VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Webové rozhraní pro data z IoT

2021 Bc. Libor Michálek

Abstrakt

Tento semestrální projekt popisuje použité technologie a postupy pro implementaci aplikací sloužící k sběru dat z IoT zařízení a jejich vizualizaci ve webovém uživatelském rozhraní. Pro experimentální účely bylo jakožto IoT zařízení využito chytré zásuvky společnosti TP-Link, na kterém probíhá monitorování spotřeby a malého jednodeskového počítače Raspberry Pi pro obsluhu této zásuvky a poskytování dat frontendové aplikaci skrze aplikační rozhraní.

Klíčová slova: semestrální projekt, .NET Core, TP-Link, Raspberry Pi, JavaScript, React, SQLite, Recharts, Plotly

Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů

IoT	–	Internet of Things
IP	–	Internet Protocol
JSON	–	JavaScript Object Notation
UML	–	Unified Modeling Language
API	–	Application Programming Interface
REST	–	Representational State Transfer
AJAX	–	Asynchronous JavaScript and XML
URL	–	Unified Resource Locator

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam výpisů zdrojového kódu

1 Úvod

Tento semestrální projekt pojednává o tvorbě aplikace pro sběr a vizualizaci dat z IoT zařízení pod vedením pana Ing. Michala Radeckého Ph.D., který jsem si vybral na základě záliby ve vývoji vizualizačních aplikací a také k prohloubení ostatních znalostí souvisejících s vytvářením aplikací pro IoT zařízení založených na ARM architektuře s operačním systémem Linux a síťovou komunikací s chytrými zařízeními.

Druhá kapitola této práce popisuje použité technologie a zařízení při vytváření toho projektu. Následující kapitola pak popisuje postupy a implementaci jednotlivých částí aplikace od databáze až po samotné uživatelské rozhraní. V závěru dokumentu se nachází zhodnocení tohoto semestrálního projektu, nabyté vědomosti nebo naopak komplikace, ke kterým došlo v průběhu tvorby aplikace.

2 Použité technologie a zařízení

V této kapitole jsou popsány technologie a zařízení, které byly využity při práci na tomto projektu.

TP-Link HS110

TP-Link HS110[1] je chytrá zásuvka podporující Wi-Fi technologii s kontrolou spotřeby energie. Pro ovládání a monitorování lze využít jednak aplikaci Kasa ale hlavně také disponuje aplikačním rozhraním pod IP adresou přidělenou v rámci místní sítě, na kterou lze zasílat data reprezentující šifrované příkazy ve formátu JSON.

Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi 4 Model B,[2] konkrétně model s 2GB RAM, je malý jednočipový počítač výkonově srovnatelný se slabým běžným osobním počítačem. Je možné na něm provozovat různé distribuce Linuxu, RISC OS nebo Windows 10 IoT Core. V tomto konkrétním případě byla využita Linuxová distribuce Raspbian. Procesor pochází z rodiny procesorů ARM nabízející dostačující výkon a nízkou spotřebu, která se pohybuje okolo 2,7 W při nečinnosti a 6,4 W při plné zátěži, což je příhodné pro nonstop běh nenáročné aplikace.

.NET Core

.NET Core[3] je open-source softwareový multiplatformní framework pro operační systémy Windows, Linux a macOS. .NET Core (v současnosti se nazývá pouze .NET) podporuje řadu programovacích jazyků, konkrétně `C#`, `F#` a `Visual Basic`. Při tvorbě tohoto projektu byl vybrán jazyk `C#` a verze .NET Core 3.1.

SQLite

SQLite[4] je knihovna napsaná v jazyce `C` implementující relační databázový systém. SQlLite je malý, rychlý a spolehlivý, což je vhodné pro aplikaci, která obsahuje vysoké množství záznamů, ale přesto klade důraz na nízké paměťové nároky, rychlost přenosu dat a spolehlivost.

React

React[5] je JavaScriptová knihovna pro tvorbu uživatelských rozhraní. Byla vytvořena společností Facebook a využívá se pro tvorbu single-page webových aplikací nebo mobilních aplikací (React Native). Obvykle je pro jeho efektivní využití nutno použít další knihovny pro uchovávaní stavu aplikace, jako je například Redux.

Recharts

Recharts[6] je knihovnou pro React sloužící k grafové vizualizaci dat. Obsahuje různé typy grafů, jako například spojnicový, sloupcový, koláčový, jejich kombinace a další. Umožňuje grafy skládat po částech z komponent což je užitečné například pro znovupoužitelnost a přizpůsobení vlastním potřebám.

Plotly

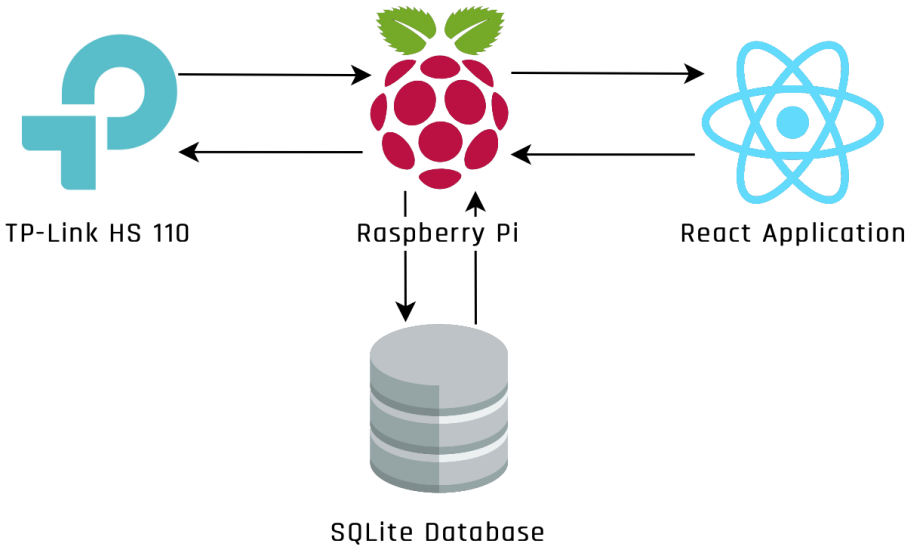
Plotly[7] je jednou z dalších knihoven pro grafové vizualizace. . Na tomto projektu je použita z důvodu absence 3D grafů v Recharts.

3 Návrh a implementace

První část této kapitoly je zaměřená na návrh aplikace jako celku. Následně je podrobněji popsána databázová a backendová implementační část aplikace a na závěr frontendová část s prezentací výsledků vizualizace.

3.1 Návrh

Aplikace jako celek je rozdělena do několika spolu komunikujících částí. První důležitou částí je aplikace, která se nepřetržitě stará o periodické dotazování se na chytrou zásuvku o aktuální spotřebu a ukládání hodnot obsažené v odpovědi do databáze. Ta je implementovaná jako konzolová aplikace běžící jako systémová služba na Raspberry Pi. Druhou částí je opět systémová služba, tentokrát implementována jako REST aplikační rozhraní poskytující serializovaná data z databáze do formátu JSON. Poslední částí je React aplikace využívající tohoto rozhraní, která provádí statistické výpočty nad získanými daty a následně je reprezentuje pomocí grafů nebo v textové podobě. Schématický návrh aplikace je možno vidět na následujícím obrázku 1.



Obrázek 1: Schématický návrh komunikace jednotlivých částí aplikace

3.2 Backend aplikace

Backendová aplikace běžící na Raspberry Pi je logicky rozdělena do 4 částí napsaných v .NET Core 3.1, jazyce `C#`. Konkrétně se jedná o:

- **SmartPlugORM:** Je knihovnou vytvořenou pro objektově relační mapování,[8] která zajišťuje jednoduché operace nad SQLite databází, jako je vkládání nových záznamů nebo načítání dat z databáze a jejich automatickou konverzi na objekty. Je použita v následujících dvou aplikacích pro získávání dat a jejich poskytování. Díky tomu odpadá potenciální problém s duplicitou kódu napříč aplikacemi. Pro ukládání záznamů o měření spotřeby z chytré zásuvky postačuje jednoduchá tabulka obsahující veličiny související s měřením, datum s časem vytvoření záznamu a jeho identifikátor. Strukturu tabulky je možno vidět v následující tabulce 1:

Název	Datový typ	Klíč	Null
id	integer	Primární	Ne
voltage	integer	Ne	Ne
current	integer	Ne	Ne
power	integer	Ne	Ne
created_at	datetime	Ne	Ne

Tabulka 1: Tabulka emeter

- **SmartPlugDataCollector:** Je konzolová aplikace, využívající knihovnu `SmartPlugORM`, spuštěná jako služba na Raspberry Pi, která periodicky každé 4 minuty zasílá příkaz na chytrou zásuvku s požadavkem o vrácení aktuálních údajů o spotřebě. Takovýto příkaz vypadá před šifrováním následovně:

```
{
   "emeter": {
      "get_realtime": {},
      "get_vgain_igain": {}
   }
}
```

Výpis 1: TP-Link HS110 příkaz pro získání okamžitých údajů o spotřebě

Šifrování zpráv pak probíhá tak, že se první byte zprávy zašifruje bitovou operací `XOR` a hodnotou `0xAB`. Následující byte se pak šifruje hodnotou předchozího zašifrovaného bytu. Pro dešifrování platí analogicky obdobné pravidlo s tím rozdílem, že se jako následující klíč volí hodnota bytu před dešifrováním. Tomuto přístupu se také říká autoklíčová šifra. K odhalení tohoto způsobu šifrování můžeme využít například dekompilace Android aplikace Kasa.[9]

- **SmartPlugAPI:** Je webová aplikace založená na ASP.NET Core, využívající knihovnu `SmartPlugORM`, která je spuštěna také jako služba na Raspberry Pi. Obsahuje dvě následující HTTP GET metody:
  - **GetAll** – Vrací všechny naměřené záznamy ve formátu JSON. Ukázku odpovědi je možno vidět ve výpise 2.
  - **GetByDate** – Vrací naměřené záznamy v zadaném rozsahu dat. Obsahuje dva povinné parametry `fromDate` a `toDate`. Tyto parametry musí dodržet normu ISO 8601, která definuje formát pro zápis data a času.

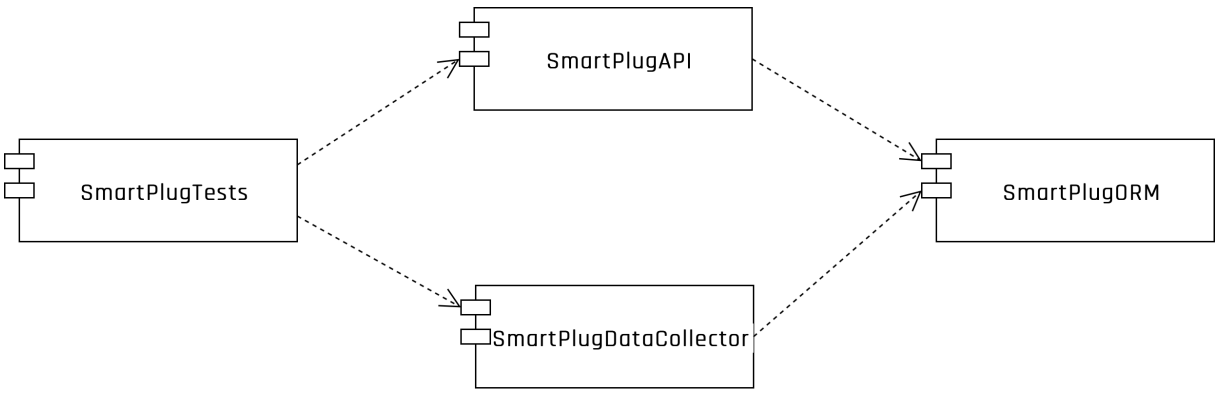
  Cesty k těmto endpointům jsou vytvářeny ve formátu `"/api/emeter/METODA"`.

```
[
   {
      "voltage": 235013,
      "current": 13,
      "power": 0,
      "createdAt": "2020-11-08T13:05:10"
   },
   ...
],
```

Výpis 2: Ukázka odpovědi aplikačního rozhraní

- **SmartPlugTests:** Obsahuje unit testy testující funkcionalitu výše zmíněného šifrování a dešifrování. Dále zahrnuje také test pro testování API metody pro získávání záznamů podle data.

Schématickou reprezentaci závislostí mezi moduly v projektu je možno vidět na obrázku 2.



Obrázek 2: Schématická reprezentace závislostí jednotlivých modulů

3.3 Nasazení na Raspberry Pi

Pro spuštění a nepřetržitý provoz vytvořených aplikaci bylo nutné Raspberry Pi nejdříve připravit. Což znamenalo kromě samotného nainstalování Raspbianu také povolit SSH pro vzdálený přístup, instalaci `SQLite` a vytvoření struktury zmíněné výše1. Dále také instalaci `.NET Core SDK 3.1` včetně `ASP.NET Core Runtime 3.1` a registrovat cestu k nim do proměnných prostředí (environment variables). V případě, že by bylo nutné systém restartovat, je vhodné tyto cesty přidat do souboru `.profile`:

```
export DOTNET_ROOT=$HOME/dotnet-arm32
export PATH=$PATH:$HOME/dotnet-arm32
```

Výpis 3: Proměnné prostředí pro cesty k .NET Core SDK a ASP.NET Runtime

Po úspěšném otestování, například příkazem `dotnet -info`, bylo následně možné přesunout již vytvořené aplikace pomocí protokolu SSH, příkazem `scp` na Raspberry Pi a spustit je příkazem `dotnet SmartPlugDataCollector` a `dotnet SmartPlugApi`. Pro otestování funkčnosti bylo možné přistoupit na endpoint vytvořeného API pod IP adresou zařízení v místní síti. V této fázi by bylo možné začít implementovat frontendovou aplikaci, nicméně pokud by bylo nutné zařízení restartovat v případě výpadku sítě, elektrického napájení nebo jiného problému, bylo vhodné tyto aplikace zaregistrovat jako služby, které se samy v případě havárie restartují nebo spustí při startu systému. K tomu bylo potřeba vytvořit nové démony `/etc/systemd/system/smart-plug-data-collector.service` a `/etc/systemd/system/smart-plug-api.service`. Konfiguraci služby pro `SmartPlugAPI` je možno vidět v ukázce. Služba pro `SmartPlugDataCollector` byla konfigurována analogicky obdobným způsobem.

```
[Unit]
Description=ASP.NET Core 3.1 App - SmartPlugAPI

[Service]
WorkingDirectory=/home/pi/smartplug
ExecStart=/home/pi/dotnet-arm32/dotnet /home/pi/smartplug/SmartPlugAPI.dll
Restart=always
RestartSec=10
KillSignal=SIGINT
SyslogIdentifier=dotnet-SmartPlugAPI
User=pi
Environment=ASPNETCORE_ENVIRONMENT=Production
Environment=DOTNET_PRINT_TELEMETRY_MESSAGE=false

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

Výpis 4: Konfigurace jedné z aplikací jako systémové služby

```
sudo systemctl enable smart-plug-api.service
sudo systemctl start smart-plug-api.service
sudo systemctl status smart-plug-api.service
```

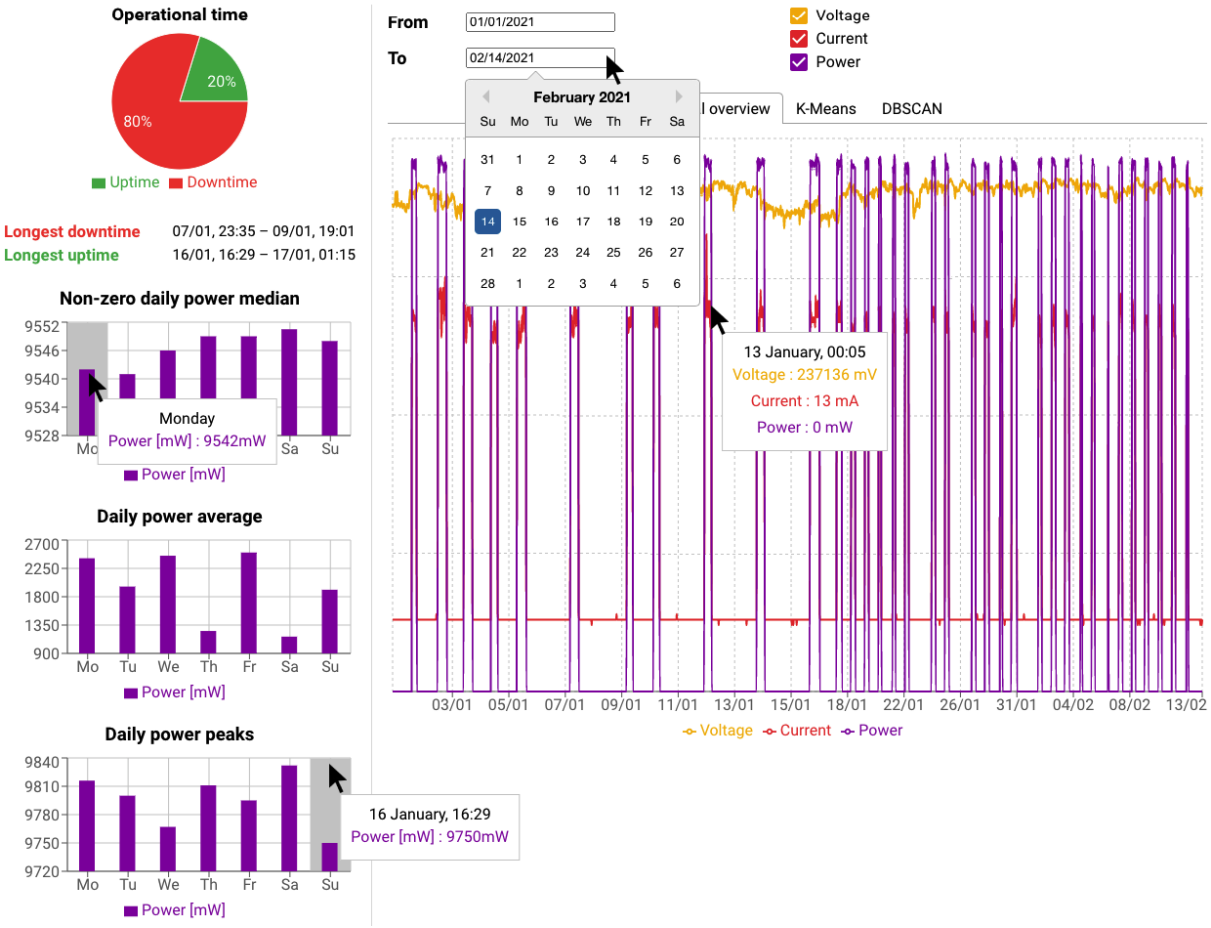
Výpis 5: Povolení a start služby

Po úspěšném startu služby byl vidět v konzoli aktivní stav a aplikační rozhraní v prohlížeči stále funguje, tudíž bylo možné přejít k implementaci frontendové části aplikace.

3.4 Frontend aplikace

Celá frontendová část projektu byla tvořena jako single-page aplikace v jazyce `React` využívající výše zmíněné aplikační rozhraní. Kromě knihoven pro grafové vizualizace zde byla použita knihovna `Material-UI`[10] pro některé prvky uživatelského rozhraní. Dále také knihovna `axios`[11] pro usnadnění AJAX komunikace s API.

Webové rozhraní obsahuje několik prvků pro interakci s uživatelem. Nejdůležitější z nich jsou pole pro výběr časového úseku `From` a `To`, podle něhož je následně zaslán požadavek na API. Data z odpovědi jsou pak zpracována a vizualizována pomocí grafů. Dále obsahuje tři zaškrtávací políčka pro filtraci elektrických veličin zobrazených v hlavním grafu. V levém sloupci je možno vidět vypočtené statistiky z naměřených dat. Nad hlavním grafem se nachází kromě první záložky také další dvě, ve které obsahují vstupní pole pro parametry shlukovacích algoritmů `K-Means` a `DBSCAN`, na jejichž základě je provedeno výpočet s vybraným časovým úsekem dat a vizualizací shluků. Ukázku prvního pohledu na aplikaci je možno vidět na obrázku 3.



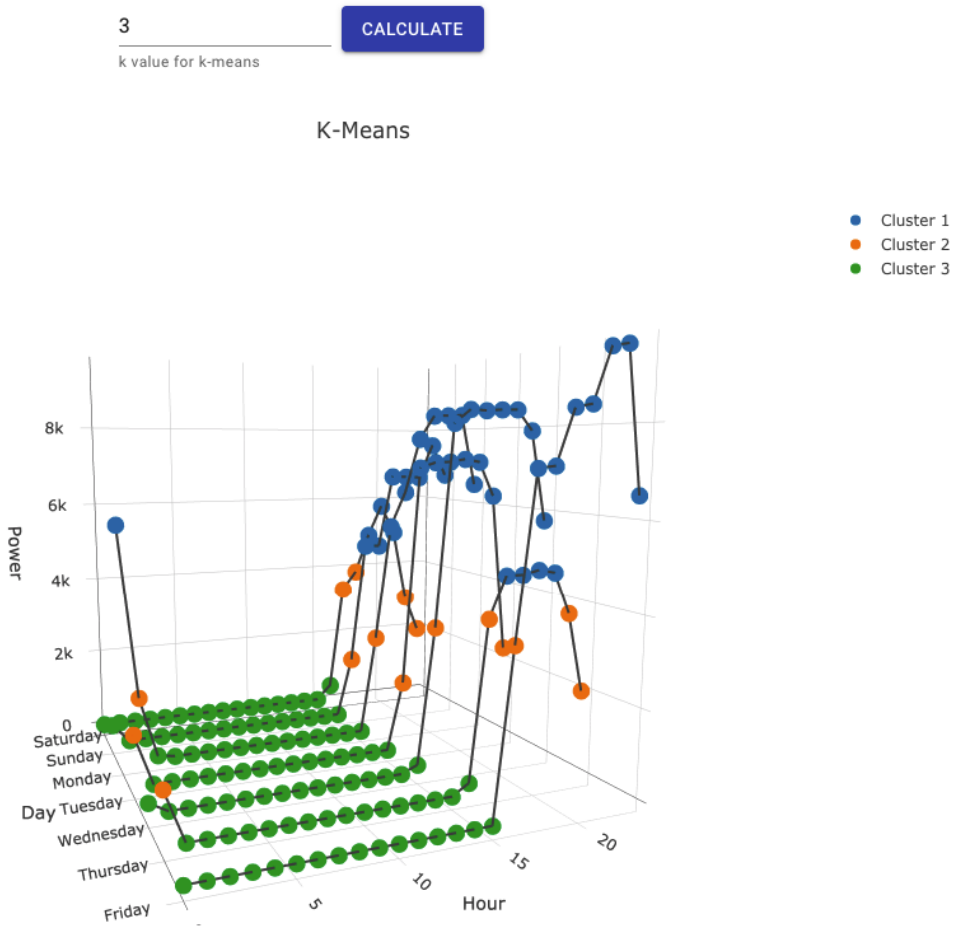
Obrázek 3: Ukázka vizualizace časového průběhu elektrických veličin a statistik

Struktura kódu aplikace je členěna do několika komponent, z nichž některé jsou znovupoužitelné, jedná se například o sloupcové grafy, které je možno vidět v levém sloupci se statistikami a jejich odlišnosti při použití jsou řešeny skrze předávání parametrů pomocí `props`. Většina logiky pro zpracování dat se nachází mimo samotné React komponenty v souboru `utils.js`, případně samostatném JavaScript souboru pro jednotlivé shlukovací algoritmy.

Komponenty pro analýzu dat a jejich vizualizaci

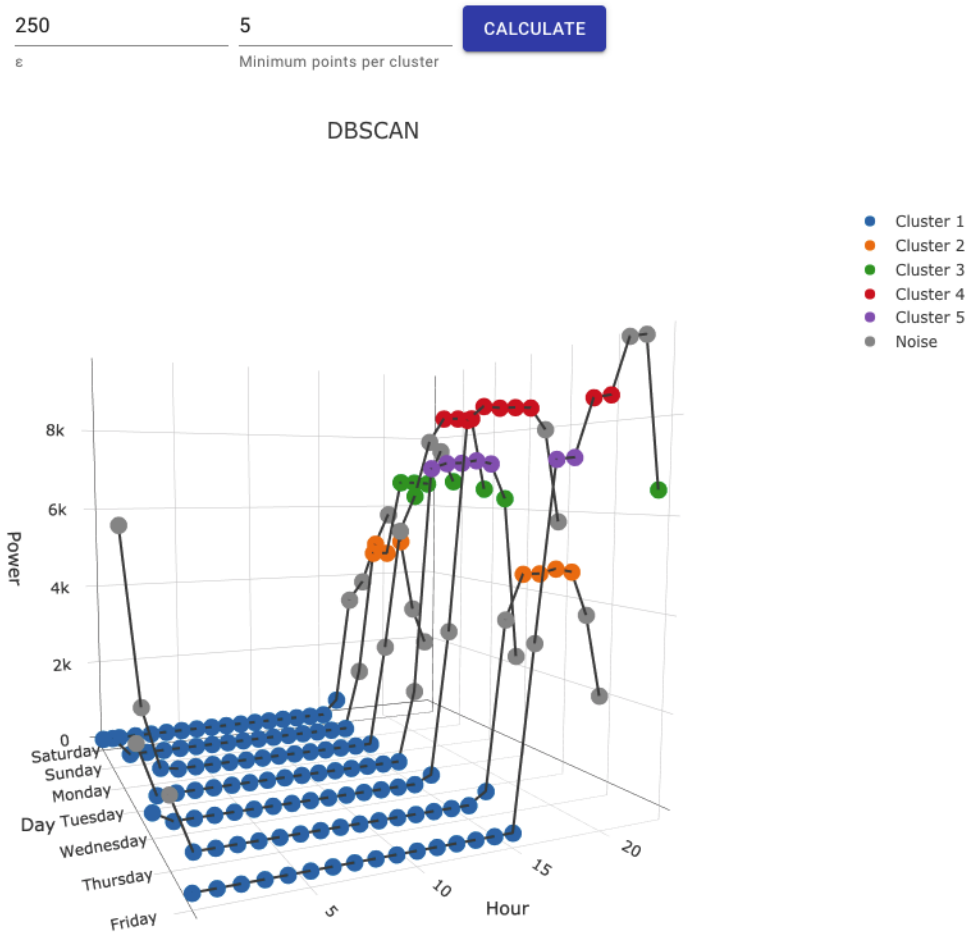
- **General overview** – Jedná se o obecný spojnicový graf zobrazující v čase jednotlivé naměřené elektrické veličiny ve zvoleném rozsahu, tyto veličiny je možno filtrovat pomocí zaškrtávacích políček. Viz obrázek 3.
- **Operational time** – Reprezentuje v koláčovém grafu poměr času, kdy bylo zařízení zapnuté a vypnuté. Kromě toho také detekuje nejdelší dobu po kterou bylo zařízení zapnuté a vypnuté. Tu zobrazuje v textové podobě. Viz obrázek 3.
- **Non-zero daily power median** – Představuje sloupcový graf obsahující denní mediány z nenulových naměřených hodnot spotřeby. Nenulových z toho důvodu, jakým způsobem bylo zařízení používáno. Tudíž tak, že bylo většinu času vypnuté, proto by výsledky ze všech naměřených hodnot byly irelevantní. Viz obrázek 3.
- **Daily power average** – Jedná se o sloupcový graf vizualizující průměry okamžitých hodnot spotřeby z chytré zásuvky v rámci dnů v týdnu. Viz obrázek 3.
- **Daily power peaks** – Reprezentuje v sloupcovém grafu píky okamžité elektrické spotřeby za každý den v týdnu. Při najetí myši na konkrétní den se zobrazí plovoucí okno, ve kterém se nachází přesný datum a čas kdy k píku došlo. Viz obrázek 3.

- **K-Means** – Představuje shlukovací algoritmus jehož vstupem je kromě dat pouze počet `K`. Algoritmus funguje tak, že v prvním kroku zvolí náhodně počáteční centroidy jednotlivých shluků. Poté postupuje iterativně tak, že v každém kroku přiřazuje k jednotlivým shlukům objekty podle jejich vzdálenosti od centroidů tak dlouho, dokud nedojde k žádné záměně. Při aplikaci tohoto algoritmu byly jako data využity průměrné hodinové spotřeby v rámci dnů. Pro určení vzdálenosti byla použita Euklidovská metrika. Vizualizovaný výsledek je možno vidět na obrázku 4.



Obrázek 4: Ukázka vizualizace výsledku shlukovacího algoritmu K-Means

- **DBSCAN** (Density-based spatial clustering of applications with noise) – Jedná se o další shlukovací algoritmus, který vyžaduje dva parametry: ϵ a minimální počet objektů nutný pro zformování shluku. Algoritmus funguje tak, že pro každý objekt je počítáno počet objektů v jeho ϵ okolí. Pokud splní požadavek na minimální počet objektů pro zformování shluku, je vytvořen nový shluk a následně jsou do něj přiřazeny také ty objekty, které jsou dosažitelné v rámci ϵ vzdálenosti z tzv. `core points`, tudíž takových objektů v shluku, jejichž počet sousedů je alespoň roven minimálnímu počtu objektů na shluk definovaným na počátku algoritmu. V opačném případě jsou objekty označeny jako šum. Ukázku výsledku algoritmu je možno vidět na obrázku 5. Obdobně jako u K-Means je zde použita stejná metrika a data jsou předpřipravené stejným způsobem.



Obrázek 5: Ukázka vizualizace výsledku shlukovacího algoritmu DBSCAN

Pro shlukovací algoritmy se v rozhraní také nachází textová podoba výsledků s jednotlivými skupinami objektů, které jsou si z hlediska hodinových průměrů okamžité spotřeby v rámci dnů v týdnu, podobné. Viz obrázek 6.

Groups of hours by week day with similar power consumption

Cluster 1

Cluster 2

Day	Hour	Average consumption
Monday	20:00	4409 mW
Monday	21:00	5119 mW
Monday	22:00	5556 mW
Tuesday	18:00	4663 mW
Tuesday	19:00	5147 mW
Tuesday	20:00	5633 mW
Tuesday	21:00	5613 mW
Tuesday	22:00	4707 mW

Obrázek 6: Ukázka textové reprezentace výsledků shlukovacích algoritmů

4 Závěr

Jako výsledkem práce na projektu se mi podařilo vytvořit tři vzájemně propojené aplikace, které se starají o automatizovaný sběr dat z chytré zásuvky a ukládání do databáze, jejich následné poskytování skrze aplikační rozhraní a jeho využití v React aplikaci, která se stará o vizualizaci těchto dat a vypočtených statistik. Kromě toho také obsahuje vizualizaci výsledků některých shlukovacích algoritmů.

Díky práci na tomto projektu jsem si mohl rozšířit své znalosti v oblastech tvorby React aplikací, asynchronní komunikací s aplikačním rozhraním a prací s grafovými knihovnami. Zcela novou problematikou pro mne byla práce s Raspberry Pi a komunikace s chytrým zařízením.

Literatura

1. *TP-Link HS 110* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `https://www.tp-link.com/cz/home-networking/smart-plug/hs110/`.
2. *Raspberry Pi 4 Model B* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/`.
3. *.NET Core* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/fundamentals/`.
4. *SQLite* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `https://www.sqlite.org/`.
5. *React* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `https://reactjs.org/`.
6. *Recharts* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `http://recharts.org/`.
7. *Plotly* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `https://plotly.com/javascript/react/`.
8. FOWLER, Martin. *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Addison-Wesley Professional, 2002. ISBN 0321127420.
9. *TP-Link HS110 Reverse Engineering* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `https://www.softscheck.com/en/reverse-engineering-tp-link-hs110/`.
10. *Material-UI* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `https://material-ui.com/`.
11. *axios* [online] [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: `https://github.com/axios/axios/`.