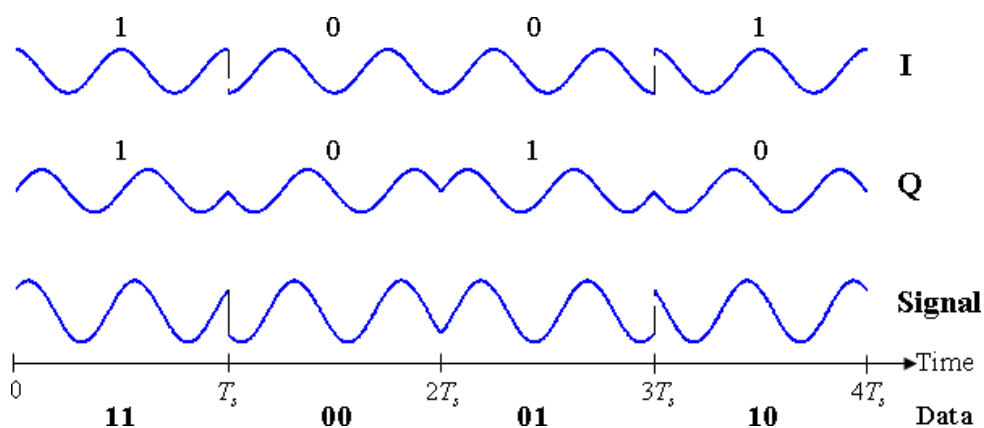
Obrázek 12. Architektura NB-IoT [20]

2.11.2 RF pásmo

Sítě NB-IoT (potažmo LTE) pracují v licencovaných pásmech. Pro Evropu jsou stanoveny tři komunikační kanály s označením B3, B8 a B20 na frekvencích 1800 MHz, 900 MHz a 800 MHz. Využívaná šířka pásma je 180 kHz. [38]

2.11.3 RF modulace

NB-IoT využívá modulaci signálu QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Při této modulaci je u velmi úzkých kousků frekvenčního spektra měněna fáze nosné rádiové vlny pomocí čtyř různých fázových posunů, čímž je možné kódovat dva bity na symbol. [39]

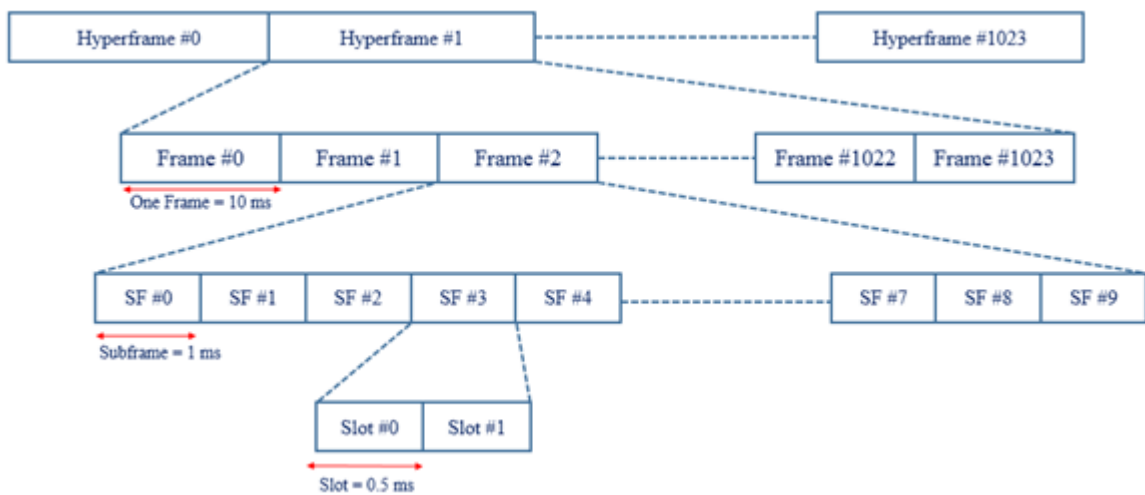


Obrázek 13. Kódování QPSK [33]

Pro zvýšení kapacity přenosového kanálu je využíváno multiplexování. Pro uplink je využívána technologie FDMA (Frequency Division Multiple Access) a pro downlink technologie OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). [39]

2.11.4 Formát zprávy

Struktura rámce zprávy NB-IoT je znázorněna na Obrázek 14. Na nejvyšší úrovni začíná cyklem hyper-rámců, kde jeden cyklus hyper-rámců má 1024 hyper-rámců a každý se skládá z 1024 rámců. Jeden rámeček se skládá z 10 dílčích pod-rámců a každý pod-rámec je rozdělitelný na dva sloty, každý o délce 0,5 ms, což je podobné jako u LTE. [40]



Obrázek 14. Formát rámce NB-IoT [40]

2.11.5 NB-IoT v České republice

V ČR provozují síť NarrowBand tři mobilní operátoři, tedy T-Mobile, Vodafone a O2. Díky využití stávající LTE infrastruktury Vodafone udává pokrytí 100 % území, ostatní dva operátoři se tomuto číslu blíží.

Cena služby není ani u jednoho z poskytovatelů zveřejněna a nepodařilo se ji zjistit ani po opakované snaze o objednání této služby od všech tří operátorů. Dle zjištěných informací je služba poskytována pouze důležitým firemním zákazníkům.

3 SROVNÁNÍ SÍTÍ

V Tabulka 1 je znázorněno základní porovnání všech sítí využitelných pro IoT, které jsou popsány v této práci.

Tabulka 1. Porovnání sítí pro IoT

Sít'	Roz- loha	Dosah	Pásmo	Topologie	Max. bitrate	Nízká spotřeba
<i>2G/3G</i>	WAN	Jednotky až desítky km	Licenční	Star	64 kbps / 2Mbps	Ne
<i>4G</i>	WAN	Jednotky až desítky km	Licenční	Star	1 Gbps	Ne
<i>5G</i>	WAN	Stovky m	Licenční	Star	10 Gbps	Ne
<i>Wi-Fi</i>	LAN	Desítky až stovky m	Bezlicenční	Star	9,6 Gbps	Ne
<i>Bluetooth / BLE</i>	PAN	Jednotky m / desítky m	Bezlicenční	Piconet / Mesh	3 Mbps / 1 Mbps	Ne / Ano
<i>ZigBee</i>	PAN	Desítky m	Bezlicenční	Mesh	250 kbps	Ano
<i>WirelessHART</i>	PAN	Desítky m	Bezlicenční	Mesh	250 kbps	Ano
<i>Z-Wave</i>	PAN	Desítky m	Bezlicenční	Mesh	100 kbps	Ano
<i>LoRaWAN</i>	WAN	Jednotky až desítky km	Bezlicenční	Star-of-stars	50 kbps	Ano
<i>SigFox</i>	WAN	Jednotky až desítky km	Bezlicenční	Star	600 bps	Ano
<i>NB-IoT</i>	WAN	Jednotky až desítky km	Licenční	Star	159 kbps	Ano

V Tabulka 2 je znázorněno podrobnější porovnání tří sítí z kategorie LPWA, tedy sítí, které jsou určeny výhradně pro IoT. Všechny parametry uvedené v tabulce se vztahují k sítím používaným v Evropě, potažmo v České republice. [41]

Tabulka 2. Podrobnější porovnání LPWA sítí pro IoT

Parametr	Síť			Jednotka
	<i>LoRaWAN</i>	<i>SigFox</i>	<i>NB-IoT</i>	
Otevřená technologie	Ano	Ne	Ne	-
Frekvenční pásmo	868	868	800, 900, 1800	MHz
Šířka písma	100	125 nebo 250	180	kHz
Modulace	CSS	BPSK	QPSK	-
ADR	Ano	Ne	Ne	-
Max. rychlost přenosu	50	0,1	200	kbps
Max. vysílací výkon	14	14	23	dBm
Max. čas komunikace	1	1	-	%
Max. délka UL payload	243	12	1600	B
Max. délka DL payload	243	8	1600	B
Max. počet UL zpráv	-	144	-	-
Max. počet DL zpráv	-	4	-	-
Max. dosah signálu	20	40	10	km
Pokrytí území v ČR	80	94	100	%
Cena modulu od	220	40	140	Kč
Cena zařízení / měsíc od	24	15	neznámá	Kč

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Praktická část této bakalářské práce spočívá v návrhu zařízení, které za použití libovolné vhodné IoT sítě dokáže monitorovat vybranou fyzikální veličinu. Původní myšlenka vedoucího práce byla monitorovat výšku hladiny ve vodní nádrži, kde není přístup k elektrické energii pro napájení a zařízení tudíž musí být napájeno pomocí baterie. V potaz musíme brát i omezenou konektivitu. Tento koncept zůstal zachován, změněna byla pouze volená fyzikální veličina, kdy namísto výšky hladiny je měřena teplota. Nicméně zařízení by bylo možné pomocí různých periférií přizpůsobit k měření téměř libovolné veličiny.

4.1 Zvolená technologie přenosu

Jak je patrné z kapitoly 2, k přenosu se nám kvůli potřebě nízké energetické náročnosti při velkém dosahu nabízely tři technologie – NB-IoT, SigFox a LoRaWAN. Rozdíly mezi těmito technologiemi byly popsány v kapitole 3. Pro realizaci byla zvolena IoT síť LoRaWAN, především z důvodu, že se jedná o otevřenou technologii, pracující v bezlicenčním pásmu. Sestrojené zařízení sice komunikuje s komerční sítí LoRa CRA, nicméně v případě dobrého pokrytí (nebo provozu vlastní brány) lze zařízení jednoduše provozovat i v otevřené síti TTN.

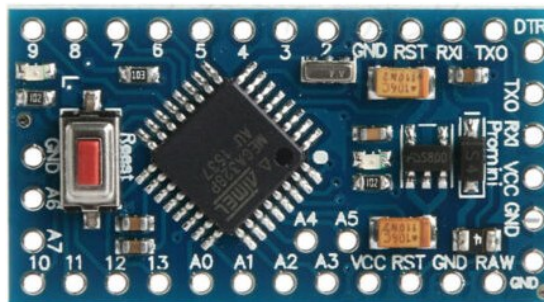
4.2 Použité komponenty

Původní myšlenkou bylo postavit zařízení na minipočítači Raspberry Pi, a to z důvodu přechodných zkušeností s tímto zařízením. Raspberry Pi je malý počítač, obsahující mikroprocesor postavený na architektuře ARM a v závislosti na verzi různé periferie, především ale 12 GPIO pinů, ke kterým je možné připojit další periferie pomocí různých sběrnic (např. I²C). Raspberry využívá jako operační systém Linuxovou distribuci Raspbian.

Toto řešení se ale bohužel ukázalo jako zásadně nevhodné a to z důvodu velmi vysoké spotřeby elektrické energie tohoto minipočítače (řádově desítky mA při napájecím napětí 5V). Jelikož na trhu běžně dostupná zařízení pracující v sítích LoRaWAN udávají výdrž baterie i několik let, aby tento projekt měl smysl, bylo potřeba se tomuto číslu alespoň přiblížit. Bylo tudíž nutné zvolit jednodušší zařízení, které dokáže v klidovém stavu (kdy neměří hodnoty a nevysílá) fungovat při proudovém odběru v řádu jednotek až malých desítek mikroampér.

4.2.1 Arduino Pro Mini 3,3V

Ve snaze minimalizovat spotřebu tedy bylo zvoleno zařízení z rodiny Arduino, což jsou jednodeskové počítače, založené na mikrokontrolerech ATmega od firmy ATMEL. Konkrétní model Arduino Pro Mini (verze 3,3V) pohání mikroprocesor ATmega328P, založený na architektuře AVR. Mikroprocesor má celkem 14 digitálních vstupně-výstupních pinů, z toho 6 je možné využít pro PWM a 8 vstupních pinů analogových. ATmega328P disponuje 32 kB flash pamětí pro uložení programu a 2 kB SRAM pro proměnné programu. Celý vývojový kit může být napájen stabilizovaným napětím o velikosti 3,3 V, nebo lze využít přítomného regulátoru a na pin s označením „RAW“ připnout napětí v rozsahu 3,35 V – 12 V. Arduino Pro Mini nemá vestavěný sériový převodník, tudíž je při programování a ladění zapotřebí převodníku externího.



Obrázek 15. Arduino Pro Mini 3,3V (klon)

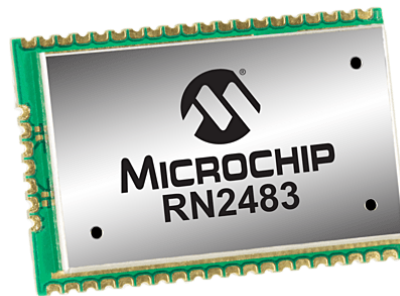
Na Arduinu byly následně prováděny dodatečné úpravy. Z důvodu snížení spotřeby elektrické energie byla z desky odebrána power led dioda a regulátor napětí, který byl nahrazen regulátorem STLQ015M33R se znatelně nižším klidovým odběrem. Pomocí programátoru UsbASP byl do mikroprocesoru nahrán upravený bootloader (zavaděč), ve kterém je nastavena podpěťová ochrana na 1,8 V (což stále odpovídá specifikaci mikroprocesoru), namísto výchozích 2,7 V.

Skutečnost, že zařízení z rodiny Arduino jsou tzv. open-source, dává prostor pro vznik mnoha různých variant a klonů. Cena klonu Arduina Pro Mini, zvoleného pro tento projekt, se pohybuje pod hranicí 100,- Kč.

4.2.2 Bezdrátový modul Microchip RN2483 + anténa

RN2483 je rádiový modul vyráběný firmou Microchip, který je plně certifikovaný pro provoz v sítích LoRaWAN na frekvenci 868 MHz. Modul disponuje sběrnici I²C, SPI, ale především UART, kdy je možné jej ovládat pomocí jednoduchých ASCII příkazů vysílaných

z řídicího mikrokontroleru po sériové lince. Napájecí napětí modulu je v rozmezí 2,1 V až 3,6V.



Obrázek 16. RF modul RN2483 [44]

Cena modulu se pohybuje okolo 400,- Kč.

Z modulu je vyveden konektor typu SMA pro připojení antény 868 MHz s impedancí 50 Ω .

4.2.3 Modul s BME280

Jako primární senzor byl zvolen modul s obvodem BME280 od firmy Bosch. Tento obvod disponuje sběrnici I²C a SPI a dokáže měřit teplotu (v rozsahu -40 °C až 85 °C), relativní vlhkost a barometrický tlak (v rozsahu 300 hPa až 1100 hPa) s velkou přesností a při velmi malé spotřebě elektrické energie. Samotný senzor má velikost pouze 2,5 x 2,5 x 1 mm, ale v rámci zvoleného modulu je již umístěn na malé DPS s vyvedenými pin konektory.

Výhody tohoto modulu jsou vykoupeny jeho vyšší cenou, která se pohybuje okolo 250,- Kč.

4.2.4 Teplotní čidlo D18B20

Jedná se o teplotní čidlo od firmy Dallas, měřící teplotu v rozsahu od -55 °C do +125 °C s přesností $\pm 0,5$ % v rozsahu od -10 °C do +85 °C. Čidlo pro komunikaci s mikrokontrolerem využívá sběrnici 1-Wire, což umožňuje použití pouze tří vodičů. Velkou výhodou tohoto čidla je snadná dostupnost jeho provedení zapouzdřeném v nerezovém plášti s přívodním kabelem zvolené délky, takže lze snadno použít ve venkovním prostředí.

Cena modulu DS18B20 začíná zhruba na 10,- Kč.

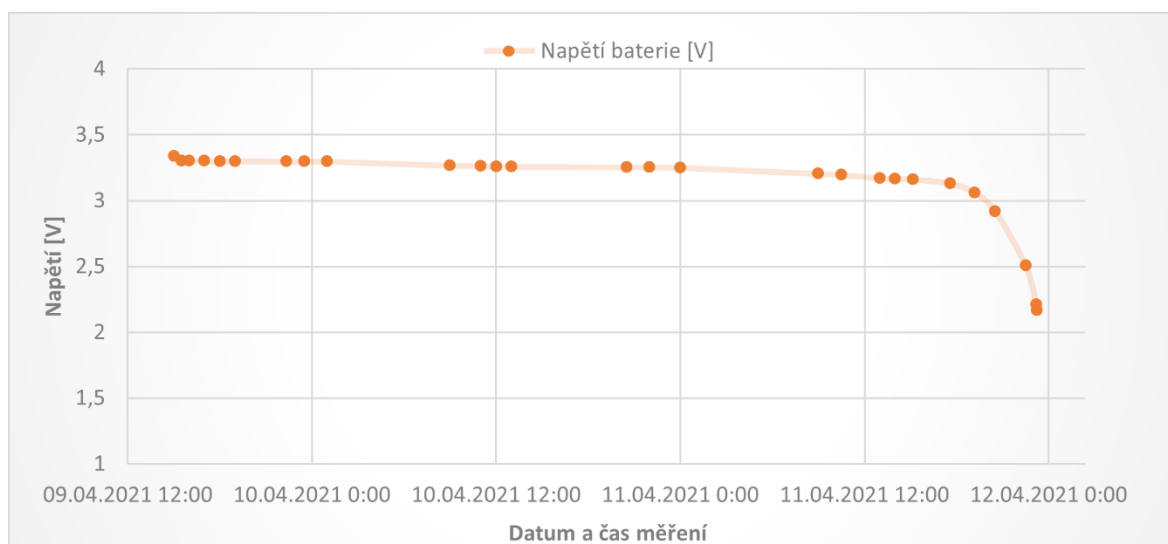
4.2.5 Stabilizátor napětí STLQ015M33R

Jak bylo uvedeno v kapitole 4.2.1, původní stabilizátor napětí byl z Arduina odebrán z důvodu vysoké spotřeby. Odběr obvodu v režimu spánku, tedy při proudu okolo 6 μ A, byl 360 μ A. Stabilizátor byl nahrazen modelem STLQ015M33R od firmy STMicroelectronics.

Důležitým kritériem pro volbu tohoto modelu byl jeho nízký úbytek napětí (112 mV) a velmi nízký odběr při malé proudové zátěži, který dle datového listu činí 1 μA . Skutečný změřený odběr se pohybuje okolo 1,4 μA .

4.2.6 Baterie 18650

Celý obvod samozřejmě z principu musel být napájen z baterie. Při snaze dosáhnout co nejdélní výdrže baterie bylo potřeba nalézt vhodný kompromis mezi její kapacitou a (fyzickou) velikostí. Pro projekt byla zvolena baterie v pouzdru 18650 specifického druhu LiFePO_4 , tedy lithium-železo-fosfátový článek. Obrovskou výhodou akumulátoru tohoto typu je jeho nominální napětí o velikosti 3,2 V, což v kombinaci s velmi plochou vybíjecí křivkou (Obrázek 17) umožňuje napájet všechny součásti obvodu přímo z baterie bez použití stabilizátoru napětí.



Obrázek 17. Vybíjecí křivka akumulátoru 18650 LiFePO_4 3,2 V 1800 MAh při konstantním proudu 30 mA a pokojové teplotě

Pro napájení lze využít také baterie typu Li-ion o nominálním napětí 3,7 V. Aby ovšem nedošlo k poškození obvodů, je nutné pomocí přepínače na desce zapojit obsažený stabilizátor napětí.

Jelikož se výdrž baterie v zařízení přepokládá řádově v letech (Tabulka 3), v rámci projektu nebylo nabíjení baterie nijak

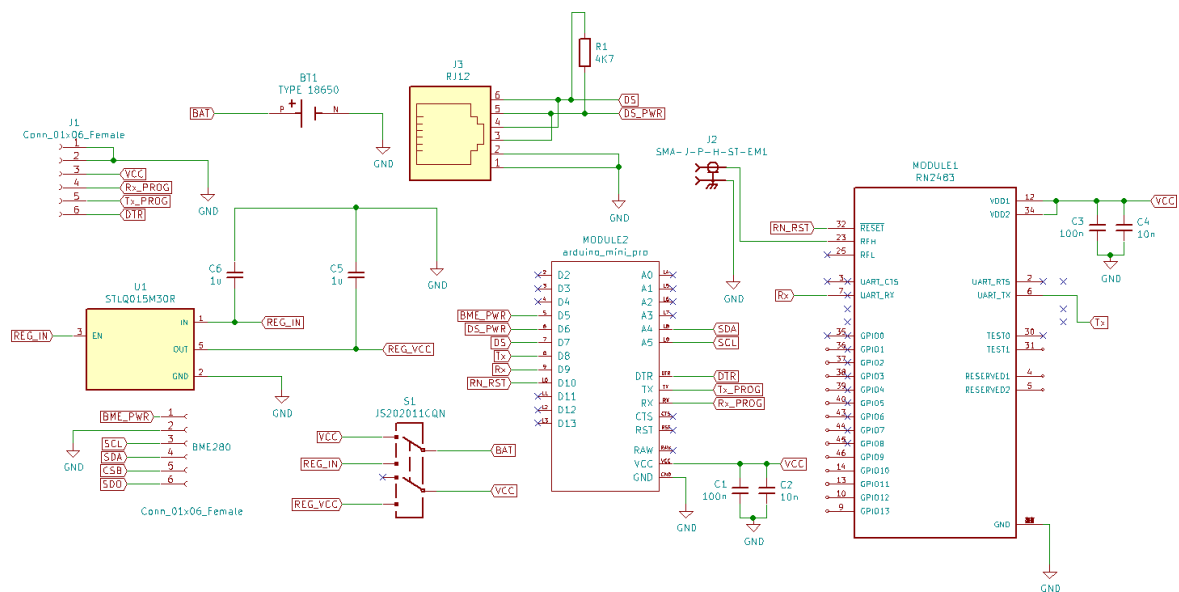
4.2.7 Ostatní komponenty

Pro zařízení byly dále použity rezistory a kondenzátory ve standardních SMT pouzdrech, dvoupólový posuvný přepínač v provedení THT pro odpojení regulátoru napětí, pouzdro na baterii 18650, konektory PIN pro připojení modulů a konektor typu RJ12 pro volitelné připojení venkovních čidel Dallas. Seznam všech použitých součástek je v příloze práce.

4.3 Schéma zařízení, návrh a výroba DPS

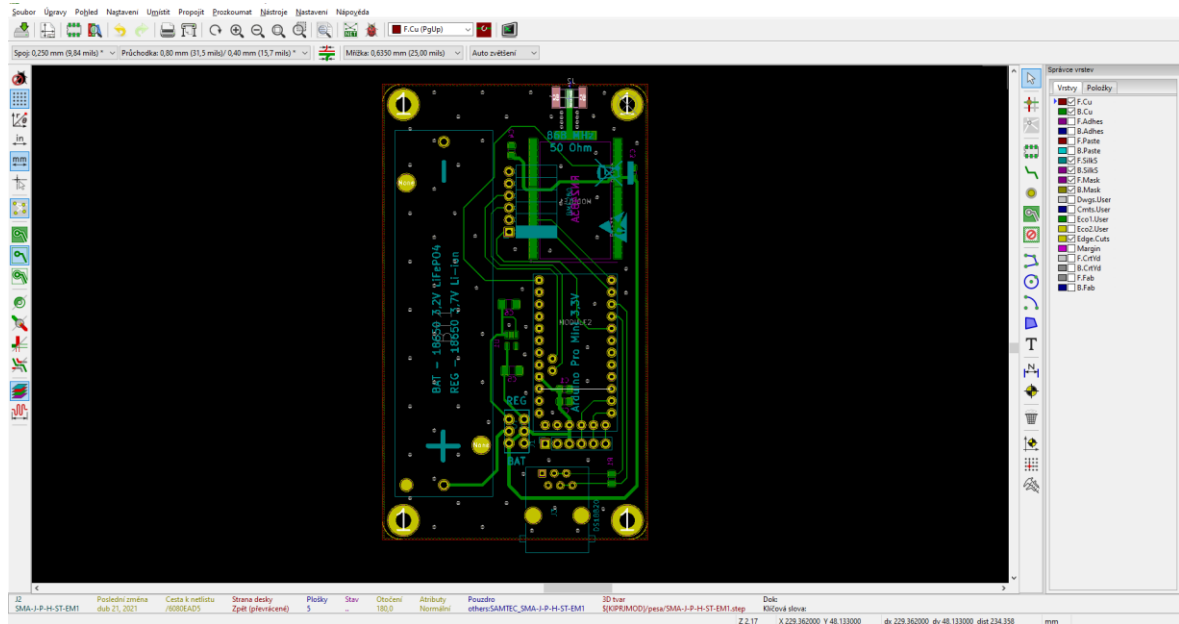
4.3.1 Schéma

Schéma zařízení bylo vytvořeno v software pro projektování plošných spojů KiCad a zdrojový kód je obsažen v příloze této práce. Pro návrh a testování zařízení bylo použito nepájivé pole, kde vývody součástek typu SMT (které nebylo možno nahradit typem THT) byly provizorně osazeny konektory PIN.



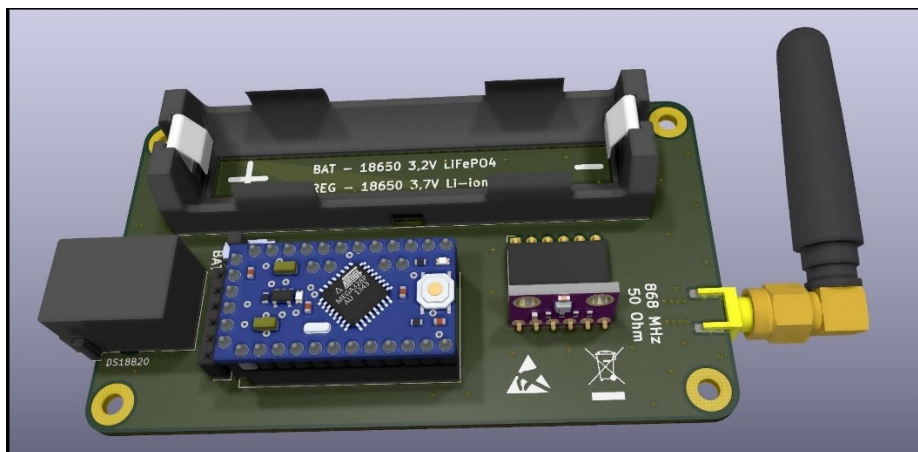
Obrázek 18. Schéma zařízení

4.3.2 Deska plošných spojů

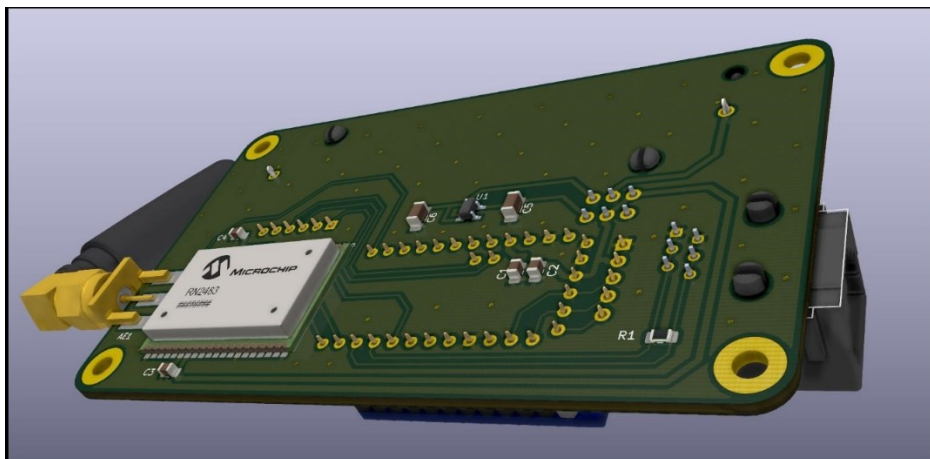


Obrázek 19. Ukázka návrhu DPS v prostředí programu KiCad

Ze schématu byl následně v KiCadu vygenerován návrh plošného spoje, na který byly rozmístěny jednotlivé komponenty zařízení a mezi nimi vytvořeny vodivé cesty. DPS je dvouvrstvá, nicméně je koncipována tak, aby ji bylo možné vyrobit jako jednovrstvou i v amatérských podmínkách (ručně). Všechny součástky typu THT (through-hole technology) jsou tedy osazeny na horní straně desky, zatímco součástky typu SMT (surface mount technology) jsou osazeny zespod. Z Obrázek 19 je patrné, že obě vrstvy desky využívá pouze SMA konektor, nicméně jen kvůli připojení k vodiči země.



Obrázek 20. Model návrhu DPS s osazením součástek, pohled na horní stranu



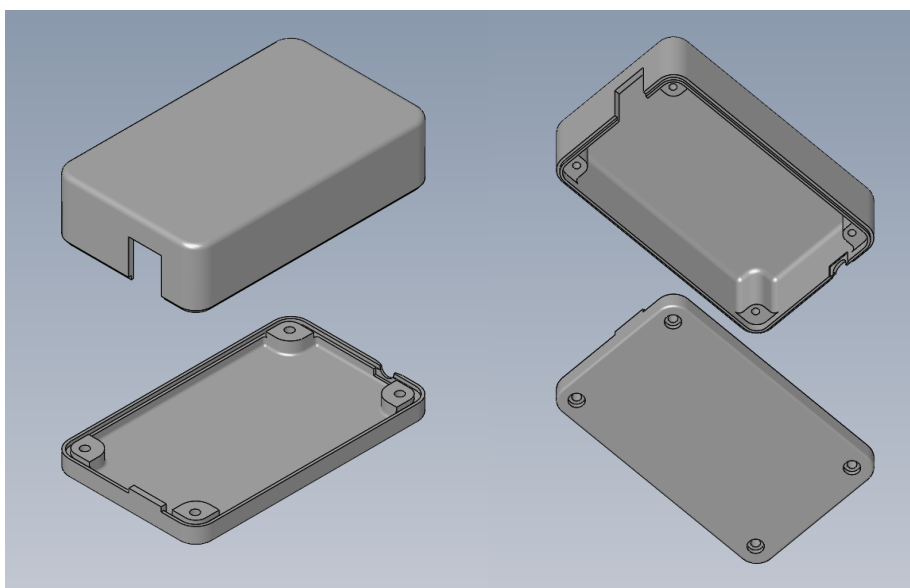
Obrázek 21. Model návrhu DPS s osazením součástek, pohled na spodní stranu

Z návrhu plošného spoje byly následně vyexportovány podklady pro strojovou výrobu ve formátu Gerber a DRL soubor vrtání. Samotná výroba byla poté realizována firmou PCBWay Inc (dostupné na adrese <https://www.pcbway.com>).

Náklady na výrobu deseti kusů dvouvrstvé DPS jsou cca 100,- Kč, ovšem je nutno připočítat poštovné v rozmezí 150,- Kč až 500,- Kč, dle požadovaného termínu doručení.

4.4 Návrh a výroba šasi

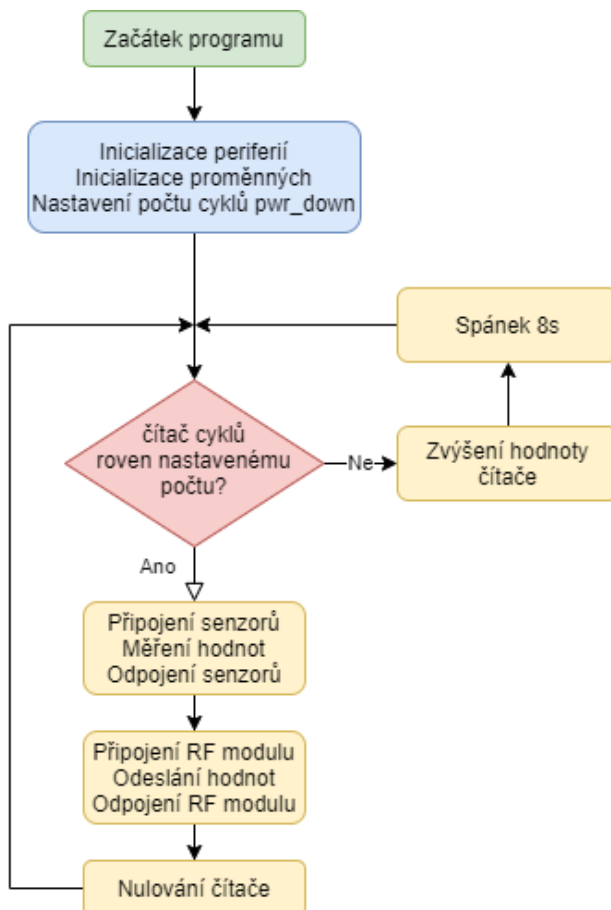
Šasi pro zařízení bylo navrženo v programu SolidWorks. Díky importu 3D modelu DPS s osazenými součástkami bylo možné jej jednoduše navrhnout na míru přesně podle rozměrů desky. Šasi je koncipováno tak, aby byl vnitřek zařízení snadno přístupný pro případnou výměnu baterie modulu, či připojení sériového převodníku.



Obrázek 22. Model šasi zařízení

4.5 Program zařízení

Celý program byl vytvořen v open-source vývojovém prostředí Arduino IDE. Okomentovaný zdrojový kód programu je součástí příloh této práce. Na Obrázek 23 je znázorněn vývojový diagram programu.



Obrázek 23. Vývojový diagram programu

4.5.1 Komunikace s BME280

K obsluze modulu se senzorem BME280 je využívána sběrnice I²C. Knihovna Wire pro ovládání této sběrnice je již obsažena ve vývojovém prostředí. Pro ovládání samotného modulu slouží knihovna BME280 [45]. Data ze senzoru jsou jednoduše načtena do proměnných typu float pomocí metody read.

4.5.2 Komunikace s DS18B20

Teplotní senzor DS18B20 využívá sběrnici 1-Wire. Knihovna pro obsluhu sběrnice je, stejně jako knihovna DallasTemperature pro ovládání senzoru, již obsažena ve vývojovém prostředí. Teplota je načtena do proměnné typu float pomocí metody requestTemperatures.

4.5.3 Komunikace s RN2483A

RF model RN2483A komunikuje s MCU za pomoci sériové sběrnice UART (universal asynchronous receiver-transmitter). Pro vytvoření UART rozhraní na libovolných D-pinech Arduina byla použita knihovna SoftwareSerial obsažená v Arduino IDE. Samotné ovládání modulu je obsluženo za pomoci jednoduchých metod `initOTAA` a `tx` obsažených v použité knihovně RN2483-Arduino-Library [46]. Zařízení lze také ovládat přímo pomocí ASCII příkazů, seznam těchto příkazů je v příloze práce.

4.5.4 Cyklus spánku

V původním návrhu zařízení bylo realizováno řízení času spánku a měření / vysílání pomocí modulu hodin reálného času (RTC – real-time clock) DS3231, kdy RTC obvod v určený čas vyslal přerušení na řídicí mikrokontroler (Arduino) a tím jej probudil z režimu spánku. Toto řešení se však ukázalo jako nevhodné z důvodu vysoké spotřeby samotného RTC obvodu, která je řádově v jednotkách mA. Další zvažovanou možností bylo využití integrovaného obvodu časovače s watchdog funkcí (schopného vyslat přerušení) a délku zpoždění tohoto časovače nastavovat pomocí dalšího integrovaného obvodu - nevolatilního digitálního potenciometru. Ani toto řešení ovšem nebylo z důvodu napájení dalších dvou IC energeticky ideální.

Pro řízení času byly tedy nakonec využity vnitřní čítače procesoru ATmega. Jelikož tyto čítače dokáží udržet Arduino v režimu spánku nejdéle 8 sekund, při inicializaci programu je podle nastavených parametrů vypočítán počet 8s cyklů, který odpovídá požadovanému intervalu komunikace v minutách. Zařízení je tedy vždy 8 sekund v režimu snížené spotřeby, po probuzení vykoná jednu iteraci cyklu loop, kdy porovná stav čítače cyklů s nastaveným počtem, navýší stav čítače a opět přejde do režimu spánku. Při shodě počtu cyklů navíc vykoná procedury pro měření a odeslání dat a vynuluje čítač. K ovládání časovačů a napájení periférií je použita knihovna AVR [47].

Nevýhody tohoto řešení jsou patrné již z jeho principu. Jelikož systém nemá informaci o aktuálním čase, první měření dat proběhne ihned po zapnutí napájení a každé další měření po nastavené době, která nemusí být v závislosti na podmínkách (napětí na baterii, teplota) vždy stejná. Není tedy možné měřit např. přesně v každou celou hodinu. Protože se zařízení musí nutně probudit vždy po 8 sekundách, během každé této iterace dojde ke chvilkovému zvýšení odběru, stále se ale jedná o zlomek energie, kterou by spotřeboval přítomný obvod RTC.

4.5.5 Měření stavu baterie

Jednoduché měření stavu baterie je realizováno bez dodatečných obvodů, pouze za pomoci porovnání napětí na vstupu Arduina a vnitřního referenčního napětí (1,1 V) mikroprocesoru ATmega328. Toto měření funguje spolehlivě pouze bez použití regulátoru napětí. Pro přesné měření i při použití regulátoru by bylo nutné do zařízení přidat jednoduchý dělič napětí, tedy např. 2 shodné rezistory, a s referencí 1,1 V porovnávat pouze polovinu napětí před regulátorem.

Pro samotné měření je využita knihovna `Arduino_Vcc` [48], která obsahuje metodu `Read_Perc` se vstupními parametry minimálního a maximálního očekávaného napětí a návratovou hodnotou procent zbývající kapacity baterie. Měření lze zpřesnit nastavením měřicího koeficientu, což je poměr hodnoty napětí naměřené Arduinem a přesnějším měřicím zařízením (voltmetrem).

4.6 Spotřeba energie

Na spotřebu elektrické energie a maximalizaci výdrže na baterii celého zařízení byl kladen obzvláště velký důraz. Z Arduina byla odpájena led dioda signalizující napájení a originální regulátor napětí. Mezi jednotlivými cykly, kdy se měří a odesílají data, jsou vypnuty všechny periferie a MCU je v režimu nejvyšší možné úspory energie.

Všechny níže uvedené údaje o odběru byly naměřeny ampérmetrem s udávanou přesností $\pm 1\%$ a s nejnižším měřicím rozsahem $400\ \mu\text{A}$, při napájení stabilizovaným napětím o velikosti 3,3 V. Časové úseky byly měřeny přímo v zařízení pomocí funkce `millis()`, jež má návratovou hodnotu odpovídající počtu milisekund, po které je vykováván program.

Režim spánku

Průměrný naměřený odběr zařízení v režimu spánku byl $5,5\ \mu\text{A}$. K tomuto je ovšem potřeba přičíst zvýšený odběr při jedné iteraci cyklu `loop`, kdy je vyhodnocena jedna podmínka `if` a dojde k navýšení čítače cyklů. Tato iterace, která je provedena každých 8,9 sekund trvá cca 1 ms a zařízení má při ní odběr 3,8 mA. Průměrný odběr v režimu spánku byl tedy vypočítán na přibližně $5,9\ \mu\text{A}$.

Měření a odesílání dat

Po nastaveném počtu cyklů režimu spánku proběhne jedna iterace cyklu `loop`, kdy dojde k zapnutí všech periférií, měření hodnot a odesílání do sítě LoRa CRA. Tento proces trvá

přibližně 20 s, přičemž odběr se mění v rozmezí 8 mA – 45 mA. Vypočtený průměrný odběr během těchto dvaceti sekund je 15,2 mA. Následně jsou vypnuty všechny periferie a MCU opět na nastavenou dobu vstoupí do režimu snížené spotřeby.

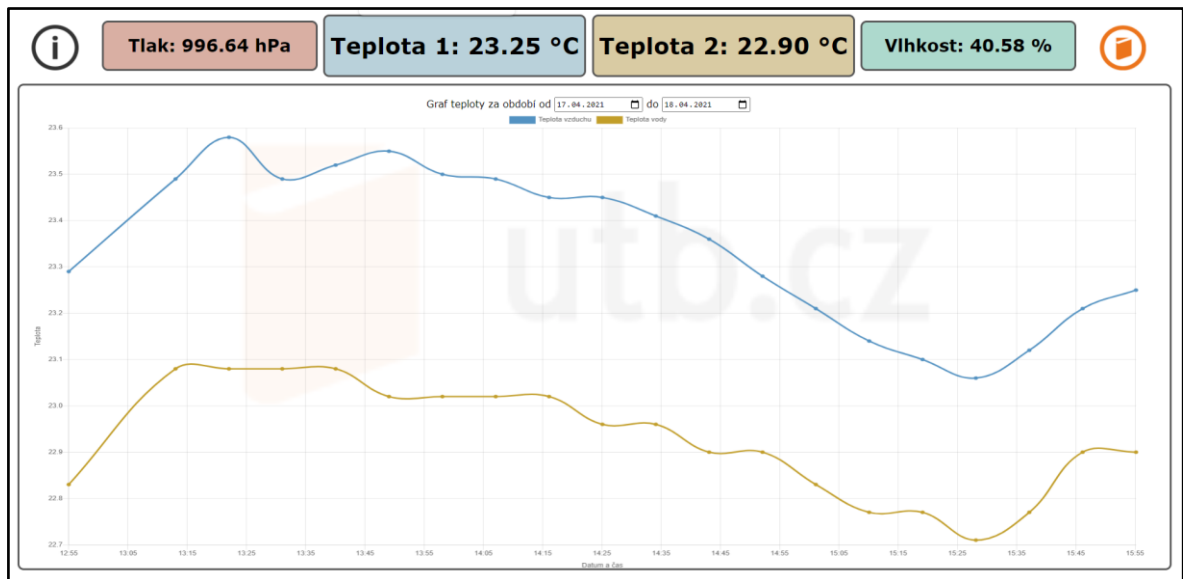
Na základě výše uvedených údajů byla sestavena Tabulka 3, která udává předpokládanou dobu výdrže baterie při různě nastaveném intervalu měření a komunikace se sítí. Uvedené údaje jsou pouze teoretické, jelikož v nich není počítáno s podstatným parametrem samovolného vybíjení baterie. Tento parametr nebyl výrobcem baterie udán a kvůli jeho předpokládané nelinearitě a závislosti na okolních vlivech jej není možné v rozumném čase relevantně změřit.

Tabulka 3. Teoretický výpočet výdrže baterie bez samovolného vybíjení

interval měření	střída měření / spánku [%]	odběr / den [mAh]	Výdrž baterie 1800 mAh		
			hodiny	dny	roky
10 minut	3,3333	12,29688	3513,09	146,38	0,40
30 minut	1,1111	4,19336	10302,00	429,25	1,18
1 hodina	0,5556	2,16748	19930,98	830,46	2,28
2 hodiny	0,2778	1,15454	37417,50	1559,06	4,27
6 hodin	0,0926	0,47925	90141,47	3755,89	10,29
12 hodin	0,0463	0,31042	139164,80	5798,53	15,89
24 hodin	0,0231	0,22601	191140,58	7964,19	21,82

4.7 Aplikační část

Součástí této práce je i návrh aplikace pro interpretaci naměřených dat (Obrázek 24). Jde o jednoduchou webovou aplikaci napsanou v jazycích JavaScript (resp. jeho knihovny jQuery) a PHP. Jsou zde zobrazeny aktuální hodnoty veličin (resp. hodnoty z posledního měření), graf historie teploty ve zvoleném období a informace o stavu baterie v zařízení, času posledního úspěšného odeslání dat, úrovni signálu atd. Pro vykreslení grafu je použita open-source knihovna pro jQuery Chart.js. Zdrojový kód aplikace je obsažen v příloze práce.



Obrázek 24. Ukázka okna aplikace s naměřenými hodnotami

Naměřená data jsou ukládána v databázových serverech Českých Radiokomunikací. Pro vlastní aplikace je lze získat za pomoci jednoduchého API (Application Programming Interface). Před každým požadavkem na čtení dat server CRA na základě odeslaných autentizačních informací vygeneruje relační klíč s časovou platností 120 minut, který je poté součástí hlavičky každého dalšího požadavku na server.

Naměřená data je také možné po přijetí síťovým serverem přeposílat na tzv. endpoint, tedy koncový bod v síti zákazníka, případně je odesílat na vlastní MQTT broker. Výhodou tohoto řešení je jak lepší přístupnost a správa dat, tak snížení počtu API požadavků, jejichž měsíční limit se promítá do ceny služeb. Nevýhodou je pochopitelně nutnost konfigurace a provozu vlastního severu, zajišťujícího funkci endpointu a obsluhu databáze.

Služby poskytované CRA jsou popsány v manuálu (obsažen v příloze) a kompletní dokumentace k CRA IoT Cloud API, včetně příkladů a funkčních URL požadavků, je na adrese <https://app.swaggerhub.com/apis-docs/cra-iot/craiot/2.7#/>.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla rozčleněna do čtyř kapitol. První dvě kapitoly pojednávají o IoT a jsou v nich popsány možnosti bezdrátového připojení IoT zařízení. Ve třetí kapitole je obsaženo porovnání těchto možností, na jehož základě bylo zvoleno technické řešení praktické části. Čtvrtá kapitola popisuje samotný návrh zařízení, volbu modulů a součástek, výrobu desky plošného spoje a šasi, napájení a programování zařízení.

Výstupem této práce je také kompletní funkční zařízení, popsané ve čtvrté kapitole. Zařízení lze využít například pro získávání meteorologických dat z odlehlých míst, kde není možnost napájení z elektrické sítě a připojení k Internetu. Díky důkladné optimalizaci spotřeby energie nabízí velmi dlouhou životnost baterie. Měření meteorologických dat je pouze demonstrativní příklad, při připojení jiných periférií a úpravě programu by bylo možné zařízení využít pro měření různých fyzikálních veličin.

Možné pokračování této bakalářské práce by spočívalo v náhradě mikropočítače Arduino za vhodný mikrokontroler, čímž by bylo možné dosáhnout nižší spotřeby energie a optimalizovat časování měření a odesílání dat a režimu snížené spotřeby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Recommendation ITU-T Y.2060* [online]. Geneva, Switzerland: International Telecommunication Union, 2012 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>
- [2] LASSE LUETH, Kund. Why the Internet of Things is called Internet of Things: Definition, history, disambiguation. *IOT ANALYTICS* [online]. 19.12.2014 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://iot-analytics.com/internet-of-things-definition/>
- [3] GILLIS, Alexander S. Internet of things (IoT). *IoT Agenda* [online]. February 2020 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- [4] FOOTE, Keith D. A Brief History of the Internet of Things. *DATAVERSITY* [online]. 16.8.2016 [cit. 2021-02-16]. Dostupné z: <https://www.dataversity.net/brief-history-internet-things/>
- [5] [online]. Internet of Things: The Five Types of IoT. Dostupné z: <https://www.pareteum.com/internet-of-things-the-five-types-of-iot/>
- [6] Sítím 3G zvoní umíráček. Během roku 2021 začne jejich vypínání | mobilenet.cz. *mobilenet.cz – Mobilní telefony, notebooky a technologie budoucnosti* [online]. Copyright © 2021 24net s.r.o. Všechna práva vyhrazena. [cit. 19.04.2021]. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/sitim-3g-zvoni-umiracek-behem-roku-2021-zacne-jejich-vypinani-42925>
- [7] LTE Frequency Bands - everything RF. *RF Components & Test Equipment - everything RF* [online]. Copyright © everything RF All Rights Reserved [cit. 19.04.2021]. Dostupné z: <https://www.everythingrf.com/community/lte-frequency-bands>
- [8] Jižní Korea jako první země spustila 5G síť, je až stokrát rychlejší — ČT24 — Česká televize. *ČT24 — Nejdůvěryhodnější zpravodajský web v ČR — Česká televize* [online]. Copyright ©. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/2780102-jizni-korea-jako-prvni-zeme-spustila-5g-sit-je-az-stokrat-rychlejsi>
- [9] Jak dopadla aukce kmitočtů 5G? Pro zákazníky špatně, ale nový operátor bude | mobilenet.cz. *mobilenet.cz – Mobilní telefony, notebooky a technologie budoucnosti* [online]. Copyright © 2021 24net s.r.o. Všechna práva vyhrazena. Dostupné

- z: <https://mobilenet.cz/clanky/nordic-telecom-uspel-v-aukci-5g-kmitoctu-planuje-na-nich-nabizet-mobilni-sluzby-42253>
- [10] Přehledně: aktuální pokrytí 5G mobilních sítí v České republice | mobilenet.cz. *mobilenet.cz – Mobilní telefony, notebooky a technologie budoucnosti* [online]. Copyright © 2021 24net s.r.o. Všechna práva vyhrazena. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/prehledne-aktualni-pokryti-5g-mobilnich-siti-vceske-republice-42602>
- [11] The history of Bluetooth. *Android Authority: Tech Reviews, News, Buyer's Guides, Deals, How-To* [online]. Copyright ©2021 Android Authority [cit. 21.04.2021]. Dostupné z: <https://www.androidauthority.com/history-bluetooth-explained-846345/>
- [12] Zigbee - Zigbee Alliance. *Home - Zigbee Alliance* [online]. Dostupné z: <https://zigbeealliance.org/solution/zigbee/>
- [13] LENNVALL, Tomas, Stefan SVENSSON a Fredrik HEKLAND. A comparison of WirelessHART and ZigBee for industrial applications. In: *2008 IEEE International Workshop on Factory Communication Systems* [online]. IEEE, 2008, 2008, s. 85-88. ISBN 978-1-4244-2349-1. Dostupné z: doi:10.1109/WFCS.2008.4638746
- [14] About Z-Wave Technology - Z-Wave Alliance. - *The Internet of Things is powered by Z-Wave*. [online]. Dostupné z: https://z-wavealliance.org/about_z-wave_technology/
- [15] LoRaWAN. *IoT portál* [online]. 29.2.2016. Dostupné z: <http://www.iot-portal.cz/2016/02/29/lorawan/>
- [16] All what you need to know about regulation on RF 868MHz for LPWan - disk91.com - the IoT blogdisk91.com – the IoT blog . disk91.com - the IoT blog - IoT, Sigfox, LoRaWan, technology, hardware, security, hacking (DiY)disk91.com – the IoT blog | IoT, Sigfox, LoRaWan, technology, hardware, security, hacking (DiY) [online]. Dostupné z: <https://www.disk91.com/2017/technology/sigfox/all-what-you-need-to-know-about-regulation-on-rf-868mhz-for-lpwan/>
- [17] LAVRIC, Alexandru a Valentin POPA. A LoRaWAN: Long range wide area networks study. In: *2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 417-420 [cit. 2021-04-12]. ISBN 978-1-5386-1846-2. Dostupné z: doi:10.1109/SIELMEN.2017.8123360

- [18] LoRa and LoRaWAN: Technical overview | DEVELOPER PORTAL. Semtech LoRa | DEVELOPER PORTAL [online]. Copyright © All rights reserved [cit. 15.04.2021]. Dostupné z: <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>
- [19] MÁCHA, Miroslav. LoRa Technology [online]. 2016, 5.3.2016. Dostupné z: <https://www.osel.cz/8732-lora-technology.html>
- [20] LOM, Michal, Ing. a Ondřej, prof. Ing., Ph.D PŘIBYL. Sítě pro internet věcí v České republice. *Tzbinfo* [online]. 2017, 6.11.2017. Dostupné z: <https://elektro.tzbinfo.cz/informacni-a-telekomunikacni-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice>
- [21] LORA ALLIANCE. *LoRaWAN® L2 1.0.4 Specification* [online]. 2020. Dostupné také z: https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/LoRaWAN-1.0.4-Specification-Package_0.zip
- [22] LoRa- (Long Range) Network and Protocol Architecture & Frame Structure. Techplayon - Explore, Learn and Share [online]. Dostupné z: <http://www.techplayon.com/lora-long-range-network-architecture-protocol-architecture-and-frame-formats/>
- [23] LoRa - Device Activation Call Flow (Join Procedure) using OTAA and ABP. Techplayon - Explore, Learn and Share [online]. Dostupné z: <http://www.techplayon.com/lora-device-activation-call-flow-join-procedure-using-otaa-and-abp/>
- [24] Objednáváte připojení k IoT síti LoRa | IoTPort. Propojujeme firmy a lidi se zájmem v internetu věcí | IoTPort [online]. Copyright © 2021 České Radiokomunikace a.s. [cit. 15.04.2021]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/objednavka-lorawan>
- [25] ARAS, Emekcan, Gowri Sankar RAMACHANDRAN, Piers LAWRENCE a Danny HUGHES. Exploring the Security Vulnerabilities of LoRa. In: 2017 3rd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCONF) [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1-6 [cit. 2021-04-12]. ISBN 978-1-5386-2201-8. Dostupné z: doi:10.1109/CYB-Conf.2017.7985777
- [26] Služby CRA IoT. *CRA* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.cra.cz/sluzby-iot>
- [27] The Things Network [online]. Dostupné také z: <https://www.thethingsnetwork.org/>
- [28] O nás | Sigfox. [online]. Copyright © 2016. Dostupné z: <https://sigfox.cz/cs/o-nas>

- [29] Stop telling me Sigfox is clear payload, for real you're just lazy ;) - disk91.com - the IoT blogdisk91.com – the IoT blog . *disk91.com - the IoT blog - IoT, Sigfox, LoRaWan, technology, hardware, security, hacking (DiY)*disk91.com – the IoT blog | *IoT, Sigfox, LoRaWan, technology, hardware, security, hacking (DiY)* [online]. Dostupné z: <https://www.disk91.com/2018/technology/sigfox/stop-telling-me-sigfox-is-clear-payload-for-real-youre-just-lazy/>
- [30] VOJÁČEK, Antonín. SIGFOX - princip, struktura, protokol, použití | Vývoj.HW.cz. Vývoj.HW.cz | Profesionální elektronika [online]. Copyright © 1997. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/sigfox-princip-struktura-protokol-pouziti.html>
- [31] Radio Configurations | Sigfox build. Home | Sigfox build [online]. Dostupné z: <https://build.sigfox.com/sigfox-radio-configurations-rc>
- [32] The Sigfox radio protocol - disk91.com - the IoT blogdisk91.com – the IoT blog . disk91.com - the IoT blog - IoT, Sigfox, LoRaWan, technology, hardware, security, hacking (DiY)disk91.com – the IoT blog | IoT, Sigfox, LoRaWan, technology, hardware, security, hacking (DiY) [online]. Dostupné z: <https://www.disk91.com/2017/technology/sigfox/the-sigfox-radio-protocol/>
- [33] Phase-shift keying. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying
- [34] SIGFOX – princip, struktura, protokol, použití – IoT portál. IoT portál – Brána do světa internetu věcí [online]. Copyright © 2021. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2017/05/29/sigfox-princip-struktura-protokol-pouziti/>
- [35] Sigfox Buy. Sigfox Buy [online]. Dostupné z: <https://buy.sigfox.com/buy/offers/CZ>
- [36] Mapy pokrytí – IoT portál. IoT portál – Brána do světa internetu věcí [online]. Copyright © 2021. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/mapa-pokryti/>
- [37] NB-IoT explained: a complete guide to Narrowband-IoT. *i-SCOOP | Digital business and transformation hub* [online]. Copyright © Copyright i. Dostupné z: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/lpwan/nb-iot-narrowband-iot/>
- [38] Internet of Things (IoT) - CableFree. *CableFree: 4G & 5G 10 Gigabit Wireless Technology* [online]. Dostupné z: <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/internet-of-things-iot/>

- [39] NB-IoT explained: a complete guide to Narrowband-IoT. *i-SCOOP | Digital business and transformation hub* [online]. Copyright © Copyright i. Dostupné z: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/lpwan/nb-iot-narrowband-iot/>
- [40] Narrow Band IoT Frame Structure - Techplayon. *Techplayon - Explore, Learn and Share* [online]. Dostupné z: <http://www.techplayon.com/narrow-band-iot-frame-structure/>
- [41] MEKKI, Kais, Eddy BAJIC, Frederic CHAXEL a Fernand MEYER. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express* [online]. 2019, 5(1), 1-7 [cit. 2021-4-25]. ISSN 24059595. Dostupné z: doi:10.1016/j.ict.2017.12.005
- [42] ARAS, Emekcan, Gowri Sankar RAMACHANDRAN, Piers LAWRENCE a Danny HUGHES. Exploring the Security Vulnerabilities of LoRa. In: 2017 3rd IEEE International Conference on Cybernetics (CYBCONF) [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1-6. ISBN 978-1-5386-2201-8. Dostupné z: doi:10.1109/CYBCConf.2017.7985777
- [43] NAOUI, Sarra, Mohamed Elhoucine ELHDHILI a Leila Azouz SAIDANE. Trusted Third Party Based Key Management for Enhancing LoRaWAN Security. In: 2017 IEEE/ACS 14th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA) [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1306-1313 [cit. 2021-03-11]. ISBN 978-1-5386-3581-0. Dostupné z: doi:10.1109/AICCSA.2017.73
- [44] RN2483 - Wireless Modules. *Smart | Connected | Secure | Microchip Technology* [online]. Copyright © Copyright 1998 [cit. 19.04.2021]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/RN2483>
- [45] GitHub - finitespace/BME280: Provides an Arduino library for reading and interpreting Bosch BME280 data over I2C, SPI or Sw SPI.. *GitHub: Where the world builds software · GitHub* [online]. Copyright © 2021 GitHub, Inc. [cit. 19.04.2021]. Dostupné z: <https://github.com/finitespace/BME280>
- [46] GitHub - jpmeijers/RN2483-Arduino-Library: Arduino C++ code to communicate with a Microchip RN2483 module. *GitHub: Where the world builds software · GitHub* [online]. Copyright © 2021 GitHub, Inc. [cit. 19.04.2021]. Dostupné z: <https://github.com/jpmeijers/RN2483-Arduino-Library>

- [47] GitHub - arduino/ArduinoCore-avr: The Official Arduino AVR core. *GitHub: Where the world builds software · GitHub* [online]. Copyright © 2021 GitHub, Inc. [cit. 19.04.2021]. Dostupné z: <https://github.com/arduino/ArduinoCore-avr>
- [48] GitHub - Yveaux/Arduino_Vcc: Arduino library to read VCC supply level without external components. *GitHub: Where the world builds software · GitHub* [online]. Copyright © 2021 GitHub, Inc. [cit. 19.04.2021]. Dostupné z: https://github.com/Yveaux/Arduino_Vcc/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

1-Wire	- asynchronní sériová komunikační sběrnice
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project – dohoda o spolupráci v oblasti mobilních komunikací
ABP	Activation By Personalization – metoda aktivace koncových zařízení v sítích LoRaWAN
AES	Advanced Encryption Standard – algoritmus symetrické kryptografie
API	Application Programming Interface – rozhraní pro komunikaci mezi softwarovými aplikacemi
AVR	- architektura mikroprocesorů
BPSK	Binary Phase-shift Key – druh frekvenční modulace
CRA	České Radiokomunikace
CRC	Cyclic Redundancy Check – speciální matematická funkce používaná k detekci chyb při přenosu nebo ukládání dat
CSS	Chirp Spread Spectrum – druh frekvenční modulace
DBPSK	Differential Binary Phase-shift Key – druh frekvenční modulace
DPS	Deska Plošného Spoje
FCS	Frame Check Sequence – kód detekující chyby v síťovém rámci
FDMA	Frequency Division Multiple Access – metoda přístupu k médium
GSM	Global System for Mobile communication – standard pro telekomunikační síť
I ² C	Inter-Integrated Circuit – synchronní sériová komunikační sběrnice
IC	Integrated Circuit – integrovaný obvod
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers – mezinárodní profesní elektrotechnická organizace
IoT	Internet of Things – Internet věcí
ISM	Industrial, Scientific and Medical – frekvenční pásma pro rádiové vysílání
ISO/OSI	- referenční model počítačových a telekomunikačních sítí

ITU	International Telecommunication Union – agentura OSN zabývající se problematikou informačních a komunikačních technologií
LoRaWAN	Long Range Wide Area Network – druh LPWA sítě
LPWAN	Low Power Wide Area Network – kategorie telekomunikačních sítí s velkým dosahem a nízkou energetickou spotřebou koncových zařízení
LTE	Long Term Evolution – standard pro telekomunikační síť
MAC	Medium Access Control – linková vrstva síťové komunikace
MCU	MicroController Unit – jednočipový mikro počítač
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport – síťový protokol pro přenos zpráv mezi zařízeními
NB-IoT	Narrowband Internet of Things – druh LPWA sítě
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access – metoda přístupu k médiu
OTAA	Over-The-Air Activation – metoda aktivace koncových zařízení v sítích LoRaWAN
PHY	PHYSical layer – fyzická vrstva síťové komunikace
QPSK	Quadrature Binary Phase-shift Key – druh frekvenční modulace
RFID	Radio Frequency Identification – technologie bezkontaktní výměny dat
RTC	Real-time clock – hodiny reálného času
SIM	Subscriber Identity Module – účastnická identifikační karta
SMT	Surface Mount Technology – způsob montáže elektronických součástek
SPI	Serial Peripheral Interface – synchronní sériová komunikační sběrnice
SRAM	Static Random Access Memory – druh polovodičové paměti
TDMA	Time Division Multiple Access – metoda přístupu k médiu
THT	Through-Hole Technology – způsob montáže elektronických součástek
TTN	The Things Network – infrastruktura založená na síti LoRaWAN
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter – asynchronní sériová komunikační sběrnice

UMTS	Universal Mobile Telcommunication Systém – standard pro telekomunikační síť
WLAN	Wireless Local Area Network – druh bezdrátové telekomunikační sítě (dle rozsahu)
WPAN	Wireless Personal Area Network – druh bezdrátové telekomunikační sítě (dle rozsahu)
WWAN	Wireless Wide Area Network – druh bezdrátové telekomunikační sítě (dle rozsahu)
XOR	eXclusive OR – druh logické operace

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Technický přehled IoT [1].....	11
Obrázek 2. Architektura LoRaWAN [20].....	17
Obrázek 3. Signál (chirp-up) modulovaný technikou CSS v časové oblasti [18]	18
Obrázek 4. Formát zprávy LoRaWAN [25]	19
Obrázek 5. Architektura LoRaWAN se znázorněním zabezpečení [43]	21
Obrázek 6. Mapa pokrytí LoRaWAN v české republice (červen 2020) [26]	23
Obrázek 7. Architektura SigFox [20]	24
Obrázek 8. Kódování BPSK [32].	25
Obrázek 9. Kódování DBPSK [33].....	25
Obrázek 10. Formát uplink a downlink zprávy SigFox [34]	25
Obrázek 11. Mapa pokrytí sítě SigFox (červen 2020) [36]	27
Obrázek 12. Architektura NB-IoT [20]	27
Obrázek 13. Kódování QPSK [33]	28
Obrázek 14. Formát rámce NB-IoT [40]	29
Obrázek 15. Arduino Pro Mini 3,3V (klon).....	34
Obrázek 16. RF modul RN2483 [44].....	35
Obrázek 17. Vybíjecí křivka akumulátoru 18650 LiFePO4 3,2 V 1800 MAh při konstantním proudu 30 mA a pokojové teplotě	36
Obrázek 18. Schéma zařízení.....	37
Obrázek 19. Ukázka návrhu DPS v prostředí programu KiCad	38
Obrázek 20. Model návrhu DPS s osazením součástek, pohled na horní stranu	38
Obrázek 21. Model návrhu DPS s osazením součástek, pohled na spodní stranu.....	39
Obrázek 22. Model šasi zařízení.....	39
Obrázek 23. Vývojový diagram programu	40
Obrázek 24. Ukázka okna aplikace s naměřenými hodnotami	44

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Porovnání sítí pro IoT	30
Tabulka 2. Podrobnější porovnání LPWA sítí pro IoT	31
Tabulka 3. Teoretický výpočet výdrže baterie bez samovolného vybíjení.....	43

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Návod k použití zařízení

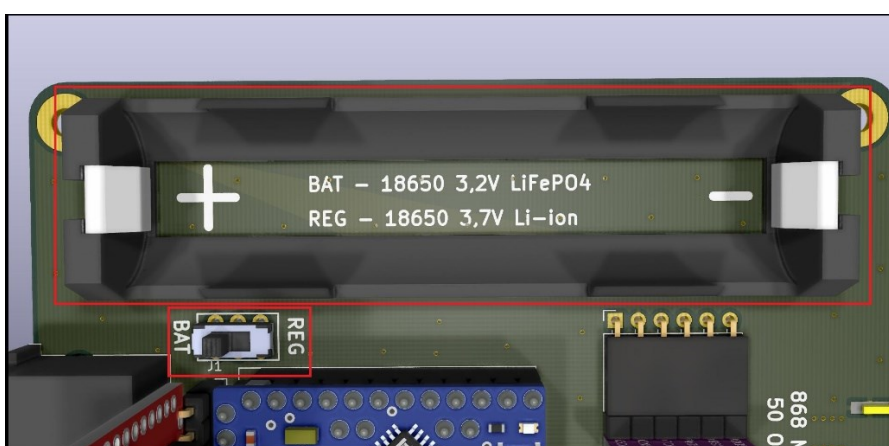
Příloha P II: Dokumentace desky plošného spoje

Příloha P III: Seznam elektronických příloh

PŘÍLOHA P I: NÁVOD K POUŽITÍ ZAŘÍZENÍ

1. Zprovoznění zařízení

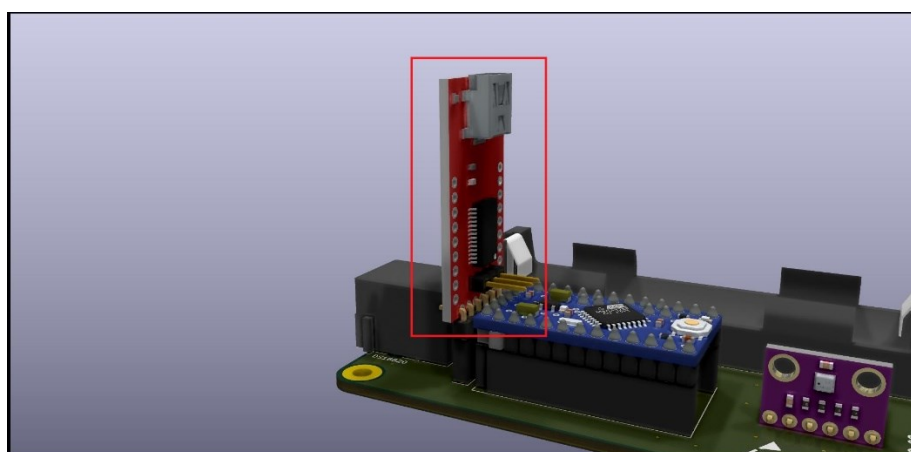
Do pouzdra baterie na DPS vložíme baterii v pouzdru 18650 (Obrázek P I.1). Je možné použít dva druhy baterie – LiFePO4 s nominálním napětím 3,2 V, nebo Li-ion s nominálním napětím 3,7 V. V případě užití baterie LiFePO4 nastavíme přepínač S1 do polohy BAT, v případě užití Li-ion baterie jej nastavíme do polohy REG (Obrázek P I.1). Po vložení baterie je zařízení aktivní a začíná měřit a odesílat data. Zařízení lze vypnout vytažením baterie z pouzdra.



Obrázek P I.1. Pouzdro na baterii a přepínač S1

2. Nastavení zařízení

Veškeré nastavení zařízení se provádí za pomoci převodníku FTDI232 ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Nejprve je potřeba připojit k zařízení převodník FTDI232 (Obrázek P I.2) za pomoci konektorů typu PIN s označením J1. Ze zařízení musí být vyjmuta baterie. Převodník následně připojíme k USB portu počítače.



Obrázek P I.2. Připojení převodníku FTDI232 ke konektoru J1

Zdrojový kód programu pro Arduino je součástí elektronické přílohy práce. Ve vývojovém prostředí otevřeme soubor temp_to_cra_with_internal_sleep.ino. Nastavitelné parametry jsou obsaženy v bloku NASTAVENI ZARIZENI (Obrázek P I.3).

```

temp_to_cra_with_internal_sleep | Arduino 1.8.13
Soubor Úpravy Projekt Nástroje nápověda
temp_to_cra_with_internal_sleep
#include <avr/sleep.h> //funkce pro snížení spotřeby
#include <avr/wdt.h> //funkce pro vnitřní časovač
#include <OneWire.h> //ovládní sběrnice oneWire
#include <DallasTemperature.h> //ovládní čidla ds18B20
#include <OneWire.h> //ovládní modul ds18B20
#include <SoftwareSerial.h> //funkce pro vytvoření sběrnice uart na d pinch
#include <BME280.h> //ovládní čidla bme280
#include <Wire.h> //ovládní sběrnice i2c
#include <Vcc.h> //měření napětí na baterii

#define pin_power_bme 5 //pin pro napájení bme280
#define pin_power_ds 6 //pin pro napájení ds18B20 a připojení pull-up rezistoru
#define pin_temper 7 //pin připojení ds18B20
#define pin_radio_rx 8 //pin pro rx radia
#define pin_radio_tx 9 //pin pro tx radia
#define pin_radio_reset 10 //pin pro reset radia

// NASTAVENI ZARIZENI
const char *appEui = "70B3D57E003EFC0B"; //nastavení appEui
const char *appKey = "998C8F0D59837AC2498BFD3C2695EB7"; //nastavení appKey

const bool dallas = true; //zapnutí volitelného čidla ds18B20
const int time_interval = 10; //nastavení intervalu komunikace a lozovan (v minutách), interval bude zaokrouhlen, aby byl dělitelný 8 sekundami (tedy pokud bude liché počet minut minut, bude skracován o 4 sekundy)
const float sleep_duration = 1.5; //naměřena průměrná délka 8s cyklu na konkrétním zariadení v sekundách
const float cycle_duration = 20; //naměřena průměrná délka cyklu při odesílání dat v sekundách
const float bme_correction = 0; //korekce teploty bme280 ve °C
const float ds_correction = 1.5; //korekce teploty ds18B20 ve °C

const float vcc_min = 2.4; // maximální očekávané napětí na baterii
const float vcc_max = 3.35; // minimální očekávané napětí na baterii
const float vcc_correction = 3.32 / 3.35; //korekce měření baterie (hodnota naměřena voltmetrem / hlásená hodnota při korekci 1/1)

// ROMEC NASTAVENI
float bme_temperature; //pomocná pro teplotu z bme280
float bme_humidity; //pomocná pro vlhkost z bme280
float bme_pressure; //pomocná pro tlak z bme280
float ds_temperature; //pomocná pro teplotu z ds18B20
char msg_buffer[10]; //pomocná pro loza zpravu
int sleep_counter; //čítadlo cyklu spánku
int sleep_count; //pomocná pro výpočet počtu 8s cyklu
float battery; //pomocná pro stav baterie

SoftwareSerial radio_serial(pin_radio_rx, pin_radio_tx); //rx, tx uart sběrnice
OneWire radio(oneWire); //instance radia na vytvořené uart
  
```

Obrázek P I.3. Vývojové prostředí Arduino IDE

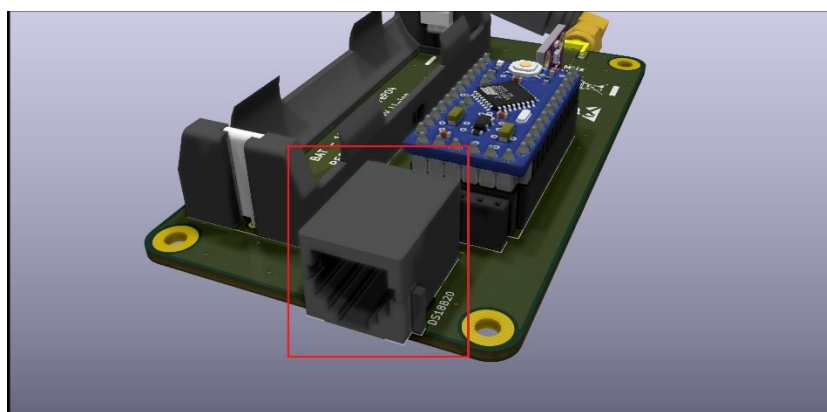
Lze nastavit následující parametry:

- appEui – typ char[] – číslo AppEui předsdílené se síťovým serverem
- appKey – typ char[] – číslo AppKey předsdílené se síťovým serverem
- dallas – typ boolean – zapnutí nebo vypnutí externího teplotního čidla
- time_interval – typ integer – nastavení intervalu měření a odesílání dat v minutách
- sleep_duration – typ float – přesně změřená doba trvání jednoho cyklu spánku zařízení
- cycle_duration – typ float – přesně změřená doba trvání jednoho cyklu měření a odesílání dat
- bme_correction – typ float – korekce teploty senzoru BME280
- ds_correction – typ float – korekce teploty senzoru DS18B20
- vcc_min – typ float – minimální očekávané napětí na baterii
- vcc_max – typ float – maximální očekávané napětí na baterii
- vcc_correction – typ float – korekce měření napětí na baterii

Po nastavení parametrů je nutné nahrát do zařízení program s novými parametry. To provedeme stiskem tlačítka Nahrát (Obrázek P I.3 vlevo nahoře). Nyní jsou požadované parametry nastaveny, můžeme odpojit převodník a do zařízení vložit baterii.

3. Připojení externího čidla DS18B20

Pro připojení externího teplotního čidla slouží konektor RJ12 umístěný na DPS. Připojené čidlo je potřeba aktivovat v nastavení zařízení.

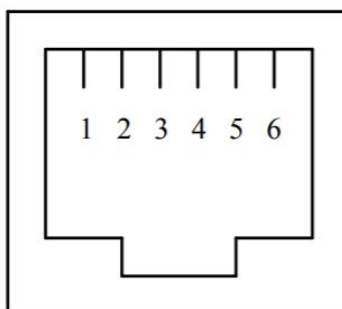


Obrázek P I.4. Konektor RJ12 pro připojení externího čidla Dallas

Konektor RJ12 má celkem 6 pinů, jejich zapojení na DPS je uvedeno v Tabulce P I.1.

Tabulka P I.1. Zapojení konektoru RJ12 pro externí čidlo

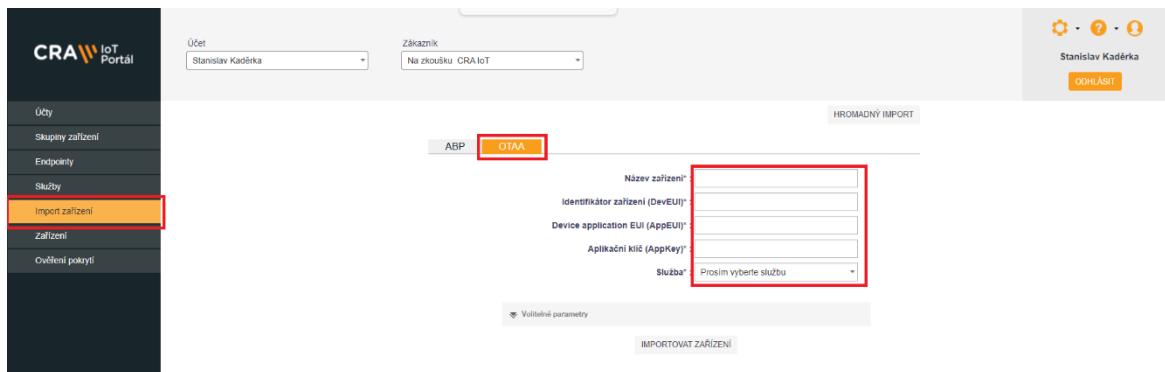
pin	funkce
1	GND
2	GND
3	Vcc
4	1-Wire
5	Vcc
6	1-Wire



Obrázek P I.5. Číslování pinů konektoru RJ12 - zásuvka

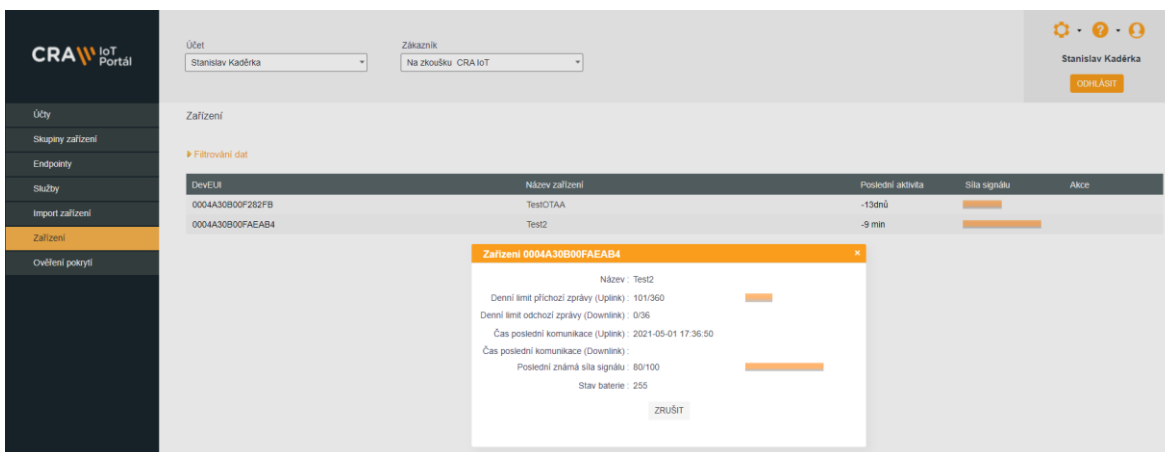
4. Nastavení CRA IoT portálu

Pro připojení koncového zařízení k síti LoRa CRA je potřeba mít zřízený účet u Českých Radiokomunikací s předplacenou službou Připojení k IoT síti LoRa. CRA také nabízí testovací verzi této služby zdarma na 1 měsíc.



Obrázek P I.6. Rozhraní portálu CRA IoT – Import zařízení

Po přihlášení do portálu na adrese <https://admin.iot.cra.cz/Portal/> zvolíme nabídku Import zařízení (Obrázek P I.5), nastavíme způsob aktivace OTAA a vyplníme požadované údaje. DevEUI je unikátní 64-bitové číslo dané výrobcem bezdrátového modulu. AppEUI je 64-bitové číslo, mělo by být unikátní a poskytnuté organizací IEEE. Vygenerované 128-bitové číslo AppKey, sloužící k šifrování přenosu, je unikátní pro každé zařízení. Po úspěšném importu zařízení se toto zobrazí v nabídce Zařízení (Obrázek P I.6). Zde vidíme i základní údaje o zařízení, jako je čas poslední komunikace, síla signálu atd.



Obrázek P I.7. Rozhraní portálu CRA IoT – Zařízení

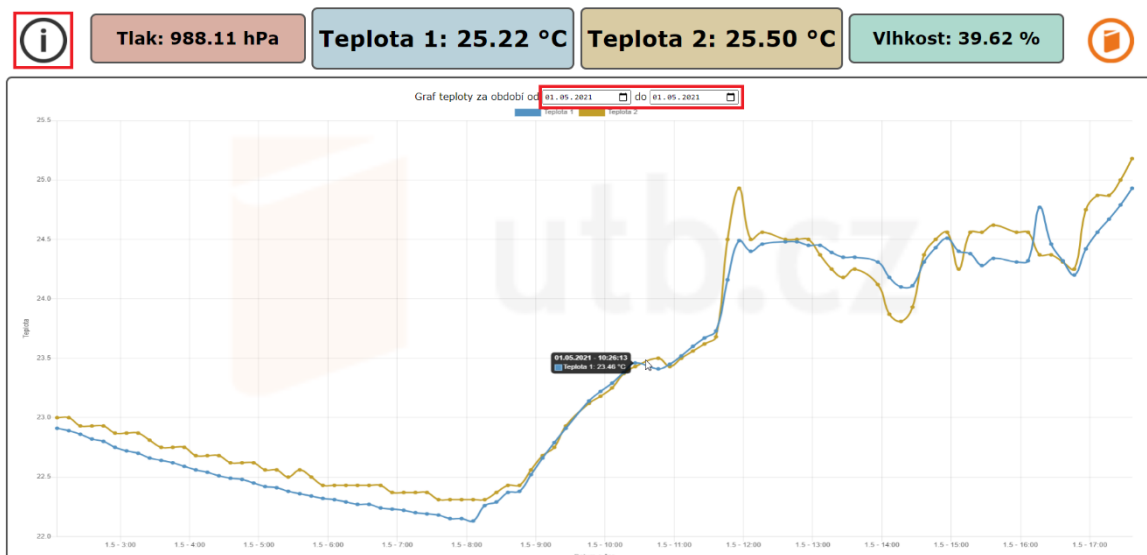
5. Aplikace LoRa CRA meteo pro zobrazení naměřených hodnot

Tato aplikace je součástí elektronické přílohy práce. Aplikace je dočasně dostupná na adrese <http://s-kaderka.cz/meteo/>. Jelikož se jedná o webovou aplikaci, pro provoz ve

vlastním prostředí je nutno mít spuštěný libovolný webserver s podporou PHP (verze 5.0 a vyšší). V souboru api.php je dále potřeba nakonfigurovat čtyři proměnné:

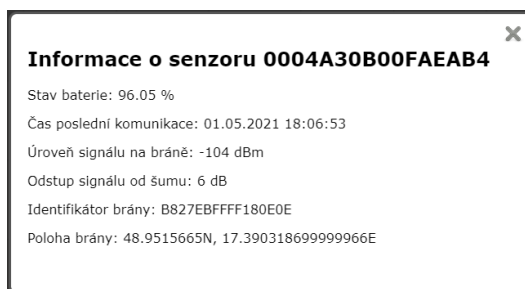
- \$username – uživatelské jméno pro přístup do CRA IoT portálu
- \$password – heslo pro přístup do CRA IoT portálu
- \$tenantid – zákaznické číslo CRA IoT portálu
- \$deveui – DevEUI koncového zařízení

Samotná aplikace nevyžaduje žádné ověření, po spuštění se zobrazí hlavní okno s naměřenými hodnotami (Obrázek P I.7). Zde vidíme aktuální hodnoty ze senzoru (resp. hodnoty z posledního měření) a graf teplot v závislosti na čase. Graf lze zobrazit pro libovolné období za pomoci dvou vstupů typu date, při změně datumu se graf ihned překreslí.



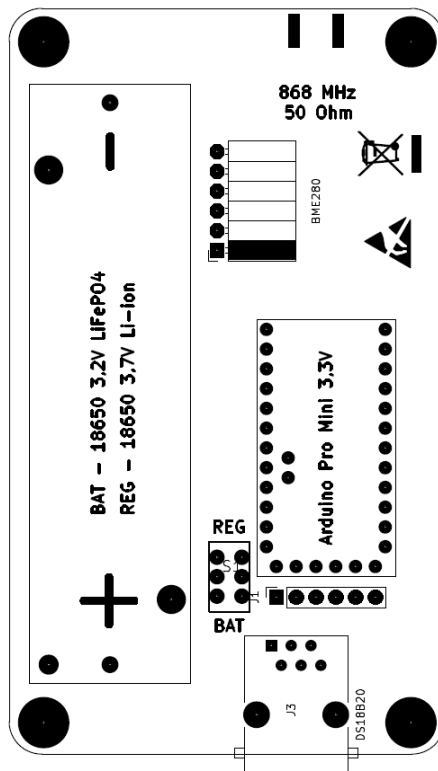
Obrázek P I.8. Hlavní okno aplikace LoRa CRA meteo

Dále zde lze stiskem tlačítka „i“ vlevo nahoře zobrazit informace o senzoru (Obrázek P I.8).

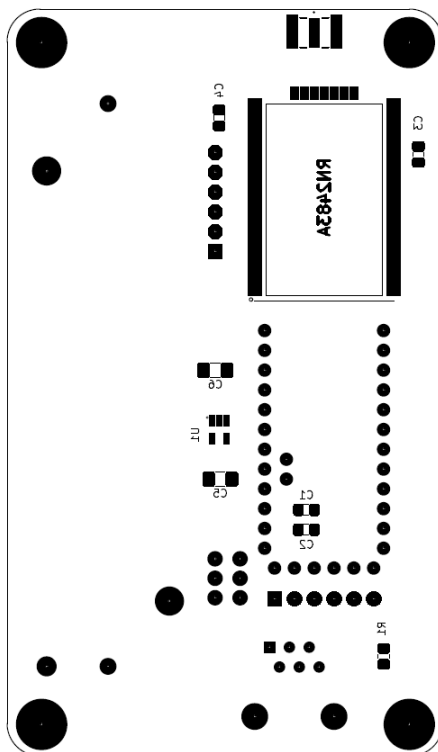


Obrázek P I.9. Aplikace LoRa CRA meteo – informace o senzoru

PŘÍLOHA P II: DOKUMENTACE DESKY PLOŠNÉHO SPOJE



Obrázek P II.1. Osazení součástek – přední strana



Obrázek P II.2. Osazení součástek – zadní strana

Tabulka P II.1. Osazovací plán součástek

Součástka	Hodnota
MODULE2	ZL262-2SG, ZL262-6SG, ZL262-12SG
BME280	ZL263-6SG
S1	JS202011CQN
J3	5555165-1
BT1	KEYS1043
U1	STLQ015M30R
C5, C6	1u
MODULE1	RN2483A
C1, C3	100n
C2, C4	10n
R1	4K7
J1	ZL262-6SG
J2	SMA-J-P-H-ST-EM1

PŘÍLOHA P III: SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH

