

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Komerční jednotky pro bezdrátovou komunikaci na velké vzdálenosti

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel NOVÁK**

Osobní číslo: **E15B0021K**

Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**

Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

Název tématu: **Komerční jednotky pro bezdrátovou komunikaci na velké vzdálenosti**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Proveďte průzkum trhu a možností v oblasti komerčních řešení bezdrátových komunikací na velkou vzdálenost cca do 1 km.
2. Vyberte podle prvního bodu zadání vhodné řešení s optimalizací parametrů cena, komunikační rychlost, vzdálenost bezchybové komunikace a spotřeba.
3. Otestujte na funkčním vzorku komunikaci a ověřte teoretické předpoklady předchozích bodů zadání.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Faludi, Robert; Building wireless sensor networks.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Justa**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na bezdrátový přenos informací na velké vzdálenosti a na konkrétní jednotky, které tento přenos informací umožňují. Práce je rozdělena do tří částí; první je výběr a shrnutí technologií pro bezdrátový přenos informací, druhá uvádí příklady komerčních jednotek používaných pro takovouto komunikaci. Třetí část popisuje vlastní realizaci projektu pro bezdrátovou komunikaci na velkou vzdálenost.

Klíčová slova

bezdrátová komunikace, bezdrátová komunikace na velké vzdálenosti, internet věcí, LoRa, Arduino

Abstract

The bachelor thesis is focused on the wireless communication over long distances and on specific units that allow this communication. This thesis is divided into three parts; the first is summary of technologies used for wireless communication, the second provides examples of commercial units used for such communication. The third part describes the realization of the project for wireless communication over long distance.

Keywords

wireless communication, wireless communication over long distances, Internet of things, LoRa, Arduino

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 4.6.2018

Karel Novák

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefovi Justovi, především za cenné profesionální rady, připomínky, vedení práce a za pomoc při měření spotřeby experimentálního modulu.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
TECHNOLOGIE PRO BEZDRÁTOVÝ PŘENOS	11
1.1 PŘIBLIŽENÍ JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ	12
1.1.1 <i>LoRa</i>	12
1.1.2 <i>Sigfox</i>	14
1.1.3 <i>ZigBee</i>	15
1.1.4 <i>WiFi</i>	18
1.1.5 <i>Bluetooth</i>	18
1.1.6 <i>GSM</i>	18
1.2 POROVNÁNÍ.....	19
2 KOMERČNÍ JEDNOTKY DLE TECHNOLOGIE	20
2.1 LoRA	20
2.1.1 <i>LoRaWAN Arduino UNI senzor</i>	20
2.1.2 <i>LORA RF CLICK</i>	21
2.1.3 <i>RN2483 LoRa Mote Development Node</i>	22
2.1.4 <i>GAMMA-868</i>	23
2.2 SIGFOX	23
2.2.1 <i>SIGFOX Arduino UNO</i>	23
2.2.2 <i>SIGFOX WISOL StarterNode</i>	24
2.2.3 <i>LPWAN SigFox Node UART Modem 868MHz</i>	24
2.3 ZIGBEE	25
3 VLASTNÍ REALIZACE	26
3.1 ZVOLENÝ MODEL	26
3.2 HARDWARE	26
3.2.1 <i>LoRaWAN Arduino UNI modul</i>	26
3.2.2 <i>UART/USB FTDI převodník</i>	27
3.2.3 <i>Senzor tlaku BMP180</i>	27
3.2.4 <i>OLED Display 128x64</i>	28
3.2.5 <i>RTC modul hodin reálného času DS1307</i>	28
3.3 SOFTWARE	29
3.3.1 <i>Program vysílače (Tx)</i>	31
3.3.2 <i>Program přijímače (Rx)</i>	32
3.4 OVĚŘENÍ FUNKCE	33
4 ZÁVĚR	37
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	38
SEZNAM OBRÁZKŮ	41
SEZNAM TABULEK	41
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratek

1-Wire	Device communications bus system	Sběrnice pro komunikaci s nízkou datovou rychlostí
6LoWPAN	IPv6 Low Power Wireless Personal Area Network	IPv6 nízkovýkonová bezdrátová osobní síť
AES	Advanced Encryption Standard	Standard pokročilého šifrování
API	Application Programming Interface	Rozhraní pro programování aplikací
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying	Diferenciální binární klíčování fázovým posuvem
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	Elektronicky mazatelná a programovatelná paměť pouze pro čtení
FSK	Frequency-shift keying	Klíčování frekvenčním posuvem
GSM	Global System for Mobile communication	Globální systém pro mobilní komunikaci
I2C	Inter Integrated Circuit - serial bus system	Počítačová sériová sběrnice
IDE	Integrated Development Environment	Vývojové prostředí
IEEE 802.15.4	Technical standard for low rate WPANs	IEEE standard pojednávající o bezdrátových osobních sítích
IoT	Internet Of Things	Internet věcí
LPWAN	Low Power Wide Area Network	Nízko výkonová rozsáhlá síť
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	Přenosový protokol, protokol síťové vrstvy
UNB	Ultra Narrow Band	Ultra úzké pásmo

Úvod

Bezdrátové sítě jsou v dnešní době stále více používané. Rozvoj těchto sítí, a bezdrátového přenosu obecně, přímo souvisí s rozvojem technologie nazývané internet věcí (IoT). Princip internetu věcí je v podstatě připojování dříve nezávislých zařízení k počítačové síti. Existují komunikační sítě přímo určené pro tento účel. Jsou to sítě, které mají přenosovou rychlost v jednotkách až desítkách kilobitů za sekundu. Dosah takovýchto sítí mohou být až desítky kilometrů na přímou viditelnost a jednotky kilometrů v zástavbě. Zařízení připojená do takovéto sítě mají velmi malé nároky na napájení, to umožňuje provoz jednotlivých zařízení na baterie, při zachování i několikaleté životnosti. Pomyslným opakem těchto nízkovýkonových sítí jsou technologie jako WiFi a Bluetooth, které jsou podstatně více omezené dosahem, ale na druhou stranu disponují několikanásobně vyššími přenosovými rychlostmi. Výčet bezdrátových sítí doplňuje celulární technologie GSM. Ta se odlišuje hlavně tím, že je provozována v licencovaných pásmech a vysílače takovéto sítě jsou spravovány různými poskytovateli.

Při vlastní realizaci bezdrátové komunikace na velkou vzdálenost jsem zvolil IoT technologii LoRa, která mě zaujala svými vlastnostmi a různorodou využitelností. Komunikaci budu demonstrovat na dvou modulech přímo mezi sebou, tedy bez nutné subskripce do LoRa sítě.

Technologie pro bezdrátový přenos

Bezdrátový přenos může probíhat na rozličných kmitočtech od desítek kHz až po jednotky GHz. Mezi základní bezdrátové technologie patří WiFi a Bluetooth, které jsou dnes masivně používané pro bezdrátové připojení různých zařízení mezi sebou, nebo k připojení k internetu. Přenosové rychlosti mohou dosahovat u těchto technologií až stovky Mbps, případně až jednotky Gbps. Jsou využívány převážně na krátké vzdálenosti, nejsou tak odolné proti rušení a ve velkém počtu připojených zařízení pracují hůře. Jejich spotřeba je násobně vyšší než u nízkovýkonových bezdrátových technologií. Takové sítě jsou vytvořené speciálně pro nízké výkony a nízké přenosové rychlosti. Rychlost nepřesahuje stovky kbps. Jejich výhodou je velký dosah, řádově až několik kilometrů v zastavěné oblasti. Na přímou viditelnost i více. Díky nízké spotřebě jsou tyto sítě využívány k provozu koncových zařízení na baterie. Často se využívají pro rychle se rozvíjející technologii internetu věcí. V posledních letech se pak velmi vyvinuly technologie LPWAN nebo 6LoWPAN. Mezi nejznámější patří LoRaWAN, Sigfox a ZigBee, které budou přiblíženy dále v této kapitole.

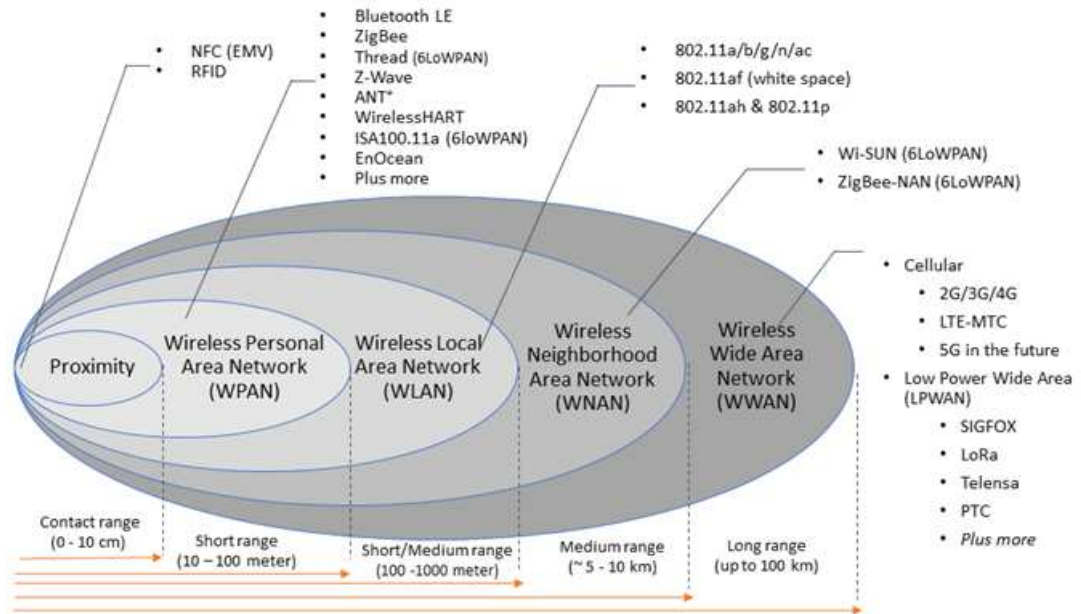
Jakékoliv zařízení, které pracuje samostatně bez potřeby lidského zásahu a zároveň je připojeno k počítačové síti, můžeme označit jako součást internetu věcí. Samotná architektura internetu věcí se dá rozdělit takto;

- **Věci** - samotné zařízení, které se připojí do sítě,
- **Síť** - komunikační brána nebo síť, která zařízení spojuje a zajišťuje přenos dat,
- **Cloud** - servery bezpečně ukládající data v datových centrech.

Věci bývají zpravidla senzory, které měří a následně odesílají tzv. „malá data“. Tím je myšleno, že je to velmi malé množství bajtů, které může reprezentovat například teplota, vlhkost nebo tlak. Tyto data jsou přenášena do cloudu, kde se sběrem „malých dat“ stanou časem „velká data“. Díky nim se mohou vyhodnocovat různé stavy zařízení. [1]

Při výběru komunikační technologie je třeba zvážit několik kritérií;

- **Přenosová rychlost** - kolik informací chceme přenášet,
- **Spotřeba energie** - přístup k napájení, životnost baterie,
- **Dosah** - na jakou vzdálenost chceme informace přenášet,
- **Frekvence** - jaké frekvence jsou v této oblasti možné k použití.



Obr. 1. 1 Přehled bezdrátových technologií, převzato [1]

1.1 Přiblížení jednotlivých technologií

1.1.1 LoRa

Technologie LoRa je zařízení pro dálkovou signalizaci a řízení a také je jednou z technologií pro IoT. Používá se pro přenos informací na velkou vzdálenost při nízké spotřebě a malým datovým tokem. Takové sítě se nazývají jako nízkovýkonové rozsáhlé sítě (LPWAN). Subskripce do LoRa sítě je v řádech desítek korun měsíčně, dá se tedy označit za levnou alternativu pro zařízení, kde není potřeba často přenášet velké množství dat.

Označení LoRa Technology skrývá dva další termíny, LoRa modulaci a LoRaWAN protokol. Modulace LoRa je patentovaná společností Semtech. LoRaWAN protokol zajišťuje zabezpečený transparentní přenos dat mezi koncovými zařízeními (internet věcí) a mezi aplikací, která běží na serveru. Organizace LoRa Alliance, do které patří desítky firem, se stará o rozvoj LoRaWAN protokolu.

LoRa je navržena pro evropskou frekvenci 868MHz, ale také pro americkou 913 MHz. Obě frekvence jsou zdarma k volnému použití. Pomocí této technologie bylo dosaženo skvělých výsledků. Dosah na přímou viditelnost až 40 km a v zastavěných prostorech kolem 2 km. Citlivost je -136 dBm a odolnost proti rušení je pod úrovní šumu -16 dB. Software i hardware je rozdílný pro obě frekvence, aplikační rozhraní je však identické. Citlivost značí

nejnižší úroveň signálu, při které je přijímač ještě schopen detekovat a demodulovat data. Je to vlastnost pouze přijímače a nezávisí na vysílači. Se vzrůstající vzdáleností signálu od samotného vysílače se snižuje síla signálu a tím je pro přijímač těžší detekovat signál. Zlepšení citlivosti přijímače (nižší dBm) umožní detekci slabších signálů a značně navýší dosah přenosu.

Princip LoRa modulace je založena na modulaci Chirp. Tato modulace rozprostírá signál po celé šířce vysílacího kanálu. Chirp modulace provádí lineární změnu kmitočtu. To snižuje náročnost na zdroj kmitočtu a několik vysílačů tak může využívat stejný kanál. LoRa modulace má další volitelné možnosti pro rozptěření (Spreading Factor) a šířku pásma. Tyto možnosti jsou pevně stanovené pro každou datovou rychlost. Datová rychlost je jediný parametr, který by měl uživatel nastavovat.

Tab. 1 Parametry modulace pro různé datové rychlosti

Datová rychlost (Data Rate)	Rozptěření (Spreading Factor)	Šířka přenosového pásma [kHz]	Přenosová rychlost [baud]	Citlivost přijímače [dBm]
0	12	125	292	-136
1	11	125	537	-133
2	10	125	976	-132
3	9	125	1757	-129
4	8	125	3125	-129
5	7	125	5468	-123
6	7	250	10937	-120
7	modulace FSK		50 k	-108

LoRaWAN protokol zabezpečuje přenos dat mezi aplikací, která běží na internetu, a koncovými zařízeními. Každý koncový bod v síti má svůj jedinečný 64-bitový identifikátor a dva 128-bitové klíče. Ty slouží k šifrování dat pomocí AES (standard pokročilého šifrování). První klíč slouží k tomu, aby bylo možné pokrýt stejné území více sítěmi, druhý klíč pak zabezpečuje přenos dat mezi uživatelskou aplikací a sítí. LoRaWAN Master analyzuje rádiové vlastnosti přijímaných dat a dále je přiřadí k příslušnému aplikačnímu serveru.

Jednotlivé koncové body se dají rozdělit do tří tříd podle doby, po kterou naslouchají. Rozdíly jsou tedy především ve spotřebě. Třída A naslouchá jen malou chvíli bezprostředně po odvysílání dat, tato třída má tedy nejnižší spotřebu. Třída B naslouchá stejně jako třída A

a navíc ještě v naplánovaných časech. Třída C potom naslouchá po celou dobu, po kterou nevysílá, spotřebu má tedy největší.

Modemy pro LoRu vyrábí například společnost Microchip. Modem RN3483 je určen pro evropské podmínky a obsahuje rádiovou část, radič s úplným protokolem LoRaWAN a EEPROM. Tento modem byl využit při experimentální realizaci komunikace, která bude popsána ve 3. kapitole. [2][3]

1.1.2 Sigfox

SigFox je stejně jako LoRa bezdrátová síť pro komunikaci na velké vzdálenosti. Přenáší malé množství informací převážně z měřících zařízení a různých senzorů. Řadí se také mezi LPWAN sítě pro IoT. SigFox se hojně využívá v aplikacích jako jsou odečty vody, elektřiny, plynu, zabezpečovací zařízení, logistika, sledování teplot, měření srážek apod. Měřící zařízení mohou být nezávislá na dostupnosti elektrické energie, protože výdrž na bateriích může být až 10 let. Cena za komunikaci v síti SigFox je stejně jako u LoRa v řádech desítek korun měsíčně a umožňuje tedy masové použití v mnoha odvětvích.

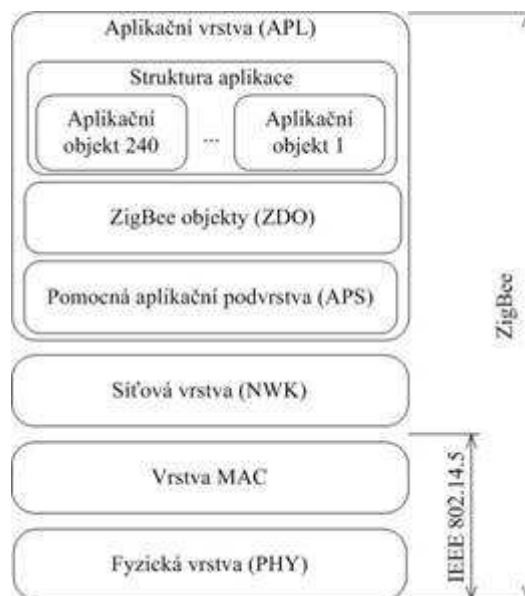
SigFox také používá bezplatnou frekvenci 868 MHz. K přenosu informací se využívá UNB (Ultra úzké pásmo), které vysílá krátký puls dat. Vysílací výkon je omezený na 100 mW. Při vysílání zabírá zpráva šířku pásma 100 Hz a rychlost přenášení je 100, případně 600 bitů za sekundu (závisí na regionu). To znamená velký dosah a značnou odolnost proti rušení. Využívá se modulace DBPSK (diferenciální binární klíčování fázovým posuvem). Díky nízké přenosové rychlosti a úzkého přenosového pásma je přenosové spektrum efektivně využito a přijímač je schopen demodulace signálů blízko hladině šumu.

Síť pro SigFox technologii má topologii hvězda. Základové stanice se často instalují na vysílače využívané mobilními operátory, což je ekonomicky přívětivé. Každá stanice pokrývá určitou oblast, pokud je zařízení vysílající nějakou zprávu v dosahu základové stanice, tak je zpráva stanicí zaslána do SigFox cloudu přes protokol TCP/IP. Podoba vysílaných dat nemá nijak definovanou strukturu, záleží tedy jen na uživateli, jak a co si posílá a následně čte. Uživatel má potom přístup prostřednictvím API (programovací rozhraní aplikace) ze svého zařízení.

Identifikace zařízení probíhá dle certifikátu v příslušném SigFox modulu, který obsahuje jedinečné sériové číslo a tím se zařízení identifikuje. Obdobně jako MAC adresa u ethernetových zařízení. Počet zařízení v síti omezuje doba, jak dlouho smějí koncové body vysílat. Tím je omezen počet zpráv, které můžou základovou stanicí projít. Z těchto důvodů jsou dané omezení na 140 vysílacích 12 bajtových a 4 zpětné 8 bajtové zprávy. Přibližně to odpovídá jedné zprávě každých 10 minut. Z toho plynou určitá omezení v porovnání s LoRa sítí. [4]

1.1.3 ZigBee

Většina moderních síťových protokolů má koncept vrstev, které rozdělují různé komponenty a funkce do nezávislých modulů, které mohou být kompletovány různými způsoby. Každá síť má fyzickou vrstvu, kde jsou vysílány signály. Model ZigBee je odvozen ze sedmivrstvého modelu ISO/OSI. Standard IEEE 802.14.5 definuje fyzickou vrstvu a podvrstvu MAC spojové vrstvy. Toto označení je vlastně balík standardů, který obstarává řízení spotřeby, adresování, korekci chyb, formát zpráv a ostatní specifika přenosu bod-bod, která jsou nezbytná pro správnou komunikaci z jednoho rádiového bodu do dalšího. ZigBee Alliance definuje nad těmito vrstvami síťovou a aplikační vrstvu. (Obr 1.2)



Obr. 1. 2 Model ZigBee 1.0, převzato z [5]

Pomocí těchto vrstev se zajišťují tři důležité věci.

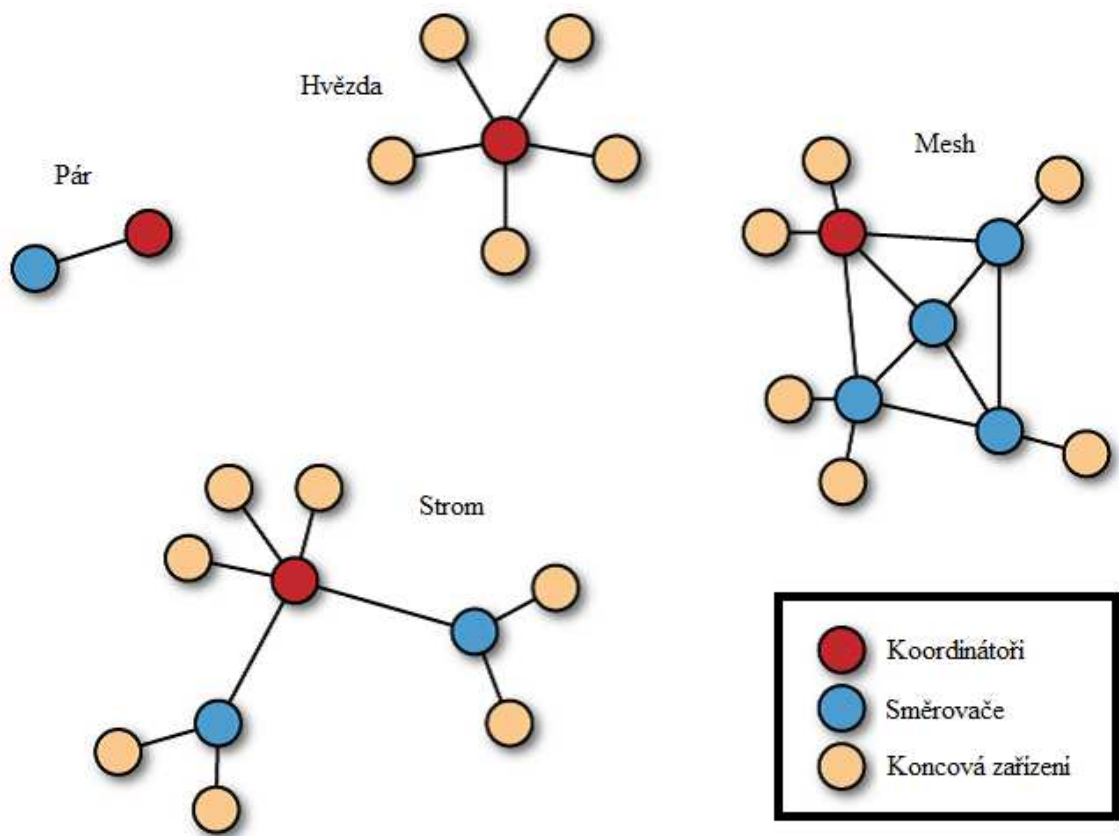
- **Routování (směrování)** - Směrovací tabulky definují, jak může jeden rádiový modul předat zprávu cílovému, přes několik dalších rádiových modulů, které jsou mezi nimi.
- **Vytvoření ad hoc sítě** - Ad-hoc síť umožňuje každému zařízení komunikovat s jakýmkoliv jiným zařízením v síti, za pomoci ostatních zařízení i bez přímé rádiové viditelnosti původních dvou zařízení.
- **Self-healing mesh** - Schopnost vytvořit alternativní komunikační cestu v případě, že nějaký komunikační bod selže nebo ztratí signál.

Každá ZigBee síť musí mít alespoň jedno zařízení, které bude tzv. koordinátor. Abychom mohli vytvořit síť, musíme propojit minimálně dva komunikační body. Takže každá ZigBee síť bude mít minimálně jeden další prvek a to buď směrovač, nebo koncové zařízení. Většina dnešních sítí bude mít oba tyto členy a většina z nich bude mnohem větší než jen dva nebo tři moduly.

- **Koordinátor** - Každá ZigBee síť má jedinečné zařízení, které plní funkci koordinátora. Ten je zodpovědný za tvorbu sítě, zachází s adresami a spravuje ostatní funkce sítě. Síť nesmí mít více než jednoho koordinátora.
- **Router (směrovač)** - Je to plnohodnotný ZigBee komunikační uzel. Může se připojit do existujících sítí, posílat informace, přijímat informace a předávat je dál. Routování (směrování) znamená, že se chová jako prostředník pro komunikaci mezi zařízeními, které jsou příliš daleko, aby si předali informace přímo. Směrovače bývají připojené k napájení, protože musejí být trvale zapnuté. Síť může mít několik směrovačů.
- **Koncové zařízení** - Koncová zařízení mohou pouze odesílat, nebo přijímat informace. Nemohou přeposílat zprávy z jiného zařízení dál jako směrovače. Díky tomu ale mohou být sestaveny z levnějších součástí a mají mnohem menší spotřebu energie, protože se mohou dočasně uspat (sleep mode). Koncová zařízení vždy potřebují směrovač nebo koordinátora jako své nadřazené zařízení. Ty totiž obstarávají připojení koncových zařízení do sítě a uchovávají zprávy pro ně určené, když jsou zrovna uspané. ZigBee síť mohou mít nespočet koncových zařízení. Síť může být složena z jednoho koordinátora a mnoha koncových zařízení bez jediného směrovače.

Kromě topologie bod-bod, známe tři hlavní topologie ZigBee sítí. (Obr. 1.3)

- **Pár** - Nejjednodušší síť složená jen ze dvou rádiových zařízení nebo uzlů. Jedno zařízení musí být typu koordinátor, aby mohla být síť vytvořena. Druhé může být koncové zařízení nebo směrovač.
- **Hvězda** - Také jednodušší síť. Zařízení typu koordinátor je střed hvězdicové topologie a spojuje všechna koncová zařízení. Každá zpráva v této síti tedy musí projít přes koordinátora, který je přeposílá dle potřeby. Koncová zařízení spolu nekomunikují přímo.
- **Mesh** - Tato topologie využívá ještě navíc také zařízení typu směrovač. Ty pak mohou přeposílat zprávy mezi sebou až do koncových zařízeních. Koordinátor (vlastně jen speciální typ směrovače) spravuje celou síť a také přeposílá (routuje) zprávy. Různé koncové body mohou být připojeny (bezdrátově) k jakémukoliv směrovači nebo koordinátorovi. Jako takové mohou generovat nebo přijímat informace, ale potřebují pomoc nadřazeného členu s komunikací s dalšími body.
- **Cluster tree (strom)** - Tento typ sítě vytváří jakousi páteř jednotlivých stromů. Velmi podobná síť jako typ mesh. [5][6]



Obr. 1. 3 Topologie ZigBee sítí, převzato z [6]

1.1.4 WiFi

Jedná se o jednu z nejrychlejších bezdrátových technologií. Nejčastěji operuje v bezlicenčním pásmu okolo 2,4 GHz, stále častěji se nyní vyrábějí routery, které pracují na frekvenci 5 GHz. Takové routery pracují se standardem IEEE 802.11ac a dosahují rychlosti přesahující 1Gbps. WiFi signál na 5 GHz má horší prostupnost zdiemi než 2,4 GHz. Obecnou nevýhodou WiFi technologie je omezený dosah. Je možné dosáhnout až na kilometry vzdálenosti za pomoci směrových antén a přímé viditelnosti, ale to se příliš často nevyužívá. Další nevýhodou je malá odolnost proti rušení, protože frekvenční pásmo je využité hlavně pro přenosovou rychlost. WiFi se tedy používá hlavně při potřebě přenášet velké množství dat na kratší vzdálenosti. Zařízení jsou ve většině napájena ze sítě, kvůli vysoké spotřebě energie. [7][8]

1.1.5 Bluetooth

Další bezdrátová technologie, která pracuje na frekvenci 2,4 GHz. Je méně energeticky náročná než WiFi, přenosové rychlosti jsou ale zpravidla nižší. Nejnovější verze Bluetooth 5 značně vylepšuje dosah (až na 100 m) a přenosovou rychlost (až na 2 Mbps). Původní Bluetooth 4.2 bylo omezené velikostí zprávy 31 bajtů, Bluetooth 5 má limit velikosti zprávy 255 bajtů. Je patrné také zaměření na IoT. Novinkou je Bluetooth LE (Low energy), které je speciálně zaměřené na nízkoenergetické použití. Podporuje nastavení rychlostí od 125 Kbps až do 2 Mbps. Podporuje také několik topologií, jako bod-bod a mesh. [9][10]

1.1.6 GSM

GSM (Global System for Mobile communication) je digitální mobilní systém široce používaný po celém světě. GSM se dnes stará výhradně o hlasové služby. Data zajišťuje LTE technologie, která může dosahovat rychlostí až 1Gbps. Technologie pracují na různých licencovaných frekvenčních pásmech. Vysílače jsou spravovány různými poskytovateli. Výhodou je velká propustnost dat a nevýhodou větší spotřeba a výraznější finanční náklady. [11][12]

1.2 Porovnání

Tab. 2 Porovnání komunikačních technologií

	LoRa	SigFox	ZigBee	WiFi	Bluetooth	GSM
Cena	starnet 150Kč/rok za jedno zařízení	do desítek kč/měsíc	zdarma	zdarma	zdarma	závisí na datovém tarifu, od cca 100Kč/měsíc (400MB)
Frekvence	433/868 MHz	868 MHz	868 MHz / 2,4 GHz	2,4/5 GHz	2,4 GHz	licencované pásmo
Dosah	jednotky až desítky km	desítky km	stovky metrů	na přímou viditelnost až stovky metrů	desítky metrů	neomezený
Přenosová rychlost	až 50 kb/s	100 b/s	max 250 kb/s	1 Gb/s	až 2 Mb/s	až 1 Gb/s
Objem dat	desítky bajtů	zpráva max 12 bajtů, denně max 140 zpráv	neomezeno	neomezeno	neomezeno	omezeno jen tarifem
spotřeba	nízká	nízká	nízká	velká	nízká	velká

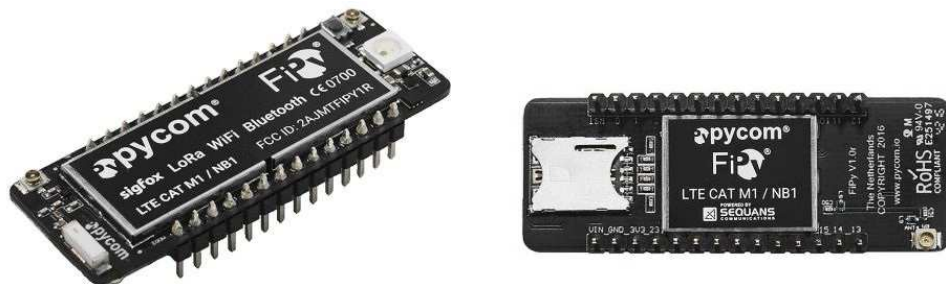
Pro aplikace, které nevyžadují vysoké datové rychlosti a přenos objemných dat, budou ideální technologie LoRa a SigFox. S rozšiřujícím se pokrytím u nás bude dosah prakticky neomezený za relativně malý poplatek za připojené zařízení. Také se hodí tam, kde není dostupné napájení a jediné řešení je provoz na baterie. Pro méně rozlehlé soukromé sítě by se mohla více hodit technologie ZigBee, kde nebude potřeba platit paušální poplatek. Opět ale pouze pro malá data. Pro ještě kratší vzdálenosti pak Bluetooth.

Technologie vhodné pro aplikace s přístupem k napájení ze sítě jsou WiFi a GSM. Na krátké vzdálenosti je ideální WiFi s vysokými rychlostmi přenosu. Neomezený dosah je dostupný s GSM, nevýhodou je jen nutnost placení příslušného tarifu dle velikosti přenášených dat.

2 Komerční jednotky dle technologie

V této kapitole budou uvedeny komunikační moduly kompatibilní se dříve specifikovanými technologiemi, LoRa, SigFox nebo ZigBee.

Jako první bude uveden modul, který kombinuje více sítí dohromady. Deska FiPy IoT Dev Board Wifi/LoRa/SigFox/LTE je od výrobce Pycom. Kombinuje procesor, všech pět sítí uvedených v názvu, programuje se pomocí MicroPythonu a měl by dosahovat velmi nízké energetické náročnosti. Tento výrobce má v nabídce také vícero modulů určených přímo pro síť LoRa nebo SigFox, vždy k tomu ale kombinuje Bluetooth a WiFi. Modul je určitě zajímavý dostupností všech těchto sítí v jednom modulu za cenu cca 2000 Kč včetně DPH. [13]



Obr. 2. 1 Pycom FiPy IoT Dev Board, převzato z [13]

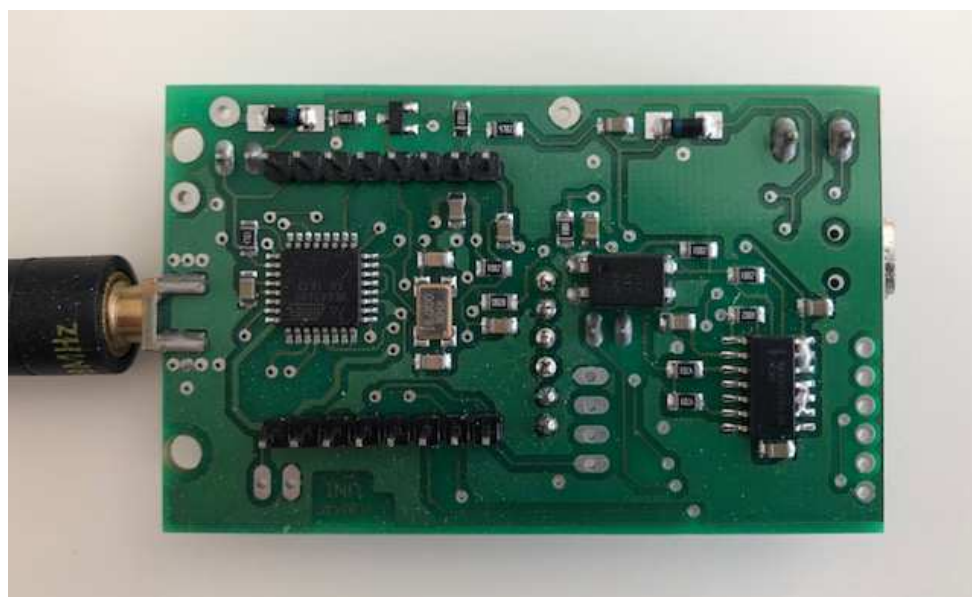
2.1 LoRa

2.1.1 LoRaWAN Arduino UNI senzor

Deska, která obsahuje duální transceiver LoRaWAN RN2483 od společnosti Microchip a mikroprocesor ATmega328p kompatibilní s Arduino. Dále obsahuje další nezávislý procesor ATmega8 pro jednoduché nízkovýkonové aplikace, detektor sepnutí kontaktu a detektor napětí na USB mini. Má vyvedené sběrnice I2C a OneWire. Součástí jsou i knihovny, které řeší komunikaci v rámci LoRaWAN infrastruktury a LowPower managementu. Cena cca 1200 Kč včetně DPH. Dva tyto moduly byly využity pro experimentální realizaci komunikace (3. kapitola). [14]



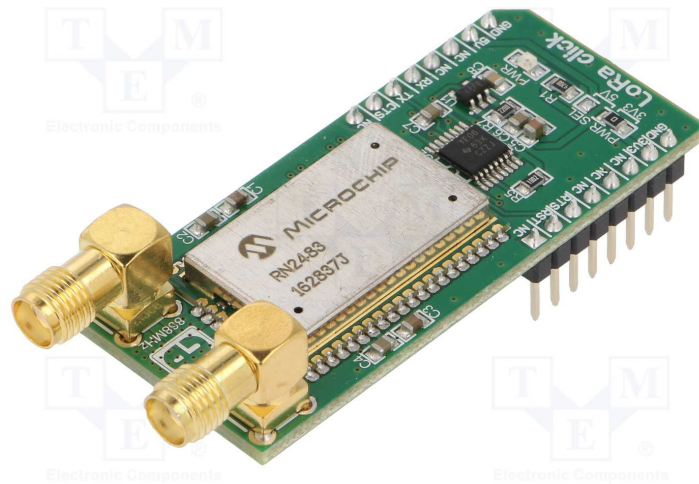
Obr. 2. 2 LoRaWAN Arduino UNI senzor shora



Obr. 2. 3 LoRaWAN Arduino UNI senzor zespodu

2.1.2 LORA RF CLICK

Tato deska od výrobce MikroElektronika je také osazena modemem RN2483 podporujícím evropské frekvence 433/868 MHz. Deska má vyvedené dvě antény, první pro frekvenci 433 MHz a druhá pro 868 MHz, uživatel si může zvolit, na které frekvenci chce vysílat. Desku lze připojit přes mikroBUS konektor do cílové (hlavní) desky. Komunikace probíhá přes UART rozhraní. Lze ji napájet 3,3 nebo 5V. Cena cca 1400 Kč včetně DPH. [15]



Obr. 2. 4 LORA RF CLICK, převzato z [14]

2.1.3 RN2483 LoRa Mote Development Node

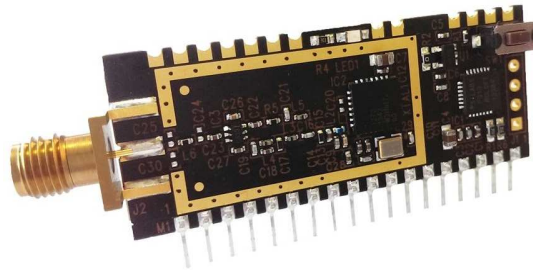
Tento modul je také založený na čipu RN2483, celá deska je od firmy Microchip. Je to koncové zařízení třídy A. Pomocí toho modulu je možno snadno a rychle demonstrovat možnosti LoRa sítě. Má přímo na desce držák na 2 kusy AAA baterií. Přímou na desce je také integrován světelný a teplotní senzor, údaje z těchto senzorů mohou být odesílány podle uživatelem nadefinovaného rozvrhu, případně přímo tlačítkem na desce. Součástí je i OLED display, který ukazuje současný stav připojení a hodnoty ze senzorů. Pro připojení je zde USB rozhraní, USB/UART převodník je integrován v desce. Cena cca 1930 Kč včetně DPH. [16]



Obr. 2. 5 Microchip LoRa Mote Dev. Node, převzato z [16]

2.1.4 GAMMA-868

Zajímavý druh desky, který umožňuje spárovat více stejných desek do jedné sítě. Jeden modul může být vysílač a komunikovat s několika přijímači, nebo naopak, případně mohou být moduly spojeny obousměrně. Propojení jednotlivých modulů má tu vlastnost, že vstupy a výstupy jsou číselně spárovány. To znamená, že který vstup na vysílači bude sepnutý, tak přesně tento výstup sepne na přijímači. Párování se provádí tlačítkem přímo na desce, takto lze spárovat sítě ve formátu bod-bod, bod-více bodů nebo více bodů-bod. Vše je popsáno v datovém listu výrobce k tomuto produktu. Cena jednoho modulu je cca 900 Kč včetně DPH. [17]



Obr. 2. 6 GAMMA-868, převzato z [17]

2.2 SigFox

2.2.1 SIGFOX Arduino UNO

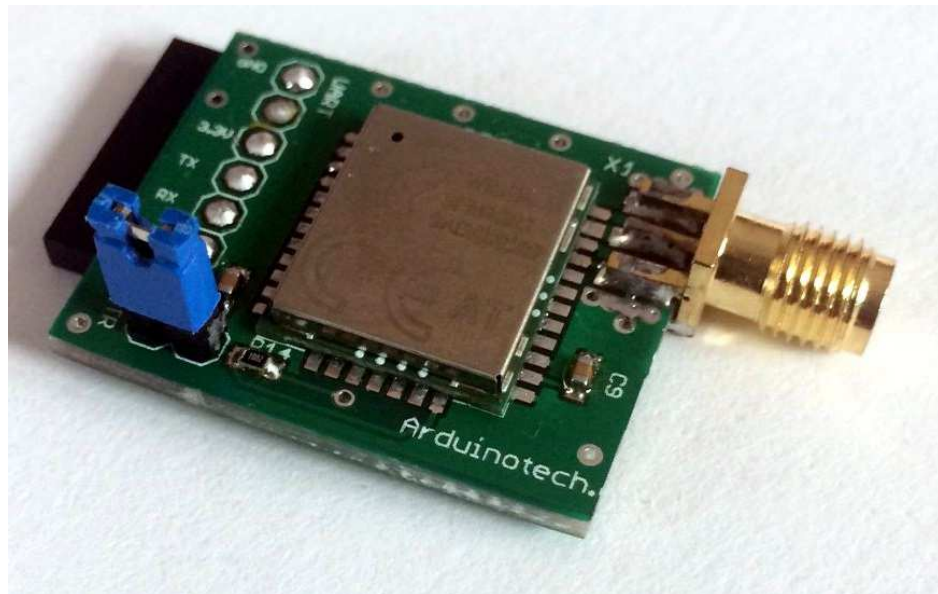
Modul z webových stránek arduinotech obsahuje transceiver SigFox společnosti Radiocrafts RC1682. Modul je osazený také procesorem ATmega328p přímo propojený s transceiverem. Bootloader Arduino UNO. Použitelných je 6 digitálních vstupů/výstupů, 1 digitální vstup s přerušením a 1 analogový vstup/výstup. Flashování přes UART/USB převodník. Cena cca 1200 Kč včetně DPH. [18]



Obr. 2. 7 SigFox Arduino UNO, převzato z [18]

2.2.2 SIGFOX WISOL StarterNode

Další produkt vlastní výroby z webové stránky arduinotech. Jednodušší modul bez jakéhokoliv procesoru. Součástí je pouze transceiver SigFox WISOL RCZ01 s vyvedenými piny odpovídající USB/UART převodníku, to znamená snadné zakomponování modulu k Arduinu nebo třeba Raspberry PI. Cena je níže cca 360 Kč včetně DPH. [19]



Obr. 2. 8 SigFox WISOL StarterNode, převzato z [19]

2.2.3 LPWAN SigFox Node UART Modem 868MHz

Prakticky stejný modul jen od jiného výrobce, součástí dodávky je i licence na 1 rok. Z datového listu je dostupný seznam příkazů a ostatní informace. Cena také cca 360 Kč včetně DPH. [20]

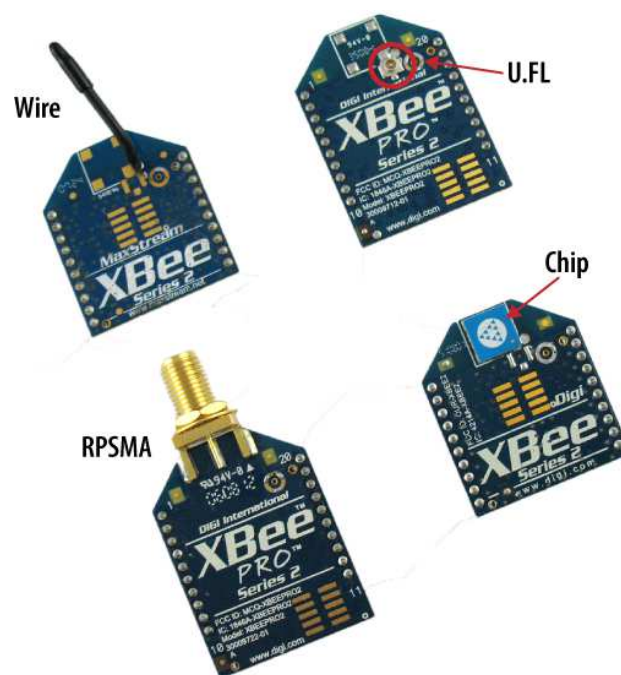


Obr. 2. 9 LPWAN SigFox Node UART modem, převzato z [20]

2.3 ZigBee

Asi nejznámější výrobce modulů využívající komunikační technologii ZigBee je společnost Digi international, která vyrábí moduly XBee.

Samotné moduly XBee lze koupit v různých provedeních. Je třeba dbát zvýšené pozornosti, jakou sérii XBee koupit. První série totiž není kompatibilní s druhou. Obě série se dají sehnat ve dvou rozdílných výkonových provedení, standardní a PRO verzi. Lze pořídit XBee modul s různě vyvedenou anténou viz *Obr. 2.10*. Jsou dostupné různé doplňky od jiných výrobců jako shield pro Arduino nebo dongle s USB připojitelný přímo do PC. Další možnost je také připojení do nepájivého pole a propojení s Arduinem vodiči. Standardně uváděný dosah modulu série 2 je přibližně 120 metrů při přímé viditelnosti, i když oficiální stránky uvádějí dosah až 3 km. XBee série 1 i sérii 2 lze pořídit za cenu do 700 Kč včetně DPH za modul. [6][21][22]



Obr. 2. 10 XBee moduly - různé provedení dle antén, převzato z [6]

3 Vlastní realizace

Tato část se zabývá samotným řešením bezdrátové komunikace, použitým hardwarem a programovým vybavením, pomocí kterého se komunikace docílí.

3.1 Zvolený model

K vlastní experimentální realizaci bezdrátového přenosu byl použit modul LoRaWAN Arduino UNI z webových stránek www.arduino-tech.cz, který byl představen výše. Byly použity dva tyto moduly, kvůli přímé komunikaci mezi nimi, tedy bez nutnosti řešit subskripci do LoRa sítě. Zajímavé by bylo takovouto komunikaci provozovat ve vlastní soukromé síti, složené z takovýchto modulů, které budou komunikovat jen mezi sebou. Navíc je zde možnost kdykoliv vyzkoušet funkčnost v rámci zpoplatněné sítě. Další výhodou je přímo na modulu integrovaný mikroprocesor ATmega328p, který obsahuje bootloader Arduino UNO. Modul tedy lze programovat pomocí Arduino IDE (vývojové prostředí), nahrávání programu do modulu probíhá přes USB/UART převodník. Ovládat rádiový modul pak lze pomocí sériové komunikace z Arduina.

Abych mohl komunikovat přímo mezi dvěma moduly, je nutné nastavit rádiové moduly. V tomto případě RN2483 od společnosti Microchip. Celý návod s listem příkazů pro komunikaci je dostupný ze zdroje [23].

3.2 Hardware

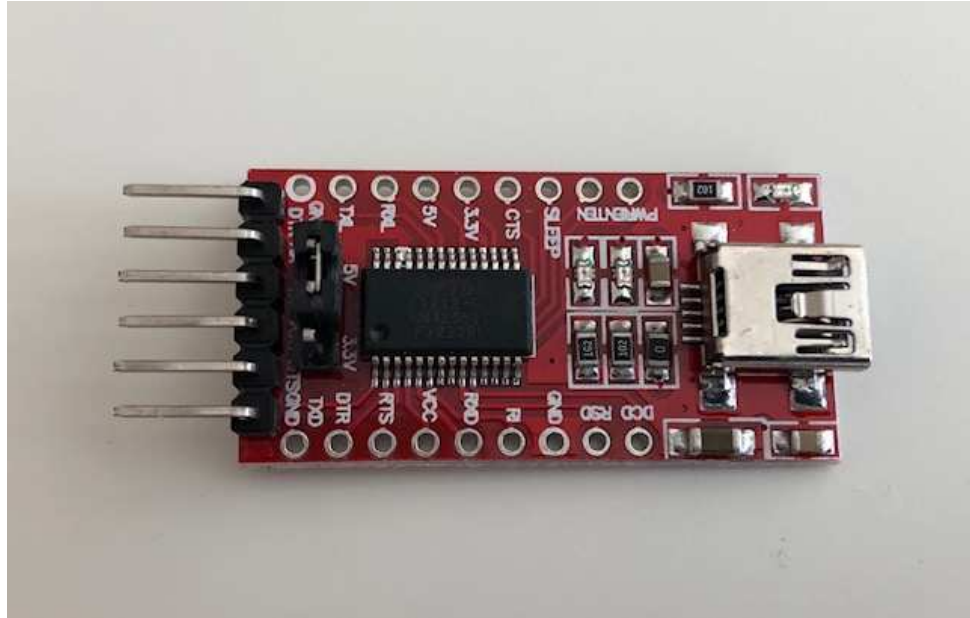
V této kapitole je popsán hardware, který byl použit při tvorbě vlastního řešení. Pro testování přenosu informace v reálných podmínkách byl vybrán jednoduchý snímač teploty a tlaku na straně vysílače, a malý OLED displej na straně přijímače pro vizualizaci přenesených dat.

3.2.1 LoRaWAN Arduino UNI modul

Modul je popsán výše v sekci LoRa modulů (kap. 2.1.1).

3.2.2 UART/USB FTDI převodník

Jednoduchý převodník pro nahrávání Arduino programu do procesoru.



Obr. 3. 1 UART/USB převodník

3.2.3 Senzor tlaku BMP180

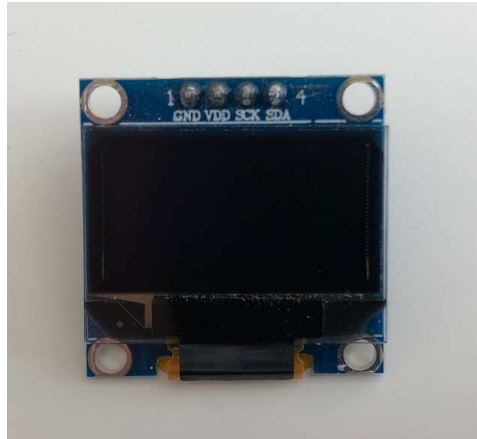
Modul od společnosti Bosh snadno implementovatelný v Arduino. Jedná se o méně přesnou a levnější variantu senzoru BMP085. Umožňuje měření barometrického tlaku a měření teploty. Pomocí naměřených hodnot lze také získat aktuální nadmořskou výšku. Tlak by měl modul měřit od 300 hPa až do 1100 hPa, teplotu pak od 0 až do +65 stupňů Celsia. Připojuje se k Arduino přes sběrnici I2C. K vyčítání hodnot z modulu v Arduino programu je potřeba knihovna BMP085.h (funguje pro oba moduly). [24]



Obr. 3. 2 Senzor tlaku BMP180

3.2.4 OLED Display 128x64

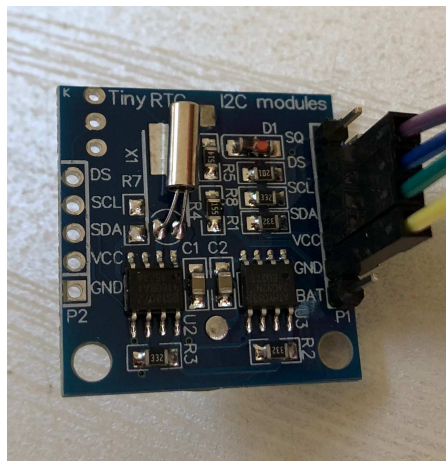
Malý OLED display jsem použil jako zobrazovací zařízení přenášených informací, komunikace je opět po sběrnici I2C. K zobrazování je třeba knihovna U8glib.h, která podporuje velké množství i jiných displejů. [25]



Obr. 3. 3 OLED Display 128x64

3.2.5 RTC modul hodin reálného času DS1307

Základní modul hodin reálného času. Na zadní straně má pouzdro na plochou baterii typu CR2032, díky které je modul schopen udržet si nastavený čas až několik let. Modul komunikuje po sběrnici I2C a k jeho obslužení je potřeba patřičná knihovna RTClib.h. Po prvotním nahrání programu a nastavení času modulu je třeba příslušné řádky kódu, které nastavují hodnotu času, zakomentovat nebo úplně smazat, aby se při následujícím přehrání programu znovu nenastavil čas na prvně zadanou hodnotu. [26]



Obr. 3. 4 Modul hodin reálného času DS1307

3.3 Software

Zvolený modul se programuje přes standardní Arduino IDE. Přímo na desce jsou propojeny potřebné piny mezi procesorem ATmega328p a LoRa rádiovým modemem RN2483. Komunikace s rádiovým modemem probíhá po sériové lince, defaultní nastavení sériového portu je 57600 bps.

Rozeznáváme tři úrovně příkazů pro rádiový modul;

- **sys** - systémové příkazy,
- **mac** - příkazy vztahující se k LoRaWAN protokolu,
- **radio** - příkazy pro nízko úrovněvé rádio přenosy.

Na příkaz `sys get ver` modul odpoví verzi současného firmwaru. Takto zjistíme, že komunikace funguje správně.

```
sys get ver
```

```
RN2483 1.0.1 Dec 15 2015 09:38:09
```

Abychom mohli komunikovat přímo mezi dvěma zařízeními pomocí LoRa přenosu bod-bod, musíme zastavit mac úroveň. Mac úroveň obsluhuje celý LoRaWAN protokol, který se pro toto spojení nevyužije. Na obou modulech je potřeba zadat příkaz:

```
mac pause
```

```
4294967245
```

Pokud se neuvede doba, na kterou chceme LoRaWAN protokol pozastavit, odpoví modul maximální hodnotu. To znamená, že funkce protokolu je kompletně pozastavena.

Nyní je modul připravený komunikovat. Ještě je možnost zkontrolovat defaultní nastavené parametry.

```
radio get mod
```

```
lora
```

```
radio get freq
```

```
868100000
```

Modul je defaultně nakonfigurovaný jako LoRa zařízení s frekvencí 868,1 MHz.

Kontrola faktoru rozprostření.

```
radio get sf  
sf12
```

Faktor rozprostření udává, jak jsou informace rozloženy v šířce pásma. Čím vyšší má hodnotu, tím větší je dosah vysílání. Na druhou stranu je náročnější na baterii a zmenšuje se tím přenosová rychlost. SF12 je nejvyšší možná hodnota.

```
radio get bw  
125
```

Šířka pásma (bandwidth) určuje množství dat, které je možné poslat v jednom vysílání. Je možné nastavit hodnoty 125 kHz, 250 kHz a 500 kHz. Menší šířka pásma znamená menší spotřebu energie, větší dosah a větší odolnost proti rušení.

```
radio get cr  
4/5
```

CR (coding rate) znamená korekci chyb přidáním redundantní informace k přenášené zprávě, neboli kolik korekčních bitů přidáme ke každým 4 bitům. Hodnota 4/5 znamená, že na 4 bity užitečné informace vygeneruje vysílač 5 bitů, tedy ke každé čtveřici bitů přidá jeden redundantní. Dále je možné nastavit hodnoty 4/6, 4/7 a 4/8. Čím více korekčních bitů použijeme, tím je přenos náročnější na baterii, protože je třeba odeslat větší množství dat, ale zvětší se tím dosah. [27]

```
radio get pwr  
1
```

Síla signálu udává sílu vysílače v dBm, může se nastavit od -3 do 15 dBm. Vyšší hodnota zlepšuje sílu signálu, ale zároveň zvýší spotřebu energie. Změna síly signálu nelze uložit, po každém restartu je třeba úroveň znovu nastavit. Podrobně v *Tab. 3*.

Tab. 3 Parametry nastavení síly výstupního signálu [23]

Frekvence	Nastavení síly TX (radio set pwr)	Výstupní síla signálu (dBm)	Napájecí proud při 3,3 V (mA)
868 MHz	-3	-4,0	17,3
	-2	-2,9	18,0
	-1	-1,9	18,7
	0	-1,7	20,2
	1	-0,6	21,2
	2	0,4	22,3
	3	1,4	23,5
	4	2,5	24,7
	5	3,6	26,1
	6	4,7	27,5
	7	5,8	28,8
	8	6,9	30,0
	9	8,1	31,2
	10	9,3	32,4
	11	10,4	33,7
12	11,6	35,1	
13	12,5	36,5	
14	13,5	38,0	
15	14,1	38,9	

3.3.1 Program vysílače (Tx)

Modul nastavený pro odesílání zprávy jednou za cca sto vteřin přečte ze snímače aktuální teplotu a tlak, převede do formátu textového řetězce (String) s hexadecimálním formátováním dat. V době nečinnosti se uspí pro dosažení co nejmenší spotřeby.

Nastavení modemu RN2483 vysílacího zařízení.

```
mac pause
4294967245
radio set pwr 14
ok
```

Zprávu potom pošleme pomocí příkazu *radio tx <zpráva>* :

```
radio tx <PŘENÁŠENÁ ZPRÁVA V HEXADECIMÁLNÍM TVARU>
ok
radio_tx_ok
```

3.3.2 Program přijímače (Rx)

Přijímací modul čeká na zprávu. Po přijetí zprávy program dekóduje informace z textového řetězce a zobrazí data na displeji s časovým údajem, kdy data přijal. Pokud zprávu nepřijme v daném časovém intervalu, nastaví se znovu pro příjem a čeká na zprávu. Display vždy ukazuje poslední úspěšně přijaté hodnoty a k nim příslušnou časovou značku.

Nastavení modemu RN2483 vysílacího zařízení. Příkaz `radio set wdt` nastavuje čas v milisekundách, po kterém nastane time out. Zde nastaven na 105 sekund, tedy o něco větší než je interval vysílání zpráv. Příkaz `radio rx 0` nastaví modem pro nepřetržitý příjem. Jakmile se zpráva doručí, nepřetržitý příjem se ukončí. Musí se tedy nastavit znovu pro čekání na další zprávu.

```
mac pause
4294967245
radio set wdt 105000
ok
radio rx 0
ok
```

S úspěšně přijatou zprávou potom vypadá odpověď modemu takto:

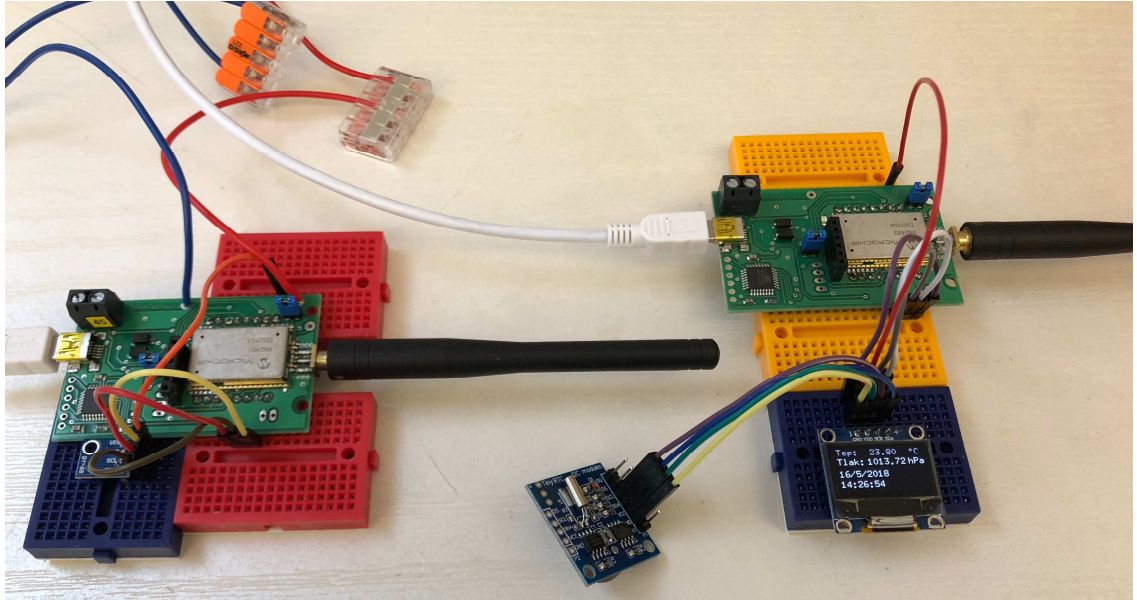
```
radio rx 0
ok
radio_rx <PŘIJATÁ ZPRÁVA V HEXADECIMÁLNÍM TVARU>
```

Pokud nebyl příjem úspěšný, nebo došlo na time out, bude odpověď vypadat takto:

```
radio rx 0
ok
radio_err
```

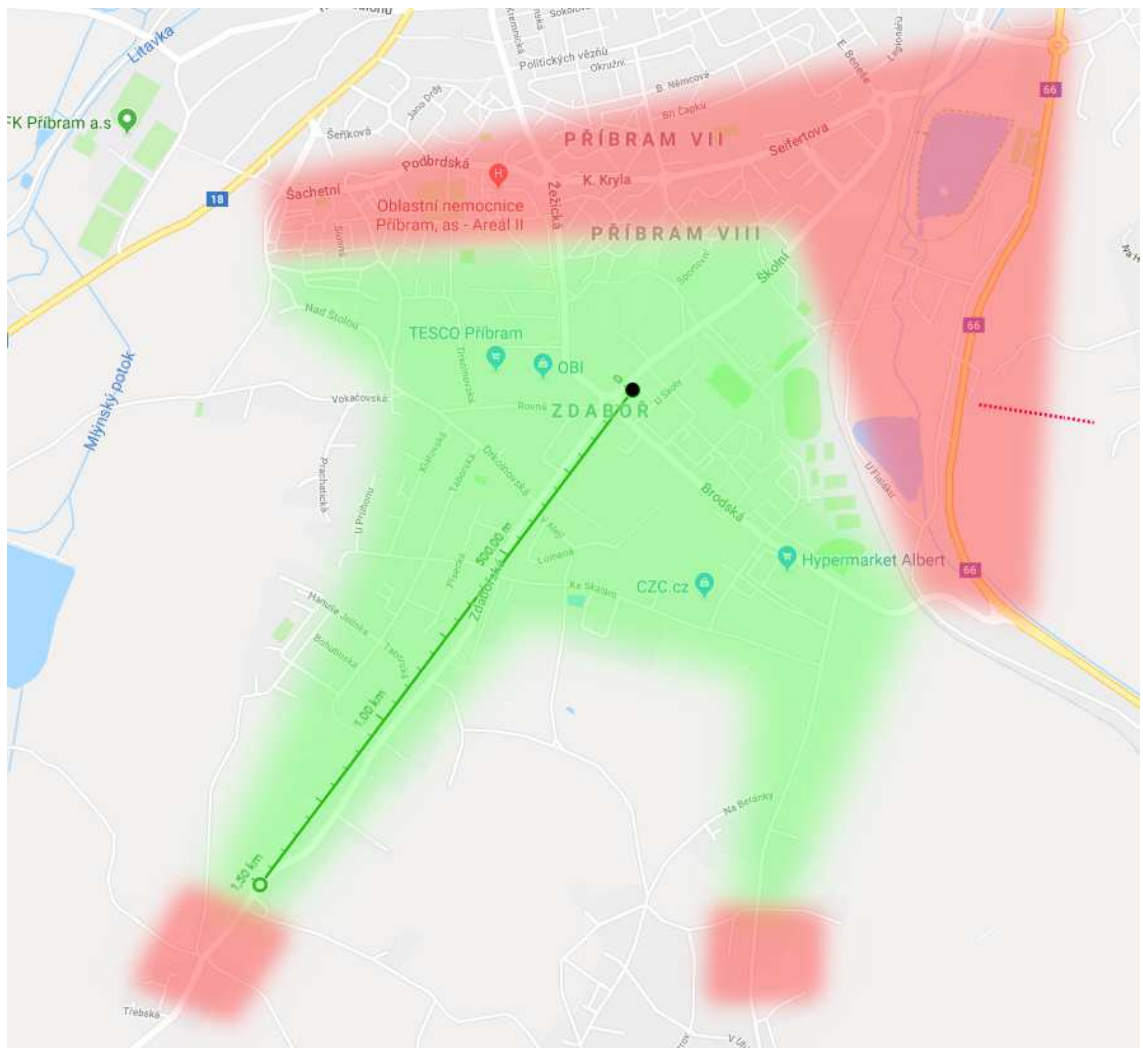

3.4 Ověření funkce

Na Obr 3.5 je výsledné zapojení s funkčním programovým vybavením.



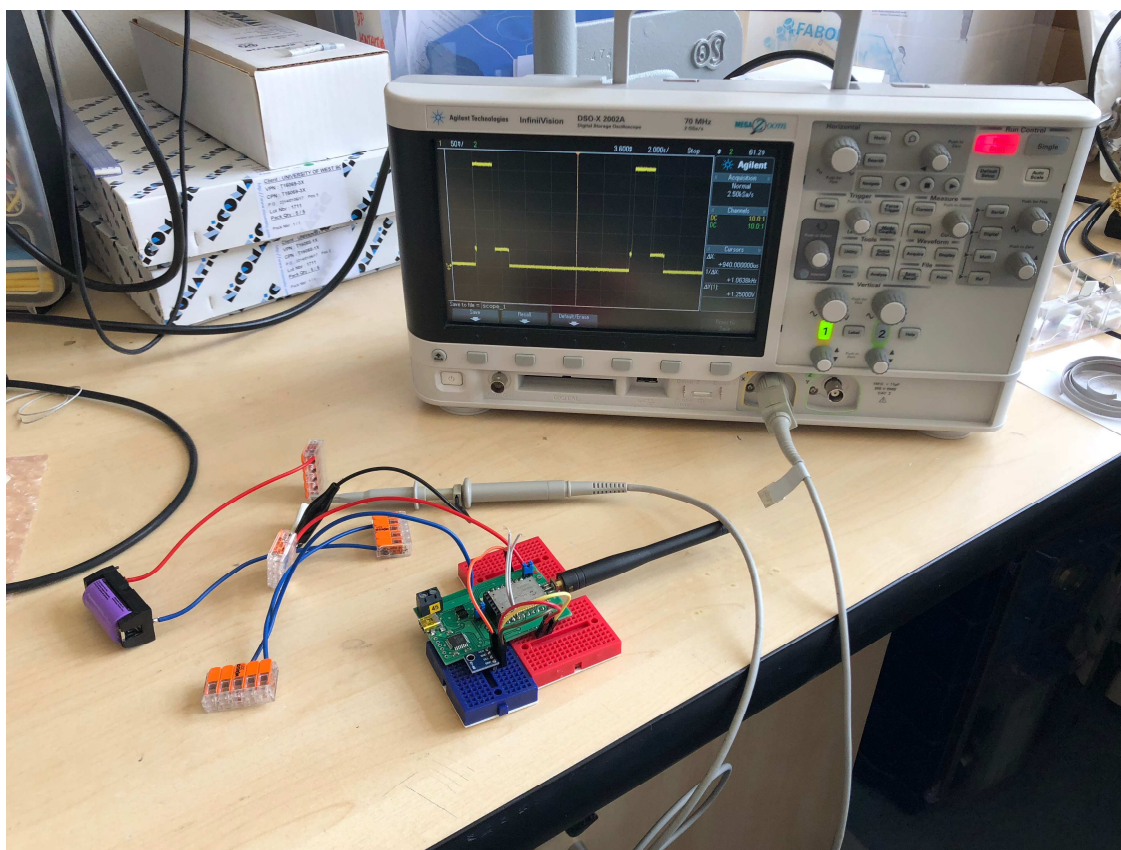
Obr. 3. 5 Výsledné zapojení obou modulů

Orientační testování dosahu bezdrátové komunikace na těchto modulech bylo provedeno v místě mého bydliště (Příbram). Umístění vysílače značí na mapě (Obr. 3.6) černý bod. Modul byl ponechán na okně v pátém patře panelového domu namířen jihozápadním směrem, kde je vyznačená naměřená vzdálenost. S přijímačem byl testován příjem v různých částech města. Zelená oblast vyznačená na mapě značí úspěšný příjem. Červená oblast značí místa, kde modul nepřijal nic. V nevybarvené části příjem nebyl testován. Oblast je kopcovitého charakteru s relativně hustou zástavbou. Největší dosah byl naměřen ve směru vysílače (1,5 km), dosah z odvrácené strany panelového domu byl výrazně menší. Použitá vystřižená část mapy je z webových stránek www.google.com/maps.



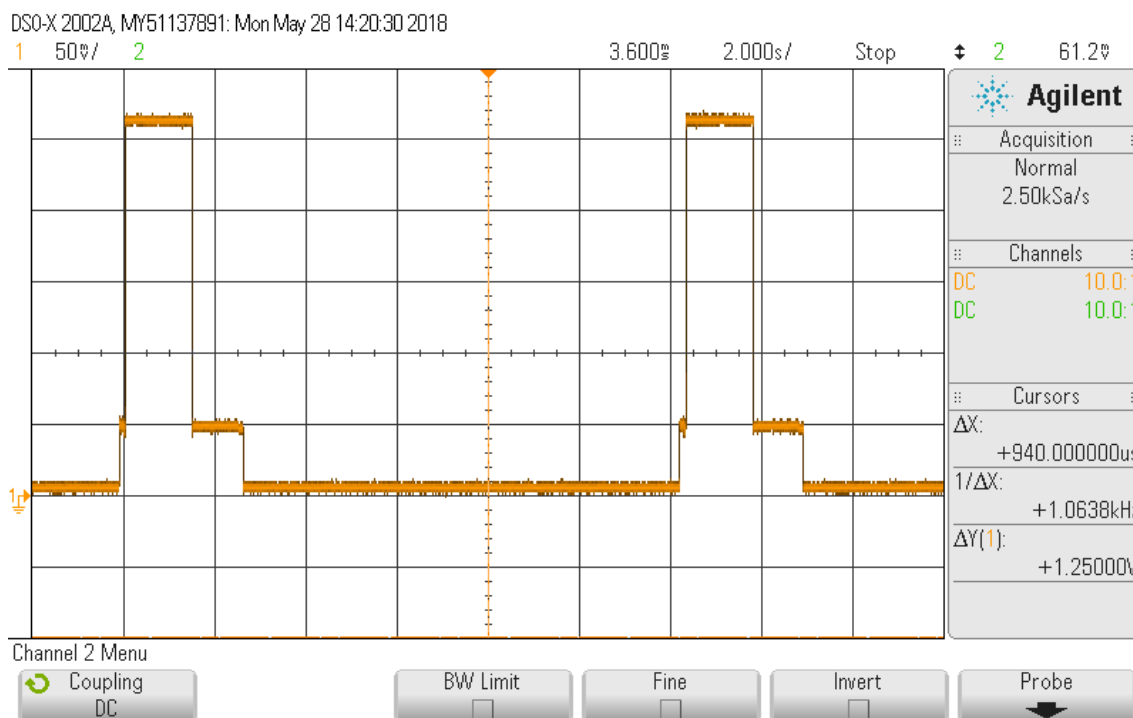
Obr. 3. 6 Mapa dosahu testovaných modulů

Pro dosažení co nejnižší spotřeby vysílajícího modulu byla použita knihovna LowPower.h poskytnutá výrobcem modulu. Měření bylo provedeno na Fakultě elektrotechnické v Plzni. Pro vysílací modul byla pro napájení použita baterie 3,7V/2300mAh. Měřil se průběh napětí na odporu $5,6\Omega$ vloženém do série k napájení.



Obr. 3. 7 Zapojení při měření spotřeby modulu

Výsledek měření lze vidět podrobněji na Obr. 3.8.



Obr. 3. 8 Průběh napětí na odporu

Pro názornost byla při měření nastavena perioda vysílání přibližně 12 sekund, pro reálné použití a požadovanou dlouhou výdrž baterie by bylo potřeba nastavit periodu větší. Z grafu je patrné, že úbytek napětí na odporu v nejvyšším bodě (vysílací špička) přibližně 260mV, což odpovídá hodnotě proudu cca 46mA. Samotná špička trvá přibližně 1,5 sekundy. 1,5 sekundy trvá přibližně také další stupeň, který odpovídá přibližně 60mV, tedy cca 8,8 mA. Naopak v nejnižším bodě (modul ve spánkovém režimu) je úbytek na odporu cca 5 mV, což odpovídá hodnotě proudu cca 0,9 mA.

Při předpokládané vysílací periodě 10 minut se dostaneme na přibližnou hodnotu potřebného proudu 1,03 mAh. To by při použité baterii 2300 mAh znamenalo přibližně 2215 hodin, respektive 92 dnů provozu. Pokud bychom se spokojili s vysíláním jednou za hodinu, dostali bychom 104 dnů. To není velký rozdíl, je to dáno relativně vysokou spotřebou proudu i v uspaném stavu. Pokud by se vzala v úvahu vlastní spotřeba baterie a okolní podmínky jako mrazy a horka, tak bude reálná výdrž na baterii ještě nižší. Aby modul vydržel na baterii i několik let, musel by mít proudový odběr ve spánku pod 0,1 mA. Toho je možné dosáhnout vhodným nastavením hlubokého spánku pro všechny elektronické komponenty osazené na desce vysílajícího modulu. Při testování bohužel nebylo dosaženo nižší spotřeby energie než energie odpovídající 0,9 mA při 3,7 V.

4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo prozkoumat trh v oblasti řešení bezdrátové komunikace na velké vzdálenosti a s ohledem na dosah, spotřebu a cenu potom takovouto komunikaci vyzkoušet na experimentální modelu. Pro testování jsem zvolil posílání naměřených údajů z jednoho modulu a jejich zobrazování na modulu druhém.

V první části této práce jsem popsal bezdrátové technologie. Podrobněji jsem popsal technologie, které se používají na velké vzdálenosti. Pro přehlednost jsem na konci kapitoly porovnal nejdůležitější parametry těchto technologií.

V další části jsem uvedl několik modulů použitelných pro bezdrátový přenos. Zde jsem se primárně soustředil na moduly pro SigFox a LoRa technologie, kvůli primárnímu použití na velké vzdálenosti a v návaznosti na mnou zvolené řešení.

V poslední části jsem představil experimentální řešení pro bezdrátový přenos informace. Popsal jsem použitý hardware, nezbytné nastavení rádiového modemu a softwarové vybavení modulů. Zhodnotil jsem také vlastnosti experimentálního řešení, jako jsou dosah a spotřeba, které jsou stěžejními vlastnostmi pro reálné použití.

Bakalářská práce představuje dostupné bezdrátové technologie a jejich použití. Zaměření na velké vzdálenosti mě dovedlo k síti LoRa, a se dvěma moduly pro tuto síť určenými, jsem otestoval přímou komunikaci mezi moduly. Realizaci považuji za zdařilou, přímá komunikace probíhá i na velkou vzdálenost, větší než zadaný jeden kilometr. Nepodařilo se mi lépe odladit mód hlubokého spánku pro vysílací modul, a tudíž byla spotřeba stále příliš vysoká pro dlouhodobý provoz při napájení z baterie.

Práce by se dala rozšířit mnoha způsoby. Zejména by bylo možné zoptimalizovat současné řešení v oblasti hlubokého spánku zařízení, pro dosažení ještě menší spotřeby a udávané několikaleté výdrže při napájení z baterie. Dále bylo by možné rozšířit systém o další prvky a provádět sběr dat z více zařízeních nebo implementovat obousměrnou komunikaci mezi moduly. Další možností by byla vyzkoušet přenos v rámci LoRa sítě a získat tak přístup k datům z internetu, což je primární určení použitého modulu.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] VOJÁČEK, Antonín. Základní úvod do oblasti internetu věcí (IoT). *Automatizace HW* [online]. 16. Zář 2016 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/zakladni-uvod-do-oblasti-internetu-veci-iot.html>
- [2] MÁCHA, Miroslav. LoRa Technology: plocha rozsáhlá, dat poskrovnu a spotřeba skoro žádná. *Vývoj HW* [online]. 3. Březen 2016 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/rf-wireless/lora-technology-plocha-rozsahla-dat-poskrovnu-a-spotreba-skoro-zadna.html>
- [3] Digi International. Receiver sensitivity. *DIGI*[online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.digi.com/resources/standards-and-technologies/rfmodems/receiver-sensitivity>
- [4] VOJÁČEK, Antonín. SIGFOX - princip, struktura, protokol, použití. *Vývoj HW* [online]. 26. Květen 2017 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/sigfox-princip-struktura-protokol-pouziti.html>
- [5] KOTON, J., P. ČÍKA a V. KŘIVÁNEK. Standard nízkorychlostní bezdrátové komunikace ZigBee. *VUT Brno* [online]. 18. Duben 2006 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006032001>
- [6] FALUDI, Robert, *Building Wireless Sensor Networks*. USA: O'Reilly Media, 2010. ISBN: 978-0-596-80773-3.
- [7] Cisco. 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi. *Cisco* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white-paper-c11-713103.pdf>
- [8] ŘEHÁK, Jan. Co je to WiFi - úvod do technologie. *Vývoj HW* [online]. 26. Červen 2003 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/produkty/ethernet/co-je-to-wifi-uvod-do-technologie.html>
- [9] KILIÁN, Karel. Bluetooth 5: jaké jsou největší výhody proti starší verzi 4.2?. *Svět Androida*[online]. 30. Červen 2017 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/bluetooth-5/>
- [10] Bluetooth SIG. Radio Versions. *Bluetooth*[online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions>
- [11] BOURQUE, Brad. What's the difference between 4G and LTE?. *Digital Trends* [online]. 5. Duben 2017 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/mobile/4g-vs-lte/>

- [12] PETERKA, Jiří. *Jak přenášet data v sítích GSM?* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a008s200/a008s205.php3>
- [13] RS Components. FiPy IoT Dev Board WiFi/LoRa/SigFox/LTE. *RS Components* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/vyvojove-sady-pro-rf/1368855/>
- [14] FOLTÝN, Petr. LoRaWAN Arduino UNI senzor. *Arduinotech* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.arduinotech.cz/produkt/lorawan-arduino-uni-senzor/>
- [15] TME Czech Republic. MIKROELEKTRONIKA LORA RF CLICK. *TME* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/mikroe-1997/rozsirujici-desky/mikroelektronika/lora-rf-click/>
- [16] RS Components. N2483 LoRa Mote Development Node. *RS Components* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/vyvojove-sady-pro-rf/9125363/>
- [17] RF Solutions. GAMMA-868. *RF Solutions* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.rfsolutions.co.uk/radio-modules-c10/rf-telemetry-module-sil-package-868mhz-p392>
- [18] FOLTÝN, Petr. SIGFOX Arduino UNO. *Arduinotech* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.arduinotech.cz/produkt/sigfox-arduino-nano/>
- [19] FOLTÝN, Petr. SIGFOX WISOL StarterNode. *Arduinotech* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.arduinotech.cz/produkt/sigfox-wisol-starternode/>
- [20] GM electronic. LPWAN SigFox Node UART Modem 868MHz. *GM electronic* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/lpwan-sigfox-node-uart-modem-868mhz-samotny>
- [21] HW Kitchen. XBee 1mW Trace Antenna - Series 1. *HW Kitchen* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.com/products/xbee-1mw-trace-antenna-series-1-802-15-4/>
- [22] HW Kitchen. XBee 2mW PCB Antenna - Series 2 (ZigBee Mesh). *HW Kitchen* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.com/products/xbee-2mw-pcb-antenna-series-2-zigbee-mesh/>

- [23] Microchip. RN2483. *Microchip* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001784F.pdf>
- [24] Bosh. BMP180 Digital pressure sensor. *Adafruit*[online]. 5. Duben 2013 [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>
- [25] FOLTÝN, Petr. OLED display 128x64. *Arduinotech*[online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.arduinotech.cz/produkt/lcd-i2c-display-16x2/>
- [26] GM electronic. Modul RTC DS1307 s 32K flash. *GM electronic* [online]. [cit. 2018-05-26]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/modul-rtc-ds1307-s-32k-flash#product-detail>
- [27] Instructables. INTRODUCING LORA. *Instructables* [online]. 14. Duben 2015 [cit. 2018-06-01]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/Introducing-LoRa-/>

Seznam obrázků

<i>OBR. 1. 1 PŘEHLED BEZDRÁTOVÝCH TECHNOLOGIÍ, PŘEVZATO [1]</i>	12
<i>OBR. 1. 2 MODEL ZIGBEE 1.0, PŘEVZATO Z [5]</i>	15
<i>OBR. 1. 3 TOPOLOGIE ZIGBEE SÍTÍ, PŘEVZATO Z [6]</i>	17
<i>OBR. 2. 1 PYCOM FIPY IOT DEV BOARD, PŘEVZATO Z [13]</i>	20
<i>OBR. 2. 2 LoRAWAN ARDUINO UNI SENZOR SHORA</i>	21
<i>OBR. 2. 3 LoRAWAN ARDUINO UNI SENZOR ZESPODU</i>	21
<i>OBR. 2. 4 LORA RF CLICK, PŘEVZATO Z [14]</i>	22
<i>OBR. 2. 5 MICROCHIP LoRA MOTE DEV. NODE, PŘEVZATO Z [16]</i>	22
<i>OBR. 2. 6 GAMMA-868, PŘEVZATO Z [17]</i>	23
<i>OBR. 2. 7 SIGFOX ARDUINO UNO, PŘEVZATO Z [18]</i>	23
<i>OBR. 2. 8 SIGFOX WISOL STARTERNODE, PŘEVZATO Z [19]</i>	24
<i>OBR. 2. 9 LPWAN SIGFOX NODE UART MODEM, PŘEVZATO Z [20]</i>	24
<i>OBR. 2. 10 XBEE MODULY - RŮZNÉ PROVEDENÍ DLE ANTÉN, PŘEVZATO Z [6]</i>	25
<i>OBR. 3. 1 UART/USB PŘEVODNÍK</i>	27
<i>OBR. 3. 2 SENZOR TLAKU BMP180</i>	27
<i>OBR. 3. 3 OLED DISPLAY 128X64</i>	28
<i>OBR. 3. 4 MODUL HODIN REÁLNÉH OČASU DS1307</i>	28
<i>OBR. 3. 5 VÝSLEDNÉ ZAPOJENÍ OBOU MODULŮ</i>	33
<i>OBR. 3. 6 MAPA DOSAHU TESTOVANÝCH MODULŮ</i>	34
<i>OBR. 3. 7 ZAPOJENÍ PŘI MĚŘENÍ SPOTŘEBY MODULU</i>	35
<i>OBR. 3. 8 PRŮBĚH NAPĚTÍ NA ODPORU</i>	35

Seznam tabulek

<i>TAB. 1 PARAMETRY MODULACE PRO RŮZNÉ DATOVÉ RYCHLOSTI</i>	13
<i>TAB. 2 POROVNÁNÍ KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ</i>	19
<i>TAB. 3 PARAMETRY NASTAVENÍ SÍLY VÝSTUPNÍHO SIGNÁLU [23]</i>	31

Přílohy

Příloha A - kód vysílače

Příloha B - kód přijímače

Příloha C - CD obsahující:

- Elektronickou podobu bakalářské práce
- Program vysílače (Arduino)
- Program přijímače (Arduino)
- Podrobné schéma použitého modulu v aplikaci Eagle

Příloha A - kód vysílače

```
#include <LowPower.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>
#include <SoftwareSerial.h>

#define RNReset 4
#define LED 9
#define DATA 10

Adafruit_BMP085 bmp180;
SoftwareSerial lora(7, 8);

String s;
String msg;
String cmd = "radio tx ";
String header = "GG";
char splitter = ',';
double teplota;
double vlhkost;
double nadmv;
int timer = 0;
int counter = 0;

void setup()
{
  pinMode(RNReset, OUTPUT);
  digitalWrite(RNReset, LOW); //reset RN v 0
  delay(100);
  digitalWrite(RNReset, HIGH); //reset nastavit do 1
  delay(100);
  lora.begin(57600); //komunikace s RN2483
  Serial.begin(115200); //serial monitor
  bmp180.begin(); //komunikace se senzorem
  delay(100);
  Serial.println("*****Inicializace*****");
  //lora.println("sys get ver");
  s = lora.readStringUntil("\n");
  Serial.print(s);
  lora.println("mac pause");
  s = lora.readStringUntil("\n");
  Serial.print(s);
  lora.println("radio set pwr 14");
  s = lora.readStringUntil("\n");
  Serial.print(s);
  lora.println("radio set crc on");
  s = lora.readStringUntil("\n");
  Serial.print(s);
  Serial.println("*****");
  timer = (80)/8; //nastaveni timeru
  delay(5000);
}
```

```
void loop()
{
  while(counter < timer)
  {
    LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
    counter++;
  }
  counter = 0;
  teplota = bmp180.readTemperature();
  teplota = round(teplota*100)/100.0;
  vlhkost = (bmp180.readPressure() + 60*100)/100.0;
  vlhkost = round(vlhkost*100)/100.0;
  nadmv = bmp180.readAltitude(bmp180.readPressure() + 60*100);
  nadmv = round(nadm);
  msg = header + splitter + teplota + splitter + vlhkost + splitter + nadmv;
  Serial.print("zprava k poslani: ");
  Serial.println(msg);
  sendMsg(msg);
}

void sendMsg(String msgToSend) //poslani zpravy
{
  char c[msgToSend.length()+1];
  msgToSend.toCharArray(c, sizeof(c)); //prevedeni zpravy do pole charu
  Serial.println(c);
  String msgHex = "";
  for(int i = 0; i < sizeof(c)-1; i++) //do Stringu nasklada chary v HEX
  {
    msgHex += String(c[i], HEX);
  }
  Serial.println(cmd + msgHex);
  lora.println(cmd + msgHex); //radio tx zprava
  s = lora.readStringUntil("\n"); //odpoved by mela byt "ok"
  Serial.println(s);
  s = lora.readStringUntil("\n"); //odpoved by mela byt "radio_tx_ok"
  Serial.println(s);
  delay(100);
}
```

Příloha B - kód přijímače

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <U8glib.h>
#include <Wire.h>
#include <RTClib.h>

#define RNReset 4
#define LED 9

SoftwareSerial lora(7, 8);
U8GLIB_SSD1306_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_NO_ACK);
RTC_DS1307 RTC;

String s;
String answ;
String recMsg;

void setup()
{
  pinMode(RNReset, OUTPUT);
  digitalWrite(RNReset, LOW); //reset RN v 0
  delay(100);
  digitalWrite(RNReset, HIGH); //reset nastavit do 1
  delay(100);
  lora.begin(57600);
  Serial.begin(115200);
  RTC.begin();
  Wire.begin();
  if(!RTC.isrunning()) //pokud hodiny nebezi nastavi cas
  {
    Serial.println("RTC is not running.");
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
  }
  delay(100);
  Serial.println("*****Inicializace*****");
  //lora.println("sys get ver");
  s = lora.readStringUntil("\n");
  Serial.print(s);
  lora.setTimeout(2000);
  lora.println("radio set wdt 105000");
  s = lora.readStringUntil("\n");
  Serial.print(s);
  lora.println("mac pause");
  s = lora.readStringUntil("\n");
  Serial.print(s);
  lora.println("radio set crc on");
  s = lora.readStringUntil("\n");
  Serial.print(s);
  Serial.println("*****");
  drawOLED(" ", " ", " ", " ", " ", " "); //vychozi vykresleni
}
```

```

void loop()
{
  lora.println("radio rx 0");           //nastaveni na prijem
  answ = lora.readStringUntil("\n");
  Serial.println(answ);
  if(answ.indexOf("ok") == 0)          //zprava prijata
  {
    while(true)
    {
      recMsg = lora.readStringUntil("\n"); //radio_rx zprava
      Serial.println(recMsg);
      if(recMsg.length() > 1)
      {
        if(recMsg.indexOf("radio_rx") >= 0)
        {
          if(recMsg.indexOf("4747") >= 0)
          {
            Serial.println(recMsg);
            process(recMsg);           //zpracovani zpravy
          }
        }
        break;
      }
    }
  }
}

void process(String received)
{
  String msgHex = received.substring(received.indexOf("3B")+2);
  Serial.println(msgHex);
  char bb[msgHex.length()+1];
  msgHex.toCharArray(bb, sizeof(bb)); //prevede zpravu na pole charu
  String msg;
  char b[2];
  for(int i = 0; i < sizeof(bb)-1; i+=2) //zpetny prevod
  {
    b[0] = bb[i];
    b[1] = bb[i+1];
    int in = strtol(b, NULL, 16);
    char ch = in;
    msg += ch;
  }
  Serial.println(msg);
  String tep = msg.substring(0, msg.indexOf(";")); //rozdeleni zpravy
  String tlak = msg.substring(msg.indexOf(";")+1, msg.lastIndexOf(";"));
  String nadmv = msg.substring(msg.lastIndexOf(";")+1);
  Serial.println("teplota: " + tep + " °C tlak: " + tlak + " hPa n.m.v: " + nadmv
    + " m");
  DateTime now = RTC.now(); //aktualni cas
  String hod = String(now.hour(), DEC);
  if(hod.length() == 1) hod = "0" + hod;
  String minn = String(now.minute(), DEC);
  if(minn.length() == 1) minn = "0" + minn;
  String sec = String(now.second(), DEC);
  if(sec.length() == 1) sec = "0" + sec;
}

```

```
String datum = String(now.day(), DEC) + "/" + String(now.month(), DEC) + "/" +
                String(now.year(), DEC);

String cas = hod + ":" + minn + ":" + sec;
drawOLED(tep, tlak, nadmv, datum, cas);      //vykresleni
}

int count;
void drawOLED(String temperature, String pressure, String altitude, String date,
String _time)
{
  u8g.firstPage();
  do
  {
    u8g.setFont(u8g_font_8x13);
    u8g.setPrintPos(1,10);
    u8g.print("Tep:");
    u8g.setPrintPos(50,10);
    u8g.print(temperature);
    u8g.setPrintPos(107,10);
    u8g.write(0xB0);
    u8g.print("C");
    u8g.setPrintPos(1,25);
    u8g.print("Tlak:");
    u8g.setPrintPos(45,25);
    u8g.print(pressure);
    u8g.setPrintPos(104,25);
    u8g.print("hPa");
    u8g.setPrintPos(1,43);
    u8g.print(date);
    u8g.setPrintPos(1,58);
    u8g.print(_time);
  }while(u8g.nextPage());
}
```