

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**SYSTÉM ŘÍZENÍ ELEKTRICKÉ SPOTŘEBY OBJEKTU S
VYUŽITÍM FVE**

Bc. Ondřej Polanský

Diplomová práce

2023

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Polanský**
Osobní číslo: **I21309**
Studijní program: **N0714A150005 Automatické řízení**
Téma práce: **Systém řízení elektrické spotřeby objektu s využitím FVE**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Navrhněte systém pro řízení elektrické spotřeby objektu s využitím FVE. Jako zdroje elektrické energie uvažujte distribuční soustavu a alternativní zdroj elektrické energie (FVE) případně s bateriovým úložištěm.

Cílem práce je funkční řídicí systém, který na základě dostupnosti zdrojů el. energie bude ekonomicky úsporně spouštět / vypínat vybrané spotřebiče v objektu (el. vytápění, ohřev TUV, praní, sušení, ...). Systém bude založen na platformě Raspberry Pi s využitím webového a databázového serveru, informace o výkonu FV výroby bude získávána z měniče a spouštění / vypínání spotřebičů (zařízení) bude řízeno reléovými výstupy, případně datovou komunikací. Hlavní částí práce bude algoritmus určení doby spuštění / vypnutí jednotlivých spotřebičů na základě požadavků obsluhy a ekonomické výhodnosti.

Rozsah pracovní zprávy: **40-60 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

VESELÝ, Jan. *Optimalizace nákladů na elektřinu pomocí IoT platformy*. Praha, 2020. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Jirí Šebek.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Roleček**
Katedra elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: **8. listopadu 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2023**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2022

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 3. 5. 2023

Bc. Ondřej Polanský

ANOTACE

Diplomová práce je věnována návrhu systému řízení elektrické spotřeby objektu s pomocí FVE. Pro účely této práce byl navržen a následně vytvořen řídicí systém zajišťující ekonomickou optimalizaci nákladů objektu za elektrickou energii. Pro nastavení parametrů algoritmu řízení a vizualizaci dat bylo vyvinuto webové rozhraní. Ukázka vzhledu a popis logiky tohoto rozhraní je demonstrován v praktické části diplomové práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotovoltaika, velkoobchodní cena elektřiny, ekonomická optimalizace, výdaje domácnosti

TITLE

BUILDING ELECTRICITY CONSUMPTION MANAGEMENT SYSTEM USING PV

ANNOTATION

Master's thesis is devoted to the system design of the facility's electrical consumption management system with the help of photovoltaics. For the purposes of this work, a control system was designed and subsequently created to ensure the economic optimization of the building's electricity costs. A web interface was developed for setting parameters of the control algorithm and data visualization. A demonstration of the appearance and description of the logic of this interface is demonstrated in the practical part of the thesis.

KEYWORDS

Photovoltaics, wholesale electricity price, economic optimization, household expenses

OBSAH

Seznam zkratk a značek	8
Seznam ilustrací	9
ÚVOD	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 Fotovoltaické elektrárny	12
1.1.1 Fotovoltaické panely	12
1.1.2 Měniče napětí	14
1.1.3 Uložiště energie.....	18
1.2 Topologie zapojení fve.....	19
1.2.1 Systémy připojené na distribuční síť.....	20
1.2.2 Ostrovní systémy.....	21
1.2.3 Hybridní systémy	22
1.3 Využití distribuční soustavy.....	24
1.3.1 Složení ceny elektřiny	24
1.3.2 Terminologie	26
1.3.3 Alternativní dodavatelé elektřiny.....	27
1.3.4 Operátor trhu s energiemi	30
1.3.5 Zelený bonus a výkupní cena.....	30
1.4 Problematika spínání zařízení	33
2 PRAKTICKÁ ČÁST.....	36
2.1 Web scraping.....	37
2.1.1 Získání dat z webu operátor trhu s elektřinou.....	37
2.1.2 Získání dat z webu výroby FVE	40
2.2 Webová stránka.....	41
2.2.1 Stránka grafů	43
2.2.2 Stránka nastavení	46
2.2.3 Princip funkce webové stránky	52
2.3 Algoritmus řízení	54
2.3.1 Prvotní nastavení.....	54
2.3.2 Algoritmus řízení primárních zařízení	55
2.3.3 Algoritmus řízení sekundárních zařízení	57
2.3.4 Algoritmus řízení připojení FVE k distribuční síti	58

2.3.5	Možná rozšíření.....	59
3	ZPROVOZNĚNÍ.....	60
3.1	Nastavení Raspberry Pi.....	60
3.1.1	Instalace LAMP	60
3.1.2	Konfigurace databázového systému.....	60
3.1.3	Nastavení pro funkci algoritmu řízení	61
3.1.4	Softwarový démon Cron	61
3.1.5	Nastavení pro funkci webové stránky	61
3.1.6	Nastavení Apache	62
3.1.7	Nastavení webového prohlížeče.....	62
3.2	Nastavení webové stránky	63
4	ZHODNOCENÍ	66
5	ZÁVĚR	67
	POUŽITÁ LITERATURA	69
	PŘÍLOHY	71

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AJAX	Asynchronous JavaScript and XML
Apache	Softwarový webový server
API	Application Programming Interface
Cron	Softwarový démon
DOM	Document Object Model
DPH	Daň z přidané hodnoty
ERÚ	Energetický regulační úřad
Flask	Webový mikro framework
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ID	Identifikátor
IoT	Internet of Things
Jinja2	Šablonovací systém
jQuery	Javascriptová knihovna
JSON	JavaScript Object Notation
LAMP	Softwarový balíček
MIT	Typ licence
Modbus	Komunikační protokol
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MySQL	Systém pro správu databází
OTE	Operátor trhu s elektřinou
PWM	Pulzně šířková modulace
SSH	Secure Shell
SW	Software
TUV	Teplá užitková voda
URL	Uniform Resource Locator

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – On-grid topologie připojení (Hyder, 2022)	20
Obr. 1.2 – Off-grid topologie připojení (Hyder, 2022).....	22
Obr. 1.3 – Topologie připojení hybridního systému (Hyder, 2022).....	23
Obr. 1.4 – Složení ceny elektřiny (KALKULÁTOR ERÚ ODHALUJE CENY DODAVATELŮ PRO ROK 2019, 2018)	25
Obr. 1.5 – Rozložení velkoobchodních cen (Gric, 2021)	28
Obr. 1.6 – Porovnání velkoobchodních a ceníkových cen	29
Obr. 2.1 – Ukázka webu OTE (Krátkodobé trhy, 2023).....	38
Obr. 2.2 – Ukázka zdrojového webu dat FVE a domácnosti (Přehled výroby, spotřeby a dodávky elektrické energie domu s malou FVE 5 kW, 2023).....	40
Obr. 2.3 – Implementace centrálního přístupového bodu na Raspberry Pi	42
Obr. 2.4 – Přihlašovací stránka webové aplikace	43
Obr. 2.5 – Hlavní strana webové aplikace	44
Obr. 2.6 – Hlavní strana v režimu týdenního zobrazení	45
Obr. 2.7 – Detailní legenda k bodu na grafu.....	45
Obr. 2.8 – Hlavní strana ve světlém režimu zobrazení	46
Obr. 2.9 – Strana nastavení webové aplikace	47
Obr. 2.10 – Detail nastavení primárních zařízení	48
Obr. 2.11 – Chybová notifikace	48
Obr. 2.12 – Detail nastavení sekundárních zařízení	49
Obr. 2.13 – Notifikace doporučení	50
Obr. 2.14 – Varovná notifikace	50
Obr. 2.15 – Hlavní stránka s notifikacemi	51
Obr. 2.16 – Vzhled webové stránky na mobilním telefonu	52
Obr. 2.17 – Výsledek příkazu pinout.....	55

ÚVOD

Fotovoltaické systémy mají čím dál větší roli v poli energetiky. Vzhledem k tomu že je vyvíjen tlak na přechod z fosilních paliv na obnovitelné zdroje, tak dochází ke stále většímu počtu instalací fotovoltaických systémů. Tyto systémy již zažily značný rozmach před několika lety, kdy bylo toto období nazýváno jako fotovoltaický boom, ale v tomto případě se jednalo převážně o tzv. solární parky stavěné na zemědělské půdě. V poslední době ovšem dochází k rozmachu jiného typu fotovoltaických systémů. Jedná se o rezidenční fotovoltaické elektrárny. K rozmachu těchto elektráren přispělo několik faktorů, ale jeden z těchto faktorů je vlastně neměnný od prvního uvedení rezidenčních fotovoltaických elektráren na trh, a to je snaha snížení nákladů domácností na elektrickou energii.

Většina rezidenčních fotovoltaických elektráren je využívána v režimu připojení na distribuční síť s nějakou formou výkupu vyrobené elektrické energie. Při připojení takových fotovoltaických elektráren je i v místě připojení k distribuční síti měněn stávající elektroměr za typ elektroměru s takzvaným průběhovým měřením. Tento typ elektroměru umí dodávat informace o denní i hodinové spotřebě. Právě z tohoto důvodu je takový elektroměr vhodný pro využití služeb dodavatelů, kteří prodávají elektřinu za hodinové velkoobchodní ceny.

Cílem práce je tedy vytvoření funkčního řídicího systému, který na základě dostupnosti a parametrů elektrických zdrojů obstará ekonomické řízení spotřebičů v domácnosti. Cílem je nejenom vytvořit řídicí algoritmus, ale také grafické rozhraní zprostředkované webovou stránkou. Na této webové stránce bude moci uživatel aplikace pohodlně nastavit parametry řízení a sledovat další energetické informace o domácnosti promítnuté do grafů.

1 TEORETICKÁ ČÁST

V poslední době je možné sledovat stále narůstající trend instalací rezidenčních fotovoltaických elektráren. Do budoucnosti lze předpokládat ještě větší rozšíření těchto technologií díky stále klesajícím nákladům na prvky fotovoltaických elektráren. Tyto elektrárny lze vidět jako budoucnost energetiky obnovitelných zdrojů, jelikož svou instalací neomezují využití zemědělské půdy a zároveň je těmito malými instalacemi vytvořena decentralizace. V případě takto decentralizovaných systémů výpadek jedné elektrárny z důvodu poruchy není velkým problémem.

S fotovoltaickými elektrárnami je spojeno ovšem i mnoho problémů. Do budoucnosti je nutné vyřešit akumulaci energie v masivním měřítku, která by dokázala pokrýt výkyvy fotovoltaických elektráren způsobených jejich závislostí na světelných podmínkách. V domácích podmínkách je ovšem možné i tuto problematiku částečně vyřešit využíváním lokálních akumulačních uložišť.

Právě s těmito výkyvy výroby rezidenčních fotovoltaických elektráren se potýkají ale i jejich majitelé. V klasických instalacích může docházet k prodeji elektřiny do distribuční sítě, ačkoliv by bylo možné tuto energii využít v domácnosti. Následně je domácností tato energie zpět nakupována a vyšší než prodejní cenu elektřiny z fotovoltaické elektrárny.

Z tohoto důvodu je vhodné aplikovat systém, který zařídí právě omezení takovýchto případů a umožní maximální možné využití vyrobené elektřiny. Vzhledem k tomu že k připojení k distribuční síti musí být majitelům rezidenčních FVE změněn i elektroměr za jiný typ, který má schopnost monitorovat hodinovou spotřebu, tak je možné využít tento elektroměr i v jiném smyslu. Tento elektroměr je podmínkou k využívání dodavatelů elektřiny, kteří umožňují nákup elektřiny za velkoobchodní burzovní ceny.

Na základě těchto provedených změn je možné provést optimalizaci ekonomické náročnosti domácnosti, vzhledem k burzovním cenám elektrické energie. Toho lze docílit selektivním spouštěním vybraných zařízení, která jsou spotřebiteli elektrické energie.

Cílem diplomové práce je tedy vytvoření systému pro řízení elektrické spotřeby objektu s využitím fotovoltaické elektrárny. Fotovoltaická elektrárna bude využívána pouze jako záložní zdroj k primárnímu zdroji, kterým je v tomto případě distribuční síť. Tento řídicí systém bude zajišťovat ovládání zvolených elektrických spotřebičů tak, aby došlo k co nejekonomičtějšimu využití těchto spotřebičů.

1.1 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

Fotovoltaické elektrárny jsou zařízení, která přeměňují energii ze slunečního záření na elektrickou energii. Tento typ výroby elektrické energie ze slunečního záření, a tedy obnovitelného zdroje nabývá v poslední době na stále větší popularitě. V předchozích letech byly fotovoltaické elektrárny primárně doménou tzv. solárních parků. Poslední dobou se ovšem přesouvá veškerá výstavba fotovoltaických elektráren na rezidenční budovy typu rodinných domů. Tento přesun otevírá mnoho možností, jak nakládat s takto vyrobenou elektrickou energií v prostředí domácnosti.

Fotovoltaické elektrárny také známé pod názvem FVE lze rozdělit na tři základní části. Toto dělení je provedeno čistě z hlediska hardwarových komponentů FVE. Podle tohoto dělení tedy můžeme FVE rozdělit na fotovoltaické panely, měnič napětí neboli střídač a případně uložistiště energie. Součástí diplomové práce tedy není například popis jednotlivých postupů a hardwaru pro ochrana FVE před bleskem.

1.1.1 Fotovoltaické panely

Jak bylo výše stanoveno, tak fotovoltaické elektrárny jsou zařízení zajišťující přeměnu sluneční energie na elektrickou energii. Ačkoliv je toto prohlášení pravdivé, tak o samotnou přeměnu sluneční energie na elektrickou energii se starají fotovoltaické panely.

Fotovoltaické panely jsou, jak již název napovídá panely obsahující velkoplošné polovodičové fotodiody, které jsou nazývány fotovoltaické články. Tyto fotovoltaické články jsou v těchto panelech obvykle spojeny v sérii pro zvýšení výstupního napětí. Díky tomu lze vytvářet fotovoltaická pole, také nazývaná stringy. Použitím těchto fotovoltaických panelů je tedy umožněna určitá modularita.

Fotovoltaické panely jako takové provádí pouze přeměnu sluneční energie na stejnosměrný proud. Aby tedy bylo možné na takto vyrobenou elektřinu provozovat běžná síťová zařízení, tak je potřebné provést přeměnu stejnosměrného proudu na proud střídavý o což se stará střídač neboli měnič napětí.

Fotovoltaické panely mohou být vyrobeny několika technologiemi. Mezi tyto nejnámější technologie patří monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstvé, také nazývané jako amorfní panely.

Monokrystalické fotovoltaické panely

Monokrystalické panely byly prvními komerčně dostupnými panely. Tyto panely nebo konkrétně články jsou vyrobeny z monokrystalického křemíku což je extrémně čistá forma křemíku. Blok tohoto extra čistého křemíku je mechanicky nařezán na tenké wafery, které jsou následně leštěny a dopovány pro vytvoření PN přechodu. Po nanesení antireflexního povlaku jsou na přední a zadní část článku připojeny vodivé kontakty. Těmito kontakty jsou poté jednotlivé články spojeny pro vytvoření panelu. Monokrystalické články jsou vysoce efektivní, ale jejich výroba je pomalá a nákladná. Tím pádem je jejich výrobní cena vyšší jak výrobní cena polykrystalických panelů (Types of photovoltaic cells).

Poslední dobou ovšem na trhu převládají tyto panely nad polykrystalickými panely právě z hlediska vyšší efektivity. Jako s každou technologií postupem času s většími objemy výroby dochází také k optimalizaci procesů, a tedy i snížení nákladů. Následkem čehož dochází k postupnému klesání cen těchto panelů.

Jak již bylo zmíněno, tak tyto panely dosahují vysoké efektivity, ale této efektivity je dosaženo při přímém osvětlení panelu. V případech, kdy dochází k zastínění panelu či je sluneční energie nepřímá dochází ke značnému snížení efektivity. Nepřímé osvětlení panelů může nastat například při východu a západu slunce případně když je dopadající světlo na panel rozptýlené což se stává v případech zatažené oblohy, mlhy atd. Pro efektivitu panelu je také důležité, pod jakým úhlem na něj sluneční záření dopadá. Z těchto důvodů jsou v praxi implementovány různé technologie, které v průběhu dne sledují pozici slunce a natáčejí tak panely jeho směrem.

Polykrystalické fotovoltaické panely

Polykrystalické fotovoltaické panely jsou také vyráběny z křemíku. Na rozdíl od monokrystalických článků ovšem nejsou vyráběny z uceleného krystalu křemíku, ale z mnoho menších krystalů, které se poté pouze roztaví a takto získaný blok křemíku se rozřeže stejným způsobem jako v případě monokrystalických článků. Výroba těchto článků je jednodušší, a tedy i levnější. Nevýhodou tohoto typu článku je ovšem efektivita, která je oproti monokrystalickým článkům nižší. Tyto články mají obvykle namodralou barvu. Lze tedy i na dálku snadno rozeznat polykrystalický panel od monokrystalického (Types of photovoltaic cells).

Tenkvrstvé fotovoltaické panely

Tenkvrstvé fotovoltaické panely, také někdy nazývané jako amorfnní panely jsou vyráběny nanesením tenké vrstvy křemíku na skleněný substrát. Díky tomu je možné vytvořit velice tenké a flexibilní solární články, které k výrobě článku využily méně jak 1 % křemíku, které by byl využito pro klasický krystalický článek. Díky tomuto snížení nákladů na vstupní suroviny a energie je možné tyto články, a tedy i panely vyrábět mnohem levněji než klasické krystalické panely. Ovšem právě díky tomuto nižšímu množství materiálu dochází také ke snížení účinnosti těchto panelů. Tyto panely dosahují zhruba poloviční efektivity vůči krystalickým panelů a jejich efektivita klesá o dalších 20 % během pár prvních měsíců po instalaci. Dá se říci, že určitou výhodou je prodej těchto panelů s deklarovaným výkonem sníženým právě o prvotní degradaci (Types of photovoltaic cells).

Výhodou těchto panelů je již zmíněná flexibilita ale hlavně jejich schopnost pracovat se slunečním zářením. Tyto panely nedosahují efektivity jako klasické krystalické panely a je tedy nutné pro stejný výkon použít dvojnásobné množství panelů, a tedy tím pádem i dvojnásobnou plochu. Výhodou je ovšem možnost umístění těchto panelů na často zastíněných plochách. Takovou plochou může být okolí komína, které v určitých podmínkách může více trpět na zastínění. V případě krystalických panelů tímto zastínění dochází k ovlivnění celého stringu. Amorfnní panely ovšem generují energii i při částečném zastínění a jsou schopné dodávat energii odpovídající nezastíněné ploše. Další výhodou je schopnost těchto panelů pracovat s rozptýleným světelným zářením efektivněji než krystalické panely. V těchto světelných podmínkách může výkon těchto panelů přesáhnout výkon fotovoltaického polo tvořeného krystalickými panely o stejném špičkovém výkonu.

1.1.2 Měníče napětí

Jak již bylo řečeno, tak výstupem fotovoltaických panelů je stejnosměrný proud. Pro využití v domácích podmínkách, případně pro dodávání elektřiny do distribuční soustavy je třeba tento proud transformovat na proud střídavý. Měníče napětí, také označované jako střídače tedy zajišťují tuto přeměnu ze stejnosměrného proudu na střídavý. Výstup těchto měničů ovšem může nabývat více tvarů. Hlavně u levnějších verzí měničů je vhodné zkontrolovat parametry výstupní křivky, která může být typu modifikované sinusové křivky. Tento typ měničů není možné připojit k distribuční síti a primárně je vhodné využívat tyto měniče pouze pro odporové zátěže.

Měniče se sinusovým výstupním napětím jsou nejrozšířenějšímu měniči. Tyto měniče pracují na principu variabilních PWM signálů, které jsou následně zpracovány filtračními členy, které se postarají o vyhlazení tohoto signálu, do podoby sinusoidy.

Měniče napětí je možné také dělit podle jejich konstrukce. Měniče můžeme tedy dělit na typy obsahující transformátor a také typy bez transformátoru. Ovšem toto dělení může být někdy matoucí vzhledem k tomu, že i zmíněné beztransformátorové měniče obsahují transformátor.

Měniče bez transformátoru

Dělení typů měničů vychází z umístění zmíněného transformátoru. Měniče s transformátorem obsahují tento transformátor v druhém stupni měniče na rozdíl od beztransformátorových měničů, které obsahují transformátor v prvním stupni měniče.

Ačkoliv je výstup těchto měničů stejný, tak je jejich princip funkce rozdílný. Měniče bez transformátoru v prvním stupni obsahují měnič stejnosměrného napětí, který je obvykle jak zvyšujícího, tak snižujícího typu. Právě v této části je využit transformátor, který díky vysokým spínacím frekvencím dosahuje malých rozměrů. Toto porovnání rozměrů je vztaženo vůči transformátorům používaným v druhém stupni transformátorových měničů. Výstupem tohoto stupně je vysoké stejnosměrné napětí v řádu stovek voltů. Následně je v druhém stupni měniče proveden převod tohoto vysokého stejnosměrného napětí na střídavé napětí.

Tyto měniče jsou nejpoužívanější typem měničů. Důvodů k jejich rozšíření je několik. Díky absenci velkého a těžkého transformátoru jsou tyto měniče lehčí, skladnější a umožňují tak levnější přepravu. Absence tohoto transformátoru se také přímo promítá do ceny, jelikož transformátory potřebných parametrů nejsou levné. Další výhodou tohoto typu měničů je i zvýšená efektivita oproti transformátorovým měničům. Ve výsledku jsou tedy tyto měniče cenově dostupnější a pro uživatele tedy lákavější. Ovšem tyto měniče nemají pouze samé výhody, ale i nevýhody. Mezi ně se řadí například nízká přetížitelnost těchto měničů což může být nevýhodou v aplikacích kde je nutné napájet zařízení typu induktivní zátěže. U určitých typů měničů může spuštění zařízení tohoto typu vést k přerušení dodávky elektřiny kvůli vybavení vnitřní ochrany měniče nebo přímo zničení tohoto měniče.

Měniče s transformátorem

Jak již bylo stanoveno měniče s transformátorem obsahují také dva stupně. V prvním stupni těchto měničů dochází k přeměně nízkého stejnosměrného napětí na nízké střídavé

napětí. Následně v druhém stupni dochází ke zvýšení tohoto napětí pomocí zvyšujícího transformátoru na síťovou hladinu střídavého napětí. Z tohoto důvodu je tedy nutné v konstrukci měniče využít velké transformátory schopné pracovat s velkými proudy.

Tyto typy měničů jsou sice dražší jak předchozí typ měničů, ale obvykle je tento typ měničů značně jednodušší na konstrukci a obecně se jedná o robustnější řešení. Z tohoto důvodu jsou tyto měniče i přes nižší efektivitu využívány v prémiových verzích měničů nebo v průmyslových aplikacích. Lze tedy argumentovat že vyšší pořizovací cena se vrátí díky větší spolehlivosti tohoto řešení.

Při výběru měniče je nutné brát v potaz nejenom zařízení, která budou tímto měničem napájena a podle toho tedy volit technologii měniče, ale je také nutné dávat pozor na konkrétní parametry měničů. Jedním z těchto parametrů je počet střídavých výstupů, a tedy fází měniče. Měniče je možné obvykle zakoupit ve verzi jednofázového nebo třífázového měniče. S tím se přímo pojí modularita těchto měničů, topologie jejich zapojení a případně jejich schopnost rozdělení výkonu.

Na trhu je možné zakoupit různá řešení měničů. Lze zakoupit modulární měniče, tak i typy měničů „vše v jednom“. Jsou tedy systémy, které mohou obsahovat modul sledovače maximálního výkonového bodu neboli MPPT, modul nabíječky baterií, modul střídače a případně i základní ochranné prvky ve formě jisticích prvků. Na trhu jsou ovšem i modulární systémy, které umožňují kombinaci všech těchto systémů na základě konkrétní fotovoltaické instalace. Výhodou těchto systémů je míra decentralizace, díky které je možné dosáhnout větší spolehlivosti zařízení a v případě, kdy selže jeden prvek instalace. Následně je tedy možné tento prvek, který selhal vyměnit za nový. Tím by z dlouhodobého hlediska mělo dojít i ke snížení nákladů, a prodloužení životnosti celé fotovoltaické elektrárny. Nevýhodou tohoto řešení je ovšem vyšší vstupní cena.

Řešení měničů napětí typu „vše v jednom“ mohou mít ale také určitou míru modularity. Některé tyto měniče podporují vzájemnou komunikaci, díky které je možné provozovat jednofázové měniče v třífázové konfiguraci, případně je možné jednotlivé měniče spojit paralelně. V této konfiguraci dochází k sečtení výkonů měničů a je tedy možné rozšířit stávající instalaci o další měnič, ale je nutné s touto možností počítat již ve stádiu návrhu a vybrat měnič, který tuto technologii podporuje.

Jako další problematickou část, zejména u třífázových měničů lze označit zdánlivě klamavé označení měničů výrobci. Někteří výrobci prodávají třífázové měniče o výkonu 10 kW ovšem maximální výkon do fáze takového měniče může být pouze 1/3 deklarovaného výkonu. Dalším parametrem, na který je třeba si dát pozor je typ měniče. Třífázové měniče mohou být

synchronního nebo asynchronního typu. Synchronní měniče rozdělí výkon fotovoltaického pole rovnoměrně mezi všechny fáze na rozdíl od asymetrických měničů, které tento výkon rozdělí podle potřeby. Může tedy nastat situace, kdy je výkon fotovoltaického pole dostatečný pro běh zařízení na jedné fázi. Ovšem díky symetrickému rozdělení tohoto výkonu mezi fáze dochází k situaci, kdy není možné toto zařízení provozovat, jelikož výkon na fázi je nedostatečný.

Ostatní typy měničů

Výše zmíněné typy měničů byly takzvané centralizované typy měničů. To znamená že celé fotovoltaické pole je připojeno na jeden centrální střídač. Nevýhodou tohoto řešení mohou být například instalace fotovoltaických panelů na členitých střeších, kde může docházet k rozdílnému osvětlení panelů. Jak již bylo v předchozím textu uvedeno, tak zastíněním jednoho panelu dochází k omezení výkonu celého fotovoltaického pole.

Tuto problematiku řeší technologie využívající centralizovaný měnič v kombinaci s optimalizátory výkonu. Každý jednotlivý panel je přímo připojen na vlastní optimalizátor výkonu a v případě zastínění jednoho panelu nedochází k ovlivnění celého fotovoltaického pole. Tyto optimalizátory výkonu obsahují obvody MPPT s jejich výstupem je stejnosměrný proud, který je dále zpracován centralizovaným měničem. Nevýhodou tohoto řešení je umístění těchto optimalizátorů obvykle přímo na rám panelu a zvýšení vstupních nákladů na FVE. Z důvodu umístění těchto optimalizátorů je problematické provést opravu v případě selhání. Pravděpodobnost selhání tohoto typu měniče je znásobena umístěním na střešní konstrukci, kde panují zhoršené podmínky jako vysoká vlhkost a teplota.

Dalším typem měničů jsou takzvané mikroměniče. Tyto měniče jsou značně podobné optimalizátorům výkonu. Mikroměniče jsou stejně jako optimalizátory výkonu připojovány přímo k jednotlivým panelům a starají se tedy o zisk energie z konkrétního panelu. Opět tedy nedochází k ovlivnění celého fotovoltaického pole částečným zastíněním. Na rozdíl od optimalizátorů výkonu je ovšem výstupem těchto mikroměničů střídavý proud. Není tedy nutné děle instalovat centralizovaný měnič. Toto řešení má tedy značnou redundanci, jelikož neobsahuje centrální měnič, který v by případě selhání učinil celou FVE nefunkční. V případě selhání mikroměniče dochází ke snížení výkonu fotovoltaického pole pouze o výkon jednoho fotovoltaického panelu. Další výhodou tohoto řešení je vyšší rozšiřitelnost instalace, jelikož nedochází k omezení z hlediska centrálního měniče. Nevýhody tohoto řešení jsou shodné s nevýhodami optimalizátorů výkonu hlavně z důvodu stejného umístění.

1.1.3 Uložiště energie

Fotovoltaické systémy stále častěji využívají formu nějakého uložení energie. Jako uložení energie lze chápat všechny různé způsoby uložení energie. Může se tedy jednat o uložení energie ve formě tepla do ohřáté vody v akumulaci nádrži nebo uložení energie do akumulátorového systému. Pro účely této diplomové práce bude zmíněno pouze ukládání energie do elektrických akumulátorů. Typů různých elektrických akumulátorů je nespočetné množství a zdá se, že každý měsíc je zveřejněna nová revoluční technologie. Bohužel jako ve většině případů jsou tato tvrzení značně nadsazená a je potřebné se na vzniklé technologie dívat jako na celek a nehodnotit pouze jeden jejich parametr. Je nutné hodnotit počet cyklů, kterých může akumulátor dosáhnout, kapacitu vztahovanou k hmotnosti, cenu vstupních materiálů, a tedy celkovou výslednou cenu takové baterie, životnost materiálu atd. Proto zde budou zmíněny pouze tři nejpoužívanější typy elektrických akumulátorů využívaných ve fotovoltaických systémech.

Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou klasickým typem akumulátorů, který každý zná ve formě autobaterií. Na rozdíl od dalších zmíněných typů akumulátorů nedosahují takových hodnot hloubky vybití. Vzhledem k tomu že tento typ akumulátoru obsahuje tekutý elektrolyt, tak je nutné tyto akumulátory pravidelně kontrolovat a případně doplňovat tento elektrolyt. Pro doplňování elektrolytu existují automatizované systémy, ovšem poté dochází k navýšení nákladů, a tedy snížení rozdílu pořizovací ceny mezi olověnými akumulátory a nějakým typem lithiových akumulátorů. V určitých případech může také docházet k uvolňování vodíku z baterie a je tedy nutné toto riziko brát v potaz. Pro snížení náročnosti údržby je možné využít olověné akumulátory s gelovým elektrolytem, které jsou bezúdržbové, ale v tomto případě opět dochází k nárůstu vstupních parametrů (LiFePO₄ vs. Lead-Acid Batteries: Which is Best for Solar Power Systems?, 2023).

Ve fotovoltaických systémech není možné využít klasické autobaterie, které jsou konstruovány pro dodání velkých proudů, ale hluboké vybití může tyto akumulátory nenávratně poškodit. Proto musí být ve fotovoltaických systémech použity takzvané trakční baterie, které jsou konstruovány pro dlouhodobý odběr energie a velkou hloubku vybití. Tyto specializované baterie znovu zvyšují cenu bateriového uložení. Dalším problémem je omezená životnost těchto akumulátorů, která se pohybuje do pěti let. Primární výhodou těchto akumulátorů je tedy jejich pořizovací cena a dostupnost.

Lithium-iontové akumulátory

Lithium-iontové akumulátory nazývané také zkráceně jako Li-Ion jsou typem akumulátorů založených na lithiu stejně jako lithium-železo-fosfátové akumulátory. Tyto akumulátory jsou v mnoha pohledech podobné LiFePO₄ akumulátorům, ale překonávají je v energetické hustotě, která patří k nejvyšším mezi moderními masivně rozšířenými akumulátory (Murden, 2022).

Životnost těchto akumulátorů v cyklech se pohybuje v rozmezí 300-500 cyklů a nedosahuje tedy takových hodnot jako LiFePO₄ akumulátory. V hloubce vybití poráží olověné akumulátory, ale lithium-železo-fosfátové akumulátory dosahují ještě větších hodnot hloubky vybití. Hodnota samovybití je udávána okolo 5 % za měsíc. Další nevýhodou i snížená bezpečnost tohoto typu akumulátoru vůči LiFePO₄. Cena těchto akumulátorů bývá také vyšší jak cena lithium-železo-fosfátových akumulátorů, jelikož je k výrobě těchto akumulátorů využíván kobalt. Dá se tedy říci že využití Li-Ion akumulátorů dává smysl pouze u přenosných systémů, kde lze benefitovat z vyšší energetické hustoty, a tedy i nižších rozměrů a váhy (Murden, 2022).

Lithium-železo-fosfátové akumulátory

Lithium-železo-fosfátový akumulátor, nejčastěji označovaný svou zkratkou jako LiFePO₄ je typ akumulátoru, který svou energetickou hustotou přesahuje olověné akumulátory při zlomku jejich váhy. Energetická hustota je ovšem nižší jak u lithium-iontových akumulátorů. Na druhou stranu jsou vůči lithium-iontovým akumulátorům tyto akumulátory mnohem bezpečnější a schopné dodávat vysoký špičkový proud. Další výhodou těchto akumulátorů je i nízká hodnota samovybití, která se pohybuje okolo hodnoty menší jak 3 % za měsíc (Murden, 2022).

Tento typ akumulátoru patří mezi nejpoužívanější typ v domácích instalacích. Důvodů k rozšíření této technologie je několik. Jedná se o již zmíněnou bezpečnost a energetickou hustotu, ale také bezúdržbovost, dlouhou životnost, množství cyklů, které se pohybuje v rozmezí 3000–6000 cyklů, hloubku vybití a vyšší ekologičnost vůči olověným akumulátorům (Murden, 2022).

1.2 TOPOLOGIE ZAPOJENÍ FVE

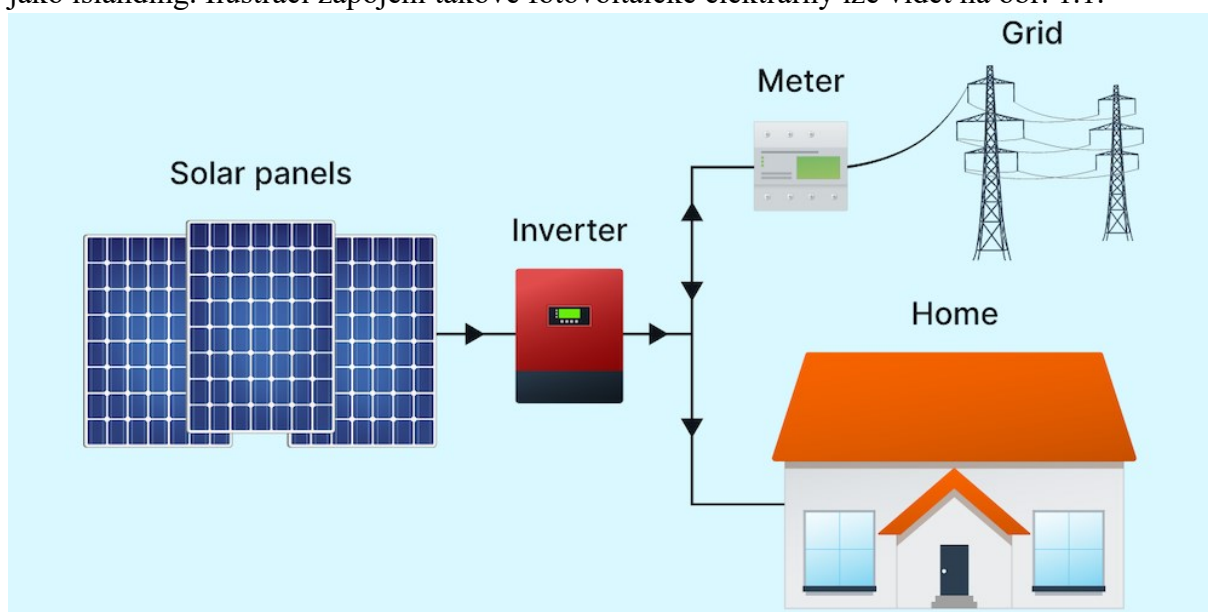
Výše byly zmíněny druhy různých technologií fotovoltaických střídačů. Tyto střídače jsou vyráběny nejenom v různých provedeních z hlediska jejich technologie, ale také pro různé

topologie zapojení. Tyto topologie v zásadě lze rozdělit do tří skupin. Jedná se o fotovoltaické systémy připojené k distribuční síti, ostrovní systémy a hybridní systémy.

1.2.1 Systémy připojené na distribuční síť

Systémy připojené na distribuční síť jsou někdy také nazývány jako on-grid nebo grid-tie systémy. Tento systém byl vybrán jako vzorový systém používaný v této diplomové práci. Tyto systémy jsou výhradně instalovány na místech s přístupem k distribuční soustavě. Jedná se o nejrozšířenější topologii zapojení FVE hned po hybridních systémech. Jak již bylo řečeno, tyto systémy využívají připojení na distribuční soustavu. Jejich závislost na distribuční soustavě a absence bateriového uložení může být ovšem jejich největší slabinou.

V případě výpadku distribuční sítě není většina těchto měničů schopná pracovat z bezpečnostních důvodů. K výpadkům sítě obvykle dochází při poškození vedení a je tedy důležité, aby toto vedení při opravách bylo bez napětí. V případě, že by měnič i přes poruchu dodával energii do distribuční sítě, tak by mohlo dojít k elektrickému úrazu pracovníka pracujícího na opravě vedení distribuční soustavy. Dalším důvodem může být absence synchronizačního signálu. Aby mohly měniče dodávat elektřinu do distribuční soustavy, tak musí svůj výstup synchronizovat s fází, na kterou jsou připojené. Ve chvíli, kdy dojde k poruše distribuční soustavy, dojde i k ztrátě tohoto synchronizačního signálu. Existují ovšem i měniče, které při výpadku distribuční sítě zajistí svou izolaci od této sítě a umožní tak omezenou funkci systému přímo závislou na světelných podmínkách. Tato funkce měniče je obvykle nazývána jako islanding. Ilustraci zapojení takové fotovoltaické elektrárny lze vidět na obr. 1.1.



Obr. 1.1 – On-grid topologie připojení (Hyder, 2022)

Vyrobena energie je v těchto systémech primárně spotřebováána v režimu vlastní spotřeby. To znamená, že všechna vyrobená energie je za pomoci FVE je přednostně spotřebováána domácími spotřebiči a v případě kdy nedojde ke spotřebování veškeré elektrické energie v domácnosti jsou tyto přebytky prodávány do distribuční sítě.

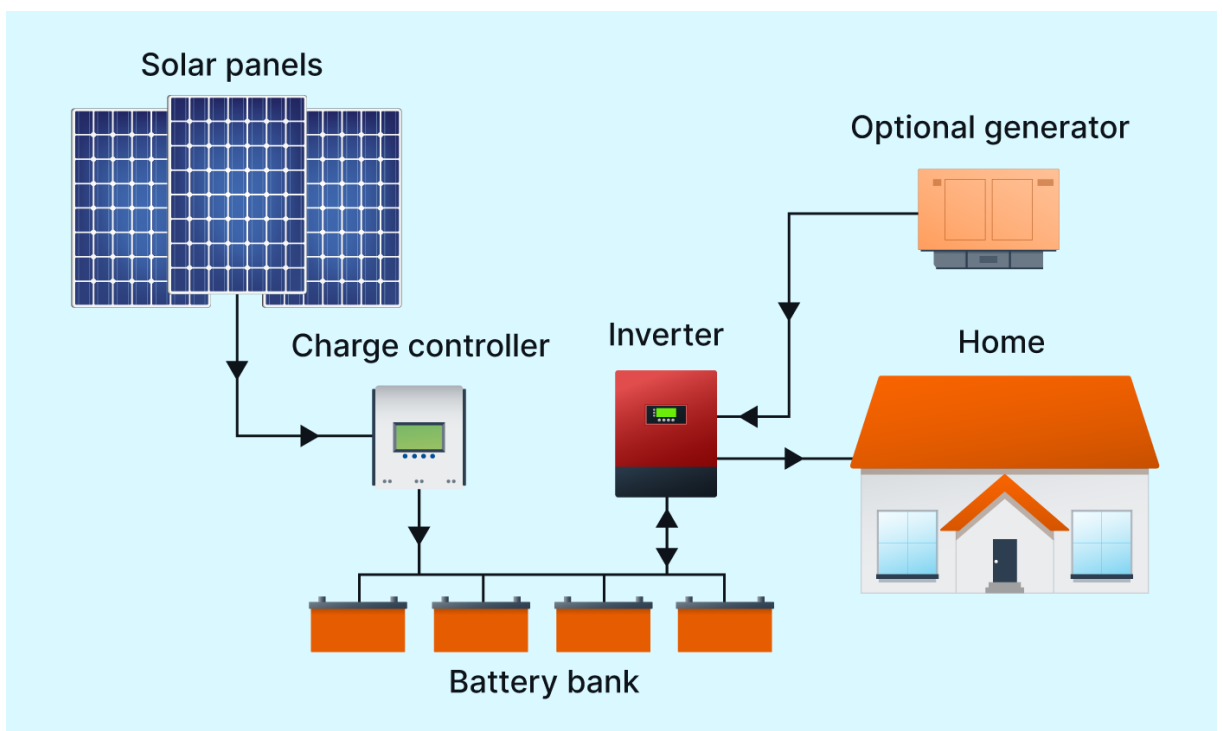
Absence bateriového uložisti tohoto systému lze chápat jako nevýhodu i výhodu. V případě poruchy distribuční sítě je uživatel FVE zcela závislý na světelných podmínkách a jakýkoliv přechodný jev ve formě mraku může přerušit dodávku energie. Absenci baterií lze ale chápat i jako výhodu ze strany pořizovací ceny, kterou bateriové uložisti značně zvyšuje. Pro tento systém je ovšem nutné si zajisti smlouvu o dodávce vyrobené elektřiny do distribuční soustavy. V případě připojení této FVE do distribuční soustavy bez této smlouvy může dojít k udělení vysoké pokuty.

1.2.2 Ostrovní systémy

Tyto systémy jsou často také nazývány jako off-grid systémy a svoje využití nachází primárně v lokalitách bez přístupu k distribuční soustavě. Výjimkou ovšem není ani realizace těchto systémů v místech s přístupem k distribuční soustavě. Jako určitý typ ostrovního systému lze chápat systémy fungující v letním a zimním režimu, kdy v letních měsících může určité množství spotřebičů fungovat čistě na rozvodu elektrické energie z ostrovního měniče napětí, ale v zimních měsících, kdy FVE nemá dostatečný výkon jsou tyto obvody manuálně přepojeny na distribuční soustavu.

Ostrovní systémy tedy nejsou připojeny na distribuční soustavu a potřebují uložisti energie, které nejčastěji nabývá formu nějakého typu akumulátorového uložisti. V případě systémů, které jsou kompletně odloučeny od distribuční soustavy a nejedná se o případ popsáný výše s letním a zimním režimem provozu je nutné, aby byly tyto systémy dostatečně dimenzovány. Tento systém musí být schopný pokrýt spotřebu domácnosti i v zimních měsících a je tedy nutné tento na tuto skutečnost systém dimenzovat. Z tohoto důvodu mají tyto systémy obvykle větší akumulátorové uložisti než hybridní systémy.

Potřeba velkého akumulátorového uložení je právě největším problémem těchto systémů. Cena samotných baterií značně zvyšuje pořizovací náklady těchto systémů a jedná se obvykle o nejdražší variantu, respektive topologii zapojení FVE. Tyto systémy ovšem obvykle obsahují i záložní generátor, který se stará o dobíjení baterií v podmínkách, kdy není možné pokrýt spotřebu domácnosti pouze fotovoltaickými panely. Nejčastěji je jako tento záložní generátor využíván motorgenerátor se spalovacím motorem. Měníče napětí pro tyto systémy jsou obvykle těmi nejlevnějšími na trhu, ale ve výsledné ceně systému hraje největší roli bateriové uložení. Ukázka topologie zapojení tohoto systému je na obr. 1.2.



Obr. 1.2 – Off-grid topologie připojení (Hyder, 2022)

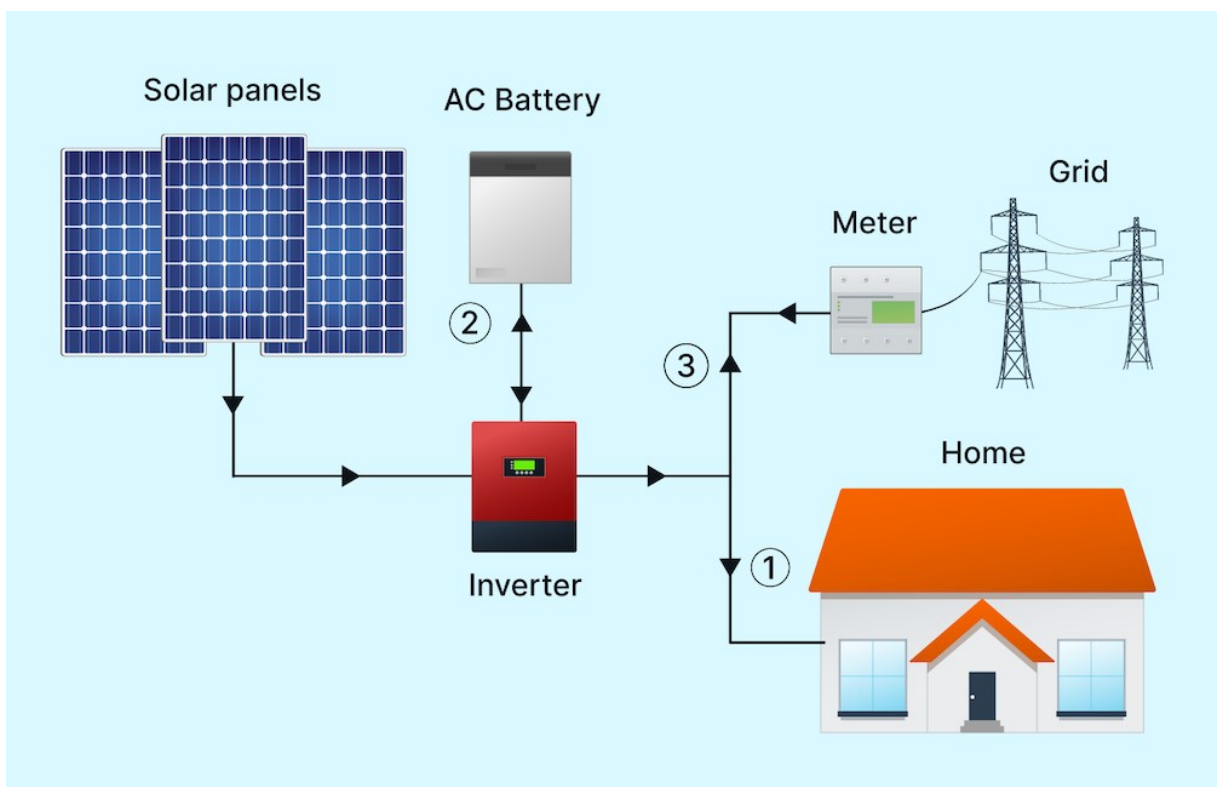
1.2.3 Hybridní systémy

Hybridní systémy jsou, jak již název napovídá určitým hybridem. Jedná se o hybridní systém mezi on-grid a off-grid systémem. Tento systém dokáže současně využívat elektřinu vyrobenou fotovoltaickým polem, elektřinu uloženou v akumulátorovém uložení a elektřinu z distribuční soustavy. Díky tomu nedochází k žádnému omezení domácnosti. Tyto systémy obvykle pracují v režimu, kdy jako první dochází k dobití baterií pomocí elektřiny generované fotovoltaickým polem, následně dochází k pokrytí spotřeby domácnosti a v případě, kdy dochází k vytvoření přebytků jsou tyto přebytky prodávány do distribuční sítě. To znamená, že tento systém je možné využít stejně jako ostrovní systém k akumulaci energie do akumulátorů

ze kterých může domácnost fungovat následující noc, případně i další den. V případě, kdy není fotovoltaickým polem generován dostatečný výkon k pokrytí spotřeby domácnosti a bateriové uložení je prázdné, tak je tento rozdíl ve spotřebě doplněn elektrinou z distribuční sítě.

Tento systém se nabízí k využití v systémech připojených k distribuční soustavě bez paušálních tarifů. Konkrétně může být akumulátorové uložení nabíjeno v hodinách, které jsou mimo špičky distribuční soustavy a lze tak využít levnější elektrické energie. Tato energie může být následující den využita pro běh domácnosti.

Výhodou tohoto systému je právě kombinace obou předešlých topologií. Akumulátorové uložení lze využívat k uložení energie nad rámec spotřeby domácnosti, která by byla jinak prodávána jako přebytky do distribuční sítě. V případě výpadku této sítě může domácnost dále fungovat bez ohledu na světelné podmínky do doby, než dojde k vyčerpání bateriového uložení. Záleží tedy také na konfiguraci měniče napětí, který obvykle obsahuje dva výstupy. Jeden nezálohovaný a druhý zálohovaný. Nezálohovaný výstup není při poruše dodávky elektřiny zálohovaný bateriovým uložením na rozdíl od zálohovaného výstupu. Problém může nastat z hlediska proudového omezení tohoto zálohovaného výstupu. Tento problém je ale možný vyřešit paralelním zapojením měničů. Další nevýhodou je cenová náročnost. Měniče tohoto typu jsou obvykle nejdražším typem měničů, ale v závislosti na velikosti akumulátorového systému může být výsledná cena stejně jako v případě ostrovních



Obr. 1.3 – Topologie připojení hybridního systému (Hyder, 2022)

systemů tvořena hlavně náklady na akumulátorové uložení. V tomto případě ale nemusí mít bateriové uložení takovou kapacitu. Stejně jako pro on-grid topologii je nutné získat souhlas pro připojení do distribuční sítě. Topologie zapojení takového systému je na obr. 1.3.

1.3 VYUŽITÍ DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

Vzhledem k tomu že pro účely této práce je chápána distribuční soustava jako primární zdroj elektrické energie a FVE pouze jako zdroj doplňkový, tak je potřebné stanovit jakým způsobem je vlastně stanovována cena, kterou uživatel za elektřinu zaplatí. Dále tedy bude rozebráno, z jakých prvků se skládá cena elektřiny.

1.3.1 Složení ceny elektřiny

Výsledná cena elektrické energie je vypočítávána z mnoha prvků. Tyto prvky tvořící konečnou cenu je ale možné rozdělit do tří kategorií. Jedná se o neregulované složky elektřiny, regulované složky elektřiny a daňové složky. Někdy je možné se také setkat s dělením ve kterém jsou neregulované složky označovány jako platby dodavateli elektřiny, regulované složky jako platby distributorovi a státu a daňové složky jako daň z přidané hodnoty a daň z elektřiny.

Neregulované složky ceny elektřiny

Tato položka je složena ze stálého měsíčního poplatku za dodávku elektřiny a ceny za vlastní odebrané množství elektřiny. Cena odebrané elektřiny je závislá na zvoleném tarifu. Co to je tarif bude probráno v dalším textu, ale lze zde uvést že je možné využívat jednotarifní či dvoutarifní sazby. V případě jednotarifní sazby je cena neustále stejná, zatímco v případě dvoutarifní sazby je uplatňován tzv. nízký a vysoký tarif s rozdílnými cenami za odebranou elektřinu. Jak cenu měsíčního poplatku, tak i cenu za odebranou jednotku elektřiny stanovuje dodavatel, který stanovuje tyto ceny na základě jím nakoupené energie na energetické burze. Volbou dodavatele lze tedy ovlivnit cenu elektřiny (Elektřina - cena elektřiny 2023, 2023).

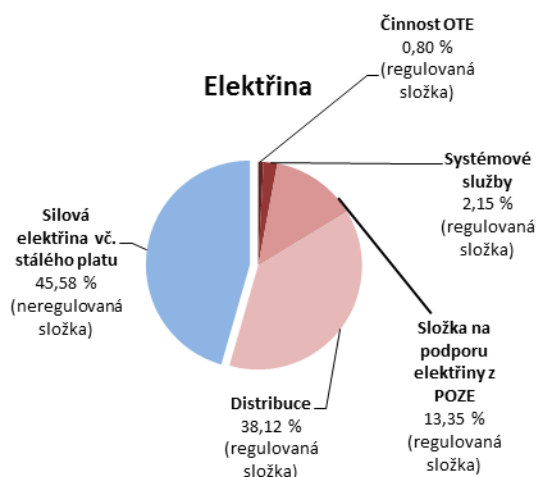
Regulované složky ceny elektřiny

Regulované složky ceny elektřiny jsou platby, které jsou placeny distributorovi elektřiny, operátorovi trhu a státu. Obecně lze tedy říci že se jedná o poplatky spojené

s distribucí a dopravou elektřiny. Tyto složky nelze ovlivnit volbou dodavatele vzhledem k jejich povaze. Mezi tyto služby patří:

- cena za distribuované množství elektřiny
- cena za dopravu elektřiny a údržbu elektrické sítě
- poplatek za systémové služby
- poplatek za rezervovaný příkon
- příspěvek na podporované zdroje a výkup elektřiny OZE
- poplatek za služby operátora trhu s elektřinou (Elektřina - cena elektřiny 2023, 2023).

Pro představu je uveden koláčový graf znázorňující skladbu ceny elektřiny na obr. 1.4. Z tohoto grafu lze vyčíst že regulovaná složka elektřiny tvoří téměř 55 % celkové ceny elektřiny.



Obr. 1.4 – Složení ceny elektřiny (KALKULÁTOR ERÚ ODHALUJE CENY DODAVATELŮ PRO ROK 2019, 2018)

Daně

Mezi položky daní patří daň z elektřiny, která je jednotná pro všechny odběratele a položka daně z přidané hodnoty vzhledem k tomu, že elektřina podléhá DPH. Od DPH je osvobozena ekologicky šetrná elektřina. Toto osvobození je zmíněno dále v textu popisující zelený bonus a výkupní cenu (Elektřina - cena elektřiny 2023, 2023).

1.3.2 Terminologie

Pro účely porozumění problematiky je nutné vysvětlit termíny využívané ve spojení s určováním ceny elektrické energie. V této části tedy dojde k vysvětlení, kdo je dodavatel, distributor, co je to tarif, sazba a co je to platba za rezervovaný výkon.

Distributor

Distributorem elektrické energie je společnost vlastnící a provádějící údržbu elektrického vedení. Tato společnost je zodpovědná za funkčnost a přenos elektrické energie ke koncovému zákazníkovi. Poplatky této společnosti jsou součástí regulované složky ceny elektřiny (Elektřina - cena elektřiny 2023, 2023).

Dodavatel

Dodavatel je společnost někdy také obchodník, který se zabývá nákupem elektřiny na energetické burze za účelem předprodeje koncovým zákazníkům. Dodavatele elektrické energie si sám svobodně vybírá zákazník (Elektřina - cena elektřiny 2023, 2023).

Sazba

Distribuční sazba, ve které je elektřina odebírána vyjadřuje spotřebu elektřiny, respektive její rozmezí. Tato sazba je určena v závislosti na spotřebě elektrické energie domácnosti a lze ji odhadnout podle hodnoty hlavního jističe, kterým je určena maximální spotřeba domácnosti. Z hlediska sazby je tedy rozdíl mezi domácností využívající elektřinu pouze pro běžné spotřebiče a domácností, která využívá elektřinu k vytápění tepelným čerpadlem. Tato domácnost bude zákonitě zařazena do vyšší sazbové kategorie. Distribuční sazby lze dále dělit na jednotarifní a dvoutarifní sazby. Jednoduše lze říci že jednotarifní sazby se týkají pouze domácností s nižšími a středními spotřebami, zatímco dvoutarifní sazby využívají domácnosti s velkou spotřebou elektrické energie. Tato spotřeba je obvykle způsobena tím, že tyto domácnosti využívají elektrickou energii k vytápění či ohřevu vody (Elektřina - cena elektřiny 2023, 2023).

Tarif

Jak již bylo zmíněno, tak domácnosti mohou fungovat ve dvou režimech, a to v jednotarifním nebo dvoutarifním režimu.

Jednotarifní sazby mají totožnou cenu silové elektřiny v průběhu celého dne a jedná se o nejvíce rozšířený typ sazby v domácnostech s nízkou a střední spotřebou. Jedná se tedy o domácnosti, které nevyužívají elektrickou energii k ohřevu teplé vody nebo vytápění.

Dvoutarifní sazby využívají zpravidla domácnosti s vysokou energetickou náročností. Tyto sazby fungují ve dvou režimech a to tzv. nízkém a vysokém tarifu. Dvoutarifních sazeb je vícero druhů a každá dvoutarifní sazba může být u jiného výrobce jinak nastavena. Principiálně je ale uživateli domácnosti prodávána elektřina v nízkém tarifu v dobách, kdy je burzovní cena elektřiny nižší, zatímco ve spotřebních špičkách je elektřina prodávána ve vysokém tarifu. Nižší cena elektřiny v nízkém tarifu je kompenzována vyšší cenou ve vysokém tarifu (Elektřina - cena elektřiny 2023, 2023).

Rezervovaný výkon

Platba za rezervovaný výkon se přímo odvíjí od hodnoty hlavního jističe domácnosti. Tento jistič určuje maximální možný výkon, respektive příkon domácnosti. Pro hodnotu hlavního jističe platí přímá úměra, a tedy s rostoucí hodnotou hlavního jističe dochází ke zvýšení měsíčního poplatku za rezervovaný příkon (Elektřina - cena elektřiny 2023, 2023).

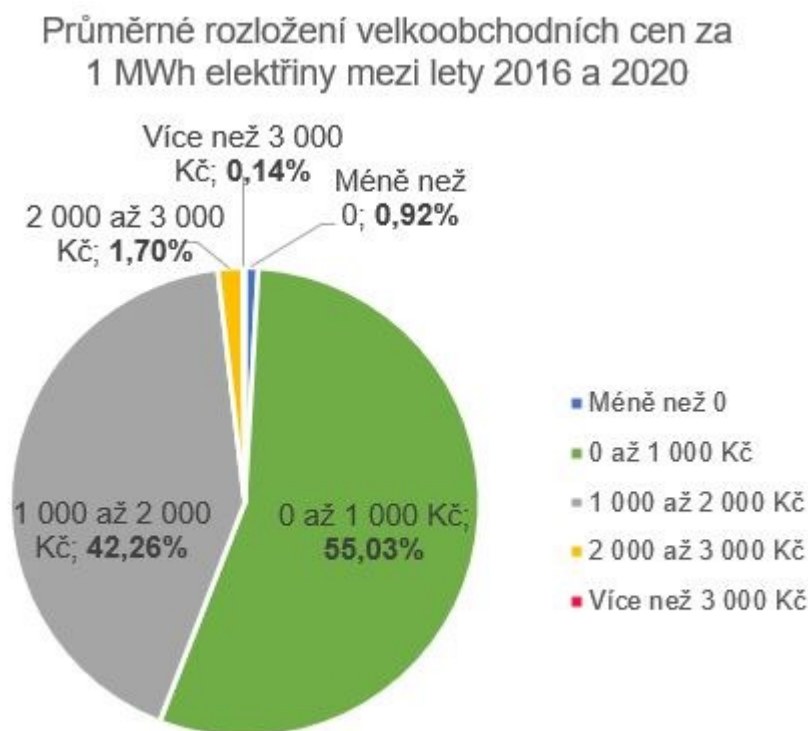
1.3.3 Alternativní dodavatelé elektřiny

Většina spotřebitelů elektrické energie v prostředí domácností využívá služeb klasických dodavatelů elektřiny. Tito dodavatelé se mohou lišit svými poplatky a podmínkami ale z principu všichni poskytují stejné služby. Obvykle tedy tito dodavatelé poskytují elektřinu v rámci specifikovaných sazeb. Tyto sazby se, jak bylo zmíněno odvíjí od vlastní spotřeby domácnosti a jejich součástí může být jednotarifní či dvoutarifní režim. Opět se i v tomto případě nejedná o zásadní rozdíly mezi jednotlivými dodavateli.

Koncoví zákazníci, jak již bylo zmíněno mají volnost v tom, jakého dodavatele energií si zvolí. Ačkoliv je tedy na trhu značné množství klasických dodavatelů energií, tak si zákazníci mohou zvolit i mezi alternativnímu poskytovateli energií. Tito alternativní dodavatelé energií se zabývají prodejem energií za velkoobchodní ceny. Někdy je možné se také setkat s termínem spotové nebo burzovní ceny. Tento formát prodeje elektřiny není žádnou novinkou, ale dříve k této formě nákupu energií měli přístup pouze velkoobchodní a případně firmy. Vzhledem k modernizaci v energetice ale bylo možné zajisti tyto služby i pro domácnosti (Gric, 2021).

Největší překážka pro přechod domácností z klasického ceníkového režimu na burzovní ceny je kolísání cen. Vzhledem k tomu že se jedná o burzovní ceny, tak nemá dodavatel energií

stanovený žádný cenový strop, který by omezoval cenu těchto energií. Ačkoliv v tuto chvíli byl zaveden cenový strop, tak nelze předpokládat, že bude dále prodloužen. Kolísání burzovních cen elektřiny je přirozeným jevem, který je způsoben závislostí na nabídce a poptávce. Krátkodobě tedy může docházet k výkyvům nad hladiny ceníků klasických distributorů, ale průměrně jsou spotové ceny výhodnější než ceníkové tarify. Pro představu je na obr. 1.5. vyobrazen graf znázorňující průměrné rozložení velkoobchodních cen za 1 MWh v rozmezí let 2016 až 2020 (Gric, 2021).

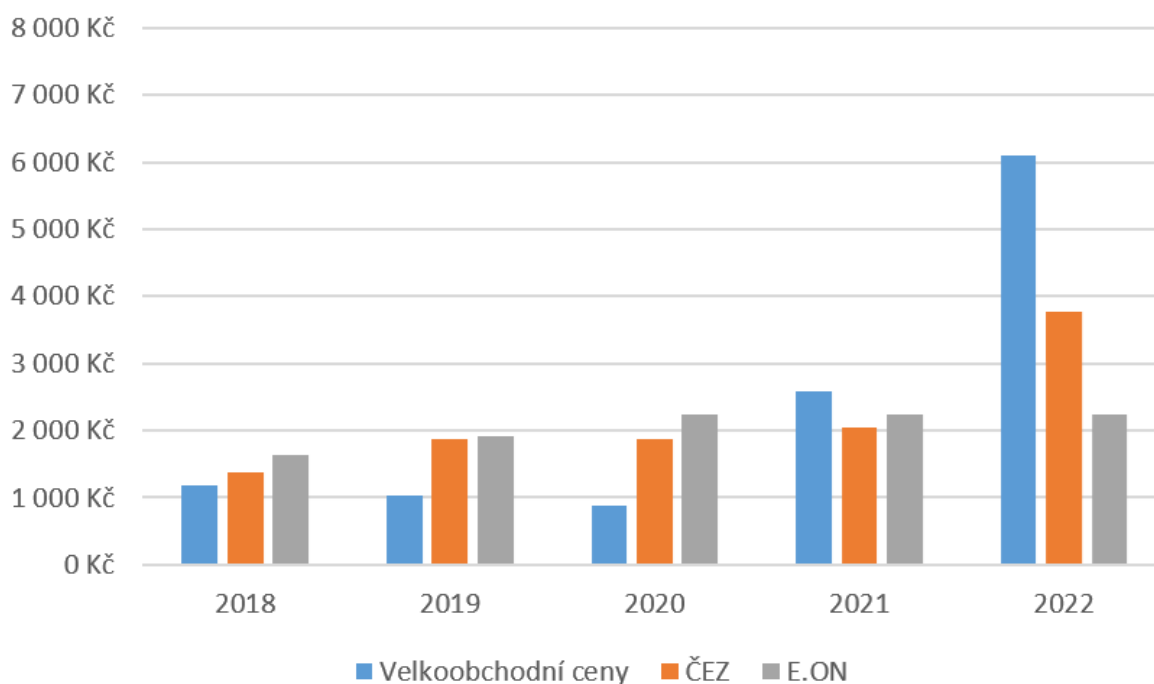


Obr. 1.5 – Rozložení velkoobchodních cen (Gric, 2021)

V datech mezi lety 2015 až 2020 lze nalézt situace, ve kterých došlo k nárůstu ceny nad hranici tři tisíc korun za megawatthodinu, ale jednalo se pouze o výjimečný stav. Například mezi lety 2016 až 2019 k tomuto stavu nedošlo ani jednou. V roce 2020 byla nad touto hladinou prodávána elektřina pouze tři hodiny v celém roce. V případě využití účtování elektrické energie na základě spotových cen může také docházet i ke značně nevídanému jevu. V tomto případě může dojít ke stavu, kdy je koncovému zákazníkovi placeno za spotřebu energie. Obvykle se nejedná o vysoké částky, ale přesto se jedná o značný bonus vůči klasickým ceníkovým tarifům. V průměru dochází k prodeji elektřiny za záporné ceny ročně okolo 81 hodin (Gric, 2021).

Jak lze z výše umístěného grafu vyčíst, tak se nejčastěji cena elektřiny za burzovní ceny pohybovala v rozmezí 0 až 1000 korun za megawatthodinu. Do dvou tisíc korun se cena

elektřiny pohybovala v 42 % případů. Pro představu je možné ze spotových cen vytvořit průměrnou cenu za MWh a tu porovnat s ceníkovými tarify klasických dodavatelů elektrické energie (Gric, 2021). Toto porovnání je na obr. 1.6.



Obr. 1.6 – Porovnání velkoobchodních a ceníkových cen

Na základě tohoto porovnání lze usoudit, že při využívání služeb dodavatelů prodávajících elektrickou energii za spotové ceny bylo do roku 2020 možné ušetřit v rozmezí 5 až 56 % celkových nákladů. V průměru bylo tedy možné uspořit až 30 %. Tento systém účtování se tedy přímo nabízí k využití v domácnostech, které aplikují nějakou formu cenové optimalizace. V tomto smyslu je cenová optimalizace myšlena jako optimalizace spotřeby domácnosti v návaznosti na burzovní ceny tak aby došlo ke snížení celkových nákladů této domácnosti za spotřebovanou elektrickou energii.

Problém ovšem nastal v roce 2021, kdy díky vnějším vlivům došlo k růstu cen elektrické energie a tento trend se v roce 2022 stal ještě horším. Lze tedy jednoznačně říci že systém nákupu elektrické energie za spotové ceny byl výhodný do roku 2020, ale poté by již nebylo ekonomické využívat tento systém v klasické domácnosti. Ovšem tento systém účtování nelze takto přímo porovnávat. Pro porovnání s větší vypovídající hodnotou by bylo potřebné provést komplexnější analýzu ideálně s reálnými daty, jelikož výsledky silně závisí na dobách, kdy je elektrina spotřebovávána. Dalším aspektem je právě využití FVE, která dokáže v dobách, kdy má domácnost obvykle největší spotřebu doplnit potřebnou elektrickou energii. Případně tuto

energii i prodávat do distribuční sítě, a tak částečně vyvážit vyšší průměrnou cenu elektrické energie za velkoobchodní ceny.

Tento systém účtování byl tedy zvolen pro diplomovou práci a je zásadním prvkem navrhovaného systému pro zvýšení ekonomičnosti domácnosti. Ve spojení s FVE je dále možné využívat tento systém pro rozhodnutí o prodeji přebytků do distribuční sítě s největší možnou mírou zisku. V tomto režimu se také nabízí možnost využití hybridního typu FVE. S tímto typem FVE lze provádět dobíjení akumulátorů nejenom samotnou FVE ale například v zimním období tyto akumulátory dobíjet z distribuční sítě mimo špičkové hodiny. V těchto hodinách je totiž elektřina zpravidla nejlevnější. V tomto případě je tedy možné elektřinu levněji nakoupit a později jí spotřebovat ve chvílích, když je momentální hodinová cena nad přijatelnou hladinou ceny nastavené spotřebitelem.

1.3.4 Operátor trhu s energiemi

Aby uživatel, případně algoritmus řízení mohl provádět rozhodnutí o tom, kdy je neekonomičtější spouštět zařízení a využívat tak nižších burzovních cen je třeba tyto ceny znát. Tyto ceny jsou veřejně dostupné na stránkách Operátora trhu s energiemi ve zkratce také nazývaný pouze jako OTE.

Operátor trhu s energiemi je akciová společnost vlastněná státem, která zajišťuje fungování trhu s energiemi, a tedy elektřinou a plynem. Hlavní činností OTE je organizace krátkodobého trhu s elektřinou a plynem, tak, aby došlo k zajištění rovnováhy mezi nabídkou a poptávkou elektřiny a plynu. Tato společnost dále zajišťuje statistickou funkci a jedná se tak o centrální informační uzel trhu s elektřinou a plynem. Právě ze stránek OTE jsou získávána data pro funkci řešení navrhovaného v této diplomové práci.

Mezi další činnosti patří například zpracování dat o vývoji českého energetického trhu ale i vyhodnocení odchylek mezi sjednanými a skutečnými dodávkami, výrobou a spotřebou elektřiny atd. Na základě těchto zjištění poté může OTE zajistit zúčtování a vypořádání.

1.3.5 Zelený bonus a výkupní cena

Výrobci energie z obnovitelných zdrojů mají na výběr ze dvou forem podpory, ze kterých si mohou vybrat. Mezi tyto podpory patří podpora formou výkupní ceny a podpora ve formě zeleného bonusu.

Výkupní cena

V případě podpory ve formě výkupní ceny má vykupující povinnost od výrobce elektřiny vyrobené pomocí obnovitelných zdrojů energie vykoupit veškerý objem dodaný do distribuční sítě podle výsledků měření v předávacím místě výroby elektřiny. Hodnota výkupní ceny je stanovena na základě rozhodnutí ERÚ a je každým rokem navyšována o 2 %. Stanovení této výkupní ceny bylo nastaveno tak, aby po dobu životnosti typu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie byla výrobcům zaručena patnáctiletá návratnost investice. Pro určité typy obnovitelných zdrojů energie jsou stanoveny výjimky navýšení výkupní ceny, ale alespoň prozatím tyto výjimky neplatí pro žádnou formu FVE. Na rozdíl od zeleného bonusu je ale podpora formou výkupní ceny účtována včetně DPH. Oproti podpoře ve formě zelených bonusů není možné nárokovat podporu na vlastní spotřebu elektřiny využití k její samotné výrobě (JAKÝ JE ROZDÍL MEZI ZELENÝM BONUSEM A VÝKUPNÍ CENOU?, 2022).

Zelený bonus

V případě využití podpory ve formě zeleného bonusu dochází k vyplácení za veškerou vyrobenou i spotřebovanou elektřinu včetně spotřebované elektřiny v místě výroby. Tato elektřina je měřena stanoveným měřidlem, které vyloučí z měření vlastní technologickou spotřebu elektřiny. Výrobci je tedy umožněna jak dodávka, tak vlastní spotřeba elektřiny a tento zelený bonus je stanoven za celkovou vyrobenou elektřinu po odečtení technologické spotřeby. V případě využití podpory ve formě zelených bonusů si musí sám výrobce vyhledat svého odběratele elektrické energie se kterým si sjedná výkupní cenu. Cena teda není stanovena na základě rozhodnutí ERÚ. Tento režim je obvykle využíván pro případy, kdy je vyrobená elektřina využívána primárně pro vlastní spotřebu a pro případ přebytků si výrobce sjedná s obchodníkem smlouvu na dodávku nespotřebovaných přebytků. Tento režim podpory je obvykle výnosnější, než režim výkupní ceny a je tomu tak z důvodu rizika spojeného s prodejem vyrobené elektřiny (JAKÝ JE ROZDÍL MEZI ZELENÝM BONUSEM A VÝKUPNÍ CENOU?, 2022).

Pro zelený bonus si může také výrobce vybrat mezi dvěma možnostmi. Jedná se o hodinový a roční zelený bonus. Rozdíl mezi stanovením ročního a hodinového zeleného bonusu spočívá v tom, jak jsou tyto bonusy vypočteny. Roční zelený bonus je počítán jako rozdíl mezi výkupní a očekávanou průměrnou roční hodinovou cenou. Hodinový zelený bonus je vypočten jako rozdíl mezi výkupní a dosaženou hodinovou cenou. Roční zelený bonus je tedy určován

dopředu pro následující kalendářní rok, zatímco hodinový zelený bonus je určován pro každou obchodní hodinu podle ceny silové elektřiny na denním trhu (Časté dotazy, c2023).

Volba formy podpory

Každý výrobce si může položit otázku jaká forma podpory z výše zmíněných je pro něj nejvýhodnější. Odpověď na tuto otázku ovšem není jednoznačná. Vždy záleží na několika faktorech.

Výrobce musí zhodnotit například možnosti lokální spotřeby výroby vzhledem k tomu, že v režimu zeleného bonusu dochází k vyplácení za veškerou vyrobenou elektřinu a může se tak jednat o konfiguraci vhodnou pro FVE s malými přetoky. Na problematiku zelených bonusů se lze dívat i z pohledu možnosti přímého ovlivnění výnosů za vyrobenou elektřinu. Z tohoto pohledu je možné dosáhnout vyšších výnosů než v případě výkupních cen vzhledem k nastavení sjednaných výkupních cen, které mohou být vyšší než v případě výkupní ceny. To, co je zde prezentováno jako výhoda může být ovšem i nevýhodou. Nevýhodou tohoto systému je určitá míra nejistoty, která je způsobena tím, že se odběratel nezavázal k odběru vyrobené elektřiny v rozsahu 100 %. Není tedy zaručeno kompletní odkoupení veškeré vyrobené energie. Výhodou podpory ve formě výkupní ceny je právě závazek provozovatele soustavy k výkupu vyrobené elektřiny v rozsahu 100 %. V tomto režimu tedy výrobci odpadá potřeba si zajistit odběratele energie. Dalším faktorem může být výše odvodů, která je rozdílná pro oba režimy. Do konečného rozhodování tedy vstupuje mnoho faktorů a problematiku tedy nelze zobecnit, aby bylo možné vytvořit univerzální odpověď (Časté dotazy, c2023).

Vzhledem k tomu, že výrobce může při prvotním odhadu špatně zhodnotit všechny faktory na volbu podpory, tak je možné využít změny formy podpory. Výrobce tedy může požádat o změnu formy podpory, ale pouze jednou ročně. Dále je o tuto změnu možné zažádat nejpozději do posledního listopadového dne daného roku pro rok následující. V případě změny podpory z formy výkupní ceny na zelený bonus je nutné uzavřít smlouvu s nějakým z obchodníků na výkup elektřiny dodávané do sítě. Naopak při změně formy podpory ze zeleného bonusu na výkupní cenu je nutné uzavřít smlouvu o výkupu s vykupujícím (Časté dotazy, c2023).

1.4 PROBLEMATIKA SPÍNÁNÍ ZAŘÍZENÍ

Celý problém optimalizace cenových nákladů ze strany výdajů za elektrickou energii je závislý na schopnosti nějakým způsobem ovládat běh elektrických spotřebičů v domácnosti. Toto tvrzení je pravdivé tedy pouze pro případy jako je případ probíraný v diplomové práci, kdy dochází k využívání elektřiny naceněné podle spotových cen. Ekonomickou optimalizaci nákladů je také možné provádět z hlediska dodávky elektrické energie vyrobené FVE do distribuční sítě.

V dnešní době se stává čím dál větším trendem, že i funkcí velice jednoduchá zařízení mají určitou „inteligentní“ nadstavbu. Příkladem mohou být například průtokové ohříváče. Dřívější typy těchto ohříváčů obsahovaly pouze topné těleso a bimetalový termostat, který toto těleso spínal podle nastavené teploty. Z hlediska tohoto popisu jsou vynechány ostatní prvky jako pojistné ventily, teplotní pojistky atd.

Ovládání podobných zařízení je tedy z externího pohledu na taková zařízení velice jednoduché. Buďto je na svorky zařízení přivedeno napětí a zařízení tedy běží anebo naopak napětí není přivedeno a zařízení neběží. Svou roli v popisovaném případě má samozřejmě i stav bimetalového teploměru, který tuto funkci může ovlivnit, ale to není v problematice, která je momentálně probírána až tak důležité, respektive zohledněné.

Problém nastává ovšem u moderních řešení těchto zařízení. Tato zařízení obvykle již obsahují různé algoritmy učení, které se snaží optimalizovat ohřev vody v závislosti na pravidelných odběrech. Tímto způsobem může tedy dojít k úspoře elektrické energie, jelikož k ohřevu vody dochází pouze v případech, kdy je očekáváno, že bude ohřátá voda potřebná. Z tohoto řešení vystávají další problémy, které jsou způsobeny náhodným a nepravidelným využíváním takovýchto zařízení, ale to je problematika, která není součástí této diplomové práce.

Pokud by zařízení obsahující tento algoritmus bylo sepnuto externě a došlo by tedy k přivedení napětí na jeho svorky, tak nemusí v tomto konkrétním případě dojít k ohřevu vody, jelikož v momentální čas nemá zařízení nastavený ohřev vody algoritmem řízení. Pokud by tedy bylo možné externě zajisti spuštění ohřevu vody bez zásahu algoritmu v tuto podle algoritmu neefektivní dobu, tak ačkoliv by docházelo k určitým ztrátám, tak by bylo možné využít levnější elektřiny. I přesto že by v tomto případě došlo k tepelným ztrátám kvůli ohřevu v nesprávnou dobu, tak by došlo k předehřevu vody, který by měl za následek ve výsledku ekonomičtější ohřev této vody. Prakticky by tedy byl proveden ohřev vody v době nízkých cen elektřiny a ve chvíli, kdy by algoritmus řízení ohříváče vyhodnotil situaci tak, že je nutné provést ohřev vody, tak by docházelo pouze k dohřátí již předehřáté vody. V tomto případě by

tedy bylo možné ohřát vodu v tomto ohříváči ekonomičtěji i přesto, že určitá část energie byla ztracena tepelnými ztrátami a celkové množství spotřebované elektrické energie bylo větší.

Jistě by se dalo polemizovat, kdy je vhodné tento režim aplikovat v závislosti na tepelných ztrátách nádrže ve které dochází k ohřevu samotné vody, ale to je opět komplexní téma, které není součástí této práce.

Bohužel většina moderních zařízení v nižší cenové kategorii obsahuje tyto zmíněné algoritmy řízení, ale díky tomu že se jedná právě o nižší cenovou kategorii, tak již nedisponuje možnostmi, jak tyto algoritmy vyřadit, případně pozastavit tak aby bylo možné provést v tomto konkrétním případě předehřev vody na základě externího podnětu. V lepším případě tato zařízení obsahují manuální režim, který také není možno využít bez větších zásahů do zařízení, které by mohly mít za následek anulování záruční lhůty. Ovšem u těchto zařízení je možné využít alespoň externí mechanické spínače, které jsou zmíněny v následujícím textu. Z tohoto hlediska, kdy je snaha využívat elektřinu v dobách, kdy je elektřina levnější je tedy výhodnější využívat zařízení, která mají alespoň základní možnost sepnutí pomocí externích kontaktů nebo datové komunikace.

Další nevýhodou spínání moderních zařízení připojováním a odpojováním na zdroj napájení vyplývá ze samotné konstrukce zařízení. Moderní zařízení obvykle nejsou konstruována k neustálému připojování a odpojování od elektrické sítě a může tak postupně docházet k snížení jejich životnosti. Proto ani z tohoto důvodu není vhodné tato zařízení spínat tímto způsobem. Ze stejného důvodu tedy není vhodné ani nastavení zařízení takovým způsobem, který vlastně oklame algoritmus řízení tohoto zařízení tak aby toto zařízení běželo neustále a bylo možné ho spínat pouze připojením a odpojením od napětí.

Pro přímé spínání jsou tedy obvykle použitelná pouze zařízení, která jsou svou konstrukcí jednoduchá. Další možností, jak vyřešit tento problém je už při koupi zařízení vyhledávat taková zařízení, která obsahují nějakou formu externího spínání ať již jednoduše přivedením logické hodnoty na specifikovaný vstup nebo přímo datovou komunikací. Problémem je ovšem absence těchto vstupů u většiny zařízení. Dochází tak ke značnému omezení výběru. Zařízení, která naopak disponují těmito vstupy jsou obvykle zařazeny ve vyšší cenové kategorii.

Určitým řešením je možnost oddáleného startu. Oddáleným startem také někdy nazývaným jako odložený start již disponují nejrůznější zařízení jako jsou pračky, sušičky, myčka atd. Tímto oddáleným startem lze nastavit kdy se má zařízení spustit. Nevýhodou tohoto řešení je opět nutnost fyzického nastavení konkrétního času uživatelem, případně časová omezení, která někteří výrobci do softwaru zařízení zahrnuli. Tato omezení mohou stanovovat

maximální možnou dobu od chvíle nastavení zařízení, kdy je možné zařízení spustit. Nelze tedy například nastavit spuštění zařízení až za dvanáct hodin, pokud je maximální doba oddáleného startu výrobcem nastavena na osm hodin.

Jako další řešení lze uvést fyzické IoT spínače. Obvykle se jedná o krabičku opatřenou akčním členem poháněným elektrickým motorem a elektronikou pro připojení na internet. Po internetu je tedy možné aktivovat tato zařízení, která fyzicky sepnout spínač. Pro spotřebiče, které lze spustit pouze stiskem jediného tlačítka se jedná o vhodnou volbu. V tomto případě je tedy nutné se postarat o implementaci softwaru, který umožní tato zařízení spínat algoritmu řízení stejného typu jako je navržen v této diplomové práci. Pomocí tohoto řešení lze ovládat i zařízení, která nemají žádný vstup, kterým by je bylo možné dálkově ovládat.

V dnešní době se na trhu vyskytuje čím dál víc spotřebičů, které je možné ovládat po internetu. Tyto spotřebiče tedy neobsahují žádnou možnost spínání pomocí výše popsaného logického signálu nebo datové komunikace ve formě přímého připojení, ale je možné je ovládat právě přes internet. Této vlastnosti je možné využít. Pro tato zařízení by bylo tedy možné vytvořit software, který by zajistil komunikaci mezi algoritmem řízení a aplikací, která je výrobcem poskytnuta pro řízení spotřebiče. Nevýhodou tohoto řešení je ovšem nutnost vytvoření specifického programu, který by komunikoval s konkrétním zařízením, případně pouze se zařízeními od stejného výrobce. Naštěstí v poslední době dochází k postupnému sjednocování standardů mezi výrobci, které umožňuje ovládání zařízení od více výrobců z jedné aplikace.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktickou část diplomové práce lze rozdělit na tři části, které souběžně pracují a vytváří tak aplikaci, která je výsledkem této diplomové práce.

První část se zabývá ziskem dat, která nejsou ovlivnitelná uživatelem. Jedná se konkrétně o data z webu operátor trhu s elektřinou, data o výrobě rezidenční fotovoltaické elektrárny a spotřebě domácnosti.

Za druhou část lze označit samotnou webovou stránku, která slouží jako rozhraní mezi uživatelem, algoritmem řízení a databázovým serverem. Pro uživatele jsou zde vykresleny do grafů získaná data, podle kterých se může uživatel rozhodovat. Na základě informací získaných z grafů čerpá uživatel také přehled o stavu, ve kterém je regulovaný systém. Další velmi důležitou součástí webové stránky je získání uživatelského vstupu jako vstupních dat pro algoritmus řízení. Uživatel webové stránky může čerpat data o stavu řízeného systému nejenom pomocí grafů, ale také pomocí notificačních zpráv. Tyto notificační zprávy nabývají formy varování před chybným nastavením, případně formy doporučení. Na základě těchto notifikací může uživatel provést náležité akce, kterými lze zamezit poruchám ovládní systému či je využít k provedení doporučených akcí.

Poslední částí diplomové práce je již zmiňovaný algoritmus řízení, který je jádrem celé aplikace. Na základě procesů tohoto algoritmu dochází k extrakci dat získaných z externích a interních zdrojů. Jako externí zdroje jsou zde chápány zdroje informací, které byly využity pro získání dat pomocí metody data scrapingu. Interní data jsou naopak chápána jako data získaná z webové stránky, jedná se tedy o uživatelská vstupní data. Všechna tato data jsou extrahována algoritmem řízení z databázového serveru. Algoritmus řízení následně provede zpracování takto získaných dat. Na základě výsledků zpracování dochází k několika činnostem. Mezi tyto činnosti se řadí ovládní reléových výstupů, které byly zvoleny jako výstupní zařízení pro spínání ovládaných zařízení. V případě chybného nastavení způsobeného uživatelskými parametry v kombinaci s momentálními daty získanými z webu operátor trhu s elektřinou dochází k vyvolání chybové hlášky. Tato hláška je předána databázovému serveru, ze kterého jsou tato data zobrazena uživateli na webové stránce ve formě notifikace. Pro určitou skupinu zařízení může být výsledkem zpracování dat vyvolání hlášky, stejně jako v předchozím případě. V tomto případě se ale nemusí jednat o hlášku upozorňující uživatele na chybu nastavení, ale doporučující uživateli provést specifický úkon.

2.1 WEB SCRAPING

Elementární součástí vytvořené aplikace jsou data získaná z externích zdrojů, která jsou následně využívána pro další činnost programu. Mezi tato data patří výsledky denního trhu s elektřinou, které jsou denně zveřejňovány na webových stránkách operátoru trhu s elektřinou. Dalšími daty jsou pak data informující algoritmus o výrobě FVE. V ideálním případě by tato data nebyla zařazena do kategorie dat získaných z externích zdrojů. Ovšem vzhledem k absenci vlastní FVE nebylo možné získat přístup k těmto datům a data tedy musela být získána touto metodou. Při této příležitosti bylo využito i ostatních dat dostupných na webové stránce ze které byla data získána. Za pomoci těchto dat bylo možné určit i bilanci domácnosti, která uživatele jasně informuje o poměru využívané elektrické energie domácnosti. Ve smyslu poměru je myšleno rozlišení elektrické energie spotřebované z distribuční sítě vůči energii spotřebované z vlastní fotovoltaické elektrárny.

V případech, kdy není možné získat data z webových stránek pomocí jiných prostředků, je vhodné provést tzv. web scraping. Web scraping je označení pro extrakci dat z webových stránek. Nejjednodušší formou web scrapingu je jednoduché překopírování dat uživatelem z webové stránky například do tabulky v programu Excel. Obvykle je ovšem tento termín využívám v případech získávání dat z webových stránek pomocí automatizovaných scriptů.

Obvyklý průběh samotného web scrapingu webové stránky se skládá z několika kroků. Prvním krokem bývá načtení webové stránky, po kterém následuje samotná extrakce dat ze zmíněného webu. Zpravidla nedochází k extrakci všech dat, která webová stránka obsahuje, ale pouze k získání klíčových dat. Následně dochází k formátování, analýze, transformaci a podobným procesům se získanými daty. Posledním krokem bývá obvykle uložení těchto dat. Nejčastěji se jedná o uložení dat do tabulky, či databáze (Python Scrapy Tutorial, c2023).

2.1.1 Získání dat z webu operátoru trhu s elektřinou

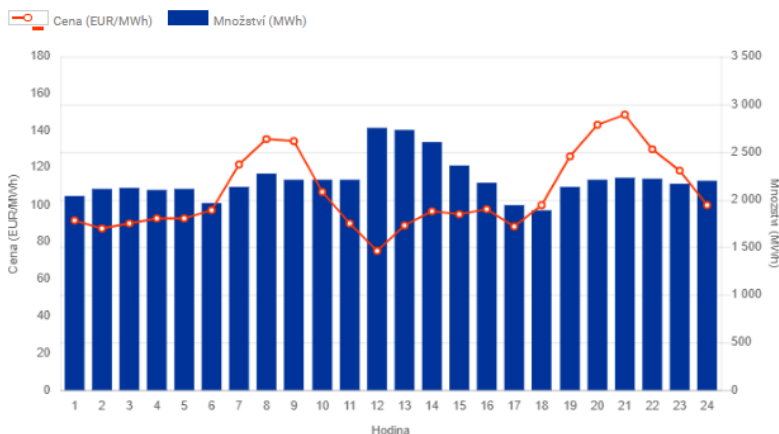
Jak bylo výše stanoveno, tak pro běh algoritmu řízení je třeba získat data o výsledcích denního trhu s elektřinou. Tato data bylo třeba nějakým způsobem získat z webové stránky operátoru trhu s elektřinou, také nazývaného ve zkratce jako OTE. Vzhledem k tomu, že na stránkách OTE není dostupná žádná API, která by umožňovala extrakci těchto dat, tak bylo třeba získat tato data přímo z webové stránky. K tomuto účelu byl proveden web scraping. Pro ilustraci je zde uvedena ukázka webu operátora trhu s elektřinou na obr. 2.1.

Krátkodobé trhy

Denní trh

< 21. duben 2023 >

Výsledky denního trhu ČR - 21.04.2023



Index	EUR/MWh	Změna (%)	Celkové množství ČR (MWh)
BASE LOAD	106,17	4,66 ↓	53 082,7 ↓
PEAK LOAD	103,52	4,89 ↓	27 416,8 ↓
OFFPEAK LOAD	108,82	4,44 ↓	25 665,9 ↓

Hodina	Cena (EUR/MWh)	Množství (MWh)	Saldo DT (MWh)	Export (MWh)	Import (MWh)
1	91,52	2 032,8	364,2	1 326,2	-962,0
2	87,19	2 117,1	-152,2	884,6	-1 036,8
3	90,26	2 120,8	-31,3	862,6	-893,9
4	92,52	2 099,1	-55,9	644,6	-700,5
5	92,58	2 107,6	201,8	851,1	-649,3
6	97,05	1 968,4	18,1	940,6	-922,5

Obr. 2.1 – Ukázka webu OTE (Krátkodobé trhy, 2023)

V případě získávání dat z webových stránek OTE sledoval proces získání dat výše popsaný obecný postup. Značnou výhodou pro tvorbu zmíněného web scraperu je skutečnost že není třeba řešit případnou změnu URL adresy, jelikož na stejné adrese jsou vždy jen nejnovější data. Jako první došlo k načtení webu a následovala extrakce dat z tabulky obsahující potřebná data. Konkrétně se jedná o data obsahující cenu v eurech za megawatthodinu pro každou hodinu v následujícím dni. Aby bylo možné tato data identifikovat v množství ostatních dat získaných za předchozí dny, tak bylo třeba stanovit určitý unikátní indikátor, kterým by toho bylo dosaženo. Jako tento univerzální indikátor bylo použito datum. Vzhledem k tomu, že samotné pole s datem na webových stránkách je také polem vstupních parametrů od uživatele bylo by problematické z tohoto zdroje získat datum. Z tohoto důvodu byl jako nejvhodnější zdroj data zvolen textový řetězec, který je dynamicky upravován vždy podle konkrétního data.

Elektrina

- » Denní trh
 - Multi Regional Coupling
 - CORE - PTDF a RAM
 - Křivky sesouhlasení
 - Spot Market Index
 - Vnitrodenní trh
 - Parametry krátkodobých trhů
 - Informace VDT/VT
 - Mobilní aplikace OTE VDT Elektro
 - Blokový trh
 - Market Coupling 4MMC
 - Vyrovnávací trh

Plyn

REMIT

Integrace trhů

Propojení trhů – Denní trh

Propojení trhů – Vnitrodenní trh

Jedná se o textový řetězec ve tvaru „Výsledky denního trhu ČR - dd.mm.yyyy“. Společně s daty pro jednotlivé hodiny byl tedy extrahován i tento řetězec a poté následovala fáze formátování a transformace dat. V tomto kroku dochází k odstranění nepotřebných součástí textového řetězce a převodu zbývajících dat na datový typ date. Pro data obsahující jednotlivé hodinové ceny dochází z formaci dat a konkrétně dochází ke změně oddělovacího znaku z čárky na tečku. Posledním krokem je uložení těchto dat do databázového serveru MySQL.

Pro web scraping byl v jazyce Python využíván framework Scrapy a parsovací knihovna BeautifulSoup. BeautifulSoup jen pouze parsovací knihovna a nemůže být tedy sama o sobě využita pro získání dat. Proto je nutné tuto knihovnu spárovat s další knihovnou, která se postará o samotné získání dat. Na rozdíl od BeautifulSoup dokáže Scrapy pracovat samostatně vzhledem k tomu, že se jedná o účelově designovaný web scraper. Další výhodou je například schopnost sledovat odkazy na webových stránkách, rychlost a škálovatelnost. Nevýhodou je ovšem prvotní strmá křivka učení (Scrapy 2.8 documentation, c2008-2023; Python Scrapy Tutorial, c2023).

Jak již bylo zmíněno, tak pro tvorbu web scraperu byl prvotně využit framework Scrapy. Bohužel vzhledem k problémům se zprovozněním Scrapy na Raspberry Pi bylo nutné přejít na alternativní řešení pomocí Python knihoven Selenium a BeautifulSoup.

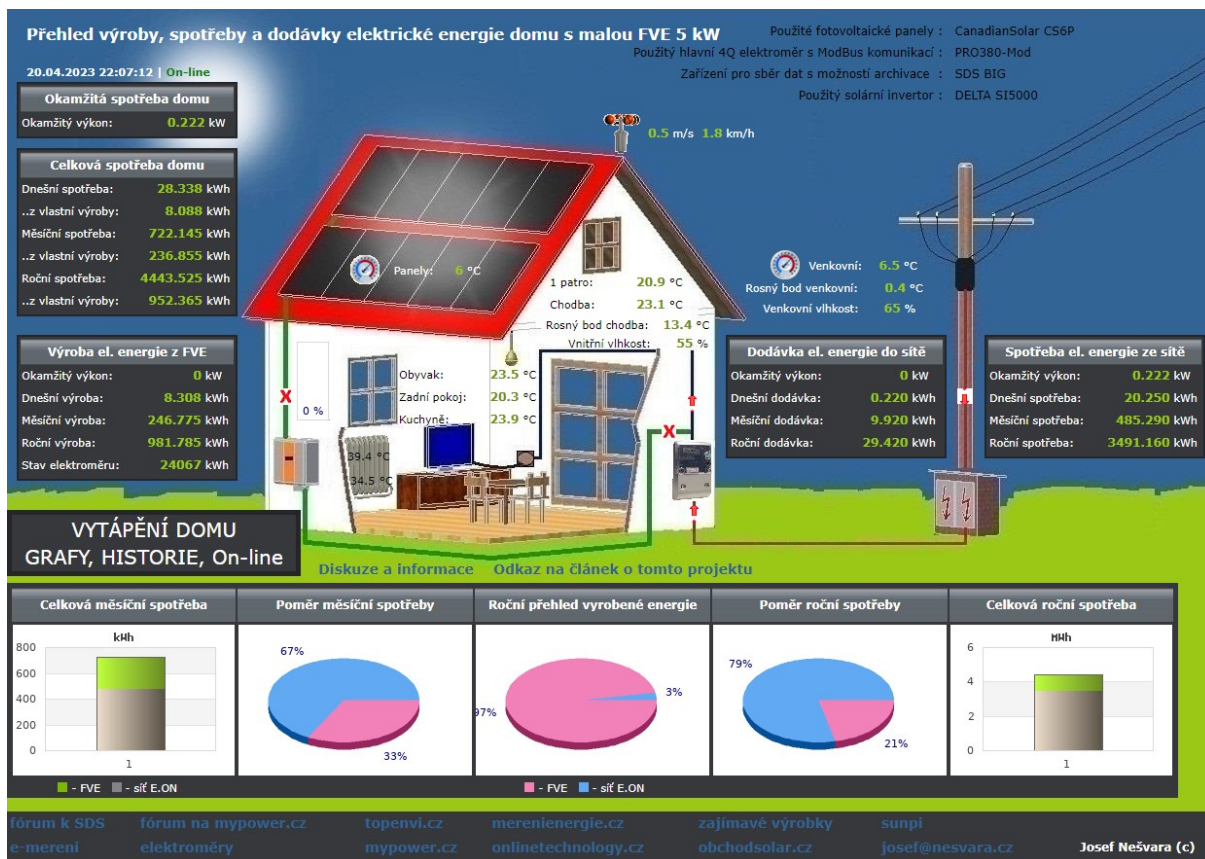
Selenium je Python knihovna, nástroj pro automatizaci webových prohlížečů, testování a jiné úkony z nichž je jedním například i web scraping. Výhodou knihovny Selenium je možnost extrahovat data a informace, které by jinak nebyly dostupné (How to Use Selenium to Web-Scrape with Example, 2020). Jedním z příkladů je získávání dat z webových stránek renderovaných na straně klienta, ze kterých může být obtížné jiným způsobem získat data. Renderování na straně klienta neboli client side rendering je technika využívaná moderními webovými stránkami, kdy dochází k renderování obsahu webu dynamicky na klientově straně pomocí jazyka JavaScript. Obsah stránky je obvykle načítán asynchronně a HTML obsah webu se může tedy měnit dynamicky například podle interakce uživatele s webem. Z tohoto důvodu je obtížné získat určitá data pomocí obvyklých metod web scrapingu, jelikož požadovaná data nejsou obsažena v prvotní HTML odpovědi serveru. Z tohoto důvodu je nutné pro tyto stránky spustit JavaScript v prohlížeči a extrahovat data z výsledného HTML (A Guide to Web Scraping from Client-Side Rendered Websites using Python, 2023).

Samotný web scraper je spouštěn pouze 1x denně a to v 15:00 jelikož k obnově dat na stránkách OTE dochází denně ve 14:30. Prodleva mezi zveřejněním dat a jejich načtením do databáze byla zvolena z obavy o možné zpoždění uveřejnění dat a z toho vzcházejících chyb. Proto byla zvolena prodleva půl hodiny jako kompenzace pro možné zpoždění a chyby. Pokud

by mělo v budoucnu dojít k rozšíření podobných SW řešení, tak by bylo vhodné nastavit časové okno. V tomto časovém okně by docházelo k zisku dat z webové stránky pomocí web scrapingu. Výhodou tohoto řešení je stanovení časového okna, ve kterém dojde k pseudonáhodnému spuštění skriptu tak aby došlo k rozložení zatížení webu OTE.

2.1.2 Získání dat z webu výroby FVE

Součástí diplomové práce je algoritmus vyhodnocující data z FVE. Dalším prvkem je spotřeba domácnosti. Z těchto dat je možné získat informace o bilanci domácnosti. Vzhledem k tomu, že simulací těchto dat by docházelo ke zkreslení výsledků diplomové práce a nebylo by tedy možné získat objektivní pohled na problematiku, tak bylo potřebné využít reálná data. Jelikož nebylo možné získat data o spotřebě domácnosti a případně výrobě FVE osobně, tak bylo nutné tato data nějakým způsobem nahradit. Jako odpověď na tento problém se ukázal opět web scraping a došlo tedy k získání živých dat ze vzdálené rezidenční FVE s výkonem 5 kWp společně i se spotřebou domácnosti. Po udělení souhlasu autora webové stránky a



Obr. 2.2 – Ukázka zdrojového webu dat FVE a domácnosti (Přehled výroby, spotřeby a dodávky elektrické energie domu s malou FVE 5 kW, 2023)

majitele fotovoltaické elektrárny byl proveden sběr žádaných dat. Ukázku webové stránky, ze které byla data získána je možné vidět na obr. 2.2.

V tomto případě by bylo i tak obtížné využít Scrapy, jelikož prvotní HTML odpověď serveru neobsahovala potřebná data. Odpověď serveru ve formátu HTML obsahovala pouze ID označení prvků a jejich hodnota se měnila dynamicky podle zasílaných dat každých, zhruba pět sekund. Se Scrapy by nebylo možné získat tato data pomocí selektorů. Alternativním způsobem by bylo nalezení zdroje dat a extrakce přímo z něj, extrakce z DOM nebo předběžně renderovat JavaScript (Selecting dynamically-loaded content, c2008-2023). Všechny zmíněné postupy jsou postupy, které nejsou jednoduché pro začínajícího uživatele Scrapy, proto bylo i zde prakticky využito kombinace knihoven Selenium a BeautifulSoup.

Pro získání dat z webové stránky byl opět využit klasický způsob web scrapingu. Jako první došlo k načtení webové stránky, na které byly načteny předem specifikované prvky. Tyto prvky měly unikátní ID. Program poté následně vyčkal na obnovení hodnoty prvků po předem specifikovanou dobu. Pokud ani poté nedošlo k obnově prvku, tak došlo k opětovnému spuštění skriptu. V určitých případech i přesto občas docházelo k načtení nulových dat a bylo tedy nutné implementovat výjimku zamezující další práci s těmito daty. V případě načtení validních dat došlo k matematické operaci stanovující bilanci domácnosti na základě rozdílu výroby FVE a spotřeby domácnosti. Následně byla všechna data společně s vypočtenou bilancí domácnosti uložena do databázového systému společně s konkrétním datem a časem.

2.2 WEBOVÁ STRÁNKA

Součástí diplomové práce bylo využití webového serveru. V tomto případě se jednalo o softwarový webový server Apache. Na tomto webovém serveru je hostována webová stránka, která je využívána k interakci uživatele s nastavením algoritmu rozhodujícím o řízení domácnosti. Pro vytvoření webové stránky byla využita jako základ šablona Black Dashboard poskytovaná pod MIT licenci, která je založena na mikro frameworku Flask.

Mikro framework Flask je framework určený pro vývoj back end částí webových aplikací, ale zároveň využívá šablonovací systém Jinja2, který umožňuje tvorbu front end části webu. Součástí frameworku Flask je i možnost spuštění lokálního serveru, který je primárně využíván pro vývoj aplikace díky čemuž dochází k usnadnění vývoje samotného webu. Framework Flask je mikro framework, jelikož sám o sobě neposkytuje stejný rozsah možností jako ostatní webové frameworky, ale je možné tento framework doplnit o rozšíření. Tato rozšíření může následně aplikace dále využívat stejným způsobem, jako kdyby byla součástí

samotného frameworku Flask. Tento framework podporuje knihovnu jQuery, která umožňuje implementovat dynamické prvky pomocí technologie AJAX. Díky tomu je možné zajistit obnovu údajů na webové stránce bez nutnosti opětovného načítání celé webové stránky. Této vlastnosti je dosaženo využitím datového formátu JSON, kterým jsou předávána data mezi klientem a serverem (User's Guide, c2011).

Jak samotný webový server, tak i webová stránka jsou hostovány na jednodeskovém počítači Raspberry Pi. Pro diplomovou práci byl využit kit Raspberry Pi s dotykovým displejem, který je možné využít jako centrální přístupový bod na lokální síti. Tuto konfiguraci lze zhlédnout na obr. 2.3.



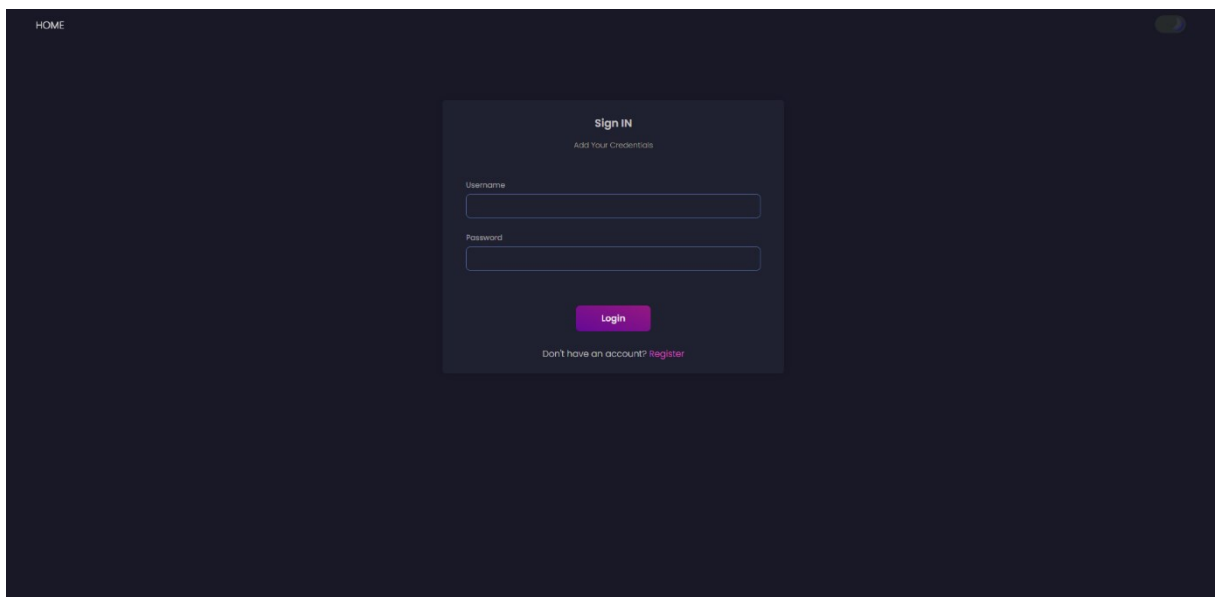
Obr. 2.3 – Implementace centrálního přístupového bodu na Raspberry Pi

Po samotném restartu Raspberry Pi ať již z důvodu pravidelné údržby či ztráty napájení nedochází k automatickému zobrazení webové stránky. Proto byl implementován skript, který se stará o otevření webového prohlížeče Chromium, který je nativním prohlížečem Raspberry Pi a tento prohlížeč je následně maximalizován do celoobrazovkového módu. K nastavení tohoto skriptu byl využit softwarový démon Cron.

Cron se stará nejenom o spuštění skriptu, který zajišťuje zobrazení ovládací webové stránky, ale také se stará o spuštění ostatních skriptů. Jak již bylo zmíněno Cron je softwarový démon, který automatizovaně spouští v operačních systémech konkrétní skript ve specifikovaný čas. Další možností je využití spuštění skriptu podle předem definovaných klíčových slov. Pomocí těchto klíčových slov lze nastavit například spuštění určitého skriptu každou hodinu,

měsíc, rok atd. V tomto případě bylo využito klíčové slovo „@reboot“. Pokud dojde k nastavení tohoto klíčového slova konkrétnímu skriptu, tak dochází ke spuštění procesu nebo úlohy po každém restartu zařízení. Jedná se tedy prakticky o plánovač úloh (Crontab, c2001-2004). Vzhledem k tomu, že součástí několika programů, které jsou spouštěny tímto démonem je připojení a následná komunikace s databázovým serverem, tak je vhodné implementovat určité zpoždění. Toto zpoždění zajistí, že ke spuštění programu nedojde ihned po restartu zařízení, ale až po uběhnutí nastavené doby, která zajistí správnou funkci skriptů. Prakticky všechny programy byly spouštěny po restartu zařízení. Jedinou výjimkou je skript starající se o web scraping stránky operátora trhu s elektřinou, kdy byl nastaven pevný čas spuštění skriptu.

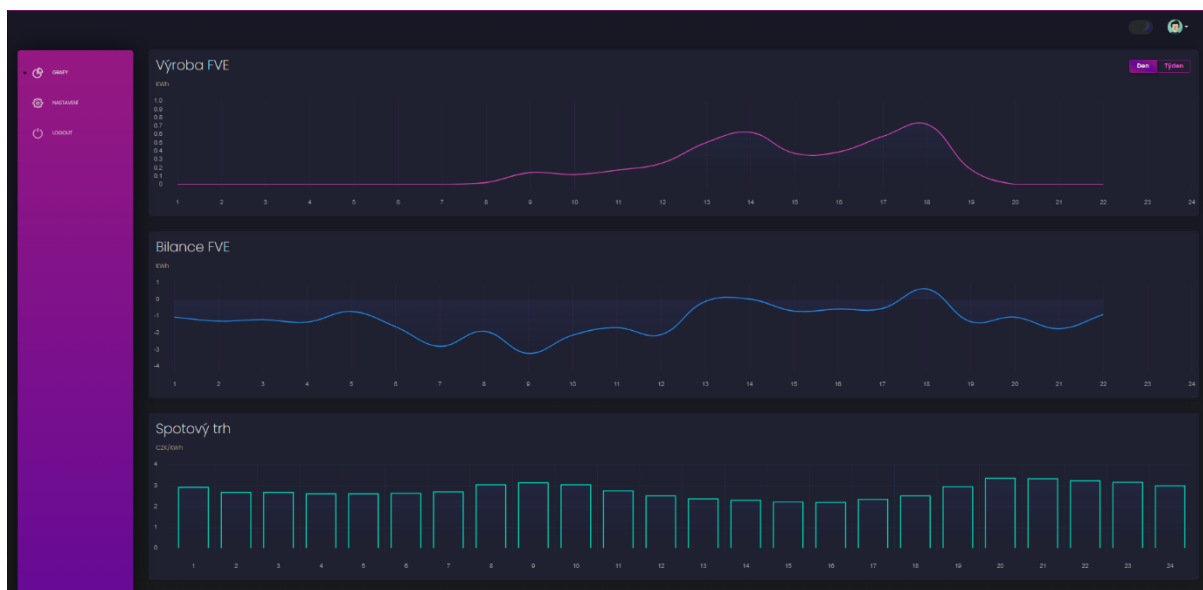
Po úspěšném spuštění Raspberry Pi je možné na lokální síti přistoupit k vytvořené webové stránce pomocí webového prohlížeče. Jako první je uživatel přesměrován na přihlašovací stránku, kde je po něm požadováno, aby se přihlásil ke svému účtu. V případě, kdy uživatel nedisponuje vytvořeným účtem je mu umožněno si tento účet vytvořit. Ukázka této přihlašovací stránky je vyobrazena na obr. 2.4.



Obr. 2.4 – Přihlašovací stránka webové aplikace

2.2.1 Stránka grafů

Po úspěšném přihlášení je uživatel přesměrován přímo na hlavní stranu webové stránky. Jako hlavní stranu je uživateli zobrazena stránka vizualizace dat obsahující jednotlivé grafy. Ukázku této hlavní strany je možné najít na obr. 2.5. Na této hlavní straně, také označované názvem „GRAFY“ v menu na levé straně webové stránky jsou zobrazeny tři grafy.

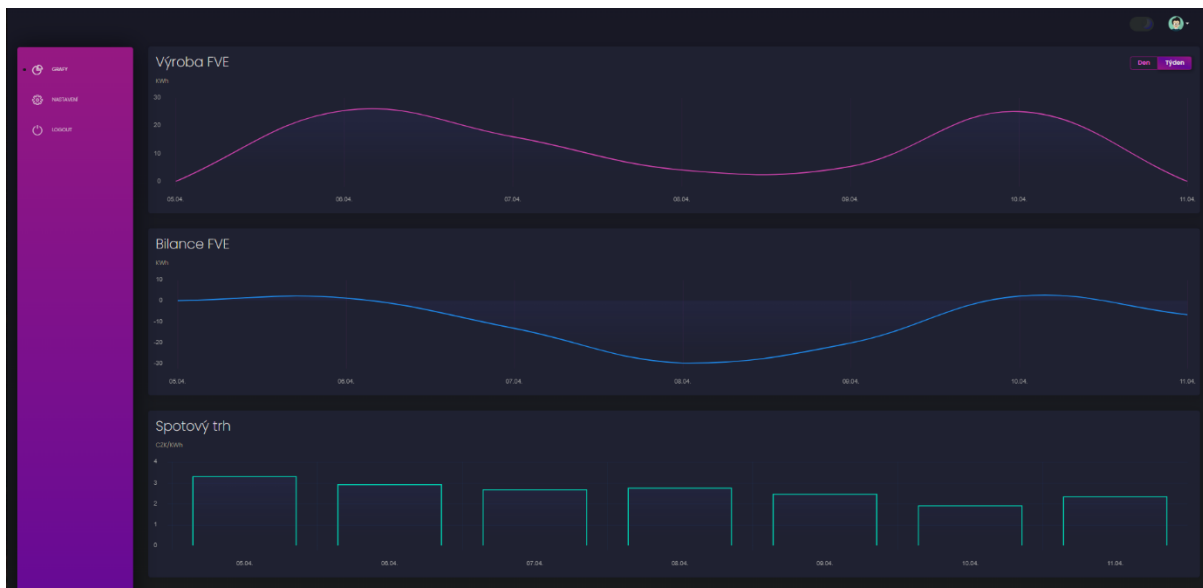


Obr. 2.5 – Hlavní strana webové aplikace

V prvním grafu s názvem „Výroba FVE“ jsou zobrazována data, která odpovídají hodinové výrobě FVE pro aktuální den a hodinu. Postupně dochází k součtu vyrobené energie a je tedy možné neustále sledovat výrobu FVE. Tím je tedy stanoveno, že k obnově hodnoty výroby FVE nedochází pouze jednou, a to každou hodinu, ale systematicky. Osa x je tedy využita pro zobrazení času s periodou jedné hodiny. Na ose y je vyobrazena stupnice vyrobené energie v kWh, která je schopna automatického škálování podle nejvyšší denní výroby. Jak bylo zmíněno, tak jsou zobrazovaná data vždy za aktuální den. Pro získání většího přehledu uživatele byl tedy implementován i přepínač, který je umístěn v pravém horním rohu grafu výroby FVE. Zde je možné přepínat mezi grafy za aktuální den anebo za posledních 7 dní. V případě týdenního zobrazení se nejedná o grafy za poslední týden z kalendářního hlediska, ale o grafy za posledních 7 dní. Ukázkou tohoto přepnutí na týdenní verzi grafů je možné shlédnout obr. 2.6.

Dalším grafem je graf s názvem „Balance FVE“. Jedná se o graf zobrazující bilanci domácnosti na základě její výroby a spotřeby. Pokud tedy nastane stav, kdy výroba za hodinu překročila spotřebu domácnosti, tak je křivka grafu vykreslena v kladných hodnotách na ose y, která má podobné vlastnosti jako osa y prvního grafu, jen s tím rozdílem, že umožňuje zobrazení negativních hodnot.

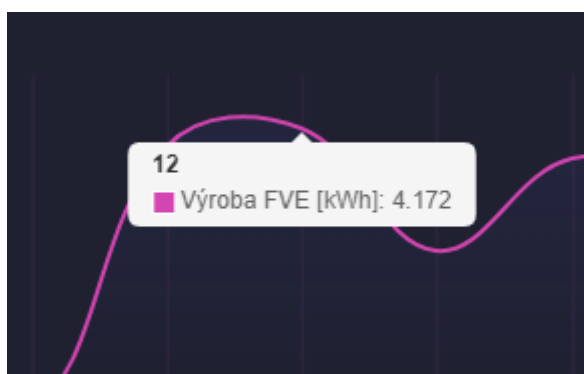
Posledním grafem je graf výsledků cen elektrické energie ze stránek OTE pod názvem „Spotový trh“. Tento graf je opět vizualizací denních hodnot v tomto případě ceny el. energie za kilowatthodinu. Graf je tvořen z dat získaných z webu OTE. Jedná se tedy o totožná data jako na stránkách OTE, ale zde je uváděn z několika důvodů.



Obr. 2.6 – Hlavní strana v režimu týdenního zobrazení

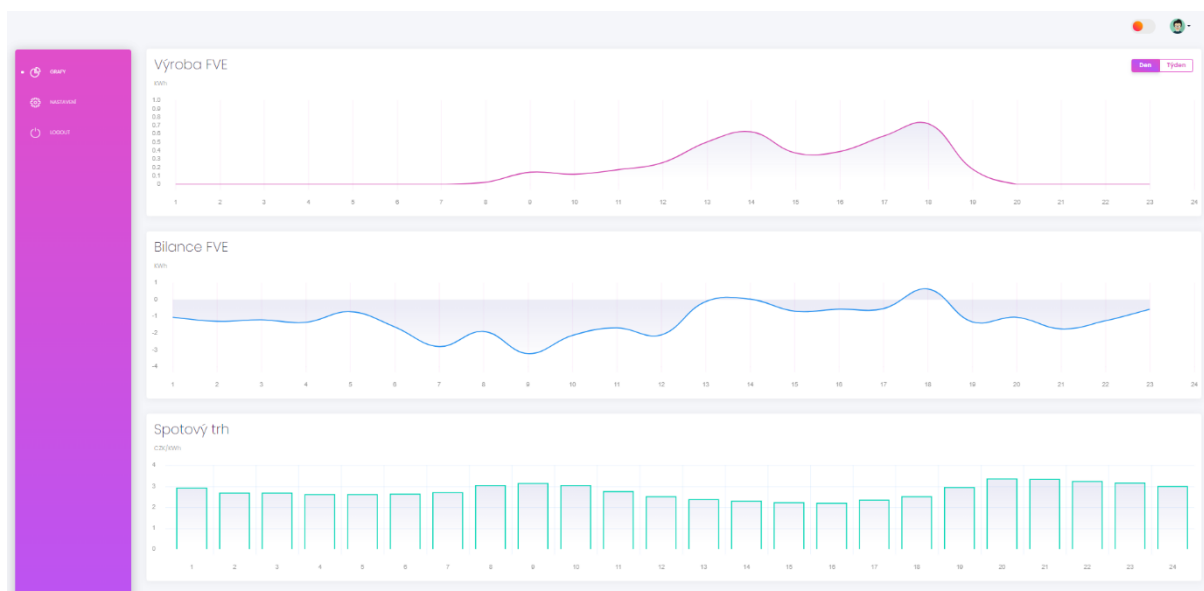
Prvním důvodem je snaha o centralizaci řešení, a tedy odstranění potřeby uživatele hledat tato data na webu OTE. Další výhodou oproti datům na webu OTE je přepočítání získaných dat z formátu EUR/MWh na formát CZK/kWh. Uživatel tedy nepotřebuje provádět převod měny a zároveň je využívána jednotka kWh, která je pro běžného uživatele obvykle více vypovídající než cena za MWh. Zároveň byla implementována i týdenní verze grafu, kdy jsou jednotlivé hodnoty pro každý den koncentrovány pomocí váženého průměru do jedné hodnoty. Uživatel tedy může získat představu o pohybu cen za poslední týden.

Pro lepší čitelnost a orientaci uživatele v jednotlivých grafech bylo implementováno nastavení, které umožní uživateli zobrazit konkrétní hodinovou nebo týdenní hodnotu. Aby tuto funkcionalitu uživatel aktivoval, stačí pouze nejet kurzorem myši na křivku grafu, případně na stejné místo kliknout. Klinutí je potřebné, pokud je webová stránka prohlížena z mobilního telefonu nebo dotykové obrazovky k tomu Raspberry Pi. Ukázkou této funkce lze nelézt na obr. 2.7.



Obr. 2.7 – Detailní legenda k bodu na grafu

Stránka také obsahuje přepínač režimu webové stránky, který je umístěn vpravo nahoře s ikonou měsíce či slunce podle aktuálně nastaveného režimu webové stránky. Lze tedy nastavit v jakém režimu chce uživatel využívat webovou stránku. Uživatelé jsou tedy k dispozici dva režimy. Jeden tmavý a jeden světlý. Ukázkou světlého režimu je možné si prohlédnout na obr. 2.8.



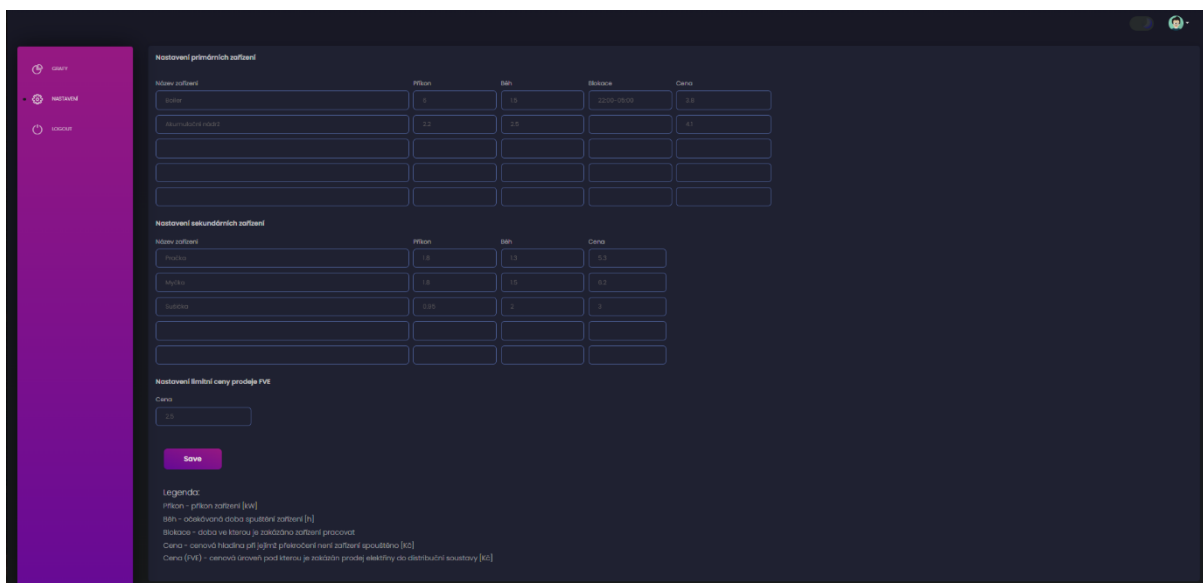
Obr. 2.8 – Hlavní strana ve světlém režimu zobrazení

2.2.2 Stránka nastavení

Dalším prvkem webové stránky je karta „NASTAVENÍ“. Tato karta je zobrazena na obr. 2.9. Tuto kartu lze rozdělit na čtyři jednotlivé části. První částí je nastavení primárních zařízení. Druhou částí je nastavení sekundárních zařízení, třetí nastavení limitu prodejní ceny FVE a poslední je legenda.

V části „Nastavení primárních zařízení“ dochází, jak již název napovídá k nastavení primárních zařízení. Jako primární zařízení lze chápat zařízení, která mají vysokou, ne-li nejvyšší prioritu běhu v domácnosti a zároveň je možné přímo ovládat jejich běh reléovým výstupem, nebo datovou komunikací. Obecně se tedy jedná o zařízení poskytující teplou užitkovou vodu, vytápění domácnosti atd. Každému tomuto zařízení je možné nastavit pět jednotlivých parametrů.

Jedná se o parametry „Název“, „Příkon“, „Běh“, „Blokace“ a „Cena“. Pro osvětlení konkrétního významu jednotlivých parametrů a jejich dopadu na funkci řízení je uživateli poskytnuta legenda, která byla zmíněna jako čtvrtý a poslední prvek této stránky.



Obr. 2.9 – Strana nastavení webové aplikace

Název zařízení není třeba více vysvětlovat, pouze je vhodné zmínit, že pro každé zařízení je doporučeno zvolit jednoduchý, deskriptivní a unikátní název. Dodržením tohoto pravidla je následně možné zamezit špatné interpretaci případných chybových hlášek.

Do kolonky příkon je zadána hodnota příkonu jednotlivých zařízení. Původním účelem těchto dat byla možnost upozornění na případné ohrožení funkcionality elektroinstalace z důvodu přetížení jističe, ale nakonec tato funkcionalita nebyla implementována vzhledem ke komplexnosti tohoto řešení. Informace o příkonu jednotlivých zařízení jsou ale i přes tuto skutečnost získávány a dále předávány společně s ostatním daty. Jedná se tedy o přípravu na potenciální rozšíření aplikace.

Dalším prvkem je pole s názvem běh. Do tohoto pole je vyplněna hodnota odpovídající alespoň průměrné či odhadované, ideálně maximální době denního běhu zařízení. Pokud tedy uživatel disponuje znalostí o nutné době běhu například topného tělesa v akumulární nádrži, tak tuto hodnotu může vyplnit přesně. Pro uživatele, který nemá tuto informaci je vhodné provést odhad a zadat vyšší hodnotu, kterou případně může snížit.

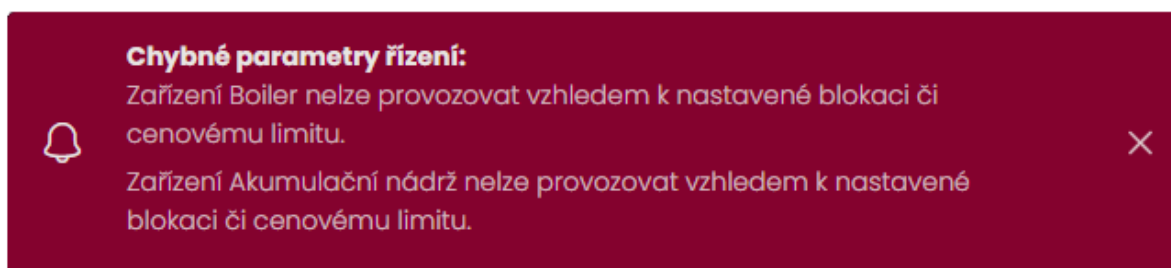
Následujícím prvkem je pole blokace. Pole blokace není povinné a tato skutečnost je i naznačena u vzorového vyplnění parametrů zařízení, lépe viditelného na obr. 2.10. Jedná se o předem vyplněný záznam zařízení „Akumulační nádrž“. Jak lze vidět, tak v tomto případě je pole ponecháno prázdné. Pole je využíváno pro zařízení jako je například průtokový ohřívač. Jedná se tedy o zařízení, kterým chce uživatel zablokovat funkci v určitém časovém rozmezí. Lze tedy například specifikovat zamezení ohřevu zásobníku TUV v době, kdy uživatelé domácnosti spí, jsou v práci atd.

Nastavení primárních zařízení				
Název zařízení	Příkon	Běh	Blokace	Cena
Boiler	6	1.5	22:00-05:00	3.8
Akumulační nádrž	2.2	2.5		4.1

Obr. 2.10 – Detail nastavení primárních zařízení

Poslední, polem je pole ceny. Do tohoto pole zadává uživatel cenovou hladinu. Tato cenová hladina je maximální hodnota ceny, za kterou je uživatel ochotný zařízení provozovat.

Takto získaná data jsou následně předána algoritmu řízení, který je vyhodnotí. Pokud dojde k chybě, tak je vyvolána chybová notifikace pro skupinu primárních zařízení. Takovou notifikaci je možné vidět na obr. 2.11.



Obr. 2.11 – Chybová notifikace

K vyvolání této notifikace může dojít jedním ze dvou způsobů. Prvním případem je překročení cenové hladiny. Jde tedy o případ, kdy není možné uspokojit denní dobu běhu zařízení pod či za nastavenou cenovou hladinou. Druhou možností je případ, kdy by bylo možné zajisti běh zařízení pod stanovenou cenovou hladinou, ale tomu je bráněno nastaveným rozmezím blokace zařízení. Oba tyto stavy mají ovšem stejný výsledek, kterým je blokace spuštění zařízení podle nastavených parametrů. Výsledkem je tedy znemožnění sepnutí reléových výstupů a vyvolání chybové notifikace.

Jelikož se jedná o porušení parametrů algoritmu zabráňující spuštění zařízení, tak je notifikace vyobrazena na červeném pozadí, které vyjadřuje závažnost této notifikace. Jak lze na přiloženém obrázku vidět, může být notifikace i víceřádková a obsahuje název zařízení, kterého se týká porucha. Díky tomu může uživatel vzniklou chybu jednoduše napravit. Aby

uživatel umožnil další běh aplikace po vyvolání chybové notifikace, tak je nutné provést napravení chyby. Pro opravení chyby je doporučeno použít následující kroky.

Jako první by se měl uživatel postarat o odstranění času blokace u zařízení, které ho obsahuje a je předmětem chybové hlášky. Následovat by mělo uložení tohoto nastavení. Pokud ani poté nenalezne algoritmus dostatečný časový rámec pro běh zařízení, tak se jedná o případ, kdy nelze splnit požadavek na denní dobu běhu zařízení pod nastavenou maximální cenou. V tomto případě je jediným způsobem, jak zaručit běh zařízení zvýšením maximálního cenového limitu zařízení, které je předmětem chybové hlášky.

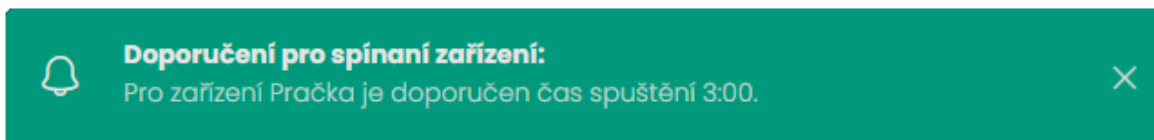
Blok „Nastavení sekundárních zařízení“ zahrnuje zařízení, která nemají tak vysokou prioritu jako je například vytápění budovy. Do těchto zařízení lze zařadit pračky, sušičky, myčky aj. Nastavení sekundárních zařízení je v podstatě totožné s nastavením primárních zařízení s výjimkou blokace, jak lze vidět na obr. 2.12.

Název zařízení	Příkon	Běh	Cena
Pračka	1.8	1.3	5.3
Myčka	1.8	1.5	6.2
Sušička	0.95	2	3

Obr. 2.12 – Detail nastavení sekundárních zařízení

Důvodem k vynechání pole blokace je samotný styl operace takových zařízení. Dále vzhledem k tomu že sekundární zařízení nejsou přímo spouštěna, ale uživateli je doporučován čas spuštění, tak celé pole blokace ztrácí smysl. Z těchto důvodů nebylo pole blokace implementováno. Dalším rozdílem je vůči primárním zařízením požadavek na kontinuální běh. V případě ohřevu otopné vody není nutné dodržet kontinuální spuštění zařízení na rozdíl od zmiňovaných zařízení jako je například pračka.

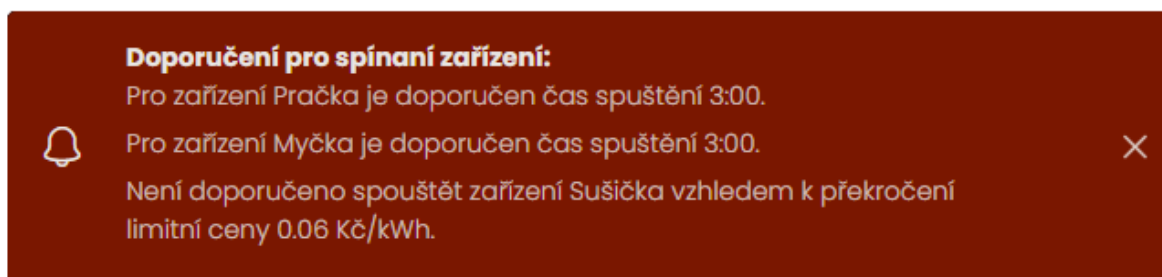
Jak již bylo uvedeno, tak pro zařízení uvedená v bloku sekundárních zařízení jsou vytvářena určitá doporučení. Tato doporučení mají formu notifikací. V podstatě se tedy jedná o doporučení uživateli, kterými mu je sděleno, kdy je nejekonomičtější spustit konkrétní zařízení. Příklad takové notifikace je na obr. 2.13.



Obr. 2.13 – Notifikace doporučení

Stejně jako pro primární zařízení, notifikace obsahují konkrétní název zařízení, mohou být víceřádkové, ale také obsahují doporučený čas, ve který je vhodné zařízení spustit. Mezi notifikacemi vyvolanými primárními a sekundárními zařízeními jsou značné rozdíly. Jak už bylo stanoveno, tak notifikace primárních zařízení informují o chybě nastavení a jsou umístěny na červeném pozadí. Zároveň jsou ale také umístěny na středu v horní části webové stránky. Notifikace sekundárních zařízení jsou také umístěny na středu stránky, ale v její spodní části. Dalším rozdílem je samotná podstata sdělení uživateli. Jelikož jsou notifikace sekundárních zařízení určitá doporučení uživateli, tak je v tomto duchu volena i barva pozadí notifikace. Tato notifikace nemusí vyvolat takovou pozornost jako notifikace varující před chybou. Z toho důvodu byla zvolena zelená barva pozadí.

Algoritmus řízení je schopen vytvořit nejenom notifikaci ve formě doporučení, ale i ve formě upozornění. Konkrétně se jedná o upozornění informující uživatele o nevhodnosti spuštění sekundárního zařízení na základě zadaných parametrů. V takovém případě je opět uživateli sděleno přesně o jaké zařízení se jedná a vzhledem k tomu, že chyba se přímo týká překročení stanoveného cenového limitu, tak je uživateli sdělena i tato konkrétní hodnota. Ukázka takové notifikace je na obr. 2.14.

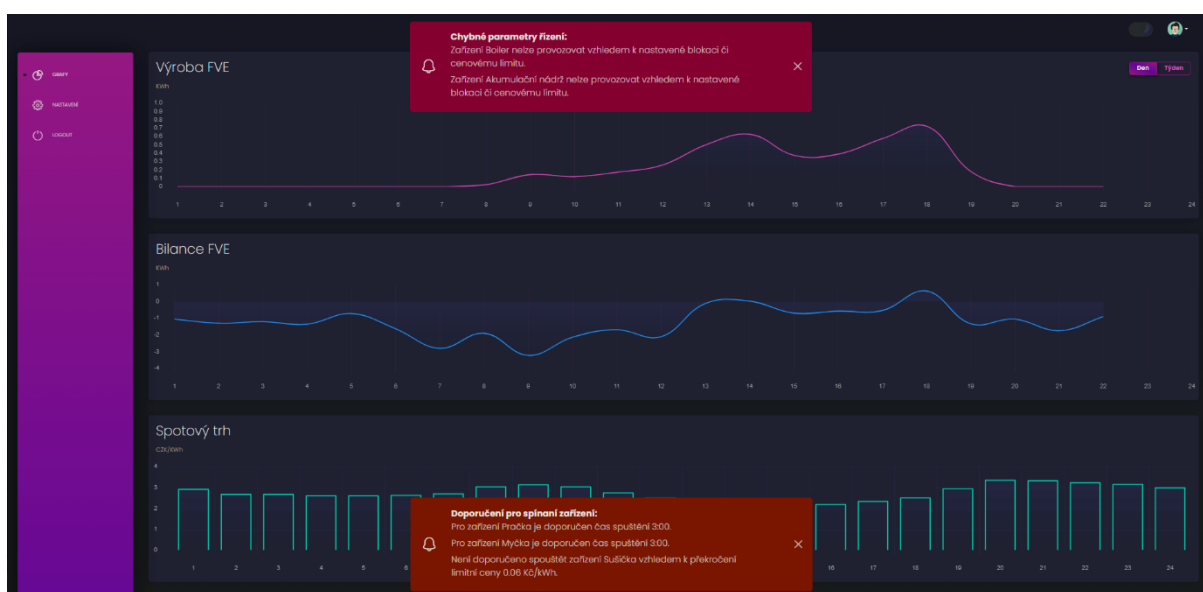


Obr. 2.14 – Varovná notifikace

Aby nedocházelo k přehlcení obrazovky notifikacemi, tak i notifikace upozorňující uživatele na nevhodnost spuštění sekundárních zařízení je zobrazována na stejném místě a ve stejném okně jako notifikace doporučující spuštění zařízení. Ovšem problémem tohoto řešení je případné ztracení takové varovné hlášky v jinak periodicky se zobrazující notifikaci. Z tohoto důvodu došlo ke změně pozadí notifikace. Ve chvíli, kdy notifikace obsahuje alespoň jednu

hlášku ve formě upozornění, tak dojde ke změně barvy pozadí celé notifikační zprávy na oranžovou. Rozdílem notifikací doporučení je také doba, po kterou jsou uživateli zobrazovány na obrazovce. U těchto notifikací je tato doba prodloužena oproti notifikacím, které informují o chybě nastavení primárních zařízení.

Část webové aplikace, kterou lze nalézt pod záložkou „GRAFY“ je chápána jako hlavní stránka této aplikace. Je tomu tak z několika důvodů. Tato stránka je uživateli zobrazována jako první při přihlášení do aplikace. V případě restartu Raspberry Pi, a tedy webového serveru je po zapamatování hesla prohlížečem stránka zobrazována jako první. Dále je očekáváno, že uživatelova interakce v režimu ze dne na den bude právě a pouze s touto stránkou. Proto jsou i na této stránce zobrazovány jednotlivé notifikace. Pro získání představy o umístění a vzhledu notifikací je přiložen snímek obrazovky na obr. 2.15. Pro potřeby ilustrace obsahuje tato ukázka obě notifikace jak pro primární, tak pro sekundární zařízení. Záložka nastavení by měla být využívána pouze při prvotním nastavení a případně ke změnám parametrů z důvodu nárůstu cen a tím nevyhnutelného překročení uživatelem nastavených limitů maximální ceny.



Obr. 2.15 – Hlavní stránka s notifikacemi

Posledním blokem je blok „Nastavení limitní ceny prodeje FVE“. Tento blok má pouze jediný parametr, a to parametr cenového limitu. Do okénka uživatel zadá hodnotu ceny, za kterou je ochotný prodávat vyrobenou el. energii do distribuční sítě. Pokud dojde ke snížení výkupní ceny pod tuto hranici, tak dojde k odpojení, respektive přerušování dodávky měniče FVE do distribuční soustavy. V tomto režimu je všechna energie prioritně spotřebovávána domácnostmi.

Pokud uživatel provedl všechny jím požadovaná nastavení v záložce nastavení, tak je třeba aby tyto změny také uložil do databázového systému pomocí tlačítka s názvem „Save“.

Zatím byly představeny možnosti nastavení a kontroly řízení pomocí dotykového displeje připojeného k Raspberry Pi a počítače s webovým prohlížečem na lokální síti. Webová stránka je ovšem optimalizovaná i pro zobrazení na mobilních telefonech, jak lze vidět na obr. 2.16.



Obr. 2.16 – Vzhled webové stránky na mobilním telefonu

2.2.3 Princip funkce webové stránky

Výše byla popsána funkce webové stránky z pohledu uživatele. Pro hlubší porozumění je ovšem nutné zmínit i způsob jakým pracuje samotná webová stránka, který není pro uživatele viditelný. Dále tedy bude popsán princip funkce programu z tohoto pohledu.

Poté co uživatel zadá potřebná data do jednotlivých bloků primárních zařízení, sekundárních zařízení a cenového limitu FVE je třeba aby bylo toto nastavení uloženo do databázového serveru. Proces uložení těchto dat je vyvolán stisknutím tlačítka uložení. Pro každý blok v záložce nastavení je vytvořeno unikátní pole. Celkem jsou tedy vytvořena tři pole

pro nastavení primárních zařízení, sekundárních zařízení a cenového limitu FVE. Do každého pole jsou vloženy JSON objekty v počtu závislém na množství prvků v jednotlivých blocích, kde je každý parametr zařízení identifikován originálním klíčem. Pro předávání informací mezi serverem a klientem je využit datový formát JSON. Pro porozumění předchozího textu je vhodné uvést alespoň krátký popis formátu JSON.

Data mohou být skladována v různých formátech, ale obvykle je snaha data ukládat ve formátu textového souboru, který je čitelný počítačem. Z hlediska sjednocení postupů práce s daty je vhodné definovat určitou strukturu těchto dat, a právě tuto strukturu nám poskytuje formát JSON. Výhodou využívání takovýchto struktur je jazyková nezávislost. Tím pádem mohou být data zpracována nezávisle na programovacím jazyce (Introducing JSON).

Poté co jsou získány všechny hodnoty, tak jsou i všechny jednotlivá pole je obsahující předána metodě „POST“, která je využívána pro odeslání dat na server. Obecně lze říci, že metoda post je metodou využívanou k zasílání dat serveru za pomoci protokolu HTTP, který je právě k účelu komunikace mezi klientem a serverem stvořen. Takto získaná data jsou na straně serveru extrahována a následně jsou uložena do databázového serveru.

Aby nedocházelo k hromadění zbytečných záznamů v databázovém serveru, tak pouze při prvním zápisu dochází k tvorbě jednotlivých prvků v tabulce databáze. V případě smazání prvku nebo změny hodnoty prvku dochází k nahrazení původní hodnoty novou hodnotou. Tímto způsobem jsou uložena data pro všechny tři bloky primárních zařízení, sekundárních zařízení a limitu FVE do databázového serveru.

Na straně serveru nedochází pouze k příjmu dat od klienta, ale naopak i k zasílání dat pro grafy a notifikace klientovi ze strany serveru. Z databázového serveru jsou stažena data v rozmezí stanoveném momentálním datem, případně časem. Pro tvorbu denních grafů jsou využívána data v rozmezí od počátku dne až po aktuální čas. Pro grafy zobrazující týdenní rozmezí je využíváno aktuálního data jako limitního data. Od tohoto limitního data je vypočteno datum posunuté o sedm dní do minulosti. Tímto způsobem jsou získána data za posledních sedm dní.

Pro komunikaci mezi klientem a serverem je opět využíván formát JSON. Vzhledem k povaze komunikace mezi klientem a serverem je využito asynchronních funkcí. Asynchronní funkce vyčkávají, dokud nejsou všechna data potřebná pro vykreslení grafů předána klientovi. Následně jsou data využita k vykreslení grafů. Data pro tvorbu notifikací jsou ovšem dále zpracovávána. Poté co jsou funkci předána data, tak dochází k sestavení jednotlivých notifikací na základě získaných dat. Součástí tohoto procesu je i analýza příchozích dat na jejímž základě dochází k případným změnám barvy notifikace.

Na straně klienta je implementován i přepínač, který uživateli umožňuje přepínat mezi denním a týdenním zobrazením, které je provázáno pro všechny grafy na stránce. Tím pádem nemusí uživatel přepínat manuálně jednotlivé grafy mezi zobrazeními, ale všechny grafy jsou naráz přenastaveny na denní či týdenní zobrazení.

2.3 ALGORITMUS ŘÍZENÍ

Algoritmus řízení v konceptu celé aplikace lze chápat jako základní stavební blok a nejdůležitější část celé aplikace. Algoritmus řízení se stará od komunikace s databázovým serverem až po spínání jednotlivých pinů na desce Raspberry Pi. Obecně lze říci, že algoritmus řízení získá data z databázového serveru a provede jejich zpracování. Zpracování v tomto smyslu lze chápat jako určité vyhodnocení dat, které v závislosti na výsledku vyhodnocení provede specifický úkon.

2.3.1 Prvotní nastavení

Před samotným během programu, který je periodicky spouštěn a stará se o získání a následovné zpracování dat dochází k nastavení parametrů, které není potřebné periodicky měnit. K těmto parametrům patří nastavení módu jednotlivých pinů Raspberry Pi. V tomto případě byly všechny využitě piny nastaveny pro práci v režimu výstupů. Dalším neměnným nastavením je nastavení parametrů připojení k databázovému serveru. Při spuštění algoritmu je tedy provedeno i připojení k specifikovanému databázovému serveru. V případě že by spojení nebylo navázáno anebo bylo v průběhu programu ztraceno, dojde k pokusu o navázání spojení pomocí opětovného spuštění programu.

Vzhledem k tomu, že kompletní struktura programu by pro popis v přesném pořadí, v jakém jsou úkony vykonávány mohla působit nepřehledně, tak je využito popisu programu po blocích. Tyto bloky jsou tři. Prvním blokem je blok programu starající se o získání a vyhodnocení dat primárních zařízení. Následuje blok programu, který provádí totožnou činnost pro sekundární zařízení. Posledním blokem je blok obstarávající stejné služby jako předchozí bloky, ale v tomto případě dochází k práci s daty, která rozhodují o stavu připojení FVE k distribuční síti.

Pro účely ovládání primárních zařízení bylo vyhrazeno pět pinů, které jsou využívány pro spínání reléových výstupů. Pinům je možné nastavit dva formáty, a to BCM nebo BOARD. V režimu BOARD jsou piny očíslovány podle umístění pinů na desce Raspberry Pi. Při

výsledcích denního trhu s elektřinou. Druhou sadou dat jsou dat obsahující informace o nastavení parametrů jednotlivých primárních zařízení.

Z hlediska funkce programu není nutné využívat původní formát výsledků denního trhu s elektřinou. Vzhledem ke snazší čitelnosti takto získaných dat bylo pro vývoji aplikace rozhodnuto o převodu dat do české měny a kilowatthodin. Takto upravená data byla následně seřazena v pořadí od nejmenšího po největší podle parametru ceny. Tímto způsobem seřazená data obsahují nejenom informace o ceně, ale i o časovém rozmezí kterého se cena týká.

Informace o nastavení primárních zařízení nejsou také využívány v originální formě, ve které byly získány z databázového serveru. Konkrétně každé zařízení obsahuje informace o nastavení času blokace. Tato informace je z databáze získána v datovém formátu string. Pro další zpracování získaných dat byla tedy provedena konverze do datového formátu času. Dalším krokem ve zpracování dat zařízení byla úprava doby běhu zařízení. Pro zařízení, jejichž běh není uživatelem stanoven na celé hodiny dochází k zaokrouhlení nahoru. Výsledkem tohoto zaokrouhlení je nejbližší celé číslo, které je větší nebo rovno zaokrouhlenému číslu. K této úpravě došlo z hlediska zjednodušení zpracování. Dalším důvodem bylo využití stavu, kdy je běh zařízení v rámci jedné hodiny účtován stejným tarifem a ve výsledku lze tedy provést zmíněné zaokrouhlení.

Výše byl popsán postup úpravy vstupních dat. Tato data jsou dále předávána dalším funkcím využívaným k jejich zpracování. Jako první je prováděna kontrola, která z algoritmu vyřadí zařízení s nulovou dobou běhu nebo zařízení, kterým nebyly nastaveny potřebné údaje. Následujícím krokem je roztřídění jednotlivých zařízení na základě blokace. Důvodem k tomuto třídění je rozdíl v dalším zpracování dat jednotlivých zařízení.

Pro každé zařízení obsahující časovou blokaci dochází k vytvoření seznamu spustitelných časových rozmezí. Tento seznam je vytvářen na základě požadavků zařízení. K tomu účelu je využívám seznam seřazených hodnot výsledků denního trhu s elektřinou podle ceny. Z tohoto seznamu jsou vybrána data splňující požadavek cenového limitu konkrétního zařízení. Z takto vytvořeného seznamu dat jsou odstraněna data nacházející se v časové blokaci zařízení. Pro zařízení bez nastavené blokace dochází ke stejnému postupu ovšem bez odstranění hodnot na základě blokace, která v tomto případě neexistuje. Pro každé zařízení je tedy vytvořen tento unikátní seznam na základě vstupních parametrů. Následuje kontrola, která určí, zdali získaný seznam časových rozmezí obsahuje dostatek těchto rozmezí pro splnění doby běhu zařízení. V případě, kdy není možné na základě nastavených parametrů zajistit dobu běhu zařízení, tak dochází k označení tohoto zařízení identifikačním znakem signalizující chybu.

Následujícím krokem je provedení akcí na základě zpracovaných dat. Pro všechna zařízení je prováděna kontrola identifikačního znaku, který je ukazatelem chyby nastavení zařízení. V případě nalezení takového zařízení dochází k vytvoření unikátní chybové hlášky. Tato hláška obsahuje název zařízení a důvod vytvoření chybové hlášky. Chybová hláška je následně předána funkci, která se stará o její odeslání a uložení na databázový server ze kterého je získána a zobrazena uživateli. Zařízení, kterému nebyl přiřazen identifikační znak a splňuje tedy zadané parametry je spínáno. Spínání těchto zařízení je prováděno na základě časového rámce konkrétního zařízení. Program porovnává systémový čas s časovým rámcem jednotlivých zařízení a v případě schody dojde k sepnutí zařízení. V opačném případě dochází k rozepnutí kontaktů reléového výstupu. Spínání výstupních pinů se řídí seznamem zařízení na webové stránce a pořadí pinů na Raspberry Pi. Pro první zařízení v seznamu na webové stránce dochází k sepnutí reléového výstupu připojeného na pin 18. Pro druhé zařízení dochází k sepnutí pinu 23 atd.

2.3.3 Algoritmus řízení sekundárních zařízení

Druhý blok řízení sekundárních zařízení využívá také dvě sady vstupních dat. Opět jsou využívána data obsahující informace o výsledcích denního trhu s elektřinou. Druhou sadou dat jsou dat obsahující informace o nastavení parametrů jednotlivých sekundárních zařízení. Data o výsledcích denního trhu s elektřinou jsou zpracována stejným způsobem jako při úpravě dat pro primární zařízení, tedy s rozdílem vynechání seřazení dat podle parametru ceny. V seznamu sekundárních zařízení také dochází k úpravě vstupních dat ovšem v tomto případě je prováděno pouze zaokrouhlení doby běhu zařízení stejným způsobem jako pro primární zařízení.

Upravená vstupní data jsou následně předána funkci starající se o jejich zpracování. Stejně jako u primárních zařízení je prováděna kontrola, která z algoritmu vyřadí zařízení s nulovou dobou běhu nebo zařízení, kterým nebyly nastaveny potřebné údaje.

Průběh algoritmu pro sekundární data se v určitých částech podobá předchozímu algoritmu. Data jsou stejně jako ta předchozí získávána z databázového serveru a podstupují stejné úpravy. Opět dochází k předání takto transformovaných dat další funkci. Tato funkce zpracovává získaná data principiálně stejně jako předchozí, ale nachází se zde značné odlišnosti. Jako první je třeba uvést, že sekundární zařízení je nutné provozovat kontinuálně. Není tedy možné uspokojit dobu běhu vícenásobným spuštěním během celého dne tak jako u primárních zařízení, ale je nutné zajistit kontinuální dobu běhu.

Z tohoto důvodu algoritmus musí pracovat jiným způsobem než algoritmus řízení primárních zařízení. Ze seznamu výsledků denního trhu s elektřinou jsou odstraněny stejně jako v předchozím algoritmu prvky s cenou přesahující stanovenou cenovou hladinu. Takto upravený seznam je následně seřazen v pořadí posloupnosti hodin dne. Na základě informací o běhu zařízení dochází k vytvoření skupin posloupností hodin v rozsahu doby běhu zařízení. Pokud není v celém denním rozsahu nalezena skupina posloupností hodin, která by splňovala požadavek doby běhu zařízení tak dojde k vytvoření zprávy dále využívané k tvorbě notifikace upozorňující uživatele na tuto skutečnost. Vzhledem k tomu že z hlediska uživatele je nejvíce limitujícím faktorem cena, tak má zpráva formu notifikace informující uživatele o nevhodnosti spuštění zařízení v tento den vzhledem k nastavené limitní hodnotě ceny.

Pokud byly nalezeny skupiny posloupností hodin, které splňují kritérium cenové hladiny, tak dochází k dalšímu zpracování dat. Pro každou skupinu posloupností je vypočtena suma hodinových sazeb elektrické energie. Na základě tohoto výpočtu dochází k výběru skupiny časových posloupností s nejnižší výslednou hodnotou, která tak přímo vyjadřuje nejlevnější běh zařízení. Takto je získáno časové rozmezí, ve kterém je nejekonomičtější spustit zmíněné zařízení. Na základě tohoto výsledku je vytvořena unikátní zpráva pro konkrétní zařízení obsahující jeho název a čas spuštění. Zpráva pro konkrétní zařízení, a to jak upozorňující uživatele na neekonomičnost spuštění zařízení v tento den, tak i naopak zpráva doporučující spuštění v konkrétní hodinu je předána notifikační metodě, která ji zapíše na databázový server, ze kterého je získána webovou stránkou.

2.3.4 Algoritmus řízení připojení FVE k distribuční síti

Třetí a poslední blok je blok řízení připojení FVE k distribuční síti. Pro funkci tohoto algoritmu jsou z databázového serveru staženy opět dvě sady dat. První sadou jsou data, která zadal uživatel do webové stránky. Konkrétně se jedná o limitní hodnotu, za kterou je uživatel ochotný el. energii generovanou fotovoltaickou elektrárnou prodávat do distribuční sítě. Druhými daty jsou znovu data obsahující informace o výsledcích denního trhu s elektřinou.

Tyto dvě sady dat jsou předány metodě, která na základě určení systémového času nalezne časové okno podle dat z OTE, ve kterém se momentálně program nachází. Ve chvíli, kdy je toto časové rozmezí nalezeno, tak dochází k porovnání stanovené limitní ceny prodeje do distribuční sítě a dat o ceně el. energie z dat získaných ze stránek operátora trhu s elektřinou. Pokud se aktuální cena elektřiny podle dat získaných ze stránek OTE vyskytuje pod uživatelem nastavenou hodnotou, tak dochází k rozepnutí kontaktu relé, které se stará o připojení či

odpojení FVE od distribuční sítě. V opačném případě a tedy případě, kdy je výkupní cena elektrické energie vyšší, jak uživatelem nastavená hodnota dochází k sepnutí relé.

Pro účely ovládání připojení či odpojení FVE od distribuční sítě byl vyhrazen jeden pin, který je využíván ke spínání reléového výstupu. Jedná se o pin 7. V případě využití značení board se jedná o pin 26.

2.3.5 Možná rozšíření

Vzhledem k povaze aplikace jsou možnosti pro různá vylepšení skoro neomezené. Ovšem některá vylepšení by měla na funkci aplikace větší dopad. Jako jedno z těchto vylepšení lze uvést dynamické tvoření seznamů zařízení. V představené podobě aplikace obsahuje jak pro primární, tak pro sekundární zařízení pět polí. Lze tedy v každé kategorii zařízení přiřadit pouze pět jednotlivých zařízení. Toto omezení by bylo možné překonat přidáním funkcionality zajišťující neomezené vytváření a případné mazání jednotlivých zařízení. Primárně by se jednalo o úpravy na straně webové stránky. Databázový server a samotný algoritmus řízení je navrhnout tak, aby mohl pracovat s narůstajícím počtem zařízení. Dále by bylo nutné provést úpravu aplikace, která by řešila počet ovládaných výstupů. Jednalo by se tedy o úpravu výstupní funkce algoritmu řízení, která v momentální podobě spíná výstupní piny Raspberry Pi podle specifikovaného seznamu pinů.

Právě tato úprava přímo souvisí s již zmiňovaným počtem ovládaných výstupů. Pokud by došlo k úpravě webové stránky umožňující neomezený počet zařízení, tak by stále docházelo k omezení ze strany maximálního počtu využitelných pinů Raspberry Pi. Tento problém je možné řešit dvěma způsoby. První možností je využití rozšiřovačů výstupních pinů a druhou možností je implementaci datové komunikace. V obou případech by bylo možné zajisti galvanickou izolaci, která by byla více než vhodná v případě poruchy.

Jako poslední z úprav programu s větším dopadem by bylo vhodné aplikovat vizualizaci ovládání. Jednalo by se tedy o výpis všech zařízení a jejich stavu z hlediska algoritmu řízení. Uživatel by tedy měl přehled, jaká zařízení jsou momentálně sepnutá.

3 ZPROVOZNĚNÍ

Aby bylo možné zmíněný algoritmus řízení a webovou stránku na Raspberry Pi provozovat, tak je nutné zajistit instalaci knihoven, programů atd. Tato kapitola se tedy zabývá tímto nastavením a lze ji chápat jako návod ke zprovoznění praktické části diplomové práce na Raspberry Pi.

3.1 NASTAVENÍ RASPBERRY PI

3.1.1 Instalace LAMP

Jako první je nutné na Raspberry Pi nainstalovat sadu softwaru využívaného pro vývoj dynamických webových stránek. Jedná se o webový server Apache, databázový systém MySQL, skriptovací programovací jazyk PHP a programovací jazyk Python. Ačkoliv je možné instalovat tyto jednotlivé prvky samostatně, tak je vhodné využít tzv. LAMP. Jedná se o sadu zmiňovaného softwaru a je tak možné si ulehčit práci.

3.1.2 Konfigurace databázového systému

V předchozím kroku došlo k instalaci samotného databázového systému na Raspberry Pi a je tak možné začít plně tento systém využívat. Pro usnadnění správy databázového systému je ale vhodné nainstalovat programový systém phpMyAdmin.

V tomto programovém systému je následně nutné vytvořit uživatele s právy pro tvorbu databází a nových uživatelů. Pomocí tohoto administrativního uživatele je nutné vytvořit šablonu databázového systému se kterým pracují další programy. Pro usnadnění práce je k této diplomové práci poskytnuta již předem vytvořená šablona, kterou je možné nalézt v příloze pod názvem „mysql_template.sql“. Tuto šablonu tedy stačí pouze nainportovat.

Aby mohly programy pracovat s databázovým systémem, tak je nutné těmto programům přidělit přístup k této databázi. Vzhledem k tomu, že není vhodné programům přidělit přímý přístup k databázi s plnými právy administrátora, tak je využito právě administrativního účtu k vytvoření uživatele s náležitě omezenými právy. Ačkoliv je možné vytvořit uživatele s jakýmkoliv jménem a heslem, tak v případě změny na jiné, než doporučené přihlašovací údaje je nutné tyto údaje pozměnit ve všech programech pracujících s databázovým systémem. Proto je tedy doporučeno vytvořit uživatele se jménem „scraper“ a heslem „ote_scraper“.

3.1.3 Nastavení pro funkci algoritmu řízení

Aby bylo možné provozovat algoritmus řízení, tak je nutné zajistit funkci tří základních programů. Jedná se o program zajišťující web scraping stránek OTE, web scraping dat výroby FVE a samotný algoritmus řízení starající se o zpracování těchto dat na jejichž základě provádí akce. Tyto programy jsou umístěny v příloze diplomové práce ve složkách s názvy „ote_scraper“, „pv_scraper“ a „hardware“. Tyto složky je možné umístit podle preferencí uživatele, ale v tomto případě byly tyto složky umístěny na Raspberry Pi v adresáři dokumentů. V případě změny umístění je nutné pozměnit i znění příkazů v softwarovém démonu Cron.

Softwarový démon Cron souvisí s dalším nastavením programů v těchto složkách, kterým je nutné pozměnit práva tak, aby byly spustitelné. Lze se tedy pokusit o spuštění jednotlivých programů umístěných v těchto adresářích. Pokud nebude možné zajistit spuštění programu kvůli chybějícím knihovnám tak je nutné tyto knihovny doinstalovat. Posledním krokem je tedy stažení potřebných knihoven. Právě k tomuto účelu slouží příložený soubor „packages.txt“ ve kterém je možné nalézt seznam všech použitých knihoven.

3.1.4 Softwarový démon Cron

Aby bylo možné spouštět jednotlivé programy podle předem definovaných parametrů jako je například spuštění po restartu systému, tak je nutné nainstalovat softwarový démon Cron. Poté co dojde k jeho instalaci, tak je potřebné vytvořit skript, který se stará právě o nastavení spínání programů. K vytvoření tabulky obsahující tyto příkazy je použit následující příkaz:

```
crontab -e.
```

Následně dojde k otevření okna, do kterého lze překopírovat obsah souboru který obsahuje přednastavení. Tento soubor je připojen jako příloha diplomové práce s názvem „crontab_table.txt“. Poté stačí pouze uložit nastavení a po dalším spuštění systému bude toto nastavení fungovat. Vzhledem k tomu, že je většina příkazů spojena právě se spuštěním systému, tak dojde ke správné funkci až po opětovném spuštění systému.

3.1.5 Nastavení pro funkci webové stránky

Dalším krokem je zajištění funkce webové stránky. K tomu je nutné umístit příložený soubor s názvem „app“ do adresáře „www“, který je umístěn na adrese /var/www/.

Vznikne tedy adresář app s umístěním „/var/www/app/“. V tomto adresáři je následně potřebné vytvořit virtuální prostředí. Opět záleží na preferencích uživatele, ale pro funkci přiložených příloh je vhodné toto virtuální prostředí pojmenovat „env“. Následně je nutné toto virtuální prostředí aktivovat a nainstalovat potřebné knihovny. V tomto případě jsou všechny knihovny přiloženy takovým způsobem, že stačí pouze zadat speciální příkaz, který zajistí kompletní instalaci všech potřebných knihoven. Jedná se o příkaz:

```
pip3 install -r requirements.txt.
```

Po instalaci všech potřebných knihoven je možné ukončit virtuální prostředí. V případě, že by z nějakého důvodu nedošlo k instalaci všech potřebných knihoven, tak je nutné tyto knihovny jednotlivě doinstalovat.

3.1.6 Nastavení Apache

K tomu, aby došlo ke spuštění webové stránky na Apache je nutné provést nastavení tohoto webového serveru. Jako první je potřebné nainstalovat „mod_wsgi“. To lze provést příkazem:

```
pip install mod-wsgi.
```

Po instalaci je následně nutné povolit toto rozšíření příkazem:

```
sudo a2enmod wsgi.
```

Následně je nutné vytvořit konfigurační soubor pro Apache. Tento soubor je vytvořen příkazem:

```
sudo nano /etc/apache2/sites-available/dashboard.conf.
```

Uživateli se zobrazí okno, do kterého překopíruje obsah přiloženého souboru s názvem „dashboard_conf.txt“. Pokud nedošlo k žádné změně názvů nebo umístění výše zmíněných souborů a adresářů, tak stačí pouze překopírovat obsah zmíněné složky a ten uložit. Následně je tento konfigurační soubor přidán do seznamu spuštěných stránek příkazem:

```
sudo a2ensite dashboard.
```

Posledním krokem je restartování samotného webového serveru příkazem:

```
sudo service apache2 restart.
```

3.1.7 Nastavení webového prohlížeče

Posledním krokem je nastavení funkce webového prohlížeče. Po spuštění či restartu Raspberry Pi klasicky dochází pouze k načtení pracovní plochy operačního systému. Aby bylo

dosaženo stavu, kdy po spuštění Raspberry Pi dojde k automatickému zobrazení webové stránky využívané k zobrazení dat a ovládání algoritmu řízení, tak je potřebné tuto činnost nastavit. Toho lze dosáhnout pomocí následujících kroků.

Jako první je nutné zkopírovat složku automatického startu webového prohlížeče Chromium. Toho je dosaženo následujícím příkazem:

```
cp /etc/xdg/lxsession/LXDE-pi/autostart ~/.config/lxsession/LXDE-pi/.
```

Poté je nutné provést úpravu tohoto zkopírovaného souboru. Toho lze dosáhnout příkazem:

```
nano ~/.config/lxsession/LXDE-pi/autostart.
```

Takto zobrazený soubor je nutné upravit. Upravený kód tohoto souboru by měl být podobný následujícímu kódu:

```
@lxpanel --profile LXDE-pi  
@pcmanfm --desktop --profile LXDE-pi  
#@xscreensaver -no-splash  
point-rpi  
@chromium-browser --start-fullscreen localhost.
```

Nejdůležitější částí tohoto kódu je poslední řádek. Tento řádek stanoví, že po startu Raspberry Pi dojde k načtení webového prohlížeče v celoobrazovkovém režimu a zároveň bude načtena konkrétní webová stránka. V tomto případě byla jako tato stránka zvolena stránka s adresou „localhost“ jelikož se jedná o adresu, na které je spuštěna webová aplikace.

3.2 NASTAVENÍ WEBOVÉ STRÁNKY

Z předchozího textu by již mohl uživatel odhadnout jakým způsobem by měl nastavit jednotlivé parametry zařízení a co tyto parametry znamenají, ale tento popis je provázán s algoritmem řízení a mohlo by tak dojít k nedorozuměním. Je proto vhodné uvést stručný popis nastavení parametrů webové stránky. Následující text se tedy bude týkat tohoto tématu.

V podstatě všechna nastavení, která může uživatel provést jsou umístěna v záložce „NASTAVENÍ“, pokud tedy není do tohoto popisu zahrnuto prvotní nastavení uživatelského účtu. Toto nastavení je pouze klasické vytvoření uživatelského účtu zadáním uživatelského jména, hesla a emailu a nebude tedy dále probíráno.

Po otevření záložky nastavení se uživateli zobrazí stránka, kterou lze rozdělit na tři části. Každou část lze identifikovat tím, že je oddělena nadpisem. Jako první zde uživatel nalezne blok „Nastavení primárních zařízení“. Do této kategorie spadají všechna zařízení, která je možné

přímo ovládat případně spínat a jejich běh nemusí být kontinuální. Jako příklad nastavení takového zařízení lze uvést zařízení typické pro tuto kategorii, a to akumulční nádrž. Uživatel tomuto zařízení může nastavit pět parametrů. Prvním parametrem je název zařízení a není snad třeba toto pole dále vysvětlovat. Lze pouze doplnit že název by měl být stručný, výstižný a rozlišitelný. Druhým parametrem je příkon zařízení a tento parametr lze obvykle nalézt na štítku každého zařízení. Tento parametr tedy stačí pouze přepsat do tohoto pole. Třetím parametrem je doba běhu. Doba běhu je doba, po kterou musí zařízení denně běžet, aby bylo dosaženo požadované funkce. Tato hodnota není exaktní a spíše se jedná o odhad uživatele, jak dlouhou dobu musí zařízení denně pracovat. Pro tento konkrétní případ se tedy jedná o odhad, jak dlouho musí být ohřívána voda v akumulční nádrži, aby bylo zajištěno její ohřátí na požadovanou teplotu. Čtvrtým parametrem je parametr blokace. Pokud chce uživatel zamezit funkci zařízení v určitém časovém rozmezí, tak v tomto poli může toto časové rozmezí nastavit. V tomto případě si lze uvést jiný příklad, a to příklad využití boileru. Pro boiler může uživatel na základě svého úsudku stanovit, že není výhodné ohřívát vodu v boileru od deseti hodin do čtyř hodin jelikož by stejně nedošlo k využití takto ohřáté vody. Tento parametr je nepovinný a pokud uživatel nepožaduje blokaci zařízení, tak je možné toto pole nechat nevyplněné. Posledním polem je pole cenové hladiny. Do tohoto pole je vyplněna maximální cena, za kterou je uživatel ochotný zařízení provozovat.

Algoritmus řízení tyto hodnoty zpracuje a pokud dojde ke stavu, kdy by nebylo možné provozovat zařízení, a to ať z důvodu časové blokace nebo překročení limitní ceny, tak dojde k vyvolání chybové hlášky, která uživatele varuje o skutečnosti, že nelze dosáhnout hodnoty nastavené doby běhu podle specifikovaných parametrů.

Dalším blokem je blok „Nastavení sekundárních zařízení“. Všechny nastavitelné parametry zařízení jsou totožné s nastavením primárních zařízení s výjimkou doby blokace. Lze se tedy řídit předchozím popisem nastavení. Na rozdíl od primárních zařízení musí sekundární zařízení pracovat kontinuálně, a to tedy bez přerušení. Jako příklad lze uvést pračku. Pračka jako taková nemůže být spuštěna pouze hodinu, poté vypnuta například na pět hodin a znovu spuštěna na zbývající dobu zvoleného programu praní. Do této kategorie zařízení tedy spadají zařízení, která nemohou být přerušena v jejich činnosti a také nemohou být přímo spínána. Pro sekundární zařízení tedy nedochází ke spínání reléových výstupů, ale je vytvořena notifikace na webových stránkách. Tato notifikace obsahuje informace, které uživateli doporučí, kdy konkrétní zařízení sepnout tak aby na základě zadaných parametrů došlo k co nejekonomičtějšímu běhu tohoto zařízení. V opačném případě je uživatel informován, že není doporučeno v tento den spouštět zařízení vzhledem k nastaveným parametrům.

Posledním blokem je blok „Nastavení limitní ceny prodeje FVE“. Zde je pouze jedno pole s názvem cenová hladina. Pokud se uživatel rozhodne omezit prodej elektrické energie do distribuční sítě pod hodnotou ceny, kterou vnímá jako nerentabilní, tak může tuto hodnotu nastavit. V případě, kdy dojde ke snížení hodinové ceny elektrické energie pod stanovenou limitní hodnotu, tak dojde k sepnutí relé, které zajistí přerušování dodávky elektrické energie do distribuční sítě.

4 ZHODNOCENÍ

Cílem diplomové práce byl návrh a vytvoření řídicího systému elektrické spotřeby domácnosti s využitím fotovoltaické elektrárny jako alternativního zdroje. Tohoto cíle bylo úspěšně dosaženo.

Při realizaci této práce bylo nalezeno mnoho problémů, a to větších či menších. Největší problémy vznikaly na straně softwaru. Jeden z takových problémů se týkal využití knihovny Scrapy pro web scraping. Program pro web scraping byl vyvíjen mimo platformu Raspberry Pi. V tomto vývojovém prostředí program fungoval bezchybně, ale při snaze využití tohoto programu na platformě Raspberry Pi nastaly problémy se spuštěním. Další problém byl také spojený s knihovnou Scrapy, a to kvůli snaze získat data z webové stránky o spotřebě domácnosti a výrobě FVE. Tato data byla obnovována periodicky, ale nebyla obsažena v prvotní HTML odpovědi a nebylo tedy možné provést získání těchto dat pomocí Scrapy. Z tohoto důvodu musel být web scraper pro tuto stránku vytvořen v podstatě znovu za pomoci jiné knihovny. Stejný osud měl i program pro získání dat ze stránek OTE, jelikož tento program, jak již bylo zmíněno nebylo možné spustit na platformě Raspberry Pi.

Další problémy z hlediska softwaru byly spojené s dotykovým displejem připojeným k Raspberry Pi, který byl využíván k lokálnímu přístupu k webovému rozhraní aplikace. Hned po instalaci bylo nutné upravit nastavené rozlišení tak aby odpovídalo rozlišení příslušné obrazovky. Jako další problém se v určitém slova smyslu dá brát i složitost změny nastavení jasu displeje. Nejenom, že ke změně tohoto nastavení nebylo možné přistoupit přímo, ale bylo nutné změnit obsah určitého souboru. Tento soubor byl navíc přesunut a přejmenován mezi verzemi operačního systému Raspberry Pi a tato skutečnost nebyla řádně zdokumentována.

Posledním problémem, na který bylo při vývoji softwaru diplomové práce naraženo bylo načítání samotného displeje. Příležitostně totiž docházelo ke stavu, kdy bylo možné s Raspberry Pi pracovat pomocí připojení SSH, ale připojený displej jevil pouze známky napájení z hlediska funkce podsvícení obrazovky. K samotnému zobrazení operačního systému ovšem nedošlo. Tento problém se podařilo vyřešit pozměněním spouštění programů pomocí softwarového démona Cron. Poté co byla skriptům spouštěným ihned po restartu zařízení přidána prodleva mezi restartem a samotným spuštěním skriptu, tak už docházelo k očekávané funkci displeje.

5 ZÁVĚR

Diplomová práce se věnovala velice aktuálnímu tématu. Vzhledem k čim dál většímu nárůstu počtu domácích fotovoltaických elektráren přímo připojených na distribuční síť a jejich výrobní povaze lze očekávat stále větší dopad právě na burzovní ceny elektřiny. Již nyní je možné využívat služeb nákupu elektrické energie za spotové ceny. Tyto spotové jinak také nazývané velkoobchodní ceny mění svou hodnotu každou hodinu a je proto velice vhodné zajistit spínání jednotlivých spotřebičů s ohledem na aktuální cenu tak aby bylo dosaženo maximální možné úspory.

Záměrem této práce bylo vytvoření systému pro řízení elektrické spotřeby objektu připojeného k distribuční síti se záložním zdrojem v podobě FVE. Tento řídicí systém založený na platformě jednodeskového mikropočítače Raspberry Pi měl za úkol s využitím webového a databázového serveru ovládat vybraná zařízení tak, aby došlo k optimalizaci nákladů objektu ze elektrickou energii. Jednalo se tedy o úlohu ekonomické optimalizace nákladů. Dále měl tento řídicí systém za úkol zpracovat informace o výkonu FVE a na základě výsledků algoritmu řízení zajistit spínání reléových výstupů využívaných k ovládání zařízení.

Všechny požadavky byly úspěšně splněny a práce tedy splňuje zadání. Z webu operátora trhu s elektřinou a webu domácnosti jsou získávána data o cenách elektrické energie, výkonu fotovoltaické elektrárny a spotřebě domácnosti. Tato data jsou ukládána do databázového serveru, ze kterého jsou získávána a zpracovávána algoritmem řízení a webovou stránkou.

Na webové stránce jsou uživateli graficky zobrazeny informace o výkonu FVE, bilanci domácnosti z hlediska poměru exportované a importované elektrické energie z distribuční sítě a přepočtené informace o cenách elektrické energie přejaté z webu OTE. Ve všech případech je možné zobrazit tato data v denním a týdenním rozsahu. Na této webové stránce je také možné stanovit parametry algoritmu řízení podle preferencí uživatele pro jednotlivá zařízení. K tomuto nastavení parametrů je možné přistoupit ať již přímo na připojené dotykové obrazovce k Raspberry Pi nebo na lokální síti pomocí webového prohlížeče, a to i z mobilního telefonu.

Pro nastavení zařízení byly vytvořeny dvě kategorie dělicí zařízení na taková zařízení, která je možné přímo ovládat a zařízení, která tuto funkci nepodporují. Souběžně jsou zařízení, která lze přímo ovládat stanovena jako zařízení, která nevyžadují kontinuální běh. Jedná se například o boilersy, akumulární nádrže atd. Tato zařízení tedy primárně musí splnit dobu běhu, ale je již jedno, zdali bude zajištěn kontinuální provoz. Zařízení v druhé kategorii jsou zařízení,

která nelze přímo ovládat a zároveň se jedná o zařízení, která musí pracovat kontinuálně. Jedná se tedy typicky o zařízení jako je pračka, myčka, sušička atd.

První skupina zařízení je ovládána přímo pomocí reléových výstupů připojených k Raspberry Pi. Druhou skupinu zařízení nelze přímo ovládat, a tak jsou pro tato zařízení tvořeny notifikace na webové stránce, kde je uživateli doporučen nejvýhodnější čas spuštění konkrétního zařízení.

Poslední možným nastavením je nastavení limitní ceny prodeje elektrické energie vyrobené FVE do distribuční sítě. Po překročení minimální hodnoty limitní ceny dojde k sepnutí relé, které může být využito pro omezení dodávky elektrické energie vyrobené pomocí FVE do distribuční sítě.

POUŽITÁ LITERATURA

- Types of photovoltaic cells. *Energy Education* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Types_of_photovoltaic_cells
- HYDER, Zeeshan, 2022. Compared: Grid-tied, off-grid, and hybrid solar systems. *SolarReviews* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.solarreviews.com/blog/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems>
- LiFePO4 vs. Lead-Acid Batteries: Which is Best for Solar Power Systems?, 2023. *ANETHIC* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.anethic.com/blog/lifepo4-vs-lead-acid-batteries-which-is-best-for-solar-power-systems>
- MURDEN, David, 2022. LIFEPO4 VS. LITHIUM-ION BATTERIES – HOW TO DECIDE WHICH ONE YOU NEED. *Eco Tree Lithium* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://ecotreelithium.co.uk/news/lifepo4-vs-lithium-ion-batteries/>
- Časté dotazy, c2023. *Solární Asociace* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/pro-verejnost/caste-dotazy>
- JAKÝ JE ROZDÍL MEZI ZELENÝM BONUSEM A VÝKUPNÍ CENOU?, 2022. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/jaky-je-rozdil-mezi-zelenym-bonusem-vykupni-cenou>
- Elektrina - cena elektřiny 2023, 2023. *Kurzy.cz* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/>
- KALKULÁTOR ERÚ ODHALUJE CENY DODAVATELŮ PRO ROK 2019, 2018. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/kalkulator2019>
- GRIC, Zdeněk, 2021. Domácnosti odebírající elektřinu za velkoobchodní ceny by za pět let ušetřily průměrně 25 % nákladů. U plynu dokonce polovinu, ukazují data. *Nazeleno.cz* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/domacnosti-odebirajici-elektrinu-za-velkoobchodni-ceny-by-za-pet-let-usetrily-prumerne-25-nakladu.u-plynu-dokonce-polovinu-ukazuji-data/>
- Krátkodobé trhy, 2023. In: *OTE* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/denni-trh>
- Přehled výroby, spotřeby a dodávky elektrické energie domu s malou FVE 5 kW, 2023. In: *Nesvara* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.nesvara.cz/>
- Python Scrapy Tutorial, c2023. *Coders Legacy* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://coderslegacy.com/python/scrapy-tutorial/>
- Scrapy 2.8 documentation, c2008-2023. *Scrapy* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://docs.scrapy.org/en/latest/>
- Selecting dynamically-loaded content, c2008-2023. *Scrapy* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://docs.scrapy.org/en/latest/topics/dynamic-content.html>
- How to Use Selenium to Web-Scrape with Example, 2020. *Towards Data Science* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/how-to-use-selenium-to-web-scrape-with-example-80f9b23a843a>

- A Guide to Web Scraping from Client-Side Rendered Websites using Python, 2023. *Medium* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://medium.com/@pelinokutan/a-guide-to-web-scraping-from-client-side-rendered-websites-using-python27-f7f0fbd642eb>
- User's Guide, c2011. *Flask: The Pallets Projects* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://flask.palletsprojects.com/en/2.2.x/>
- Crontab, c2001-2004. *The Open Group* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/utilities/crontab.html>
- Introducing JSON. *Json* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.json.org/json-en.html>

PŘÍLOHY

A – CD

Příloha k diplomové práci

System řízení elektrické spotřeby objektu s využitím FVE

Bc. Ondřej Polanský

CD

OBSAH

- 1 Text diplomové práce ve formátu PDF
- 2 Soubor programů diplomové práce