

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb

**Analýza a technologické možnosti datových  
přenosů technologie LTE NB**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

Autor práce: Bc. Zdeněk Kolář

Praha 2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Zdeněk Kolář

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Analýza a technologické možnosti datových přenosů technologie LTE NB**

Název anglicky

**Analysis and technological possibilities of LTE NB data transmissions**

---

### Cíle práce

Cílem práce je ověření funkčnosti technologie NarrowBand IoT nově zavedené na stávajících sítích LTE Vodafone. Základním předpokladem bude stanovení technických a technologických aspektů používání služby. Následně bude definováno několik základních parametrů (GPS, teplota, vlhkost, tlak), které budou přenášeny uvedenou technologií. Tyto přenosy budou testovány za různých podmínek a v různých místech ČR. Na základě zjištění a praktických výsledků testování bude formulován předpoklad využívání služby včetně predikce jejího dalšího vývoje.

### Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Literární rešerše
4. Metodika
5. Popis technologie
6. Výběr HW a ověření jeho funkce
7. Konstrukce testovací jednotky
8. Měření a zpracování výsledků
9. Předpoklady dalšího vývoje
10. Závěr, zhodnocení, doporučení pro provoz

## Doporučený rozsah práce

50 – 60 stránek včetně obrázků a grafů

## Klíčová slova

IoT, LTE, sítě, smart city

---

## Doporučené zdroje informací

firemní literatura a zdroje Vodafone, T-mobile, O2

Grant, Svetlana: "3GPP Low Power Wide Area Technologies – GSMA White Paper" (PDF). gsma.com. GSMA. p. 49. Retrieved October 17, 2016.

internetové zdroje, např. <https://www.iot-portal.cz/>,

<http://www.instructables.com/id/LTE-NB-IoT-Shield-for-Arduino/>

Jones, Dan: "Ericsson, Intel, Nokia Back New Narrowband LTE IoT Spec". lightreading.com. LightReading. p. 1. Retrieved September 24, 2015.

Lawson, Stephen: "LTE standard for Internet of Things machines gets the green light". pcworld.com. PCWorld / IDG. p. 1. Retrieved September 24, 2015.

Lawson, Stephen: "NarrowBand IoT standard for machines moves forward". computerworld.com. Computerworld / IDG. p. 1. Retrieved September 24, 2015.

Luo, Chao: "3GPP TS45.001: GSM/EDGE Physical layer on the radio path" (ZIP / DOC). portal.3gpp.org. 14.1.0. 3GPP. p. 58. Retrieved May 27, 2017

---

## Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

## Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2018

**doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2019

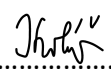
## Čestné prohlášení

*„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Analýza a technologické možnosti datových přenosů technologie LTE NB“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.*

*Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.*

*Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“*

V Praze dne ..... 31. 3. 2019 .....

.....  .....

Bc. Zdeněk Kolář

## **Poděkování**

Problematika bezdrátové technologie LTE NB v době psaní diplomové práce byla velmi náročná z důvodu nedostatečných relevantních zdrojů, ze kterých by se daly čerpat ověřené informace. Některé poznatky, které z počátku byly považovány za pravdivé se postupně ukazovaly jako chybné a tím i nervozita a veškeré procesy spojené s psaním této diplomové práce byly velmi náročné nejen pro mě, jakožto autora této diplomové práce, ale i mého vedoucího práce a nejbližšího okolí. Proto poděkování patří rodině, která se snažila po celou dobu mě podporovat a vytvářet tak klidnější prostředí. Poděkování také patří vedoucímu diplomové práce Ing. Zdeňkovi Votrubovi Ph.D., který po celou dobu vedení práce se mě snažil posouvat správným směrem.

**Abstrakt:** Diplomová práce pojednává o analýze a vyhodnocení použitelnosti nové bezdrátové technologie LTE NB. Jsou popsány jednotlivé vývojové sady s různými modemy, které umožňují připojení do bezdrátové sítě, a následně jsou otestovány. Vybraná vývojová sada je doplněna o senzory pro měření fyzikálních veličin a bezdrátově jsou data přenášena prostřednictvím technologie LTE NB do daných platforem. Vzhledem k množství platforem, ze kterých lze vybírat, je zaměření na nejzajímavější a nejpoužívanější. Měřená data jsou postupně ukládána na straně platformy a následně zpracována. Vyhodnocuje se především signálové pokrytí České republiky a spolehlivost doručení přenášené informace, které se staly výsledky diplomové práce.

**Klíčová slova:** LTE NB, IoT, LPWAN, LoRa, SigFox, Bezdrátová technologie

#### **Analysis and technological possibilities of LTE NB data transmissions.**

**Summary:** This diploma thesis deals with the analysis and assessment of the new wireless technology LTE NB applicability. It contains a description of particular development kits with different modems enabling connection to a wireless network and these kits are tested afterwards. Selected development kit is enriched with Measurement of Physical variables sensors and data is transferred via LTE NB technology to given platforms. In the view of the fact that there are numerous platforms to choose from, I focused on the most interesting and most popular ones. Measured data is gradually stored in the platform sides and processed subsequently. Evaluation is aimed at coverage and signal strength in the Czech Republic and reliability of file transfer service, which became the results of my diploma thesis.

**Key words:** LTE NB, IoT, LPWAN, LoRa, SigFox, Wireless technology

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>METODIKA PRÁCE</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>POPIS TECHNOLOGIE</b> .....	<b>5</b>
4.1	VZNIK LTE-NB A M.....	5
4.1.1	<i>Stand Alone</i> .....	7
4.1.2	<i>Guard Band</i> .....	7
4.1.3	<i>InBand</i> .....	8
4.2	LTE STANDARD.....	8
<b>5</b>	<b>VÝBĚR HARDWARE A OVĚŘENÍ JEHO FUNKCE</b> .....	<b>11</b>
5.1	MODEM U-BLOX SARA-R410M.....	11
5.2	MODEM BC66.....	12
5.3	DOSTUPNÉ VÝVOJOVÉ SADY A PLATFORMY.....	12
5.3.1	<i>Sodaq SARA AFF R410M + SIM Vodafone</i> .....	12
5.3.2	<i>Quectel BC95</i> .....	18
5.3.3	<i>Particle Boron LTE</i> .....	18
5.4	PLATFORMY A ZPRACOVÁNÍ DAT.....	21
5.4.1	<i>AllThingsTalk, Vodafone</i> .....	21
5.4.2	<i>Particle</i> .....	29
5.4.3	<i>Platforma Node-Red</i> .....	34
<b>6</b>	<b>KONSTRUKCE TESTOVACÍ JEDNOTKY</b> .....	<b>37</b>
6.1	SENZORY A PERIFERIE.....	37
6.1.1	<i>Teplota, vlhkost a tlak</i> .....	37
6.1.2	<i>GPS modul</i> .....	37
6.1.3	<i>Akcelerometr</i> .....	38
6.1.4	<i>LCD display</i> .....	38
6.2	SKLADBA DATOVÉ ZPRÁVY.....	38
6.3	MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ SPOTŘEBY.....	39

<b>7</b>	<b>MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>41</b>
7.1	POROVNÁNÍ S OSTATNÍMI TECHNOLOGIEMI .....	46
7.1.1	<i>Pokrytí České republiky LTE NB</i> .....	46
7.1.2	<i>Pokrytí České republiky SigFox a LoRa WAN</i> .....	47
7.1.3	<i>Energetická náročnost odeslání dat</i> .....	49
7.1.4	<i>Finanční zatížení danou technologií</i> .....	51
<b>8</b>	<b>PŘEDPOKLADY DALŠÍHO VÝVOJE</b> .....	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR, ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ PRO PROVOZ</b> .....	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>56</b>



# 1 Úvod

V rámci vývoje technologií a lidské populace vznikají potřeby sbírat čím dál více informací. Postupně se však začalo narážet na problém, jak informace efektivně a jednoduše globálně sbírat. Pro veškerý sběr informací potřebujeme mít jednotlivé senzory a veličiny, které se začínají monitorovat v rámci měst, zemědělství, továren a dalších odvětví potřebující jistou flexibilitu a univerzálnost sběru dat. Když se podíváme na průnik požadavků z globálního pohledu, zjistíme, že jedním ze společných rysů je co nejsnazší instalace daných senzorů, přenositelnost, a tím pádem nevyhnutelná nutnost použití bezdrátových technologií pro přenos měřených veličin a zařízení napájených bateriemi, či akumulátory. Z toho plynou vysoké nároky na minimální spotřebu elektrické energie se zachováním co největšího dosahu signálu pro spolehlivý přenos měřené informace. Proto se již v roce 2015 objevily informace o takzvaných LPWAN bezdrátových sítích. Obecně LPWAN sítě jsou bezdrátové sítě z anglického názvu „low-power wide-area-network“ navržené pro komunikace na velkou vzdálenost (až desítky kilometrů) s malým množstvím dat a extrémně malou spotřebou elektrické energie. Ve své bakalářské práci jsem se z těchto důvodů zabýval použitím těchto bezdrátových technologií v době, kdy se budovala infrastruktura celoplošného pokrytí v rámci technologií SigFox a LoRa WAN sítí. V dnešní době je Česká republika pokryta těmito technologiemi téměř celoplošně a začínají vznikat zajímavá řešení sběru velkého množství dat, a tím i nových pohledů nad dosavadními předpoklady chování monitorovaných prostředí. Proč tedy vznik další bezdrátové LPWAN technologie, když už tu máme LoRa WAN a SigFox?

Dosavadní LPWAN sítě pracují v ISM pásmu 868 MHz a jsou zde omezeny pravidly, které nařizuje Český telekomunikační úřad. Jednou z vlastností ISM pásem je, že kdokoliv, kdo chce a splní daná pravidla chování v těchto frekvenčních pásmech, může vysílat. Díky tomu je poměrně frekvenční pásmo zahlcené různými drobnými zařízeními jako jsou bezdrátové ovladače od pohonů vrat a veškeré bezdrátové klíčenky. Důvod je prostý, frekvence 868 MHz má ideální parametry z hlediska prostupnosti/odrazivosti v terénu a množství přenesených dat. Z tohoto důvodu nemůže nikdo zaručit, že frekvenční pásmo nebude příliš zarušené, a tím pádem dané senzory budou korektně odesílat data.

Technologie LTE NB (LTE narrowband) již pracuje v licenčním pásmu velmi blízko právě ISM pásmu, a proto si zachovává vlastnosti stávajících LPWAN sítí, a přitom jsou díky

licenčnímu pásmu jasně daná pravidla a ne každý může tedy na těchto frekvencích vysílat, kdy potřebuje. LTE NB je tedy další alternativa s dalšími specifickými vlastnostmi, čímž tak doplňuje stávající portfolio bezdrátových technologií.

## 2 Cíl práce

Cílem práce je ověření funkcionality využitelnosti nové bezdrátové technologie LTE NB (narrowband) pro provoz bateriově napájených zařízení. V rámci aktuální výstavby infrastruktury, především operátorem „Vodafone“, bude vyjednání SIM karet u operátora a ověření možnosti přenosu dat. K bezdrátovému přenosu dat bude sloužit vývojová sada s modemem pro síť LTE-NB, GPS lokátorem a základními senzory pro sběr dat s vyhodnocením pokrytí testovacích lokalit a porovnání s ostatními LPWAN technologiemi. S bezdrátovými technologiemi se také váže portál operátora a platformy, v rámci kterých jsou dále zařízení provozována a data z platformy vyčítány.

### 3 Metodika práce

V prvotní fázi diplomové práce bude zkoumána problematika bezdrátové technologie a její možnosti s ohledem na raný vývoj u operátorů a obecné možnosti využití době 2018 – 2019.

Následovat bude zajištění konektivity do LPWAN sítě u společnosti Vodafone, která jako jediná nabízí celoplošné pokrytí a hodí se tak pro testování sítě v rámci celé ČR.

Pro reálný sběr dat bude pořízeno několik vývojových sad různé konstrukce a bude provedeno srovnání jednotlivých modemů, platforem a vlastností.

V rámci přehledu řešené problematiky se budeme věnovat primárně bezdrátové technologii LTE-NB a provádět porovnávání se sítěmi v oblasti LPWAN. Hlavní porovnání budou s ohledem na možnosti sítě LoRa WAN a SigFox.

Vzhledem k velmi brzkému stádiu vývoje a nasazení technologie LTE-NB je minimum možných zdrojů pro čerpání informací, a tak jsou informace především čerpány ze školení, zahraničních portálů a vlastních zkušeností s problematikou LPWAN sítěmi.

Pro vyhodnocení funkčnosti bezdrátové sítě LTE NB bude použita vývojová sada doplněná o základní desku s možností bezdrátového přenosu, taktéž sítí LoRa WAN. Díky kombinaci technologií bude možné porovnat bezdrátové technologie, které jsou si velmi blízko svým použitím, vlastnostmi a vytvořit si tak závěr, která bezdrátová technologie má aktuálně lepší pokrytí a spolehlivost úspěšného doručení dat. Data, která se budou sítěmi odesílat, budou získána ze základních senzorů pro měření teploty, vlhkosti a tlaku a polohy. Zpracování dat bude probíhat vyčítáním z platforem vázaných k dané technologii a konečná analýza bude provedena v softwarové platformě „Node-RED“.

## 4 Popis technologie

LTE-NB neboli LTE narrowband je Low Power Wide Area Network (LPWAN), která vznikla jako doplněk ke stávající technologii LTE. Technologie LTE-NB je navržena pro sběr dat z velmi široké oblasti v rámci měst v řádu jednotek kilometrů a mimo města v řádu až desítek kilometrů dosahu radiového signálu. Jelikož se síť řadí do LPWAN sítí, znamená to, že energetické nároky pro radiový provoz jsou minimální, ale je to dáno také četností komunikace. Senzory, pro které je síť zamýšlena, budou vysílat naměřené údaje pouze několikrát za den a nejedná se tak o oboustrannou komunikaci v reálném čase. Samotná technologie je velmi zajímavá pro operátory tím, že pokud již mají postavenou technologii pro dnes již standardní LTE a chtějí rozšířit své portfolio i o LTE-NB, stačí na svých BTS (base transceiver station) přehrát firmware a operátor tak má vytvořeno pokrytí i pro tuto LPWAN technologii. Ve skutečnosti však situace není tak jednoduchá, a i se začleněním technologie jsou jisté komplikace. V České republice je v době psaní diplomové práce jediný operátor, který má téměř celoplošné pokrytí technologií LTE-NB, a tím je společnost Vodafone. Ostatní operátoři na trhu o tuto technologii usilují, ale komplikuje jim situaci sdílená telekomunikační infrastruktura a prozatím vznikají pouze testovací „ostrůvky“, kde lze i u jiných operátorů síť testovat. Není to však vhodné pro testování technologie s celoplošným pokrytím.

Samotné LTE je velmi rozsáhlé a LTE-NB je pouze velmi úzká výseč z celého spektra LTE technologie. Pro pochopení problematiky budou v následujícím odstavci shrnuty LTE sítě a jejich vlastnosti.

### 4.1 Vznik LTE-NB a M

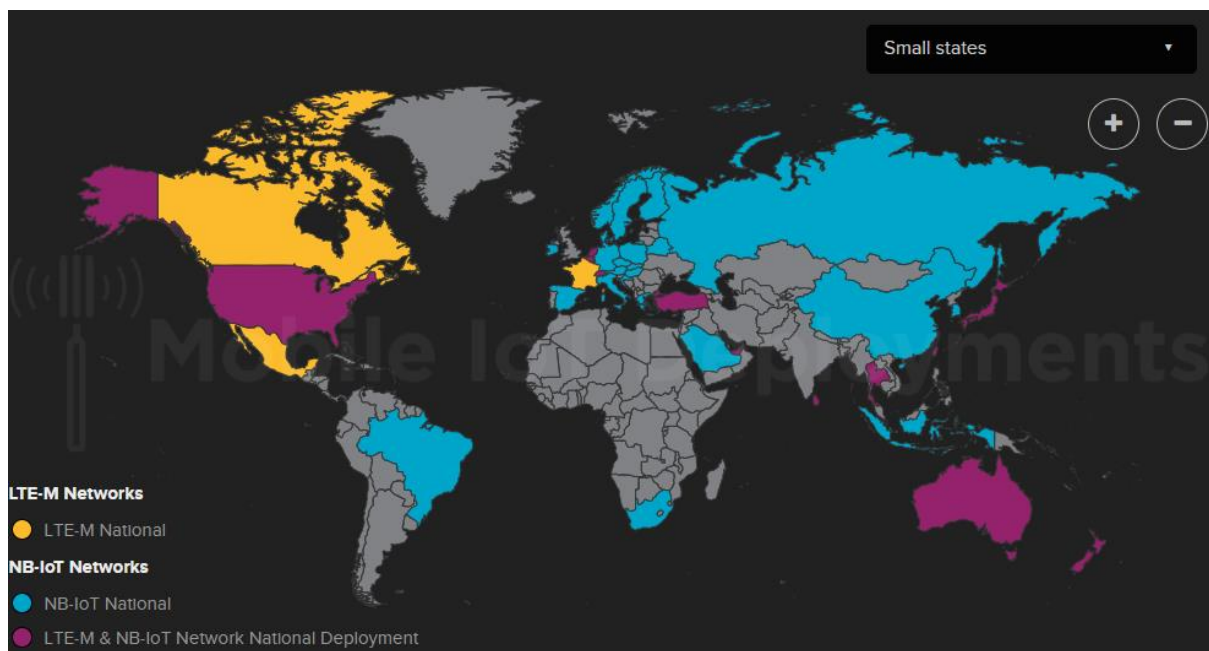
Pro pokrytí mnoha scénářů, které se v realitě vyskytují, vznikla různá řešení pro nízkenergeticky náročnou konektivitu internetového připojení daných zařízení. Automobily, které jsou dnes standardně dodávány s integrovanou konektivitou k internetu, totiž potřebují spolehlivé připojení k internetu v momentě, kdy je vozidlo v provozu a je potřeba řidičovi předkládat aktuální informace o dopravě, či odesílat výrobci diagnostické informace a analyzovat tak chování systémů pro budoucí vylepšování. Tím se pojí vzdálený update software, který je známý například u vozů značky „Tesla“. V momentě, kdy se zařízení nachází v provozním režimu, je ve většině případů dostatek energie, díky které by si uživatel vystačil s aktuálním připojením mobilních operátorů.

Vozidlo je však potřeba mít takzvaně „online“, tedy mít připojeno k internetu i v momentě, kdy je vozidlo zaparkované. Tím vzniká nový požadavek na zcela jiné chování energetických nároků než v běžném provozu. Právě pro podobné scénáře se má do budoucna uplatnit LTE-M.

Dalším z možných typů zařízení v síti jsou malé stacionární senzory, které monitorují jednoduché veličiny, jako jsou teplota, vlhkost, znečištění ovzduší, množství průtoku. Tyto jednoduché senzory obvykle běží na baterii a pro svůj provoz si musí vystačit s vestavěnou baterií a minimálním množstvím přenášených dat. Koncová zařízení potřebují minimální množství energie, kterou spotřebují pro předání informace o změně svého stavu tak, aby spolehlivě dokázaly splňovat svoji funkci několik let. Pro podobná zařízení se uplatňuje technologie LTE-NB.

Nacházejí se zde 2 úsporná řešení, kde v rámci České republiky a větší části Evropy se operátoři rozhodli integrovat energeticky úspornější variantu pro koncová zařízení LTE-NB a přicházejí na trh s řešením pro dálkové odečty energií, či řešení odpadového hospodářství. Na obrázku č. 1 je znázorněna mapa světa s aktuálním pokrytím danými technologiemi. Diplomová práce se bude dále zabývat technologií LTE-NB.

Obr. 1 Implementace v jednotlivých státech technologie LTE NB a LTE M [1]



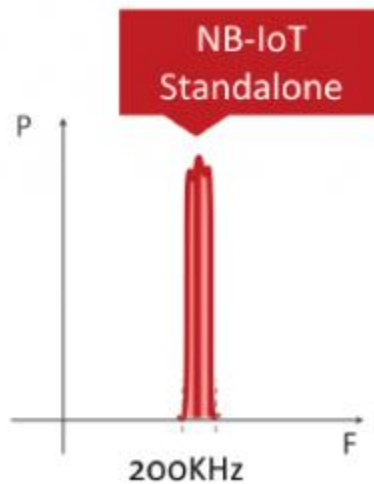
LTE-NB vznikalo jako dodatečná technologie pro stávající systémy a je popsána 3GPP (partnerský projekt třetí generace) jako standard, který umožňuje několik způsobů nasazení do skutečného provozu. Rozhodnutí operátorů v době výstavby jejich sítí bylo velmi klíčové

pro budoucí nasazení právě technologie LTE-NB. Pro nejuniverzálnější implementaci technologie do reálného provozu jsou pro operátory možné tři způsoby nasazení technologie:

### 4.1.1 Stand Alone

Je vhodné nasazení pro GSM infrastrukturu, kde je možné vyčlenit jeden GSM komunikační kanál pro LTE NB pásmo. Viz Obr. 2 [2]

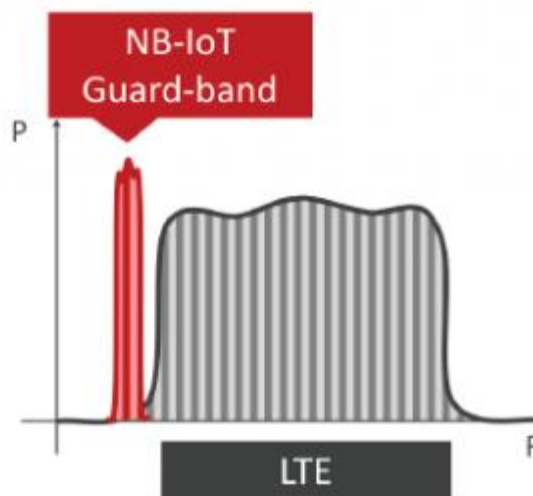
Obr. 2 Stand Alone [3]



### 4.1.2 Guard Band

LTE NB je nasazeno jako samostatná konektivita s nesdíleným spektrem s ostatními službami na BTS. Nejvhodnější varianta z hlediska kvality připojení senzorů a maximálního dosahu pokrytí. [2]

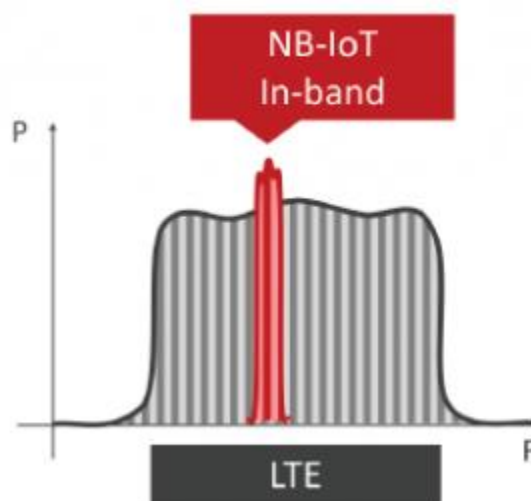
Obr. 3 Guard-band [3]



### 4.1.3 InBand

InBand je pro mobilní operátory nejjednodušší varianta pro zavedení technologie. Sdílí frekvenční pásmo pro klasický LTE provoz, tak LTE-NB provoz. Jedná se tedy pouze o softwarový update výrobce na danou BTS a tedy ekonomické nasazení pro celoplošné pokrytí bez nutnosti dodatečných montáží či jakýchkoliv mechanických úprav na BTS. S ohledem na získaný výsledek představuje nejméně vhodnou variantu z hlediska kvality služby a hloubkového pokrytí lokality. [2]

Obr. 4 In-band [3]



### 4.2 LTE standard

V následující tabulce je zobrazena pouze malá výšeč jednotlivých LTE narrowband standardů navržených 3GPP. V České republice je prozatím implementován standard LTE NB1, který je specifikován v 3GPP Release 13, a to pouze u operátora Vodafone, jak bylo zmíněno.



Tabulka 1 LTE technologie porovnání [4]

V·T·E [10][11]	LTE Cat 1	LTE-M				NB-IoT		EC-GSM-IoT
		LC-LTE/MTce	eMTC			LTE Cat NB1	LTE Cat NB2	
		LTE Cat 0	LTE Cat M1	LTE Cat M2	non-BL			
<b>3GPP Release</b>	Release 8	Release 12	Release 13	Release 14	Release 14	Release 13	Release 14	Release 13
<b>Downlink Peak Rate</b>	10 Mbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s			250 kbit/s		474 kbit/s (EDGE) 2 Mbit/s (EGPRS2B)
<b>Uplink Peak Rate</b>	5 Mbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s			250 kbit/s (multi-tone) 20 kbit/s (single-tone)		474 kbit/s (EDGE) 2 Mbit/s (EGPRS2B)
<b>Latency</b>	50–100ms	not deployed	10ms–15ms			1.6s–10s		700ms–2s
<b>Number of Antennas</b>	2	1	1			1		1–2
<b>Duplex Mode</b>	Full Duplex	Full or Half Duplex	Full or Half Duplex			Half Duplex		Half Duplex
<b>Device Receive Bandwidth</b>	1.4 – 20 MHz	1.4 – 20 MHz	1.4 MHz			180 kHz		200 kHz
<b>Receiver Chains</b>	2 (MIMO)	1 (SISO)	1 (SISO)			1 (SISO)		1–2
<b>Device Transmit Power</b>	23 dBm	23 dBm	20 / 23 dBm			20 / 23 dBm		23 / 33 dBm

Do budoucna se plánuje rozšíření LTE M1 a pravděpodobně následujících variant již však v rámci budoucí výstavby takzvaných 5G sítí. Pokud se podíváme detailněji na Tabulka 1 můžeme porovnat jednotlivé technologie LTE. V levé části tabulky jsou dnes již technologicky starší varianty LTE Cat 1 a vyšší, které slouží pro mobilní připojení mobilních telefonů. Síť v této kategorii mají za úkol uspokojit velké množství připojených zařízení s minimální dobou odezvy a maximální propustností sítě. Pro zajištění požadavku využívají OFDMA (Orthogonal frequency division multiple access) modulaci. Signál je modulován na mnoho vzájemně ortogonálních frekvencích, které jsou nazývány subnosné (subcarriers), kterých bývá až několik tisíc. Samotné subnosné frekvence jsou dále modulovány QAM modulací či QPSK modulací. Díky tomu je možné obsluhovat několik klientských zařízení najednou a zároveň díky modulaci na každé subnosné frekvenci přenést více stavovou informaci. Samotná modulace OFDM se využívala i u starších technologií ADSL u drátových rozvodů mobilních operátorů pro internetová připojení domácností. Mobilní síť kategorie M mají odlišné požadavky, než síť typu Cat 1 a vyšší. Jedná se o začlenění zařízení, která potřebují být připojena k internetu, avšak vyžadují úspornější provoz z hlediska elektrické energie a nevyžadují velkou propustnost sítě. Koncovým produktem tak mohou být telemetrická zařízení, chytré hodinky, automobil či domácí spotřebiče. Propustnost sítě se pohybuje maximálně do 1 Mbit/s. Propustnost sítě stačí k navázání telefonního hovoru a stahování či nahrávání základních požadavků. Mobilní síť 4G tedy LTE však v případě mobilního hovoru nenavazuje telefonní hovor, jak bylo

v historii zvykem, pomocí vytváření okruhových sítí. Tato metodika je naposledy použita ve 2G GSM síti a hovor je přenášen prostřednictvím jednotlivých paketů a jedná se tak pouze o formu VOIP (Voice over internet protocol). Díky tomu je možné obsloužit podstatně více zařízení, než tomu bylo možné u 2G sítí na jednu BTS.

Poslední skupinou označovanou jako NB-IoT je síť, která slouží k připojování stacionárních senzorických zařízení, které mají nejnižší možnou spotřebu energie a naměřené veličiny přenášejí několikrát denně. Maximální propustnost sítě je 250 Kbit/s při downlink (data směrem k senzoru) a dle typu uplink (data od senzoru k operátorovi) multitone 250 kbit/s, nebo single tone 20kbit/s. Propustnost i odezva konektivity nepočítá s audio přenosem či řízení zařízení v reálném čase. Dává však zařízením prostor pro přenos stavových informací nejmenšího rozměru s výborným pokrytím v rámci České republiky a minimální spotřebou elektrické energie. Tím otevírá nové možnosti vzniku zajímavých řešení, která dříve byla složitě vytvářena například pomocí GSM technologie a nebylo možné je dlouhodobě napájet z primárních článků nebo akumulátorů o malé kapacitě. Velmi důležitou vlastností je také zachování lokalizačních služeb. [5] [6]

## 5 Výběr hardware a ověření jeho funkce

Pro testovací účely bylo původním záměrem navržení a následná stavba vlastní elektroniky. S ohledem na vývoj situace s novou technologií a nedostupností modemů na trhu bylo zvoleno jiné řešení, a to koupě vývojové sady, která by zkrátila čas s celkovým vývojem a umožňovala flexibilitu pro případné úpravy. Výběr vývojové platformy byl také založen na konkrétním modemu, který je možné použít pro komunikaci v rámci LTE NB sítě. Tím jsou v době psaní práce 2 výrobci, a to u-blox a Quectel. Vývojové kity proto byly pořízeny dva, respektive tři, a to každý s modemem od daného výrobce. Rozložení kitu je navrženo pro kompatibilitu s Arduino UNO, a tak lze k vývojovým kitům připojit jednoduše velké množství senzorů běžně prodávaných pro platformu Arduino.

### 5.1 Modem u-blox SARA-R410M

Modem od rakouského výrobce u-blox s podporou bezdrátové technologie LTE M, LTE NB a EGPRS. Jedná se tedy o multiregionální modem. Výhodou modulu je pinová kompatibilita s předchozími verzemi modulů pro 2G, 3G řešení, a tak má výrobce IoT produktu dobré předpoklady pro jednoduchou implementaci do již hotového výrobku. Vzhledem k podpoře LTE M i LTE NB si modul poradí v různých státech světa a není potřeba tak produkt designovat pro konkrétní státy. Modul si zároveň zachovává podporu starší konektivity EGPRS samozřejmě s daleko méně úspornou variantou přenosu dat, než je tomu u LTE M či LTE NB. Samotný modem je ovládán pomocí AT příkazů po sériové lince a umožňuje vzdálený update firmware skrze radiovou část. [7]

*Obr. 5 Komunikační modul u-blox [7]*

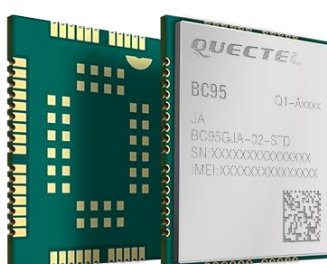


16.0 × 26.0 × 2.5 mm

## 5.2 Modem BC66

Modem od společnosti Quectel s podporou konektivity LTE NB. Modem je vyráběn v několika verzích dle regionu použití. Nabízí velmi malé pouzdro, které je kompatibilní se starší verzí pro GSM/GPRS sítě. Jedná se o jeden z prvních modulů dostupných na trhu v České republice a samotný modem je ovládán pomocí AT příkazů na sériové lince. Modem umožňuje taktéž vzdálený update firmware skrze radiovou část. [8]

Obr. 6 Komunikační modul Quectel [8]



## 5.3 Dostupné vývojové sady a platformy

Pro jednodušší práci s novou technologií bylo přistoupeno ke koupi několika vývojových sad osazenými výše zmíněnými modemy. Vývojové sady velmi urychlily čas strávený jinak nad kreslením motivu vývojové desky a hledáním zbytečných chyb v celkovém návrhu a následného testování.

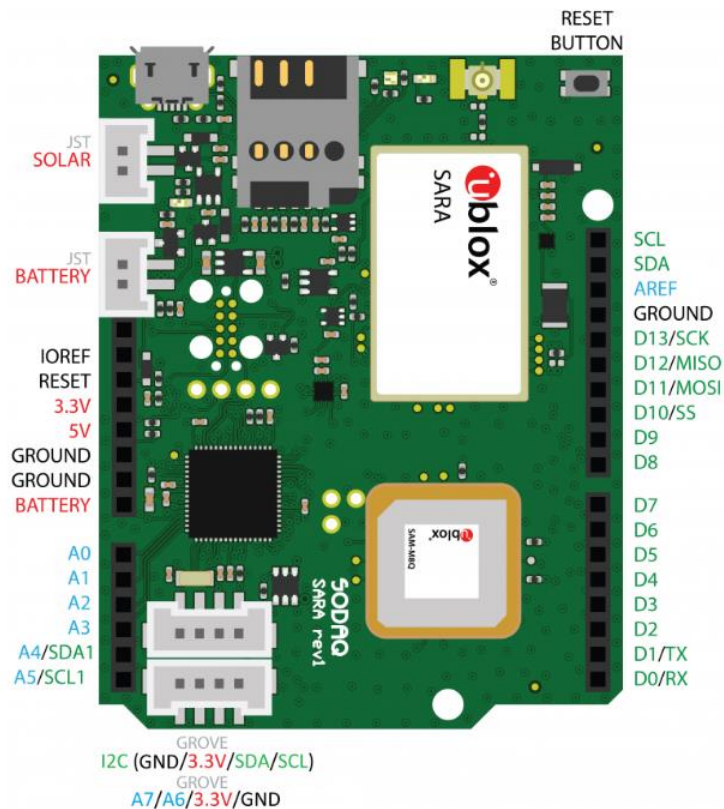
Na trhu se koncem roku 2018 objevilo s příchodem komunikačních modulů několik výrobců, kteří vývojové sady dodávají. Pro co největší univerzálnost, či předchozí zkušenost jiných modulů daného výrobce, se bude vybírat z následujících vývojových sad:

### 5.3.1 Sodaq SARA AFF R410M + SIM Vodafone

Vývojový kit od společnosti Sodaq je osazen LTE NB modulem od společnosti U-blox R410M. Na vývojové desce jsou také osazeny další komponenty, jako jsou procesor, GPS přijímač, akcelerometr, teploměr a správce baterie. Vývojová deska je rozměrově kompatibilní s vývojovou platformou Arduino UNO. Stejně tak je možné procesor programovat skrze vývojovou platformu Arduino, a díky tomuto je možné velice rychle a efektivně začít vytvářet vlastní zařízení s připojenými senzory. Společnost Sodaq vývojovou sadu dodává dokonce

s LTE SIM kartou od společnosti Vodafone a jednoduchým testovacím webovým rozhraním provozované na platformě AllThingsTalk. V základním stavu je SIM karta a program ve vývojové desce svázán s portálem AllThingTalk, který bohužel neumožňuje SIM kartu spravovat jako službu konektivity objednanou přímo od Vodafone, kde má uživatel k dispozici jiný portál, který slouží převážně pro přidání SIM karty a následnou správu konektivity pro dané zařízení obvyklým způsobem, který známe u operátorů pro osobní tarify připojení například mobilních telefonů. [9]

Obr. 7 Vývojová sada SODAAQ [9]



### 5.3.1.1 Program pro UART bridge

Krátká ukázka programu slouží k zprostředkování U-blox modemu skrze vývojovou platformu jako virtuální USB linku do PC. Program je velice vhodný z prvopočátku, pokud je potřeba zjistit, jak modem reaguje na jednotlivé AT příkazy. Máme je možné zjistit veškeré možné chování modemu před tím, než bude napsán výsledný firmware pro koncovou aplikaci.

```

#if defined(ARDUINO_SODAQ_SARA)
/* SODAQ SARA */
#define DEBUG_STREAM SerialUSB
#define MODEM_STREAM Serial1

#else
#error "Please select the SODAQ SARA as your board"
#endif

unsigned long baud = 115200;

void setup()
{
pinMode(SARA_ENABLE, OUTPUT);
pinMode(SARA_TX_ENABLE, OUTPUT);
pinMode(SARA_R4XX_TOGGLE, OUTPUT);

digitalWrite(SARA_ENABLE, HIGH);
digitalWrite(SARA_TX_ENABLE, HIGH);
digitalWrite(SARA_R4XX_TOGGLE, LOW);

    // Start communication
    DEBUG_STREAM.begin(baud);
    MODEM_STREAM.begin(baud);
}

// Forward every message to the other serial
void loop()
{
    while (DEBUG_STREAM.available())
    {
        MODEM_STREAM.write(DEBUG_STREAM.read());
    }

    while (MODEM_STREAM.available())
    {
        DEBUG_STREAM.write(MODEM_STREAM.read());
    }
}

```

Jak je patrné z úvodního popisu, program pouze přeposílá data z jedné sériové linky modemu na druhou linku pro PC s otevřenou terminálovou aplikací a obráceně. Zdrojový kód je překládán ve vývojovém nástroji ARDUINO IDE. Aby byl překlad možný, je potřeba stáhnout do software ARDUINO IDE od výrobce softwarový balíček s podporou konkrétní vývojové sady. Bez toho není překlad možný.

### 5.3.1.2 ARDUINO IDE

*„Arduino IDE (integrated development environment = integrované vývojové prostředí) je napsané v jazyce Java. Jedná se o software vzniklý z výukového prostředí Processing. To bylo mírně upraveno, byly přidány určité funkce a v neposlední řadě podpora jazyka Wiring.“ [10]*

Pro samotné stažení ARDUINO IDE je potřeba si stáhnout software z oficiálních stránek. Po instalaci a spuštění se zobrazí základní obrazovka s prázdnou stránkou zdrojového kódu, respektive pouze s metodou „setup“ pro konfiguraci zařízení po restartu procesoru a následnou metodu „loop“, která je uzavřena v nekonečné smyčce a sepsaných příkazů. Odehrává se tu hlavní funkcionality zdrojového kódu viz Obr. 8.

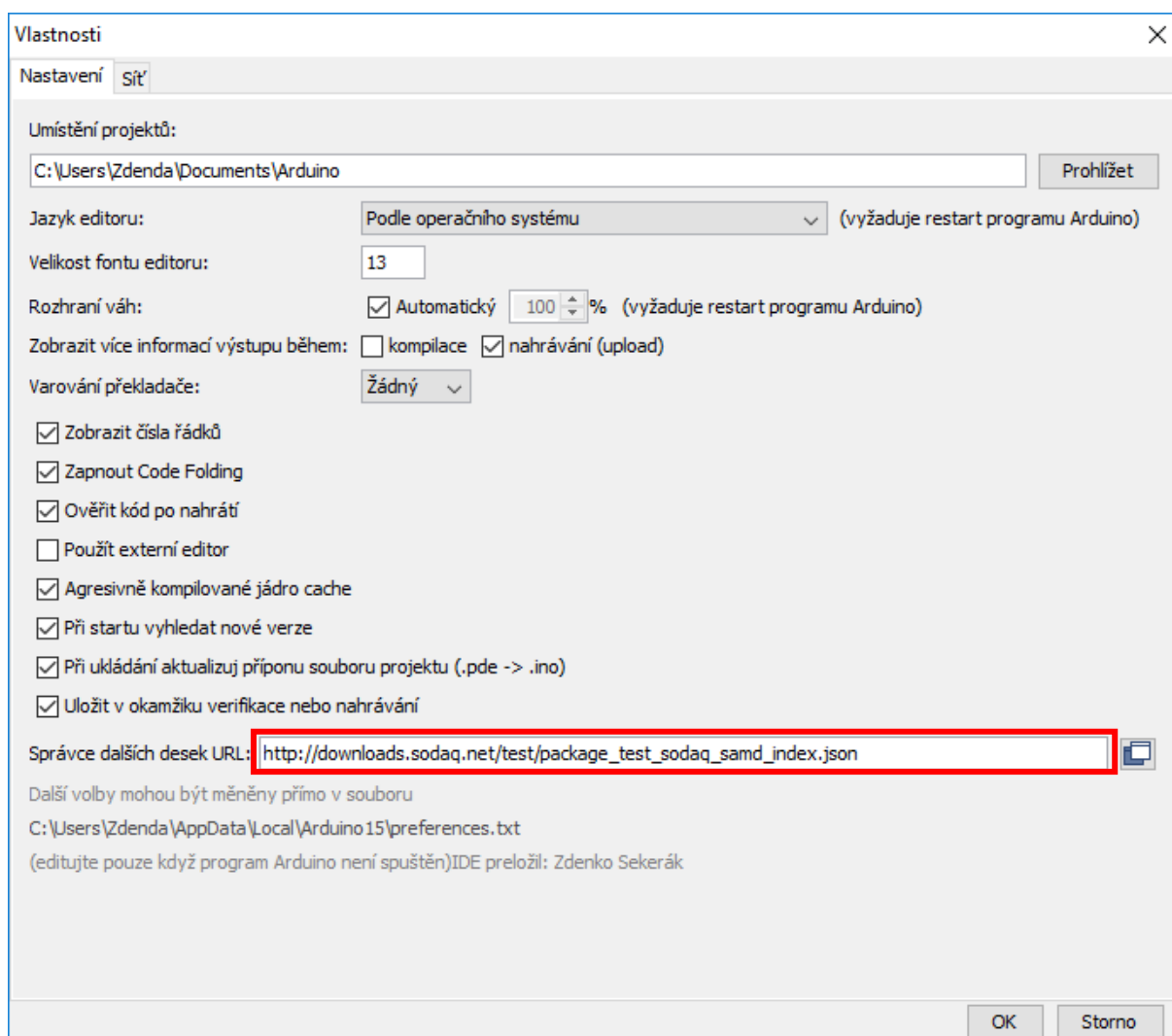
Obr. 8 Vývojové prostředí ARDUINO IDE [vlastní]



```
sketch_feb23a
1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3
4 }
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8
9 }
```

Arduino/Genuino Uno na COM45

Aby bylo možno pracovat s vývojovou deskou, je zapotřebí stáhnout potřebné soubory. To lze provést jednoduchým kliknutím na „Soubor“ a „Nastavení“. V rámci nastavení je potřeba přidat nové URL pro správce vývojových desek. Následně je zapotřebí vložit adresu: „[http://downloads.sodaq.net/test/package\\_test\\_sodaq\\_samd\\_index.json](http://downloads.sodaq.net/test/package_test_sodaq_samd_index.json)“ a potvrdit tlačítkem OK. Nyní již není problém přidat v rámci správce vývojových desek celou platformu od společnosti SODAQ. Po přidání je možná kompilace zdrojového kódu a následné nahrání do vývojové desky.



### 5.3.1.3 AT příkazy

„AT příkazy jsou krátké sekvence, kterými se ovládají modemy. Příkazy jsou standardizovány a platí pro většinu modemů (tyto modemy se pak označují jako AT Hayes kompatibilní). Jednotlivé modemy můžou používat některé své nadstandardní příkazy, které u jiných zařízení nebudou fungovat.“ [11]

„Nejčastějším místem, kde se zapisují AT příkazy, je program typu terminál. Tento program komunikuje přímo s modemem, dokáže ho prostřednictvím těchto příkazů ovládat. Místo pro zadávání AT příkazů má každý komunikační program a zadávat je můžeme i do konfiguračních nabídek modemu. Příkazy se zapisují ve formě AT příkaz (hned za AT příkazy následuje příkaz bez mezer). Po zapsání příkazu se musí příkaz potvrdit klávesou Enter a příkaz je tak proveden. Na jeden řádek je dokonce možné napsat více AT příkazů (např. AT%**C1N1** je



*shodný se dvěma příkazy AT%C1 a ATN1). Na jeden řádek lze ale zapsat maximálně 40 znaků.“*  
[11]

*„Zda je modem připraven pro komunikaci zjistíme napsáním znaků AT v terminálu a potvrzením klávesou Enter. Modem by měl odpovědět OK. Příkazy je možné zadávat tehdy, pokud modem nekomunikuje s jiným modemem po telefonní lince. Pokud již komunikuje, je nutné zapsat tzv. Escape sekvenci ++, vyčkat cca 1 s a poté je možné zadávat další AT příkazy. Do datového režimu je možné se vrátit zadáním ATO.“* [11]

#### **5.3.1.4 Ukázka AT příkazů pro modem**

Po přeložení ukázkového programu v ARDUINO IDE a následném nahrání do vývojové sady je možnost využít přímou komunikaci z terminálu v PC a modemu. Pro otestování komunikace stačí vložit příkaz AT Enter a modem by měl vrátit výsledek operace OK. V případě, že modem odpoví OK, můžeme pokračovat například následujícími příkazy. Pokud však modem neodpoví, může se modem nacházet ve stavu krátce po připojení napájení. V tento moment ještě nejsou provedeny veškeré interní procedury pro připravenost modemu a je třeba chvíli počkat. Tato situace může nastat při psaní vlastního programu, který musí respektovat určitý čas po zapnutí a testovat se dá právě samostatným příkazem AT. Modem podporuje velmi široké spektrum AT příkazů a pro komunikaci je potřeba si stáhnout katalogový list od výrobce modemu s veškerým popisem AT příkazů.

##### **5.3.1.4.1 Vypnutí ověřování PIN SIM karty**

Jedná se o 2 příkazy. První, který odemkne SIM kartu, kde parametrem příkazu je stávající PIN. Druhý příkaz deaktivuje nutnost odemykání SIM karty. Opět je potřeba zadat stávající PIN SIM karty.

```
AT+CPIN="0000"
```

```
AT+CLCK="SC",0,"0000"
```

#### 5.3.1.4.2 Odeslání dat

Jedná se o sekvenci příkazů, která provede připojení do sítě a následný pokus o odeslání dat na zadanou IP adresu a port protokolem UDP s textem „Ahoj svete“.

```
AT+CFUN=15
ATE0
AT+URAT=7
AT+CEREG=3
AT+CME=2
AT+CGDCONT=1,"IP","live.vodafone.com"
AT+COPS=1,2,"20404"
AT+CSQ (Wait for CSQ 99,99 means no signal)
AT+CGATT? (Wait for attach, 1 = attached)
AT+USOCR=17
AT+USOST=0,"AdresaUDPServeru",AdresaPortuServeru ,4,"Ahoj svete"
```

### 5.3.2 Quectel BC95

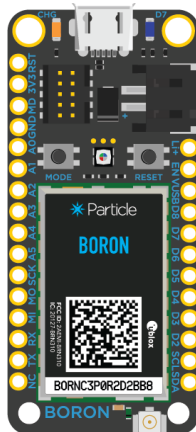
Quectel BC95 je vývojový kit od společnosti QUECTEL, který je velmi jednoduchý. Obsahuje pouze komunikační modul a nezbytné komponenty k provozu samotného modulu. Vývojový kit je navrhovaný taktéž shodně k platformě ARDUINO UNO. Neobsahuje však žádné další komponenty, jako procesor, správu baterií či senzory. Je tedy nutné tento modul připojit k dalšímu zařízení, například ARDUINO UNO a vytvořit tak kompletní jednotku. Společnost QUECTEL však neuvolňuje k modulu veřejně veškeré podklady popisující samotný modul a je potřeba se zaregistrovat na oficiálních stránkách společnosti jako partnerská společnost. Díky těmto důvodům byly s komunikačním modulem provedeny jen základní pokusy a nebyla mu déle věnována pozornost z časových důvodů.

### 5.3.3 Particle Boron LTE

Jednou z velmi zajímavých platforem je společnost Particle, která je na trhu cca 4 roky. V rámci svého působení přišla s celým konceptem IoT řešení, kde se zabývá vývojem hardwarových modulů založenou na ARM architektuře procesorů s nezbytným hardwarem pro napájecí soustavu a konektivitu k datové síti. Kromě daných modulů společnost nabízí celý portál se správou zařízení a jejich konektivity včetně SIM karet. K zařízením, která komunikují skrze mobilní síť totiž společnost dodává globální SIM karty, které fungují téměř ve všech zemích světa za jednotnou cenu a nemusí se tak řešit roaming. Díky tomuto je platforma Particle velmi atraktivní, protože zákazník má vyřešenou jak konektivitu, tak správu samotných zařízení skrze Particle portál. V samotném portálu je možné udržovat zařízení po celou dobu jeho životnosti. Od vzdáleného nahrávání základního firmware až po diagnostiku zařízení na

dálku. Pro možnost začlenění platformy, například do stávajícího systému společnosti, je k dispozici API, v rámci kterého je možné automatizovat některé procesy, či platformu ovládat z vlastního upraveného rozhraní, které lépe splní dané požadavky.

Obr. 10 Hardware platforma Particle Boron [12]



V nedávné době, zatím s velmi omezenou podporou pro Evropu, společnost vydala novou hardwarovou platformu právě na technologii LTE M1 a NB. Díky tomu mohou vznikat zajímavé produkty s již vyřešenou kompletní správou zařízení ve velice krátké době. V rámci této práce je pořízen tento modul, avšak stávající firmwarová podpora je prozatím omezena. V následujících kapitolách práce se bude ojedinelé platformě dále věnováno.

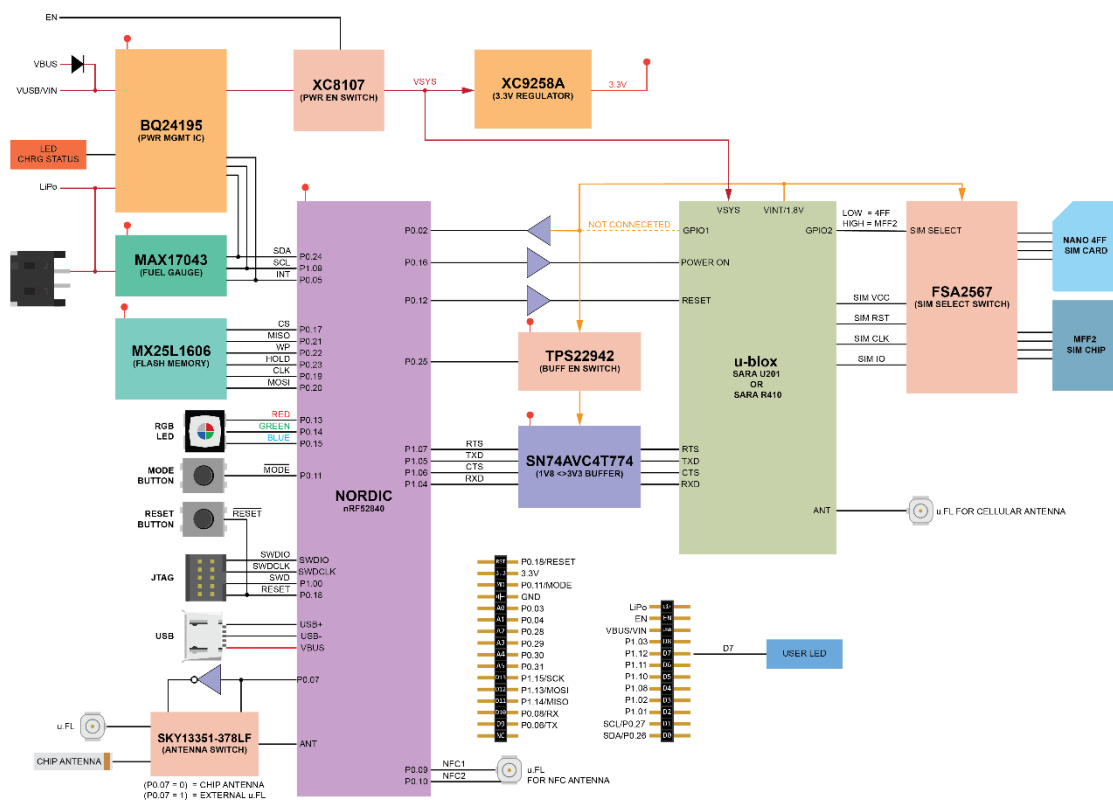
### 5.3.3.1 Základní parametry

Boron LTE je jeden z mnoha hardware modulů společnosti Particle. Pro komunikaci s Particle platformou využívá konektivitu LTE M a LTE NB. Díky použití komunikačního modemu od společnosti u-blox SARA R410M je tak celý modul velmi univerzální z hlediska lokality použití vzhledem k podpoře obou energeticky úsporných LTE standardů. Boron LTE jehož základem je výkonný, a přesto úsporný procesor Nordic nRF52840 řídí celou budoucí aplikaci a vývojářům nabízí dostatečné množství hardwarových prostředků. Na modulu jsou dále implementovány podpůrné obvody pro správu připojené baterie, dobíjecí obvod pro baterii, externí flash paměť či napěťový stabilizátor. Zajímavou vlastností modulu je od výrobce vestavěná eSIM, která zvyšuje robustnost a spolehlivost zařízení v náročnějších prostředích, kde dochází k vyšší prašnosti nebo vibracím. Pro případ potřeby využití jiné SIM karty, než dodávanou na modulu je k dispozici nano SIM slot a není problém vložit vlastní SIM kartu preferovaného operátora. Aktivní SIM karta se posléze softwarově přepíná prostřednictvím obvodu pro výběr konkrétní SIM karty. Nelze tak použít obě vložené SIM karty zároveň. [12]

Procesor NORDIC nRF52840 obsluhuje vestavěný Bluetooth verze 5, díky kterému může celý modul sloužit v roli přístupového bodu pro ostatní senzory. Platforma je připravená pro vytváření MESH topologie pro další bezdrátové moduly skrze Bluetooth. Umožňuje tak snadno pokrýt oblast senzory se společnou konektivitou do platformy. Díky této funkcionalitě lze velmi jednoduše pokrýt například špatně umístěné prostory z hlediska signálu, a přesto sbírat data z určité oblasti, která by jinak nešla bezdrátově připojit skrze LTE technologii. [12]

Procesor dále disponuje NFC technologií a může tak rychle posloužit pro identifikaci zařízení při lokální správě daných zařízení. Na obrázku je znázorněn blokový diagram zobrazující modul Particle Boron a všechny jeho možnosti. [12]

Obr. 11 Blokový diagram Particle Boron LTE [12]



## 5.4 Platformy a zpracování dat

V rámci IoT fungují veškeré technologie s podobnou funkcionalitou. Na jedné straně rozmanitý hardware řeší měření fyzikálních veličin, jejich zpracování a následný přenos skrze bezdrátové sítě a na straně druhé je potřeba data doručit zákazníkovi, který si službu objednal. Uprostřed se nachází služba poskytovatele IoT připojení, která může vypadat různým způsobem. Základní rozdělení služby se dá rozdělit z pohledu datového, a to jestli poskytovatel „pouze“ doručí přijatá data ve formátu, které senzor odeslal a veškeré zpracování je na zákazníkovi, či poskytovatel služby nabízí zpracování dat v rámci platformy, které obvykle dodává se službou připojení. Každé řešení má své výhody i nevýhody a je zajímavé pro určitou skupinu zákazníků. Bude-li se jednat o informačně kritickou aplikaci z hlediska bezpečnosti a spolehlivosti řešení, pravděpodobně si zákazník bude chtít celé pozadí zpracování dat vytvořit na vlastním serveru, kde bude znát veškerá úzká místa celého řešení. Pro jiné účely, kde zákazník ocení již předzpracování dat, či vytvoření větší části aplikace u poskytovatele služby a zjednodušit si celou aplikaci. Jelikož v IoT se opakovaně řeší podobné scénáře od bezpečnosti služby, přes přenos a zpracování dat, vznikají postupně různé platformy, které se snaží pokrývat zmíněnou problematiku. Zákazník se však musí spokojit obvykle s tím, co mu poskytovatel nabídne a právě tato skutečnost, která je stejně důležitá jako samotná volba bezdrátové technologie, může mít taktéž výrazný vliv nad výběrem bezdrátové technologie. U bezdrátové technologie LTE NB je však velký rozdíl oproti jiným LPWAN technologiím. Senzorická zařízení totiž odesílají data na konkrétní IP adresu, kterou mají uloženou ve své konfiguraci. Data jsou doručována napřímo mezi senzorem a serverem, který data dále zpracovává. U jiných bezdrátových LPWAN technologií data putují nejdříve do portálu společnosti, kde se nastaví IP adresa serveru, kam se data přeposílají. S ohledem na možnou rozmanitost funkcionality bude proveden popis třech platforem. Výběr bude proveden na základě rozšířenosti či zajímavosti dané platformy dle testování v průběhu psaní diplomové práce.

### 5.4.1 AllThingsTalk, Vodafone

Při pořízení vývojového kitu od společnosti SODAQ v určitých variantách je vývojový kit dodáván i se SIM kartou společnosti Vodafone. SIM karta je dodaná jako předplacená služba po dobu 6 měsíců s omezením na 2 MB dat přenosu měsíčně. Na první pohled se množství dat může zdát jako velmi malé, avšak je to dostatečná kapacita pro navazování spojení se sítí a

zároveň pro přenos několika bytové informace více než dostatečná kapacita. Nevýhodou této testované SIM karty, která je v rámci balíčku s vývojovou sadou, je skutečnost, že SIM karta není ve vlastnictví kupujícího vývojové sady. Není tak možné sledovat zbývajícím datový limit na kartě v rámci měsíce, či si limit navýšit dle potřeby. Omezení se však týká pouze nákupu vývojové sady s přiloženou SIM kartou. Pokud si u společnosti Vodafone objednáte testovací balíček SIM karet, veškeré SIM karty jsou plně spravovatelné dle potřeb zákazníka. Vodafone dodává alespoň ve variantě vývojového kitu s předplacenou SIM kartou platformu AllThingsTalk. Jedná se o velmi zajímavou platformu, která přejímá data z jednotlivých senzorů a zákazníkovi zprostředkovává data několika způsoby. Tím nejjednodušším způsobem je jednoduchá příprava v podobě nastavení aplikace skrze webovou aplikaci a webový průvodce. Zákazník si tak může přidat zařízení, nastavit jeho pojmenování a nakonfigurovat jednotlivé senzory, či výstupní prvky v podobě abstrakční vrstvy a již dále pracuje se zpracovanými veličinami a ne jednotlivými zprávami, které jsou v různě komprimovaném stavu z důvodu šetření množství přenesených informací bezdrátovou sítí. Výhodou je, že při vytváření uživatelských náhledových panelů s grafy a informacemi již používáme námi označovaná data typu teplota, vlhkost, GPS souřadnice a další. Nevýhodou může být omezený počet operací, které lze v platformě provádět. V následujících odstavcích bude ukázáno, jak probíhá přidání zařízení do platformy.

#### **5.4.1.1 Přidání zařízení**

Ke každé SIM kartě jsou dodávány potřebné informace, díky kterým je možné dané zařízení do platformy jednoduše přidat. Před tím je však potřeba vytvořit uživatelský účet, který je zdarma. Po úspěšném vytvoření uživatelského účtu a přihlášení, platforma nabídne přidání nového zařízení. K tomu je potřeba aktivační kód, který je dodáván se SIM kartou a uživatelský název přidávaného zařízení. Tím dojde k přidání konkrétního zařízení do platformy a je možné se zařízením komunikovat a sbírat měřená data, či provádět zpětné řízení a konfiguraci zařízení.

Obr. 12 Platforma AllThingsTalk přidání nového zařízení [vlastní]

← NEW DEVICE > ENTER DEVICE INFORMATION ×

Vodafone NL

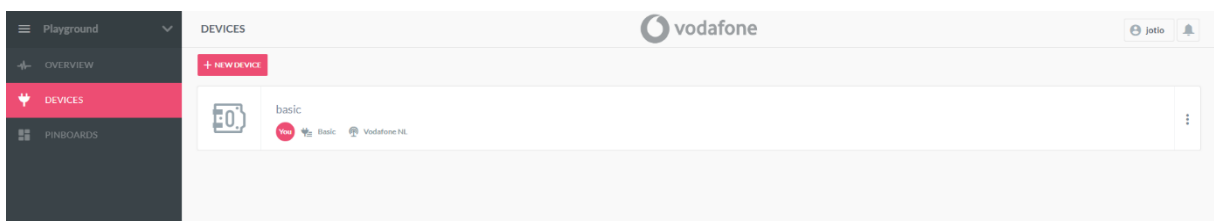
Device name SARA AFF R410M Test board

Activation Code \*\*\*\*\*|

CONNECT

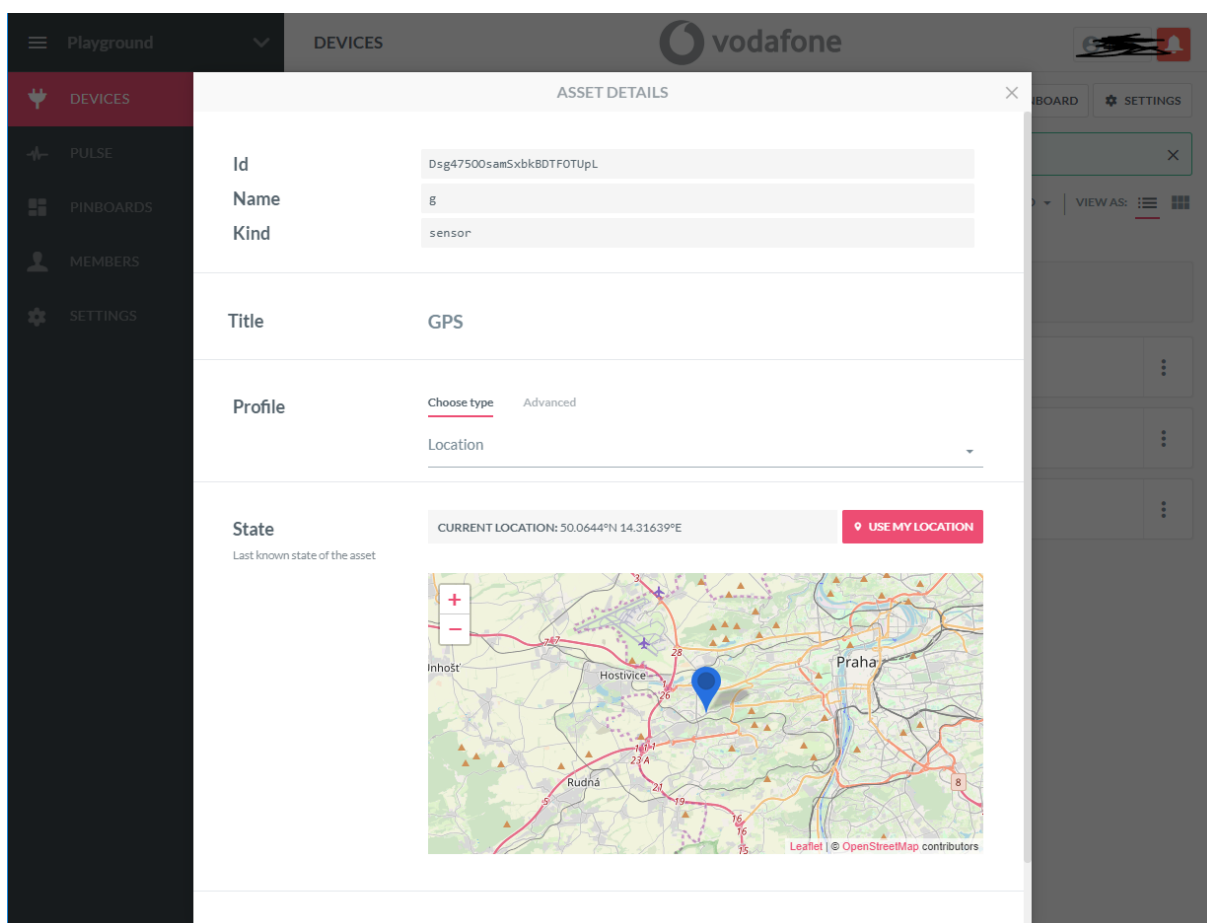
Po vytvoření zařízení je možné provádět další operace. V kategorii zařízení jsou zobrazena jednotlivá zařízení přidána do platformy. Jednoduchým rozkliknutím daného zařízení lze získat data a nastavení vázané k danému zařízení a je možno sledovat historii událostí, přidávat jednotlivé senzory a konfiguraci takzvaného „parsování“ tedy popisu dat a překladač do čitelné podoby pro platformu.

Obr. 13 AllThingsTalk přehled zařízení [vlastní]



V případě rozkliknutí již založeného GPS senzoru lze po konfiguraci upravovat danou specifikaci s poslední známou polohou daného zařízení. Je možno rychle zjistit, zda konverze dat z přijaté zprávy funguje správně.

Obr. 14 AllThingsTalk informace o senzoru v platformě [vlastní]



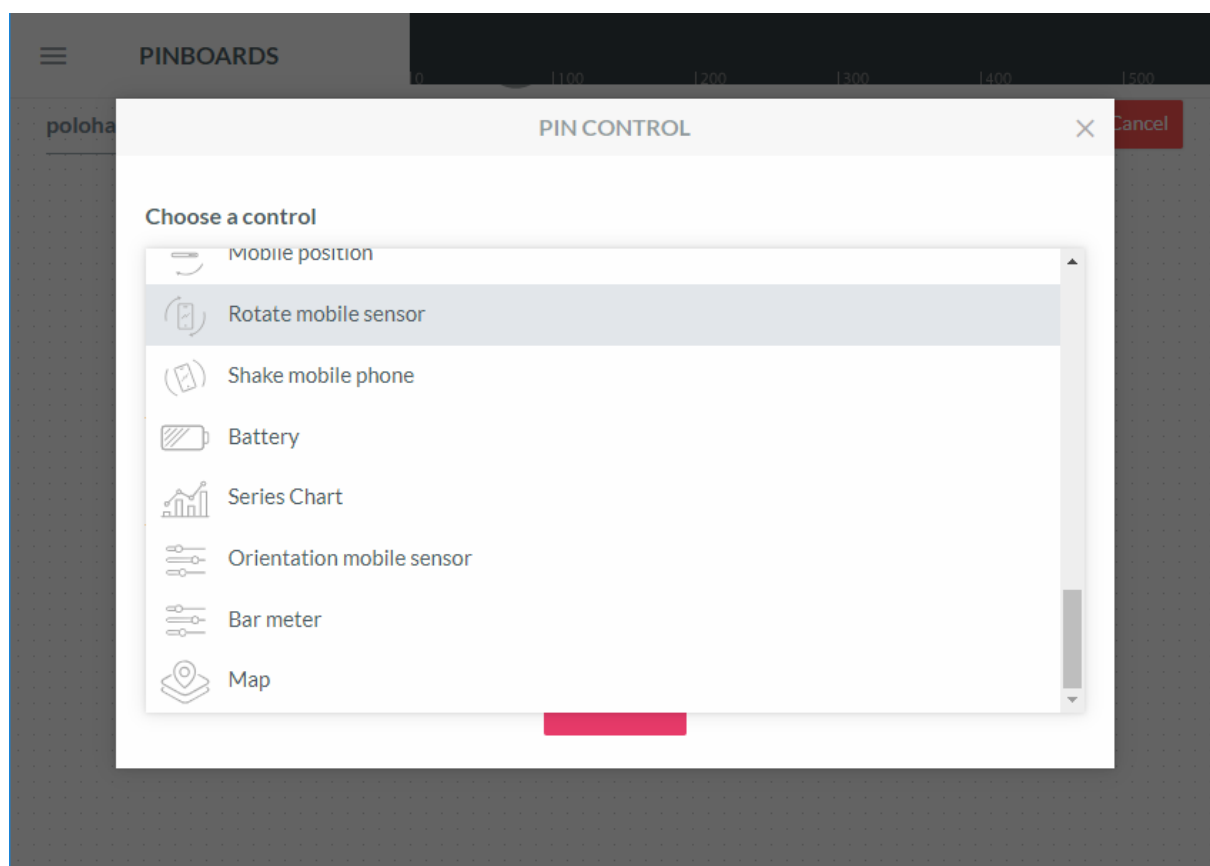
### 5.4.1.2 Vytváření dashboard

Dashboard umožňuje připravit jednoduchý náhled na jednotlivé senzory pohromadě s formátováním, které je přehledné. Dají se tedy data zobrazit formou textu, grafu, nebo různých vizualizací budíků, které pomáhají vnímat data v hlubším kontextu nebo rychleji.

Pro vytvoření dashboardu, který je v rámci platformy nazýván „pinboards“, je potřeba v levé části menu kliknout na „pinboards“ a vytvořit nový dashboard s vlastním názvem. Následně probíhá úprava v podobě vkládání nových zobrazovaných veličin tlačítkem v pravém horním rohu „New pin“.

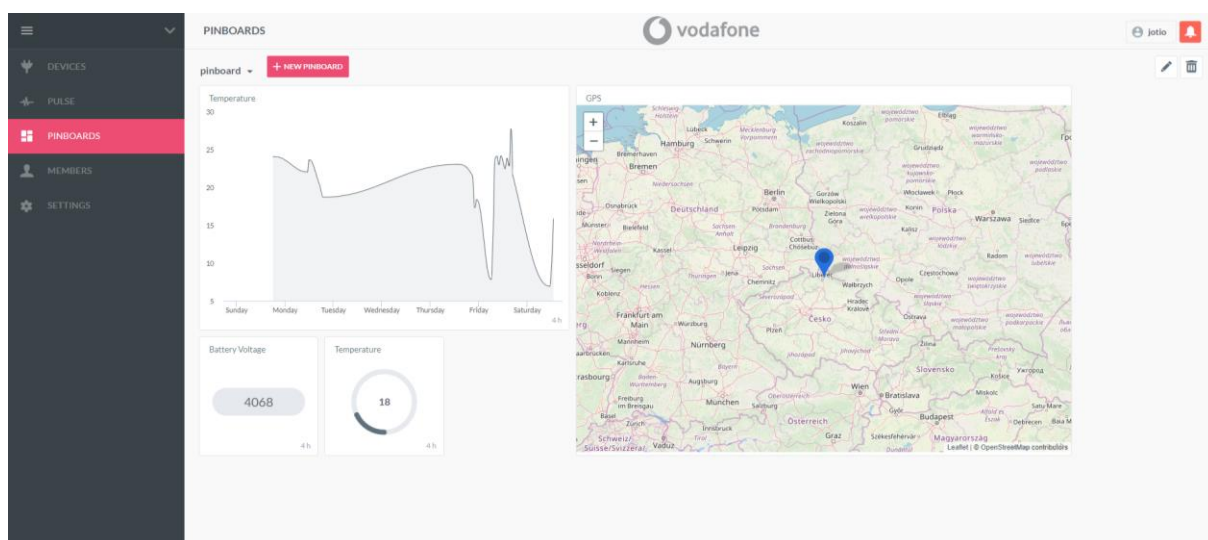


Obr. 15 AllThingsTalk vytváření dashboard [vlastní]



Po vybrání požadovaného zobrazení se v následujícím kroku vybere, ze kterého zařízení data vkládáme, a který konkrétní senzor či akční člen chceme vložit. Je tak možné přidávat data, která jsou v rámci jednoho dashboardu od různých zařízení a provádět tak porovnání mezi jednotlivými zařízeními. Možnosti jsou poměrně velké, však svázané s možnostmi platformy. Výsledný dashboard může vypadat podobně, jako na Obr. 16.

Obr. 16 AllThingsTalk ukázka hotového dashboard [vlastní]



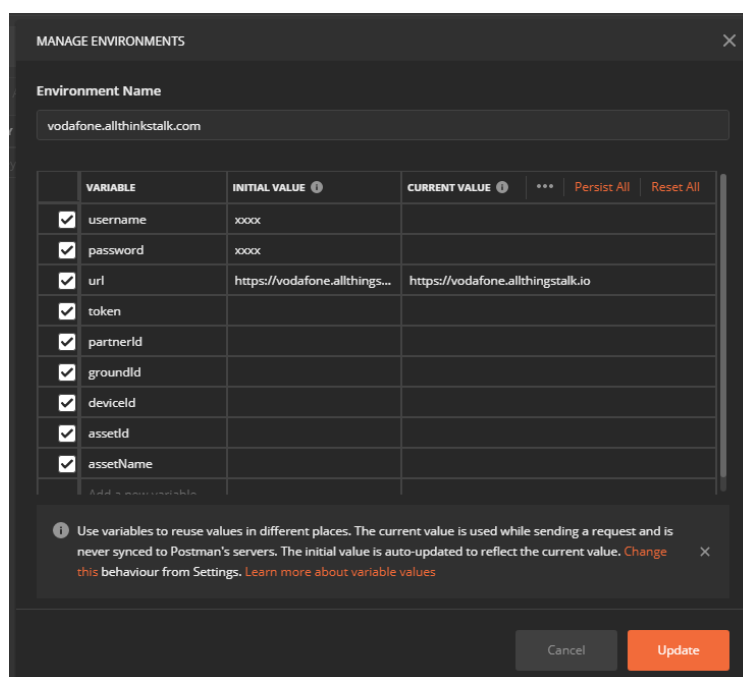
### 5.4.1.3 Práce s API

Platforma je připravena i pro spolupráci s dalším software skrze vestavěné API, které je poměrně dobře zdokumentováno. API je formou http rest dotazů a dají se skrze něj provádět veškeré operace, které umožňuje grafická nastavba platformy. Jde tedy přidávat zařízení, jednotlivé dashboardy, vyčítat data ze zařízení, měnit konfigurace nebo na zařízení posílat příkazy. K navázání komunikace slouží REST API, které prostřednictvím HTTP GET, POST dotazů komunikuje se serverem. Při počátku komunikace je potřeba se přihlásit potřebnými id zařízení, uživatelem a jeho heslem. Následně je možné provádět jednotlivé dotazy na konkrétní zařízení a senzory. Pro jednoduché pokusy s prací skrze API se bude využívat nástroj „postman“.

### 5.4.1.4 API přihlášení

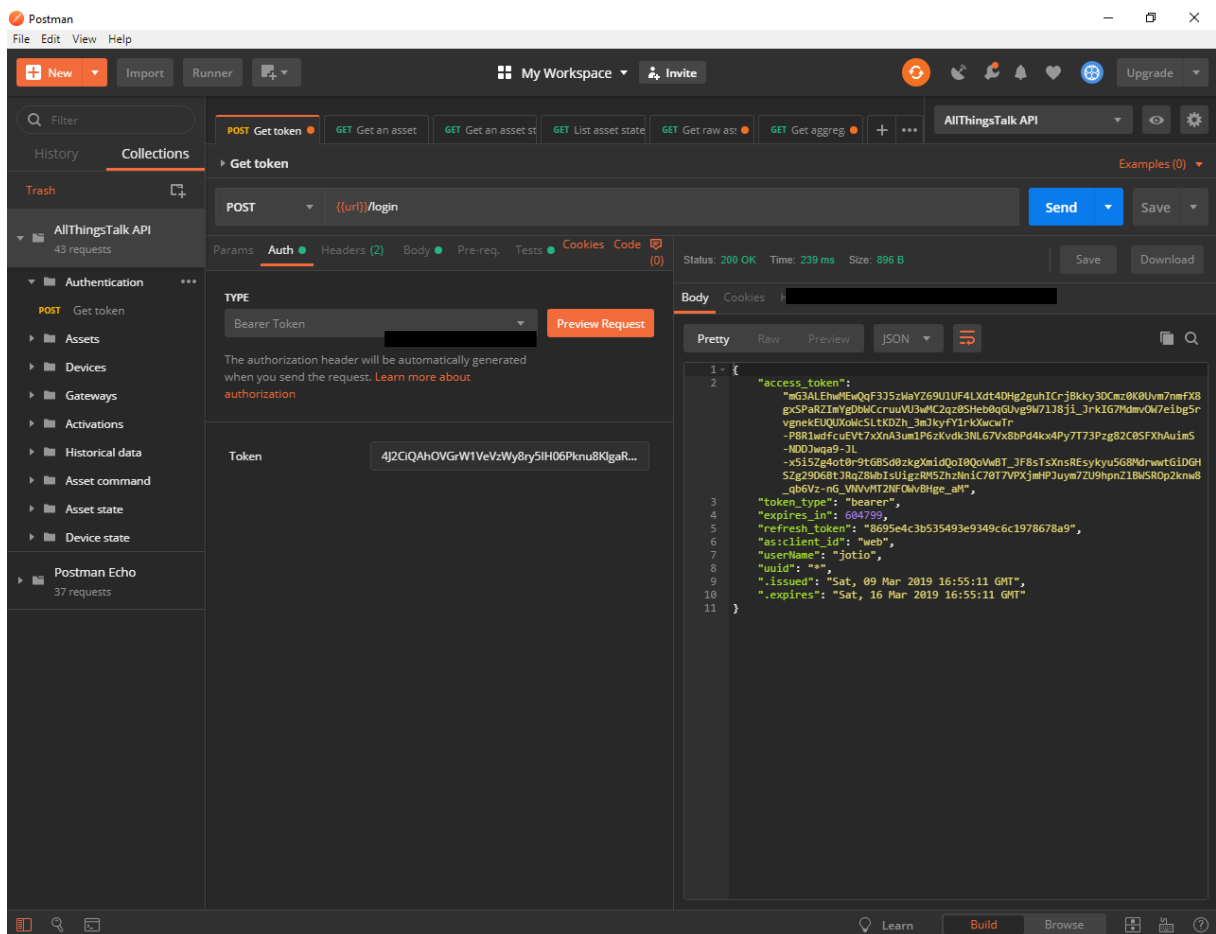
V aplikaci postman je potřeba nadefinovat nový pracovní prostor, v rámci kterého se především konfiguruje portál, se kterým se bude následně komunikovat. To se provádí v pravém horním rohu aplikace. Pro správnou komunikaci stačí založit proměnné URL, username, password. Ostatní proměnné si aplikace založí sama po prvotní komunikaci s daným serverem. Tyto proměnné jsou velmi důležité, jelikož díky nim dochází ke zjednodušení jednotlivých dotazů v podobě parametrizace v rámci programu postman. Základní tabulka po vyplnění veškerých parametrů vypadá dle Obr. 17.

Obr. 17 Postman založení nového pracovního prostoru pro platformu AllThingsTalk [vlastní]



Po založení pracovního prostoru se lze pokusit o komunikaci s API portálu AllThingsTalk. Komunikace s portálem spočívá v prvotním přihlášení a získání takzvaného access tokenu, který je dynamicky přidělen po ověření přístupových údajů. Tímto access tokenem, který má omezenou platnost, je následující komunikace ověřována. Příkaz pro získání access tokenu vypadá následovně: `{{url}}/login`, kde místo url je vyplněna zvolená proměnná v rámci pracovního prostoru aplikace postman. Celková url vypadá ve skutečnosti: <https://vodafone.allthinkstalk.io/login>, kde k samotnému dotazu na tento server jsou zasílány přihlašovací údaje a další parametry na základě kterých dojde k ověření uživatele a v případě platnosti přihlašovaného uživatele navrácení access tokenu a jeho vlastnostmi. Navrácené hodnoty jsou automaticky uloženy do proměnných pracovního prostoru a není potřeba je tak ručně vkládat do nastavení a můžeme pokračovat vyčítáním požadovaných informací.

Obr. 18 Postman získání access token z platformy AllThingsTalk [vlastní]

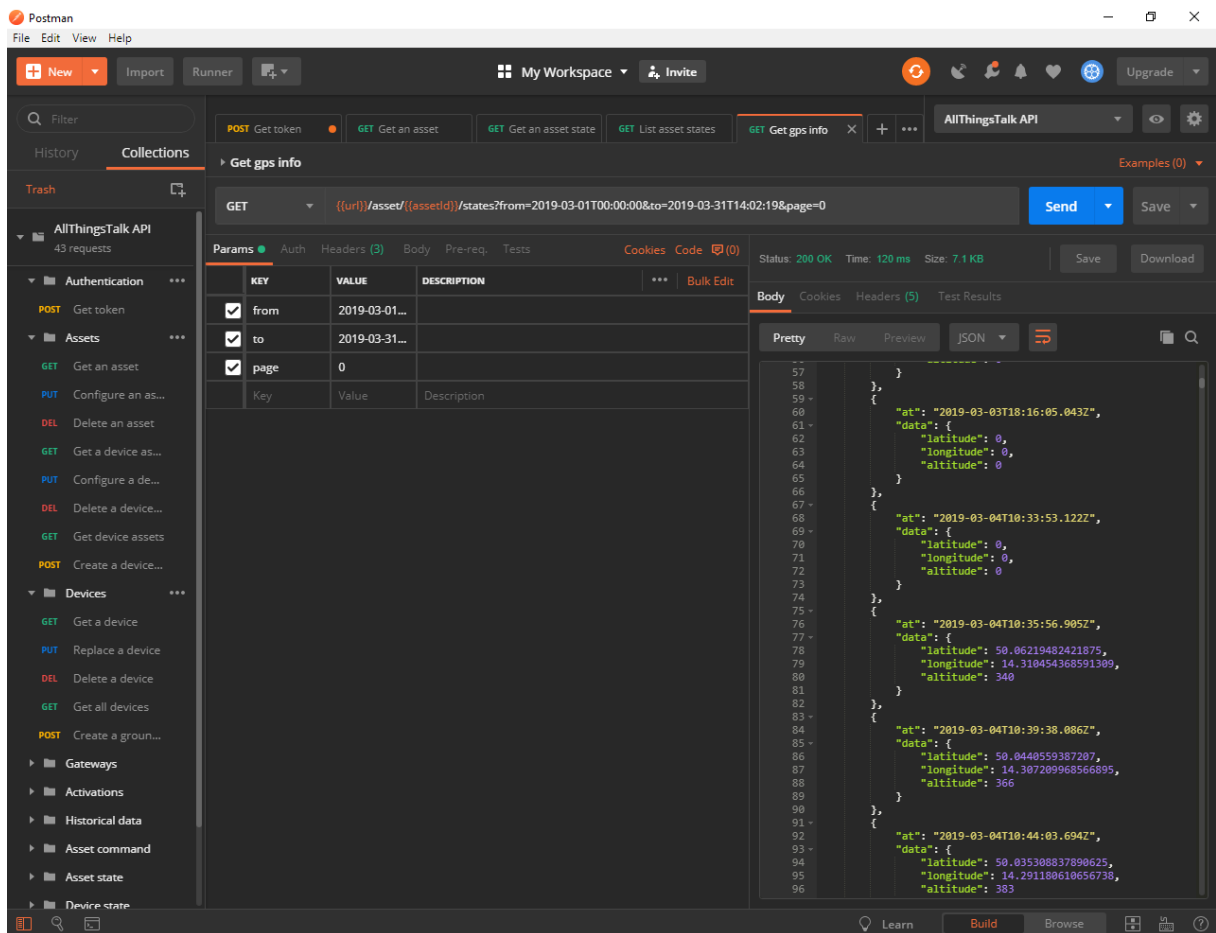


### 5.4.1.5 API vyčtení dat z GPS

Pro práci s konkrétním senzorem je potřeba znát takzvané „asset id“, které lze získat v portálu platformy u daného zařízení a senzoru viz Obr. 14. Následně se provede dotaz na poslední stav, nebo si nechat vypsat data z určité doby, která je definována pomocí parametrů „from“ a „to“. Dotaz na server vypadá následujícím způsobem: `{{url}}/asset/{{assetId}}/states?from=2019-03-01T00:00:00&to=2019-03-31T14:02:19&page=0`

Data vrácená ze serveru jsou v json struktuře a popisují k danému času veličiny získané z GPS senzoru v podobě zeměpisné šířky, délky a nadmořské výšky. Struktura dat je zobrazena na Obr. 19. U některých časů jsou veličiny GPS souřadnic s nulovou hodnotou. To je dáno odvykláním dat z prostoru, kde nebyl k dispozici GPS signál v době měření dat na hardware a data tak měla nulovou hodnotu.

Obr. 19 Postman vyčtení dat z AllThingsTalk platformy [vlastní]



Příkaz pro získání dat z GPS senzoru je následně použit v platformě Node-RED, kde dochází ke zpracování dat a vkládání do mapy pro následné vyhodnocení úspěšnosti přenosu dat.

## 5.4.2 Particle

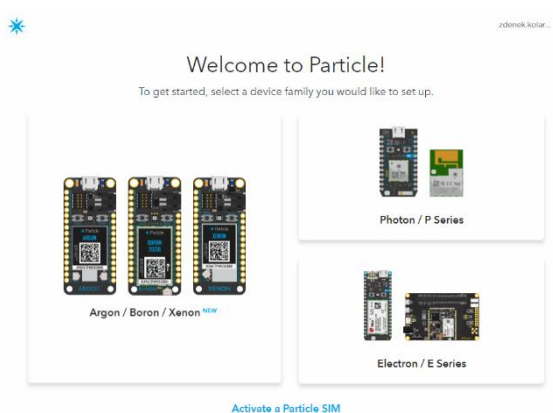
Platforma Particle je zcela odlišná svým celkovým přesahem problematiky, kterou se snaží řešit. Zároveň tím velmi ovlivňuje zákazníka, co se použité bezdrátové technologie, a i hardware platformy týče. Platforma se totiž velmi šikovným způsobem snaží pokrýt vývoj hardware, přes správu celého produktu, od jeho založení v rámci portálu, přes automatické udržování aktuálnosti firmware, zabezpečeného připojení zařízení do cloudu až po zpracování měřených dat a vytvoření velmi jednoduché aplikace či odeslání naměřených dat do zákaznického serveru. Je to zcela ojedinělý koncept, který umožňuje velmi efektivní vývoj a správu zařízení po celou dobu jeho životnosti. Platforma je na trhu komerčně přibližně poslední 3-4 roky a za tu dobu dokázala vytvořit excelentní ekosystém od vlastního hardware přes management zařízení. Portfolio hardwarových produktů bylo dříve zaměřeno na Wi-Fi technologii a celulární sítě především ve 2G a 3G režimu. Poslední dobou společnost připravila i variantu pro LTE sítě a jsou to právě varianty pro LTE NB a LTE M. Pro Evropu prozatím ne zcela v plně funkčním režimu, jelikož společnost pochází z USA, kde operátoři jako první variantu nasazují technologii LTE M. Naštěstí hardware společnosti Particle používá modem od společnosti u-blox R410M, který je popisován v kapitole jednotlivých modemů. Modem umožňuje provoz v obou sítích a díky tomu je možné platformu provozovat i v Evropě. Jsou zde ovšem jistá omezení, která se vážou především na nutnost vložení vlastní SIM karty. Společnost Particle obvykle ke svým produktům dodává i SIM karty s globálním provozem za přiměřené náklady (kolem 3\$ za měsíc). Tato částka s objemem zařízení připojených do platformy klesá a pro větší projekty tak není překážkou. Při zvážení výhody kompletně vyřešeného roamingu, výsledkem je zařízení připravené k použití ve většině částí světa, a to v tu chvíli za velmi drobné částky. Zpět k omezení, které sebou testování přináší. Jak již bylo popsáno, produkt v Evropě není plně podporován pro bezdrátovou technologii LTE NB, a proto eSIM, se kterou je zařízení dodáváno, není možné připojit do sítě. Naštěstí vývojáři hardware do elektroniky implementovali i běžný slot pro nanoSIM kartu a pokud si klient v rámci své lokality vyjedná SIM kartu od místního operátora, nic už nebrání úspěšnému připojení zařízení

do CLOUD Particle. Následně bude ukázáno, jak vypadají možnosti v Cloudu na zařízení komunikující prozatím v bezdrátové síti 2G.

### 5.4.2.1 Přidání zařízení do platformy

Zařízení se přidává do platformy obdobným způsobem jako u ostatních platform. Jedná se o vyplnění různých klíčů, v rámci kterých dojde k provázání s konkrétním zařízením. V případě Particle je přidání zařízení do uživatelského účtu velmi jednoduché a je prováděno skrze webového průvodce. Na první obrazovce uživatel vybírá z hardware platformy, kterou chceme přidat do svého účtu. V případě této diplomové práce se bude jednat o Particle Boron.

Obr. 20 Particle výběr hardware platformy [vlastní]




V následujícím kroku budeme požádáni o připojení jednotlivých komponent (akumulátor, anténa) k hardware. Objeví se upozornění, které je v konkrétním případě důležité. Jelikož nelze využít SIM kartu dodávanou se zařízením a je nutno vložit SIM kartu dodávanou zvolenou telekomunikační společností, je nutno připravit několik kroků navíc. Ty jsou detailně popsány v uvedeném odkaze a ukazují uživateli, jak upravit firmware, který nastaví, skrze jakou APN má zařízení komunikovat u zvoleného operátora. Je to velmi důležitý krok a v případě využití SIM karty od jiného poskytovatele nebude zařízení s platformou particle komunikovat.



## Great! Let's set up your **Boron**

Before going any further, make sure you have these things readily available:

**IMPORTANT**

 If you are interested in using your Boron with a non-Particle SIM card, please [follow these instructions](#).



**NEXT**

Následuje zadání telefonního čísla, na které přijde SMS s odkazem na nutnou instalaci mobilní aplikace, která pomůže dokončit přidání zařízení. Po dokončení všech kroků a naskenování výrobního QR štítku dojde k přidání zařízení do platformy a nyní lze se zařízením provádět veškeré činnosti, které budou popsány níže.

### 5.4.2.2 Přehled zařízení v cloudu

Úvodní obrazovka po přihlášení vyobrazuje celkový přehled všech zařízení připojených do platformy s jejich posledním datem připojení. Po rozkliknutí konkrétního zařízení se zobrazí detailnější informace, které ukazují verzi operačního systému, který je spuštěn od výrobce jako služba na pozadí hardware a další podstatné věci pro rychlý přehled o daném zařízení. V případě, že zařízení zrovna komunikuje, je k dispozici logovací soubor posledních zpráv, který uživatel velmi ocení při vývoji aplikace.

Obr. 22 Particle informace o zařízení [vlastní]

The screenshot displays the Particle Cloud interface for a device named 'Zdenda\_Eseries'. The top section shows device details: ID: 350036000447373037383634, Device OS: 0.8.0-rc12, Owner: zdenek.kolar@..., ICCID: 89340753..., Serial Number: E31M-17102..., Name: Zdenda\_Eseries, Firmware: v3, Groups: private, and Last Handshake: Mar 3rd 2019, 3:39 pm. Below this is the 'EVENT LOGS' section with a table of events. The selected event is a 'spark/device/diagnostics/update' event from 3/3/19 at 3:39:03 pm. The event data is shown in a JSON format:

```

{
  "device": {
    "power": {
      "battery": {
        "charge": 49.9
      }
    }
  },
  "source": "VIN"
}

```

Other sections include 'DEVICE VITALS' showing battery charge at 50%, RAM usage at 34kB, and 'FUNCTIONS', 'VARIABLES', and 'ACTIONS' sections.

Jak je patrné z pravé části Obr. 22, Cloud disponuje i informacemi o stavu zařízení a servisními daty. Jsou to velmi cenné informace, pokud se zařízení pohybuje v terénu a je potřeba tyto informace znát. Platforma se o servisní data stará sama od sebe a jsou uživateli k dispozici skrze široké API rozhraní. Nástroj, který je na platformě nejmocnější je správa jednotlivých produktů. V platformě je totiž možnost si vytvořit produkt, pod který se následně vážou jen zvolená zařízení připojená do platformy. Produkt si pod sebou dále udržuje mnoho vlastností a jednou z nich je například firmware, či SIM karty jednotlivých zařízení a podskupiny produktů, které mohou mít své specifické potřeby. Pokud je potřeba například pouze se specifickou skupinou zařízení provádět hromadné operace, děje se to prostřednictvím API daného produktu či podproduktu. Jednou z dalších možností je přizvat skupinu uživatelů a přidělovat oprávnění pro určité osoby, které nemají mít právo měnit pravidla či vlastnosti produktu, ale mají mít náhled pro monitorovací účely. Možností je opravdu mnoho a veškeré vlastnosti jsou velmi dobře zdokumentované a přehledně vytvořené. Nejpodstatnější vlastností z hlediska urychlení vývoje či udržení výrobku po co nejdelší dobu na trhu a v rámci IoT hraje velkou roli, je správa firmware. Tato procedura je velmi propracovaná, užitečná a bude více popsána.

### 5.4.2.3 Správa firmware zařízení

Při představě vyvinutého zařízení, které funguje dle daných požadavků, avšak v průběhu instalace se zjistí, že některé kroky funkcionality je potřeba upravit a stačí k tomu pouze softwarová úprava. Situace, že zařízení je v provozu u zákazníka na nepřístupném místě,



či nemůže být umožněn jednoduchý přístup k zařízení je nechtěná. Množství takovýchto produktů může být od jednotek kusů až po tisíce kusů. Náklady spojené s opravou softwarové chyby by byly vysoké a pravděpodobně by vedly i k velmi dlouhému procesu servisní činnosti. Právě z těchto důvodů je v platformě pod daným produktem správa firmware. Slouží přesně k podobným případům, kdy se dodatečně zjistí, že je potřeba upravit firmware v již prodaných produktech. Operace vzdáleného přehrání firmware však může být i velmi nebezpečná věc, při pominutí potencionálních rizik v procesu doručení firmware do daného zařízení, tak i v případě nahrání nevalidního firmware z pohledu samotného zdrojového kódu, kdy by mohlo dojít k následnému nepřipojení zařízení ke cloudu a firmware by tak nešel přehrát jinak než osobním přístupem ke každému produktu a přehrání firmware například pomocí servisního kabelu.

Platforma naštěstí na všechny tyto kroky dopředu myslí a je téměř nemožné chybou uživatele způsobit proces nebezpečným. Metoda, díky které je proces bezpečný, je však zcela triviální. Spočívá v potřebě mít minimálně jedno zařízení v rámci produktu označené jako vývojové, na kterém vás platforma nutí přehrát firmware a teprve po úspěšném připojení ke Cloudu vám umožní daný firmware v rámci platformy nahrát do repozitáře dané platformy. Výhodou tak je, že nelze provést přehrání stávajícího firmware na verzi nového firmware, který nemá alespoň jedno úspěšné připojení do Cloudu na označeném vývojovém kuse. V případě, že vše proběhlo úspěšně a nový firmware komunikuje s Cloudem, povolí se možnost přehrání celé produktové řady automaticky. Následně tak každé zařízení, které je online dostane příkaz na přehrání firmware. Ostatní zařízení, která jsou offline z důvodu šetření energie a připojují se jen na krátký okamžik odeslání dat, jsou upozorněna hned při pokusu o připojení a přehrají se tak se zpožděním. Výsledkem této funkcionality je schopnost společnosti udržovat veškeré produkty s aktuálním firmware, či upravovat zásadní chování produktu v průběhu jeho životnosti a přání zákazníka s téměř nulovými náklady. V rámci produktu je však možné přecházet jak na novější verze, tak i na starší verze. Dokonce je možné vybraná zařízení zamknout z nějakého důvodu na určité verzi firmware.

Particle si uvědomuje, že produkt je založen na hardware platformě, kterou sám vyvíjí a celý proces tak začíná už při výrobě hardware modulů, které později představují jádro celého zařízení. Proto nabízí dodávku již naprogramovaných zařízení se zákaznickým firmware.

#### **5.4.2.4 Integrace**

Neposlední vlastností je možnost integrace jednotlivých zařízení do nadřazených služeb. Ať už se jedná o aplikaci daného zákazníka a celý proces zpracování naměřených údajů, tak připravených služeb, jako jsou Microsoft Azure IoT Hub, Google Maps, Google Cloud Platform či obyčejný Webhook. Do budoucna se do platformy začleňují možnosti jako zpracování dat. Je k tomu využita jiná integrovaná platforma založená na dnes velmi populárním nástroji Node-Red.

#### **5.4.2.5 Vlastní zhodnocení platformy**

Particle je jednou z mála nástrojů a možná dokonce i ojedinělá celým svým přesahem od výroby hardware modulů, přes kompletní správu produktů a integraci pro další technologie. Díky tomu společnost přichází s novými produkty čím dál rychleji a našla si velkou oblibu u vývojářů. Urychluje totiž práci s vývojem nových produktů, zvyšuje kvalitu služby a dodává bezpečnost a robustnost celého řešení při zachování minimálních nákladů. Díky tomu se jedná o velmi povedenou a všestrannou platformu, která je navíc vyvíjena jako open-source a každý tak může mít jistotu s čím doopravdy pracuje. Obrovská komunita vývojářů po celém světě mimo jiné sdílí svoji práci, a tak je možné rychle a efektivně začít s platformou pracovat bez vysokých nákladů.

### **5.4.3 Platforma Node-Red**

Platforma Node-RED je takzvaný flow-based programovací nástroj vyvinutý týmem IBM Emerging Technology Service a nyní je součástí JS Foundation.

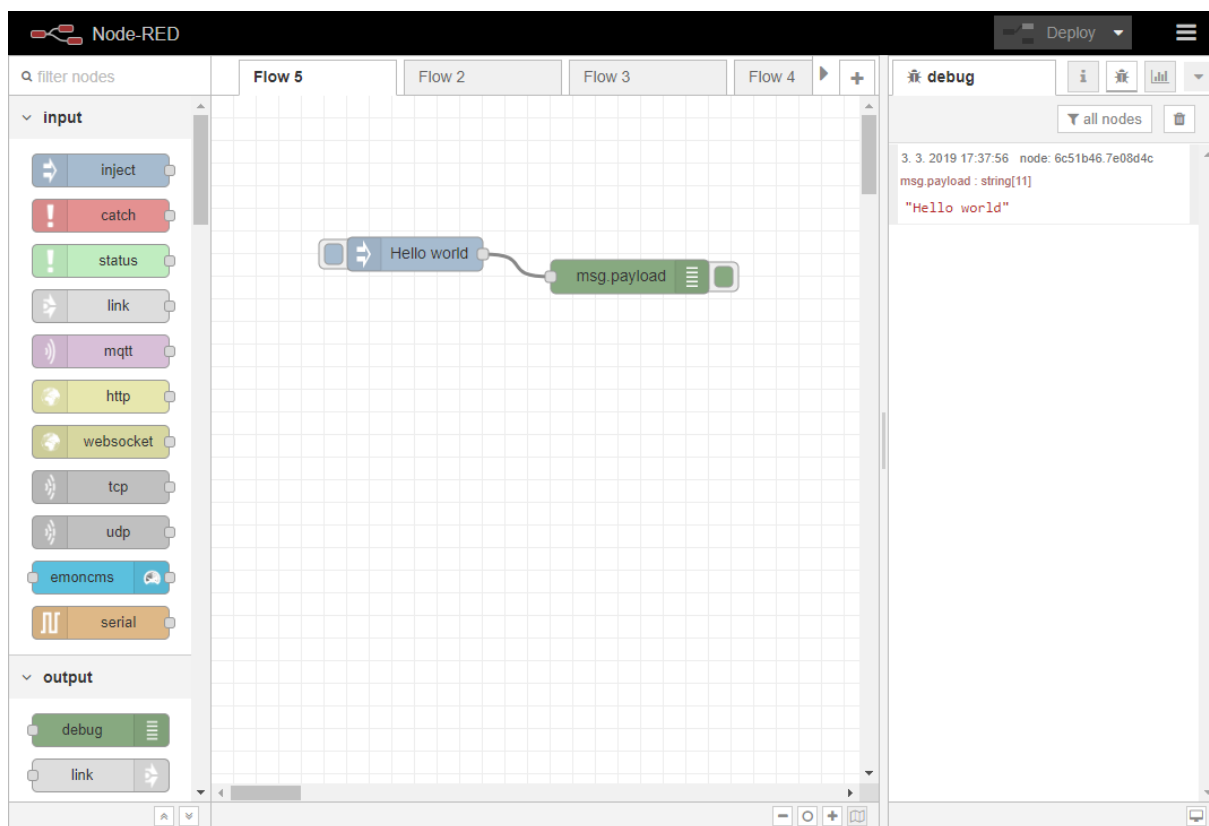
#### **5.4.3.1 Flow-based programování**

Flow-based programování bylo vynalezeno J. Paul Morrisonem v sedmdesátých letech dvacátého století. Jedná se o způsob popisu chování aplikace prostřednictvím sítí takzvaných „black-box“ nebo více známých „nodů“. Každý node má svůj definovaný účel, který provádí s daty, které skrze daný node prochází a předává je dál. Propojení (sít) je pak odpovědná za tok mezi jednotlivými nody.

Výhodou flow-base programování je velmi dobrá vizualizace poskládání funkčních nodů a umožňuje tak i méně zkušenému uživateli začít či přiblížit programování a zaujmout tak širší skupinu lidí. Díky toku dat mezi jednotlivými nody je jednoduché pochopit princip fungování dané aplikace bez nutnosti vyznat se v každém řádku zdrojovém kódu. Celé

programovací prostředí je navíc formou webové aplikace a uživatel tak nemusí na dané zařízení instalovat žádné vývojové nástroje.

Obr. 23 Node-RED demonstrační program [vlastní]



Po otevření stránky Node-RED se zobrazí pracovní plocha, na kterou jsou postupně skládány funkční nody z levé palety nástrojů, které jsou následně propojeny sítí. Síť má na starost doručení informací mezi jednotlivými nody. Na Obr. 23 je nejjednodušší ukázka užití s výpisem do debugovacího terminálu, který je v pravé části obrázku. Jedná se o velmi jednoduchý způsob programování, který vizualizací toku dat velmi usnadňuje představu nad celkem.

V paletě nástrojů se nachází nepřehledné množství nodů, které jsou v základním stavu k dispozici, ale někdy se stane, že některé nody mohou chybět. Z tohoto důvodu je možné nody doinstalovat a rozšířit si paletu nástrojů. Při instalaci, která se provádí z příkazové řádky, či webového rozhraní, musíme dávat pozor na to, co instalujeme. Node-RED je totiž velmi komunitní záležitost a vytvořit vlastní node je velmi jednoduché. Tím se dostáváme k otázce, zdali je Node-RED bezpečná platforma? Odpovědí je, že je závislá na uživateli, který provádí instalaci nových nodů. Naštěstí jsou veškeré zdrojové kódy veřejné a k dispozici skrze npm (správce balíčků pro JavaScript) a následně na GitHub. Díky tomu je možné si zdrojové kódy

stahovaného nodu prostudovat a určitým způsobem eliminovat případné problémy způsobené neuváženým stahováním. Obvykle se dá rychle orientovat při zkoumání jednotlivých nodů dle rozsahu dokumentace, počtu stažení ostatními uživateli a udržovaností nodu daným vývojářem.

Platforma Node-RED je také šikovná velmi rozsáhlou integrací do různých služeb a je tak velmi vhodná jako procesní integrační nástroj pro zpracovávání dat. V případě potřeby jednoduché vizuální stránky je možné vytvářet rychle uživatelské dashboardy, které zobrazí data v grafech, či jiných zobrazeních.

## 6 Konstrukce testovací jednotky

K testování jsou použity vývojové sady různých výrobců, ke kterým lze díky jejich provedení připojovat senzory a řízená zařízení. Pro účely diplomové práce bude k vývojovým sadám připojen senzor pro měření teploty, vlhkosti a tlaku. Již v rámci své bakalářské práce jsem se zabýval tvorbou malé meteostanice, kde byly měřeny stejné parametry a proto bude využit identický senzor. Tím je senzor od společnosti BOSCH BME280. Senzor se vyznačuje především velmi malou spotřebou elektrické energie a dostatečnou přesností měření, která však bude pro účely přenosu dat LPWAN sítěmi nepodstatná. Dále pro informační účely uživateli je připojen I2C displej. Display sice nepatří mezi energeticky úsporné řešení, avšak pro účely testování je to užitečný pomocník, který uživateli zobrazuje aktuální parametry a hlavně informace o stavu bezdrátové sítě.

### 6.1 Senzory a periferie

Veškeré senzory a periferie jsou vybírány jako zařízení připojená na I2C sběrnici. Důvodem je snazší přenositelnost v rámci jednotlivých hardwarových platforem.

#### 6.1.1 Teplota, vlhkost a tlak

Pro měření parametrů teploty, relativní vlhkosti a atmosférického tlaku je využit senzor od společnosti BOSCH. Jedná se o senzor s vysokým stupněm integrace navržený především pro mobilní aplikace, kde klíčovými parametry jsou spotřeba elektrické energie a malé rozměry. Výhodou senzoru je velmi krátká doba měření v řádu jednotek desítek ms. Senzor je napájen napájecím napětím v poměrně velkém rozsahu a to 1,8 až 3,6 V. Jedná se o senzor, který údaje zprostředkuje skrze digitální sběrnici I2C nebo SPI. Výběr komunikační sběrnice je dán jedním pinem na pouzdru senzoru, kterým se volí komunikační režim. V našem případě využíváme variantu I2C.

#### 6.1.2 GPS modul

Jedná se o GPS přijímač od společnosti u-blox. Přijímač má vestavěnou anténu v rámci pouzdra přijímače, což má výhodu s minimálními nároky na vestavěný prostor, avšak integrovaná anténa má horší parametry než anténa externí na mnohdy vhodnějším místě. GPS poloha se zjišťuje při každé události, kdy je požadavek na odeslání dat skrze LTE NB síť. To může způsobit problémy v případě používání vývojového kitu uvnitř budov, kde se zbytečně vybijí akumulátor hledáním GPS pozice, kterou je dle vlastností GPS téměř nemožná zachytit

uvnitř budov s výjimkou blízkosti oken. Pro testovací účely v rámci diplomové práce je však tento fakt nepodstatný.

### **6.1.3 Akcelerometr**

Akcelerometr od společnosti ST Microelectronics se vyznačuje velmi malou spotřebou a nevybízí tak připojenou baterii. Senzor LSM303 se používá pro interakci s uživatelem skrze displej a akcelerometrem se potvrzuje zobrazená nabídka. Dále se senzor využívá k hlášení překročení určitého přetížení. Tato vlastnost může být zajímavá u spousty aplikací k monitorování zacházení s daným senzorem či celou aplikací.

### **6.1.4 LCD display**

Je I2C modul s displejem sloužící pouze pro vývojové účely a komunikaci s uživatelem. Zobrazují se údaje o stavu bezdrátové sítě a v rámci vývoje je to ideální pomocník pro zjištění výsledků jednotlivých operací.

## **6.2 Skladba datové zprávy**

Skladba datové zprávy, ačkoliv se to na první pohled nemusí zdát důležité, má velkou váhu při reálném nasazení. Jedná se o kompromis mezi 2 zcela odlišné požadavky. Tím prvním je velikost odesílané zprávy a druhým požadavkem je čitelnost dat z hlediska zpracování dat. Nejedná se však o čitelnost v podobě odesílání ASCII znaků či pro člověka dobře čitelnou informaci, nýbrž strojově, a především opakovaně zpracovatelnou činnost. Tím je myšleno, že pokud se každý výrobce zařízení bude spoléhat na vlastní přenos veličin a kupříkladu teplotu si každý výrobce do dat interpretuje vlastním způsobem, jistě vše bude fungovat, ale pokaždé je potřeba data na aplikačním serveru překládat do čitelné podoby, a to pro každé zařízení různým způsobem. Technicky to samozřejmě možné je a v některých úlohách, jsou přenášena data, která jsou citlivá svým obsahem určitě budou přenášena odlišným způsobem, avšak do budoucna, například pro veličiny typu teplota, není důvod, aby nevznikl standard či doporučení, jak data přenášet. Pokud se podíváme například na bezdrátovou technologii IQRF z České republiky, tak v průběhu vývoje došlo k zjištění, že pokud se provádí v jedné síti instalace více zařízení, je potřeba, aby se naměřené veličiny přenášely normovaným způsobem a vznikají tak postupně standardy přenosu dat, která říkají, jak se určité veličiny sítí interpretují. Výsledkem je ekosystém, kde nezáleží na výrobci zařízení, ale platforma do které se data odesílají, umí s daty pracovat a není potřeba doprogramování různých rozhraní mezi

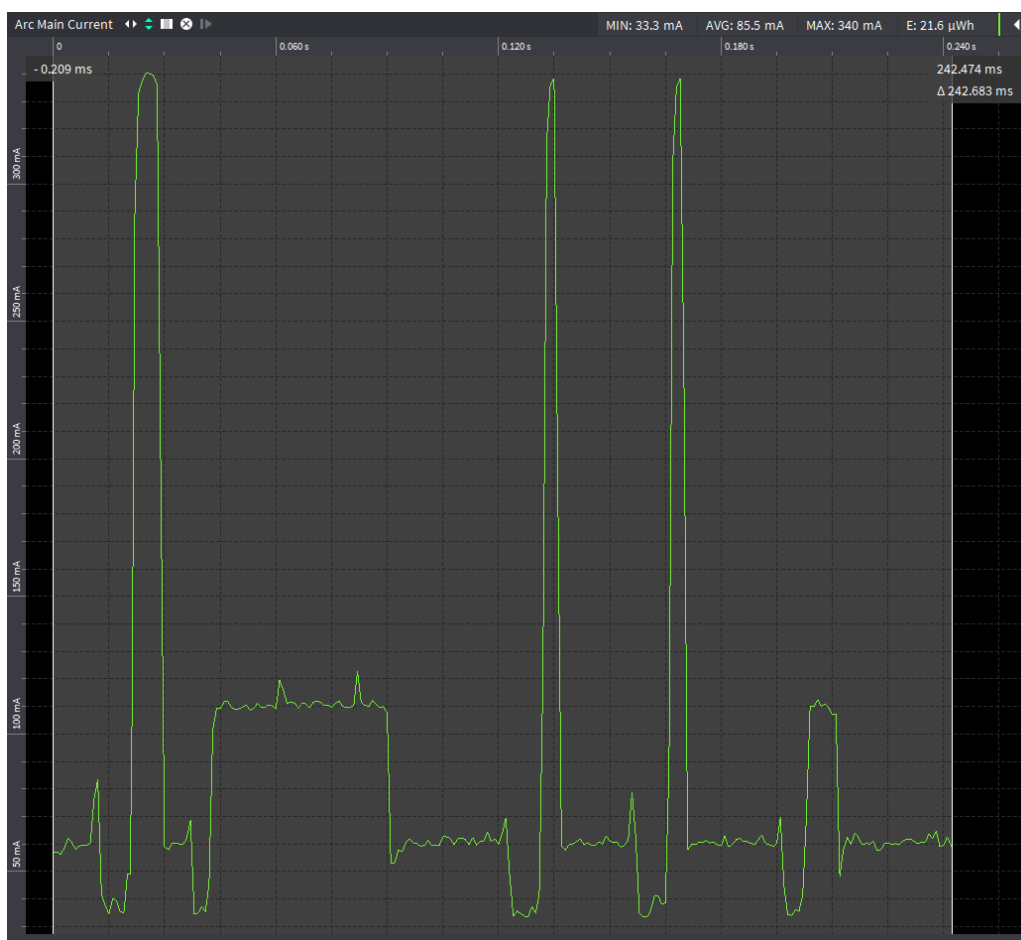
sítí a aplikační platformou. Do budoucna pravděpodobně vzniknou standardy, které budou určitým způsobem programátory více vést a zavádět menší stupně volnosti z důvodu zjednodušení celkového zpracování dat. Při tomto úhlu pohledu na technologii LoRa WAN, i v LoRa Allianci dochází k úvahám o standardizaci přenosu určitých přenášených veličin.

Tato práce se však zaměřuje pouze na úspěšné doručení naměřených veličin.

### 6.3 Měření elektrické spotřeby

Na Obr. 24 je možno vidět průběh spotřeby v pohotovostním režimu, kdy jsou aktivované pouze nejnужnější komponenty pro dlouhý provoz na akumulátor. V momentě, kdy je potřeba poslat data, je vidět proudová špička, která způsobí připojení do sítě a odvysílání dat. Naměřené hodnoty proudového odběru k Obr. 24 viz Příloha 1.

Obr. 24 Měření spotřeby elektrické energie, odvysílání dat [vlastní]



Celkový průběh odvysílání dat trvá přibližně kolem 2 s, ale může při zhoršených podmínkách trvat až 10 s. Jak je patrné, tak z téměř nulové spotřeby zařízení přešlo do nárazového odběru kolem 330 mA. Tento proud je poměrně vysoký a napájecí soustava musí být schopna tento proud bez poklesu napětí dodat. Největší problém může být právě použitá

baterie, kde v rámci IoT se zpravidla používají primární články se složením  $\text{LiSOCl}_2$ , kde baterie mají poměrně velký vnitřní odpor a nejsou tak schopny potřebný proud do soustavy dodat. Využívají se proto superkapacitory, které poslouží jako velmi rychlý zdroj energie a v zápětí se pomalu dobíjí z baterie. Kolem superkapacitoru však musí být řada obvodů, které se starají o průběh dobíjení kondenzátorů a celkově tak napájecí soustava může být v některých případech velmi složitá.

Měření bylo realizováno na zařízení Otii od společnosti QOITECH. Jedná se o moderní nástroj pro měření proudu od 1  $\mu\text{A}$  až 5 A v celém rozsahu s nastavitelným výstupním napětím od 0 do 5 V. Vzorkovací kmitočet je 4 ksps a pro měření proudu je pro většinu zařízení dostatečné. Jak je patrné z Obr. 25, zařízení se propojuje s PC a je ovládáno skrze aplikaci Otii, která umí nahrávat průběh proudu a jedná se tak o podobu proudového analyzáru. Následně se data dají uložit, měřit a upravovat. Zařízení umí například spolupracovat se sériovou linkou a je možné tak zjistit, při jakých příkazech má zařízení různou spotřebu elektrické energie. Dále je možné po koupi profesionální licence vytvářet skriptování a následné automatizace procesů či zakomponování zařízení do automatizované výroby.

Obr. 25 Otii zařízení pro měření spotřeby elektrické energie [13]





## 7 Měření a zpracování výsledků

Pro sběr dat je použita platforma s integrovaným GPS přijímačem založená na modemu u-blox SARA-410M. V rámci měření se zabývám především spolehlivostí odesílání dat a lokalitou měření. Výstupem je tak otestování spolehlivosti přenosu na určitých místech v České republice. Místa jsou vybírána náhodně či z dřívější zkušenosti s nedostupností pokrytí mobilního signálu. Dle informací společností Vodafone by však pokrytí České republiky mělo být v rámci venkovního užití 100% a pokrytí v rámci budov 97%. Bude tedy velmi obtížné najít lokalitu, kde by nebylo možné odeslat data. Proto se měření budou nacházet i v místech, jako jsou vestibuly metra, či podobná podzemní místa, kde se dá očekávat nespolehlivost odeslání dat. Očekávaný výsledek z globálního pohledu je však velmi optimistický a mělo by se potvrdit tvrzení operátora s celoplošným pokrytím České republiky.

V místech měření je proveden ruční zápis s časem a polohou odeslání dat do Excelu. Následně se budou ručně zapsaná data porovnávat se získanými daty z platformy, kde jsou taktéž informace o čase a poloze zaneseny a bude možné konkrétní vysílání spojit s ručně získanými informacemi. Pouze v místech, kde nebude GPS signál k dispozici, jako jsou budovy, či podzemní prostory se bude muset informace spojovat pouze na základě času a geolokační informace zadávat ručně dle zapsaných měření do listu Excelu.

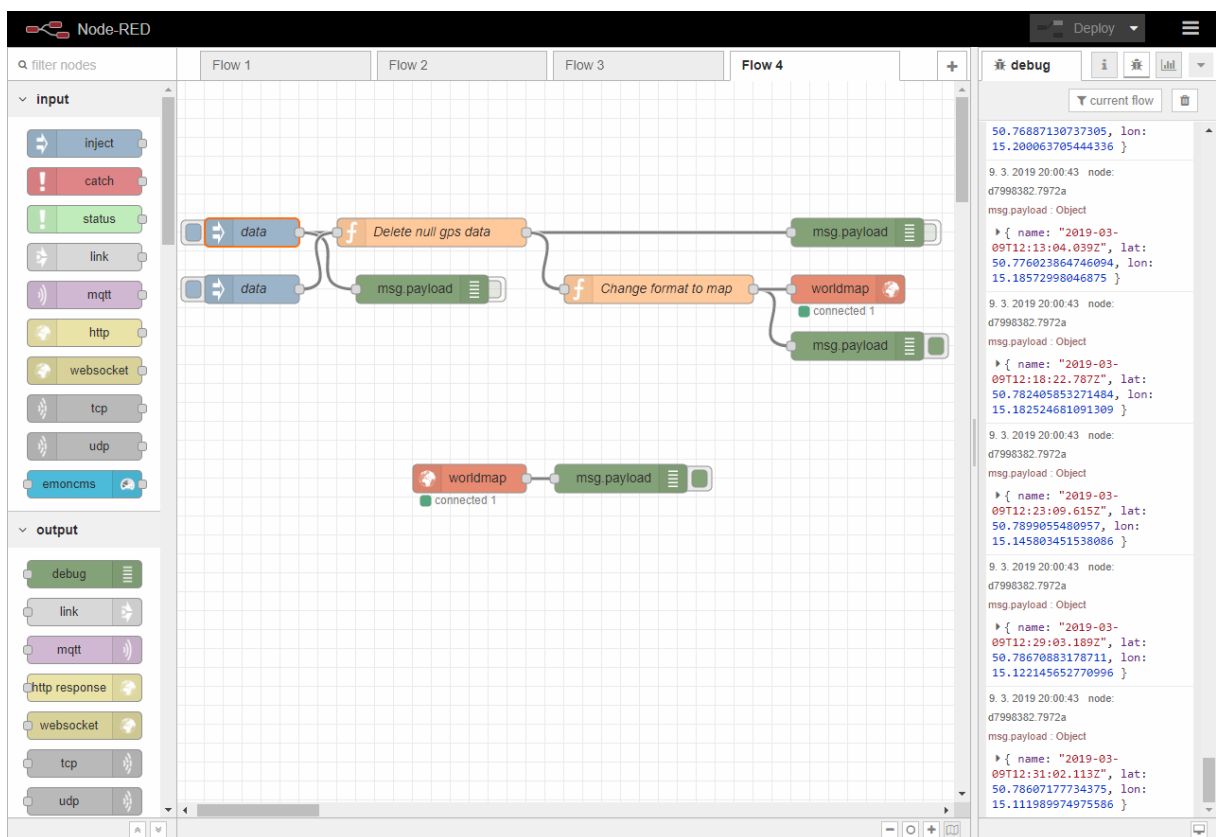
Pro zpracování dat odeslaných bezdrátovou sítí LTE NB je použita platforma Node-RED v rámci které se budou data získaná z platformy AllThingsTalk přeformátovávat a následně vkládat do mapové vrstvy. Bude zapotřebí mít spuštěný Node-RED ať už v rámci lokální instalace na PC, nebo v mém případě spuštěný kontejner v rámci dockru na NAS serveru společnosti Synology. Docker je způsob virtualizace jednotlivých aplikací na rozdíl od virtualizací jednotlivých operačních systémů. Díky tomu je možné spouštět takzvané kontejnery (aplikace), které jsou minimálně náročné na systémové prostředky a zároveň umožňují kompletní oddělení jednotlivých aplikací od sebe a je tak možné spouštět stejné aplikace na jednom serveru s oddělenými konfiguracemi.

Po spuštění Node-RED se otevře webové rozhraní, které je popisované v samostatné kapitole o platformě Node-RED. K získání zpracovaných dat je využit nástroj postman, který je popsán v kapitole platformy AllThingsTalk. Bude použit příkaz API pro přihlášení a následně příkaz pro získání dat z GPS senzoru. Odpověď od serveru, která obsahuje GPS pozice je nutno uložit do souboru.

Tím byla získána ručně data z platformy v JSON podobě a je možno se pokusit data zobrazit v mapové vrstvě. V Node-RED, kde prozatím není žádný program je nutno načíst obsah souboru a upravit data do formátu, který je potřeba k zobrazení v mapovém nástroji.

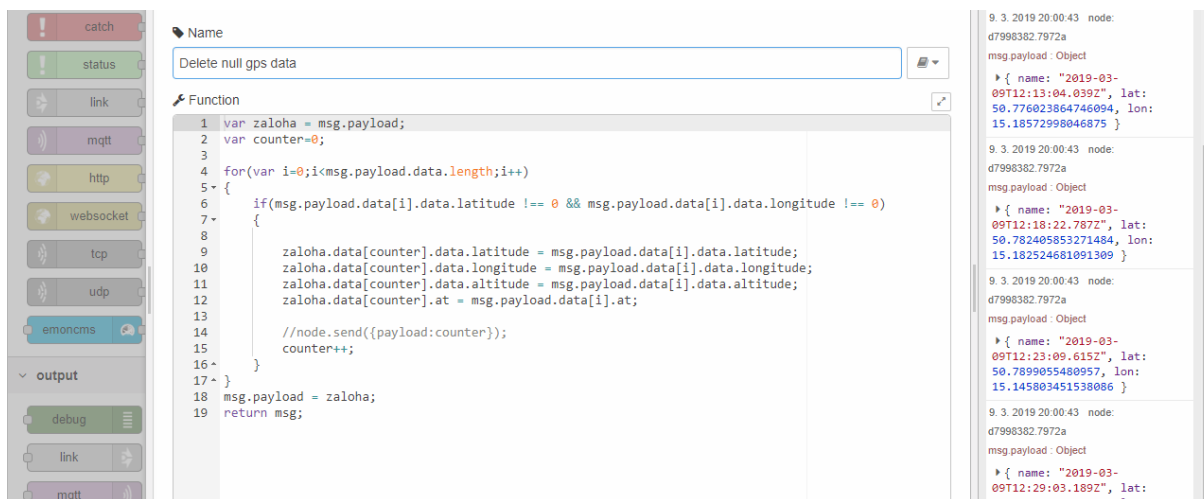
Platforma Node-RED však v základu neumí pracovat s mapami a je potřeba doinstalovat node pro práci s mapou. V nastavení je nutno se proklikat k instalaci nového nodu s názvem „node-red-contrib-web-worldmap“. Díky nodu worldmap je možno do mapové vrstvy zanášet dynamicky data. Tato data, která jsou posílány do worldmap nodu však vyžadují jiný formát dat, než který nám vrátil server z platformy AllThingsTalk a je potřeba proto data převést do jiného tvaru. Dále je pro vizualizaci potřeba odstranit data, která pro nás nemají informační hodnotu. Jsou to především data, která neobsahují GPS pozici či těmto datům byla ručně doplněna GPS pozice. To je možné provést díky časovým značkám, která jsou v datech zanešena a propojit tak ručně získanou pozici s konkrétním časem. Ostatní data, která obsahují nulové hodnoty polohy a nejsou k nim ručně zapsané polohy s časem bude nutno odstranit, jelikož není možné je opravit a nemají tak v rámci zanášení bodů do mapy žádnou vypovídající hodnotu. Základní program v rámci Node-RED platformy tak může vypadat Obr. 26.

Obr. 26 Program v aplikaci Node-RED pro automatické zpracování naměřených dat a zanešení do mapové vrstvy [vlastní]



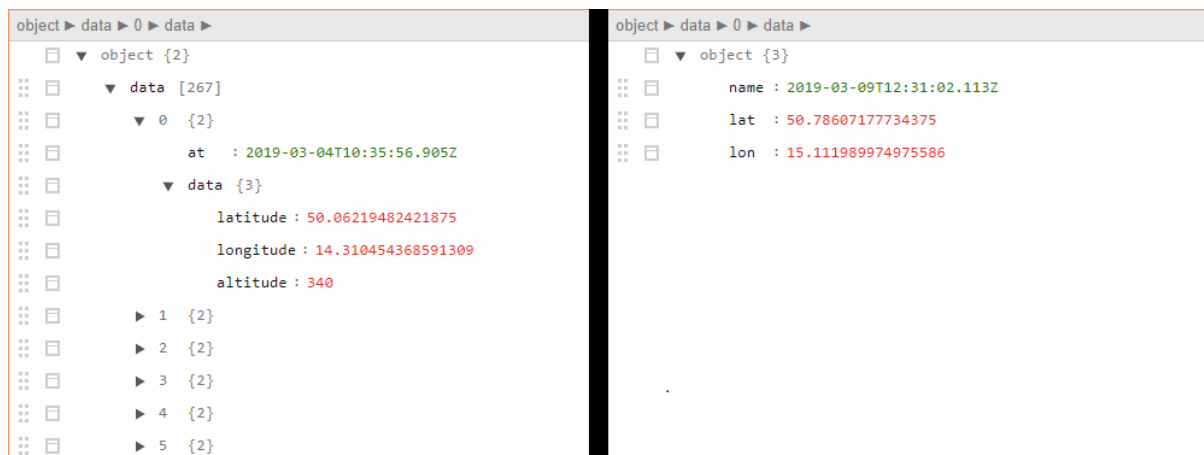
V levé části programu je zdroj dat, kde je vložen zdrojový obsah dat s ručně přidanými polohami, kde byly zapsány informace o čase a poloze odesílaných dat. Následuje node funkce „Delete null gps data“, kde dochází k odstranění dat, které mají nulovou hodnotu GPS pozice Obr. 27.

Obr. 27 Odstranění nevýznamných dat, které neobsahují polohové informace pro vykreslení v mapě [vlastní]



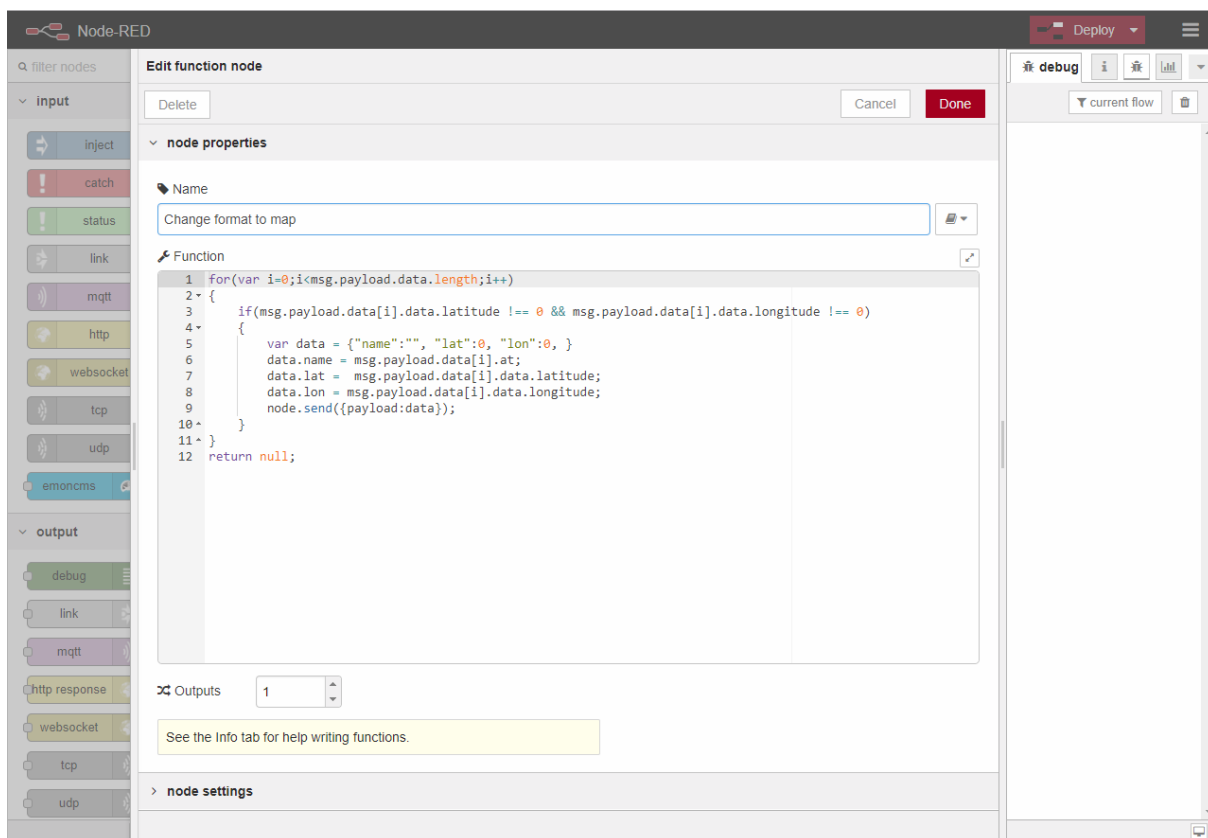
Data následně pokračují do funkce „Change format to map“ Obr. 27, který má na starosti převést stávající strukturu dat do požadovaného tvaru nodu worldmap.

Obr. 28 Popis datových struktur [vlastní]



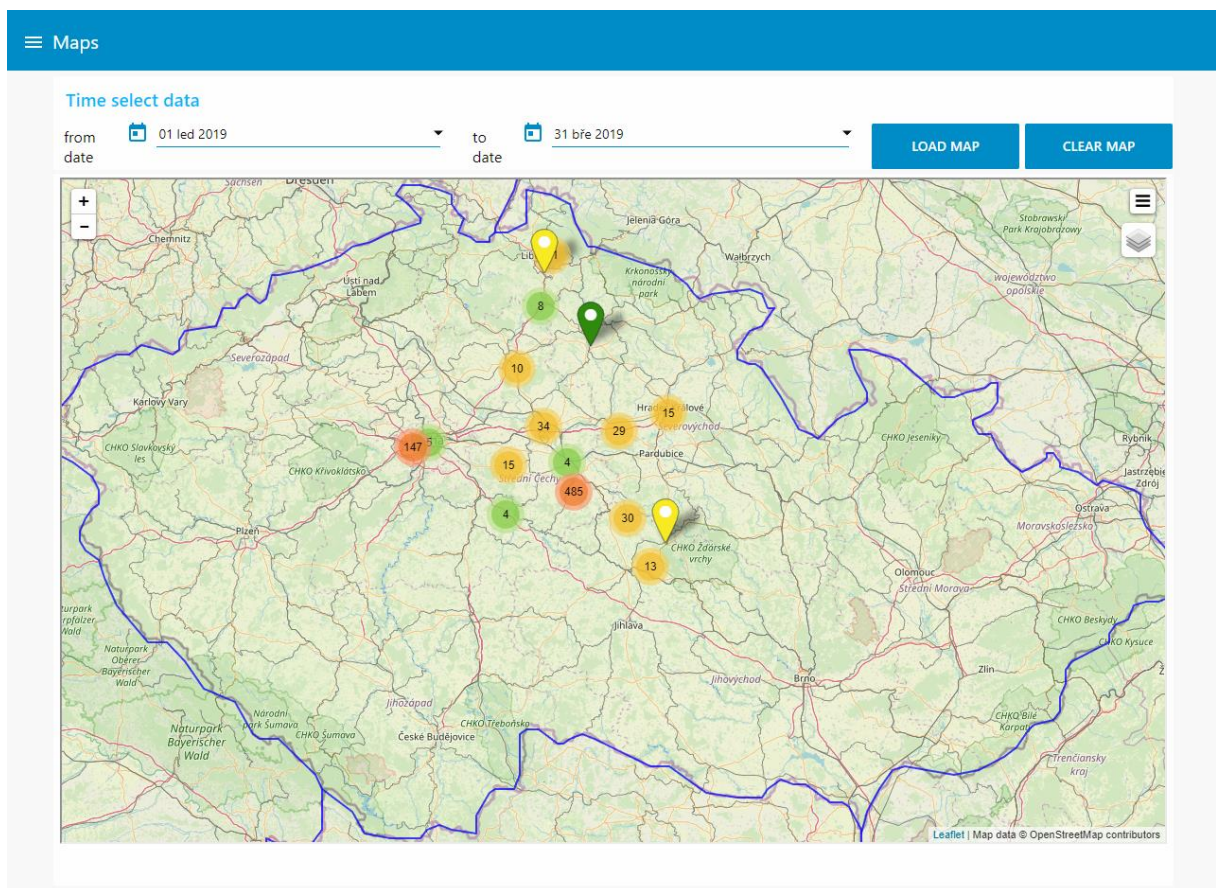
Na Obr. 28 je v levé části zobrazena struktura dat odstraněna o nulové položky. V pravé části je vyobrazena upravená struktura s konkrétní hodnotou. Node worldmap totiž neumí přijmout pole dat, ale pouze jednu hodnotu. Je tedy zapotřebí pole dat, které se nachází v levé části nejen přeformátovat, ale i rozdělit do více samostatných zpráv. Proces se provádí právě ve funkci „Change format to map“ viz Obr. 26.

Obr. 29 Úprava dat pro node worldmap [vlastní]



Po spuštění programu je možné otevřít webovou stránku adresy, kde běží Node-RED se změněnou adresou. Stačí k původní adrese přidat /worldmap a otevře se stránka s mapou České republiky, kde prozatím nejsou zaneseny žádné naměřené údaje. Ve vývojové části Node-RED je potřeba kliknout na tlačítko v levé části našeho programu označenou „data“, čímž se spustí tok dat naším programem. Výstupem je mapa obsahující veškeré body obsažené v původním souboru získané z platformy AllThingsTalk.

Obr. 30 Mapa České republiky se zanešenými daty z bezdrátové sítě v platformě Node-RED [vlastní]



Zanešené body jsou dle přiblížení agregovány z důvodu rychlejšího vykreslování při pohybu v mapě. V mapě jsou tak po bližším zkoumání nalezeny situace, kdy viditelně při odesílání s časem minimálně jedenkrát za pět minut dochází v několika mála případech ke ztrátě dat. Pravděpodobně může být chyba způsobena nedostatečným signálem v dané lokalitě či odesílání dat za pohybu. V rámci možnosti nasbírání co největšího množství testovaných lokalit, bylo měření prováděno z pohybujícího se vozidla. Je tak na místě otázka, zda k neodeslání došlo z důvodu špatného pokrytí či jiného důvodu. K tomuto jevu došlo pouze v několika mála případech odesílání dat a bylo náročné v množství dat hledat podobné anomálie. Z těchto důvodů bylo do programu přidáno vyhodnocování, které porovnává dle času za sebou jdoucí polohy. Pokud časová známka byla větší než 5 minut a zároveň menší než 30 minut, jsou záznamy v mapě zobrazeny žlutou barvou. Žlutý špendlík v mapě tedy znamená poslední polohu, kde došlo k úspěšnému odeslání dat, ale následující zpráva byla vynechána a v systému existuje až zpráva s pozdějším datem, než byla očekávána. Informace o poruše konzistentnosti dat z hlediska času jsou ukládány do jiné mapové vrstvy a je tak možné si rychlým způsobem data zobrazit a do budoucna provést testy v nejbližším okolí těchto lokalit.

S ohledem na minimální množství podobných míst a růzností lokalit v České republice nebylo opakované měření z časových a finančních důvodů prováděno na všech místech, kde k tomuto zjištění došlo. Výsledkem však lze říci, že nebylo nalezeno obvyklé místo dle předpokládaného nasazení technologie, kde by byl v rámci České republiky problém s odvysíláním dat. Naopak technologie svojí spolehlivostí doručení dat velmi předčila veškerá očekávání s výsledkem dle měřených údajů 99,1% úspěšnosti doručení přenášené zprávy z celkových 996 odeslaných zpráv v různých místech České republiky.

## **7.1 Porovnání s ostatními technologiemi**

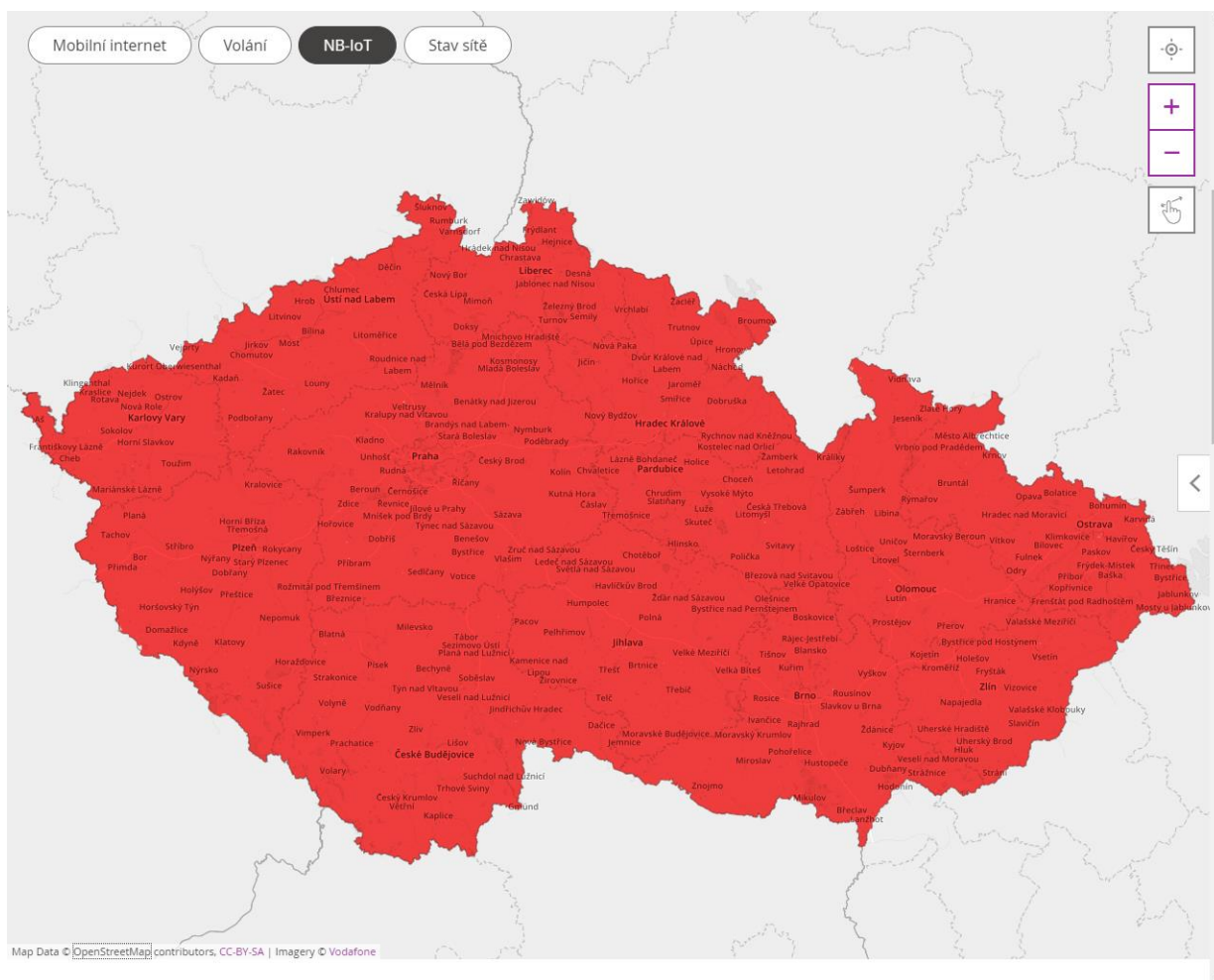
Při pokusu porovnání bezdrátové technologie LTE NB s jinými bezdrátovými technologiemi, lze zjistit, že je možno porovnat pouze s technologiemi LoRa WAN a SigFox. Porovnání je však velmi složité, přestože bezdrátové technologie v oblasti LPWAN mají za úkol společný cíl a tím je spolehlivě s minimálními energetickými nároky, finančním zatížením a maximální spolehlivostí doručení dopravit posílané zprávy na cílové místo. Přesto se jednotlivé technologie hodí pro specifické účely a ideální by bylo vlastnosti zkombinovat dohromady, to však není možné. Technologie budou porovnávány z několika aspektů a těmi jsou: bezdrátové pokrytí České republiky, energetická náročnost, finanční zatížení provozem.

### **7.1.1 Pokrytí České republiky LTE NB**

Díky široké možnosti implementace technologie viz kapitola Popis technologie, kde je pro operátora několik možností nasazení, je budování bezdrátové technologie pro operátora sítě přívětivá varianta z pohledu rychlosti výstavby i finanční náročnosti. V dnešní době se najde velmi málo míst, kde pokrytí operátorů u standardních mobilních sítí není. Při uvědomění si schopnosti technologie pracovat s nižší úrovní signálu než u běžných mobilních technologií, je oblast nedostupnosti služby LTE NB o to více menší a zmenšila se téměř na nulovou nedostupnost služby. Tyto aspekty se projeví v rámci testování, kde měření bylo prováděno za velmi nepříznivých podmínek. Odesílání bylo prováděno ve většině případů z pohybujícího se vozidla, kde ze stovek odeslaných zpráv se nepodařilo doručit pouze jednotky zpráv. Ačkoliv je technologie určena pro stacionární senzory, reálné měření v rámci diplomové práce ukázalo, že za určitých podmínek je možné senzory provozovat i za pohybu v maximálních rychlostech dovolující zákony České republiky pro pohyb vozidel na vozovce. Při pohledu na Obr. 31 s mapou pokrytí na oficiálních stránkách operátora Vodafone, je viditelné pokrytí mapy 100% včetně pokrytí budov. Technologie se tak hodí i pro nejnáročnější

aplikace, jako jsou bezdrátové odečty stavu průtoku na vodovodních potrubích z podzemních šachet či sklepů rodinných domů.

Obr. 31 Pokrytí České republiky bezdrátovou technologií LTE NB [14]



## 7.1.2 Pokrytí České republiky SigFox a LoRa WAN

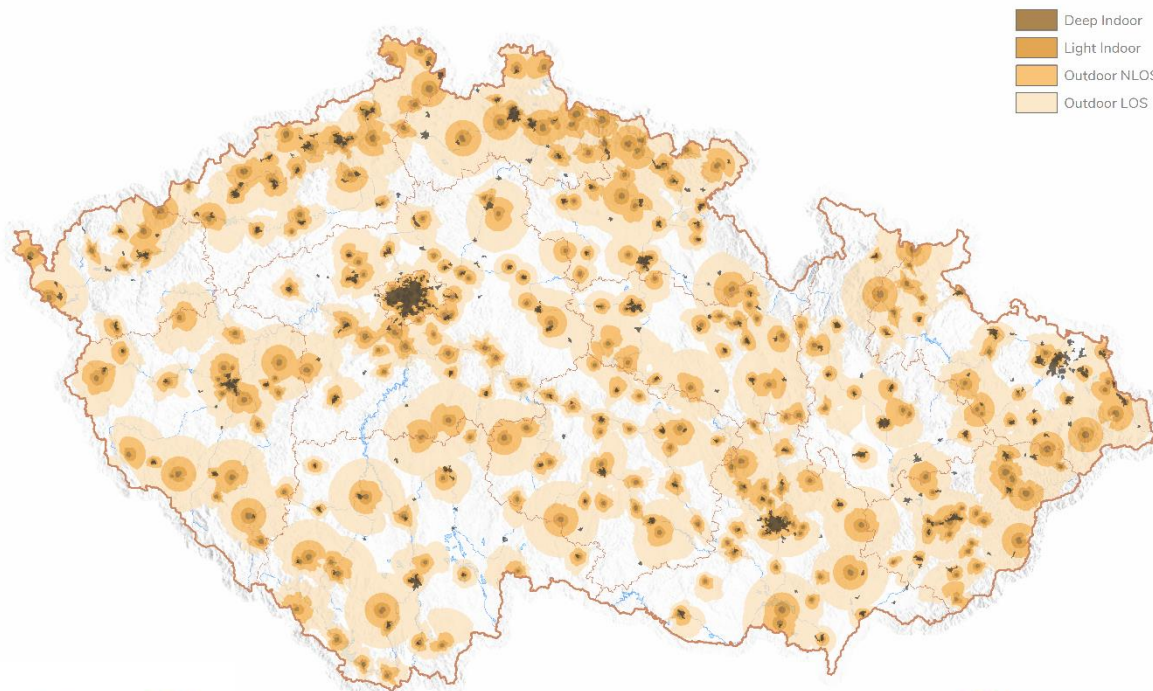
Velkým rozdílem z hlediska investice do pokrytí České republiky jsou tomu bezdrátové sítě LoRa WAN a SigFox. Technologie pracují v nelicencovaném ISM pásmu a pro dosažení pokrytí bylo a zároveň je potřeba budovat takzvané gateway. Dané gateway jsou postupně budovány tak, aby nejdříve vznikalo pokrytí v rámci měst a následně dílčích obcí a ostatních lokalit. Tomu také nasvědčují mapy pokrytí na Obr. 32 a Obr. 33. V případě technologie LoRa WAN se může na první pohled zdát výrazně menší hustota pokrytí, než tomu je u technologie SigFox nebo LTE NB. Technologie LoRa WAN však umožňuje velmi široký rozsah radiové konfigurace z hlediska výkonu nebo rychlosti komunikace, která má velmi zásadní vliv na celkový dosah signálu. Při testování v době počátku výstavby bezdrátové technologie LoRa

WAN byly prováděny testy, které byly provedeny za ideálních podmínek měření, při kterém se podařilo úspěšně odeslat data mezi Sněžkou a Prahou na vzdálenost kolem 100 km při dodržení výkonu, který povoluje v České republice Český telekomunikační úřad v ISM pásmu. Při hustotě pokrytí jednotlivými gateway je tak velmi pravděpodobné, že zprávy budou úspěšně doručeny i v místech neoznačených pokrytím technologií LoRa WAN.

Obr. 32 Mapa pokrytí České republiky bezdrátovou technologií LoRa WAN

Mapa IoT sítě LoRaWAN CRA

Září 2018



**CRA**  
ČESKÉ RADIOKOMUNIKACE

Copyright © 2018 České Radiokomunikace a.s.

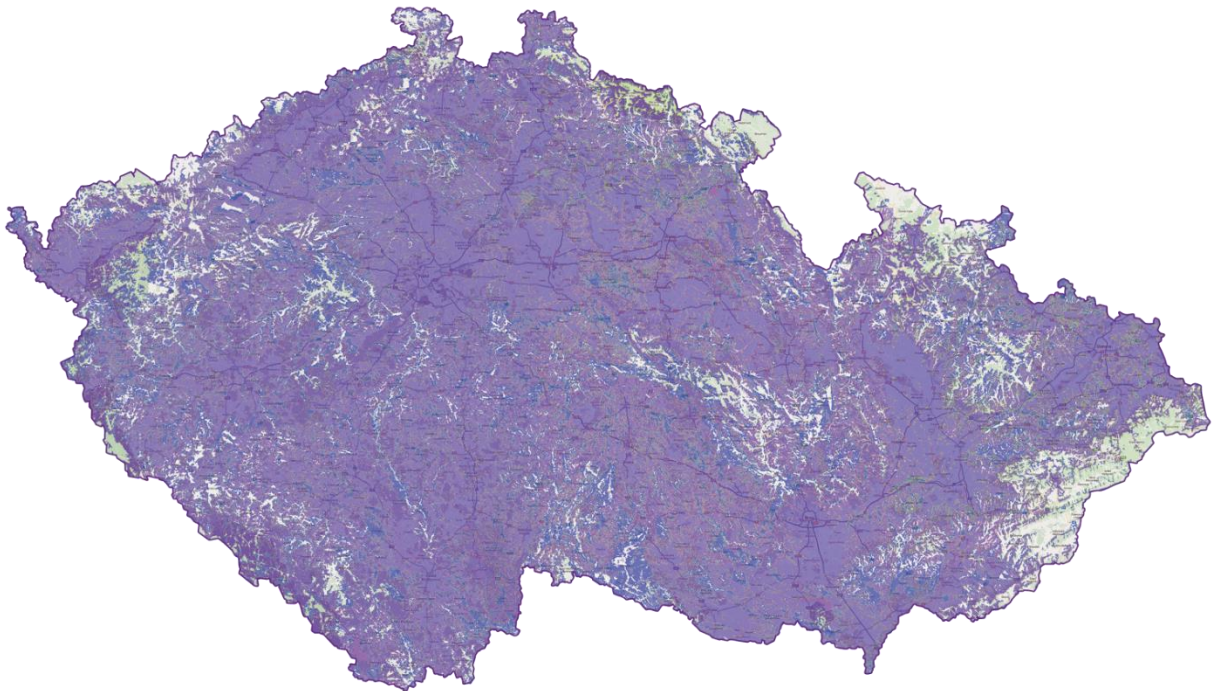
**LoRaWAN**

Bezdrátová technologie SigFox, která vznikla ve Francii, je budována s výrazně jiným přístupem, a to jednou společností po celé Evropě. V každé zemi tak společnost má sice jednoho poskytovatele služby, který má na starosti výstavbu a vzhledem k tomuto konceptu v síti neexistuje roaming. V rámci pokrytí České republiky je dle mapy na Obr. 33 s hustotou pokrytí na velmi dobré úrovni a lze očekávat správnou funkcionality téměř po celé České republice.

Obě technologie se tak z hlediska pokrytí hodí na senzorku v rámci měst a menších obcí. Hůře by však mohly technologie fungovat v zemědělské oblasti či zařízení pohybující se ve volné krajině. Před nasazením technologie je potřeba provádět testování technologie na daných místech pro zaručení funkcionality v dané lokalitě.



Obr. 33 Mapa pokrytí České republiky bezdrátovou technologií SigFox



### 7.1.3 Energetická náročnost odeslání dat

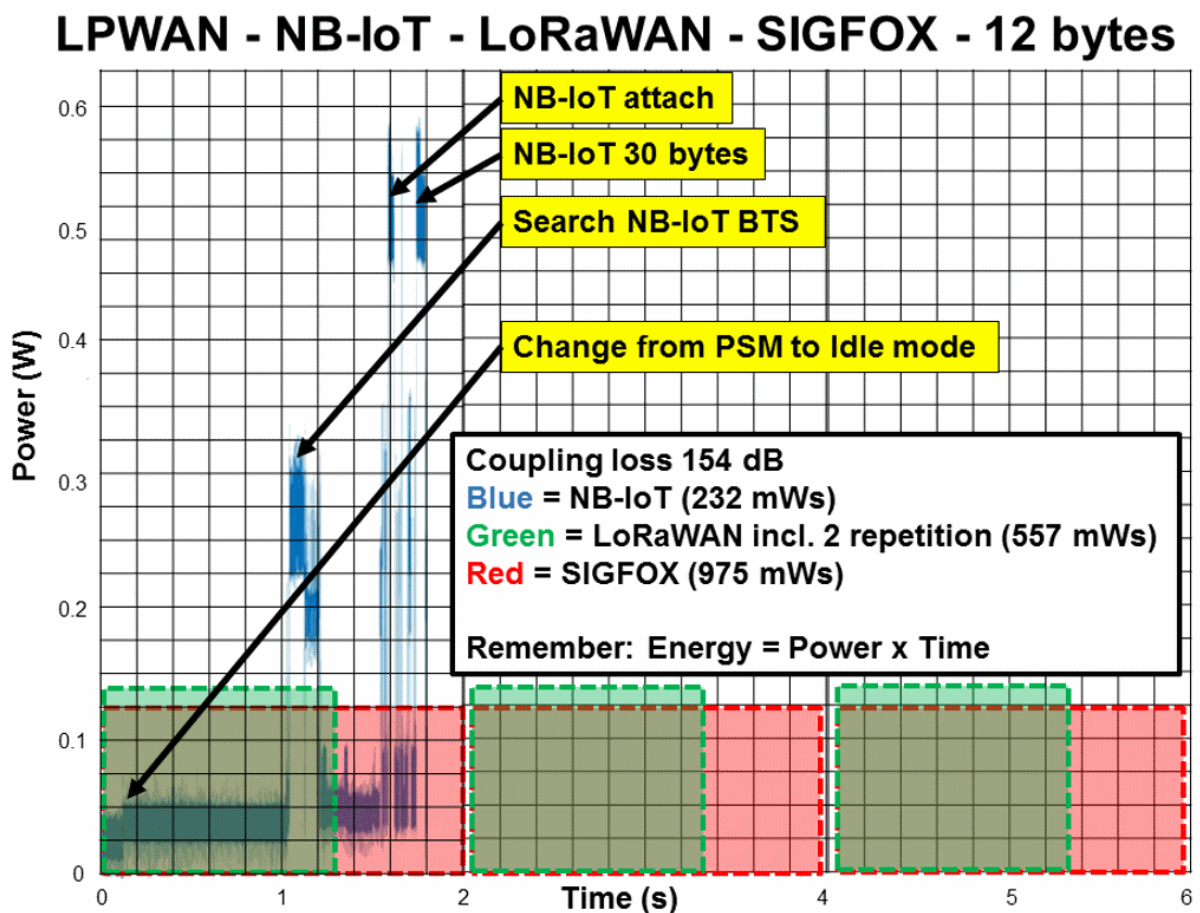
Při zaměření na náročnost spotřebované energie pro odeslání dat, se naráží na problematiku správného odeslání dat s ohledem na rozdílnosti jednotlivých technologií a možnosti nejlepšího případu úspěšného odeslání dat a nejhoršího případu odeslání dat z hlediska času. Jelikož energie je dána napětím, proudem a časem, po který je signál odeslán. Na Obr. 34 je znázorněn graf porovnávající bezdrátové technologie LTE NB, SigFox a LoRa WAN při odeslání stejné 12 bytové informace. Velikost 12 byte je vybrána jako maximální velikost, kterou lze přenést technologií SigFox v jedné zprávě. Při přenosu většího objemu dat, je potřeba provést rozdělení dat do menších dávek a ty následně odeslat postupně. Jednotlivé bezdrátové technologie mají specifické chování, kterým se pokouší úspěšně doručit data do cílového místa a jednotlivé stupně chování dané technologie mohou výrazně ovlivnit celkovou energii nutnou pro přenos dat. Technologie SigFox posílá data vždy opakovaně třikrát po sobě se stejným výkonem a má tak vždy stejnou energetickou náročnost. Technologie LoRa WAN je z pohledu možností, které mohou nastat výrazně komplikovanější. Regulovat se dá vysílací výkon, rychlost komunikace a počet opakování odeslání zpráv. V ideálním případě tak umí být výrazně efektivnější než ostatní technologie. Ve skutečnosti se obvykle přenos posílá dle prostředí s nutným výkonem a komunikační rychlostí. Tyto parametry si umí technologie částečně nastavit sama formou komunikace mezi gateway a senzorem a pracovat tak

s ideálním nastavením dle dané lokality. Obvykle dochází i k opakovanému odeslání zprávy, a tak dle prostředí může být spotřeba vyšší, než je u technologie SigFox a LTE NB.

Poslední technologie LTE NB je zcela odlišná svým přístupem. V prvotní části vysílání dochází k hledání jednotlivých BTS, následně připojení do sítě a získání určitého časového slotu v rámci kterého senzor následně komunikuje. Poté v daný čas zařízení odešle naměřená data a přepne se do režimu nízké spotřeby. LTE NB vyžaduje sice větší proud pro odeslání dat, než je tomu u technologií SigFox a LoRa WAN, avšak po daleko menší čas. Celkový spotřebovaný výkon je tak obvykle nejmenší z výše zmíněných technologií.

Celkové shrnutí je přehledně znázorněno na Obr. 34, kde při běžných podmínkách je při 12 bytové zprávě energeticky nejúspornější technologie LTE NB, následně s přibližně jednonásobně vyšší hodnotou je LoRa WAN a na posledním místě technologie SigFox s čtyřnásobnou spotřebou oproti LTE NB.

Obr. 34 Energetická náročnost bezdrátových technologií při odeslání zprávy velikosti 12 byte [15]



## 7.1.4 Finanční zatížení danou technologií

Cenová politika jednotlivých společností je velmi rozmanitá a nedá se jednoduše porovnávat z důvodu chybějících veřejných ceníků či stanovení cen dle rozsahu projektů. U technologie LTE NB prozatím ceník není vytvořen vůbec a zařízení fungují v rámci testovacího provozu, který je možné objednat pro vývojáře za balíček 20 SIM karet s omezenou dobou platnosti. U technologií SigFox a LoRa WAN SIM karty nejsou potřeba a spoléhá se na ověření pomocí speciálních klíčů dodávaných se zařízením. Ceny jsou následně odvozeny dle četnosti komunikace za den. Obvykle se ceny v malých množstvích zařízení pohybují na měsíc v řádů desítek až stovek korun českých na zařízení. Náklady na samotné zařízení za vlastní konektivitu jsou obvykle v řádů stovek korun za rok. Řeč je však o provozu v nelicencovaném ISM pásmu, kde jsou omezené možnosti z hlediska využívání radiového spektra a času, kdy jsou daná zařízení aktivní v režimu vysílání. Technologie LTE NB však pracuje v licencovaném pásmu s daleko větší kvalitou celkové služby a lze tak očekávat, že cena za konektivitu jednotlivých zařízení tak bude stanovena podobným způsobem, jak je tomu známo u mobilních zařízení, a to za přenesený objem dat, nikoliv za počet relací, podobně tomu je u technologie SigFox nebo LoRa WAN. Ceny budou pravděpodobně vyšší, než je tomu doposud u technologií pracujících v nelicencovaném pásmu.

Dalším aspektem může být také cena koncového zařízení. Při porovnání cen modemů jednotlivých technologií a potřebných komponent pro zaručení správného provozu samotného modemu. Procentuální pohled na ceny daných technologií vyjadřuje, že náklady pro LTE NB technologii činí maximální částku a tedy 100 %. Uprostřed se nachází technologie LoRa WAN s náklady 40 % oproti LTE NB a na posledním místě technologie SigFox s náklady 28% oproti LTE NB. Je tedy více než jasné, že pokud se bude jednat o produkt, kde rozhodovat má cena, nebude téměř možné použití bezdrátové technologie LTE NB. Na stranu druhou, chování sítě LTE NB je velmi kvalitní připojení senzorů k bezdrátové konektivě s nejnižší možnou spotřebou elektrické energie. Pracuje v licencovaném pásmu a má nejlepší pokrytí nejen v rámci České republiky. Díky těmto aspektům je možné, že i přes vyšší cenu bude technologie LTE NB pro spoustu aplikací upřednostněna před nižší cenou, než je tomu v případě technologie SigFox a LoRa WAN.

## 8 Předpoklady dalšího vývoje

Technologie LTE NB se ukázala jako velmi silná technologie z pohledu velmi rozsáhlého pokrytí v rámci České republiky, kde na testovaných místech je úspěšnost 99,1 %. Technologie pracuje v licenčním pásmu a může tak nabídnout zcela jiné vlastnosti, než podobné bezdrátové technologie jako jsou LoRa WAN a SigFox. Je však také technologií, která na trh přichází jako poslední, kde se se zpožděním oproti jiným technologiím ukazuje, co umí a je otázka, jestli se trh, který již má řešení fungující na technologiích SigFox nebo LoRa WAN bude chtít přizpůsobovat. Určitě budou vznikat nové senzory, které budou využívat novou konektivitu pro svoji komunikaci, ale pravděpodobně pro jednoduché senzory budou používat již zaběhlé sítě i z důvodu ceny konektivity a samotných koncových zařízení. Dá se očekávat, že operátoři s technologií LTE NB nastaví cenovou politiku na vyšší úroveň díky vysílání v licenčním pásmu než například operátoři, kteří provozují sítě v ISM pásmu. Tedy vznikne koncept pro služby s garancí dostupnosti na technologii LTE NB a ostatní aplikace si vystačí s poměrně zaručeným, avšak relativně spolehlivým ISM pásmem. Další rozdělení by mohlo probíhat dle spotřeby elektrické energie. LTE NB fungují odlišným způsobem při pokusu o odvysílání dat, než ostatní LPWAN technologie. Zařízení musí nejdříve poslouchat a následně provést pokus o připojení do sítě. Následně v přiřazeném časovém slotu provést pokus o odeslání dat. Přesto však mají nižší spotřebu elektrické energie než jiné LPWAN technologie. Díky tomu stejné zařízení bude moci na stejný akumulátor či primární článek odvysílat větší množství naměřených údajů než například u technologie LoRa WAN nebo SigFox. Aktuálně je největší překážka v samotném užívání technologie, není totiž stále možné objednat SIM karty pro tuto technologii běžným způsobem, nýbrž je možné v rámci testovacího provozu SIM karty pořídit a na 6 měsíců data odesílat. Pravděpodobně technologie nemíří na koncové zákazníky a konektivita již bude s daným zařízením v rámci kupní ceny produktu na omezenou dobu nebo je určena pro větší podniky, které mají úplně jiné podmínky pro získání konektivity, či samotnou cenu konektivity.

## 9 Závěr, zhodnocení a doporučení pro provoz

Není tomu tak dávno, kdy sběr dat z bateriově napájených zařízení prostřednictvím bezdrátové komunikace byl velký problém. Konstrukteři obvykle využívali technologie mobilních operátorů z důvodu téměř celoplošného pokrytí. Nevýhodou však byla energetická náročnost mobilních bezdrátových sítí. Problematiku sběru dat ve volném prostoru a omezeného zdroje elektrické energie si rychle začaly uvědomovat společnosti, které přišly s takzvanými LPWAN technologiemi. Zrodily se tak bezdrátové technologie SigFox a LoRa WAN o kterých pojednává má bakalářská práce. V době psaní bakalářské práce se již vědělo, že světu bude v dohledné době představena další LPWAN technologie s názvem LTE NB (Narrowband). Touto informací tak bylo zároveň stanoveno budoucí téma diplomové práce. V rámci diplomové práce byla řešena analýza a možnosti použití bezdrátové technologie LTE NB. Problematika samotná však byla v době psaní diplomové práce velmi náročná z důvodu minimálního množství podložených informací, které by umožňovaly hlouběji proniknout do pochopení funkcionality bezdrátové technologie. V rámci diplomové práce byla provedena analýza prostředků, které byly k dispozici a zvolení struktury práce, která pojednává od samotného hardware až po zpracování měřených dat v rámci aplikační vrstvy na straně serveru.

V prvotní fázi diplomové práce byl správný výběr modemu, který odesílá data. Nastal však nečekaný problém s nedostupností modemů. Ty byly k dispozici až v druhé polovině roku 2018 a původní záměr stavby vlastního zařízení byl upraven na možnost koupě vývojové sady. Tímto rozhodnutím došlo k výraznému zrychlení postupu v rámci praktického testování. Z několika dostupných vývojových sad byly následně vybrány jen ty, které dávaly smysl z pohledu připojování dalších komponent a tím bylo rozložení konektorů pro platformu Arduino UNO. Platforma Arduino je velmi rozšířená a jsou k dispozici určité bloky hardware, které se následně dají spojovat téměř jako puzzle.

Dalším krokem bylo zajištění konektivity pro dané vývojové sady. Ověřování přístupu do bezdrátové sítě je prováděno stejným způsobem, jako je tomu zvykem u mobilních zařízení, pomocí SIM karet. V době psaní této práce však není možné objednat SIM karty na technologii LTE NB přímo u operátora a bylo potřeba využít registrace do testovacího programu společnosti Vodafone, v rámci kterého je k dispozici 20 SIM karet s tarifem pro přenesení 2 MB dat za měsíc s funkčností po dobu 6 měsíců. Tento krok nebyl úspěšně dokončen, protože se

v dostatečné době nepodařilo vyřešit především formální náležitosti spojené se získáním SIM karet v rámci testovacího režimu. V době procesu vyjednávání SIM karet společnost SODAQ, která je výrobcem různých vývojových sad, představila vývojovou sadu včetně jednoho kusu testovací SIM karty s identickými parametry, který nabízel testovací program od společnosti Vodafone. Vývojová sada tak byla objednána a mohlo začít testování bezdrátové sítě.

Zprovozněním bezdrátové technologie bylo možné začít testovat samotnou bezdrátovou síť. Bylo postupně prováděno několik stovek měření na různých místech České republiky s cílem zjištění chování bezdrátové sítě a otestování tvrzení mobilního operátora se 100% pokrytím České republiky. Data byla odesílána do platformy AllThingsTalk v našem případě provozovanou společností Vodafone, kde se měřená data ukládají. Pro vyhodnocení naměřených dat byla použita platforma Node-RED, která uložená data z platformy AllThingsTalk analyzovala a vyhodnotila především správnost časové posloupnosti dat. Data z putovní vývojové sady se odesílala každých 5 minut s časovou známkou zprávy a její GPS polohou. Analýza, která probíhala na straně Node-RED tak kontrolovala časovou posloupnost dat, které následně vykreslovala do mapy. Chybějící data, tedy zprávy, které se nepodařilo úspěšně odeslat bezdrátovou sítí, byla spočtena na základě periodického odesílání a následně vyhodnoceny k poměru všech odeslaných zpráv s výsledkem úspěšnosti doručení zprávy 99,1 % při 983 odeslaných zprávách. Tento výsledek předčil veškerá očekávání a v rámci výstupu v podobě mapy dle Obr. 30 potvrdil tvrzení mobilního operátora Vodafone o hustotě pokrytí v rámci České republiky.

V rámci testování bylo zahrnuto několik míst, kde technologie neodeslala žádná data. Jsou jimi v rámci Prahy některé vestibuly metra a tunelové komplexy v rámci dopravy. Na těchto místech úspěšnost odeslání dat nebyla předpokládána. Testování probíhalo i v rámci zahraniční cesty do Anglie při navštívení hlavního města Londýn, kde došlo k několika pokusům o odeslání dat mobilní sítí. Výsledek ve všech případech skončil neúspěšně, ačkoliv by technologie v Londýně a konkrétně testovaných lokalitách měla být k dispozici. Bohužel se v rámci práce nepodařilo zjistit příčina a pravděpodobně bude důvod souviset s roamingem v síti či obdobným problémem operátora. Ostatní testování již probíhalo v České republice a dle výsledků testování předčilo veškeré očekávání s ohledem na testovací provoz sítě a rané stádium implementace technologie LTE NB v České republice.

Výstupem práce je mapa se zanešenými body úspěšně odeslaných i neodeslaných dat, která byla zanesena ručně a vytváří tak mapu pokrytí České republiky a shrnutí použitelnosti

technologie v určitých lokalitách. Měření bylo prováděno na předem daných místech, kde byl předpoklad o nedostupnosti služby operátora, tak sporadicky na různých místech České republiky za různých podmínek. Jednalo se o statické odesílání dat z hlediska polohy, tak o testování odesílání dat při pohybu v různých rychlostech.

Do budoucna bude zajímavé pozorovat, která ze tří LPWAN technologií (LTE NB, LoRa WAN, SigFox) si najde dominantní uplatnění na trhu. Z technologického hlediska vychází bezdrátová technologie LTE NB ve většině aspektech lépe než LoRa WAN nebo SigFox. Doposud však není možné zařízení v síti jednoduše provozovat a je potřeba individuálního vyjednávání o získání SIM karty u konkrétního operátora. Pomineme-li se stávající raná fáze testování sítě a provozu pilotní projektů, nejdůležitějším aspektem pro získání trhu tak bude cena. A to cena nejen za konektivitu zařízení, ale také cena za hardwarové náklady pro daný produkt, kde dnes vychází nejlépe bezdrátová technologie SigFox, následně LoRaWAN a na posledním místě LTE NB.

V dohledné době se také čím dál více uvažuje o výstavbě 5G sítí, které by měly být převratné z pohledu nahrazení dosavadních technologií. V České republice je plánovaná aukce pro kmitočtová pásma 5G sítí a výstavba by měla být dokončena v roce 2020. Aktuální dění kolem technologických společností, které by měly 5G sítě dodávat, neumožní do roku 2020 vytvoření potřebné infrastruktury. Do budoucna je také otázka, jakým způsobem dojde k migraci technologie LTE NB do sítí 5G, nebo zda bude do budoucna LTE NB nahrazena modernější technologií.

## 10 Seznam použitých zdrojů

- [1] Deployment map. In: *GSMA* [online]. b.r. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.gsma.com/iot/deployment-map/#deployments>
- [2] *Www.ericsson.com*. In: *Ericsson* [online]. b.r. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.ericsson.com/en/ericsson-technology-review/archive/2016/nb-iot-a-sustainable-technology-for-connecting-billions-of-devices>
- [3] VIAVI Solutions. *Viavisolutions* [online]. b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://blog.viavisolutions.com/2017/12/18/3gpp-nb-iot-deployment-and-optimization-challenges/>
- [4] Narrowband IoT. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband\\_IoT](https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband_IoT)
- [5] BEGISHEV, Vyacheslav, Vitaly PETROV, Andrey SAMUYLOV, Dmitri MOLTCHANOV, Sergey ANDREEV, Yevgeni KOUCHERYAVY a Konstantin SAMOUYLOV. Resource allocation and sharing for heterogeneous data collection over conventional 3GPP LTE and emerging NB-IoT technologies. *Computer Communications* [online]. 2018, **120**, 93-101 [cit. 2019-03-24]. DOI: 10.1016/j.comcom.2018.01.009. ISSN 01403664.
- [6] HOGLUND, Andreas, Xingqin LIN, Olof LIBERG et al. Overview of 3GPP Release 14 Enhanced NB-IoT. *IEEE Network* [online]. 2017, **31**(6), 16-22 [cit. 2019-03-24]. DOI: 10.1109/MNET.2017.1700082. ISSN 08908044.
- [7] Ublox. *Ublox* [online]. b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.u-blox.com/en/product/sara-r4n4-series>
- [8] Quectel BC66. *Quectel* [online]. b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.quectel.com/product/bc66.htm>
- [9] SODAQ. *Sodaq* [online]. b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://shop.sodaq.com/sara-aff-r410m-vodafone.html>



- [10] ARDUINO IDE. *ARDUINO.CZ* [online]. b.r. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://arduino.cz/programujeme-arduino/>
- [11] AT příkazy. *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích* [online]. b.r. [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/SERYM/principy/mmedia/AT.html>
- [12] Particle. *Particle* [online]. b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://docs.particle.io/datasheets/cellular/boron-datasheet/>
- [13] *QOITECH* [online]. b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.qoitech.com/>
- [14] Vodafone mapa pokrytí. *Vodafone* [online]. b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://www.vodafone.cz/mapa-pokryti/>
- [15] Comparison LTE NB, LoRa WAN, SigFox. *Gsm-modem* [online]. b.r. [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://www.gsm-modem.de/M2M/m2m-faq/comparison-energy-consumption-lpwan-sigfox-lorawan-nb-iot/>

# Seznam obrázků

OBR. 1 IMPLEMENTACE V JEDNOTLIVÝCH STÁTECH TECHNOLOGIE LTE NB A LTE M [1] .....	6
OBR. 2 STAND ALONE [3] .....	7
OBR. 3 GUARD-BAND [3] .....	7
OBR. 4 IN-BAND [3] .....	8
OBR. 5 KOMUNIKAČNÍ MODUL U-BLOX [7] .....	11
OBR. 6 KOMUNIKAČNÍ MODUL QUECTEL [8] .....	12
OBR. 7 VÝVOJOVÁ SADA SODAQ [9] .....	13
OBR. 8 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ ARDUINO IDE [VLASTNÍ] .....	15
OBR. 9 KONFIGURACE ARDUINO IDE [VLASTNÍ] .....	16
OBR. 10 HARDWARE PLATFORMA PARTICLE BORON [12] .....	19
OBR. 11 BLOKOVÝ DIAGRAM PARTICLE BORON LTE [12] .....	20
OBR. 12 PLATFORMA ALLTHINGS TALK PŘIDÁNÍ NOVÉHO ZAŘÍZENÍ [VLASTNÍ] .....	23
OBR. 13 ALLTHINGS TALK PŘEHLED ZAŘÍZENÍ [VLASTNÍ] .....	23
OBR. 14 ALLTHINGS TALK INFORMACE O SENZORU V PLATFORMĚ [VLASTNÍ] .....	24
OBR. 15 ALLTHINGS TALK VYTVOŘENÍ DASHBOARD [VLASTNÍ] .....	25
OBR. 16 ALLTHINGS TALK UKÁZKA HOTOVÉHO DASHBOARD [VLASTNÍ] .....	25
OBR. 17 POSTMAN ZALOŽENÍ NOVÉHO PRACOVNÍHO PROSTORU PRO PLATFORMU ALLTHINGS TALK [VLASTNÍ] .....	26
OBR. 18 POSTMAN ZÍSKÁNÍ ACCESS TOKEN Z PLATFORMY ALLTHINGS TALK [VLASTNÍ] .....	27
OBR. 19 POSTMAN VYČTENÍ DAT Z ALLTHINGS TALK PLATFORMY [VLASTNÍ] .....	28
OBR. 20 PARTICLE VÝBĚR HARDWARE PLATFORMY [VLASTNÍ] .....	30
OBR. 21 PARTICLE PROCES PŘIDÁNÍ NOVÉHO ZAŘÍZENÍ [VLASTNÍ] .....	31
OBR. 22 PARTICLE INFORMACE O ZAŘÍZENÍ [VLASTNÍ] .....	32
OBR. 23 NODE-RED DEMONSTRACNÍ PROGRAM [VLASTNÍ] .....	35
OBR. 24 MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE, ODVYSÍLÁNÍ DAT [VLASTNÍ] .....	39
OBR. 25 OTII ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE [13] .....	40
OBR. 26 PROGRAM V APLIKACI NODE-RED PRO AUTOMATICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT A ZANEŠENÍ DO MAPOVÉ VRSTVY [VLASTNÍ] .....	42
OBR. 27 ODSTRANĚNÍ NEVÝZNAMNÝCH DAT, KTERÉ NEOBSAHUJÍ POLOHOVÉ INFORMACE PRO VYKRESLENÍ V MAPĚ [VLASTNÍ] .....	43
OBR. 28 POPIS DATOVÝCH STRUKTUR [VLASTNÍ] .....	43
OBR. 29 ÚPRAVA DAT PRO NODE WORLDMAP [VLASTNÍ] .....	44
OBR. 30 MAPA ČESKÉ REPUBLIKY SE ZANEŠENÝMI DATY Z BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ V PLATFORMĚ NODE-RED [VLASTNÍ] .....	45
OBR. 31 POKRYTÍ ČESKÉ REPUBLIKY BEZDRÁTOVOU TECHNOLOGIÍ LTE NB [14] .....	47
OBR. 32 MAPA POKRYTÍ ČESKÉ REPUBLIKY BEZDRÁTOVOU TECHNOLOGIÍ LORA WAN .....	48
OBR. 33 MAPA POKRYTÍ ČESKÉ REPUBLIKY BEZDRÁTOVOU TECHNOLOGIÍ SIGFOX .....	49
OBR. 34 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BEZDRÁTOVÝCH TECHNOLOGIÍ PŘI ODESÍLÁNÍ ZPRÁVY VELIKOSTI 12 BYTE [15] .....	50

# Seznam zkratek

## 3

3GPP	
The 3rd Generation Partnership Project .....	16

## A

API	
Application Programming Interface .....	40

## B

BTS	
Base Transiver Station, Systém základnových stanic .....	13

## D

Docker	
Odlehčená virtualizace pouze dané aplikace .....	49

## G

gateway	
brána .....	55

## I

IoT	
Internet of Things .....	19

## J

json	
JavaScript Object Notation .....	36

## K

kontejner	
Virtualizovaná aplikace v dockru .....	49

## L

LoRa WAN	
----------	--

LPWAN bezdrátová technologie .....	9
LPWAN	
Low-Power Wide-Area-Network.....	9
LTE NB .....	9
Long Term Evolution - Narrowband.....	10

## N

NAS	
Network Attached Storage - datové úložiště na síti.....	49
npm	
Node Package Manager - správce javascriptových balíčků .....	43

## S

SigFox	
LPWAN bezdrátová technologie .....	9

# Přílohy:

Příloha 1 Měřené hodnoty spotřeby elektrické energie k Obr. 24

čas [s]	Proud [A]	Energie [J]			
0	5,70E-02	4,27E-04	0,08	1,10E-01	3,24E-02
0,002	5,72E-02	8,56E-04	0,082	1,17E-01	3,33E-02
0,004	6,10E-02	1,31E-03	0,084	1,10E-01	3,41E-02
0,006	5,90E-02	1,75E-03	0,086	1,11E-01	3,49E-02
0,008	5,96E-02	2,20E-03	0,088	1,10E-01	3,58E-02
0,01	6,52E-02	2,69E-03	0,09	9,10E-02	3,65E-02
0,012	6,92E-02	3,21E-03	0,092	5,46E-02	3,69E-02
0,014	3,75E-02	3,49E-03	0,094	5,83E-02	3,73E-02
0,016	3,90E-02	3,78E-03	0,096	6,12E-02	3,78E-02
0,018	3,60E-02	4,05E-03	0,098	5,99E-02	3,82E-02
0,02	4,65E-02	4,40E-03	0,1	6,00E-02	3,87E-02
0,022	2,59E-01	6,33E-03	0,102	5,98E-02	3,91E-02
0,024	3,38E-01	8,86E-03	0,104	6,05E-02	3,96E-02
0,026	3,40E-01	1,14E-02	0,106	6,24E-02	4,00E-02
0,028	2,92E-01	1,36E-02	0,108	6,09E-02	4,05E-02
0,03	8,36E-02	1,42E-02	0,11	6,20E-02	4,09E-02
0,032	5,99E-02	1,47E-02	0,112	6,10E-02	4,14E-02
0,034	6,00E-02	1,51E-02	0,114	6,06E-02	4,19E-02
0,036	6,39E-02	1,56E-02	0,116	6,21E-02	4,23E-02
0,038	4,11E-02	1,59E-02	0,118	6,20E-02	4,28E-02
0,04	3,62E-02	1,62E-02	0,12	6,15E-02	4,32E-02
0,042	6,12E-02	1,66E-02	0,122	6,20E-02	4,37E-02
0,044	1,08E-01	1,75E-02	0,124	3,72E-02	4,40E-02
0,046	1,11E-01	1,83E-02	0,126	3,46E-02	4,42E-02
0,048	1,10E-01	1,91E-02	0,128	3,48E-02	4,45E-02
0,05	1,09E-01	1,99E-02	0,13	3,74E-02	4,48E-02
0,052	1,10E-01	2,08E-02	0,132	1,67E-01	4,60E-02
0,054	1,10E-01	2,16E-02	0,134	3,33E-01	4,85E-02
0,056	1,10E-01	2,24E-02	0,136	1,78E-01	4,99E-02
0,058	1,10E-01	2,32E-02	0,138	5,87E-02	5,03E-02
0,06	1,13E-01	2,41E-02	0,14	6,02E-02	5,08E-02
0,062	1,15E-01	2,49E-02	0,142	6,11E-02	5,12E-02
0,064	1,11E-01	2,58E-02	0,144	6,00E-02	5,17E-02
0,066	1,10E-01	2,66E-02	0,146	6,00E-02	5,21E-02
0,068	1,11E-01	2,74E-02	0,148	6,11E-02	5,26E-02
0,07	1,11E-01	2,83E-02	0,15	6,13E-02	5,30E-02
0,072	1,11E-01	2,91E-02	0,152	6,00E-02	5,35E-02
0,074	1,10E-01	2,99E-02	0,154	6,01E-02	5,39E-02
0,076	1,11E-01	3,08E-02	0,156	7,06E-02	5,45E-02
0,078	1,10E-01	3,16E-02	0,158	3,96E-02	5,48E-02
			0,16	3,42E-02	5,50E-02

0,162	4,01E-02	5,53E-02
0,164	3,88E-02	5,56E-02
0,166	1,48E-01	5,67E-02
0,168	3,31E-01	5,92E-02
0,17	1,98E-01	6,07E-02
0,172	5,94E-02	6,11E-02
0,174	6,05E-02	6,16E-02
0,176	6,09E-02	6,20E-02
0,178	6,03E-02	6,25E-02
0,18	6,05E-02	6,30E-02
0,182	6,00E-02	6,34E-02
0,184	6,14E-02	6,39E-02
0,186	6,11E-02	6,43E-02
0,188	6,02E-02	6,48E-02
0,19	6,18E-02	6,52E-02
0,192	6,06E-02	6,57E-02
0,194	5,95E-02	6,61E-02
0,196	6,00E-02	6,66E-02
0,198	3,60E-02	6,69E-02
0,2	3,56E-02	6,71E-02
0,202	4,91E-02	6,75E-02
0,204	1,02E-01	6,83E-02
0,206	1,11E-01	6,91E-02
0,208	1,10E-01	6,99E-02
0,21	1,08E-01	7,07E-02
0,212	6,25E-02	7,12E-02
0,214	6,09E-02	7,16E-02
0,216	6,27E-02	7,21E-02
0,218	6,04E-02	7,26E-02
0,22	6,04E-02	7,30E-02
0,222	5,84E-02	7,35E-02
0,224	5,98E-02	7,39E-02
0,226	6,00E-02	7,44E-02
0,228	6,03E-02	7,48E-02
0,23	6,16E-02	7,53E-02
0,232	6,09E-02	7,57E-02
0,234	6,06E-02	7,62E-02
0,236	6,26E-02	7,67E-02
0,238	6,25E-02	7,71E-02
0,24	6,05E-02	7,76E-02
0,242	6,00E-02	7,80E-02
0,244	6,13E-02	7,85E-02
0,246	6,00E-02	7,89E-02
0,248	6,00E-02	7,94E-02
0,25	6,28E-02	7,99E-02

0,252	6,10E-02	8,03E-02
0,254	6,20E-02	8,08E-02
0,256	5,99E-02	8,12E-02
0,258	6,00E-02	8,17E-02
0,26	6,00E-02	8,21E-02
0,262	6,09E-02	8,26E-02
0,264	6,27E-02	8,30E-02
0,266	6,18E-02	8,35E-02
0,268	6,03E-02	8,40E-02
0,27	6,20E-02	8,44E-02
0,272	6,11E-02	8,49E-02
0,274	5,96E-02	8,53E-02
0,276	6,26E-02	8,58E-02