

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Systémy a zařízení pro průmyslový internet věcí

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan VALNOHA**

Osobní číslo: **E16B0204P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**

Název tématu: **Systémy a zařízení pro průmyslový internet věcí**

Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Seznamte se s problematikou IoT a IIoT.
2. Popište hlavní rozdíly mezi těmito systémy.
3. Proveďte rešerši systémů pro IIoT.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

1. **The internet of things**, Samuel Greengard, ISBN 978-0-262-52773-6
2. **Designing the internet of things**, Adrian McEwen, ISBN 978-1-118-43062-0
3. **Internetové zdroje**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Karel Šíma**


Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **5. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. června 2019**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Bakalářská práce na téma *Systemy a zařízení pro průmyslový internet věcí* je zaměřena na problematiku *Internetu věcí* a jeho části *Průmyslového internetu věcí*. Hlavní část je věnována rozdělení sítí krátkého a dlouhého dosahu, porovnání rozdílů mezi *Internetem věcí* a *Průmyslovým internetem věcí* a v poslední řadě společnostem, které aplikovaly zařízení a čidla pro *Průmyslový internet věcí*.

Klíčová slova

Internet věcí, Průmyslový internet věcí, LoRa, Sigfox, NB-IoT, LPWAN

Abstract

The bachelor thesis "Systems and Equipment for Industrial Internet of Things" is focused on the Internet of Things and his part Industrial Internet of Things. The main part is devoted to the division of short and long range networks, comparing the differences between the Internet of Things and the Industrial Internet of Things, last but not least , the companies that applied devices and sensors for the Industrial Internet of Things are mentioned.

Key words

Internet of Things, Industrial Internet of Things, LoRa, Sigfox, NB-IoT, LPWAN

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 11.6.2019

Jan Valnoha

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práci Ing. Karlu Šímovi, za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Také bych chtěl poděkovat Aleši Blažkovi vedoucímu úseku IT ve firmě WITTE Automotive za informace o jejich zavádění Průmyslového internetu věcí. V neposlední řadě také děkuji své rodině a blízkým za podporu při tvorbě této práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 IOT A IIOT – INTERNET VĚCÍ A PRŮMYSLOVÝ INTERNET VĚCÍ	11
1.1 DEFINICE POJMU INTERNET VĚCÍ A PRŮMYSLOVÝ INTERNET VĚCÍ.....	11
1.2 HISTORIE INTERNETU VĚCÍ.....	12
1.3 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE.....	14
1.4 TYPOLOGIE SÍTÍ.....	15
1.4.1 <i>Point-to-point síť</i>	16
1.4.2 <i>Hub-and-Spoke</i>	16
1.4.3 <i>Mesh network</i>	16
1.5 TECHNOLOGIE PRO PROPOJENÍ SÍTÍ IOT & IIOT.....	16
1.5.1 <i>Sítě krátkého dosahu</i>	17
1.5.2 <i>IEEE 802.15.4</i>	18
1.5.3 <i>Bluetooth</i>	18
1.5.4 <i>Zigbee 3.0</i>	18
1.5.5 <i>WirelessHART</i>	19
1.5.6 <i>Wi-Fi</i>	19
1.5.7 <i>Sítě dlouhého dosahu</i>	20
1.5.8 <i>LoRa</i>	20
1.5.9 <i>SigFox</i>	22
1.5.10 <i>Narrow Band internet of Things – NB-IoT</i>	24
1.6 SROVNÁNÍ TECHNOLOGIE LoRa, SIGFOX A NB-IoT.....	26
1.6.1 <i>Kvalita služeb</i>	26
1.6.2 <i>Životnost baterie a zpoždění</i>	26
1.6.3 <i>Počet připojených zařízení a velikost přenosu dat</i>	27
1.6.4 <i>Pokrytí a dosah sítí</i>	27
1.7 OBLASTI APLIKACE A VYUŽITÍ IOT & IIOT.....	28
1.7.1 <i>Smart Cities</i>	28
2 POROVNÁNÍ INTERNETU VĚCÍ A PRŮMYSLOVÉHO INTERNETU VĚCÍ	32
2.1 PŘÍNOSY A VÝHODY IIOT.....	33
3 IMPLEMENTACE PRŮMYSLOVÉHO INTERNETU VĚCÍ	35
3.1 SPOLEČNOST DEIF.....	35
3.2 WEGIS & YOUNG.....	36
3.3 ERICSSON MARITIME ICT.....	37
3.4 FIRMA WITTE AUTOMOTIVE.....	38
3.5 SPOLEČNOSTI SPOLUPRACUJÍCÍ SE SÍTÍ LoRAWAN.....	39
3.5.1 <i>reBIT TECH s.r.o.</i>	39
3.5.2 <i>Alternetivo s.r.o.</i>	40
3.5.3 <i>TANIX</i>	40
3.5.4 <i>IoT.water s.r.o.</i>	41
ZÁVĚR	42
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	43

Seznam symbolů a zkratek

IoT	Internet věcí
IIoT	Průmyslový Internet věcí
UID	Identifikátor uživatele
IP.....	Internetový protokol
RFID	Radiofrekvenční identifikaci
NFC	Komunikace v blízkosti pole
NB-IoT	Narrow Band – Internet věcí
M2M.....	Machine to Machine
WPAN	Bezdrátové osobní síť
WLAN	Místní bezdrátová síť
WNAN.....	Bezdrátové metropolitní síť
WWAN.....	Velká bezdrátová síť

Úvod

Svět kolem nás se dramatickým způsobem transformuje. Společnost hledá způsoby ke zlepšování kvality života a usnadnění si vykonávání všedních úkonů. Nyní může společnost využívat širokou škálu technologických přístrojů, která jsou finančně dostupná pro velkou masu lidí. Masivní rozvoj zařízení používající internet umožňuje šířit a budovat lepší bezdrátové sítě krátkých a dlouhých dosahů, a díky tomu se lidstvo dostává do etapy Internetu věcí. Díky tomu se Internet věcí stává fenomén dnešní doby, který je plný zajímavých příležitostí pro širokou škálu firem a jednotlivců. Problematika Internetu věcí je velmi rozsáhlá a rozkouskovaná a není snadné pochopit odlišnosti různých oborů Internetu věcí.

Proto se v mé bakalářské práci zabývám jedním z oborů Internetu věcí a tj. Průmyslový Internet věcí.

Text je rozdělen do tří částí; první část se zabývá vymezením pojmů Internet věcí a Průmyslový Internet věcí. Dále zde rozebírám historii vzniku a vývoj Internetu věcí, kdy základní kámen byl položen už před dvěma stoletími. Největší důraz v první části kladu na bezdrátové technologie krátkého a dlouhého dosahu, které se z velké části podílejí na rozvoji Průmyslového Internetu věcí. V poslední řadě jsem zahrnul do oblasti Průmyslového internetu věcí i Smart Cities, kdy se i Fakulta elektrotechnická Západočeské univerzity v Plzni podílí na rozvoji a zlepšování kvality života na půdě univerzity. Druhá část se zaměřuje na rozdíly mezi běžným Internetem věcí oproti Průmyslovému Internetu věcí v několika kategoriích a dále výhody a úskalí implementace Průmyslového Internetu věcí. V poslední, třetí části se zabývám firmami, které reálně implementovaly čidla a zařízení pro měření a sběr dat. Povedlo se mi oslovit firmu WiTTE Automotive a vyzpovídat vedoucího IT oddělení Aleše Blažka o problematice zavádění Průmyslového Internetu věcí v jejich firmě v Ostrově u Karlových Varů.

1 IoT a IIoT – Internet věcí a Průmyslový internet věcí

Internet věcí (IoT) a Průmyslový internet věcí (IIoT) se v posledních letech staly jedním z nejvíce diskutovaných průmyslových konceptů. Analytici předpovídají, že nové produkty a služby internetu věcí budou v příštích letech exponenciálně růst. Z finančního pohledu, by měl kapitál IoT & IIoT dosáhnout 151,1 miliard amerických dolarů. Aby bylo možné využít plný potenciál internetu věcí, je třeba řešit klíčové otázky. Mezi hlavní priority se řadí bezpečnost uživatelů a firem, cloudové technologie, velké objemy dat a budoucí síť 5G. [1] Integrované prostředí internetu věcí a Průmyslového internetu věcí posílí konkurenceschopnost evropských malých a středních podniků a také usnadní každodenní životy lidí. Například bude možné u pacienty trpících dlouhodobými nemocemi sledovat pomocí čidel zdravotní stav svého těla a posílat data svým ošetřujícím lékařům. V podnicích může IIoT zlepšit komunikaci s dodavateli ohledně dodávek materiálů či komponentů. Se zaváděním IoT a IIoT bude docházet ke zlepšení služeb pro zákazníky, v podnicích se může očekávat lepší hospodaření se zdroji a následným finančním úsporám. [2]

1.1 Definice pojmu Internet věcí a Průmyslový internet věcí

Různorodé definice pojmu Internet věcí a Průmyslový internet věcí, z literatury a internetových zdrojů svědčí o silném zájmu o problematiku internetu věcí a Průmyslového internetu věcí. Pročítáním různých zdrojů, může mít čtenář problém s pochopením, co vlastně IoT a IIoT znamená, jaké základní myšlenky stojí za tímto konceptem a jaké sociální, ekonomické a technické důsledky budou mít dopad na společnost.

V roce 2012 vydala Mezinárodní telekomunikační unie dokument Overview of the Internet of Things, kde definuje pojem internet věcí. IoT je globální infrastrukturou pro informační společnosti, která zprostředkuje využití pokročilé služby propojením (fyzických a virtuálních) věcí na bázi stávajících a vyvíjejících se informačních a komunikačních technologií. [3]

V knize The Internet of Things od autora Samuela Greengarda se definuje pojem takto: „Internet věcí doslovně znamená „věc“ nebo „objekt“, který se připojuje k internetu. Může to být téměř všechno. Počítač, tablet nebo smartphone, fitness zařízení, žárovka,

zámek, kniha, motor letadla, boty nebo také ragby helma. Každé z těchto zařízení nebo věcí má jedinečné identifikační číslo (UID) a adresu internetového protokolu (IP). Tyto objekty se připojují přes kabely a také přes bezdrátovou technologii, včetně satelitů, mobilních sítí, WI-FI a Bluetooth. Používají vestavěné elektronické obvody, stejně jako radiofrekvenční identifikaci (RFID) nebo komunikaci na blízko (NFC), které se přidávají prostřednictvím čipů a štítků.“ [4]

Co je to Průmyslový internet věcí se můžeme dozvědět v knížce Industry 4.0. IIoT poskytuje způsob, jak získat lepší přehled a kontrolu o činnosti a majetku společnosti prostřednictvím integrace strojních senzorů, middlewaru a softwaru, ze kterých lze zpracovat data na cloudu a v úložných systémech. Poskytuje celkovou transformaci podnikových a provozních procesů ve firmách. [1]

Americká firma zabývající se rozvojem průmyslového internetu věcí, General Electric Digital, vymezuje IIoT jako koncept, který spojuje výkonné stroje, pokročilé analýzy a lidskou práci. Je to síť mnoha průmyslových zařízení, které jsou propojeny komunikačními technologiemi, což vytváří ucelené systémy, které mohou sledovat, shromažďovat, vyměňovat, analyzovat a poskytovat cenné nové informace. Tyto analýzy pak mohou přispět k rozumným a rychlejším rozhodnutím vrcholového managementu pro průmyslové podniky. [5]

1.2 Historie Internetu věcí

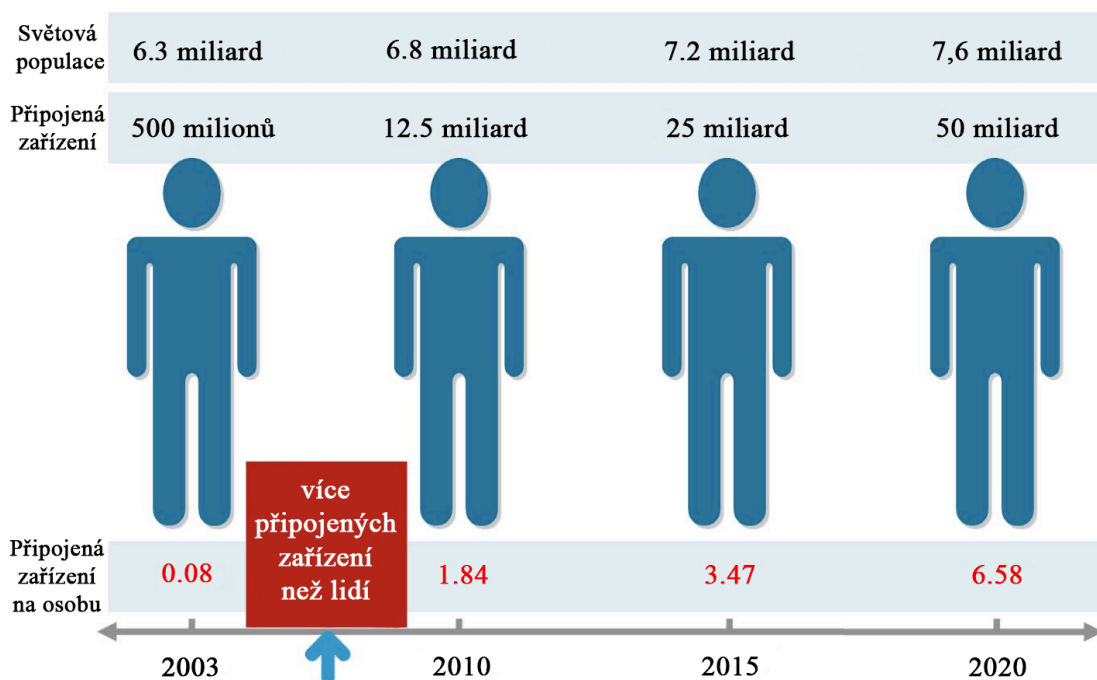
Z obecného hlediska předchází vzniku Internetu věcí a Průmyslového internetu věcí několik revolučních událostí, které zapříčinily vytvoření bezdrátové komunikace, internetu, a nakonec Internetu věcí.

První pokusy o bezdrátovou komunikaci nastaly v roce 1832 ruským vynálezcem Baronem Schillengem, který vytvořil elektromagnetický telegraf. V roce 1844 Samuel Morse poslal první morseovu zprávu "What hath God wrought?", která byla poslána přes telegrafické spojení mezi Washingtonem a Baltimorem. [6]

V roce 1982 na univerzitě Carnegie Mellon se uvedl do provozu první přístroj s prvky Internetu věcí. Automat na nápoje byl napojený na Arpanet, které senzory snímaly obsah automatu a vyhodnocovaly stav vychlazení nápojů uvnitř automatu. [7]

V 80. letech nastaly dva kritické milníky pro IoT a IIoT. Standardizace ethernetového připojení v roce 1983 položila základy pro fyzické propojení strojů různých výrobců. O šest let později, Sir Tim Berners Lee, počítačový vědec v CERNu, přidal do této sítě malou věc zvanou World Wide Web. Lee vytvořil a vyvinul web, který vyhovoval požadavkům na automatické sdílení mezi vědci na univerzitách a ústavech po celém světě. [8]

Nesmírný nárůst smartphonů a stolních počítačů připojených k internet se roku 2010 vyšplhalo na 12,5 miliard zařízení, zatímco lidská populace vzrostla na 6,8 miliardy, což činí více než jeden kus (1,84 přesně) připojených zařízení na osobu. Podle společnosti Cisco IBSG byl Internet věcí „narozen“ někdy v letech 2008 až 2009 a od té doby je připojených více zařízení než lidí (viz Obr. 1.1). V současné době je IoT nejvíce rostoucím odvětvím v průmyslu a v komerční sféře. [9]



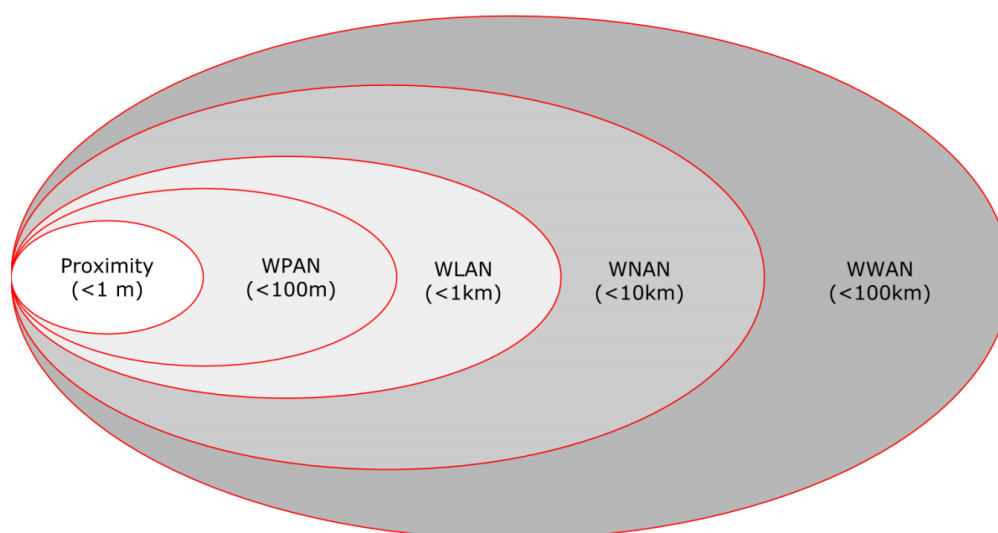
Obr. 1.1 Vývoj připojených zařízení (překresleno z [9]).

Počátek 21. století je významný pro IoT a IIoT nástupem a rozšířením cloudových technologií, které se stále rozvíjí. Zavedení služby Amazon Web Services v roce 2002 přivedlo ke cloudu velké množství firem a uživatelů a navždy změnilo způsob, jakým byly a jsou podnikové a průmyslové struktury budovány a využívány. [10]

Pojem Internet věcí jako takový byl poprvé použit v roce 1999 výkonným ředitelem Kevinem Ashtonem, spoluzakladatelem MIT Auto-ID Center, který prohlásil: „*Mohl bych se mýlit, ale jsem si docela jistý, že fráze „Internet věcí“ začala žít život jako název prezentace, kterou jsem v roce 1999 vytvořil v Procter & Gamble (P&G). Název poukazoval na novou myšlenku RFID v dodavatelském řetězci P&G pomocí internetu a byl to dobrý způsob, jak zaujmout patřičnou pozornost.*“ [11]

1.3 Bezdrátová komunikace

Přenos dat přes bezdrátovou komunikaci pro IoT & IIoT se provádí přes různé kmitočty od stovek MHz, až po jednotky GHz. Bezdrátové sítě můžeme rozdělit do 3 skupin – domácí, lokální a rozsáhlé sítě. Mezi lokální a rozsáhlé sítě se prosazují systémy typu jako jsou LoRa, Sigfox, NB-IoT, sítě LTE a budoucí 5G sítě. Tyto sítě mají dosah od jednotek kilometrů až do desítek kilometrů. Mezi domácí sítě, které mají dosah pouze desítky metrů patří ZigBee, Bluetooth, Z-Wave.



Obr. 1.2 Bezdrátová komunikace podle dosahu (překresleno z [12])

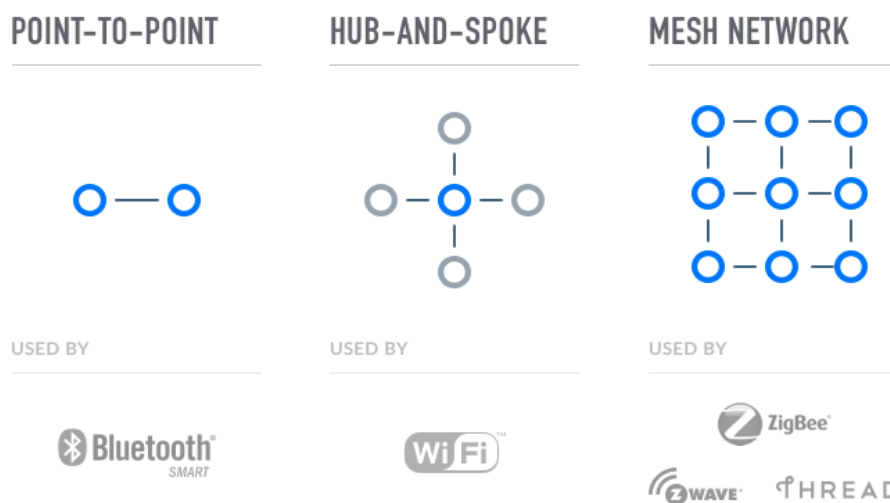
Lokální a rozsáhlé sítě jsou také nízkovýkonové sítě, které jsou navrženy pro malou spotřebu energie. Rychlost těchto sítí se pohybuje v ideálních podmínkách do stovek kbps. Podstatné výhody lokálních a rozsáhlých sítí jsou nízké požadavky na výkon a velké dosahy v rádech kilometrů ve městech. Díky nízké spotřebě jsou baterie schopny vydržet 5-15 let. [12]

Tab. 1.1 Bezdrátová komunikace podle dosahu (převzato z [12])

Proximity	WPAN	WLAN	WNAN	WWAN
NFC	Bluetooth	802.11a/b/g/n/ac	Wi-Sun	2G/3G/4G/5G
RFID	ZigBee	802.11af	ZigBee-NAN	LTE-MTC
	THread	802.11ah		Sigfox
	Z-Wave			LoRa
	ISA100.11a			NB-IoT

1.4 Typologie sítí

Sdílení informací mezi přístroji je nejdůležitějším komunikačním prvkem v IoT & IIoT. Pro tento účel se rozlišily počítačové sítě na různé druhy. Existují tři hlavní topologie sítí v IoT: Point-to-Point, Hub-and-Spoke, and mesh sítě. [13]



Obr. 1.3 Typy komunikačních spojení (převzato z [13])

1.4.1 Point-to-point síť

Protokol PPP (Point-to-Point Protocol) je komunikační protokoly vrstvy datového spoje, který se používá k přenosu víceprotokolových dat mezi dvěma přímo připojenými zařízeními. Jedná se o orientovaný protokol, který je široce používán v širokopásmových komunikacích s vysokými zátěžemi a vysokými rychlostmi. Jednoduchým příkladem jsou reproduktory, které se připojují pomocí Bluetooth k mobilnímu zařízení. [14]

1.4.2 Hub-and-Spoke

Hub-and-Spoke topologie je také nazývána topologií hvězdicovou. Centrální jednotka je fyzicky připojena k internetu pomocí síťového kabelu a všechna uživatelská zařízení se připojují bezdrátově k této jednotce. Nejrozšířenější technologií, která používá typologii Hub-and-Spoke je Wi-Fi připojení. Většina inteligentních domácích automatizačních systémů se dnes spoléhá na typologii Hub-and-Spoke, v níž je jeden router, který spojuje všechna zařízení. To bohužel znamená i jeden bod selhání – pokud selže router, tak selže i celá síť. [15]

1.4.3 Mesh network

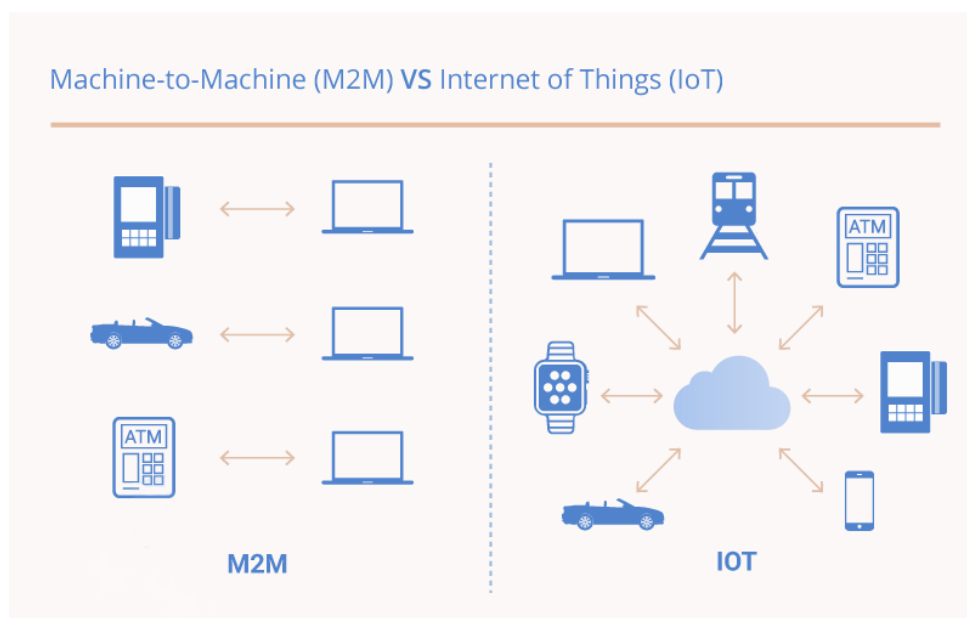
Mesh network je typologie, kde každý počítač a síťové zařízení je vzájemně propojené, což umožňuje, aby většina přenosů byla distribuována, i když je jedno ze spojení přerušeno. Jedná se o typologii běžně používanou pro bezdrátové sítě. Přidání dalších zařízení nijak nenarušuje přenos dat mezi jinými zařízeními. Největší nevýhodou jsou náklady na implementaci a udržování mesh network typologie. [16]

1.5 Technologie pro propojení sítí IoT & IIoT

Konektivita M2M je podnikově řízená technologie, která využívá mobilní, Wi-Fi, či privátní síť LTE (MulleFire) pro umožnění vzdáleného monitorování a správy strojů v závislosti na aplikacích, např. stroje umožňují komunikovat se zaměstnanci na základě skutečných problémů, jako je porucha, změna teploty, emise jedovatých plynů, atd. Společné úsilí obchodních podniků a vládních institucí je zaměřeno na nasazení M2M tak, aby se zvýšila obchodní aktivita a zároveň se snížila spotřeba energie a materiálu, čímž dojde ke zvýšení produktivity. [17]

IoT může být zaměřen, jak na spotřebitelskou část, tak na průmyslovou část, které jsou klasifikovány jako spotřebitelské IoT a průmyslové IIoT. IoT spojuje lidi a jejich věci s internetem, který poskytuje přímé obchodní vztahy se spotřebitelskými a obchodními podniky, a to nositelnou elektronikou monitorující naše zdraví a aktivity počínaje, přes chytré domácnosti až po chytrá města. IIoT spojuje podniky s aktivy na zákazníky, kde M2M hraje významnou roli, čímž se stává nedílnou součástí Internetu věcí jako celku. [17]

Význam IoT je zajistit pokročilé připojení zařízení, systémů a služeb, které přesahuje technologii stroj-ke-stroji (M2M), kterou lze považovat za podmnožinu IoT. M2M je jako linka spojující 2 body a IoT je jako síť, systém složený z mnoha M2M a spouštějící spoustu interakcí a činností. [18]



Obr. 1.4 Rozdíl mezi M2M a IoT (převzato z [18])

1.5.1 Síť krátkého dosahu

Sítě krátkého dosahu (SR – Short range) se obecně týkají komunikačních vzdáleností od několika metrů (WPAN) až do několika stovek metrů (WLAN). Byly vyvinuty pro rychlý přenos dat v řádech kbps (ZigBee) až do stovek Mbps (Wi-Fi). Většina z těchto sítí funguje na bezlicenčních pásmech 868 Mhz a 2,4 GHz.

1.5.2 IEEE 802.15.4

Jedním z časných aktivátorů IoT je nízkonapěťový IEEE 802.15.4 standard. V roce 2003 stanovil standardy pro nízkonapěťová komerční rádia. Standard byl v letech 2006 a 2011 modernizován tak, aby zajistil ještě energeticky účinnější radiové technologie. IEEE 802.15.4 je základem pro specifické bezdrátové technologie, jako ZigBee, ISA 100.11a, WirelessHART a MiWi. [19]

1.5.3 Bluetooth

Technologie Bluetooth je celosvětově dostupný standard, který bezdrátově propojuje na krátké vzdálenosti mobilní telefony, přenosné počítače, auta, stereofonní sluchátka, MP3 přehrávače a mnoho dalších. Bluetooth prošlo velkým vývojem od roku 1999, kdy byla na trh uvedena verze 1.0. Bluetooth 5.0 je nejnovější verzí standardu bezdrátové komunikace Bluetooth, přičemž Bluetooth je zavedený a uznávaný standardní bezdrátový protokol, který pracuje v ISM pásmu 2,4 GHz s rozsáhlou podporou více dodavatelů a interoperabilitou, což z něj činí ideální technologii pro vývojáře. Oproti starší verzi 4.2 nabízí nová verze 5.0 dvě nové fyzické vrstvy a jednu fyzickou vrstvu z verze 4.2 (PHY). Každá fyzická vrstva (PHY) má unikátní vlastnosti a byla navržena pro konkrétní cíle. Pojmenovány jsou LE 1M, LE 2M, and LE Coded. Vrstva LE 1M je používána pro zpětnou kompatibilitu se staršími verzemi Bluetooth s rychlostí 1 Mbps. Nová vrstva LE 2M PHY umožňuje provozování fyzické vrstvy při rychlosti 2 Mbps, a také umožňuje vyšší rychlost přenosu dat než fyzická vrstva LE 1M. Poslední fyzická vrstva LE Coded umožňuje přibližně čtyřnásobné zvětšení rozsahu ve srovnání s Bluetooth 4.2, čehož bylo dosaženo bez zvýšení přenosového výkonu. Testování pomocí standardního smartphonu dokázalo, že je možné přijmout signál až na vzdálenost 350 m. [20]

1.5.4 Zigbee 3.0

Zigbee je otevřená globální bezdrátová technologie, která je speciálně navržena pro použití ve spotřebitelských, komerčních a průmyslových oblastech pro uživatele a vývojáře. Technologie ZigBee se vyznačuje nízkou rychlostí přesunu dat, nízkou spotřebou energie a nízkou pořizovací cenou. Architektura Zigbee je postavena na standartu IEEE 802.15. s přidáním síťových a bezpečnostních vrstev spolu s aplikačním softwarem, který se stává plnohodnotným interoperabilním řešením. Maximální komunikační rychlost mezi zařízeními je cca 31,25 kbps, rozsah komunikace uvnitř budov je 10–70 m a ve venkovní

prostorech až 300 m, a je možné použití ve třech bezlicenčních pásmových frekvencích: 915MHz (Amerika), 868 MHz (Evropa), 2,4 GHz (Japonsko). Zigbee síť pracuje v typologii mesh network, což umožňuje předcházet problémům, aby jedno jediné zařízení přerušilo funkčnost celé sítě. [1] [21]

1.5.5 WirelessHART

WirelessHART je jeden z prvních standardů pro automatizaci procesů v IIoT. Tento standart je založen na fyzické vrstvě IEEE 802.15 v bezlicenční frekvenčním pásmu 2,4 GHz, používané po celém světě – jako přenosové médium pro několik rádiových technologií, včetně WLAN, Bluetooth a ZigBee. Využívá protokol TSMP (Time Synchronized Mesh Protocol), který byl vyvinut společností Dust Networks pro funkce řízení přístupu a síťové vrstvy. Každá stanice slouží současně jako zdroj signálu a opakovač. Původní vysílač odešle zprávu své nejbližší stanici, která zprávu předá, dokud zpráva nedosáhne základny a aktuálního přijímače. Kromě toho jsou v inicializační fázi nastaveny alternativní trasy. Pokud zprávu nelze přenášet na určité trase v důsledku překážky nebo vadného přijímače, je zpráva automaticky předána alternativní trase. WirelessHART je tedy považován za robustní, energeticky efektivní a spolehlivý, ale protože se jedná o nový standard, existuje mnoho možností pro zlepšení. [20] [22]

1.5.6 Wi-Fi

Bezdrátová technologie Wi-Fi, běžně označována jako bezdrátový Ethernet, je nejrozšířenější a nejrychlejší bezdrátová technologie na světě. Wi-Fi sítě jsou postaveny na typu standartu IEEE 802.11 pro bezdrátové lokální sítě (WLAN). Wi-Fi sítě ve standartu IEEE 802.11ac mají propustnost v ideálních podmínkách přes 1 Gbps na frekvenci 5 GHz. V testovací fázi standard 802.11ad využívá rádiové vlny o vysokých frekvencích 60 GHz, což umožňuje propustnost až 5 Gbps. Rozsah typických rádiových vln Wi-Fi je až 160 metrů, ale v zastavěných oblastech je rozsah daleko menší. Technologie Wi-Fi je primárně využívána pro svou velkou přenosovou rychlost, což spotřebovává veliké množství energie. Aby bylo možné Wi-Fi v IIoT využít, musí čidla a jiná zařízení mít trvalé napájení nebo velké externí baterie. [23]

1.5.7 Síť dlouhého dosahu

Síť dlouhého dosahu (LR – Long range) a nízkovýkonové síť (LPWAN – Low Power Wide Area Network) jsou speciální síť navrženy se záměrem na minimalizaci spotřeby energie a velkého dosahu. Důraz na nízkou spotřebu energie představuje životnost baterie přibližně 10–15 let. V zastavěných oblastech dosahuje pokrytí signálu v řádech kilometrů a co se týče nezastavěných oblastí, mluvíme o dosahu desítek kilometrů.

V České republice se nacházejí 3 důležité LPWAN síť – LoRa, SigFox a NB-IoT. Každý z těchto standardů je navržen pro technologii IoT a IIoT a ačkoliv je každá z těchto technologií jiná, mají v určitých vlastnostech společné rysy, mezi které řadíme maximální dosah ~ 50 km, nízkou přenosovou rychlost ~ 100kb/s, nízkou spotřebu energie a nízkou pořizovací cenu.

1.5.8 LoRa

Zařízení LoRa společnosti Semtech je bezdrátová radiofrekvenční technologie (LoRa Technology), využívaná k vytvoření komunikačního spojení s dlouhým dosahem v řádu desítek kilometrů a nízkou spotřebou energie (LPWAN), která se stala de facto technologií pro síť Internetu věcí (IoT) po celém světě. LoRa je založen na modulaci s rozptýleným spektrem chirp, která udržuje stejné charakteristiky nízkého výkonu jako modulace FSK, ale významně zvyšuje komunikační rozsah. Široké spektrum chirp bylo používáno ve vojenské a vesmírné komunikaci po celá desetiletí díky dlouhým komunikačním vzdálenostem, kterých lze dosáhnout a robustnosti vůči rušení, ale LoRa je první nízkonákladovou implementací pro komerční využití v IoT a IIoT. [24]



Obr. 1.5.1 Mapa pokrytí ČR signálem LoRa (převzato z [25])

Technologie LoRa se skládá ze dvou částí, první je modulace LoRa a druhá zásadnější je protokol LoRaWAN. V Evropě LoRa používá bezlicenční frekvenční pásmo 868 MHz, ve kterém se využívá 9 kanálů. Pro vzestupný směr se používá 8 kanálů od čidel a 1 kanál pro sestupný směr k čidlům. Na obr. 1.5 je zachyceno pokrytí v České republice sítí LoRa pro rok 2018. Pro budoucí roky, plánují České radiokomunikace celorepublikové pokrytí sítí LoRa. [24]

Síťová architektura LoRaWAN nemá síťové uzle spojeny s konkrétní branou. Namísto toho jsou data přenášena uzlem, který je přijímán více branami. Každá brána předá přijatou informaci z koncového uzlu na síťový server, založený na technologii Cloud, přes mobilní, ethernetové, satelitní nebo Wi-Fi připojení. V Cloudu se filtrují přijaté informace, provádí se bezpečnostní kontroly, plánují potvrzení prostřednictvím optimální brány. Pokud je uzel mobilní nebo se pohybuje, není nutné dělat handover z brány do brány, což je důležitá funkce umožňující sledovací aplikace – hlavní cílová aplikace pro IoT. [25]

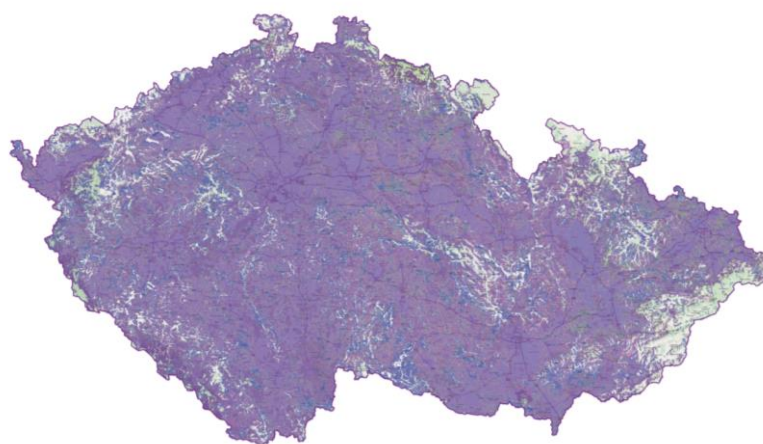
Uzly v síti LoRaWAN nejsou synchronní se specifickou branou a komunikují, když mají data připravená k odeslání, ať už řízená událostmi nebo naplánovaná. Tento typ protokolu se obvykle označuje jako metoda Aloha. V nedávné studii a srovnání provedené GSMA různých technologií zaměřený na LoRaWAN byla prokázána 3 až 5násobná výhoda ve srovnání se všemi ostatními technologickými možnostmi. [26]

Tab. 1.2 Ceník služeb sítě LoRa (převzato z [27])

<i>Počet odeslaných / přijatých zpráv z jednoho zařízení za den</i>	<i>Do 200 připojených zařízení (cena za jedno připojené zařízení za rok)</i>	<i>Nad 200 připojených zařízení</i>
500/50	329 Kč	<i>Smluvně (dohodou)</i>
250/25	299 Kč	
100/5	229 Kč	

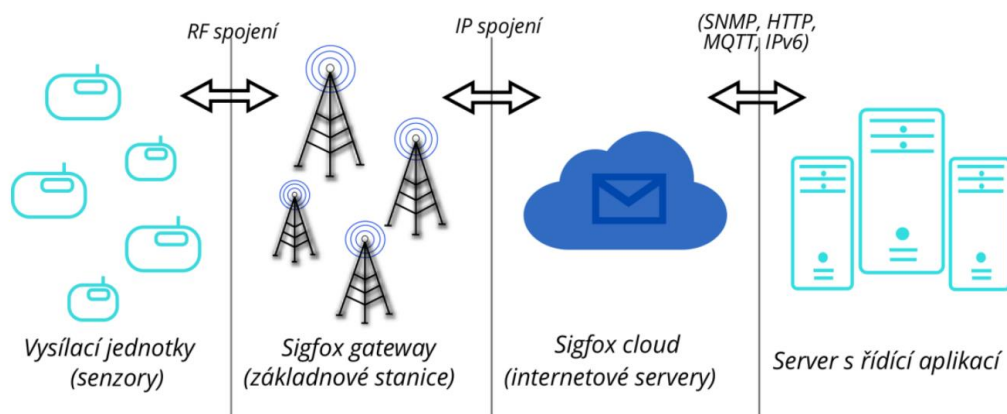
1.5.9 SigFox

SIGFOX je přední světový poskytovatel specializovaných mobilních připojení pro internetu věcí a komunikace M2M. Síť doplňuje stávající vysokorychlostní systémy poskytování ekonomicky a energeticky účinného obousměrného přenosu malých množství dat na velké vzdálenosti v řádech desítek kilometrů. Díky tomu se snižují překážky implementace řešení IoT a M2M a díky nízkoenergetickému nenáročnému provozu a přenosu se výrazně prodlužuje životnost baterií. SIGFOX je aktuálně nasazený ve 30 zemích světa a jednou ze zemí, která má síť implementovanou, je i Česká republika. V České republice je síť budována společností SimpleCell Networks a.s. ve spolupráci s mobilní společností T-Mobile. Aktuální pokrytí území signálem je 92 % a pokrytí populace činí 95 %. [28]



Obr. 1.5.2 Mapa pokrytí ČR signálem SigFox (převzato z [29])

Sigfox využívá bez-licenční frekvenční pásmo 868 MHz (ETSI) a 915 MHz (FCC). Ke komunikaci se používá Ultra Narrow Band (UNB) pásmo, které vysílá pouze krátké impulzy dat s vysílacím výkonem, který činí maximálně 25mW/14 dBm. Pro modulaci signálu se používá veřejné pásmo 200 kHz a přenosová rychlost signálu je 100 bit/s. Přes síť Sigfox je možné denně poslat maximálně 9 000 000 zpráv na BTS. Maximální dosah v terénu je až 50 km a 3 km ve městě pro indoor. [30]



Obr. 1.5.3 Architektura sítě Sigfox (překresleno z [31])

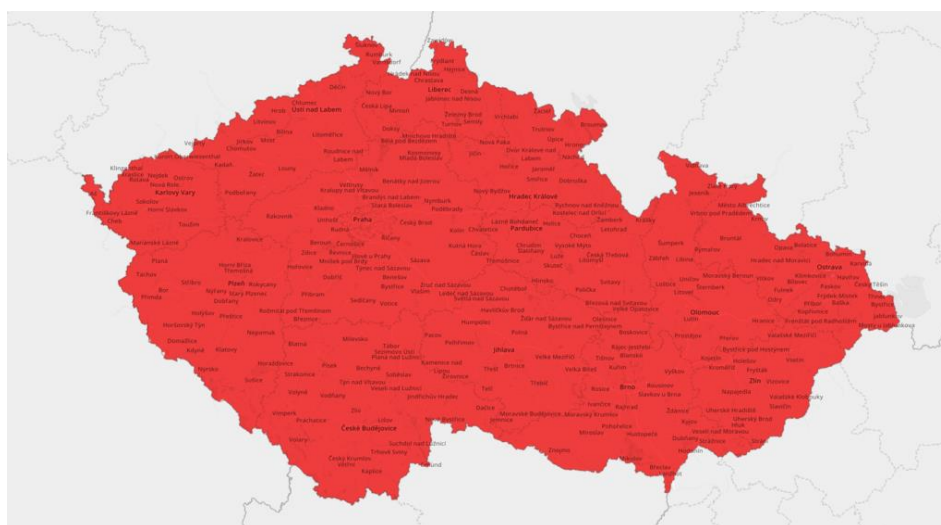
Tato síť je topologicky rozmístěna do tvaru hvězdy, která je budována na principu buňkové infrastruktury a je zcela nezávislá na sítích, které v současné době existují, což poskytuje výhody, jako je prodloužený dosah, všudypřítomnost, nižší spotřeba energie a nižší náklady. Síť Sigfox má horizontální a tenkou architekturu složenou ze dvou hlavních vrstev. První vrstva „Network Equipment“ je sestavena ze základních stanic a dalších prvků, např. antén, které mají na starost příjem zprávy ze všech zařízení a jejich přenos přes internet do podporovaného cloudu Sigfox. Druhá vrstva „Sigfox Support System“ tvoří základní síť a cloud, kdy cloud má nástroje pro analýzu data vyhodnocení zpráv, které dostal z první vrstvy. Díky softwarovému rozhraní API (Application Programming Interface) se mohou uživatelé dostávat k datům uloženým na cloudu přes své systémy nebo aplikace. [32]

Tab. 1.3 Ceník služeb sítě SigFox (převzato z [33])

Úroveň předplatného	Počet zařízení ≤ 1000	Počet zařízení >1000
Platinum	193 Kč	187 Kč
Gold	151 Kč	144 Kč
Silver	124 Kč	115 Kč
One	83 Kč	77 Kč

1.5.10 Narrow Band internet of Things – NB-IoT

NarrowBand IoT zkráceně NB-IoT je bezdrátový úzkopásmový LPWAN standart umožňující velkému množství různých zařízení komunikovat mezi sebou v pásmu mobilních operátorů. Do provozu byla technologie uvedena spolu se sítí třetí generace 3GPP v červnu 2016. Technologii NB-IoT v České republice spravuje mobilní operátor Vodafone, pyšníci se skoro 100 % pokrytým územím. Jedná se o narrowband technologii, která je standardizována pomocí 3GPP a přenášena v licencovaném pásmu LTE 700-900 MHz, ale s některými změnami z důvodu požadavků pro služby IoT. NB-IoT kanály mohou podporovat obrovské množství koncových zařízení zabírající 200kHz šířky pásma. Dosah signálu dosahuje v městských oblastech 5-15 km a až 35 km ve volném prostoru. Rychlost přenosu dat je omezena na 200 kbps pro stahování a 20 kb pro nahrávání. Maximální velikost užitečného zatížení pro každou zprávu je 1600 bytů. Technologie NB-IoT může dosáhnout 10 let životnosti baterie při přenosu průměrně 200 bajtů denně. [34-35]



Obr. 1.5.4 Mapa pokrytí ČR signálem NB-IoT (převzato z [36])

Technologie NB-IoT je podporována pouze s aktualizací softwaru vedle stávající infrastruktury LTE, kdy je komunikační protokol NB-IoT založen na protokolu LTE. Změna pro NB-IoT oproti LTE je například LTE backend systém používající se k vysílání informací, který získává zdroje a spotřebovává velké množství energií baterie z každého koncového zařízení. NB-IoT systém byl optimalizován na malé a nepravidelné datové zprávy a vyhnul se funkcím, které nejsou nutné pro účely IoT, např. měření pro monitorování kvality kanálu, formy sdíleného připojení a duální konektivity. Koncová zařízení proto vyžadují pouze malé množství baterie, což jej činí nákladově efektivním. NB-IoT umožňuje připojení až 100 000 koncových zařízení na buňku s možností zvětšení kapacity přidáním dalších nosičů. NB-IoT používá vícenásobný přístup (FDMA) s jedním nosným kmitočtovým dělením ve vzestupném a nezávislým FDMA (OFDMA) v sestupném spoji a využívá digitální modulaci (QPSK). [37]

Volba frekvenčního pásma je možná třemi provozními režimy. První provozní režim je „samostatný provoz“, který využívá právě používaná frekvenční pásma GSM. Druhý provozní režim je „provoz ochranného pásma“, kdy se využívá nevyužitého zdroje bloků v ochranném pásmu LTE operátora. A třetí provozní režim je „provoz v pásmu“, kde se využívá zdrojových bloků uvnitř nosiče LTE. [37]

Tab. 1.4 Ceník služeb sítě NB-IoT (převzato z [38])

<i>Limity dat přenesených z/do každého senzoru</i>	<i>Cena bez DPH za 12 měsíců</i>
<i>1 kB měsíčně</i>	<i>162 Kč</i>
<i>30 kB měsíčně</i>	<i>178 Kč</i>
<i>60 kB měsíčně</i>	<i>192 Kč</i>
<i>200 kB měsíčně</i>	<i>222 Kč</i>
<i>1024 kB měsíčně</i>	<i>253 Kč</i>
<i>4320 kB měsíčně</i>	<i>296 Kč</i>

1.6 Srovnání technologie LoRa, Sigfox a NB-IoT

Při výběru vhodné technologie LPWAN od firem nebo jednotlivých zákazníků pro nasazení zařízení IoT a IIoT je třeba zvážit mnoho důležitých faktorů a okolností pro danou aplikaci. Může to se jednat o kvalitu poskytované služby různých překupních firem a operátorů, životnost a kapacitu baterií, rozsah zpoždění signálu, pokrytí a dosah signálu, pořizovací ceny pro nasazení zařízení a měsíční poplatky za poskytované služby.

1.6.1 Kvalita služeb

Sigfox a LoRa používají bezlicenční frekvenční pásmo. Mohou díky tomu eliminovat rušení, vícestné šíření mezi vysílačem a přijímačem a ztráty velkého množství informací. Nemohou však nabídnout stejnou stabilitu sítě v důsledku kvality služeb (QoS – kdy dochází k informačnímu zahlcení v systému a následnému snížení kvality síťových služeb) oproti technologii NB-IoT. NB-IoT využívá frekvenční pásmo a protokol založený na LTE, které jsou optimální pro QoS. Vzhledem k QoS a snížení nákladů na již vybudovanou LTE síť je NB-IoT preferován pro aplikace, které vyžadují garantovanou kvalitu služeb, zatímco aplikace, které nemají toto omezení, by měly zvolit LoRa nebo Sigfox. [37]

1.6.2 Životnost baterie a zpoždění

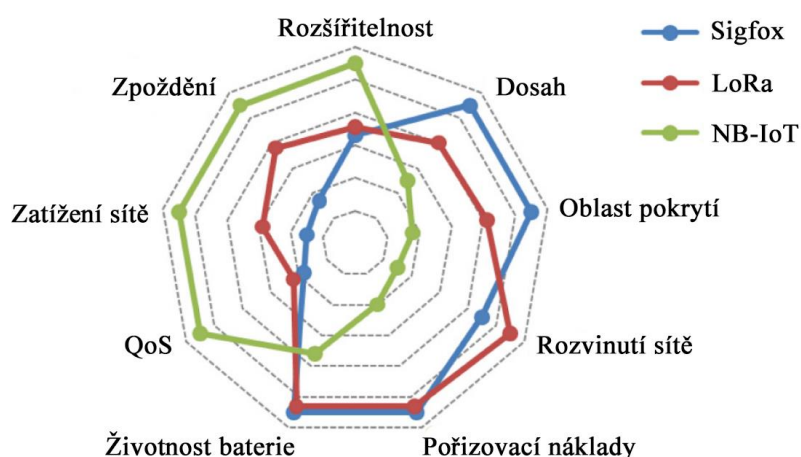
Pro technologie LoRa, Sigfox a NB-IoT jsou koncová zařízení v režimu spánku většinu času, což snižuje množství spotřebované energie, tj. dlouhou životnost koncových zařízení. Koncové zařízení NB-IoT však spotřebovává dodatečnou energii kvůli synchronní komunikaci a zpracování QoS a jeho přístupové režimy OFDM / FDMA vyžadují více energie. Tato dodatečná spotřeba energie snižuje životnost koncového zařízení NB-IoT ve srovnání s technologiemi Sigfox a LoRa. NB-IoT však nabízí výhodu v podobě nízkého zpoždění. Na rozdíl od Sigfoxu poskytuje LoRa třídu C, která je schopna zpracovat také nízko-směrné zpoždění na úkor zvýšené spotřeby energie. Proto jsou pro aplikace, které nejsou citlivé na zpoždění a nemají velké množství dat k odeslání, Sigfox a třída A LoRa nejlepší možnosti. Pro aplikace, které vyžadují nízké zpoždění, jsou lepší volba NB-IoT a třída C-LoRa. [37]

1.6.3 Počet připojených zařízení a velikost přenosu dat

Podpora masivního počtu zařízení je jednou z klíčových vlastností technologií LoRa, Sigfox a NB-IoT. NB-IoT nabízí výhodu velmi vysokého připojení zařízení než Sigfox a LoRa. NB-IoT umožňuje připojení až 100 000 koncových zařízení na buňku ve srovnání s 50 000 na buňku pro Sigfox a LoRa. NB-IoT umožňuje přenos dat až do 1600 bytů. LoRa umožňuje odesílat maximálně 243 bajtů dat. Naopak, Sigfox má umožňuje přenést pouze 12 bytů dat, což omezuje jeho využití na různých IoT aplikacích, které potřebují posílat velká množství dat. [37]

1.6.4 Pokrytí a dosah sítí

Hlavní výhodou sítě Sigfox je možnost pokrytí města (podle hustoty zástavby) jednou základovou stanicí s dosahem 40 km. V Belgii, v zemi o celkové rozloze přibližně 30 500 km², pokrývá nasazení sítě Sigfox celou zemi se sedmi základními stanicemi. Sítě LoRa a její stanice má nižší dosah signálu, který činí 20 km (podle hustoty zástavby). NB-IoT má nejnižší rozsah a možnosti pokrytí v rozmezích 10 km (podle hustoty zástavby). Zaměřuje se především na třídu zařízení, která jsou instalována na místech daleko od typického dosahu mobilních sítí (např. uvnitř, hluboko uvnitř). Kromě toho je nasazení NB-IoT omezeno na základnové stanice LTE. Není tedy vhodný pro venkovské nebo příměstské regiony, které nevyužívají pokrytí LTE. [37]



Obr. 1.6 Porovnání výhod technologií Sigfox, Lora a NB-IoT (překresleno z [37])

1.7 Oblasti aplikace a využití IoT & IIoT

Aplikace IoT a IIoT směřují k pohodlnějším životům, efektivnější práci a eliminaci chyb způsobeným lidským faktorem. IoT a IIoT mění doslova všechno od žárovky, kterou lze zapnout pomocí aplikace pro chytré telefony, přes chytrá parkovací místa až po spleť výrobní procesy ve velkých továrnách. V ještě větším měřítku jsou projekty inteligentních měst, které budou propletené jedním senzorem za druhým. [39]

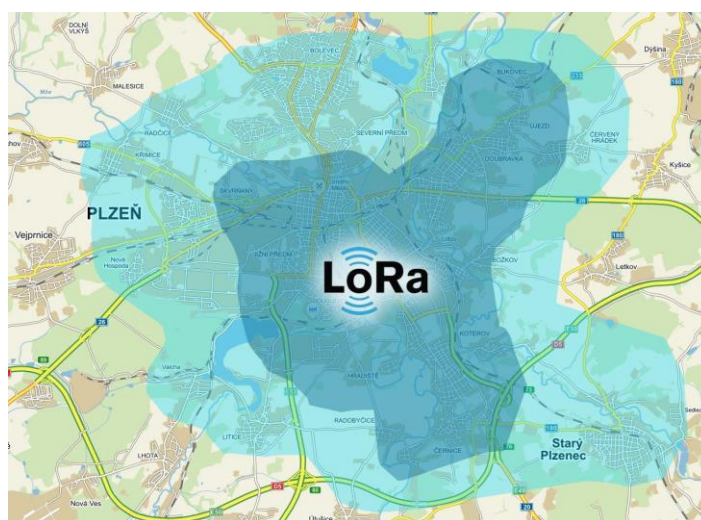
Nositelná technologie (náramky, hodinky) je nejmenším zástupcem IoT, které pomáhají lidem hlídat své tělo. Velice komerční a populární jsou inteligentní domy a kanceláře, které jsou propojeny zařízeními zahrnující televizory, chladničky, světla, termostaty, žaluzie, zavlažování, bezpečnostní systémy a mnoho dalšího. V různých průmyslových odvětvích (energetické systémy, maloobchod, logistika, průmysl, zemědělství a zdravotnictví) se využívá IIoT za účelem sbírání, zpracování a vyhodnocování dat. Dále se IIoT využívá také na monitoring různých veličin pro dané odvětví. [40]

1.7.1 Smart Cities

Svět se stále více urbanizuje a tento trend bude stále růst. Méně než jedna třetina světové populace žila ve městech v roce 1950. Do roku 2050, budou dvě třetiny naší lidské populace obyvateli měst. Rychlý růst typicky namáhá městskou infrastrukturu, silnice, mosty a kanalizační systémy, často dosahují své maximální kapacity, což stěžuje přístup k městským službám. Dnes jsou města zodpovědná za 60 % až 80 % světové energie a emisí skleníkových plynů a spotřebují 60 % veškeré pitné vody. [41]

Plzeň vybudovala jako první město v České republice vlastní síť pro IoT, kterou nabídne pro městské firmy a školy. Jde o senzorickou síť a technologii LoRa, kdy na pokrytí Plzně stačí 20 přístupových bodů tzv. bran a aktuálně je v provozu 17 těchto bran. Náklady na jednu bránu činí zhruba 20 000 korun českých. Tento projekt se rozjel jako součást iniciativy Smart City Plzeň, jehož cílem je zjednodušit a zpříjemnit obyvatelům Plzně životy a lépe naplánovat své každodenní činnosti. Účel tohoto projektu je poskytnout městským organizacím možnost vybudovat vlastní a jedinečnou infrastrukturu pro IoT řešení, včetně zpracování a uložení dat v datovém centru SITMP. Aktuálně je v Plzni registrovaných 39 IoT zařízení, která běží na síti LoRa s 27 423 přenesených zpráv od začátku spuštění sítě LoRa v Plzni. [42-43]

Další stanovený cíl projektu je podpora vývoje a kontroly Hardwaru a Softwaru pro školy a studenty. Na Západočeské univerzitě v Plzni vznikl projekt SmartCAMPUS, kde se testují nejnovější a nejmodernější smart a IoT technologie na území univerzitního kampusu. Univerzitní kampus má vybudovanou vlastní síť LoRaWAN a pro testování je využíváno pokrytí technologií Sigfox. Aktuální projekty, na kterých Fakulta elektrotechnická pracuje, jsou např. KETCube, IoT laboratoř, Cloud a Smart Parking. [44]



Obr. 1.7 Mapa pokrytí Plzně signálem LoRa (převzato z [45])

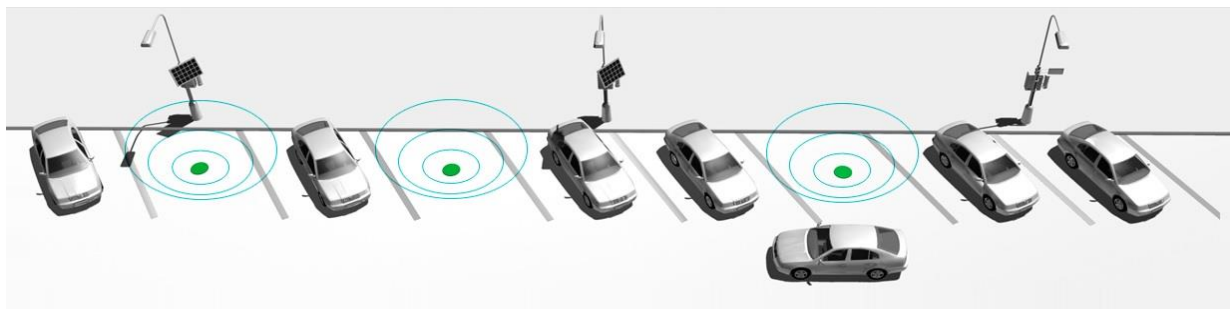
Následující zpracované projekty jsou funkční implementací IoT do českých měst, které usnadňují občanům životy a firmám peníze a čas.

1.7.1.1 Smart Parking

Hledání parkovacích míst během dopravních špiček v přeplněných městech může být časově náročné a navíc řidiči, kteří slepě hledají parkovací místa, vytvářejí další dopravní zácpy. Hledání volného parkovacího místa je také ekologická zátěž, při které denně dojde ke spálení přibližně jednoho milionu barelů ropy. [46]

Projekty, které se zabývají Smart Parking, fungují na principu infračervených a ultrazvukových senzorů. Práce senzorů je snímat, zda je parkovací místo volné nebo ne. V České republice funguje firma CITIQ – inteligentní technologie pro městskou mobilitu, která se systémem chytrého parkování zabývá. Magnetický detektor funguje pro detekci a monitoring parkovacích míst. Detekce je založena na kontinuální měření geomagnetického pole. Magnetický detektor je připojen k síti LoRa nebo SIGFOX v komunikačním kanále 868 nebo 916 Mhz. Každý detektor radiově komunikuje

s datovým kolektorem usazeným např. na sloupu elektrického vedení nebo sloupu veřejného osvětlení. Datový kolektor shromažďuje data od detektorů a posílá je na centrální server pro zpracování a vyhodnocení dat. Zaplněnost provozovaných parkovacích míst lze kontrolovat pomocí prosté signalizační tabule nebo mobilní aplikace. [47-48]



Obr. 1.8 Magnetické detektory osazené na parkovišti (převzato z [47])

1.7.1.2 Smart Garbage systém

Se stále větším přílivem obyvatel do měst a rostoucím turismem roste i počet vyhozeného komunálního odpadu. Koše v některých místech doslova přetékají, vytvářejí znečištění a také nepříjemný zápach okolo nich. K řešení této situace se postupně do měst implementují projekty nazývající se IoT Smart Garbage management systém. Tyto systémy monitorují odpadkové koše a informují o stavu jejich naplnění.

Inteligentní popelnice na odpadky, samonabíjecí ze solární energie, které komunikují v reálném čase o jejich naplnění, zabraňují přetečení a eliminují nepotřebné sběry nenaplněných košů. Díky tomu se ušetří čas, palivo a opotřebení silnic.

BigBelly je takovou společností, která mění způsob, jakým přistupujeme ke sběru odpadů. Díky úspěšným pilotním projektům po celém světě od Singapuru, přes New York City až po Melbourne, pracuje na snížení četnosti sběru odpadu o 70-80 %. Plně automatizovaný mikroprocesorem řízený systém vnímá plnost a stav odpadkové koše. Vestavené senzory čtou a vyhodnocují úroveň plnosti koše a mají vestavěný lis odpadků, který šetří místo až osmi běžných odpadních košů. CLEAN je cloudový dispečink, který funguje přes webové rozhraní. Přes cloud se může plánovat, analyzovat a optimalizovat svoz chytrých BigBelly odpadkových košů. [49]

Pilotní programy proběhly i v České republice, ve městech – Praha, Brno a Karlovy Vary. Zkušební provoz v Melantrichově ulici v Praze, kde bylo instalováno 6 ks košů BigBelly v objemu 2600 l, které byly vyměněny za 8 ks běžných košů v objemu 590 l. Oproti běžným odpadním košům se snížil vývoz o 93 % a zvětšil se celkový objem košů o 530 %. Pokud se tyto čísla převedou do financí, za půl roku fungování této technologie ušetřila Praha na svozu a obsluze 830 000 Kč bez DPH. [50-51]



Obr. 1.9 Chytré koše BigBelly (převzato z [49])

2 Porovnání internetu věcí a průmyslového internetu věcí

Mezi nejvíce diskutovaná témata dnešní doby patří technologické a podnikatelské příležitosti vytvořené Internetem věcí (IoT) a Průmyslovým internetem věcí (IIoT). Internet věcí je často označován jako „smart“ objekt, pod který řadíme vše od automobilů, domácích spotřebičů až po boty a světelné spínače, které se připojují k internetu, předávají a přijímají data a propojují fyzický svět s tím digitálním světem. Kromě výše zmíněného Internetu věcí (IoT) existuje další podobná koncepce nazvaná Průmyslový internet věcí (IIoT). Oba koncepty mají stejný hlavní charakter dostupnosti, inteligentních a propojených zařízení. Obecným a nejvíce povrchním rozdílem IoT a IIoT je jejich využití a používání. Zatímco IoT se nejčastěji používá pro spotřebitele, IIoT se používá pro průmyslové účely, jako je výroba, monitorování, řízení v průmyslových oblastech. Cílem této kapitoly bude poukázat na nejvýznamnější rozdíly mezi IoT a IIoT.

Využití IoT bývají obvykle zaměřené na spotřebitele. Jako takové obvykle zdůrazňují pohodlnost uživatelů a přizpůsobení se jejich funkcí uživatelským preferencím a potřebám. Typickými příklady jsou služby inteligentního bydlení, služby zaměřené na lokalizaci v maloobchodních aplikacích a široká škála služeb, které zahrnují mobilitu uživatelů. Na druhé straně se případy IIoT zaměřují na fyzické systémy a procesy, které se snaží chytrě automatizovat výrobní prostředky. Jako takové zdůrazňují výkon, škálovatelnost a schopnost pracovat v náročných prostředích. [52]

Zejména aplikace a zařízení IIoT jsou určeny pro drsná průmyslová prostředí, jako jsou továrny, ropné rafinérie, sklady a energetické závody. V těchto prostředích jsou obvykle teploty, vlhkost a rádiové rušení vysoké, což vyžaduje odolnější komunikační protokoly ve srovnání se zařízeními IoT. Kromě toho v těchto prostředích nejsou přístroje snadno a často dostupné pracovníkům. I když by zařízení IoT měla také dodržovat dobrou energetickou účinnost, aby se prodloužila životnost baterií přenosných zařízení, požadavek na to je mnohem nižší, protože je pro uživatele snadné nabíjet a podle potřeby je znovu instalovat. [52-53]

Architektura IIoT je postavena tak, aby vyhovovala požadavkům na nízké zpoždění při řešení poruch nebo nefunkčnosti a měla by okamžitě přejít na záložní systém. [53]

Většina aplikací IoT nefunguje na starších zařízeních. To je případem osobních zdravotnických aplikací, které se opírají o nejmodernější smartwatches, smartphony a zdravotnické prostředky. Naopak aplikace IIoT musí brát v úvahu velký počet starších strojů a zařízení, jako jsou PLC, výrobní stroje a distribuované řídicí systémy, které se nacházejí ve většině průmyslových zařízení. Proto je vyvinout značné technologické úsilí, aby se převedly starší původní systémů na systémy založené na IoT. [54-55]

Převážná většina průmyslových aplikací zahrnuje určitou operaci, která mění fyzický svět. Jsou to funkce zařízení, které mění provozní rychlost stroje, řídí chování robota nebo zastavují dopravník a jsou všudypřítomnými složkami aplikací IIoT v továrnách, skladech, závodech. Na rozdíl od většiny aplikací IIoT je většina aplikací IoT zaměřena na získávání informací založených na zpracování datových toků z různých senzorů a zařízení, aniž by nutně uzavírala smyčku do fyzického světa. Mnoho aplikací je založeno na každodenních činnostech uživatele a neobejde se bez lidského prvku. [55-56]

2.1 Přínosy a výhody IIoT

Propojení senzorů se stroji a následnému shromáždění a sdílení velkých objemů dat, je nyní možné provádět v reálném čase a monitorovat tak výrobu flexibilně s okamžitou reakcí na jakoukoliv změnu či poruchu v procesu výroby. Může se porovnávat plánovaná výroba s výrobou v reálném čase, synchronizovat procesy se skladovými zásobami a měnit rychlost strojů a výrobních linek. [57-58]

Vzdálená správa zařízení umožňuje pracovníkům spravovat a monitorovat zařízení připojené přes síť IoT odkudkoliv a není tedy nutné, aby pracovník vykonával monitoring přímo u stroje. Je potřeba nastavení chytrých senzorů a protokolů tak, aby aktivně vysílaly správná data a díky tomu bude možno spravovat zařízení z tzv. Homeoffice a snižovat výdaje na energii a redukovat celkové provozní náklady. [57-58]

Aby se vývoj a hranice v oblasti IIoT posouvaly dále, potřebují se nasbírat veliké objemy dat. IIoT pomáhá propojovat a analyzovat produktová, procesní a výstupní data, která jsou poté vyhodnocena. Data pomáhají s průběžným zlepšováním a optimalizací chyb a problémů vyskytujících se v různých fázích výrobních procesů. Následně se můžou implementovat vylepšení a stejným procesem si ověřit, zda fungují. [57-58]

Čárové kódy jsou nedílnou součástí všech logistických firem. V IIoT se využívají ve stále větší míře rádiové identifikace (RFID), které poskytují větší možnosti. Propojením značek RFID se systémem čárových kódů je možné shromažďovat a sdílet velké objemy dat o výrobcích, materiálech, probíhající výrobě a pohybech skladových zásob. [57-58]

Autonomní řízení výrobních procesů, jako jsou automaticky naváděná vozidla (Automated Guided Vehicles – AGV) a automatizované skladovací a vychystávací systémy (Automated Storage and Retrieval Systems – ASRS), patří mezi důležité aspekty IIoT. Výroba běží zcela autonomně od vyzvednutí a doplnění chybějících materiálů a komponentů od samotné výroby až po skladování hotových výrobků a veškerá komunikace se odehrává v reálném čase. [57-58]

Komunikaci výrobních firem s různými dodavateli komponentů a materiálů lze řešit pomocí IIoT pro automatizaci a optimalizaci procesu. Firma poskytuje provozní údaje, výrobní objemy a stav skladových zásob dodavatelům pro lepší podporu zásobování a dodávek potřebných materiálů právě včas (just-in-time). [57-58]

V současném vysoce konkurenčním prostředí je nutné, aby byla data o chodu firmy co nejaktuálnější pro potřeby řízení rozhodnutí managementu o přijímání správných rozhodnutí s významným dopadem na zisk a náklady firmy. IIoT umožňuje poskytovat analyzovaná data managementu na výrobní úrovni, aby mohl rozhodovat o správném chodu firmy, jako je například zvyšování firemních zisků a snižování nákladů. [57-58]

3 Implementace průmyslového internetu věcí

Snaha IIoT je propojit továrnu s celou řadou nových aplikací, které se pohybují kolem výroby. Tyto aplikace mohou být v rozsahu od připojení továrny k LPWAN síti, sdílení výrobních zařízení jako služby nebo větší pružnosti a flexibility v rámci samotných výrobních procesů. První a nejtěžší evoluční krok k reálné sdílené smart továrně je spojení a přístupu všech externích zúčastněných stran dodavatelů a výrobců. Mezi tyto zúčastněné strany patří dodavatelé materiálů, výrobních strojů, lidských zdrojů a subjekty zabývající se údržbou a přestavbou strojů.

Některé z hlavních výzev spojených s implementací IoT systémů zahrnují cenovou dostupnost, integraci a přístupnost sítí a interoperabilitu systémů. Většina společností čeká na investice do projektů IoT z důvodů nejednotné a cenově náročné integraci a organizaci výrobků založené na systémech IoT, proto integrace IoT do průmyslu probíhá pomalu.

3.1 Společnost DEIF

Výroba, distribuce a správa elektrické energie je náročná na procesy a na přísné kontroly, které musí být efektivní a zároveň za co nejmenší provozní náklady. Data jsou dnes kritickým faktorem, který hraje v efektivnosti zmiňovaných procesů velikou roli.

Společnost DEIF [59-60] je globálním lídrem na trhu v oblasti ekologických, bezpečných a spolehlivých řídicích řešení pro decentralizovanou výrobu elektřiny na souši i na moři. Jednou z hlavních produktových řad společnosti DEIF je řada diesellových generátorů, které se používají v kritických aplikacích, jako je lodní pohon, ropné plošiny, pobřežní stanice a další. Divize Power & Marine divize DEIF má kolem 40 000 diesellových generátorů. Poruchy těchto diesellových generátorů by mohly mít za následek značný pokles provozní kapacity, což by mělo za následek značné ztráty.

Využití služby Microsoft Azure IoT a mobilní aplikaci Insight je schopen zákazník získávat data ze svých diesellových generátorů např. kritické chyby, výkon generátoru, napětí generátoru, palivo a GPS lokaci. Platforma provádí přibližně 34 milionů zpráv měsíčně.

Výhody a dopady využití IIoT pro firmu DEIF jsou zlepšení provozuschopnosti diesellových generátorů pro své zákazníky, proaktivně diagnostikovat problémy s výkonem pro diesellové generátory, aby se snížily poruchy a snížení nákladů na odstávky spolu se zvýšením spokojenosti zákazníků.

3.2 Wegis & Young

Inteligentní vodoměry jsou názorným příkladem řešení průmyslového internetu věcí, které pomáhají energetickým a vodárenským společnostem měřit spotřebu vody v reálném čase, monitorovat úniky a pomáhat spotřebitelům inteligentně šetřit vzácné vodní zdroje.

Rodinný podnik Wegis & Young [61] vlastní zemědělský konglomerát sídlící v Kalifornii, který hospodaří s pozemky o rozloze více než 10 000 hektarů půdy, spravuje zemědělské podniky a nemovitosti. V důsledku silného sucha vytvořila Kalifornie nové předpisy s přijetím zákona o udržitelném využívání podzemních vod. Kalifornské farmy produkují plodiny s nižší odolností vůči suchu, například se jedná o mandle, pistácie, granátová jablka, a spolu s vyššími cenami vody vytvořily pobídku pro zemědělce, aby investovali do vodohospodářských technologií IIoT.

Společnost Machfu, spolupracovala firmou REDtrac, lídrem v monitoringu kritických zemědělských systémů. Kteří vytvořili cloudové řešení WATERtrac, které zjednodušuje proces nasazení systémů, čidel a shromažďování dat v cloudu. Jednotná brána integruje všechny aspekty sběru dat a propojení s cloudem a díky tomu zkracuje dobu nasazení čidel a senzorů z několika dnů na méně než dvě hodiny. Toto řešení založené na cloudu, včetně WATERtrac, monitoruje aspekty zemědělských studen, jako je hladina vody ve studnách či spotřebovaná energie – ať už elektřiny, zemního plynu, nafty nebo propanu, náklady energií na základně přesné doby použití, spotřebovaná voda podle průtoku a časového intervalu, pH a elektrická vodivost (EC) pro kvalitu vody, vibrace motoru a hřídele s upozorněním na mazání hřídele čerpadla.

Výsledné výhody pro společnost Wegis & Young zahrnují sledování přesného využití vody na akr, sledování poklesu efektivnosti vrtů, předvídání a plánování údržby vrtů, monitorování provozních nákladů a snížené náklady na elektrickou energii.

3.3 Ericsson Maritime ICT

Faktem je, že lodě přepravily v roce 2013 odhadovaných 9,6 miliardy tun nákladu, což představuje 80 % objemu světového obchodu. Roztříštěnost dodavatelského řetězce od výroby až po sklad a následně dalším výrobcům a dopravcům, znemožnilo účinně sledovat jejich náklad mezi přístavy. Ačkoli lodní doprava po staletí spojovala vzdálená místa, lidi a průmyslová odvětví, izolovanost lodí na moři představuje pro námořní průmysl jedinečný soubor výzev v oblasti logistiky a konektivity, neboť se snaží dodávat zboží včas a bez poškození zboží. Vzestup družicových komunikací a dalších technologií IoT inspiroval švédskou komunikační společnost Ericsson [62] k řešení dvojího problému fragmentace dodavatelského řetězce a izolace námořních plavidel jedním řešením: Ericsson námořní ICT Cloud platformou.

Námořní ICT Cloud poskytuje lodním organizacím možnost připojení na sjednocené platformě a propojení těchto plavidel do stejné sítě, což umožňuje revoluční sdílení dat v rámci organizačního ekosystému. Senzory monitorují vše od polohy lodě, rychlosti až po stav a teplotu chlazených nákladních kontejnerů, které poskytují lodním společnostem a výrobcům informace v reálném čase o svém zboží. Systém nejen monitoruje náklad a lodě, které ho přepravují, ale také dává zúčastněným stranám v celém průmyslu možnost získat a analyzovat data v reálném čase z výrobního skladu ke konečnému příjemci.

Díky tomu námořní cesty mohou být optimalizovány pro úsporu paliva, na změny počasí a minimalizaci zpoždění v celém logistickém řetězci. Plavidla mohou automaticky komunikovat s výrobcí dílů pro rychlejší údržbu. Data o nákladu a logistice mohou být také automaticky sdílena na každém úseku cesty a napomáhají ke kratší dodacím lhůtám, rychlejšímu nákladu a výkladu zboží v přístavu a díky tomu výrobci mohou lépe naplánovat svou další zásilku.

3.4 Firma WITTE Automotive

Firma WiTTE Automotive se primárně zabývá výrobou v oblasti mechatronických zamykacích systémů, dále investuje do svého vývoje mechatronických a mechanických řešení pro dveře, přední a zadní kapoty, zámkové garnitury, dveřní kliky a produkty do automobilových interiérů.

V oblasti IIoT firma rozjela projekt s názvem Industry 4.0 [63] a v rámci tohoto projektu se mimo jiné zabývají technologií a sítí LoRaWAN. Z technologického hlediska využití IIoT je firma ve fázi zjišťování, jakým způsobem se dají senzory a síť LoRaWAN vhodně využít např. zjištění teploty ve strojů přes senzory. Největší výhody sítě LoRaWAN vidí firma v nízkoenergetické náročnosti na baterie senzorů a čidel. Další výhodou sítě jsou velmi nízké pořizovací náklady, což znamená cenu pouze senzoru bez nutnosti nákupu kabeláže, natahování a propojení kabeláže, bez nutnosti napájení senzoru. Nevýhody pro firmu WiTTE Automotive v síti LoRaWAN je její nízký přenos packet a velké omezení přenosu zpráv. Další, co firma zkouší je sledování pohybu výrobků v halách pomocí GPS lokalizace s technologií LoRaWAN, ale zde naráží na mnoho problémů. Uvnitř budov a hal je problém s dostatečnou silou signálu, rozlišovací schopnost GPS v rámci několika metrů a omezení počtu odeslaných zpráv – pro monitoring by bylo vhodné aspoň každou minutu odeslat informaci o poloze.

Dále by firma WITTE Automotive velmi významně ocenila příhraniční spolupráce se sítěmi SigFox, Lora atd. WITTE je německá firma a ve chvíli, kdy se nějaký koncept nasadí zde v Čechách, chce WITTE i stejný koncept nasadit jak v Německu, tak i třeba v Bulharsku, kde mají své výrobní továrny. Problém tkví v nejednotném nadnárodním standardu, protokolech a podporovaných pásmech.

Dále firma zkoumá IoT jednotku Azure Sphere od společnosti Microsoft, kdy firma vlastní dva testovací vzorky a k tomu dodaný systém Windows 10 IoT Core. Má jít o jednotku, která má kladné vlastnosti z Raspberry Pi a Arduina. Jednotku Azure Sphere chce firma využívat na výrobních linkách, kterým říkají Scan Point. Toto zařízení s touchscreen obrazovkou a čtečkou RDIF osobních čipů pracuje na základní desce OLinuXino, bohužel základní deska nezvládá real-time operace, a proto se snaží základní desku nahradit jednotkou Azure Sphere. Nespornou výhodou pro firmu WITTE

Automotive je napojení jednotky Azure Sphere na cloudovou platformu Microsoft Azure, kdy přes zabezpečenou cestu lze přenášet data z výrobních linek a přes mikroslužby je možné data zpracovávat dále, například kolik kusů se vyrobilo, kolik z toho bylo zmetků, kdo za tu výrobu je zodpovědný a čas výroby. Logistický úsek používá manipulační vozítka běžící na IoT síti, kdy vozítko přenáší data o rychlosti, času zapnutí, času vypnutí a je vybaveno čidly o hlášení srážky s jiným předmětem.

3.5 Společnosti spolupracující se sítí LoRaWAN

3.5.1 reBIT TECH s.r.o.

reBIT TECH s.r.o. je firma [64] zabývající se monitoringem a lokalizací osob a věcí ve vnitřních a venkovních místech, tak aby se zdokonalovaly výrobní procesy, zlepšovala se kvalita výroby a také sledování hostů a zaměstnanců ve vnitřních a venkovních místech. Řešením je IoTracker, který může využít více metod připojení – GPS, WI-FI, BLE a také LoRaWAN.

Příklad použití můžeme vidět v automobilovém průmyslu. Před vypravením automobilu k zákazníkovi je automobil před kompletním zhotovením umístěn na parkovací místo dané automobilky. Parkovací místa zaplňují prostory v řádech několika tisícovek m² a při využití plné kapacity parkoviště je někdy obtížné rychle identifikovat a nalézt umístění auta, které má být vypraveno zákazníkovi nebo odtáhnuto zpět do továrny. IoTracker, který je umístěn na zpětném zrcátku je v přesně stanovený čas zapnut a vysílá informace o své poloze pomocí signálů LoRa, Wi-Fi nebo GPS a teplotě v automobilu.

Výsledek projektu IoTracker odstraňuje nutnost budování komplikovaných a finančně náročných pomocných infrastruktur pro lokalizaci venkovních a vnitřních prostorů pro věci nebo osoby ve firmě. Dále se urychlilo a ulehčilo lokalizaci vyprodukovaných věcí uložených na velkých plochách a současně je zde možnost čtení dalších informací.

3.5.2 Alternetivo s.r.o.

Při provozu vzdálených rozvaděčů se může vyskytnout velký počet poruch z různých důvodů. V případě, že chcete nabízet služby s určitou garancí kvality, je nutné zabránit výpadku služby. Jeden z nejčastějších problémů je přesáhnutí určité míry teploty v rozvaděčích. Soubor těchto prvků podává informace o teplotě, ale jedná se jediné o teplotu daného komponentu, jenž není zjevné, zda je to záležitost rozvaděče nebo je teplotně postižena jiná část v rozvodu. Tento problém firma Alternetivo s.r.o řeší pomocí teplotních čidel, které používají technologii LoRa a využívají pomocné platformy Maxifi IOT. Teplotní čidla zaznamenávají teplotu rozvaděčů a oblasti kolem rozvaděčů jednou za hodinu a informují stav překročení teploty 40°C. Díky tomu se může nastavit chlazení na optimální výkon a garanci správného chodu a kvality. [65]

3.5.3 TANIX

Každá firma, která se zabývá přípravou nebo zpracováním potravin musí dbát přísných zákonů o zachování přísných hygienických standardů. Podle metodiky HACCP [66] musí firma posoudit kritické body teploty a vlhkosti, které by při překročení mohly ohrozit strážníky na zdraví, či znehodnotit suroviny pro další zpracování. Vyskytuje se mnoho firem, které tyto povinné evidence o teplotách a vlhkosti zaznamenávají manuálně. Firma tudíž musí důvěřovat svým zaměstnancům o spolehlivosti a kvalitě záznamů.

Firma Tanix [66] zajistí pomocí svých vybraných senzorů pracujících se sítí LoRaWAN pravidelný odečet teploty, vlhkosti v přesný čas ve skladech, chladících a mrazících zařízeních v rámci metodiky HACCP. Každá snímaná veličina (teplota, vlhkost a popřípadě dalších veličin) má své dovolené rozmezí hodnot a pokud tuto hodnotu překročí, je personál varován pomocí SMS nebo alarmu. Senzory zpravidla snímají teplotu či jiné veličiny jednou za hodinu a automaticky je posílá do systému, kde je možné sledovat statistiky a zpracování dat.

Přínosy pro firmy je bezpečná a automatická metoda odečtu (teploty, vlhkosti a dalších veličin) bez nutnosti ruční evidence záznamů. Dále je zde upozornění pomocí SMS zpráv, či alarmu při přesáhnutí dovoleného rozmezí hodnot. Ušetření nákladů na pracovníka při manuálním zápisu dat.

3.5.4 IoT.water s.r.o.

Prostřednictvím různých sítí IoT (LoRAWAN, Signof, NB-IoT) je schopen zákazník v reálném čase prostřednictvím mobilní aplikace kontrolovat spotřebu vody v domácnosti nebo odhalit v čas havárii. Vodárny [67] můžou řídit dálkové odečty vody díky unikátnímu konceptu Smart Metering Grid, kdy lze získat data pomocí IoT sítí a bezdrátově odečíst spotřebu vody v jednotlivých domácnostech. Data se ukládají na zabezpečený SMG Server, odkud jsou přístupny všem systémům vodárny, počínaje zákaznickým informačním systémem. Mobilní aplikace SMG Mobile je určena pro podporu práce a komunikaci s terénními pracovníky. Pro správu celého systému, diagnostiky, řízení odečtů, podpory a mnoho dalších funkcí je zde prostředí SMG Client Windows a klientská aplikace SMG Server.

Největší výhody systému pro koncové klienty představují automatické odečty vody, které nenarušují soukromí klienta. Další výhoda tkví v ochraně zdraví při složitých odečtech vody a bezpečnosti před falešnými pracovníky. Pomocí mobilní nebo internetové aplikace lze sledovat spotřebu vody 24 hodin denně, 7 dní v týdnu. Pomocí automatického odečtu vody se snižuje riziko reklamace související s nesprávným naměřením při fyzických odečtech terénními pracovníky. Komunikace firem se zákazníky je mnohem rychlejší a efektivnější při nahlašování chyb a závad nebo při mimořádných událostech.

Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo seznámení se s technologickým fenoménem dnešní doby - Internetem věcí a využití reálné implementace Průmyslového internetu věcí do různých oblastí.

V první části jsou popisovány odlišné náhledy a definice týkající se Internetu věcí a Průmyslového internetu věcí, a to z důvodu rozlišného výkladu problematiky většími organizacemi, které se daným jevem zabývají. Dále jsou v práci uvedeny a rozebrány aktuální sítě krátkých a dlouhých dosahů pro přenos informací. Rozebral jsem a dále popsal tři dominantní sítě dlouhého dosahu, které se používají pro Průmyslový internet věcí v České republice, a to i s aktuálním ceníkem. V druhé a třetí části byl blíže rozebrán IIoT a jeho výhody pro podniky. Po desítkách napsaných e-mailů do podniků v České republice se mi podařilo získat pouze jednu firmu – WiTTE Automotive, s níž proběhla výměna informací o problematice IIoT v jejich podniku. V České republice je IIoT ve stavu testování senzorů pro různé účely, ale propojení toku informací mezi jednotlivými podnikatelskými subjekty na vyšší úrovni zatím neprobíhá. Důvody nevyužití technologie IIoT mohou být například vysoké finanční náklady na implementaci, neinformovanost podniků o výhodách IIoT nebo chybějící komplexní plány propojování společností.

Na závěr by bylo vhodné zdůraznit, že IoT a IIoT se stále vyvíjí a rozšiřuje. Kontinuálně vznikají nové projekty a vylepšují se ty staré. Je třeba uvědomit si, že meze IoT a IIoT se zdají být opravdu nekonečné a v blízké budoucnosti bude pravděpodobně možné se se zařízeními využívající tyto technologie potkat téměř všude, a to i v běžném každodenním životě. Už to není vzdálená vize budoucnosti, ale je možné se s implementací IoT a IIoT setkat již dnes. A tím se kdysi vzdálená vize budoucnosti pomalu ale jistě stává současností.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] GILCHRIST. Industry 4.0 : The Industrial Internet of Things. Berkley, United States: aPress, 2016. ISBN 9781484220467.
- [2] VERMESAN, Ovidiu a Peter FRIESS. Nternet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems. Denmark: River Publishers, 2013. ISBN 9788792982735.
- [3] Overview of the Internet of things [online]. International Telecommunication Union, 2012 [cit. 2019.02.02]. Dostupné z: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2060-201206-I!!PDF-E&type=items
- [4] GREENGARD, Samuel. Internet of Things. United States: MIT Press, 2015. ISBN 9780262527736.
- [5] Everything you need to know about IIoT | GE Digital. GE | Imagination at Work [online]. Copyright © 2019 [cit. 2019.02.06]. Dostupné z: <https://www.ge.com/digital/blog/everything-you-need-know-about-industrial-internet-things>
- [6] Internet of Things (IoT) History | Postscapes. Postscapes | Internet of Things (IoT) & Connected Systems Trend Research [online]. Copyright © Creative Commons License [cit. 2019.02.06]. Dostupné z: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-history/>
- [7] TEICHER, Jordan. The little-known story of the first IoT device. IBM Industries [online]. 2018 [cit. 2019.02.06]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/blogs/industries/little-known-story-first-iot-device/>
- [8] PAINE, Tony. Our (info)graphic, short history of the Industrial Internet of Things [online]. International Telecommunication Union, 2016 [cit. 2019.02.07]. Dostupné z: <https://readwrite.com/2016/12/05/history-industrial-internet-of-things-il4/>
- [9] EVANS, Dave. The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. *Cisco IBSG* [online]. 2011 [cit. 2019.02.08]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINA_L.pdf
- [10] HYUN JUNG, Lee a Kim MYUNGHO. The Internet of Things in a Smart Connected World [online]. 2018 [cit. 2019.02.08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326752232_The_Internet_of_Things_in_a_Smart_Connected_World
- [11] ASHTON, Kevin. That 'Internet of Things' Thing [online]. 2009 [cit. 2019.02.08]. Dostupné z: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- [12] VOJÁČEK, Antonín. Základní úvod do oblasti internetu věcí (IoT) [online]. 2016 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/zakladni-uvod-do-oblasti-internetu-veci-iot.html>
- [13] BEDIAN, Knar. The Internet of Things: Understanding Networks [online]. 2016 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <http://blog.intrepid.io/the-internet-of-things-understanding-networks-blog-post>
- [14] RATHOR, Rishi. Point-to-Point Protocol (PPP) [online]. 2018 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <https://www.tutorialspoint.com/point-to-point-protocol-ppp>
- [15] Hub and Spoke vs. Mesh Wireless Networks [online]. 2010 [cit. 2019-02-08]. Dostupné z: <https://www.comparebusinessproducts.com/briefs/hub-and-spoke-vs-mesh-wireless-networks>

- [16] COMPUTER HOPE. Mesh topology [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.computerhope.com/jargon/m/mesh.htm>
- [17] WANG, Lucas. What is the difference between the "Internet of Things" (IoT) and "Machine to Machine" (M2M)? [online]. 2016 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-the-Internet-of-Things-IoT-and-Machine-to-Machine-M2M>
- [18] SAM SOLUTIONS. What Is the Difference Between M2M and IoT? [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.sam-solutions.com/blog/what-is-the-difference-between-m2m-and-iot/>
- [19] DONG-SEONG, Kim a Hoa TRAN-DANG. Industrial Sensors and Controls in Communication Networks. Switzerland: Springer, 2019. ISBN 9783030049263.
- [20] WOOLLEY, Martin. Bluetooth 5 [online]. [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: https://3pl46c46ctx02p7rzdsvsg21-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2019/03/Bluetooth_5-FINAL.pdf
- [21] SONG, Houbing, Sabina JESCHKE, Christian BRECHER a Danda RAWAT. Industrial Internet of Things. Berlin: Springer, 2016. ISBN 3319425587.
- [22] LOHMANN, Gerrit. WIRELESS TECHNOLOGY WirelessHART™ [online]. 2011 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: http://files.pepperl-fuchs.com/selector_files/navi/productInfo/doct/tdoct1841a_eng.pdf
- [23] CISCO. 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white-paper-c11-713103.pdf>
- [24] SORNIN. LoRaWAN™ 1.1 Specification [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: https://loro-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_specification_v1.1.pdf
- [25] Služby IoT – Připojíme vaše chytrá zařízení k internetu. Datové centrum, přenos dat, cloud | cra.cz [online]. 2019 České Radiokomunikace a.s. [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.cra.cz/sluzby-iot>
- [26] LORA® ALLIANCE. *A technical overview of LoRa® and LoRaWAN* [online]. 2015 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: https://www.tuv.com/media/corporate/products_1/electronic_components_and_lasers/TUeV_Rheinland_Overview_LoRa_and_LoRaWANtmp.pdf
- [27] STARNET, S.R.O. *CENÍK TELEKOMUNIKAČNÍCH SLUŽEB pro IoT síť pro internet věcí na technologii LoRa* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.starnet.cz/download/cenik-iot.pdf>
- [28] SIGFOX – princip, struktura, protokol, použití – IoT portál. IoT portál – Brána do světa internetu věcí [online]. Copyright © 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2017/05/29/sigfox-princip-struktura-protokol-pouziti/>
- [29] Mapy pokrytí – IoT portál. IoT portál – Brána do světa internetu věcí [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/mapa-pokryti/>
- [30] Technologie Sigfox – simplecell.eu. simplecell.eu – Connecting Things [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://simplecell.eu/technologie-sigfox/>
- [31] SigFox network architecture | LTN network interfaces. RF Wireless Vendors and Resources | RF Wireless World [online]. 2012 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Sigfox-network-architecture.html>

- [32] SIGFOX. Sigfox Technical Overview [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.ismac-nc.net/wp/wp-content/uploads/2017/08/sigfoxtechnicaloverviewjuly2017-170802084218.pdf>
- [33] SIGFOX. CENÍKTELEKOMUNIKAČNÍCHSLUŽEB [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: https://simplecell.eu/wp-content/uploads/2017/02/CENÍK_TELEKOMUNIKAČNÍCH_SLUŽEB_v4.0.docx.pdf
- [34] LANDSTRÖM, Sara, Joakim BERGSTRÖM, Erik WESTERBERG a David HAMMARWALL. *NB-IoT: a sustainable technology for connecting billions of devices* [online]. 2016 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.ericsson.com/en/ericsson-technology-review/archive/2016/nb-iot-a-sustainable-technology-for-connecting-billions-of-devices>
- [35] REDAKCE. *NarrowBand IoT* [online]. 2016 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/04/30/narrowband-iot/>
- [36] Mapy pokrytí – IoT portál. IoT portál – Brána do světa internetu věcí [online]. 2019 [cit. 04.06.2019]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/mapa-pokryti/>
- [37] MEKKIA, Kais, Eddy BAJICA, Frederic CHAXELA a Fernand MEYERB. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>
- [38] KRČMÁŘ, Karel. Rough Sea of IoT Business is our Playground [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <http://www.m2mc.eu>
- [39] YUKHYMENKO, Constantin. Where is the IoT used? [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.quora.com/Where-is-the-IoT-used>
- [40] What are the best examples of the 'Internet of Things'? [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <http://www.iot.qa/2017/12/what-are-best-examples-of-internet-of.html>
- [41] *Urbanizace* [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Urbanizace>
- [42] BARBORKOVÁ, Eva. *Plzeň má jako první město v ČR vlastní Síť internetu věcí* [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <http://plzen-turista.cz/obcan/aktuality/aktuality-z-mesta/plzen-ma-jako-prvni-mesto-v-cr-vlastni-sit-internetu-veci.aspx>
- [43] IoT Plzeň. IoT Plzeň [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://iot.plzen.eu>
- [44] REDAKCE. *Plzeň a okolí má novou síť LoRaWAN* [online]. 2016 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/09/20/plzen-a-okoli-ma-novou-sit-lorawan/>
- [45] SmartCAMPUS ZČU. SmartCAMPUS ZČU [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.smartcampus.cz>
- [46] REDAKCE. IoT Smart City – What is Smart Parking? [online]. 2016 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <http://www.infiniteinformationtechnology.com/iot-smart-city-what-is-smart-parking#respond>
- [47] CITIQ S.R.O. Systém chytrého parkování [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <http://www.citiq.cz/images/obsah/desatero.pdf>
- [48] CITIQ s.r.o. - detektory pro městskou dopravu a parkování. CITIQ s.r.o. - detektory pro městskou dopravu a parkování [online]. 2017 [cit. 2019-06-04] Dostupné z: <http://www.citiq.cz/index.html>

- [49] Smart Waste Management for Cities - Bigbelly World Leading Smart Waste. Bigbelly - Smart Solutions for Cities // World Leader in Smart Waste [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <http://bigbelly.com/solutions/city/>
- [50] *Zkušební provoz v Melantrichově ulici snížil frekvenci svozů o 93%* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: https://docs.wixstatic.com/ugd/f8ec77_e8fe3d1618fb40bbb37c2eea07007c4f.pdf
- [51] SEDLÁK, Jan. *Praze se prý chytré popelnice osvědčily, instalovat chce další* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/aktuality/praze-se-pry-chytre-popelnice-osvedcily-instalovat-chce-dalsi/?ic=gallery-header&icc=backlink>
- [52] EHRENREICH, Daniel. *IoT vs IIoT differences you must know* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://iiot-world.com/connected-industry/iiot-vs-iiot-differences-you-must-know/>
- [53] MCCLELLAND, Calum. *The Industrial Internet of Things - What's the Difference Between IoT and IIoT?* [online]. 2016 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.leverage.com/blogpost/difference-between-iiot-and-iiot>
- [54] MEDIA PUBLICATIONS. *Compare IoT and IIoT: Find 11 Differences* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.ramax.ru/en/company/press-center/media-publications/228/>
- [55] VINOD SINGH, Abhishek. *How IoT is Evolving in the Industrial Sphere?* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.kelltontech.com/kellton-tech-blog/how-iiot-evolving-industrial-sphere>
- [56] RANGER, Steve. *What is the IIoT? Everything you need to know about the Industrial Internet of Things* [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.zdnet.com/article/what-is-the-iiot-everything-you-need-to-know-about-the-industrial-internet-of-things/>
- [57] REDAKCE. *Co dokáže IIoT?* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iiot-portal.cz/2018/12/15/co-dokaze-iiot/>
- [58] CONTROL ENGINEERING ČESKO. *Co dokáže IIoT?* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.vseoprmyslu.cz/digitalizace/prumyslovy-internet-veci/co-dokaze-iiot.html>
- [59] MICROSOFT. *DEIF Powers up its customers' Performance with Azure Empowered Industrial Internet of Things* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/deif-manufacturing-azure-india>
- [60] DEIF A/S. *REMOTE MONITORING* [online]. 2018 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://deif-cdn.azureedge.net/v-dj183abesrao/-/media/files/publications/remote-monitoring/insight-uk-2018--lowres.pdf?la=en&hash=E7F6F59AB564D2AE4DE53EC4A41A66DF20F6B740>
- [61] INDUSTRIAL INTERNET IN ACTION. *The Impact of IoT on Smart Farming and Water Usage Efficiency* [online]. 2017 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iiconsortium.org/case-studies/IIC-Machfu-Case-Study-Final.pdf>
- [62] WATSON, Douglas. *A Maritime IoT case study* [online]. 2016 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/maritime-iiot-case-study-douglas-watson>
- [63] Blažek, Aleš. Vedoucí úseku IT ve společnosti WITTE AUTOMOTIVE. Telefonní rozhovor. 2019 [cit. 2019-06-04]

- [64] CRA. *Automatizovaná a inteligentní lokalizace věcí a osob ve vnitřním i vnějším prostředí* [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/lokalizace-veci-a-osob-ve-vnitrnim-i-vnejsim-prostredi>
- [65] CRA. *Monitoring teploty rozvaděčů* [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/monitoring-teploty-rozvadecu>
- [66] CRA. *TANIX – HACCP* [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/tanix-vse-pod-kontrolou>
- [67] CRA. *Dálkové odečty vody* [online]. 2019 [cit. 2019-06-04]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/dalkove-odecty-vody>

