

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta elektrotechnická
Katedra technologií a měření

Bakalářská práce

Vizualizace dat IoT

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Robert KUBÍČEK**
Osobní číslo: **E16B0168P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Téma práce: **Vizualizace data IoT**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s pojmem IoT
2. Proveďte rešerši systémů pro vizualizaci dat z IoT
3. Realizujte vzorové řešení

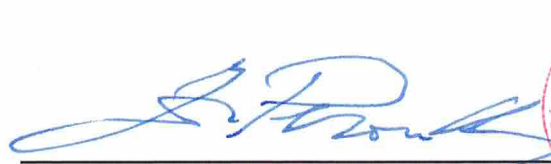
Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

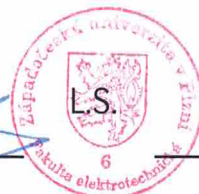
1. The internet of things, Samuel Greengard, ISBN 978-0-262-52773-6
2. Internetové zdroje

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Karel Šíma**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. června 2020**



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



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

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.

V Plzni dne 18. června 2020

Robert Kubíček

Abstrakt

Práce obsahuje teoretickou a praktickou část. V teoretické části se práce zabývá seznámením s pojmem IoT a souvisejícími technologiemi. V této části je také rozebrán řetězec komunikace připojeného zařízení, kde je kladen důraz na využívané technologie. V praktické části je provedena rešerše systému a webových technologií pro vizualizace dat, které by mohly být použity při realizaci vlastního vizualizačního řešení. Z výsledků rešerše byly vybrány vhodné technologie a je popsán kompletní návod jak realizovat řešení pro vizualizaci dat.

Klíčová slova

IoT, IIoT, vizualizace, ThingsBoard, LoRa

Abstract

The thesis contains a theoretical and a practical part. In the theoretical part, this work deals with an introduction to the concept of IoT and related technologies. In this part, the communication chain of the connected device is also analyzed, where the emphasis is on the technologies used. In the practical part there is a search of the system and web technologies for data visualization, which could be used in the implementation of your own visualization solution. Suitable technologies were selected from the research results and a complete guide on how to implement a solution for data visualization is described.

Key words

IoT, IIoT, visualization, ThingsBoard, LoRa

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Karlu Šimovi za poskytnuté konzultace, výborné vedení práce, přínosné rady a pomoc při jejím zpracování.

Obsah

1	Úvod	10
2	Seznámení s pojmem IoT	11
2.1	IoT a IIoT	11
3	Řetězec komunikace v IoT	13
3.1	Zařízení	13
3.2	Brány	13
3.3	Komunikace	14
3.4	Technologie pro IoT	14
3.4.1	Mobilní sítě	14
3.4.1.1	2G	14
3.4.1.2	3G	15
3.4.1.3	4G	15
3.4.1.4	5G	15
3.4.2	M2M (Machine to Machine)	16
3.4.3	LoRa™ a LoraWAN	16
3.4.3.1	LoRa™	16
3.4.3.2	LoRaWAN	16
3.4.4	NB-IoT (Narrowband - IoT)	17
3.4.5	Sigfox	18
3.4.6	BLE (Bluetooth Low Energy)	19
3.4.7	Wi-fi	19
3.4.8	Z-Wave	20
3.4.9	ZigBee	20
3.4.10	RFID a NFC	20
3.4.10.1	RFID	21
3.4.10.2	NFC	21
3.5	Server/Cloud	21
3.6	Datové protokoly	22
3.6.1	MQTT	22
3.6.2	HTTP	23
3.6.3	CoAP	23
3.6.4	AMQP	23
3.7	Aplikace	24
4	Systémy pro vizualizaci dat	25
4.1	Kibana	25
4.2	Tableau	25
4.3	ThingsBoard	27

4.4	PowerBI	27
4.5	Grafana	29
4.5.1	Části systému	29
4.6	FreeBoard.io	30
4.7	Webové technologie pro tvorbu vlastních vizualizačních systémů	30
4.7.1	D3.js (D3D.js)	30
4.7.2	Chart.js	31
4.7.3	Google Charts	32
4.7.4	Plotly	33
5	Navrhované řešení	34
5.1	Analýza současného stavu	34
5.2	Výběr aplikace	34
5.3	Postup implementace	36
5.4	Systémové požadavky a instalace	36
5.4.1	OS Debian	36
5.4.2	Přihlášení k SSH	37
5.4.3	Java 8	37
5.4.4	Instalace databáze	37
5.5	Instalace a konfigurace aplikace	38
5.5.1	Stažení aplikace a instalace	38
5.5.2	Konfigurace aplikace	38
5.5.3	Inicializace aplikace	39
5.5.4	Spuštění aplikace	39
5.6	Práce v aplikaci	39
5.6.1	Nastavení aplikace	39
5.6.2	Přístup a práva uživatelů	40
5.6.3	Řetězy pravidel	40
5.6.4	Zákazníci	40
5.6.5	Aktiva	41
5.6.6	Entitní pohledy	41
5.6.7	Knihovna widgetů	41
5.6.8	Zařízení	41
5.6.9	Příjem telemetrie	41
5.6.10	Dashboard	42
6	Závěr	43
	Literatura	44

1 Úvod

Cílem této práce je provedení rešerše a nalezení vhodného řešení pro vizualizaci dat z IoT zařízení. Na hledané řešení jsou kladeny tyto základní požadavky: jednoduché ovládání, jednoduchost administrace, největší univerzálnost a možnost využívání tohoto řešení během prototypování vyvíjených zařízení. Dalším cílem je navrhované řešení zprovoznit. Předkládaná práce obsahuje čtyři hlavní kapitoly.

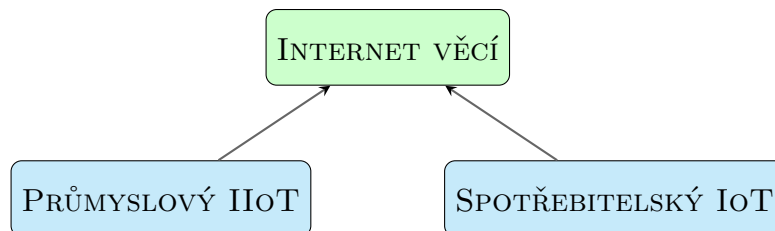
První kapitola se věnuje pojmu IoT, IIoT a souvisejícím technologiím, kdy jde o seznámení se s problematikou. Ve druhé kapitole se práce zabývá řetězcem komunikace a vybranými technologiemi. V této kapitole je rozebrán řetězec od zařízení, kde data vznikají, přes komunikační technologie skrze které se přenáší data, až po koncovou aplikaci. Po této kapitole následuje kapitola s rešerší webových technologií a systémů pro vizualizaci dat. Na základě této rešerše bude zvolen jeden systém a v poslední kapitole bude popsán kompletní postup, jak připravit nasazení tohoto systému a jak provést základní nastavení a spuštění.

2 Seznámení s pojmem IoT

Internet věcí, ve zkratce běžně pojmenovávaný pouze jako „IoT“, lze vnímat jako soubor vyspělých a pokročilých technologií, umožňující propojit jakékoliv zařízení prostřednictvím Internetu spolu s dalšími. IoT dále vychází z filozofie *Internet of Everything*, kde se předpokládá propojení veškerého fyzického světa do abstraktního digitálního světa Internetu a vytvoření určitých digitálních obrazů fyzických věcí/zařízení. Tyto digitální obrazy umožňují kolektovat data a metadata, ze kterých lze následně získat nové informace. Tyto informace mají klíčovou roli například ve světě tržní ekonomiky, při rozhodování a tvorbě strategických plánů, kdy dále poskytují klíčovou výhodu, kterou může konkurence postrádat. Znalost nových informací může vést k novému zisku, zvýšení dosavadních zisků nebo mohou být využity k vylepšení současných produktů a procesů [1, 2].

2.1 IoT a IIoT

Internet věcí lze chápat jako neustále se vyvíjející infrastrukturu. V tomto celku můžeme najít jak jednotlivá zařízení, tak i agregované skupiny zařízení. Všechny zařízení jsou připojeny do komunikační sítě Internetu nebo do lokální IT komunikační sítě. IoT nám umožňuje propojit fyzický svět se světem digitálním a urychlit přenos a šíření informací. Obecně lze zařízení z oblasti IoT rozdělit na dvě velké skupiny viz Obr. 2.1 [3].



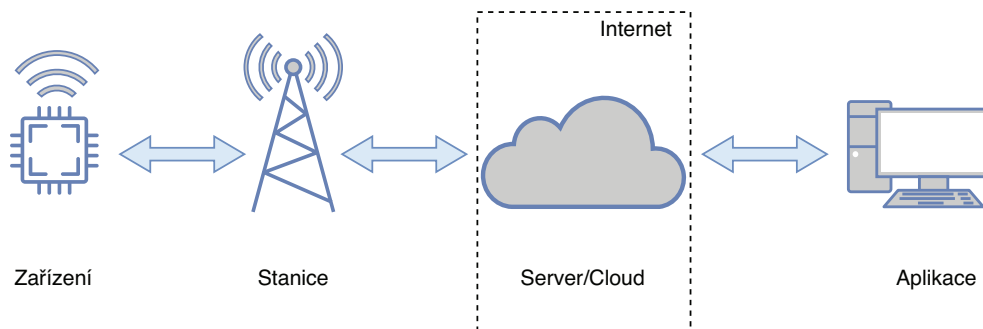
Obr. 2.1: Rozdělení internetu věcí [3]

Internet věcí má tak dvě hlavní skupiny zařízení: Průmyslový IIoT a Spotřebitelský IoT. Všechna zařízení ale mají stejné hlavní rysy, kdy se jedná o zařízení s dobrou dostupností informací, integrací inteligentních technologií a algoritmů s možností připojení zařízení do velkých komunikačních sítí. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma skupinami je jejich cílové použití. IoT se nejčastěji využívá pro spotřebitelskou sféru, kde má za úkol usnadňovat, zpříjemňovat a zlepšovat životní komfort uživatelů. Na druhé straně IIoT (*Industrial Internet of Things*) se aplikuje pro průmyslové účely, kde je využíván například pro monitorování výroby, sledování dodavatelského řetězce, systém řízení atd. Na rozdíl od IoT, využívá IIoT většinou více sofistikovanějších zařízení, čímž je možné realizovat pokročilé monitorování výroby nebo dodavatelského řetězce. Cílem je získat širší a podrobnější pohled na současný - okamžitý stav v daném procesu. Díky tomu je pak možné realizovat flexibilnější odezvu automatizovaných

procesů. V oblasti IoT se jedná například o inteligentní spotřebiče, které dokáží snížit náklady správným využíváním zdrojů, dále pak automatické odpojení od sítě nebo úpravou teploty v pokoji na základě aktuálního počasí. Oproti tomu IIoT je vyvíjen tak, aby mohl pracovat s kritickými stroji. Využívá se ve výrobě, kde pracuje s citlivějšími a přesnějšími senzory, včetně technologií, které jsou citlivé na umístění. Naopak IoT využívá jednodušší aplikace, kde není takové riziko dopadu, například výpadek zařízení. Dalším faktorem je levnější cena než u IIoT s ohledem na objem výroby a technologické možnosti. IIoT propojuje stroje a sensoriku v průmyslovém odvětví s vysokým podílem jako je letectví, obrana, zdravotnictví a energetika. Jedná se o systémy, ve kterých selhání může ohrožovat život nebo jiné závažné situace, proto je třeba zajistit, aby nedošlo k jejich nedostupnosti. Při pohledu na IoT, kde jsou zařízení na úrovni spotřebitele s nízkým dopadem na riziko, když dojde k selhání. Jsou také důležité a pohodlné, ale v případě poruchy nejde o závažné situace. Pochopení rozdílů mezi IoT a IIoT umožní lépe porozumět, jak může vznikající internet průmyslových věcí pomoci podnikům získat nové příležitosti k rozhodování, vývoji a růstů, případně zlepšit jejich výkon pomocí monitorování metrik [3, 4].

3 Řetězec komunikace v IoT

V této kapitole bude popsán obecný koncept komunikace v IoT. Jedná se o základní řetězec komunikace, který je vidět na Obr. 3.1. Tento řetězec je složený ze sofistikovaných zařízení. Těmi jsou: koncové zařízení, brána či celé skupiny bran, cloudové nebo serverové řešení a uživatelské aplikace.



Obr. 3.1: Koncepte sítě pro Internet věcí [5]

3.1 Zařízení

Pro IoT existuje nepřehledné množství různých zařízení. Každé zařízení se vyznačuje jednoznačnou identifikací. Široká veřejnost si pod pojmem IoT představí každé zařízení, které je připojeno do sítě Internetu. A ano, původní koncept IoT je připojit veškerá zařízení do internetu a těžit data. V původní myšlence byla zařízení často připojena pomocí Ethernetu a komunikovali prostřednictvím Internetu, anebo speciální sítí pro tato zařízení a čidla. Máme zde tedy zařízení, kterému stačí odeslat několik zpráv během dne a nepotřebuje být stále připojeno. Tato vlastnost mu umožní fungovat po několik let pouze pomocí napájení z baterie. Lze jej chápat jako elektronickou věc či spotřebič, obsahující elektroniku, čidla, baterie či případný software. Toto zařízení následně může produkovat data získaná ze sensorových modulů a prostřednictvím komunikačního modulu jsou přenášeny skrze Internet. V této elektronice také nalezneme řídicí firmware nebo interní software. Ten je velice důležitý, protože obsahuje informace důležité pro přístup do dané komunikační sítě a klíče k šifrování přenášených dat [5].

3.2 Brány

Aby zařízení mohla komunikovat s řídicími servery, musí svoji komunikaci provádět přes jednu nebo více bran. Tato brána je pak spojovací bod mezi zařízením a serverem/cloudem. Brány jsou fyzická zařízení, která jsou strategicky umístěna tak, aby byla pokryta co možná největší oblast. V případě LPWAN sítí musíme také kontrolovat, kolik zpráv zařízení generují, aby dodrželi procentní limit vytížení v daném pásmu,

jinak bychom se dopouštěli omezování ostatních účastníků, za což by hrozil postih od Českého telekomunikačního úřadu. Brána nám tedy poskytuje místo pro předzpracování těchto dat na okraji naší sensorové sítě před dalším odesláním na server nebo do cloudu skrz Internet. Po provedení této agregace, dojde k minimalizaci finálního objemu dat, který pak předáváme do cloudu/serveru. To může mít dopad na odezvu a náklady na provoz. Další funkce IoT brány je zabezpečení přenosu dat, které přenáší. Brána má většinou přístup k databázi autentizačních údajů a je schopna provést autorizaci zařízení a zabraňuje tak neoprávněným přístupům. Dále také může dešifrovat data, které přijímá od zařízení. U některých technologií je možné vytvářet privátní sítě pro vlastní zařízení. Příkladem může být vytvoření metropolitní IoT sítě pro koncept Smart City nebo malá lokální síť pro potřeby jedné firmy a její výroby [5, 6].

3.3 Komunikace

Komunikace v IoT může probíhat v několika směrech. Jedním z nich je komunikace od zařízení k bráně. V tomto směru můžeme využít drátové či bezdrátové technologie. Komunikace může probíhat jak ve směru od zařízení k bráně, tak ve směru opačném. Skrze bránu lze posílat příkazy či požadavky na zařízení ze serveru, u LPWAN sítí je často tzv. „Uplink“ limitovaný na jednotky či desítky zpráv za den. Dalším směrem je komunikace brány s řídicím cloudem/serverem. Zde probíhá odesílání telemetrických dat ze sensorů do serveru, kde brána dělá prostředníka pro přenos. Mezi serverem a bránou se vyměňují autentizační data proto, aby brána správně autorizovala zařízení a mohli obousměrně navázat komunikaci. Další částí je komunikace serveru a aplikace. Zde probíhá komunikace skrz zabezpečené API, přičemž na serveru je databáze, z které se berou data do aplikace. Může se také stát, že aplikace je spuštěna na serveru a v tomto případě, jsou data brána přímo z databáze a API není potřeba. Dále je pak možné z aplikace posílat požadavky na zařízení, jako například vzdálené ovládaní věcí nebo požadavek o aktuální data [7, 8].

3.4 Technologie pro IoT

Existuje mnoho různých technologií pro přenos dat z IoT zařízení, přičemž každá z nich má své výhody a nevýhody. Není proto možné najít jedno univerzální řešení, jelikož pro každou cílovou aplikaci je zapotřebí rozhodnout, jakou technologii využít. Vše je závislé na charakteru dat, která bude zařízení odesílat a přijímat, na četnosti odesílání a samozřejmě i na požadované geografické dostupnosti [7, 8].

3.4.1 Mobilní sítě

3.4.1.1 2G

Jde o síť GSM (*Global System for Mobile Communication*). Síť je provozována na kmitočtech 900 a 1800 MHz, a v ČR je nabízena třemi operátory. Jde o síť, která je pomalá (v řádech desítek kbit/s), tuto síť je možné použít pro opravdu nenáročné

aplikace na datový objem. Stačí na odeslání e-mailů nebo nahrání jednoduchých dat na FTP (*File Transfer Protokol*) server, typické využití u některých průmyslových aplikací [9].

3.4.1.2 3G

Jedná se o první širokopásmové připojení, které je jednou z možností využití 3G sítě. Nejedná se o jedinou technologii, ale součástí je celá škála standardů. Nejznámější je UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), což je systém 3G standardů mobilních telefonů a je také součástí IMT2000 (sada přijatých doporučení ITU-T pro mobilní síť 3G). Jeden z hlavních přínosů je podpora kvality služeb tzv. QoS (*Quality of Service*), což odlišuje jednotlivé služby s ohledem na různé požadavky kapacity linky. Síť 3G dosahuje přenosové rychlosti v řádu jednotek (2 Mb/s) a pracují na frekvenci 2100 MHz [10].

3.4.1.3 4G

Síť LTE (*Long Term Evolution*) je širokopásmová technologie pro vysokorychlostní přenos, která bývá často zařazována mezi mobilní systémy 4G. To však není úplně pravda, jelikož je založena na 3G mobilních systémech. Plnohodnotný 4G má být až LTE-Advanced a WiMAX Advanced. V České republice se pro tyto sítě využívají kmitočtová pásma 1800 MHz a 900 MHz, které byli původně pro 2G. Přenosové rychlosti se pohybují až do 1Gb/s. V tomto pásmu je možné se stejnými nároky na provoz pokrýt výrazně většího území, než tomu bylo u UMTS v pásmu 2100 MHz [10, 11].

3.4.1.4 5G

Síť 5G přináší nové aspekty jako je větší šířka kanálu pro zrychlení dat, nižší latenci pro rychlejší odezvu a možnost připojit mnohem více zařízení pro IoT. Na rozdíl od LTE pracuje 5G ve třech různých pásmech spektra.

Nízko-pásmové spektrum s frekvencí pod 1 GHz nabízí velkou oblast pokrytí a dobrý průchod zdmi, ale je zde částečná nevýhoda v rychlosti přenosu, která se bude pohybovat kolem 100 Mb/s.

Středně-pásmové spektrum s pracovními frekvencemi 1-10 GHz poskytuje vyšší přenosové rychlosti a nižší latence, avšak má horší průnik budovami. Špičkové rychlosti se dají očekávat až do 1 Gb/s. Využívá se také technologie Massive MIMO (*Multi Input Multi Output*) ke zlepšení průniků a pokrytí oblasti středního pásma. Massive MIMO seskupuje více antén do jednoho zařízení a to umožňuje komunikovat s více zařízeními, kdy může být využito i odrazu signálu pro nejlepší dosažení příjmu. Jako další se používá *Beamforming*, který se využívá jako jediný zaostřený paprsek signálu ke každému zařízení (uživateli).

Vysoko-pásmové spektrum přináší nejvyšší výkon pro 5G, ale se slabinami. Spektrum může nabídnout přenosové rychlosti až 10 Gb/s a má extrémně malou latenci. Hlavní nevýhodou je pak oblast pokrytí a špatný průchod překážkami [12, 13].

3.4.2 M2M (Machine to Machine)

Jedná se o bezdrátové nebo kabelové řešení, které umožňuje volně komunikovat mezi zařízeními stejného typu. Toto vše se obejde bez jakéhokoliv lidského zásahu. M2M mohou zaznamenávat události typu teplota, vlhkost, či jiné veličiny a ty pak ukládají do programu. Zařízení zveřejňují data a neví jaká aplikace nebo uživatel je bude zpracovávat. Tato data jsou k dispozici více systémům, v nich mohou být dále rozšířena a revidována pokud se objeví nové požadavky [14].

3.4.3 LoRa™ a LoraWAN

3.4.3.1 Lora™

LoRa™ je modulace kterou vynalezla firma Cycleo a patentovala. Firma byla následně odkoupena firmou Semtech. Firma Semtech se zabývá vývojem nejrůznějších technologií, mimo jiné i v oblasti bezdrátových vysílačů [15].

Modulace LoRa™ je poměrně nová. Využívá modulaci s rozprostřeným spektrem SSM (*Spread Spectrum Modulation*), přesněji variantu nad CSS (*Chirp Spread Spectrum*). Při používání modulace CSS je generován signál *chirp*, který s časem zvyšuje frekvenci od spodní po horní hranici pásma a nebo opačně. Po dosažení hranic pásma se frekvence signálu otáčí a klesá na druhou stranu než, odkud přicházela. Na tento signál je pak modulována přerušovaná informace. Modulace nám dovoluje pracovat se signály na prahu šumu, dále má výborné nízké energetické nároky a velký dosah. Modulace má několik nastavení, jako je šířka vysílacího kanálu (15,6 kHz; 20,8 kHz; 31,2 kHz; 41,7 kHz; 62,5 kHz; 125 kHz; 250 kHz; 500 kHz) a SF (*Spreading Factor*) faktor, což je parametr rozptylu, čím vyšší bude, tím můžeme vysílat na delší vzdálenost, ale s nižší přenosovou rychlostí a naopak je možno, zvolit od SF7 až SF12. Modulaci lze u nás provozovat na frekvencích 868 MHz nebo 433 MHz. Jde o volné pásmo ISM (*industrial, scientific and medical*), které je bez licenčních poplatků [16, 17].

3.4.3.2 LoRaWAN

Síťová architektura LoRaWAN je topologie logicky zapojená do hvězdy resp. hvězda hvězd. V této topologii jsou brány transparentním mostem pro přenos zpráv od zařízení k centrálnímu aplikačnímu serveru. Brány jsou připojeny pomocí standardního protokolu TCP/IP, zatímco koncová zařízení jsou připojena pomocí bezdrátové komunikace a spojují se s jednou nebo více branami. Komunikace může být umožněna i směrem od brány k zařízení. Zařízení komunikuje mezi branou různým frekvenčním kanálem a různou rychlostí. Výběr přenosové rychlosti je dán parametry, které mohou být zvoleny kompromisem mezi přenosovou rychlostí a dosahem. Rychlost přenosu se pohybuje od 0,3 kb/s do 50 kb/s. Aby bylo možné maximalizovat životnost baterii senzoru, síťový server LoRaWAN řídí rychlost přenosu dat pro každý senzor pomocí algoritmů ADR (*Adaptive Data Rate*). Tato informace se určuje na základě SNR (*Signal to Noise Ratio*), RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), který ukazuje, jak je silný přijatý signál [16–18].

Pro zajištění bezpečnosti každého zařízení se používají dva typy přístupu jak zajistit registraci nového zařízení do sítě.

- ABP (*Device Activation by Personalisation*), kdy jsou nahrány všechny potřebné adresy a klíče do zařízení a poté se připojí do sítě. Klíče jsou (DevEUI, AppEUI, NwKey, AppSKey, AppKey, DevAddr), avšak potřebné jsou jen DevEUI a DevAddr. Ostatní můžou být nulové nebo schodné s ostatními zařízeními [19].
- OTAA (*Over The Air Activation*), jsou obstarány jen základní klíče (DevEUI, AppEUI, AppKey), ostatní jsou vygenerovány při první komunikaci a uloženy. V případě že se síť rozhodne klíče zneplatnit, bude se muset zařízení znovu připojit a vygenerovat nové [19].

Tyto klíče zajistí bezpečnost zařízení připojených v síti LoRaWAN, využívá se šifrování AES (*Advance Encryption Standart*).

LoRaWAN má také několik tříd zařízení:

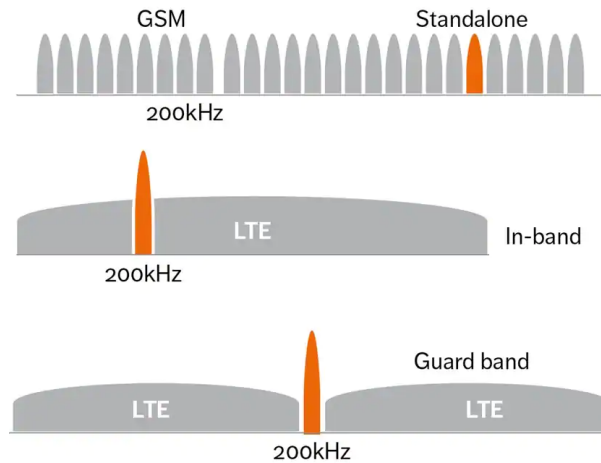
- Třída A - koncová zařízení mohou komunikovat obousměrně (každé odeslání dat je následováno dvěma okny pro příjem dat) [18, 20].
- Třída B - mimo „vynucený“ příjem dat třídy A, otevírá pro zařízení pouze okna ve stanovený čas, aby koncové zařízení otevřelo své přijímací okno v naplánovaném čase, kdy obdrží od brány synchronizační zprávu s časem. To umožňuje serveru vědět, kdy zařízení naslouchá [18, 20].
- Třída C - okna pro příjem jsou otevřená pořád a k jejich zavření dojde jen v případě, že zařízení odesílá [18, 20].

3.4.4 NB-IoT (Narrowband - IoT)

Narrowband IoT je úzkopásmová technologie speciálně vytvořená pro Internet věcí. Tyto pásma jsou ale licencované a vlastníci pásma se musí odvádět poplatky. Pro dosažení nejlepší účinnosti využití spektra byl NB-IoT navržen s řadou možností nasazení pro spektrum GSM, WCDMA nebo LTE. Možnosti použití jsou znázorněny na Obr. 3.2. Síť komunikuje rychlostí 50 kbps a její dosah je kolem 15km. Jako modulace jsou použity pro *downlink* OFDMA (*Orthogonal frequency-division multiple access*) a *uplink* SC-FDMA (*Single-carrier frequency-division multiple access*) [21, 22].

- Standalone - neboli samostatné nasazení, je vhodná volba pro souběžný provoz GSM a sítě WCDMA nebo LTE. Pro IoT přenos lze použít jeden nebo více GSM operátorů.
- In-band - ve spektru LTE můžou existovat nosiče pro NB-IoT protože neovlivní zařízení NB-IoT a jakýkoli nosič pro NB-IoT v GSM budou nadále fungovat v rámci nosiče LTE.

- Guard band - nasazení NT-IoT v ochranném pásmu, aby tyto sítě mohli fungovat souběžně a nedocházelo k vzájemnému rušení. Proto NT-IoT bylo navrženo s ohledem na specifické požadavky koexistence v ochranném pásmu. Obě sítě NB-IoT a LTE používají modulaci OFDMA na *downlink* a SC-FDMA na *uplink* [22].



Obr. 3.2: Možné využití spektra (převzato z [21])

3.4.5 Sigfox

Sigfox je společnost původem z Francie. Tato společnost se zabývá výstavbou bezdrátových sítí, které je možno využít pro nízkoenergetická zařízení. Sigfox provozuje sítě v pásmu ISM (868 MHz a 906 MHz USA). Pro vytvoření komunikace se využívá UNB (*Ultra Narrow Band*) pásmo pro vyslání krátkého pulzu dat. Zprávy v době přenosu zabírají šířku pásma pouze 100 Hz. Rychlost přenosu je závislá na lokalitě a rychlost je 100 nebo 600 bit/s. Přenos díky použité technologii je odolný vůči rušení. Vysílaná zpráva je modulovaná DBPSK (*Differential Phase-shift keying*) modulací. Tato modulace je nenáročná na šířku pásma, stačí jí 1 Hz na 1 bit/s. Toto přináší velice efektivní využití přenosového spektra [23].

Síť Sigfox je vytvořena pomocí základových stanic BTS (*base transceiver station*) podobně jako je u mobilních sítí nebo LoRaWAN. Základové stanice rozmisťuje společnost Simplecell Network, která staví ve spolupráci s operátory, které již v zemi mají své vysílače. Průběh komunikace vypadá následovně. Zařízení vysílají zprávu do sítě SigFox a jestliže je v dosahu BTS, tak dojde k příjmu zprávy. Každá stanice využije místního operátora a zprávu přeposílá do SigFox Cloudu. Tato komunikace již probíhá přes TCP/IP komunikaci. Z cloudu si pomocí různých API (*Application Programming Interface*) zprávu stáhne koncový uživatel. SigFox je také velice omezen, omezení se týká počtu zpráv za den, ten je stanoven na 140 zpráv o velikosti 12 bajtů a 4 zpětné potvrzovací 8-bajtové zprávy [24].

3.4.6 BLE (Bluetooth Low Energy)

Jedná se o bezdrátovou technologii, která jak už z názvu napovídá je nízko-energetická. Technologii uvedla na trh firma Bluetooth Special Interest Group. Nejedná se přímo o síť pro IoT, ale ve spojení s chytrým telefonem může poskytnout data, která mohou být zpracována jako IoT data. Technologie má teoreticky dosah několik desítek metrů, prakticky maximálně 50 m. Přenosová rychlost se pohybuje teoreticky v řádu 1 Mbit/s, prakticky spíše 125 kbit/s. Bezpečnost přenosu je zajištěna šifrováním AES 128 bit. Pro specifikaci aplikace se používají tzv. profily, to nám říká jak spolu budou dvě zařízení navzájem komunikovat. Nejčastěji tuto technologii najdeme uvnitř fitness náramků, chytrých měřičů tlaku krve, různých zdravotních monitorů a u osobních vah [25, 26].

3.4.7 Wi-fi

Jedná se o bezdrátovou technologii provozovanou v bezlicenčních pásmech (ISM) 2,4 GHz a 5 GHz, založenou na rodině standardů 802.11. Tato technologie je poměrně levná. Pro zařízení IoT se však moc nehodí, protože vysílání je poměrně energeticky náročné a proto pro aplikace provozované na baterii není moc vhodná [27].

Sítě jsou založeny na buňkovém principu, kdy jeden centrální přístupový bod zajišťuje připojení ostatním klientům v dosahu, což si můžeme představit analogicky jako GSM síť, ale v menším měřítku. Připojení těchto centrálních bodů je pak zajištěno kabelem internetem, mobilními sítěmi, nebo optickým vláknem. Další nevýhoda tohoto pásma je zejména v městských oblastech, kde je mimo jiné i velké množství dalších Wi-Fi zařízení. Připojení tak může být nestabilní nebo zarušené. Trochu lepší situace je v pásmu 5 GHz, které je zatím relativně čisté. Ale s nástupem bezdrátových směrovačů, které budou zvládat obě pásma se tato situace zhorší. Každé pásmo 2,4 GHz nebo 5 GHz je ještě ve skutečnosti rozděleno na více užších dílčích pásem. Například rozsah 2,4 GHz je dán mezi 2,412 a 2,484 GHz a to poskytuje dohromady 14 kanálů po 5 MHz. 14. kanál však není o 5 MHz ale o 12 MHz od 13. kanálu. Každá Wi-Fi obsadí jeden kanál a zabere šířku pásma 20 MHz. Z toho vyplývá, že v jednom místě mohou být souběžně provozovány maximálně 4 Wi-Fi na kanálech (1, 5, 9, 13). Toto platí pro síť 802.11g/n. Síť však může pro dosažení vyšší rychlosti zabrat pásmo o šířce 40 MHz a to způsobí, že zabere polovinu z možných kanálů. Pro pásmo 5 GHz je situace trochu jiná. Zde je pásmo značně větší a to od 5,180 až 5,700 GHz. V Evropě je k dispozici 19 kanálů. Prvních 8 je určeno pro vnitřní použití a zbylých jedenáct 11 pro použití mimo budovy. Kanály jsou v 5 GHz pásmu od sebe více vzdáleny (20 MHz). Souběžně může běžet až 19 zařízení v jednom místě nebo devět při šířce pásma (40 MHz), aniž by došlo k rušení. Obě pásma používají modulaci OFDM. Pro Wi-Fi existuje několik standardů. Základní je 802.11 s maximální rychlostí 2 Mb/s, později pak 802.11a s maximální rychlostí 54 Mb/s, dále 802.11b s rychlostí 11 Mb/s. Dále následoval standard 802.11g který přinesl rychlost 54 Mb/s, dále pak následoval standard 802.11n kde rychlost byla už 600 Mb/s. U standardu 802.11n se využilo MIMO technologie, což znamená, že směrovač s více anténami mohl použít jakoukoliv anténu na příjem nebo odeslání. Uvedené rychlosti jsou pouze maximální, ty reálné jsou o něco nižší. V pásmu 5 GHz jsou standardy 802.11ac, který má maximální přenosovou rychlost stanovenou

na cca 3466 Mb/s. Zajímavý standard pro IoT by mohl být 802.11ah, který počítá se zařízeními kterou jsou napájeny z bateriových zdrojů. Nepracuje již na frekvenci 2,4 nebo 5 GHz ale v pásmu 800 MHz. Rychlost má být až 8.67 Mb/s [28, 29].

3.4.8 Z-Wave

Jde o proprietární bezdrátový standard, který vyvinula společnost Zensys a později získala společnost Sigma Designs. Tento bezdrátový standard není otevřený jako jsou jiné bezdrátové technologie. Z-Wave pracuje na frekvenci pod 1 GHz. Zařízení s technologií Z-Wave umožňuje libovolnému uzlu komunikovat s ostatními sousedními uzly, jedná se o topologii „mesh“. V síti je taky hlavní řadič, který slouží k řízení všech uzlů, ty pak mohou komunikovat přímo mezi sebou, pokud jsou však v dosahu. Pokud by se stalo, že spolu budou chtít komunikovat dva uzly, které nejsou v dosahu, mohou se spojit s jiným uzlem, který v dosahu je a komunikovat skrz něj. Síť Z-Wave může mít až 252 těchto uzlů. Podle potřeby je možné přidělit více řadičů a mít několik menších sítí s uzly. Z-Wave pro svou komunikaci využívá FSK (*Frequency-shift keying*) modulaci. Nabízí přenosové rychlosti kolem 40 kb/s s výstupním výkonem 1 mW. Ve volném prostoru je dosah až 30 m. Bezpečnost komunikace je zajištěna šifrováním AES. Z-Wave tak může být použito v domácnosti u malých komerčních zařízeních. Technologii můžeme najít v ovládaní osvětlení, klimatizaci, dveřních zámčích či dálkových ovladačích [30].

3.4.9 ZigBee

ZigBee je bezdrátová technologie založená na standardu IEEE 802.15.4 osobní sítě PAN (*Personal area network*). Tato bezdrátová technologie byla založena na konci 90. let jako alternativa k Wi-Fi nebo Bluetooth pro některé aplikace. Bezdrátová síťová technologie ZigBee lze použít v přímé komunikaci nebo jako topologii síťovou a to například jako hvězdu nebo strom. Hlavní uzel jako koordinátor řídí ostatní připojené uzly. Pokud uzel nemůže komunikovat s jiným uzlem, mohou dva komunikovat prostřednictvím jiného a využívat prostřední uzel jako opakovač. Technologie umožňuje takto řídit až 65000 uzlů. Zařízení s touto technologií pracují v pásmu ISM a to na frekvenci 2,4 GHz. Šířka pásma je 5 MHz, z toho můžeme mít 16 provozních kanálů. Maximální rychlost komunikace je 250 kb/s a to s modulací OQPSK (*Offset quadrature phase-shift keying*). Typický výkon vysílače ZigBee je okolo 1 mW, což omezuje dosah na jednotky metrů. Na volném prostranství to můžou být i desítky metrů [30, 31].

3.4.10 RFID a NFC

Tyto technologie jsou pro IoT důležité, nezajišťují však komunikaci jako například NB-IoT nebo LoRaWAN, ale umožňují zařízení poskytnout funkcionalitu navíc, což může mít za následek jisté výhody.

3.4.10.1 RFID

RFID (*Radio Frequency Identification*) používá rádiové vlny k přenosu informací mezi čtečkou a jedním zařízením. V oblasti IoT lze RFID využívat jako rozhraní pro konfiguraci a nastavení IoT koncového zařízení nebo jako prostředníka pro sběr dat v blízké oblasti v režimu čtecího zařízení. Typické využití v režimu čtečky je třeba pro přepravu zboží, správu zásob a nebo inventarizaci. RFID tak může být výborným pomocníkem pro lepší rozvržení plánování zásob, který povede k optimalizaci a správě dodavatelského řetězce. Průběh komunikace probíhá tak, že mezi transportérem RFID a zapisovací čtečkou se vytvoří pro účel přenosu dat elektromagnetické pole. Toto pole způsobí, že RFID transportér získá energii. Dokud je transportér v poli zapisovačky nebo čtečky, mohou mezi sebou komunikovat. Transportéry pak můžeme rozdělit na pasivní a aktivní. Aktivní oproti pasivním mají integrovanou baterii a díky tomu mohou komunikovat na daleko větší vzdálenosti. Pasivní transportéry získávají pro přenos dat energii z elektromagnetického pole RFID zařízení. RFID systémy můžeme rozdělit na tři frekvenční kategorie LF (125 kHz), HF (13,56 MHz) a UHF (860-950 MHz). Podle frekvence pak RFID může komunikovat na různé vzdálenosti od 1 cm až do desítek metrů. Na jeden RFID tag je pak možno uložit 4 byte a 8 kbyte. Kromě zápisu dat čipy umožňují i další funkce jako ochrana proti přepsání, zabezpečení PINem, zakódování nebo zašifrování obsahu [32, 33].

3.4.10.2 NFC

NFC (*Near Field Communication*) je označení pro bezdrátovou komunikaci. Pod touto zkratkou je schováno bezkontaktní přenos dat, který využívá technologie radio-frekvenční identifikace. Dosah technologie je přibližně 5 až 10 cm. Díky této technologii lze do jakékoliv věci vložit NFC transpondér a tím rozšířit funkce (chytré zámky, mobilní platby). Existují 3 způsoby komunikace v NFC. V režimu emulace karty můžeme díky NFC čipu přebrat funkci bezkontaktní platební karty. To se hodí při platbách nebo například při otevírání hotelových dveří. Režim čtení/zápis v tomto případě do čipu můžeme zapsat a číst data obdobně jako třeba do QR kódu. Poslední režim peer-to-peer v tomto režimu mohou spolu komunikovat dva telefony s podporou NFC. Díky tomu jsou schopny přenášet data z jednoho zařízení na druhé [34].

3.5 Server/Cloud

Pod pojmem Server si můžeme představit, vlastní nebo sdílený hardware (Cloud). To vše je důležitou součástí v celém procesu, který začíná měřením hodnot na zařízení až po jejich uložení v databázi či distribuci do dalšího systému. Mnoho těchto systémů používá standardizované protokoly pro komunikaci jako je například (MQTT, HTTP). Díky těmto protokolům lze toto řešení libovolně škálovat. V dnešní době v oblasti serverových technologií se opouští vize vlastního hardwaru a vlastní správy a údržby. V současné době se zvyšuje využívání tzv. cloudových služeb u kterých odpadá potřeba starat se o vlastní hardware a neustále ho modernizovat. Distribuci služeb u cloudu můžeme rozdělit do tří kategorií [35].

- **IaaS** (*Infrastructure as a Service*), poskytovatel cloudových služeb poskytne infrastrukturu, což může být virtualizace. Tím odpadá starost o hardware. Tuto správu a údržbu poskytuje poskytovatel služeb. IaaS je tak výbornou volbou pro zákazníky, kteří vlastní licence, ale nemají potřebu udržovat svůj hardware [35].
- **PaaS** (*Platform as a Service*), poskytovatel dodá kompletní prostředky pro naši infrastrukturu, což je hardware i software. Uživatel však nevlastní žádnou licenci, ale pouze využívá tyto prostředky. Nevýhodou tohoto přístupu je, že se lze dostat do tzv. „vendor lock“, což znamená, že je nutno užívat proprietární software jednoho poskytovatele [35].
- **SaaS** (*Software as a Service*), celá aplikace je licencovaná jako služba, která je pronajímána uživateli. Uživatel tedy koupí pouze přístup a ne aplikaci. SaaS je tak pro ty, kteří jen přistupují k softwaru, ale nechtějí řešit nic jiného [35].

Záleží tak na konkrétním použití a konkrétních požadavcích, podle toho se zvolí nejlepší řešení. V této práci byl zvolen vlastní hardware, protože není požadována kapacita pro připojení milionů zařízení, ale pouze do stovek, což tento hardware zvládne. Existuje také mnoho hotových řešení, které je možné použít. Nevýhodou Cloudu oproti vlastnímu hardware je, že data nejsou uložena přímo u uživatele, ale na sdílených úložištích spolu s daty ostatních uživatelů. Je důležité, aby data byla bezpečně uložena a byla co možná nejvíce dostupná v krátkém čase. Další důležitou roli hraje cena služby/cloudu. Cloud otevírá nové příležitosti využití dat ze senzorů [35].

3.6 Datové protokoly

V IoT lze najít velké množství komunikačních a přenosových protokolů. V této části se bude zabírat nejvíce používanými. Každý z nich má své výhody a nevýhody. Záleží na konkrétní aplikaci, kde se používají.

3.6.1 MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) je asi nejpoužívanější protokolem v IoT. Protokol byl vytvořen v roce 1999 Arlen Nipper z (Arcom) a Andy Stanford-Clark (IBM). Jeho architektura je navržena pro zařízení napájené z baterie. Díky své jednoduchosti je zde kladen malý nárok na výpočetní výkon a tím i nízké vytížení používaného hardware. Tato skutečnost proto poskytuje nízkou spotřebu energie v zařízení. Kromě TCP/IP protokolu byl speciálně navržen tak, aby spolehlivě fungoval i v nespolehlivých komunikačních sítích. Jeho topologie je založena na centrálním bodu (brokeru), kde pak zařízení vytváří vlákna (topic). Zařízení se pak autentizují k centrálnímu serveru (brokeru), kde se přihlásí k odběru vlákna, vše co je pak odesláno ostatními zařízeními do vlákna se rozešle automaticky všem zařízením, kteří odebírají toto vlákno. Důležitou vlastností brokeru je zajistit bezpečnost, autentizaci publikování do vlákna a odběru z vlákna. MQTT nabízí tři způsoby, díky nimž má zařízení možnost definovat kvalitu své zprávy. Další výhodou je podpora šifrování.

- **QoS 0** v tomto režimu je zpráva doručena nejrychleji, jelikož je odeslána, ale broker neposkytuje potvrzení.
- **QoS 1** je režim v kterém je zpráva doručena alespoň jednou, ale mohou být přijaty i duplicitní zprávy.
- **QoS 2** je nejspolehlivější ale zároveň nejnáročnější z režimu na přenos. Duplikáty jsou kontrolovány, aby bylo zajištěno, že zpráva bude doručena právě jednou.

MQTT našel široké využití v zařízeních IoT, jako jsou různé senzory, auta, detektory pohybu a průmyslové zařízení [36].

3.6.2 HTTP

HTTP protokol je nejpoužívanější protokol internetu. Slouží k načítání prostředků. Je základní stavební kámen jakékoliv výměny dat na webu. Jedná se o protokol klient-server, to znamená, že požadavky jsou inicializované zařízením a vyřízeny serverem. Celý dokument je rekonstruován z různých dílčích načtených dokumentů. Tento protokol bývá v IoT často používán pro web API (*Application Programming Interface*), což je mechanismus, kterým je možno provádět dotazy či případně předávat data serveru. Protokol také podporuje šifrování, které je zajištěno TLS/SSL, čímž je možné zajistit, aby data nebylo možné odposlechnout při průchodu sítí [37].

3.6.3 CoAP

CoAP (*Constrained Application Protocol*) je komunikační protokol pro IoT založený na HTTP protokolu, byl vytvořen skupinou IETF v roce 2013. Byl navržen tak, aby co nejvíce vyhověl potřebám IoT systémů. CoAP používá pro přenos UDP (*User Datagram Protocol*), který je schopen přenášet signál se zachováním komunikační rychlosti a nízké šířky pásma. Tím pádem je dobrý pro bezdrátové sítě. Další vlastnost, kterou CoAP sdílí s HTTP je architektura RESTful, díky níž podporuje model interakce požadavků a odpovědí mezi koncovými body aplikace. CoAP také obsahuje QoS (*Quality of Service*). Toto se stejně jako u protokolu MQTT používá k řízení odeslaných zpráv a podle toho je označujeme jako potvrzené nebo nepotvrzené. CoAP řeší potřeby lehkého protokolu k zajištění požadavků na nízkoenergetická zařízení. CoAP je dobrá volba, pokud jde o IoT systémy založené na webových službách [36, 38].

3.6.4 AMQP

AMQP (*Advanced Message Queuing Protocol*) je protokol aplikační vrstvy. Je navržen na výměnu zpráv. Řetězec pro zpracování zpráv se u protokolu AMQP skládá ze tří částí: Exchange, Queue Message a Binding. Část Exchange má za úkol umístit zprávy do front. Úkolem fronty zpráv je uložit zprávu a informace, dokud zprávy nebudou vyzvednuty klientskou aplikací. AMQP je otevřený protokol typu publikovat a odebírat podobně jako MQTT. Jeho použití je však méně obvyklé než u MQTT. Další funkce AMQP je orientace zpráv, řazení do fronty, směrování zpráv, spolehlivost a zabezpečení.

AMQP není vhodný pro IoT senzory s omezenou pamětí z důvodu větších nároků na hardware a výpočetní výkon zařízení [36, 38].

3.7 Aplikace

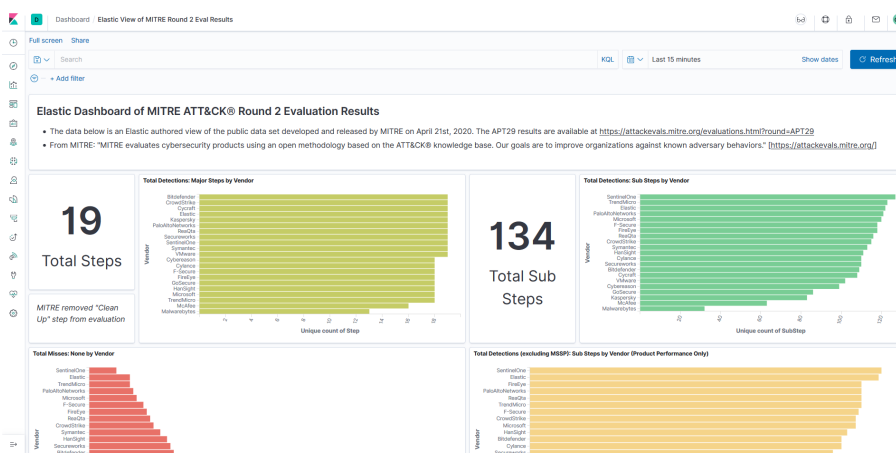
Poslední součástí v konceptu IoT jsou aplikace. Aplikace v IoT komunikačním schématu/řetězci, si lze představit například jako software, který nám zprostředkovává data a informace uložené v cloudu/serveru. Tato data může software vizualizovat pomocí jiných dalších nástrojů. Data lze nahrát do analytického softwaru, kde jsou například porovnávána s daty z jiných zařízení nebo s daty minulými. Pokud zařízení umožňuje i komunikaci směrem od aplikace k zařízení, je také možné vzdálené ovládání. Typickým příkladem je SmartHome, ovládání světel, chytrých zásuvek. S rostoucím rozmachem IoT jde neustálý vývoj, jak zařízení, tak software dopředu. Vytváří se čím dál sofistikovanější zařízení a s tím souvisí i neustálý vývoj těchto řídicích a vizualizačních aplikací [35].

4 Systémy pro vizualizaci dat

V této části práce je prezentován výsledek provedené rešerše softwaru a knihoven zaměřených na vizualizaci dat. Cílem bylo najít optimální řešení, které by mohlo být využito dynamicky v různých integracích IoT technologií a zároveň nebylo příliš složité na konfiguraci a obsluhu.

4.1 Kibana

Kibana je open source software od společnosti Elastic NV. Poskytuje uživatelům nástroj pro vizualizaci a vytvoření dashboardů v propojení s Elasticsearch. Hlavní funkcionalitou softwaru Kibana je dotazování, metriky a analýza dat. Pomocí různé škály nástrojů mohou uživatelé provádět hledání v indexovaných datech Elasticsearch. Vybraná data je pak možno pomocí grafů, tabulek, geografických map a dalších typů vizualizace prezentovat. Kibana se používá především pro analýzu dat, která mají charakter logovacích souborů. Nejčastěji se kombinují produkty Elasticsearch, Logstash a Kibana [39]. Logstash nahrává data do Elasticsearch, zde jsou data ukládány a vyhledávány. Kibana pak poskytuje pro tyto data vizualizaci [40].



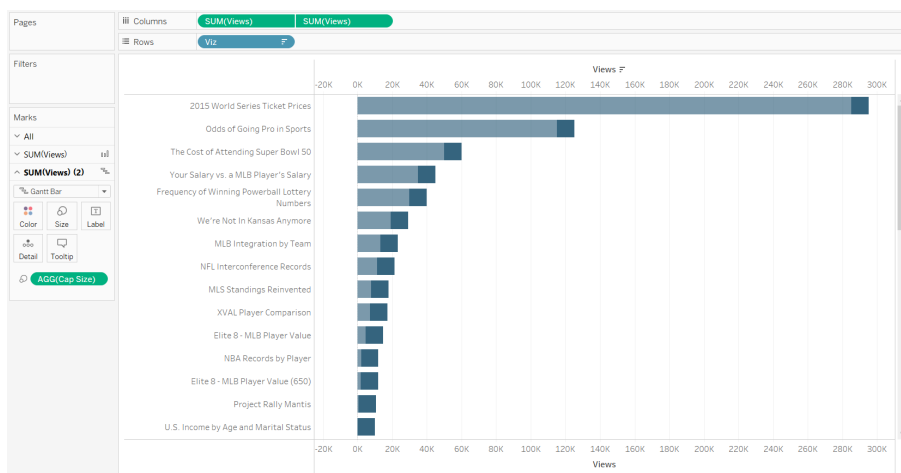
Obr. 4.1: Náhled demo vizualizace ze systému Kibana (screenshot z aplikace Firefox)

4.2 Tableau

Tableau je software, který poskytuje nástroje pro analytiku a vizualizaci, jehož použití je především vizualizace podnikových dat. Mezi přednosti patří vizuální dotazování pomocí interaktivního návrháře [41].

Mezi hlavní produkty patří:

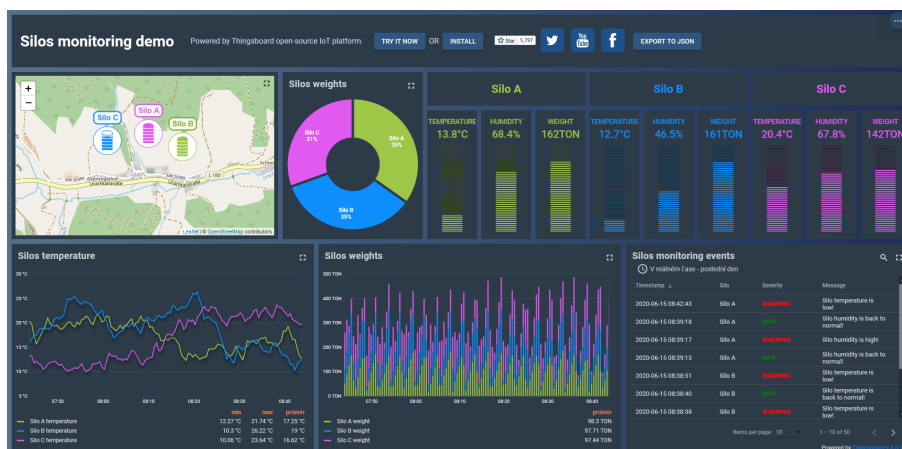
- Tableau Desktop - jedná se o aplikaci, která nejčastěji najde uplatnění u firem, které potřebují analyzovat svá vnitropodniková data za účelem generování různých statistik a grafických prezentací. Tato aplikace umožňuje pracovat s daty z mnoha zdrojových bodů, například databáze SQL (*Structured Query Language*), Excel, různé cloudové aplikace (Google Analytics), Tímto řešením tak lze propojit mnoho zdrojů, které mohou vytvářet ucelený datový soubor. Program obsahuje živý vizuální návrhář a interaktivní dashboard. Na dashboard se pak umísťují jednotlivé datové řádky nebo sloupce. Díky tomuto interaktivnímu návrháři lze nad daty provádět nejrůznější operace jako je spojovat, agregovat, případně dávat do skupin. Do dat je pak možno přidávat tendrové linie, zobrazovat statistické údaje nebo sledovat vztahy mezi jednotlivými daty [42, 43].
- Tableau Server/Online
 - Tableau Server - tento software běží na našem vlastním hardwaru, kde můžeme spravovat více webů s vizualizacemi, přidělovat oprávnění.
 - Tableau Online je cloudová platforma, která je spravována společností Tableau. Zde si uživatel může zakoupit více webů (prostoru pro jeho vizualizaci) a ty provozovat. Data se musí z lokálního úložiště dostat do cloudu Tableau [44].
- Tableau Public - tento software je stejný jako Tableau Desktop, ale má omezení. Tato omezení se týkají počtu řádků, které je možno do aplikace vložit a výslednou vizualizaci nelze uložit lokálně. Tato možnost je výhodná pro uživatele, kteří potřebují vytvořit vizualizaci, která poskytne rychlý náhled na data [45].
- Tableau Prep slouží pro přípravu dat před samotnou vizualizací. Skládá se ze dvou produktů Tableau Prep Builder pro vytvoření datových toků a Tableau Prep Conductor, který monitoruje a spravuje toky v organizaci kde je nasazen [45].



Obr. 4.2: Náhled systému Tableau (převzato z [46])

4.3 ThingsBoard

ThingsBoard je open-source IoT platforma pro sběr dat, vizualizaci a správu zařízení. Tato platforma umožňuje vytvářet pokročilé řídicí panely a taktéž tento nástroj nabízí možnost připojení zařízení pomocí různých IoT protokolů jako jsou (MQTT, CoAP, HTTP). ThingsBoard je dobře škálovatelný a výkonný. Je napsán v jazyce Java, data je pak možné uložit do jedné z databází jako je PostgreSQL nebo Apache Casandra [47]. ThingsBoard je vydáván ve dvou verzích: komunitní a professional. Komunitní verze obsahuje několik omezení jako je seskupování entit zařízení, pokročilá správa zařízení, plánovač úloh, reportovací modul, přímý export dat z databáze a pokročilé integrace platform [48]. Mezi hlavní přednosti ThingsBoard patří Rule Engine, který umožňuje lepší zpracování příchozích informací ze zařízení pomocí flexibilních řetězců pravidel na základě obsahu zprávy nebo atributů entity. Lze například vytvářet varování pomocí vlastní logiky, když některá hodnota překročí námi dané meze. V tomto případě pak lze například odeslat email či zavolat nějaké API. Rule Engine nabízí mnoho způsobů jak s daty nakládat a transformovat je. Další možností je pak přeposílání dat do jiných externích systémů. Drag-n-drop návrhář umožní konfigurovat složitější řetězce a tak optimalizovat manipulaci s dalšími zařízeními. ThingsBoard má také obsáhlou galerii nejrůznějších vizualizačních widgetů, kterých je více než 30. Další možností je vytváření vlastních widgetů pomocí vestavěného editoru. Součástí galerie jsou nejobvyklejší grafy, mapy, digitální a analogová měřidla [49].



Obr. 4.3: Náhled demo vizualizace ze systému Thingsboard (screenshot z aplikace Firefox)

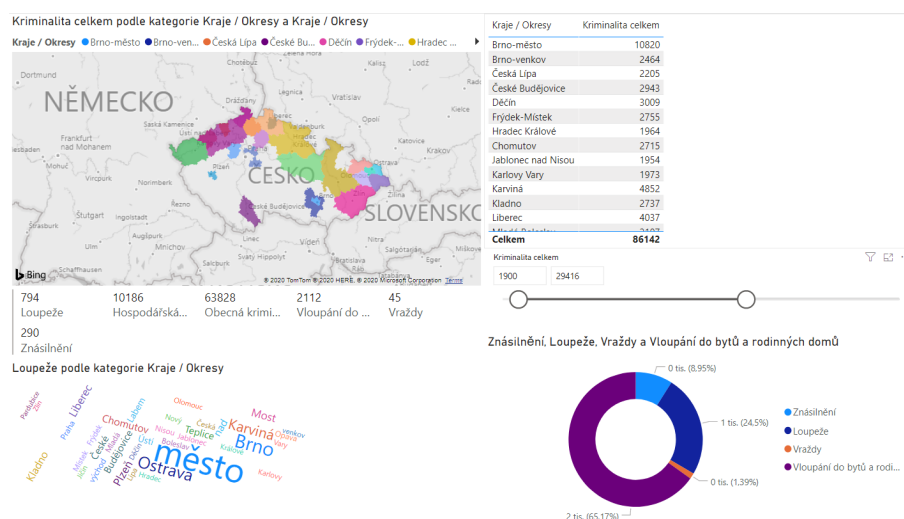
4.4 PowerBI

Tato aplikace slouží pro vytváření interaktivních sestav s vizuálními analýzami. Tvorba reportů pomocí interaktivních nástrojů je možná s využitím Office 365 E5, která má v sobě zahrnutou i licenci pro Power BI Pro. Vizualizace je pak možná na různých platformách. Nejčastěji se tato aplikace využívá ve firmách, kde může být použita pro tvorbu grafů a podnikových statistik. Pomocí interaktivního návrháře je možno data

zpracovat, propojovat a vizualizovat. K datům je získán přístup pomocí stovek podporovaných místních nebo cloudových zdrojů, jako jsou (Azure SQL DB, MySQL, Excel nebo SharePoint). Data jsou stále aktuální díky přírůstkovým aktualizacím. Software obsahuje mnoho užitečných funkcí jako je rychlé měření, seskupování dat, prognózy a clustering. Vytvořené sestavy je pak možno optimalizovat pro různé prezentační platformy [50, 51].

Mezi Power BI nástroje se dále řadí:

- Power BI Desktop - jedná se o samostatnou desktopovou aplikaci, která obsahuje některé nástroje, jako je Power Pivot, který slouží k vytváření relačního modelu mezi daty. Dále pak Power Query, který extrahuje data z libovolného zdroje. Power View, který pak umí interaktivní zobrazení sestavy dat [51].
- Power BI Pro - je podobný jako Power BI Desktop s rozdílem, že se odemykají služby Power BI web.
- Power BI Mobile - slouží k prohlížení reportů, které jsou uloženy v cloudu nebo serveru [52].
- Power BI Embedded - umožňuje rychlé poskytování sestav a snížení vývojářských prostředků [53].
- Server Power BI - jedná se o místní řešení pro generování sestav, které v budoucnu zároveň poskytuje možnost přesunu do cloudu. Je součástí Power BI Premium, takže má uživatel možnost provést přesun do cloudu tak, jak mu to vyhovuje. Hlavní výhodou je distribuce napříč zařízeními [54].



Obr. 4.4: Náhled vizualizace v systému PowerBI

4.5 Grafana

Grafana je open-source software pro vizualizaci a analýzu dat. Grafana nevlastní databázi, ale pouze zprostředkovává napojení. Dokáže obsluhovat nejpobulárnější databázové systémy, jako je MySQL, PostgreSQL, InfluxDB, Elasticsearch a mnoho dalších. Grafana je nástroj na vytváření dashboardů a k nim přidává různorodé grafy [55, 56].

4.5.1 Části systému

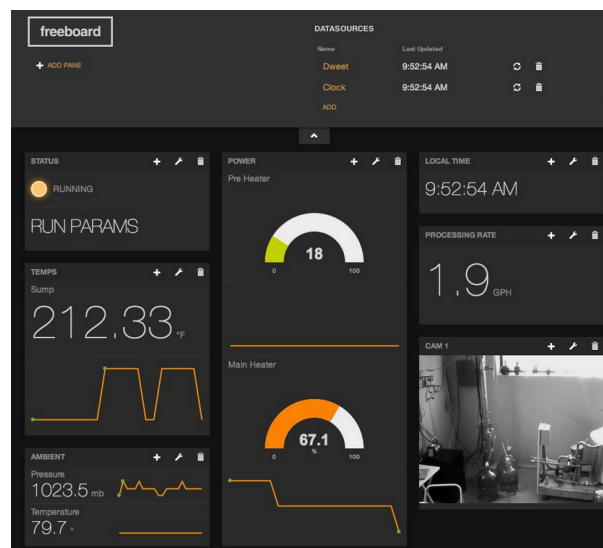
- Dashboardy - jedná se o hlavní část vizualizačního softwaru Grafana. Na dashboardy se umísťují panely, které jsou vázány do mřížky a můžou být libovolně veliké. Jako panel si lze představit různorodé grafy, které mohou být použity ve vizualizaci. Mohou být použity i pluginy což rozšiřuje použití Grafany v různých aplikacích [57].
- Explore panel - slouží k rychlému náhledu dat, pokud uživatel nechce vytvářet nový dashboard. Je možno prohlížet data, které byla připojena pomocí datových zdrojů, nad těmito daty lze konstruovat dotazy pomocí interaktivního návrháře či přímo aplikovat jazyk SQL nebo jiné podle použité databáze [58].
- Alerting modul - umožňuje přidat do grafu upozornění, pokud například nějaká hodnota překročí uživatelem dané maximum. V takovém případě mu přes různé komunikační kanály (E-mail, Telegram, Slack, Webhook) zašle upozornění. Nastavení se dá různě škálovat, například jak často se má podmínka vyhodnocovat a jak často odesílat upozornění [59].
- Configuration modul - nám umožňuje nastavení zdrojů dat z různorodých datových zdrojů resp. databází. Patří zde nejpobulárnější databázové systémy jako je (MySQL, PostgreSQL, OpenTSDB, InfluxDB, Microsoft SQL, Oracle DB, JSON file). Dále v modulu máme nastavení uživatelů, pluginů, organizace a API klíčů.



Obr. 4.5: Náhled vizualizace ze systému Grafana (screenshot z aplikace Firefox)

4.6 FreeBoard.io

Jedná se o open-source systém, který je založen na webové technologii HTML a JS. V tomto systému je možné vytvářet vizualizace pomocí widgetů. FreeBoard poskytuje architekturu pluginů pro vytváření zdrojů dat. Následně pak systém propojí data a pluginy dohromady. Další vlastností freeboardu je možnost stažení zdrojových kódů a běžet zcela v prohlížeči jako jednostránková statická webová aplikace bez nutnosti serveru. Tato vlastnost je dobrá pro integrovaná zařízení, která mohou mít omezenou schopnost obsluhovat složité a dynamické webové stránky. Zdrojové kódy jsou pouze jen front-end částí freeboard systému, nezahrnují tak žádné řešení pro správu uživatelů, ukládání dat nebo veřejné a soukromé funkce. Toto vše si uživatelé musí naprogramovat sami. Freeboard je dobrá volba pokud je zapotřebí vytvořit jednoduchou vizualizaci dat ze zařízení, která má být přístupná online [60].



Obr. 4.6: Náhled prostředí FreeBoard.io (převzato z [61])

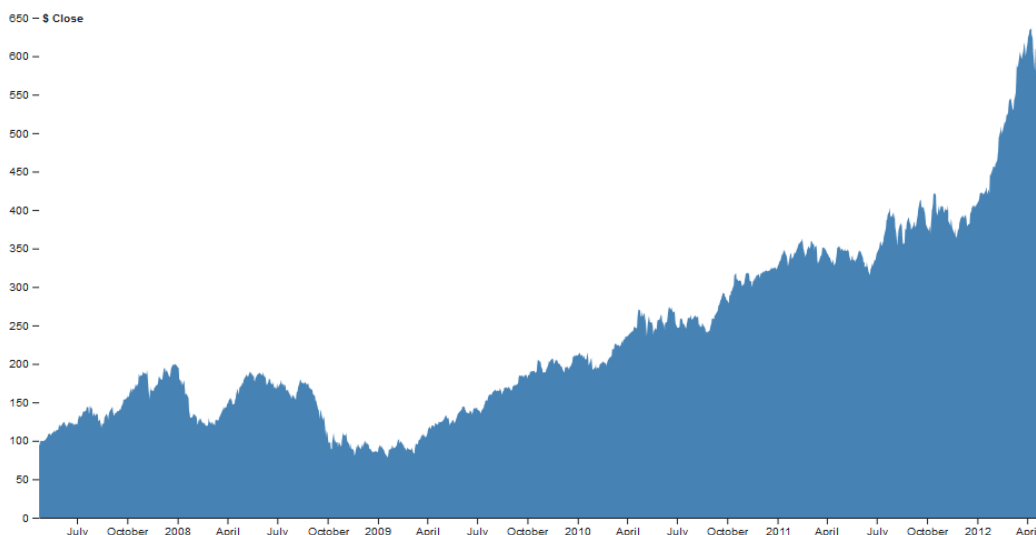
4.7 Webové technologie pro tvorbu vlastních vizualizačních systémů

V této části se nacházejí některé open-source knihovny, které by se daly použít k tvorbě proprietárního softwaru nebo doplňků pro již hotová řešení. Proprietární software, který dokáže vizualizovat data z IoT je často velmi personalizovaný a především vyvinutý na míru pro konkrétní potřebu. Pro tuto tvorbu je potřeba programátor se zkušeností s programováním webu a skriptováním. Dále je nutné věnovat mnoho času do vývoje a následného ladění tohoto softwaru.

4.7.1 D3.js (D3D.js)

D3.js neboli D3 (*Data-Driven Documents*). Jedná se o open-source knihovnu napsanou v jazyce JavaScript vyvinutou Mike Bostockem k vytvoření vlastních interaktivních

vizualizací dat ve webovém prohlížeči pomocí SVG, HTML a CSS [62]. D3.js je mimořádně výkonný vizualizační nástroj pro vytváření interaktivních vizualizací. Jak již bylo zmíněno, ke své práci využívá moderní webové technologie jako je SVG (*Scalable Vector Graphics*), HTML (*Hypertext Markup Language*), CSS (*Cascading Style Sheets*). D3.js je řízeno daty. Použít lze data dynamická, typicky načítaná ze vzdáleného serveru, ale je možno použít i data statická (lokální soubor). Data mohou být v různých formátech, jakou jsou: XML (*eXtensible Markup Language*), JSON (*JavaScript Object Notation*), objekty, pole. Na základě uživatelských dat D3.js manipuluje s DOM (*Document Object Model*) objekty. Dále pak D3.js umožňuje dynamicky generovat prvky a aplikovat naše styly na prvky. Tyto prvky mohou být tabulky, grafy či jakýkoli jiný HTML prvek. D3.js je velice flexibilní v poskytování funkcí. Vlastnosti lze specifikovat jako funkce dat. To znamená, že uživatelská data mohou řídit styly a atributy. Pro D3.js neexistují žádné standardní vizualizační formáty, ale lze vytvořit cokoliv od obyčejné tabulky v HTML až po rozsáhlé vizualizace např. tepelné mapy [63]. Hlavními výhodami D3.js knihovny je, že pracuje přímo s webovými standardy. Díky tomu je rychlý a funguje dobře s velkými datovými soubory. Výhodou pro programátory, kteří budou D3.js využívat je rozsáhlá knihovna příkladů na GitHubu.



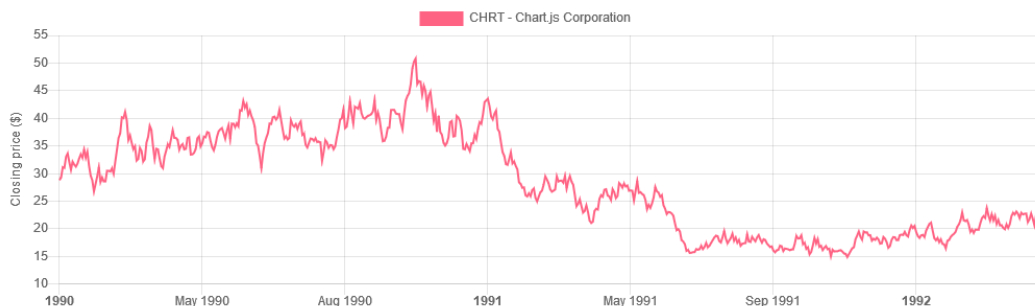
Obr. 4.7: Náhled demo aplikace s využitím D3.js (screenshot z aplikace Firefox)

4.7.2 Chart.js

Chart.js je knihovna napsaná v jazyce JavaScript, která umožňuje kreslit různé typy grafů pomocí webových technologií. Knihovna nemá závislost a její velikost je v řádu kilobyte [64].

Knihovna nemá příliš mnoho grafů. Je vhodná pro jednoduchou vizualizaci, ale pro rozsáhlejší vizualizace je potřeba použít nějakou alternativu. Další vlastností Chart.js je, že grafy se přizpůsobují na základě prostoru kolem nich a jsou tzv. responzivní. Ke knihovně je poskytována rozsáhlá dokumentace. Knihovna je velice jednoduchá na implementaci, zdrojové kódy mohou být načítány z CDN (*Content Delivery Network*)

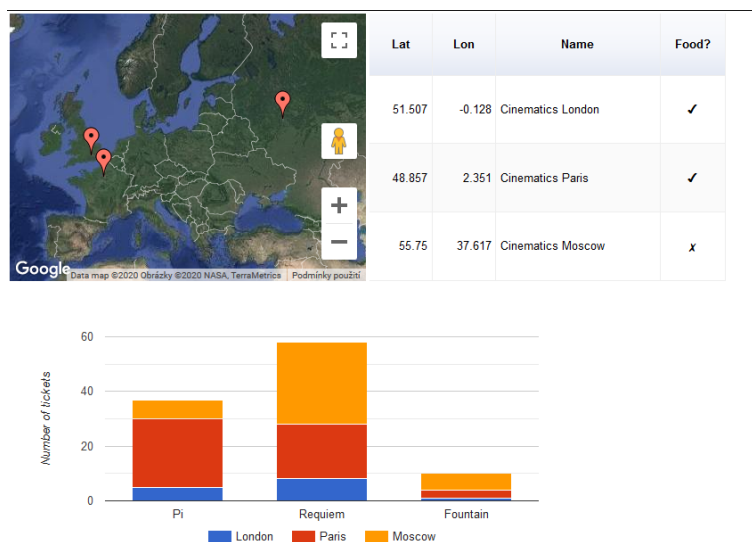
nebo si lze kompletně stáhnout zdrojové soubory lokálně. Knihovna Chart.js se hodí pro rychlé a jednoduché vizualizace [64].



Obr. 4.8: Náhled demo aplikace s využitím Chart.js (screenshot z aplikace Firefox)

4.7.3 Google Charts

Grafy Google Charts jsou vystavěny na webové technologii JavaScript. Google Chart nabízí mnoho typů grafů, které je možno použít např. liniové grafy, hierarchické stromové mapy. Google připravil galerii s příklady, které je možné ihned použít. Vzhled grafů je možné libovolně přizpůsobovat. Grafy jsou také interaktivní. V grafech je možné vytvářet složitější struktury, jako jsou řídicí panely. Jsou vykreslovány pomocí webové technologie HTML5/SVG, to zaručuje přenositelnost mezi různými platformami, jakou jsou telefony, tablety a počítače. Užití grafů spočívá ve vložení jednoduchého JavaScriptu, který může uživatel vložit do své webové stránky. Všechny grafy jsou naplněny daty pomocí třídy DataTable, což usnadňuje přepínání mezi různými typy grafů. To může uživatelům pomoci při hledání neoptimálnějšího grafu. DataTable také poskytuje metody pro úpravy, filtraci a třídění dat [65].



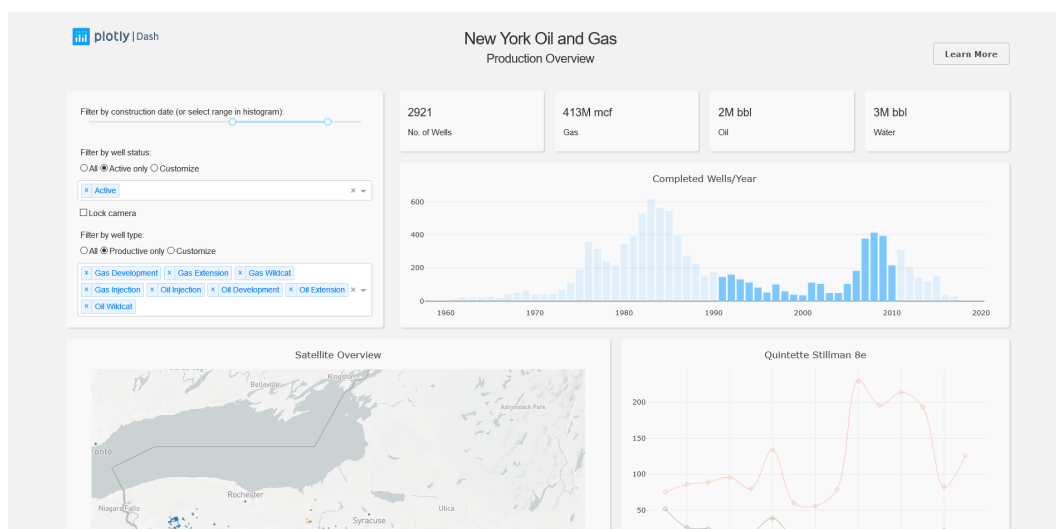
Obr. 4.9: Náhled demo aplikace s využitím Google Charts (screenshot z aplikace Firefox)

4.7.4 Plotly

Dash je knihovna vydaná jako open-source pro vytváření interaktivních webových aplikací. Dash byl uveřejněn v roce cca 2015 na GitHubu. Tento prototyp aplikace společnost Plotly udržovala online. Použila zpětnou vazbu od soukromých společností. Poté vydala plnohodnotnou aplikaci. Dnes je již možné stáhnout pomocí správce balíčků v jazyce Python aplikaci Dash, která je plně open-source a licencovaná pod MIT.

Dash je aplikace pro tvorbu analytických webových aplikací. Aplikace se hodí pro uživatele, kteří používají Python pro analýzu dat [66].

Aplikace usnadňuje vytváření GUI (*Graphical User Interface*) kolem kódu pro analýzu dat. V aplikaci je možno vytvořit mnoho interaktivních prvků, jako jsou rozbalovací nabídky a tlačítka. Při výběru položky ze seznamu se aplikace dynamicky mění a prezentuje námi vybrané data. Každý prvek se dá přizpůsobit pomocí CSS. Dash funguje jako webový server, který přímá dotazy a komunikuje datovými pakety. Data jsou přenášena prostřednictvím HTTP a JSON. Komponenty v GUI jsou pak vykresleny pomocí React.js [67].



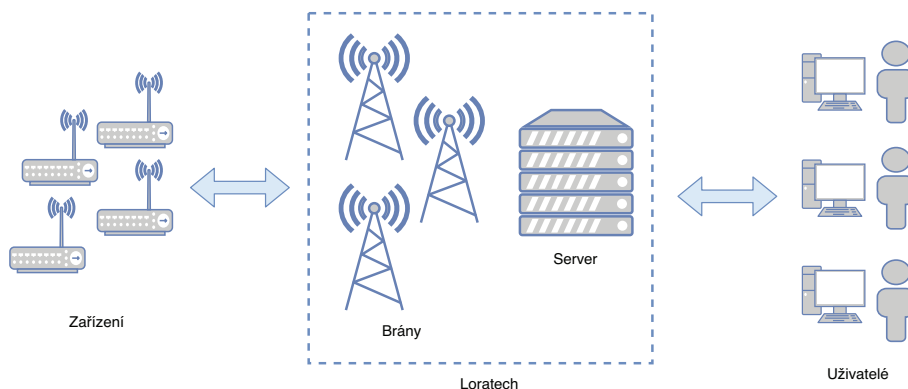
Obr. 4.10: Náhled demo aplikace s využitím Plotly (screenshot z aplikace Firefox)

5 Navrhované řešení

V této části práce je provedena analýza současné situace a provedení výběru aplikace podle vytvořených kritérií. Následuje popis postupu při realizaci vizualizace dat. Dle postupu je možné systém nainstalovat a základně nakonfigurovat.

5.1 Analýza současného stavu

Současný stav je znázorněn na Obr. 5.1. Na tomto obrázku jsou vyobrazena různá zařízení, která odesílají data do sítě. Data jsou dále přenesena pomocí IoT bran poskytovatele a projdou přes server, kde jsou převedena z bitové podoby na čísla. Ta jsou následně uložena v serveru a to jenom posledních 100 záznamů. Problém tedy nastává, pokud se chce uživatel podívat do historie. Dalším úskalím je, že čísla nejsou nikterak vizualizována, tudíž uživatel nemůže nijak na data nahlížet jako v jiných vizualizačních softwarech. Jako současné řešení je využito programovacího jazyku Python, v kterém je vytvořeno jednoduché grafické rozhraní pro příjem pouze aktuální telemetrie z protokolu MQTT. Z toho důvodu není možné se koukat na data historická. Aplikace taky nevlastní databázi, do které by data ukládala, což znamená, že data přijatá protokolem MQTT budou poté ztracena. Významným nedostatkem je také fakt, že každý uživatel zatěžuje server, jelikož při každém otevření této aplikace dojde k automatickému připojení na server. Dále aplikace neumožňuje interakce s daty jako například upozornění při překročení uživatelem dané meze. Hledané řešení by tak mělo tyto problémy vyřešit a poskytnout aplikaci, která bude přehledná a uživatelé tak získají jiný náhled na data.



Obr. 5.1: Současný stav

5.2 Výběr aplikace

Pro výběr aplikace bylo nutné si ujasnit, co od aplikace bude požadováno a co mohou jednotlivé systémy umožnit.

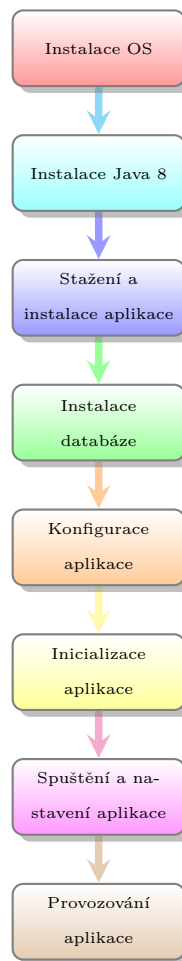
Po zvážení všech okolností a hledaných parametrů viz Tab. 5.1, byla zvolena aplikace ThingsBoard. Lze ji okamžitě vzít a použít. Je možné ji nainstalovat a provozovat na vlastním hardwaru a je multiplatformní. Obsahuje management pro správu zařízení. Mezi další výhody patří i to, že je open-source a má velkou komunitu. Je zde několik úrovní přihlašování pro administrátory, uživatele a administrátory uživatelů. Obsahuje celé API pro příjem dat po několika různých protokolech. Obsahuje dashboardy, které mohou být upravovány podle potřeby, v případě že uživatelé nebudou chtít další pokročilé funkce. Jedná se o hlavního kandidáta pro řešenou vizualizaci. Legenda:

Tab. 5.1: Zhodnocení aplikací pro vizualizaci dat

	Kibana	Tableau	ThingsBoard	PowerBI	Grafana	D3.js	Chart.js	Google Charts	Plotly	FreeBoard.io
Okamžité použití	A	A	A	A	A	N	N	N	N	A
Cloud/Vlastní HW	A/A	A/A	A/A	A/A	A/A	N/A	N/A	A/A	A/A	A/A
Správa zařízení	N	N	A	N	N	N	N	N	N	N
Možnost přihlášení	A	A	A	A	A	N	N	N	N	A
Správa uživatelů	A	A	A	N	A	A	N	N	N	N
Notifikace (E-mail)	A	A	A	A	A	N	N	N	N	N
Multiplatformní	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
API pro příjem dat	N	N	A	N	N	N	N	N	N	A
Vlastní komunita	A	N	A	N	A	A	A	N	A	N
Cena	F	F/P	F/P	P	F/P	F	F	F	F	F/P

- A - obsahuje tuto možnost/volbu
- N - neobsahuje tuto možnost/volbu
- F - volný software (freeware) / svobodný software (open-source)
- P - placené verze

5.3 Postup implementace



Obr. 5.2: Postup implementace systému

5.4 Systémové požadavky a instalace

Pro instalaci ThingsBoard je potřeba hardware, který bude záviset na počtu připojených zařízení a vybrané databázi. Jako operační systém byl zvolen OS Linux Debian 10. Ke spuštění ThingsBoard je potřeba 1 GB RAM, když bude používat databázi PostgreSQL, dále pak jedno procesorové jádro. Pokud by byl požadavek na spuštění ThingsBoard a hybridní databáze ve spojení PostgreSQL a Cassandra na jednom stroji, bylo by vyžadováno minimálně 8 GB RAM [68].

5.4.1 OS Debian

Debian je volně přístupný operační systém, založený na jádře Linux. Mezi jeho přednosti patří stabilita a spolehlivost. Pro instalaci bude potřeba standardně nainstalovaný operační systém bez grafického systému a jen s SSH (*Secure Shell*) službou. Je zapotřebí stáhnout standardní netinstall iso, a nainstalovat. Během instalace budeme vyzváni k zadání hesla root, a volbou jednoho obvyčejného uživatele [69].

5.4.2 Přihlášení k SSH

Pro vzdálené přihlášení k SSH, je potřeba program, který podporuje SSH protokol a IP adresu stroje. Existuje mnoho programu pro vzdálený shell, ale jedním osvědčeným je PuTTY. Pokud tedy nebude zapotřebí přihlašovat se lokálně, lze využít tento program pro vzdálené přihlášení. Je však potřeba znát jen IP adresu stroje kde běží daný Linux. Program PuTTY lze stáhnout volně z internetu, vyplnit IP adresu a přihlásit se. Je zapotřebí přihlásit se obyčejným účtem a pak následně vyžádat zvýšené opevnění pomocí (*su -*, či *sudo su -*). Bude následovat vyzvání k zadání hesla root. V případě správného provedení zde popsaného postupu by měla v okně vyskočit konzole, která vypadá takto.

```
1 root@ket:~>
```

5.4.3 Java 8

Jedná se o multiplatformní programovací jazyk, který je objektově orientovaný. Jde o jeden z mnoha používaných programovacích jazyků. Javy bude zapotřebí pro běh aplikace, tudíž je nutno nainstalovat prostředí pro její správnou funkci [70].

```
1 root@ket:~> apt-get update
2 root@ket:~> apt-get install default-jdk
3 root@ket:~> apt-get install apt-transport-https ca-certificates wget
   dirmngr gnupg software-properties-common
4 root@ket:~> wget -qO - https://adoptopenjdk.jfrog.io/adoptopenjdk/api/
   gpg/key/public | apt-key add -
5 root@ket:~> add-apt-repository --yes https://adoptopenjdk.jfrog.io/
   adoptopenjdk/deb/
6 root@ket:~> apt-get update
7 root@ket:~> apt-get install adoptopenjdk-8-hotspot
8 root@ket:~> update-alternatives --config java
```

Při správném nainstalování Javy se při zadání příkazu viz řádek 8 objeví tato zpráva, kde lze vybrat správnou Javu pro tuto aplikaci. Objeví se název „adoptopenjdk-8-hotspot-amd64“, při zvolení této možnosti se na konzoli objeví při zadání příkazu níže chtěná verze Javy [70].

```
1 root@ket:~> java -version
2 openjdk version "1.8.0_242"
3 OpenJDK Runtime Environment (build 1.8.0_242-8u242-b08-1~deb9u1-b08)
4 OpenJDK 64-Bit Server VM (build 25.242-b08, mixed mode)
```

5.4.4 Instalace databáze

Na výběr je ze dvou databázových enginů. Jedním z nich je PostgreSQL a druhým Apache Cassandra. Předpokládaná zátěž aplikace nepřesáhne 5 000 zpráv telemetrie/-sec, pro tuto volbu postačuje databáze PostgreSQL. V případě potřeby silnější databáze, se kombinuje PostgreSQL pro data aplikace a Cassandra pro příchozí telemetrie. Nyní lze nainstalovat PostgreSQL databázi, nastavit nové heslo a vytvořit tabulku databáze.

```
1 root@ket:~> apt-get install postgresql postgresql-contrib
2 root@ket:~> service postgresql start
3 root@ket:~> su - postgres
4 psql
5 \password
6 \q
7 postgres@ket:~> psql -U postgres -d postgres -h 127.0.0.1 -W
8 CREATE DATABASE thingsboard;
9 \q
```

5.5 Instalace a konfigurace aplikace

Tato část práce se bude zabývat problémem instalace aplikace a bude provedeno základní nastavení konfigurací. Dále pak inicializace databáze aplikace a její spuštění.

5.5.1 Stažení aplikace a instalace

Aplikace je standardně ke stažení na stránkách <https://thingsboard.io/>, aplikaci lze pomocí Linuxového příkazu *wget*, který slouží ke stahování z webových stránek. V dalším kroku je pomocí balíkovacího systému nutno rozbalit balíček dané aplikace čímž dojde k instalaci aplikace.

```
1 root@ket:~> wget https://github.com/thingsboard/thingsboard/releases/
   download/v2.5/thingsboard-2.5.deb
2 root@ket:~> dpkg -i thingsboard-2.5.deb
```

5.5.2 Konfigurace aplikace

Toto nastavení způsobí, že maximální velikost, kterou může aplikace alokovat v operačním systému, bude omezena na uživatelem zadané parametry. Tím pádem je možno aplikaci rozběhnout na systémech s omezenými prostředky.

```
1 root@ket:~> nano /etc/thingsboard/conf/thingsboard.conf
2 export JAVA_OPTS="$JAVA_OPTS -Xms256M -Xmx256M"
```

V této části konfigurace lze nastavit typ databáze, který bude používán. V dalších řádcích je pak nastavení přihlašovacího jména a hesla.

```
1 root@ket:~> nano /etc/thingsboard/conf/thingsboard.conf
2 export DATABASE_ENTITIES_TYPE=sql
3 export DATABASE_TS_TYPE=sql
4 export SPRING_JPA_DATABASE_PLATFORM=org.hibernate.dialect.
   PostgreSQLDialect
5 export SPRING_DRIVER_CLASS_NAME=org.postgresql.Driver
6 export SPRING_DATASOURCE_URL=jdbc:postgresql://localhost:5432/
   thingsboard
7 export SPRING_DATASOURCE_USERNAME=postgres
8 export SPRING_DATASOURCE_PASSWORD=---PASSWORD---
```

5.5.3 Inicializace aplikace

Po předchozí konfiguraci lze přikročit k samotné inicializaci databáze. Spuštěním příkazu níže dojde k vytvoření schéma databáze a nahrání počátečních dat.

```
1 root@ket:~> /usr/share/thingsboard/bin/install/install.sh --loadDemo
2 Starting ThingsBoard Installation...
3 Installing DataBase schema for entities...
4 Installing SQL DataBase schema part: schema-entities.sql
5 Installing SQL DataBase schema indexes part: schema-entities-idx.sql
6 Installing DataBase schema for timeseries...
7 Installing SQL DataBase schema part: schema-ts.sql
8 Loading system data...
9 Loading demo data...
10 Installation finished successfully!
11 ThingsBoard installed successfully!
```

5.5.4 Spuštění aplikace

Spuštění probíhá pomocí integrovaného manažeru služeb v Linuxu. Tímto manažerem se spustí aplikace. Tato procedura startování probíhá přibližně 90 sekund. Během této doby nemusí být přístupné webové rozhraní aplikace. Po uplynutí doby se zpřístupní rozhraní, které je dostupné na adrese a portu níže v konfiguraci. Jako výchozí konfigurace se nastaví tři uživatelé s hesly. Pod proměnou IP_ADDRESS se doplní IP adresu daného hardwaru (stroje).

```
1 root@ket:~> service thingsboard start
2 http://IP_ADDRESS:8080/
3 The following default credentials are available if you have specified
   loadDemo during execution of the installation script:
4 System Administrator: sysadmin@thingsboard.org / sysadmin
5 Tenant Administrator: tenant@thingsboard.org / tenant
6 Customer User: customer@thingsboard.org / customer
```

5.6 Práce v aplikaci

V této kapitole bude ukázáno, jak provést základní nastavení systému. Zabývat se bude také tím, jak nastavit uživatele, přidat zařízení (zdroj telemetrie). Následovat bude postup, jak přiřadit zařízení uživateli. Posléze bude vytvořen dashboard pro vytvoření vizualizace dat ze senzoru. Tímto demonstračním příkladem dojde k ukázce, jak probíhá práce v systém ThingsBoard.

5.6.1 Nastavení aplikace

Další nastavení aplikace je možné po přihlášení. V aplikaci je několik úrovní práv systému. Je potřeba postupně změnit hesla u těchto tři výchozích uživatelů, a tím zabezpečit tyto účty.

```
1 http://IP_ADDRESS:8080/  
2 System Administrator: sysadmin@thingsboard.org / sysadminKet  
3 Tenant Administrator: tenant@thingsboard.org / tenantKet  
4 Customer User: customer@thingsboard.org / customerKet
```

5.6.2 Přístup a práva uživatelů

Jak již bylo zmíněno, v aplikaci se nachází tři úrovně práv uživatelů.

- **Systémový administrátor** jedná se o systémový účet, který spravuje všechny administrátory zákazníka. Jeho možnosti jsou v přidávání administrátora zákazníka či jeho odebrání. Případně jsou zde i nastavení pro odchozí e-mail server a politika pro hesla uživatelů.
- **Administrátor Zákazníka** tento účet slouží k celkové správě zařízení, zákazníků, dashboardů a řetězců pravidel. Zde je možno nastavovat zákazníky a jejich přístupové údaje. Dále pak k zákazníkům přiřazovat zařízení a dashboardy. V neposlední řadě lze přidat zařízení a získat API klíč, kterým se pak autorizuje odesílatel telemetrie. Je zde konfigurator dashboardů s pomocí kterého lze vybrat prvky vizualizace do daného dashboardu.
- **Zákazník** je nejvíce omezený účet, který v systému ThingsBoard je. Zákazník se může jen dívat na vizualizaci. Může jen prohlížet data v čase reálném či koukat do minulosti. Může také změnit heslo ke svému účtu.

5.6.3 Řetězcy pravidel

Řetězcy pravidel slouží k provedení různých akcí či transformaci dat, které přijdou pomocí API jako telemetrie. Pomocí *drag and drop* návrháře může uživatel libovolně vytvořit řetězce pro zpracování zpráv, může zde využít filtrů, kde je možno přesunout zprávu, která patří určité entitě. Je zde možno také vytvářet vlastní skripty pro filtrování zprávy. Je zde taky možné obohatit telemetrická data např., jakému uživateli nebo administrátorovi uživatele patří. Data lze také transformovat v e-mailu a poslat na zadanou adresu nebo na adresu vlastníka zařízení. Je zde možno nastavit také nespočet akcí, jako je například vytvoření alarmu, či podle GPS, které budou součástí telemetrie a určit tak jestli je zadaný objekt v kruhu s daným poloměrem. Dále je pak možné odeslat data do externího systému jako je AWS (*Amazon Web Services*), Google PubSub, Kafka, MQTT, RabbitMQ, E-Mail, či volat cizí REST API.

5.6.4 Zákazníci

V této sekci aplikace bude vytvořen zákazník, kterému pak bude možné přiřadit několik uživatelů s různými emaily. Tímto si lze představit, že zákazníka tvoří skupina uživatelů s různými přihlašovacími údaji, je zde tak možnost sdílet jedno či více zařízení včetně dashboardu mezi více lidí. Pro vytvoření zákazníka tak postačí email, na který přijde aktivací odkaz, kterým si uživatel nastaví heslo. Je zde taky možné vyplnit údaje jako je adresa, telefon, jméno a příjmení.

5.6.5 Aktiva

Pomocí položky aktiva je možné zařízení roztrždit do skupin. Například bude existovat několik zařízení, které budou měřit teplotu ve třech budovách, lze je tak rozdělit na skupiny, např. na základě čísla budovy.

5.6.6 Entitní pohledy

Entitní pohledy jsou funkce pro zobrazení dat, obdobně jako u databázových pohledů. Touto funkcionalitou lze „nasdílet“ data ze zařízení jinému zákazníkovi, aniž by byl vlastníkem zařízení. Například pokud bude zapotřebí zákazníkovi ukázat data odečtená ze senzorů, ale skrýt jiné informace, které zařízení dále poskytují jako telemetrii. Tímto mechanismem tak lze poskytnout jen částečná data a zákazník nemusí vidět zbytek dat.

5.6.7 Knihovna widgetů

Z této knihovny je možné vybírat grafy (vizualizace), které budou zapotřebí v dashboardu. Je zde velké množství, které je možno využít a tím vytvořit co nejlepší vizualizaci a prezentaci dat. Jsou zde obsaženy vizualizace pro grafy v reálném čase, analogové a digitální ukazatele, možnosti zpětného volání, mapové podklady pro zobrazení polohy.

5.6.8 Zařízení

Zařízení lze přidat v kartě *Zařízení*, kde je možnost *přidat novou položku*. Zde se systém bude vyptávat na název, typ zařízení a popis. Po vytvoření zařízení, je možné přidělit ho zákazníkovi. V nastavení zařízení, je také možné změnit či zkopírovat token, který bude potřeba pro příjem telemetrie.

5.6.9 Příjem telemetrie

Příjem telemetrie probíhá pomocí vestavěného API. To je poskytováno na stejné IP adrese a portu jako je umístěna aplikace s tím, že tato adresa musí mít vzhled podle vzoru níže. Do adresy je zapotřebí napsat token, který je poskytnut u nastavení zařízení v systému jako nabídka „Kopírovat přístupový token“. Jedná se o dvacetimístný token, který se vloží do adresy, čímž dojde k jednoznačnému svázání zařízení a adres.

```
1 http://IP_ADDRESS:8080/api/v1/---TOKEN---/telemetry
```

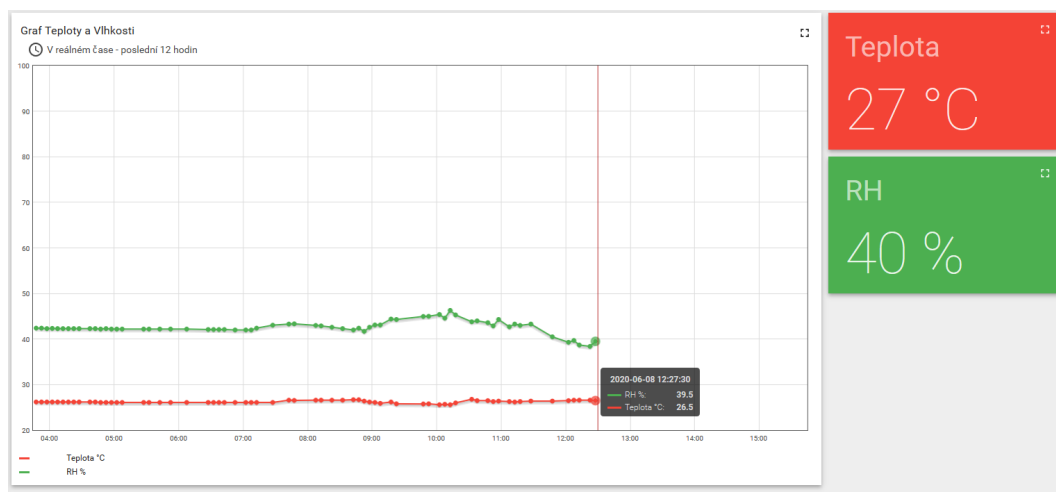
Data je následně nutno odeslat do telemetrie ve formátu JSON, přes HTTP metodu POST. Data vypadají následujícím způsobem. Thingsboard automaticky data rozdělí a z proměnných udělá klíče pro reprezentaci dat.

```
1 POST /api/v1/---TOKEN---/telemetry HTTP/1.1
2 Host: IP_ADDRESS:8080
3 Content-Type: application/json
4 {"temp": 26.4, "rht": 33.3}
```

Thingsboard má ještě další dvě metody posílání telemetrie, lze také ještě využít MQTT či CoAP. Pro toto použití je však dostačující HTTP API.

5.6.10 Dashboard

Dashboard se vytvoří pomocí karty „Dashboardy“, kde je zapotřebí kliknout na Vytvořit nový dashboard. Uživatelé budou dotázáni na název nového dashboardu, do kterého pak vstoupí. Dále pak přejdou do režimu editace. V modu editace, zvolí přidat nový widget. Z galerie vyberou požadovaný graf vizualizace. Otevře se jim nastavení widgetu, v kterém přidají datové zdroje, zvolí své zařízení, a díky JSON struktuře v příjmové telemetrii už vidí rovnou klíče proměnných, pod kterými byla zasílaná. Navolí si požadované proměnné pro vizualizaci. V kartě widgetu si pak mohou dále nastavovat vzhled křivky, tloušťku, barvu, hladkost křivky grafu, popisky os a dat. Či případně přidat data z předešlého dne pro porovnání. V závislosti na druhu vizualizace, kterou si zvolí, můžou dodatečně nastavovat vlastnosti vzhledu výsledného widgetu. Výsledný pokusný dashboard je zobrazen na Obr. 5.3, zde je kombinace dvou widgetů, které zobrazují poslední hodnotu příchozí telemetrie. Graf pak ukazuje 12 hodin nazpět od aktuálního času.



Obr. 5.3: Výsledný dashboard zařízení

6 Závěr

Cílem této práce bylo nalezení řešení pro vizualizaci dat ze senzorů IoT a poskytnout tak náhled na zaznamenávaná data.

První část této práce se věnuje základním pojmům IoT a IIoT, kde jsou přiblíženy rozdíly mezi těmito dvěma oblastmi a zároveň je v této části zmíněno, jak jsou v daných odvětvích tyto dva rozdílné internety věcí používány.

Ve druhé části je kompletně rozebrán komunikační řetězec od senzoru až po uživatelskou aplikaci. Tato část pokračuje v představení a definování pojmů z oblasti IoT. Komunikační řetězec je popsán kompletně a důraz byl kladen také na použité technologie, z kterých byly vybrány ty nejvíce využívané a známé pro zařízení IoT. Dále byla věnována také pozornost cloudu a serverům. V této oblasti byl rozebrán způsob hostování softwarových řešení a dále jsou zde zmíněny i některé standardizované protokoly pro IoT.

Třetí část této práce se věnuje rešerši dostupných systémů, nástrojů a knihoven pro vizualizaci dat v oblasti IoT. Výstupem této rešerše je ucelený pohled na současný stav a to nejen z pohledu již hotových řešení, ale i z pohledu dostupných knihoven pro vývoj vlastních systémů nebo doplňků pro hotová řešení.

V poslední části byla provedena současná analýza stavu, a byla vytvořena přehledná tabulka reprezentující výsledky z provedené rešerše. Na základě informací z rešerše byla zvolena jedna aplikace, která byla implementována. Tato část práce obsahuje dále popsání postupu implementace, tj. instalace, konfigurace a spuštění. Součástí této části je jak aplikaci nastavit, přidat prvotní uživatele, přidat zařízení atd.. Hlavním výsledkem je vizualizační systém konkrétního zařízení. Tento vizualizační systém splňuje nároky na systém vizualizace dat využívaných během vývoje. Systém umožňuje vytvářet skupiny uživatelů a tím zabezpečit vizualizační sestavy proti zobrazení nekompetentní osobou. Toto zabezpečení je velmi důležité především pro výzkum v oblasti pokročilých zdravotnických pomůcek, kdy je nutné zabezpečit, že data mohou procházet a zobrazovat jen omezený okruh lidí.

Je nutné ale v závěru zmínit, že vizualizace dat je široká oblast, kde její vývoj jde neustále a rychle kupředu. Je to ale jedna z velmi důležitých součástí IoT světa. Data je totiž potřeba vizualizovat, jelikož v nich můžeme najít souvislosti, které nejsou na první pohled bez vizualizace vidět. Tyto souvislosti mohou být klíčové při rozhodování či plánování a mohou hrát roli v případném zisku či ztrátě. Proto je vždy důležité se na data dívat v grafech a z více pohledů.

Z pohledu zadání práce, byly splněny všechny body a tato práce přinesla ucelený pohled na danou problematiku.

Literatura

- [1] INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. *Overview of the Internet of things* [online]. itu.int, 2020. [cit. 2020/03/04]. Dostupné z: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2060-201206-I!!PDF-E&type=items.
- [2] GREENGARD, S. *Internet of Things*. MIT Press, 2015. ISBN 978026252773.
- [3] RACHMAT GUNAWAN. *IoT vs IIoT* [online]. computradetech.com, 2020. [cit. 2020/03/05]. Dostupné z: <https://www.computradetech.com/blog/iot-vs-iiot/>.
- [4] REDAKCE IOT-PORTAL.CZ. *Co dokáže IIoT?* [online]. iot-portal.cz, 2020. [cit. 2020/03/05]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2018/12/15/co-dokaze-iiot/>.
- [5] ING. MICHAL LOM, PROF. ING. ONDŘEJ PŘIBYL, PH.D. *Sítě pro internet věcí v České republice* [online]. tzb-info.cz, 2020. [cit. 2020/04/11]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/informacni-a-telekomunikacni-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice>.
- [6] MARGARET ROUSE. *IoT gateway* [online]. techtarget.com, 2020. [cit. 2020/04/11]. Dostupné z: <https://whatis.techtarget.com/definition/IoT-gateway>.
- [7] *Overview of IOT Networks* [online]. iotfactory.eu, 2020. [cit. 2020/03/16]. Dostupné z: <https://iotfactory.eu/iot-knowledge-center/overview-of-iot-networks/>.
- [8] *Prostředky rádiové komunikace pro internet věcí (IoT)* [online]. technickytydenik.cz, 2020. [cit. 2020/03/16]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/prostredky-radiove-komunikace-pro-internet-veci-iot_42579.html.
- [9] ZIKMUND, M. *Jak se vyznat v mobilních datových sítích (GSM, GPRS, EDGE)* [online]. businessvize.cz, 2020. [cit. 2020/03/16]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/datove-prenosy-a-site/jak-se-vyznat-v-mobilnich-datovych-sitich-gsm-gprs-edge>.
- [10] *Co znamenají pojmy 2G, 3G, LTE apod.* [online]. smart-mobil.eu, 2020. [cit. 2020/03/16]. Dostupné z: <http://www.smart-mobil.eu/clanky/72-prehled-2g-a-3g-frekvenci-od-operatoru-nejen-v-cr/>.
- [11] *Základní informace o LTE* [online]. ctu.cz, 2020. [cit. 2020/03/17]. Dostupné z: <https://digi.ctu.cz/lte-rk/olte>.
- [12] SEGAN, S. *What Is 5G?* [online]. pcmag.com, 2020. [cit. 2020/03/17]. Dostupné z: <https://www.pcmag.com/news/what-is-5g>.
- [13] LOOPER, C. *What is 5G? The next-generation network explained* [online]. digitaltrends.com, 2020. [cit. 2020/03/17]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-5g/>.

- [14] TABERNER, T. *Rozdíl mezi M2M a IoT* [online]. cad.cz, 2020. [cit. 2020/03/20]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/6972-rozdil-mezi-m2m-a-iot.html>.
- [15] *Wireless RF* [online]. semtech.com, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf>.
- [16] RAY, B. *What Is LoRa? A Technical Breakdown* [online]. link-labs.com, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://www.link-labs.com/blog/what-is-lora>.
- [17] PECH, J. *IoT technologie: LoRa a LoRaWAN* [online]. eman.cz, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-lora-a-lorawan-3-5/>.
- [18] *LoRaWAN R1.0 Open Standard Released for the IoT* [online]. businesswire.com, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://www.businesswire.com/news/home/20150616006550/en/LoRaWAN-R1.0-Open-Standard-Released-IoT>.
- [19] *Připojení nového zařízení do sítě LoRaWAN* [online]. merenienergie.cz, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <http://wiki.merenienergie.cz/index.php/LoRaWAN>.
- [20] REDAKCE IOT-PORTAL.CZ. *LoRaWAN* [online]. iot-portal.cz, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/29/lorawan/>.
- [21] SARA LANDSTRÖM, JOAKIM BERGSTRÖM, ERIK WESTERBERG, DAVID HAMMARWALL. *NB-IoT: a sustainable technology for connecting billions of devices* [online]. ericsson.com, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/nb-iot-a-sustainable-technology-for-connecting-billions-of-devices>.
- [22] REDAKCE IOT-PORTAL.CZ. *NarrowBand IoT* [online]. iot-portal.cz, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/04/30/narrowband-iot/>.
- [23] REDAKCE IOT-PORTAL.CZ. *SIGFOX – princip, struktura, protokol, použití* [online]. iot-portal.cz, 2020. [cit. 2020/03/23]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2017/05/29/sigfox-princip-struktura-protokol-pouziti/>.
- [24] JIŘÍ PECH. *IoT technologie: Sigfox (4/5)* [online]. eman.cz, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-sigfox-4-5/>.
- [25] *Introduction to Bluetooth Low Energy* [online]. learn.adafruit.com, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/>.
- [26] REDAKCE IOT-PORTAL.CZ. *Bluetooth Smart* [online]. iot-portal.cz, 2020. [cit. 2020/03/22]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/26/bluetooth-smart/>.
- [27] REDAKCE HW SERVERU. *Co je to WiFi - úvod do technologie* [online]. hw.cz, 2020. [cit. 2020/03/29]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/produkty/ethernet/co-je-to-wifi-uvod-do-technologie.html>.

- [28] ANTONÍN TRČÁLEK. *Všechno, co byste měli vědět o Wi-Fi* [online]. zive.cz, 2020. [cit. 2020/03/29]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/vsechno-co-byste-meli-vedet-o-wi-fi/sc-3-a-162796/default.aspx>.
- [29] WEIPING SUN, MUNHWAN CHOI AND SUNGHYUN CHOI. *IEEE 802.11ah: A Long Range 802.11 WLANat Sub 1 GHz* [online]. riverpublishers.com, 2020. [cit. 2020/03/29]. Dostupné z: https://www.riverpublishers.com/journal/journal_articles/RP_Journal_2245-800X_115.pdf.
- [30] LOU FRENZEL. *What's The Difference Between ZigBee And Z-Wave?* [online]. riverpublishers.com, 2020. [cit. 2020/03/29]. Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/technologies/communications/article/21796052/whats-the-difference-between-zigbee-and-zwave>.
- [31] REDAKCE IOT-PORTAL.CZ. *ZigBee* [online]. iot-portal.cz, 2020. [cit. 2020/03/29]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/24/zigbee/>.
- [32] *Technologie RFID* [online]. smart-tec.com, 2020. [cit. 2020/04/11]. Dostupné z: <https://www.smart-tec.com/cs/auto-id-svet/technologie-rfid>.
- [33] NAVEEN JOSHI. *Six types of IoT network protocols* [online]. allerin.com, 2020. [cit. 2020/04/11]. Dostupné z: <https://www.allerin.com/blog/six-types-of-iot-network-protocols>.
- [34] *Technologie NFC* [online]. smart-tec.com, 2020. [cit. 2020/04/11]. Dostupné z: <https://www.smart-tec.com/cs/auto-id-svet/technologie-nfc>.
- [35] REDAKCE IOT-PORTAL.CZ. *Velký přehled cloudů pro IoT – 1. část* [online]. iot-portal.cz, 2020. [cit. 2020/04/14]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2017/02/23/velky-prehled-cloudu-pro-iot-1-cast/>.
- [36] *IoT Standards and Protocols Guide — Protocols of the Internet of Things* [online]. avsystem.com, 2020. [cit. 2020/04/14]. Dostupné z: <https://www.avsystem.com/blog/iot-protocols-and-standards/>.
- [37] *An overview of HTTP* [online]. mozilla.org, 2020. [cit. 2020/04/14]. Dostupné z: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Overview>.
- [38] MEHEDI HASAN. *Top 15 Standard IoT Protocols That You Must Know About* [online]. ubuntupit.com, 2020. [cit. 2020/04/14]. Dostupné z: <https://www.ubuntupit.com/top-15-standard-iot-protocols-that-you-must-know-about/>.
- [39] SCOTT, S. *Five reasons to upgrade to Kibana 4* [online]. theserverside.com, 2020. [cit. 2020/03/02]. Dostupné z: <https://www.theserverside.com/discussions/thread/80828.html>.
- [40] GUPTA, Y. *Kibana Essentials*. Packt Publishing, 2015. ISBN 978-1-784-39493-6.
- [41] *Products* [online]. tableau.com, 2020. [cit. 2020/03/02]. Dostupné z: <https://www.tableau.com/products>.

- [42] *Tableau Software* [online]. www.softwareadvice.com, 2020. [cit. 2020/03/02]. Dostupné z: <https://www.softwareadvice.com/bi/tableau-profile/>.
- [43] *Tableau Desktop* [online]. tableau.com, 2020. [cit. 2020/03/02]. Dostupné z: <https://www.tableau.com/products/desktop>.
- [44] MIKE POPE, C. B. *Tableau Online and Tableau Server Comparison* [online]. community.tableau.com, 2020. [cit. 2020/03/02]. Dostupné z: <https://community.tableau.com/docs/DOC-10262>.
- [45] *Tableau Prep* [online]. tableau.com, 2020. [cit. 2020/03/03]. Dostupné z: <https://www.tableau.com/products/prep>.
- [46] *Tablueprint 2: My Tableau Public Viz Views* [online]. ryansleeper.com, 2020. [cit. 2020/06/15]. Dostupné z: <https://www.ryansleeper.com/tablueprint-2-my-tableau-public-viz-views/#post/0>.
- [47] KÉVIN SIBUÉ. *Get Smarter With Thingsboard Dashboard* [online]. witekio.com, 2020. [cit. 2020/04/11]. Dostupné z: <https://www.witekio.com/fr/blog/get-smarter-thingsboard-dashboard/>.
- [48] PARHAM ALVANI. *Platform specification* [online]. github.com, 2020. [cit. 2020/04/11]. Dostupné z: <https://github.com/AoLab/iot-platforms-review/blob/master/thingsboard.md>.
- [49] *ThingsBoard* [online]. openradix.com, 2020. [cit. 2020/04/11]. Dostupné z: <https://www.openradix.com/products/thingsboard>.
- [50] *Co je Power BI?* [online]. autocont.cz, 2020. [cit. 2020/03/03]. Dostupné z: <https://www.autocont.cz/aktuality/openspace/power-bi>.
- [51] *Power BI Desktop* [online]. microsoft.com, 2020. [cit. 2020/03/03]. Dostupné z: <https://powerbi.microsoft.com/cs-cz/desktop/>.
- [52] HAMAN, I. M. *Power BI Services* [online]. martinhaman.com, 2020. [cit. 2020/03/03]. Dostupné z: <http://martinhaman.com/cs/power-bi-services/>.
- [53] *Power BI Embedded* [online]. microsoft.com, 2020. [cit. 2020/03/03]. Dostupné z: <https://azure.microsoft.com/cs-cz/services/power-bi-embedded/>.
- [54] *Server sestav Power BI* [online]. microsoft.com, 2020. [cit. 2020/03/03]. Dostupné z: <https://powerbi.microsoft.com/cs-cz/report-server/>.
- [55] KOVÁČIK, M. *Real time metriky prostřednictvím Prometheus and Grafana* [online]. redbyte.eu, 2020. [cit. 2020/03/03]. Dostupné z: <https://redbyte.eu/blog/real-time-metriky-prostrednictvom-prometheus-a-grafana/>.
- [56] *The analytics platform for all your metrics* [online]. grafana.com, 2020. [cit. 2020/03/04]. Dostupné z: <https://grafana.com/grafana/>.
- [57] *Dashboard List Panel* [online]. grafana.com, 2020. [cit. 2020/03/04]. Dostupné z: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/features/panels/dashlist/>.

- [58] *Explore* [online]. grafana.com, 2020. [cit. 2020/03/04]. Dostupné z: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/features/explore/>.
- [59] *Alerting Engine and Rules Guide* [online]. grafana.com, 2020. [cit. 2020/03/04]. Dostupné z: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/alerting/rules/>.
- [60] JIM HEISING, BUG LABS, INC. *freeboard* [online]. github.com, 2020. [cit. 2020/04/22]. Dostupné z: <https://github.com/Freeboard/freeboard>.
- [61] P, V. *How to Create a Live Dashboard for IoT* [online]. medium.com, 2020. [cit. 2020/06/15]. Dostupné z: <https://medium.com/@venkatesh.14ee/how-to-create-a-live-dashboard-for-iot-833a81cc98a>.
- [62] *What is D3.js?* [online]. TutorialTeacher.com, 2020. [cit. 2020/02/25]. Dostupné z: <https://www.tutorialsteacher.com/d3js/what-is-d3js>.
- [63] *D3: Data-Driven Documents* [online]. Github, Inc., 2020. [cit. 2020/02/25]. Dostupné z: <https://github.com/d3/d3>.
- [64] SETHIA, E. *What is chart JS?* [online]. Quora.com, 2020. [cit. 2020/02/25]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-chart-JS/answer/Eeshaan-Sethia-2>.
- [65] *Google Charts* [online]. Google, Inc., 2020. [cit. 2020/02/25]. Dostupné z: <https://developers.google.com/chart/interactive/docs>.
- [66] *Dash User Guide* [online]. plot.ly, 2020. [cit. 2020/03/02]. Dostupné z: <https://dash.plot.ly/>.
- [67] *Introducing Dashn* [online]. 2020. [cit. 2020/03/02]. Dostupné z: <https://medium.com/plotly/introducing-dash-5ecf7191b503>.
- [68] *Installing ThingsBoard CE on Ubuntu Server* [online]. thingsboard.io, 2020. [cit. 2020/04/26]. Dostupné z: <https://thingsboard.io/docs/user-guide/install/ubuntu/>.
- [69] *O Debianu* [online]. debian.cz, 2020. [cit. 2020/04/26]. Dostupné z: <http://www.debian.cz/info/about.php>.
- [70] *How to Install Java on Debian 10 Linux* [online]. linuxize.com, 2020. [cit. 2020/04/26]. Dostupné z: <https://linuxize.com/post/install-java-on-debian-10/>.

Seznam obrázků

2.1	Rozdělení internetu věcí [3]	11
3.1	Koncepce sítě pro Internet věcí [5]	13
3.2	Možné využití spektra (převzato z [21])	18
4.1	Náhled demo vizualizace ze systému Kibana (screenshot z aplikace Firefox)	25
4.2	Náhled systému Tableau (převzato z [46])	26
4.3	Náhled demo vizualizace ze systému Thingsboard (screenshot z aplikace Firefox)	27
4.4	Náhled vizualizace v systému PowerBI	28
4.5	Náhled vizualizace ze systému Grafana (screenshot z aplikace Firefox) .	29
4.6	Náhled prostředí FreeBoard.io (převzato z [61])	30
4.7	Náhled demo aplikace s využitím D3D.js (screenshot z aplikace Firefox)	31
4.8	Náhled demo aplikace s využitím Chart.js (screenshot z aplikace Firefox)	32
4.9	Náhled demo aplikace s využitím Google Charts (screenshot z aplikace Firefox)	32
4.10	Náhled demo aplikace s využitím Plotly (screenshot z aplikace Firefox)	33
5.1	Současný stav	34
5.2	Postup implementace systému	36
5.3	Výsledný dashboard zařízení	42

Seznam tabulek

5.1	Zhodnocení aplikací pro vizualizaci dat	35
-----	---	----