

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Diplomová práce

Technologické platformy pro Internet věcí

Bc. Darek Vodrážka

© 2017 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Darek Vodrážka

Informatika

Název práce

Technologické platformy pro Internet věcí

Název anglicky

Technology platforms for Internet of things

Cíle práce

Hlavním cílem je prozkoumat a posoudit stav komunikačních technologií pro Internet věcí.

Dílčí cíle práce jsou:

- analyzovat dostupné komunikační technologie, jako jsou technologie mobilních sítí, SIGFOX nebo LoRa
- zhodnotit využitelnost těchto technologií pro různé typy aplikací
- posoudit přizpůsobitelnost na požadavky uživatele a náklady na instalaci a provoz
- ověřit a porovnat dostupnost signálu systémů SIGFOX a LoRa
- formulovat obecné a specifické závěry

Metodika

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů a na praktických zkušenostech.

Pomocí zkušebních zařízení bude provedeno testování dostupnosti signálu systémů SIGFOX a LoRa. Zároveň bude měřeno rušení a interference od jiných systémů ve stejném kmitočtovém pásmu pomocí spektrálního analyzátoru. Výsledky budou analyzovány a statisticky zpracovány.

Na základě syntézy získaných poznatků budou vytvořeny závěry.

Bude zhodnocena využitelnost testovaných komunikačních systémů pro odečty dat z elektroměrů, plynoměrů a vodoměrů v domácnostech.

Doporučený rozsah práce

55

Klíčová slova

Internet věcí, sensor, bezdrátový přenos dat, Sigfox, LoRa, IoT

Doporučené zdroje informací

BURIAN, P. *Internet inteligentních aktivit*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-5137-5.

HALLER, S., KARNOUSKOS, S., SCHROTH, C. *The Internet of Things in an Enterprise Context*. Berlín: Springer, 2008. ISBN 978-3-642-00984-6

SOHRABY, K.; MINOLI, D.; ZNATI, T. *Wireless Sensor Networks*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2007. ISBN 978-0471743002.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Zdeněk Havlíček, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 21. 10. 2016

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 10. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 08. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Technologické platformy pro Internet věcí" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Zdeňku Havlíčkovi, CSc. za pozornost a trpělivost, kterou věnoval mé práci a za odborné rady při jejím vypracování. Dále děkuji firmě DEVELICT Solutions s.r.o., za zapůjčení modulů a konzultace při jejich testování.

Technologické platformy pro Internet věcí

Souhrn

Tato diplomová práce pojednává o bezdrátových komunikačních technologiích, které využívá Internet věcí. Jsou analyzovány mobilní sítě LTE-M a NB-IoT a dále bezdrátové sítě LAN. Především se však zabývá problematikou Low-Power Wide-Area Network technologií a představuje hlavní zástupce LPWAN sítí IQRF, Sigfox a LoRaWAN, u kterých byly prozkoumány jejich vlastnosti, topologie a některé významné techniky. Dále rozebírá základní aspekty šíření radiových vln, parametry a vlivy na ně působící, bezlicenční frekvenční pásma, bezpečnost při používání IoT, možné oblasti využití a aplikace technologií Internetu věcí. V poslední řadě se v práci ověřuje dostupnost služeb Sigfox a LoRaWAN pomocí měření a analyzování signálů a je zhodnocena využitelnost testovaných komunikačních systémů pro odečty dat z elektroměrů, plynoměrů a vodoměrů v panelovém domě v Praze.

Klíčová slova: Internet věcí, senzor, bezdrátový přenos dat, Sigfox, LoRa, IoT

Technology Platforms for Internet of Things

Summary

This diploma thesis discusses wireless communication technologies that uses Internet of Things. Mobile networks LTE-M, NB-IoT and wireless LAN are described. But mainly it is dedicated to Low-Power Wide-Area Network technology problematic and it presents major representatives of LPWAN: IQRF, Sigfox and LoRaWAN. Attributes, topologies and significant techniques of those representatives were explored. Furthermore, it describes primary aspects of radio wave transmission, its parameters and effects that affect them, unlicensed frequency bands, IoT safety, possible areas of use and application of Internet of Things technology. At last the thesis is dedicated to Sigfox and LoRaWAN service verification, with use of measurement and analyzation of signals and is evaluated viability of using those communication technologies for reading data from electricity meter, gas meter and hydrometer in block of flats typed house in Prague.

Keywords: Internet of Things, sensor, wireless data transmission, Sigfox, LoRa, IoT

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Cíl práce a metodika	12
2.1 Cíl práce	12
2.2 Metodika	12
3 Teoretická východiska	13
3.1 Internet věcí.....	13
3.2 Šíření radiových vln	15
3.2.1 Rozdělení vln	16
3.2.2 Bezlicenční pásma	17
3.2.3 Základní fyzikální parametry při radiovém přenosu.....	18
3.2.4 Vlivy působící na bezdrátový přenos dat.....	19
3.3 Komunikační technologie pro IoT	21
3.3.1 Mobilní sítě	21
3.3.2 Bezdrátové sítě LAN	22
3.3.3 Technologie LPWAN	22
3.4 Specifikace	25
3.4.1 IQRF	25
3.4.2 Sigfox.....	27
3.4.3 LoRaWAN	29
3.4.4 Porovnání technologií	30
3.4.5 Ostatní technologie	31
3.4.6 Přizpůsobitelnost požadavkům uživatele a náklady na instalaci a provoz	32
3.5 Oblasti využití	33
3.5.1 Chytré domácnosti	34
3.5.2 Wearables.....	34
3.5.3 Chytrá města	35
3.5.4 Automobily	35
3.5.5 Zdravotnictví.....	36
3.5.6 Bezpečnost	36
3.5.7 Výroba a obchod	37
3.5.8 Životní prostředí	38
3.5.9 Zemědělství.....	38
3.6 Bezpečnost a soukromí	38
4 Vlastní práce	40
4.1 Použité pomůcky k měření.....	40

4.1.1	DeSens LoRa senzor teploty a vlhkosti	41
4.1.2	DeSens Sigfox čítač impulsů	42
4.1.3	Přenosný spektrální analyzátor Rohde & Schwarz FSH8	43
4.2	Postup měření.....	44
4.2.1	Měření pomocí spektrálního analyzátoru	45
4.3	Zpracování výsledků měření	46
4.3.1	Porovnání měření	49
5	Výsledky a diskuse	52
6	Závěr.....	54
7	Seznam použitých zdrojů	56
8	Přílohy	59

Seznam obrázků

Obrázek 1: Vývoj počtu zařízení připojených k Internetu (Zdroj: (Evans, 2011), pozn.: přeloženo autorem)	14
Obrázek 2: Zjednodušené schéma principu Internetu věcí (Zdroj: (Frenzel, 2014), pozn.: přeloženo autorem)	15
Obrázek 3: Vlastnosti LPWAN sítí (Zdroj: (Egli, 2015))	23
Obrázek 4: Architektura IQRF technologie (Zdroj: (IQRF Alliance, 2015)).....	26
Obrázek 5: Komunikační modul pro síť Sigfox (Zdroj: (SimpleCell Networks a. s., 2016))	29
Obrázek 6: Oblasti využití (Zdroj: (Asin, a další, 2015)).....	33
Obrázek 7: Schéma trasy zprávy (Zdroj: Autor)	40
Obrázek 8: Senzor DeSens LoRa (Zdroj: Autor).....	42
Obrázek 9: Senzor DeSens Sigfox (Zdroj: Autor).....	42
Obrázek 10: Spektrální analyzátor FSH8 (Zdroj: Autor)	43
Obrázek 11: Panelový dům, kde probíhalo měření (Zdroj: Autor).....	44
Obrázek 12: Zprávy odeslané na server z modulu LoRa (Zdroj: Autor).....	45
Obrázek 13: Signál LoRaWAN (Zdroj: Autor)	45
Obrázek 14: Signál Sigfox (Zdroj: Autor).....	46
Obrázek 15: LoRa zprávy přijaté na FTP server a zpracované (Zdroj: Autor)	46
Obrázek 16: Hodnoty RSSI na Sigfox cloudu (Zdroj: Autor)	47
Obrázek 17: Histogram a kvantilový graf (Zdroj: Autor).....	49

Obrázek 18: Dvouvýběrový Wilcoxonův test a boxplot (Zdroj: Autor)	50
---	----

Seznam tabulek

Tabulka 1: Frekvenční pásma (Upraveno autorem dle (Volmut, 2001)	16
Tabulka 2: Porovnání parametrů technologií Sigfox, LoRaWAN a IQRF (Upraveno autorem dle: (Hun, 2015), (Raza, a další, 2016)	31
Tabulka 3: Základní specifikace senzoru DeSens LoRa (Zdroj: Manuál DeSens LoRa (http://www.develict.com/))	41
Tabulka 4: Základní parametry spektrálního analyzátoru (Zdroj: Brožura produktu (http://www.trinstruments.cz/data/files/fsh4-fsh8-brochure-en.pdf))	43
Tabulka 5: Přepočítané hodnoty naměřené modulem LoRa (Zdroj: Autor)	48
Tabulka 6: Přepočítané hodnoty naměřené modulem Sigfox (Zdroj: Autor)	48

1 Úvod

Internet, jako celosvětová síť, se stále vyvíjí a rozrůstá o nové prvky. Jedním z aktuálních trendů je Internet věcí (z anglického Internet of Things, často označován zkratkou IoT), který označuje propojení různých zařízení s Internetem. Mezi tato zařízení patří měřicí senzory, domácí spotřebiče, dopravní prvky a mnoho dalších postupně přibývá. Propojením těchto zařízení do sítí obohacujeme síť o možnost informace samostatně získávat, ovládat fyzické systémy a získané informace dále předávat v rámci sítě. IoT představuje koncept umožňující samostatnou interakci s fyzickým světem včetně schopnosti přizpůsobit se jeho změnám. Tento koncept není primárně určen pro mezilidskou komunikaci, lze jej charakterizovat jako síť, kde většinu uživatelů představují samostatné stroje (věci).

Internet věcí doprovázejí specifické vlastnosti a potřeby. Charakteristické jsou především nízké náklady, nízký odběr energie a velký rozsah pokrytí. Přitom není vyžadována velká přenosová rychlost. Tyto požadavky však nejsou zcela podporovány existujícími drátovými a bezdrátovými technologiemi. Dosavadní dostupné sítě, jako například mobilní síť LTE či GSM nebo síť WiFi či Bluetooth, jsou primárně koncipovány pro přenos většího množství dat bez nutnosti důsledně řešit spotřebu energie a jsou určeny převážně pro komunikaci člověka. Proto byly vyvinuty technologie označované Low-Power Wide Area Network (LPWAN), které byly navrženy tak, aby zajistily kompromis mezi přenosovou rychlostí, náklady a životností baterie. Dále splňují požadavky rozsáhlého pokrytí území a připojení velkého množství zařízení.

Hlavním důvodem, proč se zabývat Internetem věcí je široký rozsah možných aplikací, ulehčení a zefektivnění práce koncových uživatelů.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je prozkoumat a posoudit stav komunikačních technologií pro Internet věcí.

Dílčí cíle práce jsou:

- analyzovat dostupné komunikační technologie, jako jsou technologie mobilních sítí, Sigfox nebo LoRa
- zhodnotit využitelnost těchto technologií pro různé typy aplikací
- posoudit přizpůsobitelnost na požadavky uživatele a náklady na instalaci a provoz
- ověřit a porovnat dostupnost signálu systémů Sigfox a LoRa
- formulovat obecné a specifické závěry

2.2 Metodika

Metodika práce je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů, ale také na praktických zkušenostech.

V teoretické části bude nejprve definován pojem Internet věcí a přiblíženy základy šíření radiových vln, jejich rozdělení a bezlicenční pásma. Dále budou prozkoumány bezdrátové komunikační technologie, které Internet věcí využívá. Mezi tyto technologie patří mobilní sítě, bezdrátové sítě LAN a sítě typu LPWAN. Práce se zaměřuje především na technologii LPWAN, která bude analyzována a budou představeny její nejrozšířenější specifikace. Představenými specifikacemi budou LPWAN technologie IQRF, Sigfox a LoRaWAN, které budou také porovnány. Nakonec práce zhodnotí aplikační možnosti Internetu věcí a bude se zabírat otázkou bezpečnosti a soukromí uživatelů.

V praktické části bude využito zkušebních modulů pro ověření a porovnání dostupnosti signálů systémů Sigfox a LoRa. Zároveň bude měřeno rušení a interference ve stejném kmitočtovém pásmu pomocí spektrálního analyzátoru. Výsledky budou analyzovány a statisticky zpracovány. Dále bude zhodnocena využitelnost testovaných komunikačních systémů pro odečty dat z elektroměrů, plynoměrů a vodoměrů v panelovém domě v Praze. Na základě syntézy získaných poznatků budou vytvořeny závěry.

3 Teoretická východiska

Předmětem teoretické části diplomové práce je prozkoumání a posouzení stavu komunikačních technologií pro Internet věcí. Nejprve je definován pojem Internet věcí a jsou přiblíženy základy šíření radiových vln. Dále jsou analyzovány komunikační technologie, jako jsou mobilní, bezdrátové LAN a LPWAN sítě, které Internet věcí využívá. Technologie Sigfox, IQRF a LoRaWAN jsou prezentovány jako hlavní představitelé specifikací LPWAN technologií. Nakonec teoretická část popisuje možné náklady na instalaci a provoz, oblasti využití technologie Internetu věcí a zabývá se otázkou bezpečnosti a soukromí uživatelů.

3.1 Internet věcí

Pojem Internet of Things (IoT), v překladu Internet věcí, byl definován Kevinem Ashtonem již v minulém století. Podle definice z roku 1999 jde o jednoznačně identifikovatelné objekty, připojené k Internetu (Pohanka, 2015).

Další důležitým milníkem bylo období mezi roky 2008 a 2009, kdy podle odhadu společnosti Cisco překročil počet zařízení připojených k Internetu počet obyvatel světa, a tedy právě mezi ty roky je datován vznik Internetu věcí (Pohanka, 2015).

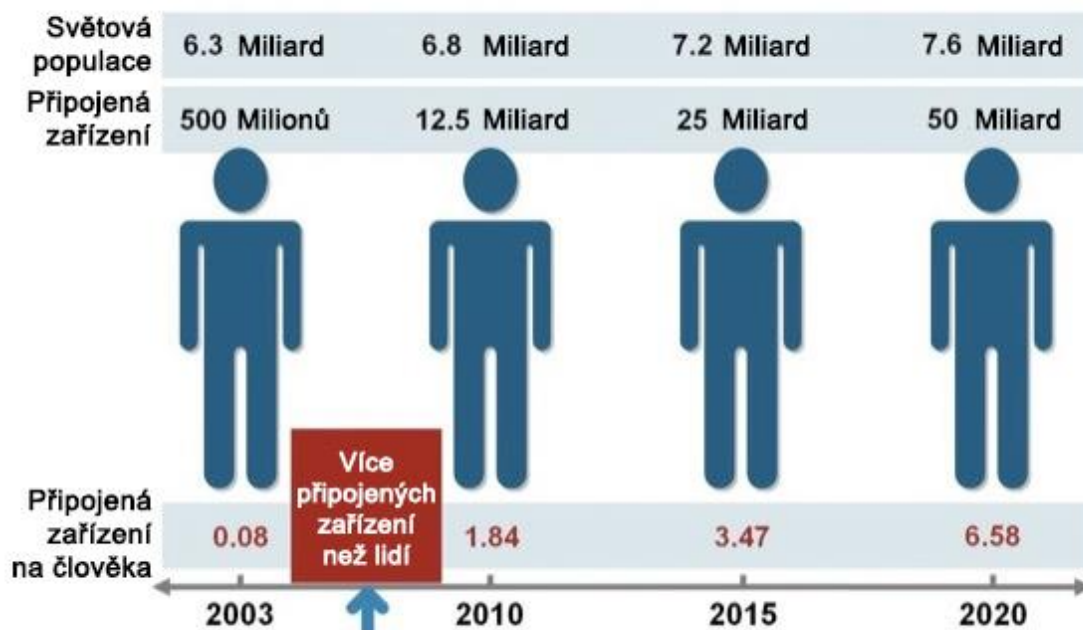
Komunikace Machine-to-Machine (M2M) je do jisté míry předchůdcem systémů IoT. Základní rozdíl je v tom, jak je v obou řešeních dálkový přístup realizován. Komunikace M2M spoléhá na architekturu bod-bod, využívá vestavné komunikační moduly a klasické kabelové i bezdrátové sítě. Naproti tomu systémy Internetu věcí spoléhají na Internetové sítě založené vesměs na protokolu IP, jež propojují data ze zařízení s cloudem (Pohanka, 2015).

Dnešní Internet věcí je vnímán jako sada autonomních, jednoznačně identifikovatelných zařízení, která jsou připojena k Internetu. Sbírají informace a ty pak sdílejí v prostředí Internetu. Shromážděné informace typicky pocházejí z různých senzorů. Jiná zařízení pak mohou tyto informace vyhodnocovat a využívat (Burian, 2014).

Uvádí se, že v roce 2020 bude k Internetu připojeno zhruba 50 miliard zařízení, tedy dvojnásob oproti současnosti. Na jednoho člověka, tak připadne mezi šesti až sedmi zařízeními. Z tohoto počtu bude zhruba polovina tvořit zařízení Internetu věcí, tedy bez započtených počítačů, tabletů nebo chytrých telefonů (Pohanka, 2015).

Internet budoucnosti si zakládá na spojení všech počítačových sítí, Internetu médií (IoM), Internetu služeb (IoS) a Internetu věcí (IoT) do jednotné globální IT struktury. Tato

“sít’ sítí” bude mít, jak veřejnou, tak i soukromou část pro různorodé potřeby uživatelů. Oproti dnešnímu stavu bude síť rozšířena o krajní body, jimiž už nebudou jen počítače, ale i věci připojené k sobě navzájem. Důležité je, že už se nebude jednat pouze o komunikaci mezi lidmi, ale i mezi lidmi a veškerým okolním prostředím (Burian, 2014).

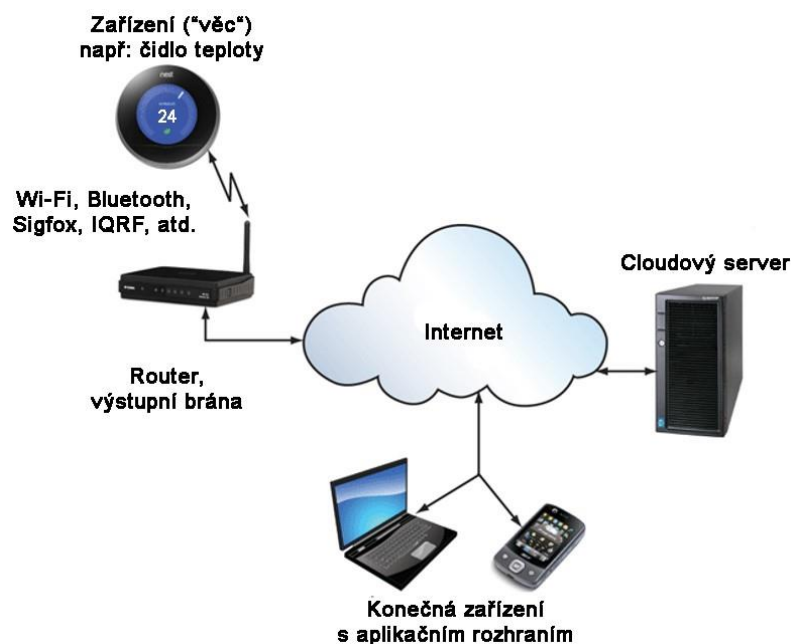


Obrázek 1: Vývoj počtu zařízení připojených k Internetu (Zdroj: (Evans, 2011), pozn.: přeloženo autorem)

Zjednodušený princip, jak Internet věcí funguje, je znázorněn na následujícím obrázku. Každá věc (zařízení) komunikuje s branou nebo routerem (směrovačem), připojeným k Internetu přes přenosové síť. Cloudový server sbírá a ukládá informace, analyzuje je a iniciuje akce. Server dále komunikuje s aplikací, přes kterou může uživatel ovládat koncové zařízení. Pro ovládání jsou nejčastěji používány aplikace v chytrých mobilních zařízeních nebo webové prohlížeče (Frenzel, 2014).

Zařízení mohou být k Internetu připojena drátovými nebo bezdrátovými přenosovými technologiemi. Vzhledem k velkému množství rozprostřených IoT zařízení má význam využívat spíše bezdrátového přenosu dat nebo kombinaci s pevnými přenosovými médii, kde výstupní brána, na kterou jsou bezdrátově napojená koncová zařízení, je připojena například optickým vláknem. Existují tři hlavní oblasti bezdrátových technologií využívaných k připojení IoT zařízení k Internetu, a to mobilní síť, bezdrátové síť LAN a technologie LPWAN. Diplomová práce se zabývá především technologiemi LPWAN,

jelikož jejich vlastnosti nejlépe splňují požadavky na Internet věcí. V následující kapitole je popsán princip bezdrátového přenosu dat (Frenzel, 2014).



Obrázek 2: Zjednodušené schéma principu Internetu věcí (Zdroj: (Frenzel, 2014), pozn.: přeloženo autorem)

3.2 Šíření radiových vln

Rádiové vlny se využívají pro bezdrátový přenos dat. Šíření radiového signálu popisuje chování radiových vln při jejich přenosu mezi body. Elektromagnetické vlny jsou ovlivněny lomem, odrazem, ohybem, pohlcením, polarizací a rozptylem. Samotné šíření vln je pak ovlivněno překážkami stojícími v cestě, vodní párou ve vzduchu, ionizací atmosféry způsobené sluncem a tvarem zemského povrchu (Pechač, 2007).

Přenos informace od odesílatele k příjemci je možno obecně rozdělit na několik částí. Ze zdroje musíme nejprve informaci převést do tvaru, který je vhodný pro přenášení určitou přenosovou cestou. Toto převedení (kódování) probíhá v kodéru. Nositelem informace na výstupu z kodéru je signál. Tento signál není možné přenášet na větší vzdálenosti a využije se elektromagnetického vlnění. Toto vlnění se ze zdroje energie vytváří ve vysokofrekvenčním generátoru. Abychom mohli přenést zakódovanou informaci pomocí vlnění, musíme ji vhodným způsobem na vlnění nanést (modulovat). K tomu slouží modulátor. Nosné vlny se pak vyzáří do prostoru vhodnou vysílací anténou. Na přijímací části je vlna zachycena anténou přijímače. V přijímači je nejprve vlna zesílena

a v demodulátoru dojde k sejmutí signálu. Signál je pak v dekodéru rozluštěn a je získána vlastní informace poslaná odesílatelem (Frenzel, 2014), (Carroll, 2011).

3.2.1 Rozdělení vln

Elektromagnetické vlnění dělíme podle vlnové délky na několik druhů, které se liší svými vlastnostmi a způsobem šíření. Radiové vlny na různých frekvencích se šíří na základě jejich vlastností a působení okolních podmínek (např. počasí), podrobná znalost problematiky proto napomáhá při výběru frekvence pro požadovanou službu (Pechač, 2007).

Přidělováním frekvenčních pásem se zabývá Mezinárodní telekomunikační unie, aby se zamezilo vzájemnému rušení mezi rádiovými stanicemi. V České republice se o přidělování stará Český telekomunikační úřad (ČTÚ).

Tabulka 1: Frekvenční pásma (Upraveno autorem dle (Volmut, 2001)

Typ vln (ang. zkratka)	Frekvence	Vlnová délka	Využití
Velmi dlouhé (VLF)	3 kHz – 30 kHz	10 – 100 km	Navigace pro námořní a leteckou dopravu
Dlouhé (LF)	30 kHz – 300 kHz	1 – 10 km	Meteorologie, radiokomunikace
Střední (MF)	300 kHz – 3 MHz	100 – 1000 m	Radionavigace, sdělovací služby
Krátké (HF)	3 MHz – 30 MHz	10 – 100 m	Radiokomunikace na střední vzdálenosti, rozhlasové vysílání
Velmi krátké (VHF)	30 MHz – 300 MHz	1 – 10 m	Rozhlas, televize, hasiči, policie, družicové spojení
Ultra krátké (UHF)	300 MHz – 3 GHz	10 – 100 cm	Televize, radiokomunikace na krátkou vzdálenost
Centimetrové (SHF)	3 GHz – 30 GHz	1 – 10 cm	Radioreléové spoje, radiolokátory
Milimetrové (EHF)	30 GHz – 300 GHz	1 – 10 mm	Přistávací lokátory, výškoměry, optická vlákna

Z hlediska šíření elektromagnetických vln je dále možné rozdělit vlny podle mechanismu šíření nad zemským povrchem: povrchová vlna, přímá vlna, troposférická vlna, ionosférická vlna (Pechač, 2007).

Povrchová vlna využívá ke svému šíření odrazů od zemského povrchu. Výhodou je, že se mohou šířit za horizont. Útlum těchto vln je vysoký, protože zemský povrch není dobrý vodič. Tyto vlny se používají například ve vojenské komunikaci (Pechač, 2007).

Vlny šířené napřímo ve volném prostoru, se šíří cestou přímé viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem. Jsou používány pro šíření rádio či TV signálu z lokálního vysílače (Pechač, 2007).

Ionosférické prostorové vlny využívají ke svému šíření odrazu nebo ohybu ve vrstvách ionosféry. Ionosférické vlny jsou používány pro vlny vysokých frekvencí a občasně pro vlny středních frekvencí (Pechač, 2007).

Troposférické vlny jsou ovlivňovány odlišnými indexy lomu, které nastávají v troposféře, blízko nad zemským povrchem. Šíření troposférických vln je závislé na okolních podmínkách počasí (Pechač, 2007).

3.2.2 **Bezlicenční pásma**

Výrobci elektronických zařízení jsou v případě, že tato zařízení vysílají elektromagnetické vlny, povinni dbát na to, aby pro daný rádiový kmitočet, resp. kmitočtové pásmo, měli přidělenou potřebnou licenci (případ mobilních sítí operátorů GSM/UMTS/LTE). Přidělování licencí spravuje v každé zemi příslušná organizace. V České republice přidělování licencí zajišťuje Český telekomunikační úřad.

Kromě licencovaných pásem, která převažují, existují i pásma bezlicenční (tzv. pásma s všeobecným oprávněním). Jedná se o části kmitočtového spektra, ve kterých je umožněn provoz bez licenčních poplatků, ochrana proti rušení však není zaručena. Je možné vysílat pouze na základě podmínek všeobecného oprávnění bez nutnosti žádat o povolení, a proto jsou využívána pro komerční účely technologií Sigfox, LoRa a dalších (Frečer, 2012).

Bezlicenční pásma se dělí na pásma ISM (industrial, science, medical) a pásma SRD (Short Range Devices). ISM pásma jsou skupiny bezlicenčních frekvenčních pásem, jež si vyhražují určitou část spektra pro využití k vědeckým, medicínským a průmyslovým účelům. Významnými zástupci jsou zde WiFi, Bluetooth a NFC zařízení či RFID čtečky.

SRD pásmo je využíváno zařízeními, která pracují s malým vyzářeným výkonem, a tím minimalizují možné rádiové interference. Pro provozování technologie LPWAN sítí slouží zejména frekvenční pásma okolo 868 MHz pro Evropu a 915MHz pro USA (Frečer, 2012).

Určitá otevřenost v rámci bezlicenčních pásem je limitována zejména vysílacím výkonem (ERP) a klíčovacím poměrem (duty cycle). Klíčovací poměr je poměr času stráveného vysíláním a celkového času. Tyto limity byly vytvořeny, aby nedocházelo ve velké míře k interferenci mezi zařízeními. Je zřejmé, že regulace může mít přímé dopady na funkcionalitu. V některých regionech je klíčovací poměr menší než 10 %, což má dopad na objem a frekvenci posílaných dat. Technologie Sigfox má například omezený maximální počet 140 zpráv za den s velikostí jedné zprávy jen 12 B a některá zařízení zase odesílají data v dlouhých časových úsecích (Frečer, 2012).

Doposud byla bezlicenční pásma velmi řídko obsazena, ovšem do budoucna se má obsazenost razantně změnit, jelikož jsou LPWAN systémy stále více žádanou oblastí. Je to dáno především technologiemi Sigfox a LoRa, které slibují vzájemné celoplošné překrytí a více jak tisíce umístěných IoT zařízení. Vysoká interference se tedy zdá nevyhnutelná (Frečer, 2012).

Kvalita přenosu dat se bude muset o to pečlivěji sledovat a ověřovat parametry Quality of Service (QoS). Každá LPWAN aplikace musí zaručit určitý minimální stupeň kvality, i když se na tyto technologie kladou relativně malé nároky. Jedná se hlavně o bezztrátovost dat, či spíše o úspěšnost doručení dat v určitém čase. Pokud by byla bezlicenční pásma zcela bez regulace, nebylo by možné zaručit určitou kvalitu služby, na které mohou být uživatelé závislí, pro velké množství komunikujících bodů (Frečer, 2012).

U bezdrátových systémů je tedy interference jednou z hlavních překážek. Zejména je to vidět u případu LPWAN technologie, která nemá implementované potvrzování přijetí vysílaných zpráv. Při nedodržení QoS je tedy možné, že zpráva nebude přijata a dojde ke ztrátě informace (Frečer, 2012).

3.2.3 Základní fyzikální parametry při radiovém přenosu

Decibel je jednotka, která není fyzikální jednotkou v pravém slova smyslu. Jde o logaritmické vyjádření podílu mezi dvojicí hodnot stejné veličiny. Vyjadřuje různé fyzikální veličiny, např. úroveň zvuku, úroveň rádiového signálu, velikost útlumu – ztrát

při šíření radiové vlny apod. Jednotka decibel určuje kolikrát je nějaká hodnota větší než druhá a je bezrozměrná. Pomocí decibelů se charakterizují i výkonové jednotky, kde platí:

$$G_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Platí-li, že je výkon $P_1 > P_2$, hovoříme o zisku na soustavě přenosu. Při obráceném poměr, jde o ztrátu neboli útlum. Decibely také slouží k zjištění úrovně vůči referenční veličině P_1 . Typicky jde o vztažnou hodnotu k hodnotě 1 mW, která se označuje jako dBm (Carroll, 2011).

Kvalitu signálu lze měřit pomocí ukazatelů Received Signal Strength Indicator (RSSI) a Signal to Noise Ratio (SNR). RSSI je bezrozměrná hodnota určující úroveň (sílu) přijatého signálu. Je udávána v dBm, jelikož se signál vztahuje k referenční hodnotě 1 mW.

$$RSSI_{dBm} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_1}{1 \text{ mW}}\right)$$

Čím více se hodnota z intervalu záporných čísel blíží nule, tím je síla signálu vyšší. Hodnota 0 dBm totiž odpovídá absolutnímu výkonu 1 mW (Carroll, 2011).

SNR, odstup od šumu, je vztah mezi středním výkonem signálu P_s a středním výkonem šumu P_n .

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_s}{P_n}\right)$$

Parametr SNR udává, kolikrát se může signál v plném rozsahu snížit, než se dostane na úroveň šumu. Posuzuje se na vstupu přijímače a závisí na něm na jedné straně informační propustnost, neboli kapacita kanálu – tedy dosažitelná přenosová rychlost, na druhé straně chybovost při přenosu, tedy ztrátovost přenášených dat. Jednotkou SNR jsou decibely. Čím je hodnota SNR vyšší, tím je přenášený signál kvalitnější. Hodnota nižší než 0 dB indikuje větší šum než sílu signálu. (Carroll, 2011)

3.2.4 Vlivy působící na bezdrátový přenos dat

Na bezdrátový přenos dat působí vlivy, které pak mohou negativně ovlivnit elektromagnetické vlny, respektive šířený signál. Útlum je jev, kdy jsou vlny pohlcovány překážkami v prostředí. Mezi tyto překážky patří například zdi, lesy nebo kopce. Podobný stav se vyskytuje i u zvukových vln, kdy při komunikace přes zeď, je obtížnější slyšet druhého účastníka než na volném prostranství (Pechač, 2007).

Odrazy mohou mít negativní vliv na šíření vln. Za odraz se považuje situace, kdy přenosový signál narazí na nějakou překážku, například zeď, poté se od ní odrazí a pokračuje dále v jiném směru. Jev odrazu závisí především na frekvenci vlny, stejný předmět může jednu frekvenci odrazit, ale jinou ne. Odrazy elektromagnetických vln lze srovnat s odrazy světla od objektů. Rozptyl je jev, který nastane, pokud se vlna odrazí a putuje dál více směry. To může mít zásadní dopad na zhoršení kvality signálu (Pechač, 2007).

Část frekvenčního pásma, ve kterém probíhá komunikace, se nazývá komunikační kanál. Jelikož sousední kanály pracují na blízké frekvenci, zčásti se mohou překrývat. Dále také dochází k vzájemnému ovlivňování, pokud více zařízení používá stejný kanál ve stejný čas. Tyto stavy mají za následek rušení signálu neboli interferenci. Je tedy potřeba vybrat správný kanál v nejvhodnějším rozsahu, který je co nejmíň využíván, nebo není využíván vůbec. Dále je třeba vybrat vhodný okamžik k vysílání, k čemuž složí obecně protokoly přístupu k přenosovému médium – MAC (Medium Access Control), které řeší problémy kolizí vznikajících při současném vysílání více stanic, případně se snaží jim předcházet (Carroll, 2011).

Vzdálenost od vysílacího bodu má vliv na úroveň přijatého signálu. I pokud se komunikační zařízení vyskytují v přímé viditelnosti, ale jsou příliš daleko od sebe, může se signál dostat pod úroveň šumu a tím se znemožní přenos dat. Tento jev je možno vyjádřit útlumovou bilancí radiového spoje pomocí tzv. radiokomunikační rovnice (uvedena ve tvaru vyjádřeném v decibelech, platí pro šíření signálu na přímou viditelnost):

$$P_{dB2} = P_{dB1} - L + G_1 + G_2 - R$$

P_{dB2} je výkon signálu na vstupu přijímače, P_{dB1} je vysílaný výkon, L jsou ztráty šířením elektromagnetické vlny v prostředí (útlum), G_1 je zisk vysílací antény, G_2 je zisk přijímací antény, R je rezerva spoje zohledňující vliv počasí apod. vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem se projevuje tak, že navýšení vzdálenosti na desetinásobek způsobí nárůst ztrát o 20 dB. Významný vliv má i použité frekvenční pásmo, desetinásobná použitá frekvence znamená ztráty vyšší o 20 dB (Pechač, 2007).

Uvedená rovnice a zákonitosti při šíření radiového signálu se používají při dimenzování radiových systémů (typicky volba hustoty vysílačů pro plošné pokrytí určitého území) (Pechač, 2007).

3.3 Komunikační technologie pro IoT

Kvůli velké poptávce je patrné, že v příštích několika letech lze očekávat připojení velkého množství IoT zařízení s požadavkem na velký rozsah pokrytí, nízkou spotřebu energie a nízkou pořizovací cenu. Podle oblasti působení těchto zařízení a jejich požadavků můžeme předpokládat, že dosavadní koncept mobilních a bezdrátových sítí s krátkým dosahem nebudou zcela vyhovovat pro připojení těchto zařízení.

3.3.1 Mobilní síť

Mobilní síť GSM a vyšších generací jsou tzv. buňkovými radiovými sítěmi založenými na síti propojených základnových stanic. Operují typicky na vzdálenost několika kilometrů od základnové stanice a umožňují přenos velkého množství různorodých dat. Jsou vhodné pro přenos hlasu, videa i větších objemů dat. Pro koncept Internetu věcí však není zapotřebí přenášet objemná data. Nevýhodou mobilních sítí je vysoká spotřeba energie vysílacího modulu a jeho poměrně vysoká cena, rovněž i vysoké pořizovací náklady na infrastrukturu, včetně licencí za frekvenční pásma, která se promítá do poplatků za provoz služby (Hun, 2015).

Někteří mobilní operátoři však provozovat technologie pro komunikaci zařízení IoT chtějí a přišli s novým modelem LTE-M. Nový model je určen pro úzkopásmovou komunikaci a zahrnuje vysoké pokrytí území, dlouhou výdrž baterie i nízkou pořizovací cenu. Technologie LTE-M využívá GSM kanál (1,4 MHz) a je zpětně kompatibilní s již fungujícím LTE. Proto je možné užívat stejný hardware, základnové stanice a sdílené spektrum (Hun, 2015).

Aby mohl model LTE-M soutěžit s ostatními technologiemi popsanými v následujících kapitolách, museli by dodavatelé snížit výrobní náklady více komplexních zařízení, a to může trvat delší dobu. Na druhou stranu je schopný garantovat parametry QoS, což může vyvážit pro profesionální aplikace vyšší cenu. (Hun, 2015)

Další testovanou mobilní technologií pro aplikaci Internetu věcí je NB-IoT (Narrow Band – Internet of Things) specifikovanou organizací 3GPP, která také například stojí za standardizací GSM a LTE. V České republice se této technologii ujal Vodafone. Síť poběží v licencovaném pásmu určeném pro GSM nebo LTE, využívající 200kHz kanál. NB-IoT funguje v polo-duplexním režimu, takže lze přes jeden kanál komunikovat oběma směry, nikoliv však současně. Pro aplikaci IoT to však není problém. Oproti GSM nebo LTE

stačí NB-IoT až o 20 dB nižší úroveň signálu, což znamená až sedmkrát lepší pokrytí (Ibbetson, 2016).

Mezi výhody NB-IoT patří velmi dobré pokrytí uvnitř budov, nízké náklady a dlouhá životnost baterie koncových zařízení, mobilita, bezpečnost obousměrné komunikace a schopnost zapojit do sítě velké množství zařízení (Ibbetson, 2016).

Testování technologie NB-IoT bylo v České republice v síti Vodafone spuštěno na podzim roku 2016. Technologie je navržena tak, aby podporovala řešení jak v průmyslu, zdravotnictví a projektech chytrých měst, tak i v oblastech běžného života. Pro provozování NB-IoT technologie Vodafone využije existující infrastrukturu mobilních sítí, což umožní rychlou a ekonomickou aplikaci tohoto řešení do praxe. V současné době již probíhají zkoušky automatického měření na dálku pomocí NB-IoT ve Španělsku a Itálii (Ibbetson, 2016).

3.3.2 **Bezdrátové sítě LAN**

Bezdrátové sítě LAN (WLAN) zahrnují technologie jako WiFi a Bluetooth. Stejně jako mobilní sítě nabízejí přenos velkého množství dat, ale jsou navrženy pro přenos na krátkou vzdálenost. To ve městech nepůsobí problém, protože sítě WiFi jsou v téměř každé budově. Nevýhodou je však vysoká spotřeba energie a malý rozsah pokrytí mimo města. Většina zařízení nemá možnost neustálého přísunu energie. Myšlenka Internetu věcí vyžaduje rozsáhlé pokrytí velkého území. Technologie WLAN poslouží, jedná-li se o aplikaci uvnitř budov. Nejúspěšnější WLAN technologie, která je využívána pro aplikaci IoT se nazývá ZigBee. (Design Spark, 2015)

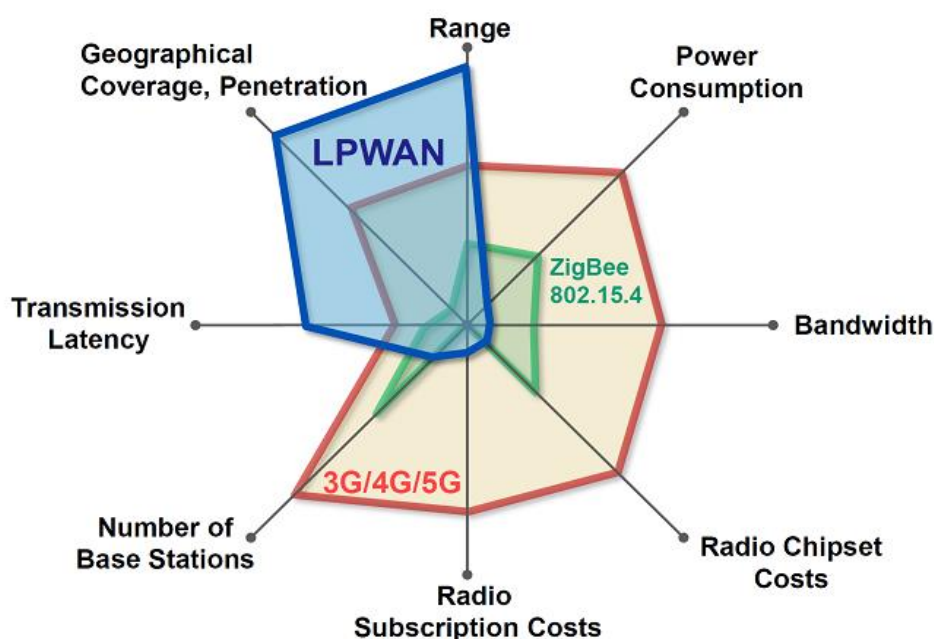
ZigBee je bezdrátová komunikační technologie postavená na standardu IEEE 802.15.4. Podobně jako Bluetooth je určena pro spojení nízkovýkonových zařízení v sítích LAN na malé vzdálenosti do 50 metrů. Díky použití multiskokového ad-hoc směrování umožňuje komunikaci i na větší vzdálenosti bez přímé radiové viditelnosti jednotlivých zařízení. Primární určení je pro aplikace v průmyslu a senzorových sítích. Pracuje v bezlicenčních pásmech 868 MHz, 902–928 MHz a pásmu 2,4 GHz. (Pavlis, 2011)

3.3.3 **Technologie LPWAN**

Většina senzorů a IoT zařízení vyžaduje umístění na obtížně dostupných místech, například v konstrukcích budov nebo v podzemí. Tento požadavek nevyhovuje technickým možnostem mobilních sítí GSM/UMTS/LTE a WLAN sítě nedisponují dostatečně dlouhou

výdrž baterie a neposkytují dlouhý dosah, tudíž mají malé pokrytí území. Pro požadavky technologie Internetu věcí byl tedy navržen koncept sítě Low-Power Wide-Area Network (LPWAN) (Raza, a další, 2016).

LPWAN síť tvoří střední cestu právě mezi mobilními a bezdrátovými sítěmi WLAN. Mezi hlavní výhody LPWAN patří velký dosah, optimalizovaný přenos dat pro IoT, snadná instalace, malé množství základnových stanic pro pokrytí velké oblasti a nízká spotřeba energie, která umožní dlouhodobý provoz zařízení. V následujícím obrázku jsou porovnány vlastnosti LPWAN, ZigBee a mobilních sítí (Raza, a další, 2016).



Obrázek 3: Vlastnosti LPWAN sítí (Zdroj: (Egli, 2015))

LPWAN využívá technologie úzkopásmového přenosu signálu (z anglického ultra narrow band, zkratka UNB) a metody přímo rozprostřeného spektra (z anglického Direct Sequence Spread Spectrum, zkratka DSSS). LPWAN síť jsou obvykle strukturovány do topologie hvězdy a používají metodu náhodného přístupu (ALOHA) (Design Spark, 2015).

Technologie rozprostřeného spektra byla doposud využívána v bezdrátových komunikačních systémech, například mobilní síť 3G. Tok přenášených informací je rozdělen do menších částí a každé z těchto částí je přidělen frekvenční kanál napříč celým pásmem. V následující fázi přenosu je signál vynásoben náhodnou sekvencí hodnot 1 a -1 na vyšší frekvenci, než je původní signál. Takto vypočtená sekvence bitů je nazývána chipping code a je modulována na nosný signál a přenášena sítí. Chipping code umožňuje

obnovení dat porušených při přenosu a pomáhá signálu odolávat rušení. Přenášené informace jsou také navíc chráněny, protože bez znalosti mechanismu vytváření náhodné sekvence je obtížné přenášený signál demodulovat (Xiong, a další, 2015).

Úzkopásmový přenos signálu je používán pro komunikaci mezi zařízeními na dlouhou vzdálenost (až 30 km). Při použití ultra narrow band (UNB) modulace, má každý signálový kanál šířku pásma typicky 100 Hz. Díky UNB spektrálnímu rozložení je vliv rušení velmi malý, a proto je možné demodulovat signály o velmi malém přijatém výkonu. UNB je výhodným způsobem modulace z důvodu snížení pořizovací ceny zařízení a také zlepšuje dosah, díky schopnosti koncentrovat přenášený výkon do úzkého pásma (Xiong, a další, 2015).

Topologie bezdrátové sítě má vliv na výkonost, škálovatelnost, energetickou efektivitu, spolehlivost, zpoždění dat atd. Smíšená, stromová či řetězová topologie se často aplikuje v senzorových sítích. Ve všech těchto topologiích však slouží koncová zařízení také jako routery, které mimo jiné zprostředkovávají širší pokrytí. U LPWAN sítí je pokrytí již zajištěno technologií UNB a DSSS, zajímá nás tedy hlavně nízká pořizovací cena a spotřeba energie. Z tohoto hlediska, se jako optimální topologie jeví topologie hvězda, která má jeden centrální přístupový bod (AP), ke kterému jsou připojena všechna koncová zařízení (ED) dané sítě. V takto jednoduché topologii je řada výhod, zejména v přímé komunikaci ED s AP umožňující minimalizovat zpoždění systému. Dále není potřeba paketů pro směrování, což napomáhá nízké spotřebě energie koncových zařízení. V otázce spolehlivosti a odolnosti je na tom topologie hvězdy hůře než smíšená topologie, ale lépe než topologie typu stromu nebo řetězu. Poslední výhodou je jednoduchá aplikace topologie a škálovatelnost ED (Xiong, a další, 2015).

Přístup ke kanálu hraje důležitou roli v LPWAN sítích z důvodu velkého počtu koncových zařízení. V bezdrátových sítích existují dvě hlavní kategorie přístupu k médiu, a to metoda s řízeným přístupem a metoda s náhodným přístupem. Metoda s řízeným přístupem znamená rozdělení kanálů do různých dimenzí, což přináší řadu výhod jako například snížení kolize při přenosu a tím pádem větší spolehlivost. Nevýhodou je však omezená schopnost zajistit připojení pro velký počet zařízení a z tohoto důvodu není tato metoda pro LPWAN sítě vhodná (Xiong, a další, 2015).

Naproti stojí metoda s náhodným přístupem, ve které zařízení bojují o přístup ke sdílenému médiu podle své potřeby. LPWAN sítě využívají protokol ALOHA.

Potřebuje-li koncové zařízení vyslat zprávu, vyšle ji nezávisle na vytíženosti média a vyčkává na potvrzující zprávu, která musí být doručena do určitého časového limitu. Pokud není kontrolní zpráva doručena, zařízení vysílá znovu a celý proces se opakuje. Tato metoda funguje pouze do určitého zatížení sítě, poté je síť zahlcena opakovaným zasíláním zpráv. DSSS technologie tomuto jevu dokáže předcházet. Díky nepřítomnosti požadavků k vysílání a potvrzení o dostupnosti kanálu je dosaženo snížení energetické náročnosti provozu systému, což je pro myšlenku Internetu věcí ideální. (Xiong, a další, 2015)

3.4 Specifikace

V následujících kapitolách jsou analyzovány IoT technologie provozované na konceptu LPWAN sítí. Mezi ty nejrozšířenější patří LoRaWAN a Sigfox. Další popsanou technologií je technologie IQRF, vyvinutá v České republice. Všechny uvedené technologie fungují v bezlicenčním pásmu, avšak s rozdílnou architekturou a parametry.

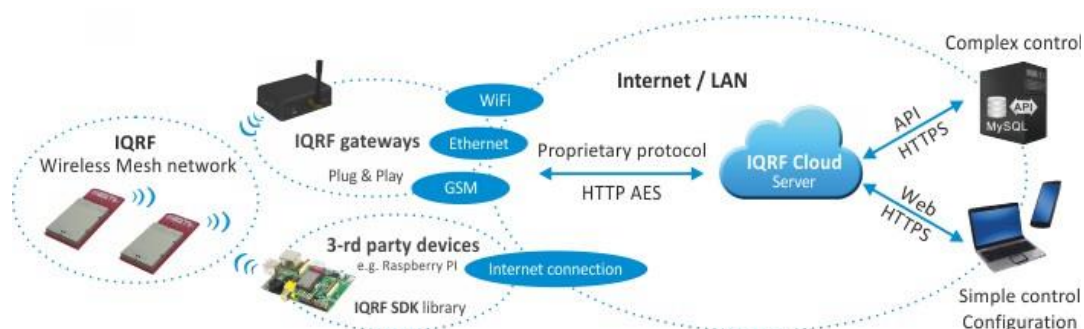
3.4.1 IQRF

IQRF je bezdrátová přenosová technologie vyvíjená od roku 2004 českou společností MICRORISC s.r.o. Komunita IQRF Alliance vytváří pro své členy ekosystém, ve kterém mohou efektivně komunikovat a úzce spolupracovat na společných projektech. IQRF Alliance také členům pomáhá vytvářet produkty a poskytuje jim potřebné certifikace. Celá technologie je jedním modulárním systémem, který zprostředkovává bezdrátové spojení. Myšlenka IQRF je v tom, že si uživatel vytvoří svoji síť zařízení a základnové stanice, kterou síť řídí, sbírá informace a je možno jí připojit na IQRF cloud (IQRF Alliance, 2015).

Platforma IQRF je stejně jako všechny LPWAN určená k bezdrátové komunikaci při nízké energetické spotřebě, nízké přenosové rychlosti a malému objemu dat. Technologie pracuje s radiofrekvenčními transceivery (TR) s mikro kontrolérem (MCU), jenž má zabudovaný vlastní operační systém. Integrovaný operační systém implementuje bezdrátovou komunikaci, routování a mnoho dalších funkcí (IQRF Alliance, 2015).

Síť může pokrýt signálem území o rozloze desítek až stovek metrů v závislosti na prostředí a aktuálních podmínkách. Technologie využívá nelicencovaného pásma na frekvencích 868 MHz, 916 MHz, 433 MHz a dosahuje přenosové rychlosti 19,2 kbit/s (IQRF Alliance, 2015).

IQRF nabízí dva režimy komunikace. Prvním režimem je peer-to-peer. Všechny prvky sítě jsou na stejné úrovni a odesílají se pouze uživatelská data. Komunikace není zatížena žádnými síťovými náležitostmi. Druhou možností pro síťovou komunikaci je používat protokol IQMESH. Tím se IQRF odlišuje od ostatních LPWAN specifikací, které využívají topologii hvězdy. Mesh je síťová topologie bez specifického uspořádání prvků. Stačí, pokud je koncový prvek v dosahu některého jiného prvku. Síť je založena na skocích, kdy je možno se pomocí konečného počtu skoků (240) dostat až k cílovému prvku. IQMESH podporuje maximálně 239 koncových zařízení (node) připojených k jedné základnové stanici (gateway). Kapacitu lze rozšířit až na 65 000 zařízení vytvořením mnoha podsítí. Velikost odesílaných paketů je 64 B. Myšlenka IQMESH sítě stojí na velkém množství bodů, které díky redundanci možných cest zajistí větší dosah, stabilitu a robustnost sítě. Architektura IQRF technologie je zobrazena v následujícím obrázku (IQRF Alliance, 2015).



Obrázek 4: Architektura IQRF technologie (Zdroj: (IQRF Alliance, 2015))

Velká výhoda technologie IQRF je v extrémně jednoduché implementaci ke konkrétní funkci. Poskytovaná zařízení, jsou schopna do sebe nahrát, bez nutného programování, konkrétní hardware profile (HWP), jenž obsahuje požadovanou funkcionalitu. Další vyžadované funkcionality se dají dopsat pomocí jazyka C. Další výhodou technologie, může být realizace sítě od jedné společnosti, která zajistí vše od hardwarových prvků, softwaru, protokolů, až po podporu a různých služeb. Díky levným vývojářským kitům a bezplatnému operačnímu systému si IQRF sítě drží nízkou implementační a provozní cenu. Nevýhodou je, že technologie zatím nenabízí žádné šifrování a oproti technologiím popsaným v následujících kapitolách má menší dosah (IQRF Alliance, 2015).

3.4.2 Sigfox

Sigfox je koncept LPWAN sítě vyvinuté stejnojmennou společností sídlící ve Francii. V současné době je instalovaný v západní Evropě, Brazílii a některých městech USA. V Austrálii a České republice je technologie v testovacím provozu (Peterka, 2015).

Na rozdíl od IQRF si základnové stanice neinstaluje sám koncový uživatel, ale jsou provozovány operátory. V Česku bezdrátovou síť spolu zprostředkovávají společnosti T-Mobile a SimpleCell. Na základě úspěšného výsledku pilotního provozu, který probíhal od června do srpna roku 2016, se firmy rozhodly pokrýt 95 % území do konce roku (Peterka, 2015).

Sigfox technologie cílí především na extrémně jednoduchou konstrukci koncových zařízení napájených téměř výhradně baterií, u kterých je předpoklad doby provozu i více než 5 let. Tomu nahrává i jednoduchá architektura sítě ve formě hvězdy, kdy více základnových stanic je schopno přijmout současně zprávu odesílanou jedním koncovým zařízením, a tak se vypořádat s omezeními danými přístupovou metodou či rušením v daném pásmu (Peterka, 2015).

Sigfox používá pro zajištění velkého dosahu sítě na fyzické vrstvě techniku UNB, čímž se odlišuje od systému LoRaWAN, který je postaven na DSSS. Výhoda při používání UNB je široká nabídka designů antén, které lze dimenzovat přímo na míru pro danou situaci. Koncová zařízení tak vysílají náhodně v extrémně úzkém frekvenčním rozsahu pouhých 100 Hz, a to opakovaně na 3 různých náhodných frekvencích. Díky kombinaci příjmů na více základnových stanicích a trojnásobnému odeslání je provozovatel schopen poskytnout 99 % pravděpodobnost doručení odeslané zprávy (Sigfox, 2013).

K přenosu dat slouží ISM rádiové vlny v nelicencovaném frekvenčním pásmu 868 MHz pro Evropu a 915 MHz pro USA. Síť Sigfox by měla již v současné době pokrývat území ČR, a to prostřednictvím cca 350 základnových stanic, což je výrazně méně v porovnání s klasickou GSM sítí. Typicky se uvádí dosah až 20 km v otevřeném nezastavěném prostředí a jednotky kilometrů v městské zástavbě. Nevýhodou extrémně úzkého frekvenčního rozsahu a použitého kódování je náchylnost na pohyb objektů, kdy se již při velmi malých rychlostech uplatňuje Dopplerův jev, což je v některých aplikacích typicky kompenzováno přítomností akcelerometru identifikujícího zastavení objektu (Sigfox, 2013), (SimpleCell Networks a. s., 2016).

Data jsou zasílána pomocí bloků. Omezením je maximální délka uživatelského obsahu 12 B. Vzhledem k použitému kódovacímu schématu je nutné vysílat jednu zprávu i několik sekund ve třech opakováních. Přenosová rychlost odpovídá zhruba 100 bit/s. Vzhledem k tomu, že je dáno generální licencí v daném ISM pásmu omezení na max. výstupní výkon 25 mW a klíčovací poměr menší než 1 %, není možné vysílat více, jak 140 zpráv za den ve směru uplink (od zařízení ke základnové stanici). Jelikož síť byla původně projektována pouze jako jednosměrná pro sběr dat z koncových zařízení, senzorů, nebyl brán příliš zřetel na směr downlink. Přesto by v současnosti síť měla poskytovat přenos až 4 zpráv za den. Očekává se, že tyto zprávy budou využity pro změny parametrů v konfiguraci zařízení (Sigfox, 2013).

Síť Sigfox je uzavřená a je poskytována jako služba s uzavřeným ekosystémem koncových zařízení, modemů, díky čemuž je provozovatel schopen garantovat výše zmíněné vlastnosti. Jelikož provozovatel je nezávislý na národních operátorech a veškeré zpracování zpráv získaných ze základnových stanic přenesených páteří sítí operátorů probíhá v datovém centru provozovatele, je možné využít naprosto souvislého roamingu. Přístup k datům je poskytován přes standardní API a je tedy možné rychle vytvářet a měnit uživatelské aplikace (Sigfox, 2013).

Vzhledem k velmi omezenému objemu přenesených dat nepřipadá v tuto chvíli v úvahu použití standardního vrstevného ISO/OSI modelu a protokolů s ním spojených. Technologie je navržena pro přímý přístup k datům koncového zařízení a neposkytuje jako taková možnosti logického členění známého například z IP. Ty však v tomto případě nejsou ani potřeba, jelikož logické členění je možné řešit softwarově ve správcovském rozhraní poskytovatele (Sigfox, 2013).

Výhodou této technologie je cena. Ve Francii bylo vybudováno 1000 základních stanic za cenu 4 miliony USD, což je přibližně stokrát levnější než obdobná mobilní síť. Aktivace ročního paušálu pro zařízení zákazníka stojí 1 USD a implementace do koncového zařízení 5 USD. Komunikační modul pro koncové zařízení je zobrazeno na následujícím obrázku (Peterka, 2015).



Obrázek 5: Komunikační modul pro síť Sigfox (Zdroj: (SimpleCell Networks a. s., 2016))

Dle specifikací je vidět, že se technologie nejvíce hodí pro sběr malých objemů dat z čidel nebo senzoru, a to za podmínky, že se data přenášejí jen občas. Daná technologie je implementována v Moskvě, kde více než 10 000 senzorů kontroluje volná parkovací místa. Dále například ve Francii využívají Sigfoxu v měřidlech tlaku hydrantů a ve Španělsku k zabezpečení objektů. Více než 12 předních evropských měst používá technologii Sigfox a další přibývají. Celkem je pokryto už 1,5 milionu čtverečních kilometrů (Peterka, 2015).

3.4.3 LoRaWAN

Technologie LoRaWAN (Long-Range WAN) jde střední cestou mezi technologiemi IQRF a Sigfox. Koncový uživatel si může vytvořit svoje privátní mesh sítě, ale má i možnost využívat základnových stanic operátorů. V České republice tuto službu provozuje společnost České radiokomunikace, která po úspěšném pilotním provozu v roce 2015 již pokryla Prahu a 13 krajských měst. Technologie je provozována v bezlicenčním frekvenčním pásmu 868 MHz pro Evropu, 915 MHz pro Ameriku a 433 MHz pro Asii (České radiokomunikace a. s., 2016).

Technologie LoRa, vyvíjená firmou Semtech, využívá na fyzické vrstvě techniky direct sequence spread spectrum (typicky o šířce pásma 125 kHz), která umožňuje komunikovat na nižších úrovních výkonu signálu a je vysoce odolná proti rušení a šumu. Komunikace mezi koncovými zařízeními a přijímačem je tedy rozdělena do odlišných frekvenčních kanálů s rozdílnými přenosovými rychlostmi v závislosti na nastavení nebo podmínkách přenosu (LoRa Alliance, 2015).

Zatímco LoRa je pouze modulační technika, bylo potřeba vytvořit i zázemí pro její použití, a proto vznikl protokol LoRaWAN. Vývoj LoRaWAN zastřešuje nezisková asociace LoRa Alliance, jež se zabývá problematikou LPWAN, M2M, IoT, smart cities a dalšími. Asociace má stovky členů, mezi které patří například IBM a Cisco. LoRaWAN označuje protokol na MAC vrstvě zajišťující připojení velkého množství zařízení, velký dosah a nízkou spotřebu energie koncových zařízení. Protokol zajišťuje přenos v obou směrech, čímž umožňuje spolehlivé doručení zpráv s potvrzením. Dále umožňuje šifrování dat (128-bit AES) pro zabezpečení, multicast vysílání nebo vzdálenou aktivaci koncového zařízení (LoRa Alliance, 2015).

Přestože LoRa jako modulační schéma je použitelné v jakékoliv topologii včetně mesh, předpokládá se hvězda s tím, že zprávu může obdržet více základnových stanic. Vzhledem k tomu, že základnová stanice může přijímat na 8 kanálech současně, může být kapacita celkového denního počtu zpracovaných zpráv vyšší než u technologie Sigfox. Uvádí se až 1,5 milionu zpráv denně (LoRa Alliance, 2015).

LoRa dělí koncová zařízení do tří tříd. Zařízení třídy A si sama vybírají, kdy jsou na příjmu. To se děje většinou poté, co odešlou data, a následně čekají na potvrzení od gateway. Provoz této skupiny zařízení je nejvíce energeticky úsporný. Třída B se vyznačuje tím, že koncové zařízení navíc otevírá přijímací okno ve stanovený čas. Zařízení třídy C jsou na příjmu stále kromě okamžiku, kdy vysílají. Tím je dána největší energetická náročnost (LoRa Alliance, 2015).

V zájmu snížení spotřeby energie a zvýšení kapacity sítě umožňuje LoRa přizpůsobení přenosové rychlosti pro každé zařízení individuálně dle potřeby. Přenosová rychlost se pohybuje od 250 bit/s do 11 kbit/s. Přenosová rychlost může být ve směrech uplink a downlink rozdílná v závislosti na módu. Přenosová vzdálenost je vyšší než 15 km při přímé viditelnosti a 2 km v městské zástavbě (Hun, 2015), (LoRa Alliance, 2015).

3.4.4 Porovnání technologií

V následující tabulce jsou vyobrazeny některé z hlavních technických parametrů technologií Sigfox, LoRaWAN a IQRF. Která z technologií je nejlepší je složité posoudit. Pro každou aplikaci se některá bude hodit více a některá méně. Hlavním rozdílem mezi technologiemi je model instalace, buď si uživatel sestaví svojí vlastní senzorickou síť, nebo nechá komunikační provoz na operátorech.

Tabulka 2: Porovnání parametrů technologií Sigfox, LoRaWAN a IQRF (Upraveno autorem dle: (Hun, 2015), (Raza, a další, 2016))

	IQRF	Sigfox	LoRaWAN
Frekvenční pásmo	868 MHz (Evropa), 916 MHz (Amerika), 433MHz (Asie)	868 MHz (Evropa), 915 MHz (Amerika)	868 MHz (Evropa), 915 MHz (Amerika), 433MHz (Asie)
Propustnost	19,2 kbit/s	100 bit/s	250 bit/s – 11 kbit/s
Datový obsah	64 B	12 B	až 250 B
Maximální dosah	150 m (přímá viditelnost)	20 km (přímá viditelnost), 3 km (město)	15 km (přímá viditelnost), 2 km (město)
Vysílací výkon	až 5 dBm	až 14 dBm	10 – 18 dBm
Energetická spotřeba zařízení	170 μ A (Low power mód), 25 μ A (Extra LP mód)	40-55 mA (při vysílání) 15 μ A (standby režim)	16 mA (při vysílání) 10 μ A (standby režim)
Výdrž baterie zařízení	až 2 roky (Low power mód), až 12 let (Extra LP mód)	až 10 let (1 zpráva/den, 1x AA baterie)	až 10 let
Topologie	mesh	hvězda	hvězda
Modulace	FSK	UNB DBPSK	LoRa
Technika fyzické vrstvy	DPA	UNB	DSSS
Model instalace	privátní síť	celostátní	celostátní, privátní síť
Šifrování		AES	AES
Limit vysílání	dle duty cycle	dle duty cycle (144 zpráv za den)	dle duty cycle

3.4.5 Ostatní technologie

Kromě celosvětově rozšířených LPWAN specifikací jako je Sigfox nebo LoRaWAN, existují spousta další technologie a platformy IoT uvedené v následujícím seznamu (Rouse, 2015).

- Weightless jsou komunikační standardy zajišťující bezdrátovou konektivitu LPWAN, speciálně pro Internet věcí. Pracují jak v bezlicenčních pásmech, tak v licencovaných.
- Symphony Link využívá modulační technologie LoRa a nabízí své vlastní řešení v oblasti IoT.

- Ingenu je řešení pro Machine-to-Machine komunikaci a používá pro to speciální přístupovou metodu Random phase multiple access (RPMA).
- Dash7 od společnosti Haystack je jeden ze starších M2M protokolů snažící se prostoupit i do oblasti Internetu věcí.
- NWave technologie využívá UNB v kombinaci se Software defined radio (SDR). Díky SDR lze pouhou změnou softwaru používat různá kmitočtová pásma a různé komunikační protokoly.

3.4.6 Přizpůsobitelnost požadavkům uživatele a náklady na instalaci a provoz

Existuje několik možností, jak aplikovat řešení Sigfox či LoRaWAN. Zprv si může uživatel vytvořit moduly sám, za pomoci vývojářských kitů nebo díky jednodeskovým počítačům jako jsou například Arduino a Raspberry Pi. Tyto moduly stojí okolo 1 000 Kč (Zdroj: <https://www.arduinotech.cz/kategorie/arduino/>) a uživatel si je musí sám naprogramovat a zprovoznit. Tím získává mnoho možností, jak moduly využít a přesně přizpůsobit pro svoje potřeby. Pro připojení do LPWAN sítě musí počítač osadit modemovým čipem. Cena Sigfox a LoRaWAN modemu se pohybuje okolo 200 Kč. Ceny vývojářských kitů začínají na 3 000 Kč (SimpleCell Networks a. s., 2016)

Druhou možností je zakoupení hotového modulu, připojení požadovaných senzorů a upravení řídicí jednotky. OEM moduly stojí zhruba 300 Kč (Zdroj: <http://www.tme.eu/cz/katalog/>). LoRaWAN moduly i modemy jsou zpravidla dražší. Ceny senzorů pak záleží na typu senzoru. Například senzor teploty lze pořídit za 100 Kč (Zdroj: <https://www.arduinotech.cz/kategorie/senzory/>).

Další možností je, že si uživatel koupí zařízení, které je ihned schopné provozu po prvním spuštění. Tyto senzory jsou zpravidla dodávány s aplikací, se kterou může uživatel přistupovat k datům. Cena těchto zařízení se velmi liší.

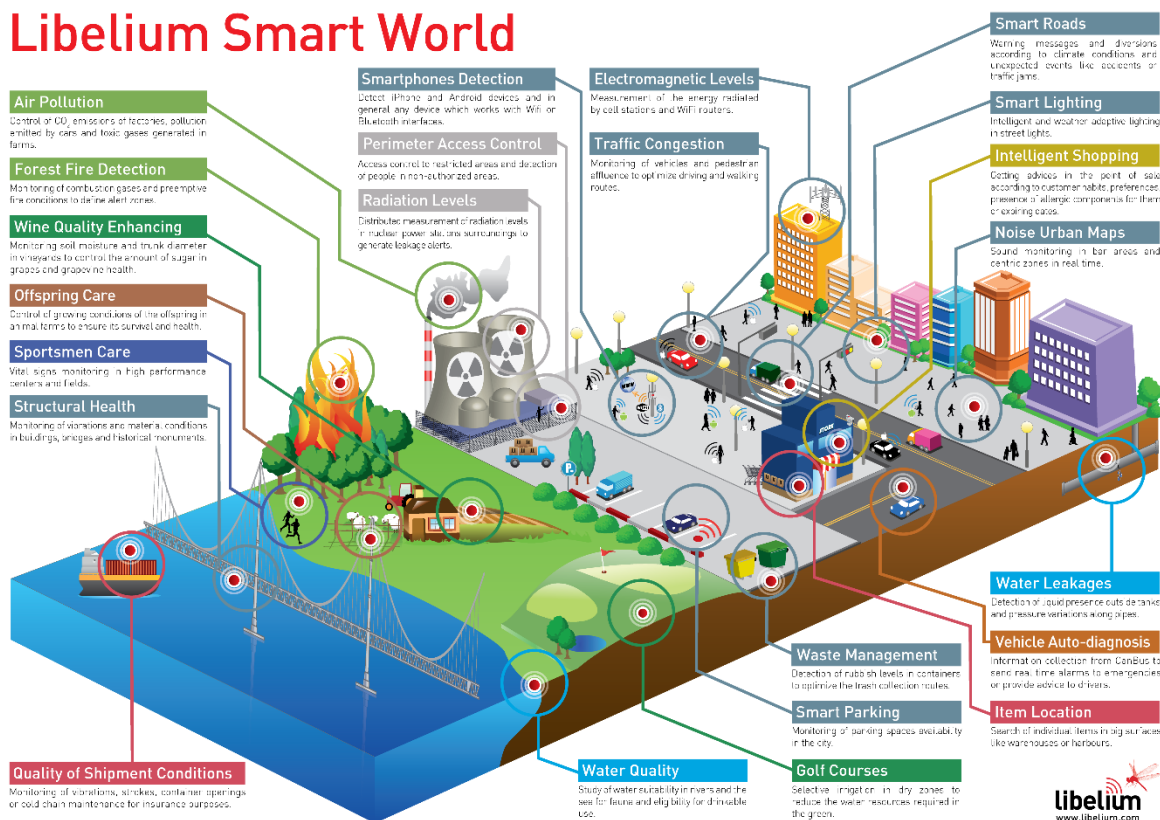
Poslední možností je aplikace řešení dodavatelskou společností tzv. na klíč. Společnost dodá všechna potřebná zařízení a vytvoří aplikaci pro práci s daty. Tato cesta bude často využívána, jelikož zákazník dostane plnohodnotné fungující řešení, které může být upraveno podle dalších požadavků. Například Společnost hiDeSign s.r.o. a Solidus Tech s.r.o. nabízejí vlastní ucelené řešení. V ceně prodeje AsixWAN infrastruktury je 1 ks software LoRa network server, 20ks senzorů a 1ks LoRa gateway (Zdroj: <http://eshop.solidustech.cz/1302-AsixWAN-prodej.html>).

Nabídka IoT LPWAN zařízení a aplikací pro komerční použití je zatím malá, jelikož se sítě teprve testují. Až se spustí ostrý provoz sítí, společnosti velmi rychle vstoupí na trh s jejich řešeními.

Jelikož technologie Sigfox a LoRaWAN využívají základnové stanice pro příjem zpráv, operátoři si účtují měsíční poplatky. Předpokládaná cena pro jedno Sigfox zařízení je od 3 Kč do 30 Kč podle počtu odeslaných zpráv a počtu dalších předplacených zařízení. Cena za připojení jednoho LoRaWAN zařízení se bude pohybovat v rozmezí 15 Kč – 35 Kč za měsíc. Cena se taktéž bude odvíjet od počtu aktivovaných zařízení, četnosti odesílání a přijímání zpráv a délky kontraktu (SimpleCell Networks a. s., 2016), (České radiokomunikace a. s., 2016).

3.5 Oblasti využití

Internet věcí má uplatnění ve všech oblastech každodenního života. Systémy fungující na principu IoT můžeme vidat všude ve svém okolí, ale nemusíme si to vůbec uvědomovat. Aplikací, ve kterých se IoT využívá je obrovské množství a nové rychle přibývají. Shrnutí oblastí využití je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 6: Oblasti využití (Zdroj: (Asin, a další, 2015))

3.5.1 Chytré domácnosti

Pozornost veřejnosti se upírá hlavně na aplikaci IoT v domácnostech. Automatizované technologie v budovách byly většinou pouze v nejmodernějších kancelářských komplexech nebo luxusních rezidencích. Mezi faktory umožňující širší využití patří vyspělé technologie, levná a dostupná bezdrátová komunikace a přítomnost komunikačních a výpočetních zařízení (Sundmaeker, 2010).

Současné chytré domácnosti se zaměřují na šetření energie a zdrojů. Na základě senzorů dokáže systém reagovat na různé podněty a rozpoznat, jak optimálně klimatizovat, vytápět, svítit, rozevírat žaluzie nebo odpojovat nepoužívané zařízení od přísunu energie (Sundmaeker, 2010).

Další oblastí jsou chytré spotřebiče, které mezi sebou mohou spolupracovat. Příkladem chytrého spotřebiče je lednice, která rozpozná, jaké potraviny v ní chybí, nebo jsou zkažené (Sundmaeker, 2010).

Zajímavým přístrojem je zařízení o velikosti mince, které slouží jako pomoc při vyhledání ztracených předmětů například klíčů, peněženky nebo mobilu. Ztracené věci jsou pak zobrazeny na mapě nebo lze vydat pokyn, aby vydaly zvuk (Haller, a další, 2008).

Problémem chytrých domácností je nekompatibilita zařízení od různých výrobců. Ty potom spolu nemohou komunikovat a nedají se sjednotit. Proto je doporučováno aplikovat řešení jednou společností. S přibývajícím možnostmi na trhu se trend chytrých domácností rychle rozšiřuje (Haller, a další, 2008).

3.5.2 Wearables

Jako nositelná elektronika (wearables) se označují miniaturizovaná elektronická zařízení, která jsou navržena tak, aby mohla být běžně nošena člověkem. Buďto jako část obleku nebo upevněná na těle. Mezi wearables patří chytré náramky, hodinky, brýle nebo senzory monitorující zdravotní stav člověka. V budoucnu také přibudou chytré implantáty a inteligentní oděvy obsahující senzory (Sung, 2015).

Nejčastěji se tato zařízení používají ke sledování aktivit a životního stylu nositele. Senzory sledují například počet uchozených kroků, tep nebo teplotu. Díky tomu se řešení začíná využívat ve zdravotnictví, kde lékaři mohou monitorovat zdravotní stav pacienta, a to i na dálku (Sung, 2015).

3.5.3 Chytrá města

Chytré město je městem, které je propojené sítí senzorů, za účelem efektivnějšího chodu města, a tudíž ulehčení života obyvatelů a návštěvníků.

Jedním ze systémů usnadňujících život je systém inteligentních parkovišť. Senzory detekují volná místa a řidiči jsou naváděni buďto tabulemi, mobilní aplikací nebo navigací na požadované parkovací místo. Podobný systém je již zavedený v některých garážích obchodních center (Asin, a další, 2015).

Pro zvýšení plynulosti silničního provozu se bude využívat systém chytrého řízení dopravy. Hlavním zařízením tohoto systému jsou inteligentní semaforey a značky, které regulují hustotu silničního provozu a minimalizují kolony. Ty budou komunikovat se senzory zabudovanými ve vozovce, které poskytnou informace o vytiženosti dané silnice. Větší bezpečnost silničního provozu je další výhodou této aplikace (Asin, a další, 2015).

Další aplikací je koncept odpadkových košů a kontejnerů osazených čidlem informujícím o naplnění a nutnosti vyvezení odpadu (Maddox, 2015).

V souvislosti se šetřením energie se mluví o veřejných budovách, které budou fungovat na principu chytrých domácností a veřejném osvětlení, které se bude samo regulovat podle potřeby. Při měření a odečtu elektrické energie, vody a plynu se také využijí sensory, aby vše probíhalo na dálku a uživatelé si mohli průběžně kontrolovat svoji spotřebu. Kromě realizace dálkových odečtů pro účely fakturace, umožní IoT monitorovat abnormální a havarijní stavy na koncových bodech a v síti (Maddox, 2015).

Prosazení aplikace Internetu věcí ve městech je otázkou blízké budoucnosti. Některá města už nyní připravují plány, jak efektivně využívat chytrá zařízení, a město tak modernizovat (Maddox, 2015).

3.5.4 Automobily

Velké množství změn potká v budoucnu i automobilový průmysl. Aplikace Internetu věcí zahrnuje využití senzorů, které mají za úkol monitorovat a hlásit co nejvíce externích a interních vlivů působících na činnost vozidla. Mezi vlivy můžeme zahrnout mnoho podnětů od tlaku v pneumatikách, až po přibližování ostatních automobilů. Tím, že budou vozy mezi sebou komunikovat (V2V komunikace), se sníží riziko dopravních nehod a provoz se stane plynulejším. Senzory budou sdílet informace o poloze, rychlosti, směru atp. Již v současné době některá vozidla využívají adaptivní tempomat, jehož sensor sleduje

vozidlo před sebou a automaticky reguluje rychlost (Haller, a další, 2008), (Sundmaeker, 2010).

Dále může vozidlo komunikovat s prostředím V2I (vehicle to infrastructure). Toho využívají autonomní automobily, které k jízdě nepotřebují člověka. V současné době vozy společnosti Tesla již umějí, v přehledných lokacích, samovolně pracovat. Další výhodou se stane také diagnostika poruch na dálku a zavolání záchranných složek při nehodě (Haller, a další, 2008), (Sundmaeker, 2010).

3.5.5 Zdravotnictví

Internet věcí může pomoci přesunout zdravotní péči od současné masivní konzumace léčiv k prevenci a dát lidem větší kontrolu nad rozhodnutími, která ovlivňují jejich zdravotní stav a pohodlí. Nositelná zařízení, která budou připnuta na těle, by mohla snížit počet návštěv lékaře a umožnit lidem dřívější návrat z nemocnic, což je řešením stále nekončící nestability poplatků ve zdravotnictví a neustále se zvyšujících nákladů státu (Bárta, 2015).

Skrze senzory a měřiče tlaku, tepu, množství cukru v krvi atp. by se stala prevence jednodušší a nemoci by byly rozpoznány včas. Senzor například rozpozná anomálii ve zdravotním stavu člověka a automaticky informuje záchranné složky (Bárta, 2015).

3.5.6 Bezpečnost

Důležitou oblastí, kde lze Internet věcí využít, je bezpečnost osob a zabezpečení objektů. Základním prvkem bezpečnostních systémů jsou detektory pohybu. Dále lze monitorovat únik plynu, vody a kouře. Pokud systém zachytí neočekávaný podnět v domácnosti, okamžitě uživatele upozorní například prostřednictvím chytrého telefonu. Uživatel nebo pověřený subjekt, tak může sledovat domácnost odkudkoliv a mít nad ní neustálý dohled (Sundmaeker, 2010).

Pokud se nikdo v budově nenachází, dokáží chytré budovy simulovat přítomnost osob například rozsvěcováním světel v různých intervalech.

Čipy a biometrické senzory urychlí vstup bez použití klasických klíčů a pomohou zabránit vniknutí cizích osob. Vozidlo může podobně komunikovat s vraty a automaticky je otevřít (Sundmaeker, 2010).

Poslední oblastí jsou identifikační předměty, které nosíme u sebe. Jedná se především o občanský průkaz, pas či karty pojištěnce. V České republice jsou zatím bez čipu. U každé této technologie by měl být zhodnocen dopad na soukromí jedince a výši užitku,

kterou přináší. Je velmi důležité stanovit, jaké informace mohou být ze zařízení extrahovány. Soukromí lidí bylo vždy v kontrastu s označováním lidí a možností je sledovat. I přesto jsou dnes lidé, kteří se nechávají dobrovolně označit RFID tagy s cílem odlišit se (Asin, a další, 2015).

3.5.7 Výroba a obchod

Internet věcí otevírá nové možnosti konkurenceschopnosti a ekonomického růstu společností. Využívá se k optimalizaci výroby, skladování a logistiky.

Identifikace na rádiové frekvenci (RFID) je další generace identifikátorů navržených k identifikaci zboží, navazující na systém čárových kódů. Radio-Frequency IDentification tagy jsou malá elektronická zařízení, která se skládají z čipu a antény. Aktivní RFID tagy obsahují svůj vlastní zdroj energie, což jim dává schopnost vysílat s dosahem až 100 metrů. Pasivní tagy nemají svůj zdroj energie a jsou místo toho poháněny elektromagnetickou energií přenášenou z RFID čtečky. Jelikož musí být rádiové vlny dostatečně silné, aby zásobily tagy energií, mají pasivní RFID tagy čtecí dosah do 25 metrů (Haller, a další, 2008).

Stejně jako čárové kódy tagy slouží k bezkontaktní komunikaci na krátkou vzdálenost. Díky nim je možné optimalizovat výrobní proces a monitorovat životní cyklus produktu. Označením produktů je dosažitelná větší transparentnost výroby, její umístění, dispozice a status výrobních zařízení. Pokud budou jednotlivé věci identifikovatelné, bude možné implementovat inteligentní výrobu, která se bude sama plánovat a optimalizovat (Haller, a další, 2008).

Dodavatelským řetězcům a obchodům RFID tagy v kombinaci s tzv. chytrými regály usnadní práci v několika směrech sledování věcí v reálném čase. Kontrola příjmu zboží, průběžné sledování skladů a docházejících zásob nebo detekce krádeží může být plně automatizováno. Tím se ušetří náklady na operace se zbožím. V případě, že by výrobci a dodavatelé měli přístup k datům z obchodů, mohli by optimalizovat výrobu a přepravu potřebám každého odběratele a zamezit tak přebytku nebo nedostatku zboží (Haller, a další, 2008).

V obchodě samotném, nabízí IoT další možnosti využití. Jedná se například o navedení zákazníka k jednotlivým produktům na základě jeho nákupního seznamu, rychlé

možnosti placení kontrolované biometrií nebo individualizovaná detekce alergenů (Sundmaeker, 2010).

3.5.8 Životní prostředí

V této oblasti se Internet věcí využívá k prevenci a včasnému zareagování na přírodní katastrofy či monitorování stavu životního prostředí. V současnosti můžeme předvídat tsunami, zemětřesení, lesní požáry, laviny a záplavy právě díky mnoha typům zařízení. Další senzory také slouží k měření kvality vody, míry znečištění ovzduší, hladiny hluku nebo velikosti sněhové pokrývky. (Asin, a další, 2015)

3.5.9 Zemědělství

V zemědělství se IoT zařízení využívají ke sledování pohybu zvířat a monitorování klimatických podmínek ve sklenících či na farmách. Informace získané z meteostanic a senzorů v půdě, jsou zpracovány za účelem automatického zavlažování, hnojení, udržování teploty a správné intenzity světla. Tím je dosažena lepší kvalita úrody (Asin, a další, 2015), (Sundmaeker, 2010).

3.6 Bezpečnost a soukromí

Princip IoT vychází ze sběru velkého množství informací, které dávají komplexní přehled o uživatelích. Internet věcí bezesporu přináší koncovým uživatelům spoustu výhod a ulehčení. Odvrácenou stranou IoT však může být možnost zneužití informací při nedostatečném zabezpečení (Matuszak, 2015).

Systémy, kde jsou data sbírána, uložena a zpracovávána, jsou napadnutelné a může tak dojít k úniku citlivých osobních informací. IoT systémy musí být bezpečné ve dvou směrech. Prvním směrem je zabezpečení sbíraných dat. Tím druhým je fyzická ochrana koncových zařízení připojených k Internetu. Získaná data jsou nejčastěji chráněna pomocí autentizace uživatele. Během přenosu dat jsou data chráněna šifrováním (Matuszak, 2015).

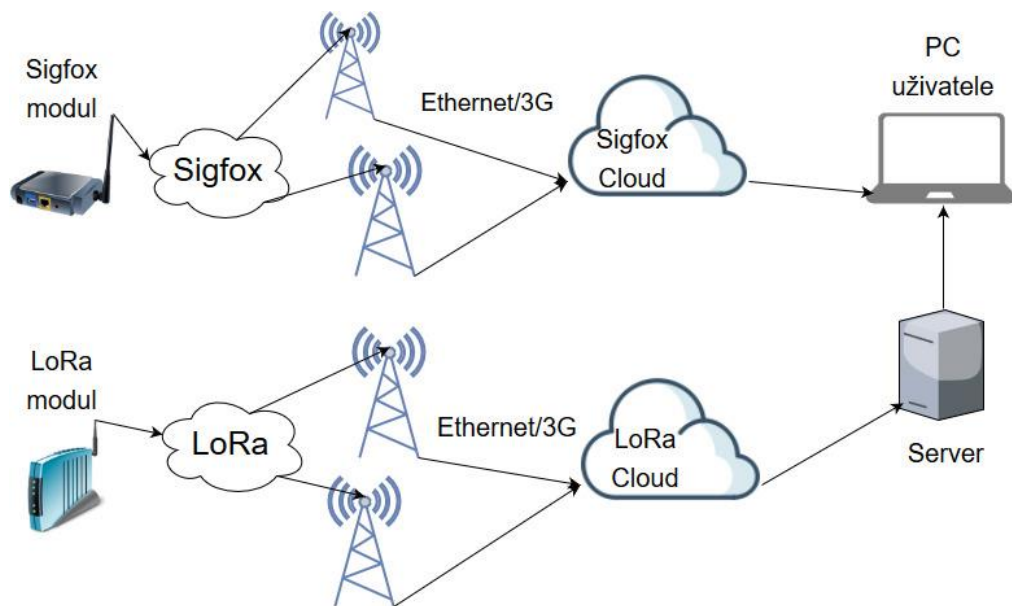
Ochrana dat ve většině případu souvisí s ochranou soukromí. Muže například dojít k úniku citlivých osobních a zdravotních informací (z nositelných zařízení). Útoky však také mohou vést k materiálním škodám v případě napadení chytrých domů (například kamerových systémů, klimatizace nebo jiných spotřebičů) či vozidel (Matuszak, 2015).

Podle průzkumu až 92 % společností využívajících aplikaci Internetu věcí má obavy o bezpečnost systému. Je tedy velmi důležité bezpečnost stále zvyšovat pro pohodlí a klid uživatelů (Matuszak, 2015).

4 Vlastní práce

Vlastní část diplomové práce se zabývá ověřováním a porovnáním dostupnosti signálů systémů Sigfox a LoRa. Pro měření dostupnosti bylo využito konceptů senzorických modulů zapůjčených od firmy DEVELICT Solutions s.r.o. (<http://www.develict.com/>). Měření bylo prováděno v Praze na sídlišti Bohnice v panelovém domě s osmi nadzemními podlažími a sklepením. Signál byl vysílán ze sklepení a každého lichého podlaží. Z každého vysílacího místa, které bylo vybráno tak, aby simulovalo místo, kde by se nacházel modul pro odečet spotřeby elektriny, vody, plynu či tepla, bylo posláno 20 zpráv. Pro porovnání, bylo měřeno i z místa mimo panelový dům. Následně byly výsledky zpracovány a statisticky zanalyzovány.

Následující obrázek zobrazuje schéma trasy zpráv posílaných z IoT testovacích modulů při procesu měření. Zpráva odeslaná modulem je přijatá základnovou stanicí a ta ji předá do cloudu. Zprávu ze Sigfox zařízení je možné přečíst na Sigfox cloudu a zpráva z modulu LoRa je přeposlaná na FTP server.



Obrázek 7: Schéma trasy zprávy (Zdroj: Autor)

4.1 Použité pomůcky k měření

Pro měření byl použit spektrální analyzátor a testovací moduly systémů LoRaWAN a Sigfox. Oba moduly byly osazeny stejnou externí anténou se ziskem 2 dB.

4.1.1 DeSens LoRa senzor teploty a vlhkosti

DeSens je IoT zařízení od firmy DEVELICT Solutions s.r.o. Je určené pro přenos dat skrze LoRaWAN síť splňující specifikaci LoRaWAN 1.0. Senzor je určen pro bateriový provoz a je klasifikován jako zařízení typu A v infrastrukturách LoRaWAN sítí.

Zařízení DeSens je složeno ze dvou částí. První částí je komunikační a řídicí jednotka, která se stará o sběr dat ze senzoru a jejich následné odeslání skrze LoRaWAN modem do sítě. Druhou částí je pak samotný senzor teploty a vlhkosti vzduchu.

Senzor je napájen baterií AA a jeho funkčnost je odhadována na 6 let při odesílání datové zprávy každých pět minut. Dále disponuje anténním konektorem pro připojení externí antény pro pásmo 868 MHz a tlačítkem pro rychlé odeslání zprávy.

Tabulka 3: Základní specifikace senzoru DeSens LoRa (Zdroj: Manuál DeSens LoRa (<http://www.develict.com/>))

Parametr	Specifikace	Jednotka
Napájecí napětí	2,1 – 3,6	V
Odběr během spánku	10	μA
Odběr během měření	2	mA
Odběr během vysílání	16 při 14 dBm	mA
Interval odeslání	5	minut
Frekvence	868,1 (LC1)	MHz
	868,3 (LC2)	MHz
	868,5 (LC3)	MHz
	867,1 (LC4)	MHz
	867,3 (LC5)	MHz
	867,5 (LC6)	MHz
	867,7 (LC7)	MHz
	867,9 (LC8)	MHz
Provozní teplota	-40 až 85	°C



Obrázek 8: Senzor DeSens LoRa (Zdroj: Autor)

4.1.2 DeSens Sigfox čítač impulsů

Tento IoT modul je určen pro přenos zpráv skrze Sigfox síť. Oproti LoRa zařízení je osazený Sigfox čipem, ale specifikace jsou velmi podobné. Liší se interval odesílání zpráv, který je stanoven na 10 minut, aby vyhovoval klíčovacímu poměru, a modul využívá úzké pásmo 868 MHz - 868.6 MHz.



Obrázek 9: Senzor DeSens Sigfox (Zdroj: Autor)

4.1.3 Přenosný spektrální analyzátor Rohde & Schwarz FSH8

Spektrální analyzátoři se používají pro zobrazení nejrůznějších signálů ve frekvenční oblasti. Signál může být charakterizován jako funkce frekvence, takovému vyjádření signálu se říká frekvenční spektrum, a toto spektrum umožňuje tzv. analýzu ve frekvenční oblasti.

Analyzátor dokáže například změřit vysílací výkon, frekvenci, šířku kanálu jednotlivých zařízení a šum na pozadí. V této práci je využit pro ověření vysílaných signálů moduly, identifikaci šumu na pozadí, případně k detekci interferencí od ostatních zařízení. Byl využit přenosný spektrální analyzátor Rohde & Schwarz FSH8 s externí prutovou anténou se ziskem cca 2 dB.

Tabulka 4: Základní parametry spektrálního analyzátoru (Zdroj: Brožura produktu (<http://www.trinstruments.cz/data/files/fsh4-fsh8-brochure-en.pdf>))

Parametr	Specifikace
Frekvenční rozsah	100 kHz až 8GHz
Rozlišení šířky pásma	1 Hz až 3 MHz
Detektory	vzorky, max. a min. špička, automatická špička, RMS
Provozní doba na baterii	až 3 hodiny
Konektivita	LAN, SD Card, USB, mini USB



Obrázek 10: Spektrální analyzátor FSH8 (Zdroj: Autor)

4.2 Postup měření

Měření probíhalo v panelovém domě Dolákova 554/14, Bohnice, 181 00 Praha 8. Nejdříve byla vybrána místa měření, tak aby simulovala místa, kde se v panelovém domě nacházejí měřiče spotřeby vody, elektrické energie a plynu.



Obrázek 11: Panelový dům, kde probíhalo měření (Zdroj: Autor)

Měření se odehrálo na několika vysílacích místech. Mimo dům pro porovnání, o kolik se signál uvnitř domu zhorší. Uvnitř domu pak ve sklepě a v každém lichém patře u měřičů spotřeby elektrické energie. Dále uvnitř bytu ve stoupačkách a u topných těles (viz Příloha 2). Z každého místa bylo odesláno postupně 20 zpráv. Jak daleko, se místa měření nacházejí od základnových stanic nebylo možné zjistit, protože operátoři tají rozmístění kvůli bezpečnosti.

Základnová stanice technologie LoRaWAN přijaté zprávy odešle prostřednictvím internetu na FTP server, kam je možné přistupovat a zprávy číst. Ke zprávám odeslaným z modulu Sigfox je možné přistupovat prostřednictvím Sigfox cloudu, založeného na Microsoft Azure.

```

2017-02-01T19:34:16.085681,None,2017-02-01T19:34:15.273+01:00,0004A30800199296,1,81,1,2,7,03ff7c0e290969a46e,fc641f2b,00000201,-112.000000,-
5.750000,12,G2,LC6,1,08040024,0,50.101646,14.343349,None,None,08040024,0,-112.000000,-5.750000,-118.774582,100000301,{"alr":
{"pro":"LORA/Generic","ver":"1"}},0,00199296
2017-02-01T19:49:29.046207,None,2017-02-01T19:49:27.524+01:00,0004A30800199296,1,84,1,2,7,03ff7c0e29096fa4ca,9b2f70e8,00000201,-120.000000,-
0.750000,12,G2,LC5,3,08040024,0,50.101654,14.343375,None,None,08040024,0,-120.000000,-0.750000,-123.401474,None,290000F5,0,-114.000000,-
17.750000,-131.822296,None,0804003C,0,-121.000000,-11.250000,-132.564041,100000301,{"alr":{"pro":"LORA/Generic","ver":"1"}},0,00199296
2017-02-01T19:59:36.938843,None,2017-02-01T19:59:35.449+01:00,0004A30800199296,1,86,1,2,7,03ff7c0e29096da602,66c2cdc9,00000201,-120.000000,-
8.000000,12,G2,LC4,2,08040024,0,50.101654,14.343361,None,None,08040024,0,-120.000000,-8.000000,-128.638916,None,0804003C,0,-121.000000,-
13.250000,-134.450775,100000301,{"alr":{"pro":"LORA/Generic","ver":"1"}},0,00199296
2017-02-01T20:04:39.255453,None,2017-02-01T20:04:38.872+01:00,0004A30800199296,1,87,1,2,7,03ff7c0e290966a752,3765278e,00000201,-116.000000,-
6.000000,12,G2,LC6,1,08040024,0,50.101643,14.343405,None,None,08040024,0,-116.000000,-6.000000,-122.973228,100000301,{"alr":
{"pro":"LORA/Generic","ver":"1"}},0,00199296

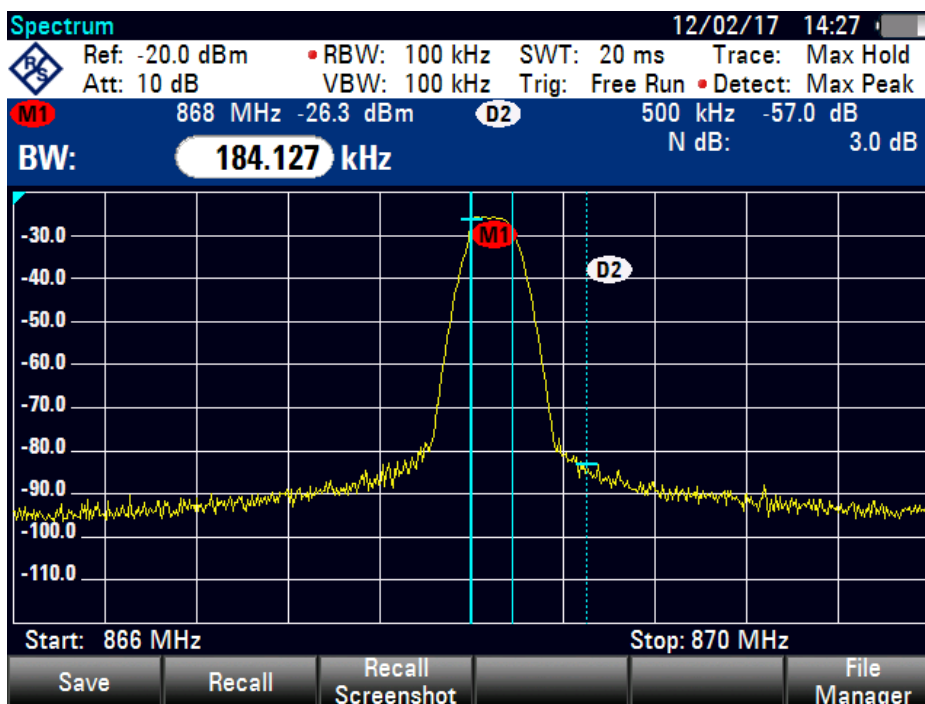
```

Obrázek 12: Zprávy odeslané na server z modulu LoRa (Zdroj: Autor)

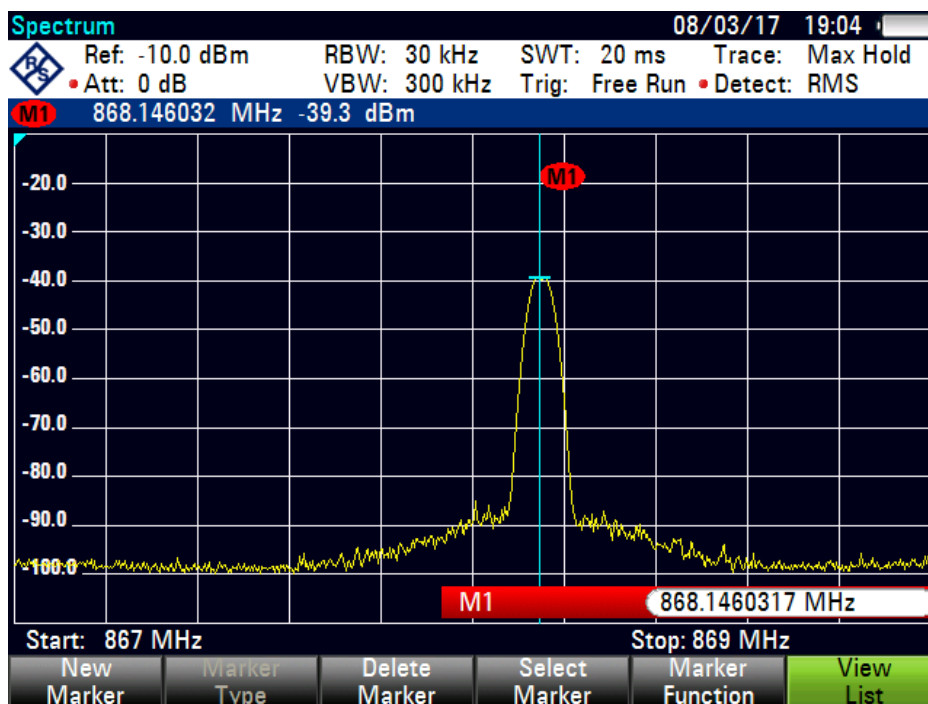
4.2.1 Měření pomocí spektrálního analyzátoru

Spektrální analyzátor byl vyzkoušen k analýze vysílaného signálu z IoT modulů. Analyzátor lze použít pro měření rušení signálů od ostatních zařízení. Analyzátor byl nastaven tak, aby mohl zachytit signály v bezlicenčním pásmu 868 MHz. V okolí míst měření se nenacházela žádná zařízení, která by příliš rušila signál z testovacích modulů tak, že by měla vliv na odeslané zprávy, ale jsou součástí celkového šumu na pozadí (na obrázku spodní hladina spektra v hodnotách kolem -95 dBm, což odpovídá po přepočtu přes šířku měřicího filtru RBW 100 kHz spektrální hustotě šumu cca -145 dBm/Hz).

Na následujících obrázcích jsou vyobrazeny zachycené signály zkušebních modulů LoRaWAN a Sigfox.



Obrázek 13: Signál LoRaWAN (Zdroj: Autor)



Obrázek 14: Signál Sigfox (Zdroj: Autor)

Z obrázků je patrné umístění komunikačního kanálu ve spektru a úroveň signálu naměřená ve vzdálenosti cca 1 m od vysílací antény, což odpovídá útlumu cca 32 dB. Pro zachycení velmi krátkých pulsů odpovídajících vysílaným datům malého objemu bylo nutné nastavit režim zachycení maxim (Max Hold).

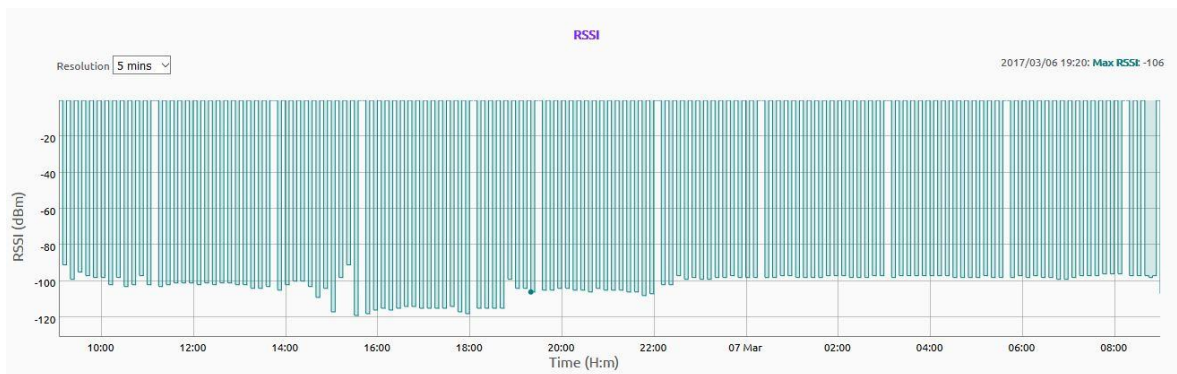
4.3 Zpracování výsledků měření

Každá zpráva přijatá základovou stanicí a přeposlaná na server v sobě nesla více informací. Hlavní z nich jsou identifikační číslo přijímacího zařízení, identifikační číslo vysílacího zařízení, identifikační číslo zprávy, čas odeslání a přijetí zprávy, datový obsah, využitý kanál a frekvence a hodnota RSSI. Přijaté zprávy byly následně zpracovány v programu Microsoft Excel pro větší přehlednost.

	A	F	M	N	O	P	Q	S	U	V
1	Timestamp	FcntUp	LrrRSSI	LrrSNR	SpFact	SubBand	Channel	Lrrid	LrrLAT	LrrLON
73	Stoupacka WC									
74	2017-02-05T19:07:47.112960	7	-114.000000	-0.500000	12	G2	LC7	8040024	50.101643	14.343347
75	2017-02-05T19:12:50.607073	8	-113.000000	-2.500000	12	G2	LC6	8040024	50.101643	14.343347
76	2017-02-05T19:33:08.370536	12	-114.000000	-14.000000	12	G2	LC6	8040024	50.101662	14.343393
77	2017-02-05T19:43:16.884796	14	-120.000000	-8.750000	12	G3	LC8	8040024	50.101662	14.343393
78	2017-02-05T19:53:25.275352	16	-118.000000	-4.250000	12	G2	LC5	8040024	50.101662	14.343410
79	2017-02-05T19:58:29.779280	17	-120.000000	-4.750000	12	G2	LC7	8040024	50.101662	14.343410
80	2017-02-05T20:23:50.447810	22	-114.000000	-5.000000	12	G2	LC7	8040024	50.101658	14.343376

Obrázek 15: LoRa zprávy přijaté na FTP server a zpracované (Zdroj: Autor)

Zprávy z modulu Sigfox byly zpracovány a vyobrazeny na Sigfox cloudu. Hodnoty RSSI jsou zde v grafu.



Obrázek 16: Hodnoty RSSI na Sigfox cloudu (Zdroj: Autor)

Dostupnost komunikace byla zhodnocena na základě množství stanic nepřijatých zpráv a indikátoru úrovně přijímaného signálu (RSSI). Nepřijaté zprávy se identifikovaly mezerou v posloupnosti v řadě identifikačních čísel zpráv. RSSI je udávána v dBm. Čím je hodnota RSSI méně záporná, tím je přijatý signál silnější. Pro správnost výsledků je potřeba zahrnout do výpočtů také zprávy, které byly vysílány, ale ztratily se při přenosu.

K realizaci výpočtu je tedy nejprve potřeba upravit hodnoty RSSI přijatých zpráv na kladné hodnoty s počátkem v 1 (pro zprávu s nejnižší hodnotou RSSI). Hodnota RSSI každé zprávy byla upravena podle následujícího vzorečku.

$$U_i = RSSI_i + |MIN(RSSI) - 1|$$

U_i vyjadřuje sílu přijatého signálu v přepočítaných hodnotách. Čím je hodnota U_i od nuly vyšší tím je přijatý signál silnější. Po úpravě je možné počítat s nepřijatými zprávami jako se zprávami, jejichž RSSI nabylo hodnoty 0. Pro každé vysílací místo je spočten aritmetický průměr hodnot U_i všech zpráv. Z každého testovaného vysílacího místa bylo posláno 20 zpráv (viz Příloha 3), je tedy spočítán průměr z 20 vzorků.

Pro porovnání, o kolik se signál při různých podmínkách zhoršil, je stanovena referenční hodnota přepočítaného RSSI. Ta byla změřena mimo panelový dům. S touto hodnotou pak byly porovnány ostatní naměřené a přepočítané hodnoty.

V následujících tabulkách jsou vyobrazeny vypočítané hodnoty pro jednotlivé technologie. Tabulka pro každé místo měření obsahuje průměr RSSI, počet nepřijatých zpráv, průměr hodnot U_i a procentuální porovnání vzhledem k referenčnímu signálu.

Tabulka 5: Přepočítané hodnoty naměřené modulem LoRa (Zdroj: Autor)

Místo měření LoRaWAN (simulované zařízení)	Průměr RSSI [dBm]	Počet nepřijatých zpráv	Průměr U_i	Porovnání vzhledem k referenčnímu signálu [%]
Mimo panelový dům	-89,4	0	34,6	100
Uvnitř skříně el. měřáku přízemí	0	20	0	0
Sklep (el. měřák)	-119,78	11	1,9	5,49
První patro (el. měřák)	-113,14	6	7,6	21,97
Třetí patro (el. měřák)	-114,94	2	8,15	23,55
Páté patro (el. měřák)	-115,92	7	5,25	15,17
Sedmé patro (el. měřák)	-119,23	7	3,1	8,96
Uvnitř bytu A (topné těleso)	-112,5	0	11,5	33,24
Uvnitř bytu B (topné těleso)	-108,72	2	13,75	39,74
Stoupačka A (vodoměr, plynoměr)	-117,73	9	3,45	9,97
Stoupačka B (vodoměr, plynoměr)	-114,57	6	6,6	19,08

Tabulka 6: Přepočítané hodnoty naměřené modulem Sigfox (Zdroj: Autor)

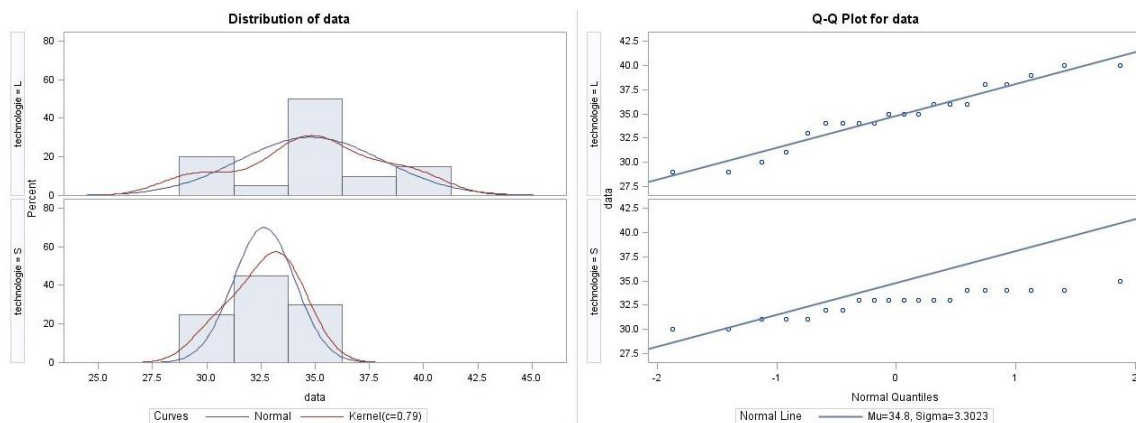
Místo měření Sigfox (simulované zařízení)	Průměr RSSI [dBm]	Počet nepřijatých zpráv	Průměr U_i	Porovnání vzhledem k referenčnímu signálu [%]
Mimo panelový dům	-87,35	0	32,65	100
Uvnitř skříně el. měřáku přízemí	-97,75	0	22,25	68,15
Sklep (el. měřák uvnitř)	-115,6	0	4,4	13,48
První patro (el. měřák uvnitř)	-104,75	0	15,25	46,71
Třetí patro (el. měřák uvnitř)	-97,9	0	22,1	67,69
Páté patro (el. měřák uvnitř)	-108,35	0	11,65	35,68
Sedmé patro (el. měřák uvnitř)	-109,45	0	10,55	32,31
Uvnitř bytu A (topné těleso)	-88,25	0	31,75	97,24
Uvnitř bytu B (topné těleso)	-99,55	0	20,45	62,63
Stoupačka A (vodoměr, plynoměr)	-99,25	0	20,75	63,55
Stoupačka B (vodoměr, plynoměr)	-98,8	0	21,2	64,93

4.3.1 Porovnání měření

Důležitou informací při analýze měření je, v jaké vzdálenosti se nacházejí místa měření od základnových stanic operátorů. Operátoři ale informace o lokaci základnových stanic chrání kvůli bezpečnosti. Díky informacím zasílaných vysílačem LoRaWAN bylo možné zjistit, že panelový dům, kde měření probíhalo se nacházel zhruba 5 km od základnové stanice. Ze zpráv získaných ze zařízení Sigfox tuto informaci nebylo možné zjistit. V tomto ohledu se tedy nedá porovnání dostupnosti signálu technologií generalizovat na větší územní celek.

Porovnáním ale bude možno vybrat lepší technologického řešení pro danou aplikaci na daném místě. Měření na jednotlivých místech je statisticky porovnáno pomocí testování statistických hypotéz. Pro vybrání správného testu musí být nejprve zjištěno, zda naměřené hodnoty pocházejí ze základního souboru s normálním rozdělením. Jelikož je pro každé místo naměřeno pouze 20 hodnot, je lepší posoudit normalitu podle kvantilového grafu a histogramu. Jinak by byl použit test Shapiro-Wilkův. Pro statistický výzkum byl použit software SAS 9.4. Užité příkazy jsou vyčteny v Příloze 4.

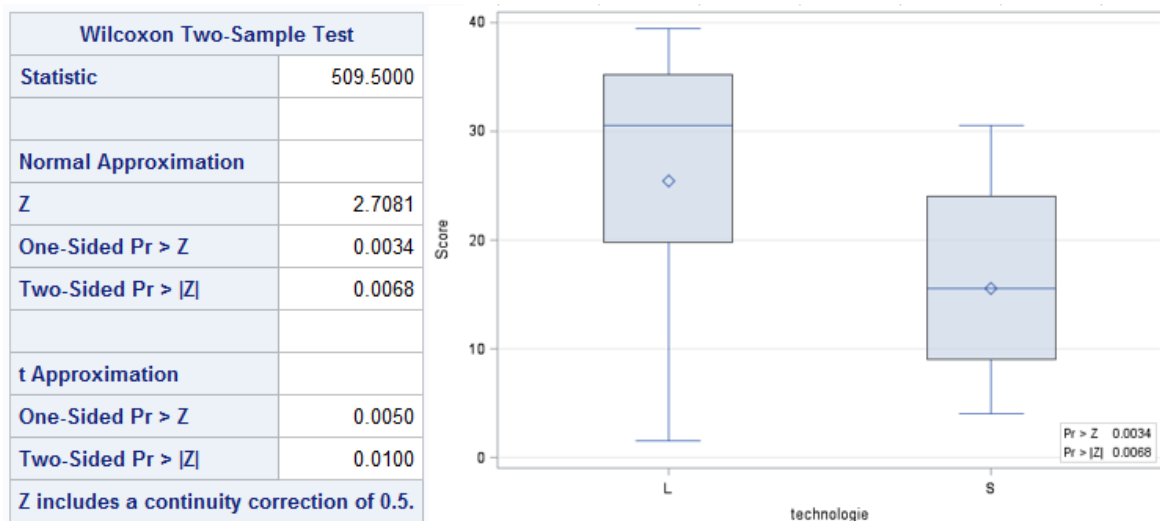
Prvním provedeným srovnáním je porovnání signálů mimo panelový dům. Pro statistickou analýzu jsou použity přepočítané hodnoty U_i . Soubor naměřených hodnot z modulu LoRaWAN obsahuje jedno odlehlé pozorování, které bylo vyobrazeno na grafu typu boxplot. Odlehlá hodnota je odstraněna metodou windsorizování. Tato metoda spočívá v nahrazení odlehlých hodnot, hodnotami sousedními.



Obrázek 17: Histogram a kvantilový graf (Zdroj: Autor)

Podle grafů, soubory nevykazují normální rozdělení, je tedy nutné použít neparametrický test, který nevyžaduje splnění žádných specifických předpokladů o rozdělení základního souboru. Pro testování nulové hypotézy, která zní, že kvalita signálu

technologií Sigfox a LoRaWAN se statisticky významně neliší, je použit dvouvýběrový Wilcoxonův test. Parametrickou obdobou tohoto testu je dvouvýběrový t-test.



Obrázek 18: Dvouvýběrový Wilcoxonův test a boxplot (Zdroj: Autor)

Pro interpretaci je klíčová p-hodnota, která je uvedena v bloku Normal Approximation a označena Two-Sided Pr > |Z|. Vzhledem k tomu, že vypočítaná hodnota $p = 0,0068$ a je tedy menší než obvyklá referenční hodnota hladiny významnosti $\alpha = 0,05$, znamená to, že nulovou hypotézu zamítáme a můžeme konstatovat, že kvalita signálu se mimo panelový dům mezi dvěma technologiemi statisticky významně liší. Podle grafu typu boxplotu lze prohlásit, že signál vysílaný mimo panelový dům z modulu LoRaWAN má lepší kvalitu.

Ostatní místa měření lze porovnat pouze pomocí tabulky měření jednotlivých technologií, protože měření byla velmi rozdílná. I když byl signál ze zařízení LoRaWAN mimo dům kvalitnější, uvnitř domu tomu bylo naopak, a to na všech měřicích místech, kde silně dominovala technologie Sigfox. Mnoho zpráv z testovacího modulu LoRa vůbec nebylo přijato základnovou stanicí. Dále by moduly nemohly být uloženy v kovových schránkách, kde se nacházejí elektroměry, protože signál zde byl odstíněn. Oproti tomu, všechny zprávy z modulu Sigfox byly doručeny a indikátor kvality signálu na cloudu Sigfox interpretoval signál jako vynikající nebo dobrý.

Lze tedy konstatovat, že pro implementaci Internetu věcí pro účely odečtu spotřeby vody, plynu a elektřiny v tomto panelovém domě je vhodnější využít technologie Sigfox, pokud bereme v potaz dostupnost signálu. Hlavním důvodem rozdílu kvality signálu je rozmístění základnových stanic operátorů, respektive vzdálenost mezi místem měření

a základnové stanice. Výsledky odpovídají teoretickým předpokladům, protože Sigfox má v rámci ČR již dnes v podstatě celoplošné pokrytí, LoRa bude mít celoplošnou síť dobudovanou v průběhu roku 2017.

5 Výsledky a diskuse

Výsledkem měření je zjištění, že implementace IoT modulů pro odečet vody, elektřiny a plynu pro panelový dům 554 v Bohnicích, je možná pomocí LPWAN sítě využívající model základnových stanic. Vhodnější je použít moduly s technologií Sigfox oproti LoRaWAN, pokud je brána v potaz kvalita signálu. Dalšími parametry pro porovnání vhodnější technologie může být energetická spotřeba modulů, možná velikost zprávy nebo četnost vysílaných zpráv za den. Signály technologie Sigfox lépe pronikaly dovnitř domu, protože překážky v cestě k základnové stanici signál tlumily méně. Je však nutné poukázat na fakt, že stanice se mohla nacházet blíže než stanice přijímající zprávy z modulu LoRaWAN. Interference od ostatních zařízení využívající stejné pásmo je zanedbatelná. V této situaci postačují pro diagnostiku komunikace nástroje na centrálním serveru, kde lze zjistit úroveň přijímaného signálu, poměr signálu k šumu a úspěšnost doručování zpráv.

Postupem času bude k sítím Sigfox a LoRaWAN připojováno stále více zařízení a bude mnohem důležitější se zabývat interferencí v bezlicenčním pásmu mezi zařízeními. V zarušeném prostředí pak bude aktuální využít další měřicí techniku, zejména spektrální analyzátor, jehož využití bylo rovněž demonstrováno v rámci této práce.

Popis průběhu měření a zpracování výsledků ve vlastní práci mohou společnosti využít jako návod pro zjištění dostupnosti signálu LPWAN sítí Sigfox a LoRaWAN pro jejich implementaci konkrétní aplikace využívající Internet věcí v konkrétní lokalitě. Metodiku lze obecně shrnout do těchto bodů:

1. Rozhodnutí o vhodném způsobu přenosu dat
 - a. Velikost přenášených dat – pro malé objemy dat jsou vhodné LPWAN technologie, pro větší objemy mobilní sítě nebo WLAN
 - b. Četnost přenášených dat – pro nízké četnosti dat jsou vhodné LPWAN technologie, pro větší objemy mobilní sítě nebo WLAN
 - c. Potřeba zpětného směru – z LPWAN technologií je vhodnější LoRa, než Sigfox
 - d. Lokální využití nebo globální využití – z LPWAN technologií je vhodnější LoRa pro lokální pokrytí s možností instalace vlastní základnové stanice, pro globální, zejména nadnárodní pokrytí je výhodnější Sigfox

2. Ověření pokrytí daných lokalit signálem
 - a. Dotaz na provozovatele technologií
 - b. Ověření dostupnosti pomocí testovacích modulů způsobem popsaným v této práci
 - c. Porovnání a výběr vhodnějšího řešení
3. Porovnání nákladů na provoz dostupných technologií
 - a. Kalkulace pořizovacích nákladů
 - b. Kalkulace provozních nákladů
 - c. Technicko-ekonomické zhodnocení
4. Rozhodnutí o využití aplikačního SW
 - a. Využití existujících cloudových a serverových aplikací
 - b. Využití nabízeného SW třetích stran
 - c. Vývoj SW na míru s využitím API
5. Ověření aplikace v daných lokalitách
 - a. Pilotní testování
 - b. Odstraňování případných problémů – identifikace interferencí a rušení
 - c. Ladění aplikačního SW
 - d. Spuštění ostrého provozu

Vybraná aplikace modulů pro odečet spotřeby elektřiny či vody v panelovém domě je jedním z možných příkladů užití LPWAN sítí, ne však příkladem zcela typickým. Zaprvé již existují bezdrátové systémy pro dálkové odečty, a to hlavně v panelových domech. Za druhé pro takovouto koncentrovanou síť senzorických modulů by bylo vhodnější a výhodnější použít topologii, kde by senzory byly napojené na výchozí bránu, a ne rovnou na základnovou stanici. Tento model zapojení lze implementovat za pomoci technologie LoRaWAN a IQRF.

Typickou aplikací, která by těžila z výhod používání LPWAN sítí využívající modelu základnových stanic je například monitorování naplnění kontejnerů. Kontejnery jsou rozmístěny v širokém okolí a nebylo by výhodné je napojovat na mnoho výchozích bran. Dále zařízení, která se pohybují, musejí využít základnových stanic operátorů. Mezi tato zařízení patří například GPS lokátory.

6 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo prozkoumat a posoudit stav komunikačních technologií pro Internet věcí. Práce se zabývá především bezdrátovými technologiemi, proto bylo nejdříve popsáno šíření radiových vln a jejich rozdělení.

Teoretická část byla zaměřena na analýzu jednotlivých komunikačních technologií jako jsou mobilní sítě LTE-M a NB-IoT, bezdrátové sítě LAN a LPWAN sítě. Dále byly představeny tři specifikace technologie LPWAN, protože nejlépe vystihují požadavky senzorických IoT sítí. Mezi ty nejrozšířenější patří technologie LoRaWAN a Sigfox. Další popsanou technologií je technologie IQRf, vyvinutá v České republice. Všechny uvedené technologie fungují v bezlicenčním pásmu, avšak s rozdílnou architekturou a parametry. Tyto specifikace jsou analyzovány a porovnány. Která z technologií je nejlepší je složité posoudit. Pro každou aplikaci se některá bude hodit více a některá méně. Hlavním rozdílem mezi technologiemi je model instalace, buď si uživatel sestaví svojí vlastní senzorickou síť, nebo nechá komunikační provoz na operátorech.

Dalším dílčím cílem bylo posoudit přizpůsobitelnost na požadavky uživatele a náklady na instalaci a provoz. Jelikož jsou sítě teprve v testovacím provozu a technologie jsou nové, jeví se ceny zařízení jako poněkud vysoké a množství dostupných typů zařízení malé. Až se však spustí ostrý provoz sítí, nové společnosti velmi rychle vstoupí na trh s jejich řešeními. Ceny se sníží při hromadné výrobě a prodeji, jakmile lidé budou mít o IoT větší povědomí a zájem o široké využití.

Dalším z dílčích cílů bylo zhodnotit možné oblasti využití Internetu věcí. Internet věcí má uplatnění ve všech oblastech každodenního života od chytrých domácností a měst až po zdravotnictví a průmysl. Každá aplikace má své specifické požadavky a je nutné vybrat správnou komunikační technologii, aby byly tyto požadavky splněny. Nakonec je v teoretické části probrána bezpečnost a otázky soukromí, protože princip IoT vychází ze sběru velkého množství informací, které dávají komplexní přehled o uživatelích.

Vlastní práce se zabývala ověřením a porovnáním dostupnosti signálu technologií Sigfox a LoRaWAN. Měření probíhalo v panelovém domě v Praze za pomoci zapůjčených senzorických modulů, aby mohla být zhodnocena využitelnost testovaných komunikačních systémů pro odečty dat z elektroměrů, plynoměrů a vodoměrů v domácnostech. Bylo vybráno 10 míst, kde se nacházejí odečítací moduly a z každého bylo posláno 20 zpráv z testovacích zařízení Sigfox a LoRaWAN. Výsledky měření byly pak analyzovány

a statisticky zpracovány. Pro tuto aplikaci odečítacích modulů na daném místě lze použít LPWAN technologii Internetu věcí. Specifikace Sigfox je v této situaci vhodnější kvůli lepší kvalitě signálu. Výsledky odpovídají teoretickým předpokladům, protože Sigfox má v rámci ČR již dnes v podstatě celoplošné pokrytí, LoRa bude mít celoplošnou síť dobudovanou v průběhu roku 2017. Vlastní práce může posloužit jako návod pro společnosti, které chtějí zjistit možnost aplikace Internetu věcí pomocí technologie Sigfox nebo LoRaWAN. K tomu je v kapitole diskuse řešení uveden zobecněný metodický postup.

7 Seznam použitých zdrojů

- Asin, A. a Gascón, D. 2015.** Libelium. *50 Sensor Applications for Smarter World*. [Online] 2. května 2015. [Citace: 13. září 2016.] http://www.libelium.com/top_50_iot_sensor_applications_ranking/download.
- Bárta, D. 2015.** Smart Cities. *Transformace městských služeb pomocí internetu věcí*. [Online] 1. září 2015. [Citace: 9. září 2016.] <http://www.scmagazine.cz/casopis/03-15/transformace-mestskych-sluzeb-pomoci-internetu-veci>.
- Burian, P. 2014.** *Internet Inteligentních aktivit*. Praha : Grada, 2014. ISBN 978-80-247-5137-5.
- Carroll, B. 2011.** *Bezdrátové sítě Cisco*. Brno : Computer Press, 2011. ISBN: 978-80-251-2884-8.
- České radiokomunikace a. s. 2016.** CRA. *Internet věcí*. [Online] 3. července 2016. [Citace: 28. září 2016.] <https://www.radiokomunikace.cz/iot>.
- Design Spark. 2015.** Design Spark. *11 Internet of Things (IoT) Protocols You Need to Know About*. [Online] 20. května 2015. [Citace: 20. září 2016.] <http://www.rs-online.com/designspark/electronics/knowledge-item/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about>.
- Egli, P. 2015.** SlideShare. *LPWAN Technologies for Internet of Things (IoT) and M2M Scenarios*. [Online] 13. březen 2015. [Citace: 20. září 2016.] <http://www.slideshare.net/PeterREgli/lpwan>.
- Evans, D. 2011.** The Internet of Things. *How the next evolution of Internet is Changing Everything*. [Online] 1. dubna 2011. [Citace: 16. září 2016.] http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf.
- Frečer, P. 2012.** *Radiokomunikační monitor pro ISM pásmo 868 MHz*. Brno : Vysoké Učení Technické v Brně , Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Povalač.
- Frenzel, L. 2014.** Eletronic Design. *The Connected World Awaits*. [Online] 10. března 2014. [Citace: 18. září 2016.] <http://electronicdesign.com/iot/connected-world-awaits>.
- Haller, S., Karnouskos, S. a Schroth, C. 2008.** *The Internet of Things in an Enterprise Context*. Berlín : Springer, 2008. ISBN 978-3-642-00984-6.
- Hun, N. 2015.** Creative Connectivity. *Lora vs LTE-M vs Sigfox*. [Online] 22. prosince 2015. [Citace: 18. září 2016.] <http://www.nickhunn.com/lora-vs-lte-m-vs-sigfox/>.

- Ibbetson, L. 2016.** Vodafone. *Enabling the Internet of Things with NB-IoT*. [Online] 7. června 2016. [Citace: 26. září 2016.]
<http://www.vodafone.com/content/index/what/technology-blog/enabling-iot.html>.
- IQRF Alliance. 2015.** IQRF. *About IQRF*. [Online] 11. listopadu 2015. [Citace: 25. září 2016.] <http://www.iqrf.org/iqrfabout>.
- LoRa Alliance. 2015.** LoRaWAN. *A technical overview of LoRa and LoRaWAN*. [Online] 9. listopadu 2015. [Citace: 28. září 2016.] <https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>.
- Maddox, T. 2015.** TechRepublic. *The world's smartest cities: What IoT and smart governments will mean for you*. [Online] 11. listopadu 2015. [Citace: 8. září 2016.] <http://www.techrepublic.com/article/smart-cities/>.
- Matuszak, G. 2015.** KPMG. *Security and the IoT ecosystem*. [Online] 12. prosince 2015. [Citace: 1. října 2016.] <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2015/12/security-and-the-iot-ecosystem.pdf>.
- Pavlis, J. 2011.** Notebook. *ZigBee - když je pomalejší síť výhodnější*. [Online] 24. listopad 2011. [Citace: 20. září 2016.] <http://notebook.cz/clanky/technologie/2011/ZigBee>.
- Pechač, P. 2007.** *Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů*. Praha : BEN, 2007. ISBN 978-80-7300-223-7.
- Peterka, J. 2015.** Lupa. *SIGFOX: Internet věcí bez internetu a jen pro některé věci*. [Online] 22. května 2015. [Citace: 26. září 2016.] <http://www.lupa.cz/clanky/sigfox-internet-veci-bez-internetu-a-jen-pro-nektere-veci/>.
- Pohanka, P. 2015.** I2ot. *Internet věcí*. [Online] 29. června 2015. [Citace: 16. září 2016.] <http://i2ot.eu/internet-of-things/>.
- Raza, U., Kulkarni, P. a Sooriyabandara, M. 2016.** Cornell University Library. *Low Power Wide Area Networks: A Survey*. [Online] 23. června 2016. [Citace: 20. září 2016.] <https://arxiv.org/pdf/1606.07360.pdf>.
- Rouse, M. 2015.** IoT Agenda. *LPWAN (low-power wide area network)*. [Online] 28. listopadu 2015. [Citace: 26. září 2016.] <http://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>.

Sigfox. 2013. Sigfox Whitepaper. *M2M and IoT redefined through cost effective and energy optimized connectivity*. [Online] 1. února 2013. [Citace: 26. září 2016.]

https://lafibre.info/images/3g/201302_sigfox_whitepaper.pdf.

SimpleCell Networks a. s. 2016. SimpleCell. *Technologie SIGFOX*. [Online] 16. února 2016. [Citace: 26. září 2016.] https://www.simplecell.eu/technologie_Sigfox/.

Sundmaeker, H. 2010. *Vision and Challenges for Realising the Internet*. Lucemburk : Publications Office of the European Union, 2010. ISBN 978-92-79-15088-3.

Sung, D. 2015. Wearables. *What is wearable tech*. [Online] 3. srpna 2015. [Citace: 8. září 2016.] <http://www.wearable.com/wearable-tech/what-is-wearable-tech-753>.

Volmut, J. 2001. Studijní Materiály. *Rozdělení radiových vln a jejich šíření*. [Online] 15. května 2001. [Citace: 30. října 2016.]

http://dlabos.wz.cz/en/Rozdeleni_radiovych_vln_a_jejich_sireni.html.

Xiong, X., a další. 2015. IEEE Xplore. *Low power wide area machine-to-machine networks: key techniques and prototype*. [Online] 16. září 2015. [Citace: 20. září 2016.]

<http://ieeexplore.ieee.org/document/7263374/>.

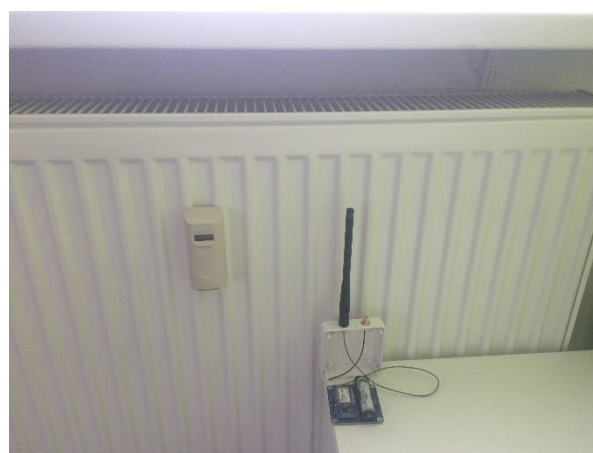
8 Přílohy

Příloha 1 – Seznam použitých zkratk

AP	Access Point
API	Application Programming Interface
DPA	Direct Peripheral Access
DSSS	Direct-sequence Spread Spectrum
ED	End Device
ERP	Effective Radiate Power
FSK	Frequency-shift Keying
FTP	File Transfer Protocol
GSM	Global System for Mobile Communications
HWP	Hardware Profile
IoT	Internet of Things
ISM	Industrial, Scientific and Medical Bands
LAN	Local Area Network
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network
LTE	Long-Term Evolution
LTE-M	Long-Term Evolution Category M1
M2M	Machine to Machine
MAC	Medium Access Control
NB-IoT	Narrowband Internet of Things
NFC	Near Field Communication
OEM	Original Equipment Manufacturer
QoS	Quality of Service
RFID	Radio-frequency Identification
RPMA	Random Phase Multiple Access
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SDR	Software-defined Radio
SNR	Signal to noise Ratio
SRD	Short Range Device
UMTS	The Universal Mobile Telecommunications System

UNB	Ultra Narrow-band
V2I	Vehicle to Infrastructure
WLAN	Wireless Local Area Network

Příloha 2 – Fotky některých míst, kde probíhalo měření



Příloha 3 – Naměřené hodnoty RSSI a vypočtená hodnota U_i z jednotlivých zpráv

	LoRaWAN			Sigfox	
Timestamp	RSSI	U_i	Timestamp	RSSI	U_i
Mimo panelový dům					
2017-02-06T12:45:11	-89	35	8.3.2017 21:10	-89	31
2017-02-06T12:50:20	-88	36	8.3.2017 20:59	-86	34
2017-02-06T12:55:29	-89	35	8.3.2017 20:49	-87	33
2017-02-06T13:00:37	-88	36	8.3.2017 20:39	-87	33
2017-02-06T13:05:45	-99	25	8.3.2017 20:28	-88	32
2017-02-06T13:10:54	-90	34	8.3.2017 20:18	-87	33
2017-02-06T13:16:03	-93	31	8.3.2017 20:08	-90	30
2017-02-06T13:21:12	-89	35	8.3.2017 19:57	-88	32
2017-02-06T13:26:22	-91	33	8.3.2017 19:47	-85	35
2017-02-06T13:31:31	-90	34	8.3.2017 19:37	-87	33
2017-02-06T13:36:39	-95	29	8.3.2017 19:27	-90	30
2017-02-06T13:41:47	-90	34	8.3.2017 19:16	-89	31
2017-02-17T15:14:24	-88	36	8.3.2017 19:06	-87	33
2017-02-17T15:19:33	-90	34	8.3.2017 18:56	-86	34
2017-02-17T15:24:39	-84	40	8.3.2017 18:45	-89	31
2017-02-17T15:29:46	-84	40	8.3.2017 18:35	-87	33
2017-02-17T15:34:52	-85	39	8.3.2017 18:25	-86	34
2017-02-17T15:39:58	-94	30	8.3.2017 18:14	-86	34
2017-02-17T15:45:05	-86	38	8.3.2017 18:14	-87	33
2017-02-17T15:50:12	-86	38	8.3.2017 18:10	-86	34
Uvnitř bytu A					
2017-02-02T16:06:47	-106	18	3.3.2017 16:42	-88	32
2017-02-02T16:11:52	-119	5	3.3.2017 16:32	-90	30
2017-02-02T16:16:55	-109	15	3.3.2017 16:22	-89	31
2017-02-02T16:21:59	-119	5	3.3.2017 16:11	-87	33
2017-02-02T16:27:04	-115	9	3.3.2017 16:01	-87	33
2017-02-02T16:32:09	-117	7	3.3.2017 15:51	-87	33
2017-02-02T16:37:14	-111	13	3.3.2017 15:40	-91	29
2017-02-02T16:42:17	-119	5	3.3.2017 15:30	-88	32
2017-02-02T16:47:21	-108	16	3.3.2017 15:20	-90	30
2017-02-02T16:52:25	-107	17	3.3.2017 15:09	-87	33
2017-02-02T16:57:29	-101	23	3.3.2017 14:59	-90	30
2017-02-02T17:02:34	-107	17	3.3.2017 14:49	-89	31
2017-02-02T17:07:39	-114	10	3.3.2017 14:38	-88	32
2017-02-02T17:12:44	-123	1	3.3.2017 14:28	-89	31
2017-02-02T17:17:47	-115	9	3.3.2017 14:18	-89	31
2017-02-02T17:22:52	-114	10	3.3.2017 14:07	-87	33
2017-02-02T17:27:56	-114	10	3.3.2017 13:57	-87	33
2017-02-02T17:33:00	-121	3	3.3.2017 13:47	-86	34
2017-02-02T17:38:04	-109	15	3.3.2017 13:36	-88	32
2017-02-02T17:43:08	-102	22	3.3.2017 13:26	-88	32
Uvnitř bytu B					
2017-02-15T17:02:54	-109	15	5.3.2017 18:18	-103	17
2017-02-15T17:08:01	-115	9	5.3.2017 18:07	-100	20
2017-02-15T17:13:04	-100	24	5.3.2017 17:57	-99	21
2017-02-15T17:18:08	-113	11	5.3.2017 17:47	-95	25
2017-02-15T17:23:14	-115	9	5.3.2017 17:36	-95	25
2017-02-15T17:28:18	-107	17	5.3.2017 17:26	-103	17
2017-02-15T17:33:23	-106	18	5.3.2017 17:16	-99	21
2017-02-15T17:38:27	-97	27	5.3.2017 17:05	-99	21
2017-02-15T17:43:34	-111	13	5.3.2017 16:55	-98	22
2017-02-15T17:48:37	-105	19	5.3.2017 16:45	-98	22
2017-02-15T17:53:42	-109	15	5.3.2017 16:34	-97	23
		0	5.3.2017 16:24	-98	22

2017-02-15T18:03:53	-107	17	5.3.2017 16:13	-98	22
2017-02-15T18:08:56	-111	13	5.3.2017 16:03	-96	24
2017-02-15T18:14:01	-109	15	5.3.2017 15:53	-98	22
2017-02-15T18:19:08	-111	13	5.3.2017 15:42	-106	14
2017-02-15T18:24:12	-115	9	5.3.2017 15:32	-105	15
		0	5.3.2017 15:22	-111	9
2017-02-15T18:34:20	-105	19	5.3.2017 15:11	-101	19
2017-02-15T18:39:30	-112	12	5.3.2017 15:01	-99	21
Stoupačka A					
2017-02-05T19:07:47	-114	10	5.3.2017 21:44	-99	21
2017-02-05T19:12:50	-113	11	5.3.2017 21:34	-100	20
		0	5.3.2017 21:23	-100	20
		0	5.3.2017 21:13	-100	20
		0	5.3.2017 21:03	-101	19
2017-02-05T19:33:08	-114	10	5.3.2017 20:53	-99	21
		0	5.3.2017 20:42	-100	20
2017-02-05T19:43:16	-120	4	5.3.2017 20:32	-101	19
		0	5.3.2017 20:22	-100	20
2017-02-05T19:53:25	-118	6	5.3.2017 20:11	-100	20
2017-02-05T19:58:29	-120	4	5.3.2017 20:01	-100	20
		0	5.3.2017 19:51	-104	16
		0	5.3.2017 19:40	-99	21
		0	5.3.2017 19:30	-99	21
		0	5.3.2017 19:20	-97	23
2017-02-05T20:23:50	-114	10	5.3.2017 19:09	-97	23
2017-02-05T20:28:54	-121	3	5.3.2017 18:59	-96	24
2017-02-05T20:33:59	-120	4	5.3.2017 18:49	-95	25
2017-02-05T20:39:03	-120	4	5.3.2017 18:38	-95	25
2017-02-05T20:44:07	-121	3	5.3.2017 18:28	-103	17
Stoupačka B					
2017-02-05T12:34:22	-115	9	6.3.2017 10:46	-101	19
		0	6.3.2017 10:35	-100	20
2017-02-05T12:44:35	-114	10	6.3.2017 10:25	-102	18
2017-02-05T12:49:41	-115	9	6.3.2017 10:15	-103	17
2017-02-05T12:54:46	-117	7	6.3.2017 10:04	-102	18
2017-02-05T12:59:51	-114	10	6.3.2017 9:54	-97	23
2017-02-05T13:04:55	-117	7	6.3.2017 9:44	-102	18
2017-02-05T13:09:58	-117	7	6.3.2017 9:33	-103	17
2017-02-05T13:15:03	-114	10	6.3.2017 9:23	-98	22
2017-02-05T13:20:07	-113	11	6.3.2017 9:13	-102	18
		0	6.3.2017 9:02	-98	22
		0	6.3.2017 8:52	-98	22
2017-02-05T13:35:19	-117	7	6.3.2017 8:42	-97	23
2017-02-05T13:40:23	-117	7	6.3.2017 8:32	-95	25
2017-02-05T13:45:26	-105	19	6.3.2017 8:21	-99	21
		0	6.3.2017 8:11	-91	29
2017-02-05T13:55:34	-112	12	6.3.2017 8:01	-96	24
		0	6.3.2017 7:50	-93	27
		0	6.3.2017 7:40	-95	25
2017-02-05T14:10:46	-117	7	6.3.2017 7:30	-104	16
Sklep					
2017-02-06T19:03:04	-120	4	6.3.2017 17:41	-116	4
		0	6.3.2017 17:31	-115	5
2017-02-06T19:13:12	-120	4	6.3.2017 17:20	-115	5
		0	6.3.2017 17:10	-115	5
2017-02-06T19:23:22	-121	3	6.3.2017 16:59	-115	5
		0	6.3.2017 16:49	-118	2
2017-02-06T19:33:31	-120	4	6.3.2017 16:39	-117	3
		0	6.3.2017 16:28	-114	6

2017-02-06T19:43:42	-119	5	6.3.2017 16:18	-115	5
2017-02-06T19:48:49	-120	4	6.3.2017 16:08	-115	5
		0	6.3.2017 15:57	-115	5
		0	6.3.2017 15:47	-115	5
		0	6.3.2017 15:37	-114	6
2017-02-06T20:09:06	-119	5	6.3.2017 15:26	-114	6
		0	6.3.2017 15:16	-115	5
		0	6.3.2017 15:05	-116	4
2017-02-06T20:24:20	-119	5	6.3.2017 14:55	-115	5
		0	6.3.2017 14:45	-116	4
		0	6.3.2017 14:34	-118	2
2017-02-06T20:39:34	-120	4	6.3.2017 14:24	-119	1
První patro					
2017-02-20T14:04:22	-117	7	6.3.2017 21:10	-102	18
2017-02-20T14:09:28	-114	10	6.3.2017 20:59	-107	13
2017-02-20T14:14:35	-112	12	6.3.2017 20:49	-108	12
2017-02-20T14:19:41	-114	10	6.3.2017 20:39	-106	14
2017-02-20T14:24:47	-115	9	6.3.2017 20:28	-106	14
2017-02-20T14:29:54	-114	10	6.3.2017 20:18	-105	15
2017-02-20T14:34:59	-111	13	6.3.2017 20:08	-105	15
		0	6.3.2017 19:57	-105	15
		0	6.3.2017 19:47	-104	16
2017-02-20T14:50:18	-111	13	6.3.2017 19:37	-106	14
2017-02-20T14:55:23	-118	6	6.3.2017 19:26	-105	15
		0	6.3.2017 19:16	-105	15
		0	6.3.2017 19:06	-104	16
2017-02-20T15:10:41	-108	16	6.3.2017 18:55	-104	16
		0	6.3.2017 18:45	-105	15
		0	6.3.2017 18:35	-105	15
2017-02-20T15:26:00	-114	10	6.3.2017 18:24	-106	14
2017-02-20T15:31:06	-112	12	6.3.2017 18:14	-104	16
2017-02-20T15:36:12	-116	8	6.3.2017 18:04	-104	16
2017-02-20T15:41:18	-108	16	6.3.2017 17:53	-99	21
Třetí patro					
2017-02-07T10:31:59	-117	7	7.3.2017 0:47	-97	23
2017-02-07T10:37:02	-111	13	7.3.2017 0:37	-97	23
2017-02-07T10:42:08	-118	6	7.3.2017 0:27	-98	22
2017-02-07T10:47:13	-116	8	7.3.2017 0:16	-98	22
2017-02-07T10:52:18	-120	4	7.3.2017 0:06	-98	22
2017-02-07T10:57:22	-101	23	6.3.2017 23:56	-98	22
2017-02-07T11:02:27	-117	7	6.3.2017 23:45	-97	23
2017-02-07T11:07:33	-112	12	6.3.2017 23:35	-97	23
		0	6.3.2017 23:25	-98	22
2017-02-07T11:17:41	-110	14	6.3.2017 23:14	-98	22
2017-02-07T11:22:47	-117	7	6.3.2017 23:04	-98	22
2017-02-07T11:27:51	-119	5	6.3.2017 22:54	-98	22
2017-02-07T11:32:57	-118	6	6.3.2017 22:43	-98	22
2017-02-07T11:38:01	-117	7	6.3.2017 22:33	-97	23
		0	6.3.2017 22:23	-98	22
2017-02-07T11:48:11	-119	5	6.3.2017 22:12	-98	22
2017-02-07T11:53:16	-114	10	6.3.2017 22:02	-99	21
2017-02-07T11:58:20	-117	7	6.3.2017 21:52	-99	21
2017-02-07T12:03:24	-108	16	6.3.2017 21:41	-98	22
2017-02-07T12:08:30	-118	6	6.3.2017 21:31	-99	21
Páté patro					
2017-02-06T23:01:38	-117	7	7.3.2017 11:07	-108	12
2017-02-06T23:06:41	-105	19	7.3.2017 10:56	-109	11
		0	7.3.2017 10:46	-109	11
2017-02-06T23:16:48	-111	13	7.3.2017 10:36	-112	8

		0	7.3.2017 10:25	-109	11
2017-02-06T23:26:58	-118	6	7.3.2017 10:15	-109	11
2017-02-06T23:32:02	-119	5	7.3.2017 10:05	-110	10
		0	7.3.2017 9:54	-110	10
2017-02-06T23:42:11	-117	7	7.3.2017 9:44	-109	11
2017-02-06T23:47:16	-119	5	7.3.2017 9:34	-108	12
		0	7.3.2017 9:23	-106	14
2017-02-06T23:57:25	-118	6	7.3.2017 9:13	-107	13
2017-02-07T00:02:30	-118	6	7.3.2017 9:02	-107	13
2017-02-07T00:07:35	-115	9	7.3.2017 8:52	-108	12
2017-02-07T00:12:39	-118	6	7.3.2017 8:42	-108	12
2017-02-07T00:17:44	-117	7	7.3.2017 8:32	-107	13
		0	7.3.2017 8:21	-108	12
		0	7.3.2017 8:11	-109	11
2017-02-07T00:32:57	-115	9	7.3.2017 8:01	-107	13
		0	7.3.2017 7:50	-107	13
Sedmé patro					
2017-02-15T09:10:30	-118	6	7.3.2017 18:45	-116	4
2017-02-15T09:15:35	-117	7	7.3.2017 18:35	-113	7
		0	7.3.2017 18:24	-111	9
2017-02-15T09:25:44	-121	3	7.3.2017 18:14	-110	10
		0	7.3.2017 18:04	-110	10
		0	7.3.2017 17:53	-110	10
2017-02-15T09:41:01	-118	6	7.3.2017 17:43	-108	12
2017-02-15T09:46:05	-119	5	7.3.2017 17:33	-108	12
		0	7.3.2017 17:22	-111	9
2017-02-15T09:56:14	-120	4	7.3.2017 17:12	-110	10
		0	7.3.2017 17:02	-109	11
2017-02-15T10:06:25	-118	6	7.3.2017 16:51	-108	12
2017-02-15T10:11:30	-118	6	7.3.2017 16:41	-108	12
2017-02-15T10:16:34	-120	4	7.3.2017 16:31	-109	11
		0	7.3.2017 16:20	-109	11
2017-02-15T10:26:44	-120	4	7.3.2017 16:10	-109	11
		0	7.3.2017 16:00	-108	12
2017-02-15T10:36:53	-120	4	7.3.2017 15:49	-108	12
2017-02-15T10:41:58	-121	3	7.3.2017 15:39	-107	13
2017-02-15T10:47:03	-120	4	7.3.2017 15:29	-107	13
Přízemí					
		0	9.3.2017 18:46	-107	13
		0	9.3.2017 18:35	-106	14
		0	9.3.2017 18:25	-112	8
		0	9.3.2017 18:15	-111	9
		0	9.3.2017 18:04	-108	12
		0	9.3.2017 17:54	-109	11
		0	9.3.2017 17:44	-110	10
		0	9.3.2017 17:33	-111	9
		0	9.3.2017 17:23	-109	11
		0	9.3.2017 17:13	-108	12
		0	9.3.2017 17:02	106	226
		0	9.3.2017 16:52	-105	15
		0	9.3.2017 16:42	-107	13
		0	9.3.2017 16:31	-106	14
		0	9.3.2017 16:21	-108	12
		0	9.3.2017 16:10	-111	9
		0	9.3.2017 16:00	-110	10
		0	9.3.2017 15:50	-110	10
		0	9.3.2017 15:39	-107	13
		0	9.3.2017 15:29	-106	14

Příloha 4 – Použité příkazy ve statistickém softwaru SAS 9.4

Vložení dat:

```
data venku;  
input technologie$ data@@;  
datalines;  
L 35 L 36 L 35 L 36 L 29 L 34 L 31 L 35 L 33 L 34 L 29 L 34 L 36 L 34 L 40  
L 40 L 39 L 30 L 38 L 38  
S 31 S 34 S 33 S 33 S 32 S 33 S 30 S 32 S 35 S 33 S 30 S 31 S 33 S 34 S 31  
S 33 S 34 S 34 S 33 S 34  
;
```

Test normality:

```
proc univariate data=work.venku normal plot;  
histogram data/kernel normal;  
qqplot data/normal (mu=est sigma=est);  
var data;  
class technologie;  
run;
```

Dvouvýběrový Wilcoxonův test:

```
proc nparlway data=venku wilcoxon;  
class technologie;  
var data;  
run;
```