

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

**ŘÍZENÍ A MONITORING ENERGETICKÉHO
MANAGEMENTU RODINNÉHO DOMU S OZE A
AKUMULACÍ**

MONITORING AND CONTROL FOR ENERGY MANAGEMENT OF FAMILY HOUSE WITH RES AND
ACCUMULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Kupka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Ondřej Kupka

ID: 174338

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Řízení a monitoring energetického managementu rodinného domu s OZE a akumulací

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvořit koncept řízení energetického managementu pro rodinný dům s OZE a akumulací s možností monitoringu (vizualizace). Pro dosažení hlavního cíle je nutné zvládnout problematiku možnosti řízení spotřeby, tarifní politiky distributorů, efektivní využití OZE pro RD a vhodné metody akumulace energie.

1. Proveďte rešerši na téma: Možnosti řízení spotřeby a tarifní politika.
2. Prostudujte a popište možnosti obnovitelných zdrojů pro rodinné domy a jejich efektivní využití.
3. Prostudujte a popište možnosti akumulace elektrické energie pro aplikace v rodinných domech.
4. Navrhněte demonstrační úlohu pro ukázkou možnosti energetického managementu se zohledněním tarifů, OZE, akumulace a potřeb uživatele.
5. Vytvořte vizualizaci pro správu a monitoring.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

GOLUŠIN, Mirjana, DODIC, Siniša, POPOV, Stevan. Sustainable Energy Management. 1st edition. Waltham: Elsevier, 2013. 384 p. ISBN 978-0-12-415978-5.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Jirgl, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá moderními prostředky pro efektivní řízení energetických zdrojů v rodinném domě. Shrnuje možnosti využití obnovitelných zdrojů energie, akumulčních systémů elektrické energie a řídicí systémy systémové instalace. Praktickou částí této práce je návrh algoritmu na PLC pro řízení energetického managementu, který je složen ze solární elektrárny, baterie a elektrické přípojky, která střídá vysoký a nízký tarif. Tento řídicí proces je vizualizován prostřednictvím uživatelského rozhraní na HMI panelu.

KLÍČOVÁ SLOVA

zdroje energie; akumulace; systémová elektroinstalace; optimalizace spotřeby; energetická samostatnost; obnovitelné zdroje energie; PLC; IDEC

ABSTRACT

Bachelor's thesis describes possibilities of energy consumption's control in a family house. The thesis summarizes useful sources of renewable energy which could be used in a residential building. Show popular technologies for accumulation of energy with capacity which can cover a consumption of electricity of average family for one day. The last theoretical section is survey of market with smart grid developers and compare two main companies TECO a.s. and LOXONE with turnkey solution. Practical part of work is focused on a simulation of building energy management which is going on PLC and is visualized by HMI touch panel

KEYWORDS

energy sources; accumulation; system electrical wiring; consumption optimization; energetic independence; renewable energy; PLC, IDEC

KUPKA, Ondřej. *Řízení a monitoring energetického managementu rodinného domu s OZE a akumulací*. Brno, Rok, 75 s. Semestrální projekt. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Jirgel, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma „Řízení a monitoring energetického managementu rodinného domu s OZE a akumulací“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor(ka) uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto semestrálního projektu jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Miroslavu Jirglovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	10
1 Inteligentní budovy	11
1.1 Úvod do systémové elektroinstalace	11
1.2 Výčet funkcí systémové elektroinstalace RD	12
1.3 Management energetického hospodářství BEMS (Building Energy Management System)	12
1.3.1 Prvky BEMS	13
2 Zdroje elektrické energie v RD	15
2.1 Fotovoltaická elektrárna	15
2.1.1 Fotovoltaický panel	15
2.1.2 CPV (Concentrated Photovoltaics)	16
2.2 Další zdroje OZE	18
2.2.1 Větrná elektrárna	18
2.2.2 Vodní elektrárna	19
2.3 Palivové články	20
2.3.1 Konstrukce a princip palivového článku	20
2.3.2 Využití palivových článků	21
2.4 Elektrická přípojka	21
2.4.1 Tarify a sazby elektřiny	22
3 Možnosti řízení spotřeby	24
3.1 Spotřeba energie v rodinném domě	24
3.2 Spotřebiče	24
3.3 Tepelné čerpadlo (TČ)	25
3.3.1 Princip tepelného čerpadla	25
3.3.2 Zdroje tepla pro Tepelné čerpadlo	26
3.3.3 Parametry TČ	29
3.4 Neřízená spotřeba	30
3.5 Řízení spotřeby uživatelem	30
3.6 Řízení spotřeby algoritmem na základě stereotypu uživatele	30
3.7 Řízení spotřeby algoritmem s využitím predikce	31
4 Akumulace elektrické energie v RD	32
4.1 Rozdělení akumulátorů podle principu akumulace	32
4.1.1 Olovněné akumulátory	32
4.1.2 Li-ion akumulátory	33

4.1.3	NiMH akumulátory	34
4.2	Lídři na trhu bateriových systémů	34
4.2.1	Tesla Powerwall	34
4.2.2	Sonnen eco compact	35
4.2.3	Aquion Aspen Saltwater batteries	36
4.2.4	LG Chem RESU	37
4.2.5	Budoucí výrobci energetických úložišť	38
4.2.6	Velkokapacitní baterie HE3DA	38
5	Systémy systémové elektroinstalace	41
5.1	Stávající situace na trhu	41
5.1.1	Centrální řídicí systém	42
5.2	Systém FOXTROT společnosti TECO a.s.	42
5.2.1	Centrální řídicí systém	42
5.2.2	Funkce	42
5.2.3	Využití energie	43
5.2.4	Energetická úložiště a elektromobilita	43
5.3	Systém společnosti LOXONE	44
5.3.1	Centrální řídicí systém	45
5.3.2	Modularita	45
5.3.3	Využití energie	46
5.4	Další řídicí systémy	46
5.5	Srovnání systému	46
6	Návrh demonstrační úlohy	48
6.1	PLC IDEC FC6A	48
6.2	HMI panel IDEC HG3G	49
6.3	Dílčí části systému	49
7	Programové řešení	51
7.1	Vývojové prostředí	51
7.2	Konfigurace	51
7.3	Dílčí části programu	52
7.4	Solární panel	52
7.5	Tepelné čerpadlo	53
7.6	Baterie	54
7.7	Uživatelská kapacita	56
7.8	Spotřebiče	56
7.9	Algoritmus	57
7.10	Časové funkce	59

7.11	Přípojka	60
7.12	Statistiky	61
8	Uživatelské prostředí	62
8.1	Vývojové prostředí a konfigurace	62
8.2	Hlavní obrazovka	63
8.2.1	Energetický mix	63
8.2.2	Baterie	63
8.2.3	PV panel	63
8.2.4	Spotřebiče	63
8.3	Nastavení	64
8.4	Statistiky	65
8.5	Grafy	66
8.6	Vzdálená správa	67
9	Závěr	69
	Literatura	71
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	75

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	BEMS (Building Energy Management System) [24]	14
2.1	Fotovoltaická elektrárna [4]	15
2.2	Srovnání technologie Si a CPV [17]	17
2.3	Princip koncentrace slunečního záření pomocí Fresnelovy čočky [17]	18
2.4	Princip vodíkového palivového článku [8]	21
2.5	Tarifní politika [16]	23
3.1	Graf příkladu spotřeby energie v rodinném domě. [27]	24
3.2	Graf průměrných a přesně měřených hodnot spotřeby v čase [28]	25
3.3	Princip TČ [11]	27
4.1	Baterie TESLA [20]	35
4.2	Baterie SONNEN	36
4.3	Baterie Saltwater [20]	37
4.4	LG Chem RESU [20]	38
4.5	Princip 3D technologie [19]	39
5.1	Řídicí systém FOXTROT [14]	43
5.2	Využití energie v systému TECO Foxtrot [14]	44
5.3	Systém LOXONE [15]	45
5.4	Řídicí systém FOXTROT [15]	45
6.1	PLC IDEC FC6A [25]	48
6.2	HMI panel IDEC HG3G [26]	49
6.3	Dílní části systému	50
7.1	Vývojové prostředí WindLDR V	51
7.2	Konfigurace PLC	52
7.3	Diagram subrutiny Solární panel	53
7.4	Diagram subrutiny Baterie	55
7.5	Diagram funkce opožděný start	57
7.6	Diagram subrutiny Algoritmus	58
7.7	Diagram subrutiny Časové funkce	59
7.8	Diagram funkce výpočet uživatelské kapacity	60
8.1	Vývojové prostředí WindOI-NV4	62
8.2	Hlavní obrazovka	64
8.3	Obrazovka Nastavení	65
8.4	Obrazovka Statistiky	66
8.5	Graf denní spotřeby	67
8.6	Screenshot vzdálené správy	68

ÚVOD

V dnešní době jsou pojmy jako zelená energie, solární panely, obnovitelné zdroje všeobecně rozšířené a známé. Známý je také fakt, že fosilních paliv nezastavitelně ubývá a zároveň jejich spotřeba roste. Tento proces devastuje jak životní prostředí, tak zdraví populace. Občané se obracejí na své vlády a volají po změně, kterou má přinést podepsaná Pařížská dohoda, kterou 170 států světa ratifikovalo. Dohoda si dává za cíl rapidně snížit emise skleníkových plynů. Zdrojů znečištění je mnoho a prostor ke zlepšení je otevřen v každém sektoru. Nejjednodušší cesta, jak emise snížit, plyne ze zjevné přímé úměry. Čím více se dané komodity nebo produktu vyrobí, či spotřebuje, tím více emisí vznikne.

Tato práce si klade za cíl popsat moderní prostředky, které mohou zefektivnit spotřebu energie, která je potřebná pro průměrný rodinný dům a zároveň zvýšit uživatelský komfort. Až 40 procent energie [3], která je v Evropské unii vyrobena, se spotřebuje v domácnostech. Paradoxem zůstává, že naprostá většina populace chce dýchat čistý vzduch, avšak nehodlá se vzdát svého pohodlí, což většinou znamená vyšší energetickou náročnost.

Cestou, jak zachovat uživatelský standart, je efektivní a racionální využití všech zdrojů, které jsou k dispozici. V úvodu této práce je představen termín BEMS (Building energy management system). Pod tímto pojmem si lze představit veškeré energetické toky budovy, jejich řízení a monitoring. Tedy všechny zdroje a spotřebiče, které jsou v domě využívány. Pokud jsou řídicí procesy správně nastaveny, automatizovány a v harmonii s uživatelem, nastane stav, kdy uživatel zároveň šetří, pomáhá snižovat emise a zvyšuje se jeho životní standard. Základem může být inteligentní budova. Tento termín je známý již od konce 80. let a skrývá se pod ním řízení systémů, které jsou spjaté s domem (světla, topení, žaluzie), avšak neklade si za cíl maximalizovat efektivitu energetických zdrojů.

Praktickou částí této práce je návrh demonstrační úlohy, která simuluje systém energetického managementu rodinného domu, ve které budou využity simulační data pro baterii, solární panel a požadovaný výkon. Vizualizace systému bude realizována na dotykovém panelu, který zároveň bude uživatelským rozhraním s možností monitoringu, kontroly a vzdálené správy.

1 INTELIGENTNÍ BUDOVY

Termín „inteligentní budova“ má svůj původ v USA, kde byl poprvé použit koncem 80. let minulého století k definici vzájemně propojených technických prostředků, poskytovaných služeb a prostředků správy velkých budov navržených tak, aby jako celek co nejvíce uspokojovaly potřeby uživatelů i vlastníků budovy. Postupně se po celém světě zrodila celá řada dalších definicí pojmu „inteligentní budova“, více či méně se odlišujících podle toho, zda jejich autor kladl důraz na technickou či systémovou stránku věci. Ve všech je však obsaženo základní hledisko – multidisciplinární přístup k projektu stavby tak, aby byly optimálním způsobem splněny požadavky jak vlastníka budovy, tak i jejích uživatelů.

Obsah pojmu „inteligentní budova“ lze výstižným způsobem popsat následující formulací: „Inteligentní budovy jsou objekty s integrovaným managementem, tj. se sjednocenými systémy řízení (technika prostředí, komunikace, energetika), zabezpečení (kontrola přístupu, požární ochrana, bezpečnostní systém) a správy budovy (plánování, pronájem, leasing, inventář). Optimalizací těchto složek a vzájemných vazeb mezi nimi je zabezpečeno produktivní a nákladově efektivní prostředí. Inteligentní budova pomáhá vlastníkově, správci i uživateli realizovat jejich vlastní cíle v oblasti nákladů, komfortu prostředí, bezpečnosti, dlouhodobé flexibility a prodejnosti. Inteligentní budova uspokojuje současné potřeby vlastníka a nájemce budovy a může být jednoduše přizpůsobena jejich rostoucím nárokům v budoucnosti, umožňuje úspory pořizovacích i provozních nákladů.“ [2].

1.1 Úvod do systémové elektroinstalace

Systémová elektroinstalace slouží pro řízení a ovládání veškerých systémů a procesů, které můžeme v bytech, rodinných domech (dále v textu budou rodinné domy označovány jako RD), či průmyslových budovách najít. Je to nový směr elektroinstalace, který je znám také pod pojmem inteligentní elektroinstalace. Objekt se po zavedení systémové elektroinstalace stává „inteligentním“ a zajišťuje tak optimální vnitřní prostředí pro komfort osob prostřednictvím stavební konstrukce, techniky prostředí, řídicích systémů, služeb a managementu.

Tato instalace zahrnuje komplexní řízení domu s provázaností na všechny instalované prvky v domě, které jsou pomocí elektrické energie napájené nebo řízené.

Hlavní předností těchto systémů je provázanost a vzájemná komunikace po sběrnici mezi jednotlivými technologiemi – topení, klimatizace, ohřev teplé vody, žaluzie, osvětlení, zásuvky, zabezpečovací systém, vrata a další systémy.

S příchodem systémové instalace se už nemusíme strachovat, jestli jsme vypnuli spotřebiče, snížili teplotu v místnosti, zhasnuli světla, zavřeli vchodové dveře nebo

vrata do garáže. Systém nám pomáhá tyto úkoly hlídat a ovládat za nás. S rozvojem chytrých mobilních zařízení se nám rozvíjejí možnosti ovládání, ke kterým také patří funkce dálkového ovládání domácnosti přes internet. Systémová elektroinstalace dokáže uspořit peníze a také zpříjemnit drahocenný čas, který může člověk strávit se svými přáteli.

Inteligentní elektroinstalace komplexně řeší použití samostatných technologií do jednoho funkčního celku. Projektování sbernic je jednoduché a přehledné. Složitost u této instalace přichází s připojováním senzorů, akčních členů a naprogramováním řídicího systému. Instalace v sobě spojuje klasická zařízení a postupy s technologiemi řídicích systémů slaboproudých zařízení. Díky automatizaci několika funkcí na základě jednoho povelu vytváří pro člověka příjemné prostředí, které může jednoduše ovládat.

Vložené peníze do systémové elektroinstalace se nám z části vrací zpět. Díky regulaci teploty, kdy například při otevření okna systém sám vypne topení nebo naopak v letních dnech zatahuje žaluzie, aby klimatizace nemusela ochlazovat teplejší vzduch vyhrátý od slunce. Úspora přichází také se spínáním vybraných spotřebičů v době nízkého tarifu elektrické energie nebo automatickým vypnutím rozsvíceného světla v případě, že čidlo neregistruje pohyb v místnosti. Další zhodnocení vložené investice se nám projevuje v navýšení hodnoty nemovitosti, právě díky zavedené systémové elektroinstalaci.

1.2 Výčet funkcí systémové elektroinstalace RD

- Svítidla, zásuvky
- Žaluzie, markýzy, rolety, závěsy, okna
- Topení, klimatizace, vzduchotechnika
- Bazénová technologie, sauna
- Garážová vrata, vjezdová brána, vstupní dveře
- Zahrada
- Vizualizace, GSM komunikace
- Elektrická zabezpečovací signalizace

1.3 Management energetického hospodářství

BEMS (Building Energy Management System)

Management energetického hospodářství BEMS (Building Energy Management System) slouží k monitoringu, řízení systému vytápění, ventilace, klimatizace (HVAC), ohřevu vody, osvětlení a dalších částí RD, které jsou spotřebitelem energie nebo

mají nepřímý vliv na spotřebu energií. Zajišťuje maximálně efektivní využití energií a komfortní ovládání pro uživatele. Realizuje se spojením řídicího systému, systémové instalace a vizualizace.

Rezidenční budovy v Evropě se podílejí 40 procenty na spotřebě energie v Evropské Unii. Je tedy žádoucí zefektivnit využití energií a to i z důvodu Nařízení Evropské unie z roku 2010 a 2012, které mimo jiné vyžadují, aby nově postavené budovy po roce 2020 měly spotřebu energie blížící se nule a staly se tedy pasivními a energeticky soběstačnými. [3] Toto nařízení by mělo být naplněno kombinací využitím moderních izolačních technologií, efektivními systémy pro chlazení nebo vytápění a také využitím IoT (Internet of Things). Je žádoucí, aby systémy byly zastřešeny nadřazeným centrálním ovládacím členem, který zajistí kooperaci. Dále se státy ratifikací výše uvedených nařízení zavázaly k zřízení kontrolních mechanismů, které mají za úkol měřit a doložit energetickou náročnost budovy, která je nedílnou součástí technické zprávy k danému objektu. Díky tlaku Evropské unie, zvyšující se ceny energií a rostoucí dostupností potřebných technologií, se otevírají dveře pro využití OZE (Obnovitelné zdroje energie) v rezidenčních budovách a tím i minimalizace potřebné energie, která musí být do budovy dodána z distribuční sítě. Mezinárodní energetická agentura již v roce 1997 specifikovala tři základní požadavky, které by měl BEMS splňovat.

- Poskytnutí zdravého a pohodlného klima uvnitř budovy
- Zajistit bezpečnost uživatelů a majitelů.
- Zajistit ekonomický běh budovy, který zároveň respektuje jak energetickou efektivitu, tak pohodlí uživatelů

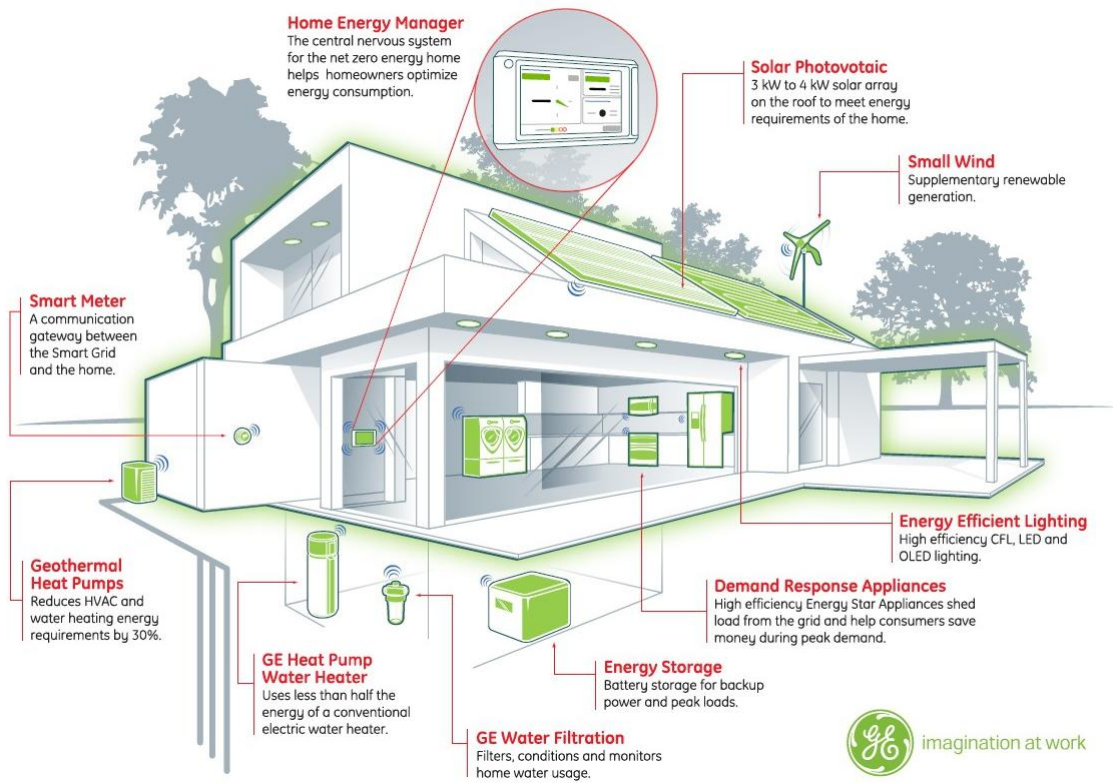
Z atributů uvedených v sekci výčet funkcí systémové elektroinstalace RD je jasné, že BEMS je schopen zajistit vše potřebné pro splnění podmínek, avšak je nezbytné zvážit všechny aspekty a funkce, kterými by měla budova disponovat již v prvo počátku plánování samotné výstavby. Pouze tehdy bude možné integrovat všechny systémy v jeden funkční celek.

1.3.1 Prvky BEMS

Do BEMS se řadí veškeré energetické toky, které se v budově nacházejí. Aby bylo dosaženo chtěné efektivity, je důležité, aby jednotlivé systémy kooperovaly. Tuto funkci má na starosti centrální řídicí prvek, kterým může být například PLC (Programmable Logic Controller - Programovatelný logický automat). Zdroji, které je potřeba řídit, může být OZE ale také elektronická přípojka, která má více než jeden tarif. Jednotlivé části BEMS budou představeny v následujícím textu. Níže je komplexní řešení společnosti GE, které zahrnuje většinu dnes používaných moderních technologií, které budou dále rozvedeny v následujícím textu.

Subsytémy BEMS

- Fotovoltaická elektrárna
- Energetické úložiště
- Geotermální vrt
- Větrná elektrárna
- Řídicí člen pro správu energetických toků



Obr. 1.1: BEMS (Building Energy Management System) [24]

2 ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE V RD

2.1 Fotovoltaická elektrárna

Solární energie je v dnešní době jeden z nejvíce využívaných obnovitelných zdrojů elektrické energie pro domácnosti. Fotovoltaika je technologie pro přímou přeměnu slunečního záření na elektřinu. Je považována za trvale udržitelnou technologii především díky nejdostupnějšímu obnovitelnému zdroji energie na Zemi, který představuje sluneční záření. Výroba elektřiny ze Slunce se provádí bez pohyblivých součástí. Technologický vývoj v tomto odvětví jde dopředu a s ním roste také účinnost panelů, klesá jejich cena a zvyšuje se životnost.

Množství vyrobené energie závisí na:

- Technologii výroby fotovoltaických panelů
- Intenzitě dopadajícího světla
- Ploše, na kterou světlo dopadá

Elektřinu, vyrobenou fotovoltaickými panely, je možno využít v domácnosti a přebytek skladovat v akumulátorech, popřípadě vracet do distribuční sítě. Fotovoltaika se skvěle doplňuje s domácími spotřebiči, jako jsou pračky, myčky, sušičky, chytré sekačky na trávu. Je to dáno tím, že tyto spotřebiče se mohou zapnout v době, kdy je přebytek elektrické energie, kterou člověk zrovna nevyužívá. Fotovoltaická elektrárna je soubor solárních panelů, střídače, podpůrných a jistících prvků a kabeláže. [4]



Obr. 2.1: Fotovoltaická elektrárna [4]

2.1.1 Fotovoltaický panel

Panel se skládá z fotovoltaických článků, které tvoří fotodiody. Zajišťuje přeměnu slunečního záření na elektrickou energii pomocí fotoelektrického jevu. Panely jsou naskládány vedle sebe a tvoří plochy fotovoltaické elektrárny. [4]

Základním principem článku je fotoelektrický jev. „Fotony slunečního záření dopadající na přechod P-N svou energií vyřazují z krystalické mřížky elektrony, které se stávají volnými a jsou zárodkem elektrického proudu. Je jisté, že ne všechny fotony uvolní elektrony. Princip je znám již dlouho, ovšem až při současném technologickém pokroku je možné získanou energii efektivně využít.“ [4]

Nejvyužívanějším materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík. V dnešní době neustále probíhá vývoj a výzkum nových technologií pro zlepšení účinnosti a snížení ceny fotovoltaických článků. Z dlouhodobého hlediska můžeme fotovoltaické články rozdělit do čtyř generací. Jednotlivé generace se liší např. obsahem křemíku a také účinností. [5]

2.1.2 CPV (Concentrated Photovoltaics)

Velkým problémem u solárních panelů, vyrobených ať už z monokrystalického, polykystalického či amorfního křemíku, je jejich malá účinnost a velký pokles této účinnosti s rostoucí teplotou. Z toho také plynou nejvíce vhodná geografická místa pro umístění fotovoltaické křemíkové elektrárny, kterými jsou zejména oblasti, kde je nízká okolní teplota a velké množství slunečních dnů.

Maximální účinnost, které bylo v laboratorních podmínkách u křemíkové technologie dosaženo, je cca 21 procent (Sanyo), přičemž v reálných podmínkách je právě kvůli tepelné závislosti nutno počítat s účinností až o třetinu menší. Další nevýhodou křemíkových solárních panelů je, že pro výrobu kvalitního panelu s vysokou účinností je třeba velké množství vysoce čistého křemíku. Výroba je tedy energeticky velmi náročná a ne hospodárná.

Zejména z výše uvedených důvodů se dostává do popředí fotovoltaika koncentrovaná neboli CPV (Concentrated Photovoltaics), kde hlavní myšlenka spočívá v koncentraci sluneční energie do malého bodu pomocí optického koncentrátoru. Do ohniska soustavy je umístěn malý fotovoltaický čip na bázi sloučenin GaAs, vyrobený epitaxní technologií MOVPE1. Průměr bodu, do kterého jsou sluneční paprsky koncentrovány, se typicky pohybuje od 2 do 10 mm. Optický koncentrátor je zpravidla řešen buď spojnou čočkou nebo zrcadlem. Hodnota optické koncentrace je dána poměrem plochy čočky a plochy čipu, přičemž typické hodnoty se pohybují v rozmezí 200 – 1000 x. Tento koncentrační poměr je také označován jako počet sluncí, kdy hodnota 500 znamená, že plocha čočky je 500x větší než plocha fotovoltaického čipu.

Účinnost solárních článků na bázi GaAs v laboratorních podmínkách dosahuje přibližně dvojnásobku účinnosti křemíkových článků, tedy cca 42 procent. Pokles účinnosti v porovnání s křemíkovými články je přibližně poloviční. [17]

Porovnání CPV a Si technologie

Základní srovnání obou technologií je uvedeno v Obr. 2.2 Z tabulky plyne, že u parametrů jako je účinnost přeměny energie a tepelný koeficient poklesu výkonu v závislosti na teplotě, technologie CPV dává přibližně dvojnásobně lepší výsledky než technologie Si. Relativní nevýhodou technologie CPV je potřeba přímého slunečního záření, neboť koncentrátor nedokáže soustředit rozptýlené (difúzní) světlo na povrch čipu. V praxi pak dochází ke značným výkyvům generovaného výkonu v závislosti na přechodu oblačnosti přes sluneční disk. Předpokladem tedy je použití této technologie v oblastech subtropického a tropického pásu, kde je velký počet slunečných dnů v roce.

Z principu optické soustavy vyplývá, že je u CPV nutné rovinu solárního panelu (a tedy i rovinu čipu) neustále udržovat kolmo k přicházejícím slunečním paprskům, jinak dochází k znatelným optickým ztrátám a poklesu účinnosti přeměny energie. Nevýhodou CPV je tedy potřeba přesného natáčecího systému, který musí být cenově přijatelný, a hlavně spolehlivý v dlouhém časovém horizontu.

Velmi důležité také je, že množství potřebného polovodičového materiálu, které je třeba k výrobě čipů o stejném výkonu, je u CPV 1000 x menší než u křemíku. Je to dáno právě koncentrací sluneční energie, kdy „chybějící“ plochu čipu CPV nahrazuje plocha čočky. [17]

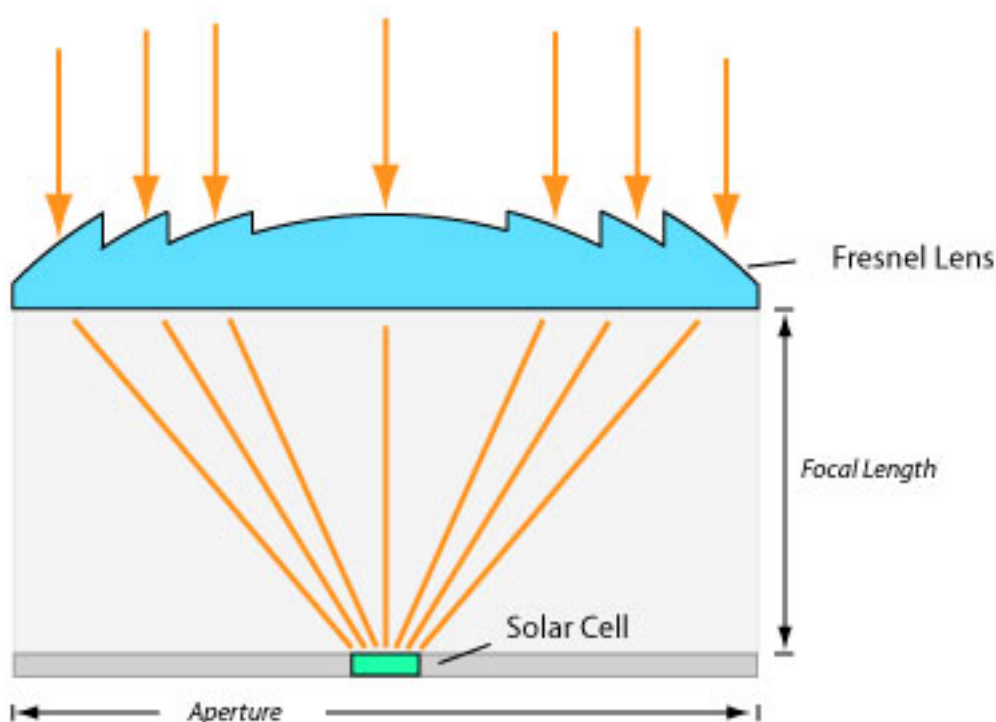
CPV	Křemíková technologie
Účinnost – 42 %	Účinnost – 23 %
Teplotní koeficient poklesu maximálního výkonu - 0,106 % / K	Teplotní koeficient poklesu maximálního výkonu - 0,35 % / K
Potřeba natáčecího systému	Není třeba natáčecí systém
Malé množství polovodičového materiálu	Je třeba cca 1000 x větší množství polovodičového materiálu než u CPV
Velikost potřebné plochy panelů pro 1 kW – cca 5 m ²	Velikost potřebné plochy panelů pro 1 kW – cca 10 m ²
Vyžaduje přímé sluneční záření	Nevyžaduje přímé sluneční záření

Obr. 2.2: Srovnání technologie Si a CPV [17]

Princip optického koncentrátoru

Hlavní důvod, proč se snažíme zvýšit koncentraci (hustotu) záření, je snaha ušetřit polovodičový materiál, který je drahý. Plochu ušetřeného polovodičového materiálu lze v principu nahradit plochou čočky, jejíž cena vychází mnohem příznivěji. Zvýšit hustotu záření, resp. provést jeho koncentraci, lze např. pomocí Fresnelovy čočky.

Optimální volba sluneční koncentrace se pohybuje v rozmezí $200 \times - 1000 \times$ a její přesná hodnota je kompromisem mezi účinností čipu, velikostí čipu a schopností čip uchlazit. Fresnelova čočka soustřeďuje sluneční záření do svého ohniska, kde je umístěn solární čip vyrobený ze sloučenin GaAs. Vzhledem k spektrální citlivosti čipu, která je v rozmezí cca 300–1800 nm je nutné, aby se spektrální charakteristika materiálu, ze kterého je čočka vyrobena, překrývala se spektrální charakteristikou solárního čipu. To samé přirozeně platí pro všechny další materiály, které vstupují do cesty slunečnímu záření, např. různé hermetizační hmoty, sekundární koncentrátory atp. [17]



Obr. 2.3: Princip koncentrace slunečního záření pomocí Fresnelovy čočky [17]

2.2 Další zdroje OZE

Další zdroje OZE již nejsou pro rezidenční dům atraktivní nebo jsou omezeny, například vodní elektrárna potřebuje stabilní zdroj tekoucí vody.

2.2.1 Větrná elektrárna

Větrná elektrárna je zařízení přeměňující kinetickou energii větru na elektřinu. V dnešní době existuje mnoho druhů s vertikální či horizontální osou otáčení.

Princip činnosti

Větrná turbína převádí sílu proudícího vzduchu působící na listy rotoru na rotační mechanickou energii. Ta je prostřednictvím generátoru převedena na energii elektrickou. Listy rotoru mají speciálně tvarovaný profil a pracují na principu buď vztlakové, nebo odporové síly. [6]

Nejčastěji používaná řešení:

- Mnohalopátkový rotor (Halladayova turbína)
- Energy ball
- Darrieova turbína
- Savoniova turbína

Česká republika, svou polohou, nepatří mezi státy, které by byly ovívány pravidelným a silným větrem. Rozběhová rychlost většiny malých elektráren je kolem 2,5 – 3,5 m/s. Samozřejmě platí, že čím větší rychlost větru, tím je turbína účinnější. Pro stavbu je důležité mít povolení od stavebního úřadu a také souhlas sousedů. V dnešní době je pro domácí využití odrazující především vysoká cena a malý výkon. [17]

2.2.2 Vodní elektrárna

Voda přitékající přívodním kanálem roztáčí turbínu, která je na společné hřídeli s generátorem elektrické energie. Dohromady tvoří tzv. turbogenerátor. Mechanická energie proudící vody se tak mění na základě elektromagnetické indukce (v otáčející se smyčce elektrického vodiče v magnetickém poli se indukuje střídavé elektrické napětí) na energii elektrickou. Ta se transformuje a odvádí do míst spotřeby. [7]

Nejčastěji používaná řešení:

- Mnohalopátkový rotor
- Bánkiho turbína
- Šneková turbína
- Vrtulová turbína
- Bezlopatková turbína SETUR

Účinnost vodních turbín se pohybuje v rozmezí 80 - 90 procent. Výběr nejvhodnější turbíny závislý na lokalitě průtoku, spádu, potřebného výkonu a pořizovacích nákladech. Výhodou je stabilní výkon, což je nejproblémovější parametr současných panelů OZE. Nevýhodou je však potřeba dostatečného zdroje tekoucí vody v blízkosti domu, což může mít za příčinu negativní lokalitu v podobě záplavové oblasti. Toto kritérium společně s vysokými pořizovacími náklady spojenými nejen s nákupem samotného zařízení, ale také prací a úpravou terénu pro vybudování elektrárny blízko říčního toku.

2.3 Palivové články

Palivový článek je zařízení sloužící k přímé přeměně chemické energie na energii elektrickou. Na první pohled by se mohlo zdát, že princip jeho funkce, založený na elektrochemické reakci, je podobný běžným bateriím či akumulátorům, je tomu však jinak.

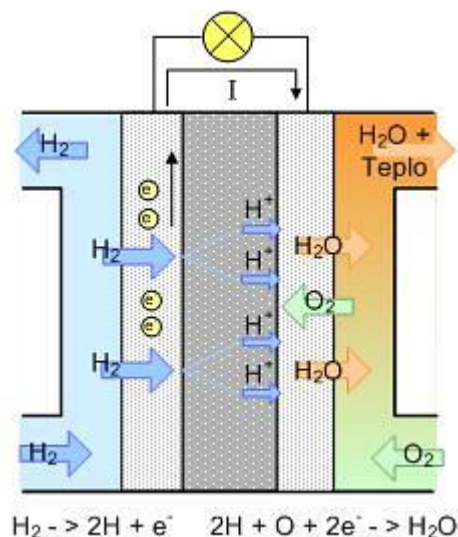
Pro svou funkci potřebuje běžný palivový článek kontinuální přísuv paliva, které v článku reaguje s oxidačním činidlem a za vzniku různých sloučenin, v závislosti na typu použitého článku a paliva, dochází k produkci elektrické energie.

2.3.1 Konstrukce a princip palivového článku

Každý palivový článek je tvořen třemi hlavními komponenty – anodou, katodou a elektrolytem či membránou. Nejběžnějšími a nejstaršími typy palivových článků jsou vodíkové.

Na anodu článku je přivedeno palivo, například právě vodík, který díky katalytické příměsi na povrchu anody (nejčastěji platině) disociuje na kladné ionty (protony) a elektrony. Membrána či elektrolyt, jež odděluje anodu od katody, umožňuje průchod pouze kladně nabitým protonům, přičemž volné elektrony prochází oddělenou cestou (elektrickým obvodem) a jsou příčinou vzniku elektrického proudu. Posledním krokem je sloučení protonů a elektronů s oxidačním činidlem na katodě za vzniku odpadních látek, v případě vodíkového článku je výsledným produktem chemické reakce voda.

Účinnost reakce samotné, která stojí za produkcí elektrické energie, se pohybuje v rozmezí 40 až 60 procent. V případě použití palivových článků v režimu kombinované výroby elektřiny a tepla se účinnost může vyšplhat až na procent 90, podobně jako u běžných kogeneračních jednotek. [8]



Obr. 2.4: Princip vodíkového palivového článku [8].

2.3.2 Využití palivových článků

Kromě vyšší pořizovací ceny palivových článků samotných ve srovnání s konvenčními zdroji energie je jejich největší nevýhodou neekonomičnost jejich provozu. Nejběžněji užívaným palivem pro jejich provoz je vodík, který se v přírodě běžně samostatně nevyskytuje.

Nejčastěji bývá vodík extrahován ze zemního plynu, méně často pak elektrolytickým způsobem z vody. Oba procesy jsou energeticky náročné, a proto tedy výroba vodíku pro jeho následné využití v palivovém článku není ekonomicky výhodná.

Jistou pomocnou rukou mohou být pro výrobu vodíku obnovitelné zdroje energie, které svou často nadbytečnou produkcí generují nadbytek elektrické energie v síti, která může být využita právě pro účely výroby vodíku. [8]

2.4 Elektrická přípojka

Jeden z možných způsobů získávání elektrické energie je napojení odběrného místa do distribuční soustavy pomocí elektrické přípojky. V takovém případě je elektřina odebírána a inkasována od dodavatele elektrické energie, který nám garantuje pravidelnou dodávku energie dle naší potřeby. V tomto případě dodavatel vyrábí elektrickou energii převážně z neobnovitelných zdrojů.

2.4.1 Tarify a sazby elektřiny

Koncový zákazník odebírá elektrickou energii od vybraného dodavatele v rámci produktu, který je buď jednotarifový, nebo dvoutarifový. Jednotarifová sazba znamená, že cena elektřiny je v průběhu 24 hodin konstantní, zatímco dvoutarifní sazba nám nabízí během dne různou cenu v průběhu dne. Střídá se vysoký tarif, u kterého platíme vyšší cenu a nízký tarif, kdy za elektřinu platíme méně.

Jestliže chce zákazník získat možnost využívat dvoutarifní sazby, je podmínkou, aby objekt vytápěl pomocí elektrické energie (tepelné čerpadlo, přímotopy) nebo využíval akumulární zařízení pro ohřev TUV (bojler). Při splnění alespoň jednoho z těchto požadavků a při dodržení technických podmínek pro zapojení těchto spotřebičů včetně předložení revizní zprávy má zákazník nárok na dvoutarifní sazbu. Domácnost poté využívá rozdílné ceny za odebranou elektřinu v době nízkého a vysokého tarifu. Nízkého tarifu je využíváno zejména spotřebiči jako je topení, pračka, myčka, bojler a jiné spotřebiče, které mají možnost odkladu své funkce o několik hodin.

Dvoutarifní sazby jsou rozděleny podle způsobu využití elektřiny a liší se v délce trvání vysokého a nízkého tarifu a jejím rozdělením v průběhu dne a cenou vysokého a nízkého tarifu. [16]

Jednotlivé tarify jsou uvedeny níže.

Sazba	Typ spotřebiče	Platnost nízkého tarifu	Další požadavky
D25d	Elektrický akumulční spotřebič pro vytápění nebo ohřev vody	8h	-
D26d	Elektrický akumulční spotřebič pro vytápění	8h	Součtový příkon všech el. akumulčních spotřebičů musí činit minimálně 55 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem
D35d	Elektrický hybridní (smíšený) spotřebič	16h	Součtový instalovaný příkon, včetně akumulčního spotřebiče pro ohřev užitkové vody, je-li nainstalován, musí činit minimálně 50% příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem
D45d	Elektrický přímotopný spotřebič	20h	Součtový instalovaný příkon, včetně akumulčního spotřebiče pro ohřev užitkové vody, je-li instalován, musí činit minimálně 40 % příkonu odpovídajícího hodnotě hlavního jističe před elektroměrem
D55d	Tepelné čerpadlo	22h	Pro čerpadla zprovozněná do 31. 3. 2005
D56d	Tepelné čerpadlo	22h	Tepelný výkon čerpadla musí krýt minimálně 60 % tepelných ztrát objektu
D61d	-	Pá 12:00-Ne 22:00	Pro chatové objekty

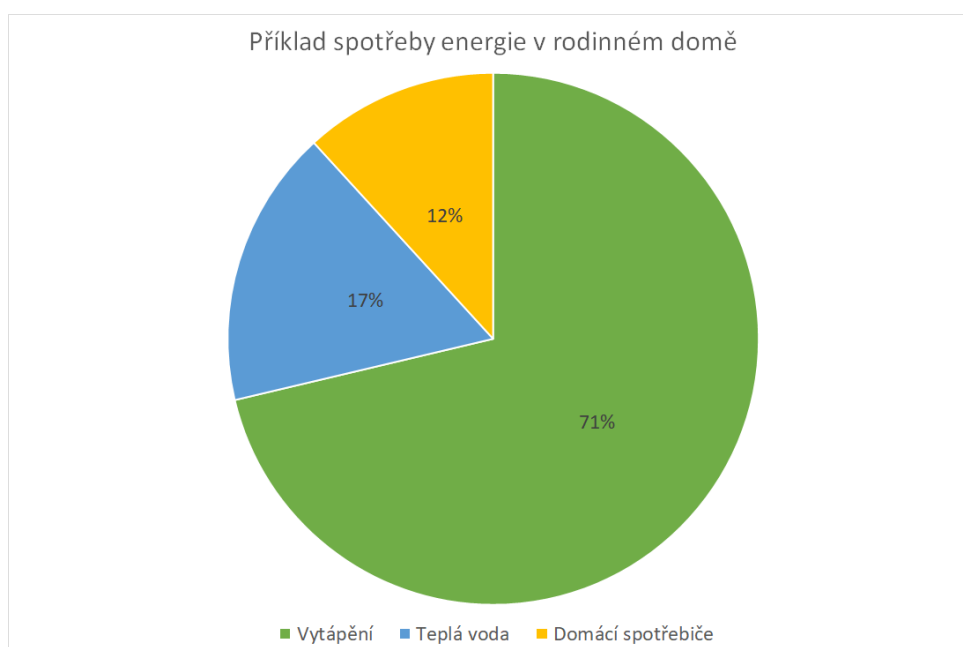
Obr. 2.5: Tarifní politika [16].

3 MOŽNOSTI ŘÍZENÍ SPOTŘEBY

Řízení spotřeby záleží na motivaci uživatele a na spotřebičích, které jsou v domě použity. V následujícím textu jsou uvedena řešení a hodnoty pro rodinný dům se čtyřčlennou rodinou.

3.1 Spotřeba energie v rodinném domě

Nejvíce energie se v průměrné české domácnosti spotřebuje na vytápění (50 až 80 procent), dalším významným konzumentem je ohřev teplé vody (15 až 30 procent) a zbylých 10 až 20 procent připadá na domácí spotřebiče. V domácnostech stále přibývají nové spotřebiče, ale na druhou stranu se zvyšuje jejich efektivita, tudíž spotřeba v ČR kolísá a významně neroste ani neklesá. [27]



Obr. 3.1: Graf příkladu spotřeby energie v rodinném domě. [27]

3.2 Spotřebiče

Z výše uvedených informací vyplývá, že nejvíce energie se spotřebuje na vytápění a ohřev teplé vody. Možností, jak vytápět a ohřívat vodu, je vícero. V praktické části této práce je použito tepelné čerpadlo a proto bude podrobněji popsáno níže.

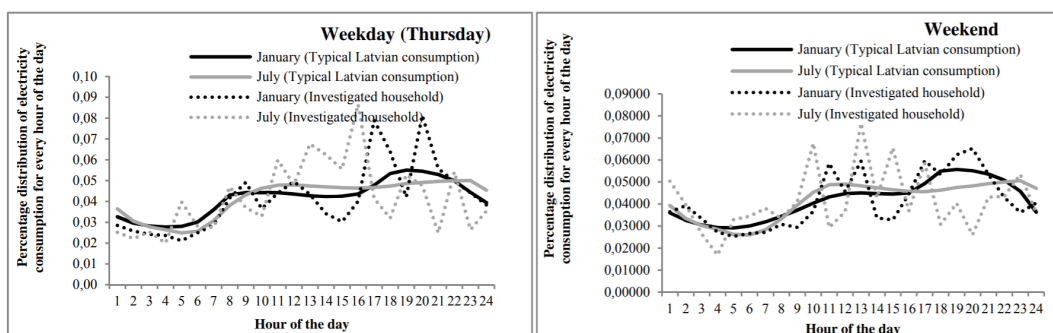
Nezanedbatelnou spotřebu však mají také domácí spotřebiče. Jak jde vidět na grafu měřené a průměrné spotřeby, během ranních a večerních hodin se objevují

strmé výkyvy. Tyto peaky jsou způsobuje chování uživatele, který spotřebiče využívá pouze, pokud je doma.

Tento fakt otevírá cestu spotřebičům, které jsou vybaveny zpožděným startem. Možností odložit start na energeticky méně náročnou dobu nebo spustit proces během nízkého tarifu, přináší uživateli možnost zvýšit efektivitu a pokud je k dispozici řídicí systém, uživatel nepřichází o svůj komfort. Podrobný popis využití funkce zpožděného startu je popsán v praktické části

Spotřebiče vybavené funkcí zpožděného startu:

- Pračka
- Sušička
- Trouba
- Myčka



Obr. 3.2: Graf průměrných a přesně měřených hodnot spotřeby v čase [28].

3.3 Tepelné čerpadlo (TČ)

TČ se řadí mezi alternativní zdroje energie. Odnímají teplo z okolního prostředí (vody, vzduchu nebo země), převádějí ho na vyšší teplotní hladinu a následně umožňují teplo účelně využít pro vytápění nebo ohřev teplé vody. TČ se většinou skládá ze dvou částí - venkovní a vnitřní. Vnitřní jednotku na první pohled nerozeznáte od běžného plynového kotle nebo ohřívače vody. Nemá žádné zvláštní nároky na umístění ani velikost prostoru a zajišťuje předávání tepla do topného systému. Venkovní část zajišťuje odebrání tepla ze zvoleného "zdroje" (země, vzduchu, vody). [9].

3.3.1 Princip tepelného čerpadla

TČ je energetické zařízení, které využívá nízkopotenciální energii ze svého okolí. K přečerpávání tepla z okolního prostředí je třeba dodávat určité množství energie,

obvykle elektrické. V současné době je naprostá většina TČ vybavena kompresory, i když existují i TČ založená na jiných principech, například absorpčních nebo tepelná čerpadla termoelektrická, či s paroproudovým oběhem. TČ obsahuje čtyři základní části chladicího okruhu: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Celý proces pak spočívá v cyklu se čtyřmi fázemi.

1. Vypařování

Chladivo v kapalně fázi přijímá energii prostřednictvím výparníku ze zdroje tepla. Zdrojem může být voda, vzduch, nebo země. Se vzrůstající teplotou se chladivo odpařuje do plynné fáze.

2. Komprese

Odpařené, avšak ještě studené chladivo v plynné fázi se pomocí kompresoru stlačuje a tím zvyšuje svůj tlak a teplotu. Chladivo vystupuje z kompresoru jako tzv. horký plyn.

3. Kondenzace

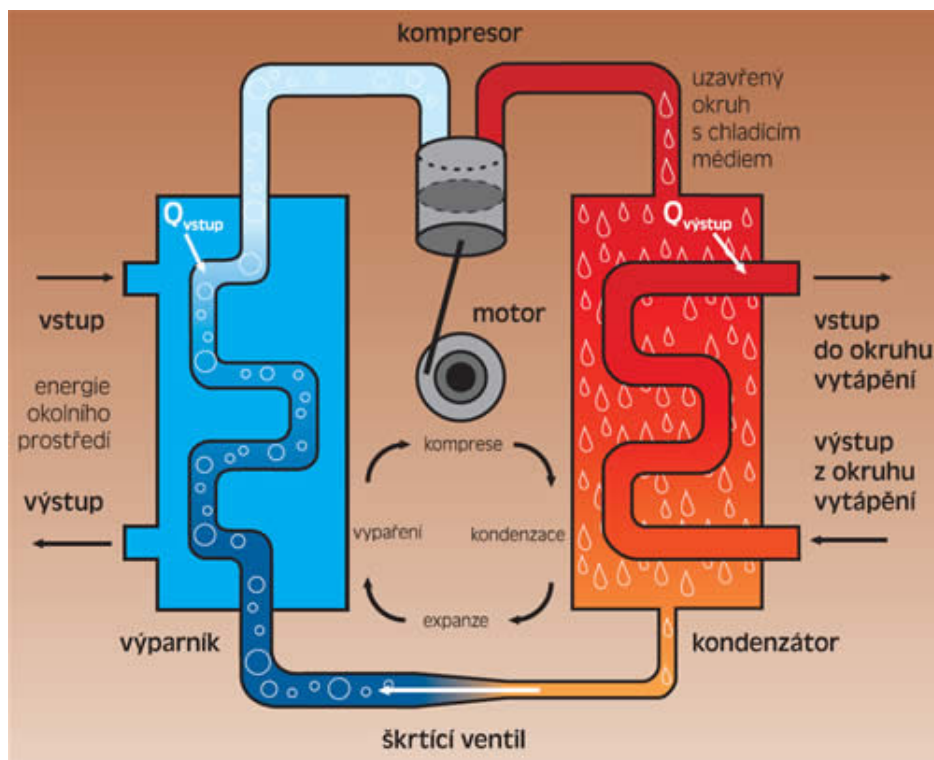
Horký plyn vstupuje do kondenzátoru, kde předává svou energii do topné soustavy a opouští kondenzátor jako teplé chladivo v kapalně fázi. Topná nebo teplá voda se tím ohřívá na požadovanou teplotu.

4. Dekomprese

Teplé chladivo v kapalně fázi se vede potrubím k expanznímu ventilu, kde se rázem sníží tlak. Tím se rovněž sníží najednou i teplota chladiva. Dále se chladivo vede do výparníku, kde rozdílem teplot odebírá energii z okolního prostoru. Tento cyklus se neustále opakuje. [10]

3.3.2 Zdroje tepla pro Tepelné čerpadlo

Tepelná čerpadla se vždy zkráceně označují podle toho, odkud teplo odebírají a jaké látce teplo předávají. Prakticky to znamená, že např. tepelné čerpadlo "vzduch/-voda" odebírá teplo z okolního vzduchu a předává vodě do topného systému. Tepelné čerpadlo "vzduch/vzduch" předává teplo vnitřnímu vzduchu a je tedy určeno pro teplovzdušné vytápění nebo klimatizaci. Nejobvyklejší kombinace jsou vzduch/voda, vzduch/vzduch, voda/voda, země/voda.



Obr. 3.3: Princip TČ [11].

Venkovní vzduch

Tepelná čerpadla, která využívají tepla obsaženého ve venkovním vzduchu, mohou být v několika provedeních. Systém se skládá z venkovní a vnitřní jednotky. Tyto jednotky mohou být instalovány separátně nebo obě integrovány do jednoho celku, který je umístěn uvnitř nebo vně objektu.

Výhody

- Tepelné čerpadlo lze použít prakticky ve všech případech bez omezení místními podmínkami (velikostí pozemku, nemožností zhotovení vrtů, atd.).
- Instalace nevyžaduje žádné zásahy do okolního prostředí (vrty, výkopové práce, atd.).
- Vyšší pořizovací cena samostatného tepelného čerpadla, ale nejsou vyžadovány žádné další náklady (výkopové práce, vrty, atd.). Podle místních podmínek tedy může být celková výše nákladů nižší než při budování vrtů.

Nevýhody

- Hluk venkovní jednotky s ventilátorem může v některých případech způsobovat problémy.
- Výkon tepelného čerpadla klesá s venkovní teplotou. A to mnohem výrazněji než u ostatních provedení. Tím narůstá spotřeba elektrické energie a mírně se

zvyšují náklady na provoz.

Zemní plošný kolektor

Tepelné čerpadlo využívá odběru tepla z půdy, např. ze zahrady. V hloubce přibližně 1 m a s roztečí také 1 m je položena plastová trubka (zemní kolektor), kterou proudí nemrznoucí kapalina. Instalace zemního kolektoru tedy vyžaduje plošnou skrývku poměrně velké plochy nebo bagrování dlouhých výkopů. Pro tepelné čerpadlo o výkonu 10kW je třeba přibližně 250-350 m² plochy pozemku. Výhodnější jsou půdy obsahující větší množství vody.

Výhody

- Nižší pořizovací náklady ve srovnání s vrty.

Nevýhody

- Na ploše kde je uložen zemní kolektor nelze stavět.
- Neustálým ochlazováním zemního kolektoru dochází v zimních měsících k jeho promrzání a tím snižování výkonu.
- Potřeba dostatečně velkého pozemku.

Hloubkové vrty

Tepelné čerpadlo využívá odběru tepla z hloubkových vrtů. Do vrtů se uloží plastová trubka, ve které proudí nemrznoucí kapalina. Pro tepelné čerpadlo o výkonu 10kW je třeba přibližně 120-180m vrtů. Jednotlivé vrty mohou být hluboké až 150m. Vrty musí být umístěny nejméně 10m od sebe.

Výhody

- Stabilní teplota zdroje tepla z vrtu (ve vrtu se teplota po celý rok prakticky nemění) a tím provoz s nízkými náklady. Spotřeba elektrické energie není téměř vůbec ovlivněna venkovní teplotou.

Nevýhody

- Poměrně vysoké pořizovací náklady na zhotovení vrtů.
- Neustálým ochlazováním vrtu dochází k jeho postupnému promrzání a tím se dlouhodobě snižuje výkon tepelného čerpadla.

Podzemní nebo povrchová voda

Využití studniční vody vyžaduje zejména celoročně dostatečně vydatný zdroj, který je nutno ověřit dlouhodobou čerpací zkouškou. Dále musí být zajištěno, aby zdroj vody po celou sezónu neklesl pod teplotu 6-7 °C. Neposledním kritériem je kvalita vody, která musí být dostatečná, aby nezanesla potrubí a čerpadlo.

Výhody

- Nižší pořizovací náklady ve srovnání s vrty.

Nevýhody

- Požadavky na kvalitu, dostatečné množství vody a teplotu vody.
- Venkovní část dále vyžaduje pravidelnou údržbu (čištění filtrů) a je náchylnější na poruchy např. sacího čerpadla).
- Omezení na lokalitu, s dostatečným zdrojem vody. [12]

3.3.3 Parametry TČ

Topný faktor tepelného čerpadla COP (coefficient of performance)

Definice topného faktoru jako parametru efektivity samotného tepelného čerpadla je uvedena v normě pro laboratorní zkoušení tepelných čerpadel a chladicích zařízení ČSN EN 14511 [1]. Hranicemi hodnocení je samotná funkční jednotka tepelného čerpadla. Topný faktor je poměr topného výkonu k celkovému elektrickému příkonu jednotky za ustálených provozních podmínek.

$$COP = \frac{\Phi}{P_c + P_{aux}} \quad (3.1)$$

kde

Φ je tepelný výkon tepelného čerpadla [kW]

P_c je elektrický příkon kompresoru [kW]

P_{aux} je elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty výparníku a kondenzátoru, odtávání výparníku a vlastní regulaci tepelného čerpadla [kW].

Jmenovité podmínky

U tepelných čerpadel se vždy uváděly jmenovité topné faktory COP při tzv. standardních (či normových) podmínkách, které pro jednotlivé druhy tepelných čerpadel jsou:

vzduch-voda A2/W35 (teplota vzduchu na vstupu do výparníku 2 °C, teplota otopné vody z kondenzátoru 35 °C)

země-voda B0/W35 (teplota solanky na vstupu do výparníku 0 °C, teplota otopné vody z kondenzátoru 35 °C)

voda-voda W10/W35 (teplota vody na vstupu do výparníku 10 °C, teplota otopné vody z kondenzátoru 35 °C)

Sezónní topný faktor tepelného čerpadla SCOP (seasonal coefficient of performance)

Topný faktor tepelného čerpadla COP stanovený měřením v laboratoři pro jednu kombinaci provozních podmínek nevyjadřuje dostatečně věrohodně provozní efektivitu tepelného čerpadla provozovaného celý rok v měnících se teplotních podmínkách

jak na straně výparníku (zdroje tepla), tak na straně kondenzátoru (odběru tepla), při měnícím se odběrovém výkonu, který tepelné čerpadlo kryje svým tepelným výkonem, případně musí být pokryt záložním zdrojem (elektro kotlem) podle míry dimenzování výkonu tepelného čerpadla vůči odběru. [13]

3.4 Neřízená spotřeba

Uživatel si v tomto případě neklade za cíl nad spotřebou přemýšlet a jde mu o nejvyšší komfort. Nemusí být nikterak informovaný a vybavení domu může být v jakékoliv konfiguraci. Výsledná spotřeba závisí hlavně na energetické náročnosti jak budovy samotné, tak na spotřebičích.

3.5 Řízení spotřeby uživatelem

V dnešní době se jedná o nejrozšířenější možnost. Uživatel chce za energii ušetřit a své pomoci se snaží snížit spotřebu, většinou na úkor komfortu. Dává si tedy pozor, aby energeticky náročné spotřebiče běžely během nízkého tarifu, snižuje a opět zvyšuje teplotu v bojleru v časech, kdy ví, že bude potřebovat větší množství teplé vody. Snižuje teplotu v místnostech, kde se aktivně nevyskytuje a teplotu opět zvýší až v momentu, kdy chce místnost aktivně využít.

Tento přístup rozhodně přispěje ke snížení nákladů za energii. Uživatel je však nucen ustoupit ze svého komfortu a neustále dohlížet na veškerý chod domácnosti. Stává se tedy do určité míry otrokem domu.

Dům by měl být vybaven jedním nebo více elektroměry, aby si uživatel mohl kontrolovat, zda je jeho přístup efektivní. Spotřebiče v domě by měly být vybaveny možností opožděného startu a konfigurace spotřebičů by měla umožnit dvoutarifového připojení k elektrické síti (tepelné čerpadlo nebo topení elektrickým kotlem)

3.6 Řízení spotřeby algoritmem na základě stereotypu uživatele

Algoritmus si klade za cíl zbavit uživatele starosti o energetický management domu. Uživatelská data mapují uživatelův stereotyp. Řídicí systém na základě těchto dat je schopen vyhodnotit, kdy bude elektrická energie potřeba a díky propojení všech dílčích systémů do jednoho celku je také schopen rozhodnout o nejefektivnějším využití elektrické energie v daném okamžiku. Praktická část práce je postavena na této strategii a je podrobně popsána v kapitole Návrh řešení. Pro maximální využití potenciálu řídicího systému je žádoucí, aby energetický management obsahoval

obnovitelný zdroj energie, úložiště energie, tarif se dvěma sazbami, spotřebiče s možností komunikace a měřením spotřeby.

3.7 Řízení spotřeby algoritmem s využitím predikce

Na základě predikce se dají získávat interní nebo externí data. Externími daty je například předpověď počasí, slunečního osvit, teploty atd. Interní data jsou získávána sběrem dat z objektu a díky nim odpadá nutnost uživatelských dat. Uživatelský stereotyp se tvoří na základě získaných dat a zpřesňuje se s množstvím získaných dat v čase.

V teoretické části jsou použita interní data pro předpověď spotřebované energie za vysokého tarifu. Podrobný popis je v kapitole Uživatelská kapacita. Práce by mohla být rozšířená o další funkce založené na predikovaných externích a interních datech v navazujícím magisterském studiu.

Konfigurace domu je stejná jako v předchozím řešení. Musí však být rozšířena o vstupy externích dat a senzoriku pro sběr interních dat.

4 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE V RD

Podíl elektřiny vyráběné z obnovitelných zdrojů (větrné a solární elektrárny) po celém světě velmi rychle roste. Vzhledem ke kolísavým výkonům těchto zdrojů elektrické energie je jak u síťových, tak u autonomních systémů i při kombinaci zdrojů nutno přizpůsobit spotřebu nebo část energie akumulovat.

Doposud žádná technologie schopná uchovat energii, nemá dostatečný výkon [W/kg] a zároveň hustotu energie [Wh/kg]. Proto se vytváří systémy, tvořené různými typy technologií uchovávající energii.

Pro RD přináší možnost akumulace naplno využívat všechny dostupné zdroje energie. Ať už spotřeba nadbytečného výkonu OZE nebo výhodná cena elektrické energie ze sítě.

4.1 Rozdělení akumulátorů podle principu akumulace

Akumulaci můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin podle principu uchovávání energie, na chemickou a fyzikální.

Chemická akumulace funguje na principu uchovávání energie v chemických vazbách elektrodového materiálu. Při tomto procesu dochází k vratným reakcím elektrodového materiálu s ionty z elektrolytu. Patří zde baterie, akumulátory a superkondenzátory.

Fyzikální princip akumulace využívá přeměn potenciální a kinetické energie. Můžeme zde zařadit přečerpávací vodní elektrárny, akumulaci energie ve stlačeném vzduchu nebo setrvačníky.

V této práci se budu zabývat pouze chemickými akumulátory, které jsou jako jediné perspektivní pro použití v RD.

4.1.1 Olovněné akumulátory

Olovněné akumulátory patří mezi nejstarší a nejvíce používané akumulátory. I když jsou ve velké míře nahrazovány novějšími Li-ion akumulátory, v některých oblastech jsou pro své vlastnosti stále nenahraditelné.

Akumulátor je tvořen několika sériově zapojenými články. Jednotlivé články tvoří systém kladných a záporných olovných desek ve formě mřížek, tyto mřížky jsou odděleny propustným separátorem a ponořeny do zředěné kyseliny sírové. Jeden olovný článek dosahuje svorkového napětí 2V. [22]

Výhody

- Malý vnitřní odpor (až 0,001 ohmu) (Vysoké zatížení v krátkém čase, proudové špičky).
- Velká energetická účinnost (až 85 procent).
- Schopnost zvládat nízké teploty
- Nízká cena

Nevýhody

- Vysoká hmotnost (4-5x větší než u alkalických akumulátorů)
- Ekologická zátěž
- Samovybíjení, které se v čase zvětšuje
- Sulfatace (Jev, který vzniká při skladování vybitých baterií. Na elektrodách začnou vznikat usazeniny)

4.1.2 Li-ion akumulátory

Lithiové akumulátory jsou používány od počátku 90. let a v současnosti patří k nejvíce běžně využívaným akumulátorům. Svými parametry překonávají a postupně nahrazují Ni-Cd, NiMH i olověné akumulátory.

Kladná elektroda je tvořena z jedné z následujících sloučenin: lithium-kobalt oxid (LiCoO_2), lithium-nikl dioxid (LiNiO_2), lithium-mangan oxid (LiMn_2O_4) nebo například lithium-vanad oxid (LiV_2O_5). Jako elektrolyt se používá bezvodný hexafluorofosfát (LiPF_6) v organickém rozpouštědle. Záporná elektroda je vyrobena z uhlíkového materiálu.

Při nabíjení se ionty lithia přesouvají z kladné elektrody na zápornou. Hlavní odlišností od jiných akumulátorů je, že ionty lithia jsou pouze vmíseny do mřížky materiálu záporné elektrody, bez vzniku chemické reakce. Díky absenci chemické reakce je dosaženo velmi dlouhé životnosti akumulátoru. Charakteristické je vyšší jmenovité napětí akumulátorů, které podle typu dosahuje 2,4 – 3,6 V.

Použití Li-ion akumulátorů je velmi široké, například mobilní telefony, notebooky nebo ruční nářadí. [22]

Výhody

- Vysoké napětí
- Vysoká hustota energie
- Nízká hmotnost
- Dlouhá životnost
- Nezávadnost

Nevýhody

- Vyšší cena oproti ostatním technologiím

- Horší efektivita v teplotách kolem a pod bodem mrazu
- Ekologická zátěž
- Samovybíjení, které se v čase zvětšuje

4.1.3 NiMH akumulátory

Nikl-metal-hydrid akumulátory se začaly vyvíjet krátce po Ni-Cd, ze kterých vychází. Hlavní příčinou byla snaha o nahrazení škodlivého kadmia vhodnějším materiálem. V raných fázích vývoje trpěly řadou neduh, ale dnes jsou již rovnocennou alternativou ke kadmiovým článkům a požívají se například v mobilní technice. [22]

Výhody

- Menší zátěž pro životní prostředí oproti Ni-Cd
- Větší kapacita a nižší vnitřní odpor ve srovnání s Ni-Cd

Nevýhody

- Vyšší cena (oproti Ni-Cd)
- Vyšší hmotnost (oproti Ni-Cd)
- Nevhodné pro vysoké proudy

4.2 Lídři na trhu bateriových systémů

S rozvíjejícím se trhem se solárními panely a dalšími alternativními zdroji energie vzrostla poptávka po akumulátorech, které by zvýšily efektivitu systému v podobě lepších možností regulace a využití nadbytečné energie. Typický nadbytek energie ze solárních panelů během dne, kdy uživatel je mimo dům a spotřeba je minimální. Dalším aspektem je náhradní zdroj energie v případě výpadku. Subsystémy ovládání například světel a žaluzií nebo spotřebiče typu lednice mohou nadále fungovat.

4.2.1 Tesla Powerwall

Tesla Powerwall je lídrem trhu s energetickými úložišti pro rodinné domy. Tesla jako první nabídla uživatelsky příjemný produkt, který v sobě zahrnuje střídač a je připraven být zapojen do systému se solárními panely nebo může být použit samostatně pouze jako úložiště energie. První verze vyšla v roce 2015 a druhá vylepšená verze byla ohlášena již v roce 2016. Powerwall se skládá z lithium-ion baterií, které jsou v podobném složení používány také pro elektrická auta značky Tesla. Tesla také nabízí jeden z nejlepších poměrů cena/kapacitu na trhu. [20]

Parametry

- Cena 5500 USD (119 409 Kč)
- kapacita 13,5 kWh (dostatek energie pro RD na 24 hodin provozu)

- Technologie Li-ion
- Záruka 10 let
- Tesla nezveřejnila technické detaily typu špičkové proudy nebo ztráta kapacity v čase



Obr. 4.1: Baterie TESLA [20]

4.2.2 Sonnen eco compact

Největší německý výrobce baterií Sonnen batteries nabízí v porovnání s Teslou malou domácí baterii o kapacitě 4 kWh. Ta je v prodeji od roku 2017. Přestože nemá ani zdaleka tak dobrý poměr ceny a kapacity jako Powerwall stává se stále silnějším hráčem na trhu z následujících důvodů.

Největším přínosem pro uživatele je samo učící software, který je schopen se v čase učit a přizpůsobit využití kapacity baterií uživatelským potřebám a zároveň maximalizovat úspory elektrické energie.

Další klíčovou vlastností je komunikace mezi jednotlivými bateriemi. Uživatel tedy může nabídnout svoji baterii k pronájmu samotné společnosti Sonnen, která následně díky komunikaci je schopna z instalovaných baterií vytvořit obrovskou virtuální baterii a tuto kapacitu nabídnout distributorům elektrické energie, kteří mohou díky obrovské kapacitě efektivněji obhospodařovat celou síť. Na oplátku uživatel dostává slevu na energie, nebo peníze z pronájmu. Tento model je již připraven v Německu a příští rok se plánuje spuštění.

Stejně jako Tesla je systém vybaven střídačem a také je připraven na použití solárních panelů. Avšak oproti Tesla deklaruje maximální úbytek kapacity během záruky, která je 10 let. [20]

Parametry

- Cena - 5950 USD (129 179 Kč)

- Kapacita 4 kWh
- Technologie Li-ion
- Záruka 10 let, maximální pokles kapacity na 70 procent původní hodnoty



Obr. 4.2: Baterie SONNEN

4.2.3 Aquion Aspen Saltwater batteries

Společnost Aquion Aspen přichází na trh s ekonomičtější verzí baterií pro RD. Bateriové moduly mají kapacitu 2,2 kWh a při ceně přibližně 1000 USD (21 710 Kč) nabízí výborný poměr cena/kapacita. Bateriové moduly jsou připraveny k propojení do sestavy. Uživatel si tedy může lépe navolit kapacitu dle svých potřeb a možností.

Největším rozdílem je chemické složení baterií. Elektrolytem je slaná voda, která představuje oproti technologii využívající lithium minimální ekologickou zátěž a následná recyklace není problematická a drahá. Stejně jako Sonnen, Aquion garantuje maximální pokles kapacity.

Bohužel firma má aktuálně ekonomické potíže, které se blíž bankrotu. [20]

Parametry

- Cena 1000 USD (21 710 Kč)
- Kapacita 2,2 kWh
- Technologie Slaná voda
- Záruka 8 let, maximální pokles kapacity na 70 procent původní hodnoty



Obr. 4.3: Baterie Saltwater [20]

4.2.4 LG Chem RESU

Dalším klíčovým hráčem se na trhu s akumulátory stává LG s bateriovým systémem RESU. Na rozdíl od Tesly nebo Sonnenu nemá integrovaný střídač, avšak je připravena pro zapojení do obvodu s fotovoltaickými panely. Nabízí 3 provedení a deklaruje maximální pokles kapacity baterie v čase. [20]

Parametry

- Cena 6000 - 7000 USD (130 264 - 151 975 Kč)
- Kapacita 3,3 kWh, 6,5 kWh a 10 kWh
- Technologie Li-ion
- Záruka 10 let, maximální pokles kapacity na 60 procent původní hodnoty



Obr. 4.4: LG Chem RESU [20]

4.2.5 Budoucí výrobci energetických úložišť

Vývoj bateriových systémů také ohlásily společnosti Panasonic, Nissan, BMW a Mercedes-Benz. S rozvojem elektromobilů není překvapením, že se výrobci automobilů snaží najít další odbytiště pro baterie, jejichž vývoj je velmi drahý. Společnosti neoznámily konkrétní plány ani představy.

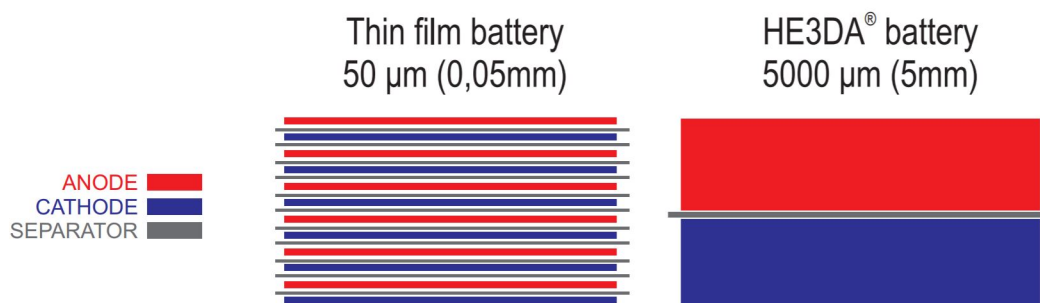
4.2.6 Velkokapacitní baterie HE3DA

Společnost HE3DA s.r.o. se zabývá aplikovaným výzkumem a vyvíjí technologie a proces výroby baterií s 3D prostorovými elektrodami na bázi lithiových nanomateriálů (HE3DA®).

Parametry, které společnost uveřejnila, jsou v porovnání s aktuálními možnostmi baterií téměř jako z jiného světa. V případě splnění daných slibů by se jednalo o převrat na trhu s energetickými úložišti, avšak společnost stále neposkytl ani jeden bateriový modul pro veřejnost. Proto je nutno brát hodnoty s rezervou. Odborná veřejnost již vyřkla obavy ohledně funkčnosti a reálnosti řešení.

Technologie

Jedná se o patentovanou technologii společnosti HE3DA, která se liší od 2D technologie tím, že navrství co nejvíce tenkých (0,05 mm) elektrod, ale je schopna aktivně využít elektrody o tloušťce 5 mm.



Obr. 4.5: Princip 3D technologie [19]

Výhody

Volbou tloušťky elektrod, použitých materiálů a konstrukčního řešení lze nabídnout na míru šitá řešení pro širokou škálu odvětví. Díky nízkému vnitřnímu odporu a vnitřnímu chlazení elektrolytem, je možno konstruovat velké články s řádově vyšší kapacitou, než je dosažitelná u současných lithiových baterií.

Baterie HE3DA mají bezprecedentní bezpečnostní parametry. Nehoří ani neexplodují díky absenci organických látek (vyjma elektrolytu), nízkému vnitřnímu odporu a možnosti pracovat v potenciostatickém režimu. V dnešní době činí náklady na recyklaci 5 procent hodnoty baterie a v podstatě se jedná pouze o poplatek za ekologickou likvidaci, nikoli recyklaci. Akumulátory HE3DA® jsou ze 100 procent recyklovatelné a tudíž i v této oblasti dochází k významným úsporám. [19]

Parametry

- Kapacita bateriového systému až přes 500 Wh/litr
- Účinnost přes 95 procent
- Životnost 20 let, přes 5000 cyklů
- Záruka 10 let, maximální pokles kapacity na 60 procent původní hodnoty
- Nabíjecí/vybíjecí proud 1000 A (pro 50 kWh modul)

Závěr

Nová technologie s výše uvedenými parametry by znamenala revoluci v energetice, kterou dnes známe. Kompaktnost, modularita, cena, recyklovatelnost, to vše by s

nejvyšší pravděpodobností vedlo k masivnímu rozšíření do celého světa. Technologie, jako jsou elektronická auta, smart grids, off-grids, by mohly být reálně nasazeny. Tyto vyhlídky by pomohly k naplnění Pařížské dohody [?], kde se většina států (USA se v roce 2017 ze smlouvy vyvázalo) dohodla k snížení emisí a snaze zastavit globální oteplování. Jak a jestli vůbec se do historie energetiky zapíše společnost HE3DA se ukáže ve chvíli, kdy budou vzorky baterií předané odborné veřejnosti. Do této chvíle je třeba brát veškeré zveřejněné údaje jako nepodložené a zachovat zdrženlivost v otázce, zda jsme na prahu nové revoluce výroby baterií.

5 SYSTÉMY SYSTÉMOVÉ ELEKTROINSTALACE

Co si představit pod pojmem systémová elektroinstalace, bylo popsáno v první kapitole (Inteligentní budovy), kde je také stručný výčet funkcí, které mohou být řízeny. Funkce, které je možné v RD vykonávat nezávisle na uživateli, by se daly s jistotou rozšířit až do absurdní podoby, kdy by si uživatel ani nemusel postavit na čaj. Určitě se najdou uživatelé, kteří danou funkci můžou chtít, tato množina se však razantně zmenší při zavedení podmínky, kolik uživatelů by si dané řešení mohlo dovolit a přidáním podmínky, kolik uživatelů za tuto funkci bude ochotno zaplatit, by se výsledný počet pravděpodobně limitně blížil nule. Proto je třeba dbát na základní požadavky, které již byly zmíněny v první kapitole, ale dovolím si je pro zdůraznění použít ještě jednou.

Tři základní požadavky, které by měl BEMS splňovat.

- Poskytnutí zdravého a pohodlného klima uvnitř budovy
- Zajistit bezpečnost uživatelů a majitelů.
- Zajistit ekonomický běh budovy, který zároveň respektuje jak energetickou efektivitu, tak pohodlí uživatelů

Z těchto požadavků vyplývá, že systém nejen musí plnit potřebu uživatele, ale navíc musí dávat energeticky a ekonomicky smysl. Evropské domácnosti jsou ze 40 procent spotřebiteli celkové energie, která je v EU vyprodukována, proto se musí přizpůsobit konceptu udržitelnosti a systémová elektroinstalace je cestou, jak naplnit cíle Pařížské dohody, evropských ustanovení a přitom nejen zachovat uživatelský komfort ale navíc ho navýšit.

5.1 Stávající situace na trhu

Díky technologickému pokroku jsou již technologie, které mohou zajistit komplexní správu celého domu, dostupné pro širokou veřejnost. Problémem však zůstává propojení těchto subsystémů do jediného funkčního celku. Zatím co velké kancelářské budovy již jsou běžně vybaveny centrálními řídicími systémy, v rezidenčních budovách a rodinných domech se s podobnou technologií setkáváme velmi málo. Danou problematikou se zabývá spousta firem, avšak naprostá většina nabízí pouze fádňní řešení, kdy uživatel může centrálně ovládat pouze světla, žaluzie a scény. Při aktuálním technologickém potenciálu je dané řešení zcela nedostatečné a uživateli se investice nikdy nevrátí. Pouze několik firem do centrálního systému zařadí i další subsystémy pro ovládání vytápění a ventilace. Zde se již můžeme bavit o systémové instalaci 3. generace. Dané řešení již pro uživatele může znamenat úsporu až 30

procent a investice se časem vrátí a dále uživateli šetří peníze. Bohužel i toto řešení je současně nedostatečné a to z důvodů rozšíření OZE, smart grid, off grid, pasivních domů a energetických úložišť pro malé objekty. Systémová elektroinstalace 4. generace by měla být schopna skloubit dohromady všechny subsystémy do jednotného celku. Při zavedení centrální jednotky je pak možné maximalizovat efektivitu nejen spotřeby energie, ale také vhodně přiřadit zdroje. Do nedávna bylo téměř nemyslitelné mít více zdrojů energie a jediným zdrojem byla elektrická přípojka.

5.1.1 Centrální řídicí systém

Řízení energetického managementu vyžaduje centrální řídicí jednotku, kterou je v dnešní době nejčastěji PLC. Uživatel má na výběr ze dvou možností. První možností je zakoupení celého systému, včetně softwaru. Takto komplexní službu, která by splňovala požadavky pro elektroinstalaci 4. generace nabízí v České republice pouze dvě společnosti a to LOXONE a společnost TECO a její řídicí systém Foxtrot. Obě řešení jsou v následujících kapitolách popsána a v závěru shrnuta.

Alternativou a zároveň druhou možností, kterou může zákazník využít je aplikace na klíč, ve které bude využit standartní řídicí systém, kterých je dnes na trhu celá řada od renomovaných společností jako je například SIMENS nebo méně známých, ale přesto kvalitních značek, kterou je například IDEC. Tato možnost je popsána níže a budu se jí zabývat v praktické části této práce. Výsledkem bude alternativní návrh řešení k řešením společností LOXONE a TECO.

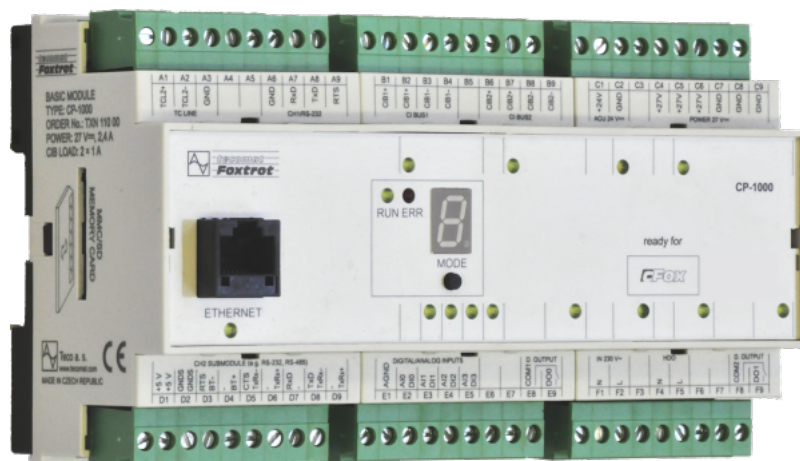
5.2 Systém FOXTROT společnosti TECO a.s.

5.2.1 Centrální řídicí systém

Řídicí systém Tecomat Foxtrot (dále jen Foxtrot) je na trhu výjimečný kombinací centrálního řídicího systému mezinárodního standardu PLC podle EN 61131, vlastní proprietární dvouvodičové instalační sběrnice CIB – Common Installation Bus®, integrovaného Ethernet portu, sériových portů a integrované velkokapacitní paměti až 32 GB pro ukládání velkého množství dat a uživatelských WEB stránek. Integrovaný WEB server a volně programovatelné vlastní vestavěné WEB stránky přímo spojené se všemi měřenými a ovládanými veličinami. [14]

5.2.2 Funkce

Foxtrot je schopen díky své modularitě, otevřenosti a nadstavbám ovládat každý běžně používaný subsystém v domácnosti. Ať už se jedná o osvětlení, žaluzie, vytápění, ventilaci, ohřev vody, zavlažování, bazény ale také bezpečnostní systémy, řízení



Obr. 5.1: Řídicí systém FOXTROT [14]

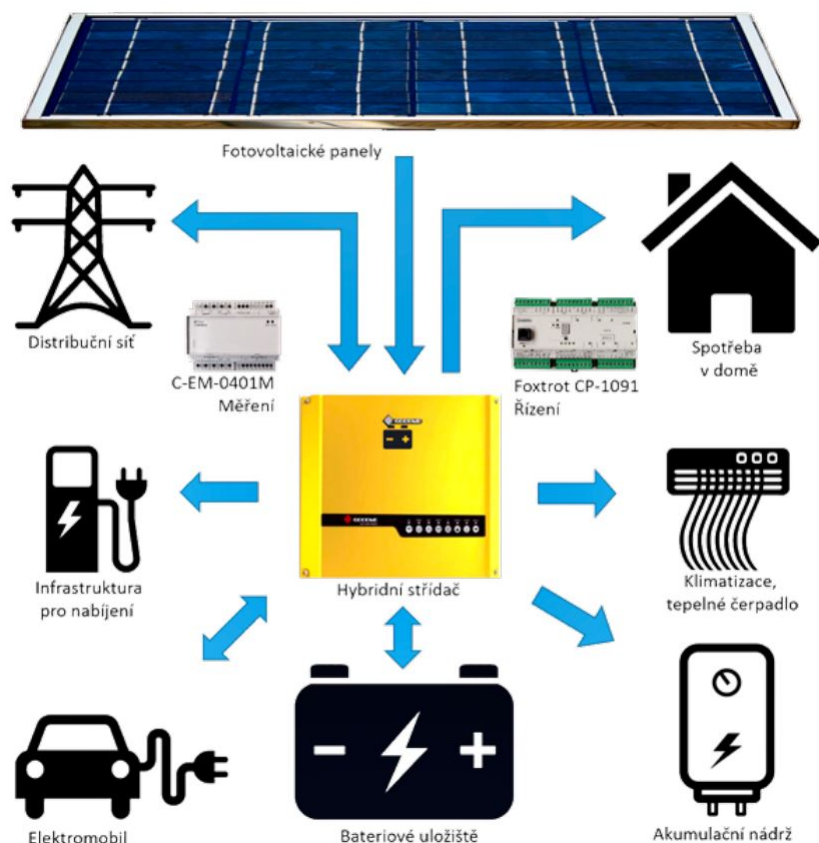
přístupu, kamerové systémy a tak dále. Jako jeden z mála je schopen také ovládat elektrické spotřebiče, zásuvky a nabízí funkci smart meteringu, díky kterému má uživatel přehled nejen o důležitých parametrech jako je teplota, vlhkost a oxid uhličitý, ale systém tato data také používá a díky tomu zajišťuje vhodné řízení celého funkčního celku. [14]

5.2.3 Využití energie

Základní variantou systému Foxtrot pro BEMS je nový základní modul CP-1091, který je osazen až 9 výstupy na přímé spojitě řízení elektrického ohřevu, dále 3 výstupy pro spínání zátěží, je možno k němu připojit až 6 výstupů S0 z elektroměrů, pulzy z vodoměrů a plynůměrů a další podobné signály. Modul může přímo měřit až 6 teplot z připojených čidel. Je osazen sběrnici CIB, kterou využijeme pro připojení rychlého elektroměru C-EM-0401M a dalších modulů – např. čidla solární radiace C-IT-0200I-SI apod. K dispozici je i master sběrnice TCL2 pro další rozšíření. Zároveň je modul osazen rozhraním RS-485 pro připojení např. střídače FVE a lze jej vybavit až 3 dalšími sériovými kanály – např. pro řízení tepelného čerpadla, klimatizace a spotřebičů typu pračka, kdy opožděný start uživatele nezajímá, ale díky této funkci se prací program spustí až za vhodných energetických podmínek. [14]

5.2.4 Energetická úložiště a elektromobilita

Využitím systému Foxtrot, doplněného o modul C-EV-0302M na sběrnici CIB, je možné řídit nabíjení jednoho nebo více elektromobilů v závislosti na aktuálním provozu ostatních elektrospotřebičů, výroby FVE, nasmlouvané odběrové křivky apod. Systém sleduje podružným rychlým elektroměrem C-EM-0401M také na sběrnici



Obr. 5.2: Využití energie v systému TECO Foxtrot [14]

CIB aktuální odebíraný proud v každé fázi a dle nastavené maximální hodnoty nebo podle okamžitého přebytku výroby FVE, ev. dalších požadavků ovládá prostřednictvím modulu C-EV-0302M okamžitý nabíjecí proud připojeného elektromobilu. Systém má zároveň informaci o připojení elektromobilu, může sledovat i dodanou energii a tím poskytnout základní informaci o stavu nabití vozidla. Stejným principem se nabíjí domácí úložiště energie (např. TESLA Powerwall). [14]

5.3 Systém společnosti LOXONE

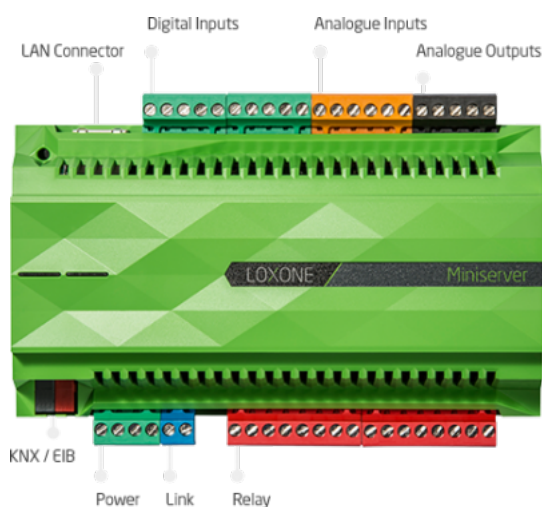
Loxone představuje spojení unikátního softwaru a moderní architektury. Systém je otevřený a je připraven na nové technologie a možnosti. O řízení se stará Loxone Miniserver, který je vyvíjen přímo pro potřeby domácnosti. Jeho konfigurace je snadná skrz software Loxone Config. Zařízení jsou propojena po sběrnici, která má stromovou topologii. K dispozici jsou dva řídicí servery, a to drátový nebo bezdrátový. [15]



Obr. 5.3: Systém LOXONE [15]

5.3.1 Centrální řídicí systém

Miniserver je řídicí jednotka, kterou vyvíjíme přímo pro potřeby domácností. Zvládá ovládání různých zdrojů vytápění, klimatizace, stínicí techniky, světel, hudby, oken a dveří a dalších zařízení. V kombinaci s daty z různých senzorů (pohyb, osvit, teplota, vlhkost, aj.), znalosti času, počasí atp. dokáže činit autonomní rozhodnutí a eliminovat potřebu většiny zásahů. Postará se i o to, o co vy nemůžete, neboť nemáte dost informací nebo nejste doma. [15]



Obr. 5.4: Řídicí systém FOXTROT [15]

5.3.2 Modularita

Velikost a potřeby každého domu jsou odlišné. Náš koncept rozšiřitelnosti pomocí modulů (tzv. Extensions) zaručuje, že si Miniserver poradí s těmi nejnáročnějšími

projekty, a přitom je dostupný i pro malé. Zákazníci platí tedy vždy jen za to, co potřebují. Další zásadní výhodou tohoto řešení je fakt, že systém není uzavřený a lze jej kdykoli obohatit o nové technologie a možnosti, jak se děje každým rokem. Jsme tak schopni reagovat na trendy a řešit nové požadavky na bydlení. [15]

5.3.3 Využití energie

Loxone uvádí, že díky jeho produktům je možné řídit energie v domácnosti. Bohužel dostupná dokumentace je vhodná spíše pro širokou veřejnost a přesnější informace volně dostupné nejsou. Nedohledal jsem seznam výrobců měničů, se kterými by Loxone spolupracoval nebo se kterými by mohl řídicí systém komunikovat.

5.4 Další řídicí systémy

V dnešní době je trh s PLC téměř saturován. Můžeme najít celou řadu výrobců ať už renomovaných značek jako je SIMENS nebo méně známých značek, které však můžou nabídnout stejně spolehlivé řešení. Pro účel řízení chytré domácnosti by měl řídicí systém splňovat tyto předpoklady:

- Všestrannost
- Modularita – rozšíření I/O
- Možnosti komunikace
- Vzdálená správa
- Logování dat
- Dostupná cena

Pokud systém splňuje výše uvedené, může se stát centrálním řídicím prvkem chytré domácnosti. Výhodou je otevřenost systému a možnost řešení na klíč. Nevýhodou je nutnost obstarat programovou část. Vhodné PLC pro tento účel nabízí například společnosti GE, Schneider Electric nebo menší a méně známe společnosti jako IDEC, které můžou nabídnout kvalitní, a přitom dostupné řešení.

5.5 Srovnání systému

Všechny systémy využívají jako řídicí systém průmyslový programovatelný automat PLC. Důvodem je stabilita daných systémů, které po naprogramování pracují i desítky let. Dále systémy podporují rozšířené komunikace jako je Modbus a KNX.

Hlavním rozdílem je otevřenost celého systému. Loxone nabízí svou platformu jako celek, kde rozšiřující moduly musí být stejné značky a přístup do zdrojového programu je značně omezen. Konkrétně Foxtrot nabízí své PLC nejen pro využití v systémových instalacích, ale také pro průmyslové použití, a navíc je možné si

system zakoupit a rebrendovat pod vlastní značkou. Pro uživatele jsou nejdůležitější atributy jako spolehlivost, modularita, rozšiřitelnost a také cena. Tyto parametry jsou pro oba zmíněné systémy srovnatelné.

Největším rozdílem je přístup k SW. Loxone má předpřipravené funkce pro subsystémy a celé programování spočívá ve vložení konkrétní konfigurace a pak proběhne procedura, které Loxone přezdívá automatické programování a všechny parametry se samy nastaví. Foxtrot funguje jako klasické průmyslové PLC, kde jsou sice předpřipravené programové bloky, ale uživatel si je musí propojit již sám a také je potřeba doprogramovat řídicí logiku. Z tohoto důvodu je Foxtrot vhodnější pro integrátory než pro samostatného uživatele.

Třetí možností je zakoupit vhodné PLC a programovou část si nechat vytvořit, nebo si ji může uživatel vytvořit k obrazu svému. Na trhu je několik použitelných systémů. V dalších kapitolách bude představeno možné řešení, které je zhotovené na PLC FC6A značky IDEC s uživatelským rozhraním na HMI panelu HG3G stejné značky.

6 NÁVRH DEMONSTRAČNÍ ÚLOHY

Celý koncept řízení energetických zdrojů v rodinném domě je realizovaný v PLC FC6A značky IDEC a vizualizován na dotykovém panelu HG3G stejné značky. Řešení si neklade za cíl vytvořit reálné systémy, ale nabídnout simulaci, kterou si může každý uživatel jednoduše sám nakonfigurovat. Zpracovávány jsou reálná data, jako je například osvit, který se dá jednoduše měřit, nebo doby nízkého a vysokého tarifu, které jsou k dispozici od poskytovatele. Tato data budou vložena do simulace. Výsledkem bude srovnání stávajícího stavu s alternativou v podobě solárního panelu, baterie a tepelného čerpadla. Uživatel bude moci porovnat rentabilitu daného řešení a popřípadě na řešení přejít bez nutnosti využívat jiný systém.

6.1 PLC IDEC FC6A

PLC japonské značky IDEC jsem zvolil kvůli jednoduchosti a zároveň komplexnosti. Vstupy PLC se dají rozšířit až na počet 520 digitálních I/O a 126 analogových I/O. Této modularity se dá skvěle využít v chytré domácnosti, kde se digitálními vstupy dají centrálně ovládat například světla a žaluzie. Analogové vstupy se dají využít pro správu senzorů a čidel pro měření veličin jako je teplota, vlhkost nebo osvit. PLC je dále možné rozšířit o web server a tím dosáhnout vzdáleného přístupu odkudkoliv.



Obr. 6.1: PLC IDEC FC6A [25]

6.2 HMI panel IDEC HG3G

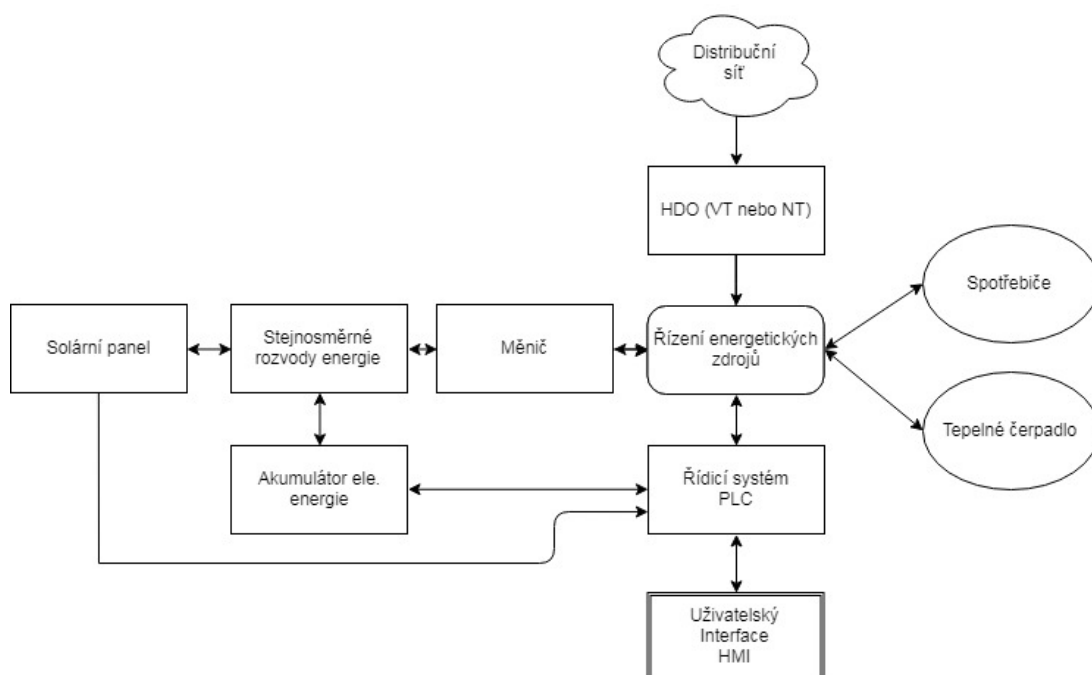
Dotykový panel značky IDEC jsem zvolil kvůli skvělé funkčnosti a kompatibilitě s PLC FC6A. Panel má vlastní interní paměť a také vlastní paměťové registry. Paměť se dá dále rozšířit o SD kartu až do velikost 32 GB. Panel primárně využívá data získaná z PLC a ty dále vizualizuje nebo z nich vykresluje grafy. Panel je vybaven web serverem, který umožňuje zobrazení jedna ku jedné v jakémkoliv prohlížeči a to včetně platform Android a iOS. Odpadá tedy nutnost vytváření a učení se nového uživatelského prostředí, protože zobrazení je na všech platformách stejné.



Obr. 6.2: HMI panel IDEC HG3G [26]

6.3 Dílčí části systému

Simulace bude připravena řídit, přijímat data nebo simulovat následující: solární panel, akumulátor, tepelné čerpadlo, spotřebiče (s komunikací a možností odloženého startu), přípojka (s HDO pro zjištění VT nebo NT). Spolupráce a propojení jednotlivých subsystémů je zobrazeno na obrázku níže.

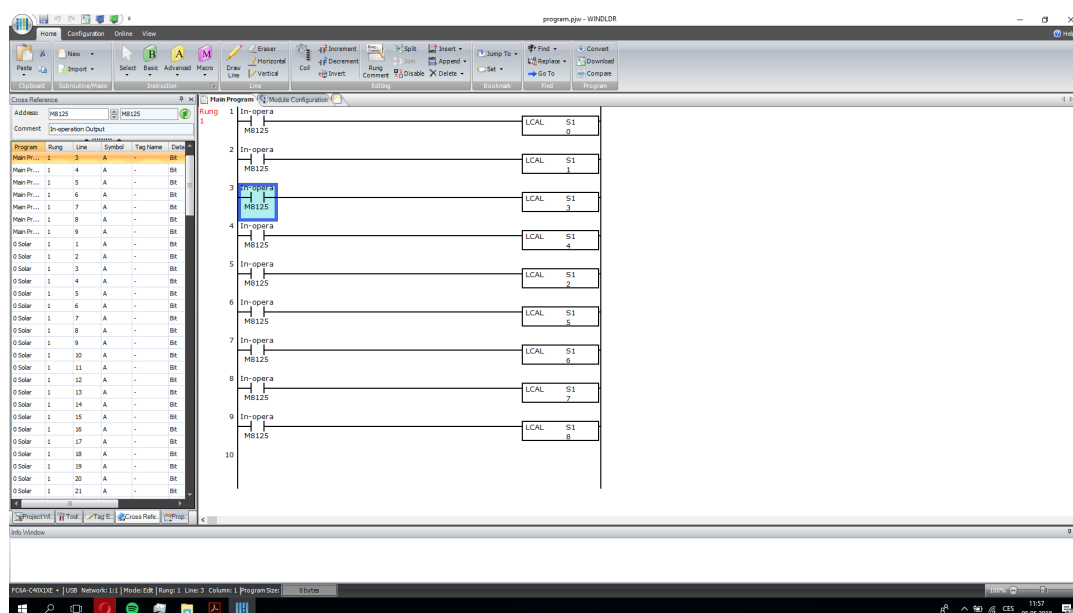


Obr. 6.3: Dílčí části systému

7 PROGRAMOVÉ ŘEŠENÍ

7.1 Vývojové prostředí

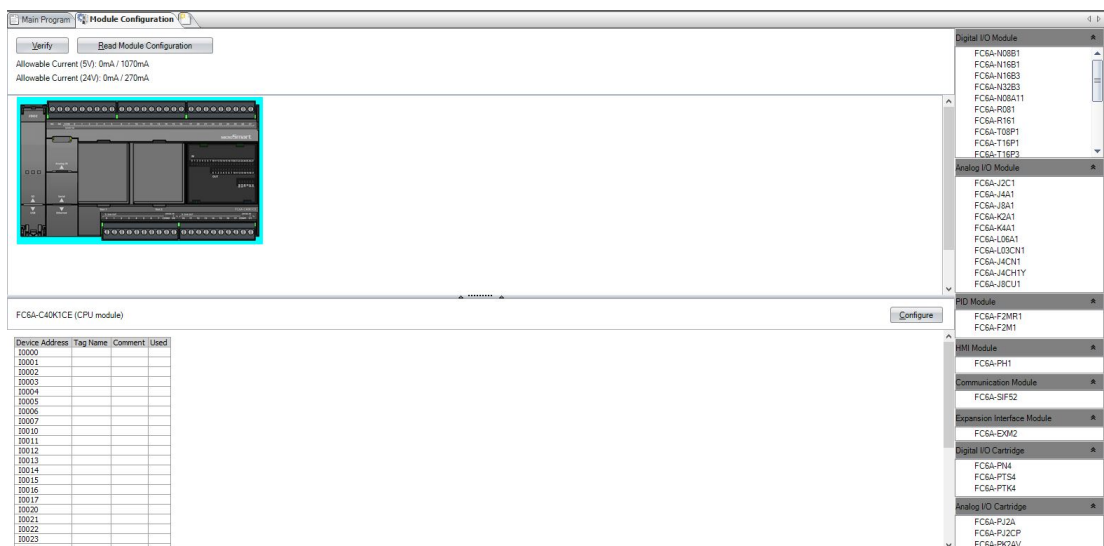
Celý program je napsán ve vývojovém prostředí Automation organizer společnosti IDEC, které se skládá z několika modulů. Pro programování PLC je určený modul s názvem WindLDR V8. Program je možné psát buď pomocí funkčních bloků nebo pomocí ladder digramu. Dále je možné využít skripty, které se syntaxí blíží jazyku C. Pro programování jsem zvolil ladder diagram pro jeho lepší přehlednost a jednoduchost. Využití skriptů nebylo nutné, a proto nejsou použity.



Obr. 7.1: Vývojové prostředí WindLDR V

7.2 Konfigurace

Před samostatným programováním je třeba provést prvotní konfiguraci. Ve vývojovém prostředí se zvolí typ PLC a rozšiřující karty, které jsou pro aplikaci použity. Dále je třeba nastavit parametry pro použitou komunikaci. V této aplikaci je použit pouze řídicí člen bez dalších karet. Komunikace mezi HMI panelem a PLC je realizována po ethernetu. Nastavil jsem tedy IP adresu obou zařízení a v HMI panelu zvolil adresu PLC jako řídicí zařízení. Poslední částí konfigurace bylo nastavení vzdáleného přístupu, které je popsáno v samostatné kapitole.



Obr. 7.2: Konfigurace PLC

7.3 Dílčí části programu

Program se skládá ze subrutiny, které se starají o simulaci funkčních celků (například baterie), nebo v nich probíhá zpracování dat, jejichž zdrojem jsou simulace nebo reálné vstupy. V tomto programu jsou použity následující subrutiny. Každá z nich je popsána níže.

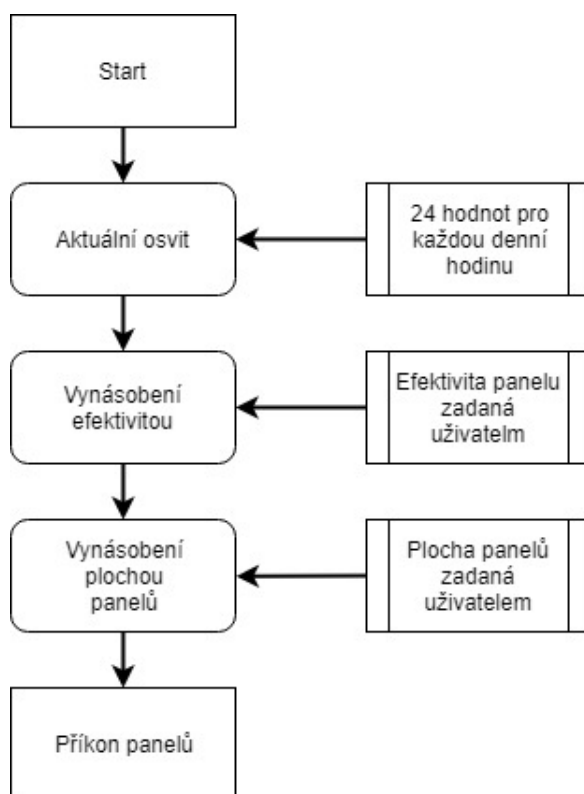
Použité subrutiny:

- Solární panel
- Tepelné čerpadlo
- Baterie
- Spotřebiče
- Algoritmus
- Časové funkce
- Přípojka
- Statistiky

7.4 Solární panel

Subrutína obsahuje průměrné hodnoty osvitů pro každou hodinu dne, tento osvit se dále zpracovává dle zadaných dat. Hodnoty osvitů jsou průměrné hodnoty, které zveřejňuje například český meteorologický ústav. Uživatelská data v tomto případě jsou plochy solárních panelů a jejich deklarovaná efektivita. Osvit je tedy vynásoben deklarovanou efektivitou, dále vynásoben plochou panelů. Výsledkem je výkon

solární elektrárny.



Obr. 7.3: Diagram subrutiny Solární panel

7.5 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je v této práci použito zejména jako autonomní spotřebič s potenciálem pro následné zapojení do energetického managementu. Myšlenkou je využít tepelné čerpadlo jako chladič pro solární panely. Z jednoduché úvahy je jasné, že panely budou mít nejvyšší příkon při největším osvitu a tudíž se budou i s velkou pravděpodobností nadměrně zahřívat. Dalším předpokladem je, že panely budou generovat špičkový výkon, který nebude celý využit. Řešením tedy je, odvádět teplo skrze čerpadlo do země, která by sloužila jako obrovský kapacitor. Benefity daného řešení jsou teplená energie zadarmo, vyšší výkon panelů (při nižší teplotě budou mít vyšší výkon) a zvýšení životnosti panelů, které se nebudou tolik přehřívat.

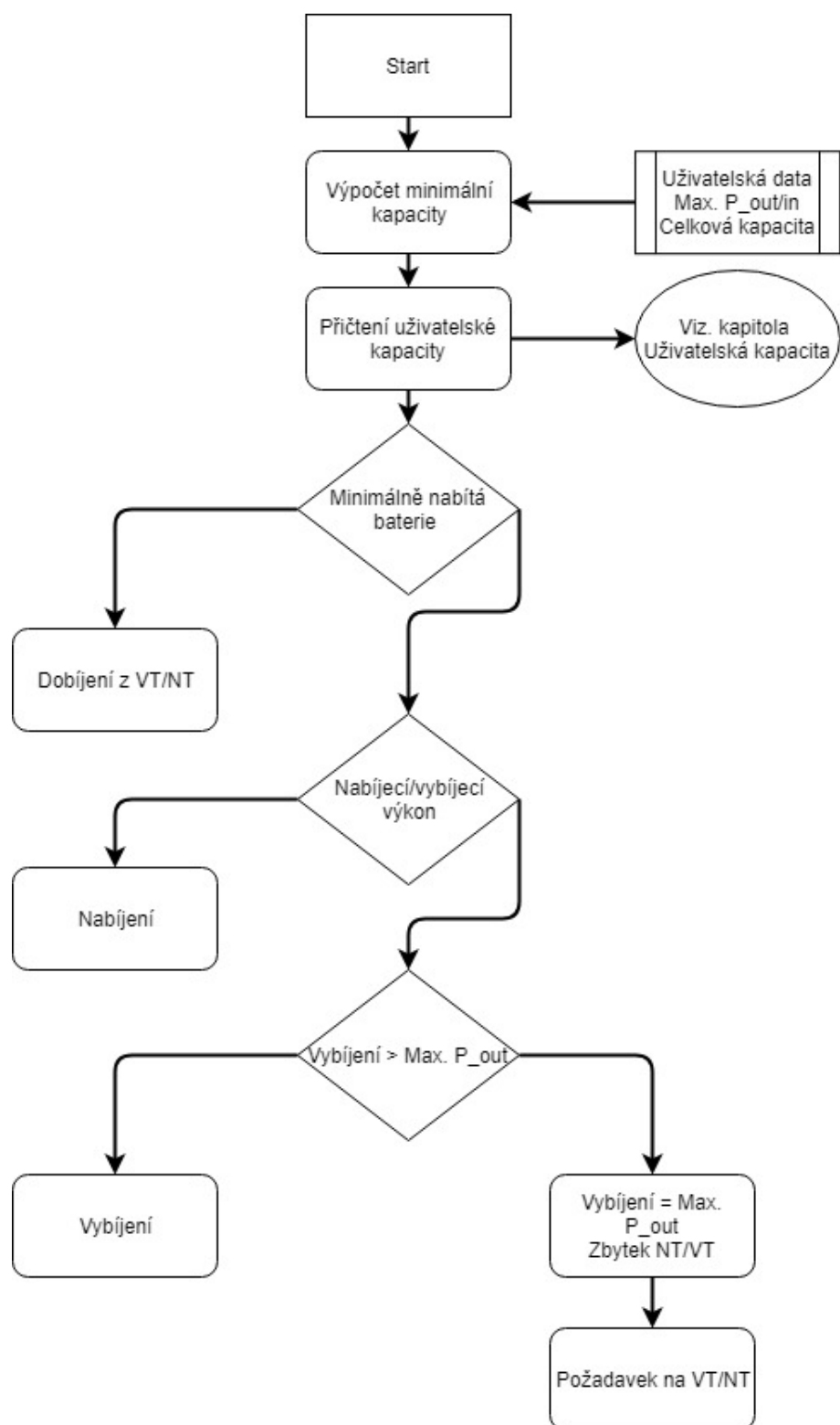
7.6 Baterie

Baterie tvoří hlavní funkční prvek celého systému energetického managementu. Vykrývá místa, při kterých by musel být využit v nejhorším případě vysoký tarif a naopak je schopna v budoucnu zužitkovat přebytečnou energii, kterou vyrobí solární panely. Dále slouží jako rezerva pro období nečekaného výpadku dodávky elektrické energie, který může způsobit například zkažení potravin.

Jak jde vidět v kapitole, která o bateriích pojednává, na trhu je celá řada výrobců s rozdílnými parametry. Uživatel si tedy nastaví do simulace kapacitu baterie a maximální nabíjecí, popřípadě dobíjecí proud.

Subrutina dále zpracuje údaje o baterii. Vypočítá minimální hodnoty pro kapacitu z důvodu rezervy a také ochrany před extrémním vybitím. K minimální hodnotě je také přičtena virtuální kapacita pro uživatele, která je blíže popsána níže. Dalším krokem je zpracování dat z algoritmu. Do subrutiny vstupují údaje o nabíjecích/vybíjecích proudech, které byly baterii přiděleny algoritmem. Baterie se dle dat nabíjí nebo vybíjí.

Poslední funkcí, kterou subrutina obstarává, je dobíjení baterie, která je vybitá pod stanovené minimum. Jen a pouze v tomto případě může být k nabíjení použit vysoký tarif.



Obr. 7.4: Diagram subrutiny Baterie

7.7 Uživatelská kapacita

Uživatelská kapacita je virtuální proměnná, která je určena k vykrytí spotřeby vysokého tarifu v době, kdy je uživatel doma. Tato funkce je zpracovávána v subrutině Baterie, Algoritmus a Časové funkce.

V subrutině Časové funkce se vypočítává potřebná kapacita a to následovně. Z panelu se zpracuje informace v jakých časových intervalech je uživatel doma. Poté program hlídá splnění podmínky, zda je uživatel doma, je vysoký tarif a spotřebovává se energie. Pokud takový stav nastane, začne se zaznamenávat upotřebená energie. Po uplynutí periody, kdy je uživatel doma, se výsledná spotřeba stává uživatelskou kapacitou. Pro vyšší efektivitu je tato hodnota uložena do registru, který drží poslední 4 hodnoty spotřeby a průměruje je.

Tento výsledný průměr je použit v subrutině Baterie, kdy je přičten k minimální rezervní kapacitě a uměle ji navýší.

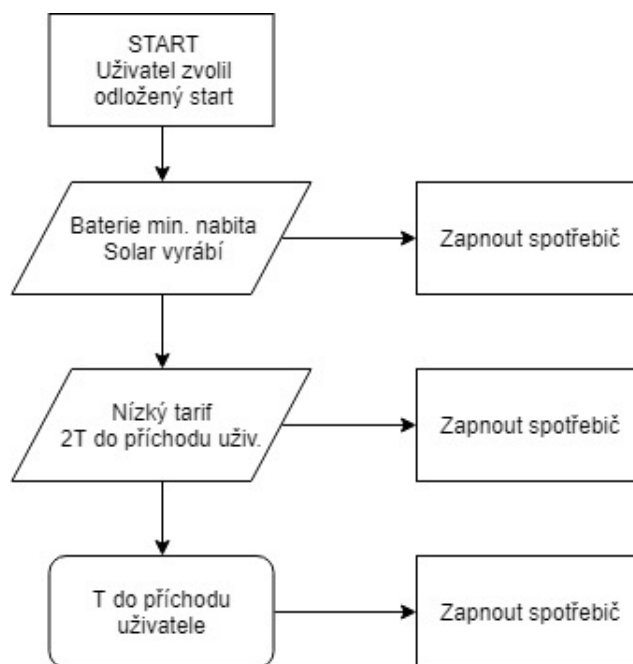
Dobití baterie se realizuje v subrutině Algoritmus, kde je také popsán princip a vzorec pro výpočet nabíjecího proudu. Nejvyšší prioritu má energie ze solárních panelů, pokud je tento příkon nedostatečný, využije se nízký tarif.

7.8 Spotřebiče

Funkce opožděného startu se snaží maximalizovat efektivitu spotřeby elektrické energie a to využitím nejvýhodnějších zdrojů. Řízení startu je následující. Uživatel nastaví opožděný start na spotřebiči. PLC následně čeká na splnění jedné z podmínek:

1. Baterie je nabita na minimální kapacitu (minimální kapacita + uživatelská kapacita) a zároveň je dostupná energie ze solárního panelu.
2. Je nízký tarif a do příchodu uživatele zbývá dvojnásobek času potřebného na vykonání úkonu.
3. Aktuální čas je roven času příchodu uživatele, od kterého je odečten čas potřebný na vykonání úkonu.

Dále je možné start vynutit přes uživatelský panel nebo pomocí vzdáleného přístupu. Níže je diagram zpracování funkce odloženého startu.



Obr. 7.5: Diagram funkce opožděný start

Kde:

T je čas potřebný na vykonání daného úkonu

7.9 Algoritmus

Algoritmus je řídicí subrutina, jejíž vstupy a výstupy zasahují do celého projektu. Hlavním úkolem je rozhodnout, jaký zdroj energie se bude využívat v daném okamžiku, aby byla zajištěna maximální efektivita spotřeby energie. Pro návrh jsem použil stavový diagram. Každý zdroj má svoji prioritu a to v tomto pořadí. Solární energie, baterie, nízký tarif, vysoký tarif. Cílem je, aby byl maximálně využit příkon ze solární elektrárny a minimalizovala se spotřeba za vysokého tarifu.

Dalším úkolem pro algoritmus je dobíjení uživatelské kapacity, která je připravena pro vykrytí vysokého tarifu, v časech, kdy je uživatel doma. Koncept dobíjení je navržen tak, aby dobíjecí proud byl v čase proměnný a zajistil se kompromis mezi maximálním využitím solárního panelu a včasné nabití baterie. Výpočet nabíjecího výkonu vychází z následujícího vzorce:

$$P_v = \frac{C_z}{t_z} \quad (7.1)$$

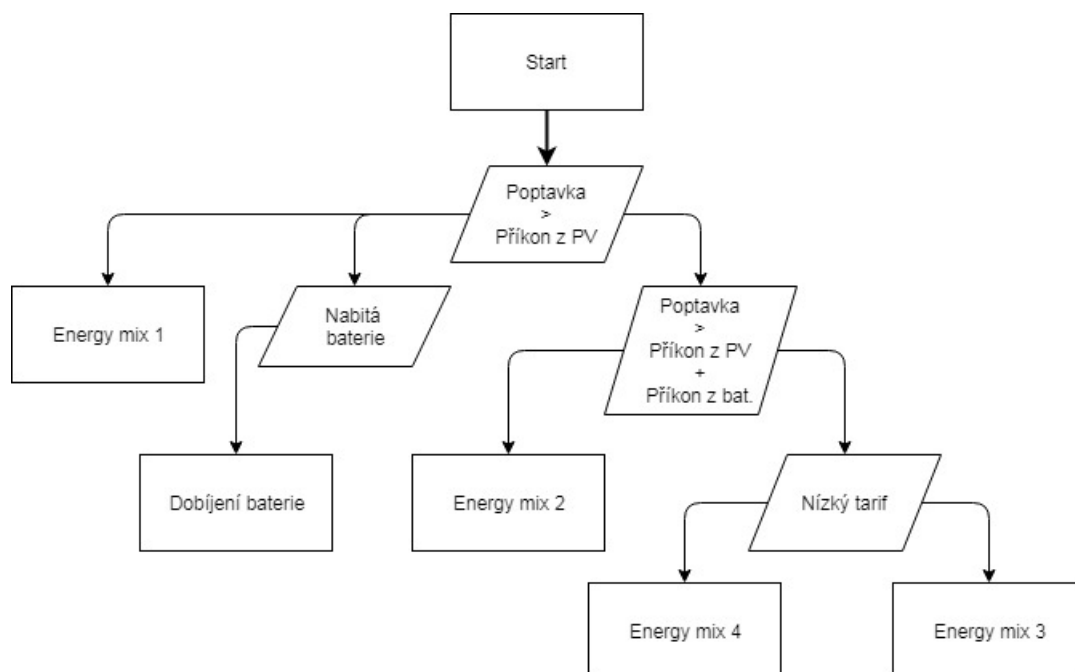
Kde:

P_v je vypočtený potřebný nabíjecí příkon do baterie [W]

C_z je zbývající kapacita k dobití [Ws]

t_z je zbývající čas pro dobití [s]

Od P_v se odečte aktuální výkon ze solárních panelů, který řídicí algoritmus vyčlenil pro nabíjení baterie. Zbýlý potřebný výkon se dodá z nízkého tarifu.



Obr. 7.6: Diagram subrutiny Algoritmus

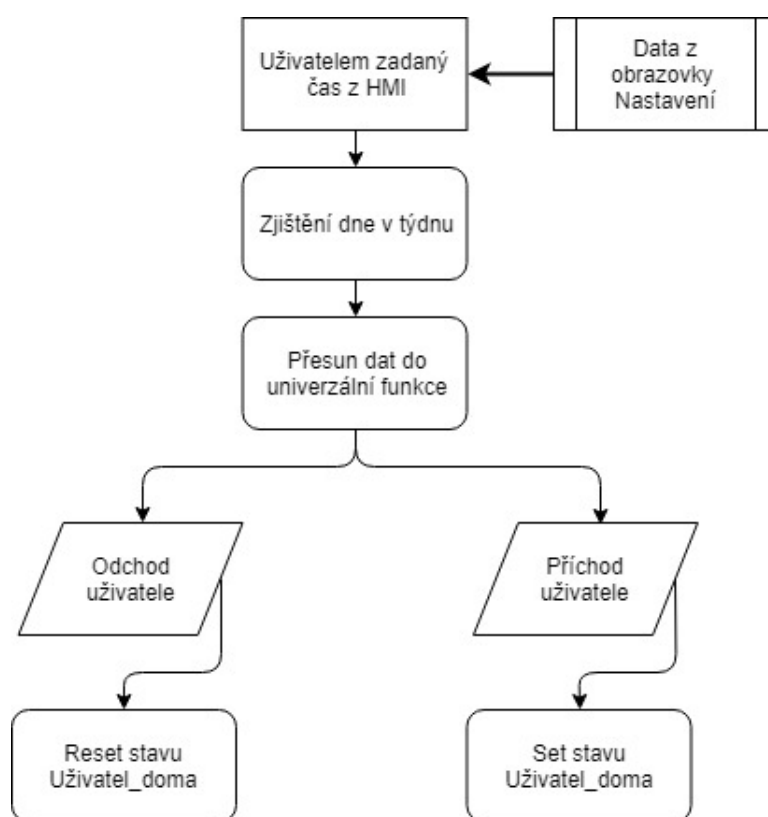
Kde:

- Energy mix 1 - potřebný příkon je dodán ze solárních panelů
- Energy mix 2 - potřebný příkon je dodán ze solárních panelů a baterie
- Energy mix 3 - potřebný výkon je dodán ze solárního panelu, baterie a nízkého tarifu
- Energy mix 4 - potřebný výkon je dodán ze solárního panelu, baterie a vysokého tarifu

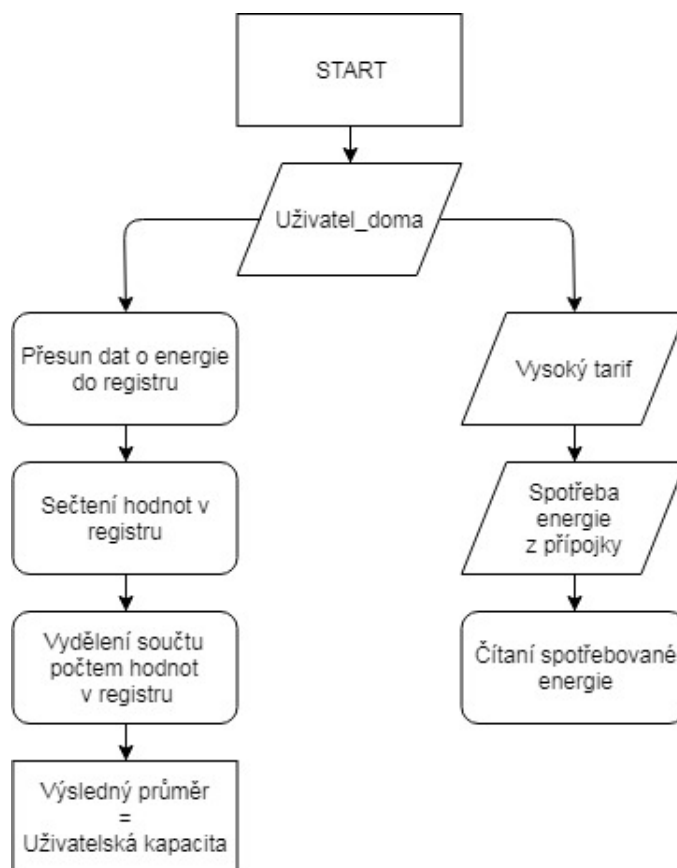
7.10 Časové funkce

Subrutina Časové funkce zpracovává data zadané uživatelem v obrazovce nastavení. Uživatel zde zadá časy, ve kterých se běžně během dne zdržuje doma. Tím poskytne systému svůj stereotyp, se kterým se dá dále pracovat. Program kontroluje, zda je uživatel doma a pokud není, dopočítává, za jak dlouho doma bude.

Tyto informace jsou využity pro nabíjení uživatelské kapacity, spouštění opožděných startů spotřebičů a mohly by být použity také pro lepší regulaci teploty a ohřevu vody. Pokud uživatel doma je, systém zaznamenává, kolik energie bylo spotřebováno za vysokého tarifu a tato hodnota se po zprůměrování stane uživatelskou kapacitou.



Obr. 7.7: Diagram subrutiny Časové funkce



Obr. 7.8: Diagram funkce výpočet uživatelské kapacity

7.11 Přípojka

Subrutina Přípojka simuluje výstup z hromadného dálkového ovládání (HDO) a určuje, zda je v daném časovém okamžiku vysoký nebo nízký tarif. Aktuálně jsou na trhu doby vysokého a nízkého tarifu pevně stanoveny. Do budoucna se však situace může změnit a tarify se budou měnit dle aktuální situace na trhu s elektrickou energií. V takovém případě se inteligentní řízení spotřeby s využitím baterie a obnovitelného zdroje energie bude uživatelům vyplácet o to víc.

Další funkcí je sumarizace celkového výkonu, který si systém potřebuje z přípojky odebírat. Jedná se o potřebný výkon pro spotřebiče, který buď nemůže být dodán ze solárního panelu, nebo baterie z důvodu vybití nebo překročení maximálního vybíjecího proudu. Další složkou je potřebný výkon k nabití uživatelské kapacity v případě, že solární panel není schopen tento příkon obstarat.

7.12 Statistiky

Subrutina statistiky má za úkol spravovat a ukládat data spojená se spotřebou a využitím všech zdrojů. Vytváří a plní paměťový prostor, který se následně zobrazuje uživateli ve formě čitelných a uspořádaných dat na obrazovce statistiky. Dále jsou data využita pro vizualizaci v podobě grafů, které již zpracovává panel.

První funkcí je vytvoření energetického mixu, který v reálném čase uživateli ukazuje, jaká je spotřeba a jakým dílem se na této spotřebě podílejí jednotlivé zdroje. Data aktuální spotřeby jsou dále využita pro získání denní spotřeby. Tato denní spotřeba se ukládá jednak do registru týdenní spotřeby, aby si uživatel mohl zobrazit jednotlivé dny v týdnu, a dále se ukládá do registru měsíční spotřeby, ze které se poté vykresluje graf jednotlivých dnů v daném měsíci. Jednotlivé dny v těchto registrech se dále sčítají a vytvářejí celkovou měsíční a týdenní spotřebu. Hodnota měsíční spotřeby se dále zapíše do registru roční spotřeby a ten se opět sečte pro vytvoření celkové spotřeby za rok.

Veškerá data jsou uložena do registrů PLC a je možné je exportovat na SD kartu ve formátu .csv, který je kompatibilní například s programem MS Excel. Data tedy mohou být využita i pro další statistiky, zprávy, doložení návratnosti atd.

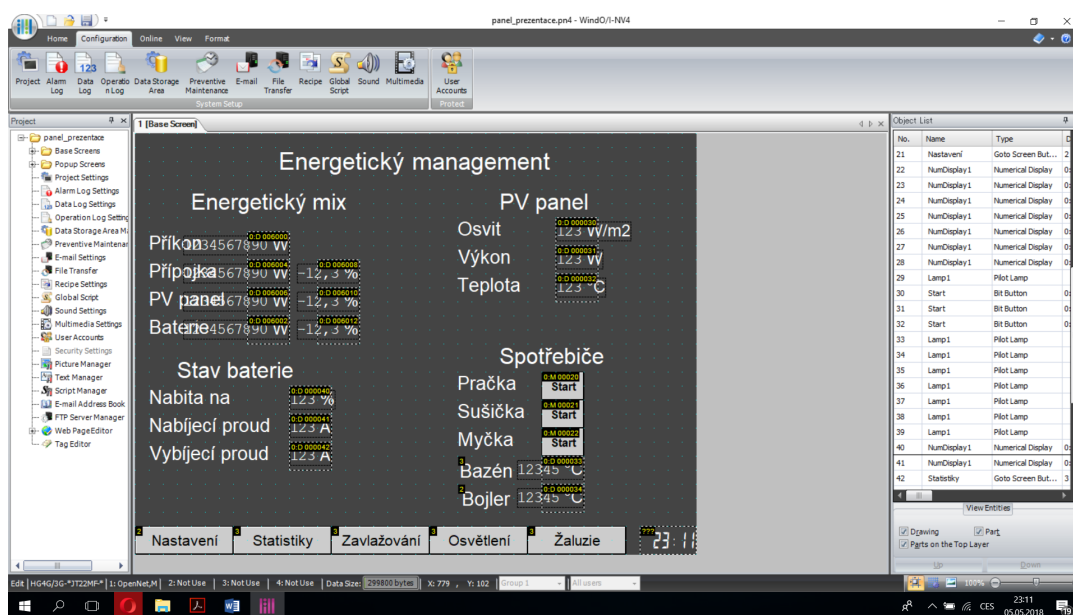
8 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ

Základem pro uživatelské prostředí je dotykový HMI panel HG3G a jeho web server, který zajistí vzdálenou správu. Celá vizualizace je rozdělena do několika obrazovek a dialogových oken. Při návrhu jsem se zaměřoval na přehlednost a intuitivní ovládání. Panel komunikuje s PLC obousměrně a je tedy schopen data vyčítat, měnit a zapisovat do registrů PLC.

8.1 Vývojové prostředí a konfigurace

Panel je programován stejně jako PLC ve vývojovém prostředí Automation organizer společnosti IDEC. Pro dotykové panely je určen modul WindOI-NV4. Návrh panelu je ve formě drag and drop. Vybraný funkční prvek se umístí na chtěnou pozici a poté se nastaví jeho parametry, například registr, který se má na displeji zobrazit.

Dále je třeba nastavit komunikaci s PLC. Zvolil jsem komunikaci po Ethernetu. Je třeba nastavit IP adresu a port externího zařízení. Obě zařízení jsou stejné značky, a proto je tímto konfigurace kompletní.



Obr. 8.1: Vývojové prostředí WindOI-NV4

8.2 Hlavní obrazovka

Hlavní obrazovku tvoří čtyři sekce a ovládání pro přepínání mezi dalšími obrazovkami. Hlavní obrazovka zobrazuje následující:

- Energetický mix
- Stav baterie
- PV panel
- Spotřebiče

Jednotlivé sekce jsou popsány níže.

8.2.1 Energetický mix

Energetický mix zobrazuje pro uživatele aktuální spotřebu (příkon) v domě a dále využití jednotlivých zdrojů (přípojka, baterie, solární panel), a to jak ve wattech, tak v procentech. Přepočet na procenta jsem zvolil pro lepší a rychlejší přehled uživatele, aby bylo na první pohled jasné rozložení jednotlivých zdrojů, které by mohlo být těžko čitelné v případě, že spotřeba bude řádově nižší jednotky tisíců wattů.

8.2.2 Baterie

Data baterie zde reprezentují aktuální nabití v procentech a nabíjecí/vybíjecí proud. Proud je přepočten z výkonu, který baterie do systému dodává (pro 230 Voltů).

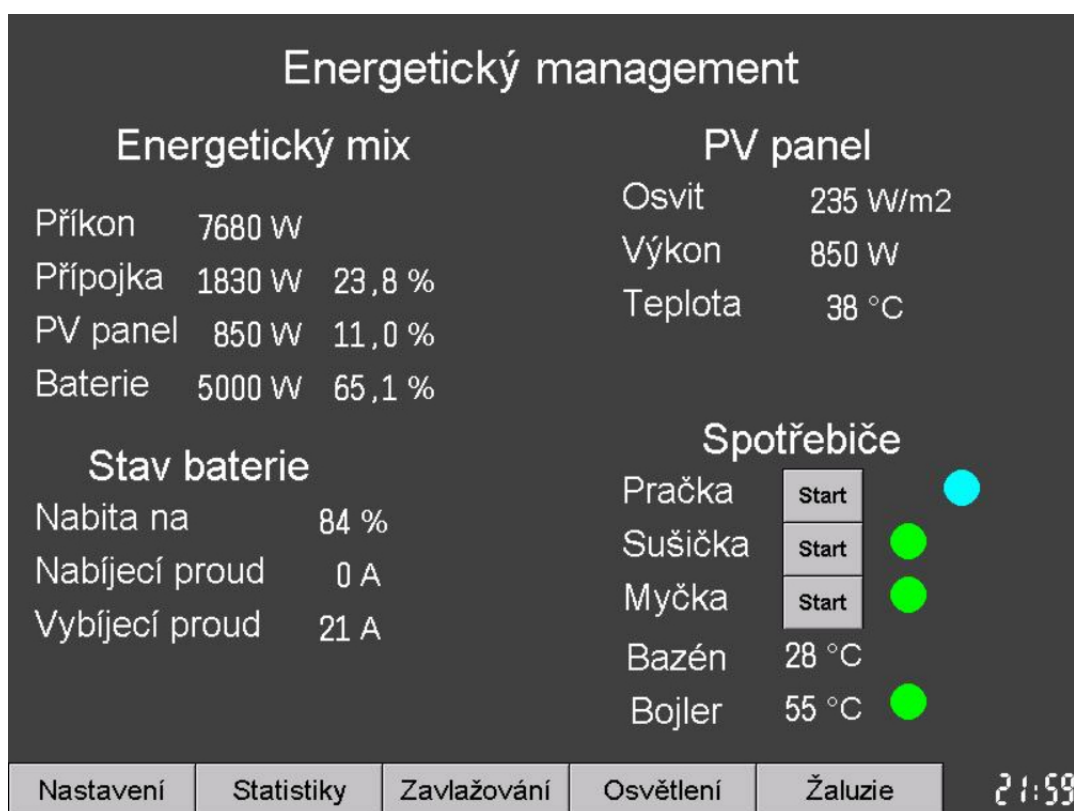
8.2.3 PV panel

Tato sekce reprezentuje vstupní a výstupní data ze solárního panelu. Jsou zde vizualizovány hodnoty aktuálního osvitu, výstupní výkon a také teplota. Teplota může být zajímavou měřenou veličinou ve chvíli, kdy systém bude rozšířen o chlazení solárních panelů pomocí tepelného čerpadla.

8.2.4 Spotřebiče

Tato část hlavní obrazovky jako jediná má kromě funkce monitorovací, také funkci řídicí. Uživatel se díky signálkám může dozvědět jeden ze dvou možných stavů spotřebiče. Zelené signální světlo značí, že spotřebič je spuštěn a modré signalizuje, že spotřebič vyčkává ve stavu opožděného startu. Uživatel může zapnutí spotřebiče vzdáleně vyvolat pomocí tlačítka Start. Dalšími prvky je teplota bazénu a vody v bojleru. V těchto případech zelená kontrolka signalizuje, zda je ohřev vody spuštěn či nikoliv.

Dále je možné měnit žádanou teplotu vody v bazénu nebo v bojleru. Pro vyvolání pop-up okna stačí kliknout na text Bojler nebo Bazén a okno s možností zadání nové žádané teploty se samo vyvolá.



Obr. 8.2: Hlavní obrazovka

8.3 Nastavení

Obrazovka slouží k nastavení uživatelem zvolených časů. Uživatel zadá svůj stereotyp, kdy se nachází doma a aktivně využívá elektrické spotřebiče. Má možnost zadat dva časy, to z důvodu, že uvažují následující dvě části dne, ve kterých se nejčastěji běžný uživatel doma nachází. Je to ranní čas mezi probuzením a odchodem do práce, školy a poté návrat a následný spánek. Pro programovou část jsou tato data stěžejní, protože jsou využita pro výpočet uživatelské kapacity a spouštění opožděných startů. Dále by se na tyto časy dala navázat regulace teploty, a tedy i spínání tepelného čerpadla anebo ohřev vody v zásobníku, kde se v časech, kdy uživatel není doma, nemusí udržovat vysoká teplota.

	Doma		Bazén		
	Od	Do	Od	Do	
Pondělí	6:00	8:00	6:00	8:00	
	18:00	23:00	6:00	23:00	
Úterý	6:00	8:00	6:00	8:00	
	19:00	23:00	6:00	23:00	
Středa	6:00	8:00	6:00	8:00	
	18:00	23:00	6:00	23:00	
Čtvrtek	6:00	8:00	6:00	8:00	
	20:00	0:00	6:00	0:00	
Pátek	6:00	8:00	6:00	8:00	
	17:00	23:00	6:00	23:00	
Víkend	9:00	14:00	6:00	14:00	
	18:00	23:00	6:00	23:00	
Ener. Manag.	Statistiky	Zavlažování	Osvětlení	Žaluzie	22:20

Obr. 8.3: Obrazovka Nastavení

8.4 Statistiky

Obrazovka statistiky informuje uživatele o spotřebě energie a o využití jednotlivých zdrojů. Veškerá data jsou uložena a zpracovávána v PLC a na panelu se zobrazují pouze Výstupní hodnoty. Výstup je jednak v hodnotách Wh nebo v kWh a také pro lepší přehlednost vyjádřen v procentech. Dále je možné hodnoty zobrazit graficky a to grafem. Grafy jsou realizovány pop-up okny, které se zobrazí, pokud uživatel klikne na název kategorie, například Denní spotřeba.

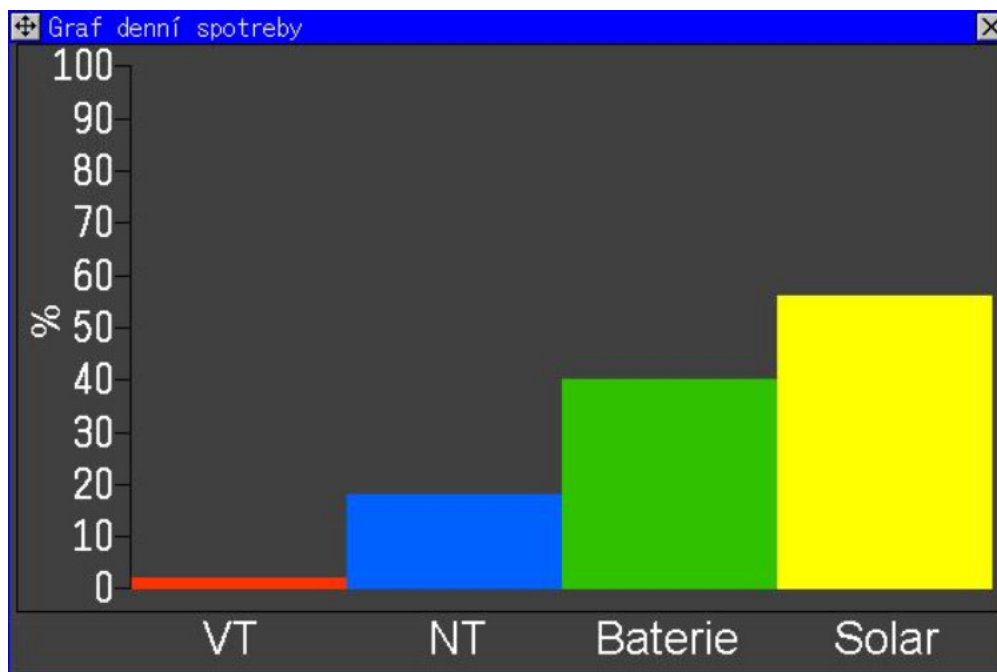
Statistiky					
Denní spotřeba			Měsíční spotřeba		
Vysoký tarif	250 Wh	1,5 %	Vysoký tarif	7000 Wh	1,5 %
Nízký tarif	2800 Wh	17,5 %	Nízký tarif	78400 Wh	17,5 %
Přípojka	3050 Wh	19,0 %	Přípojka	85400 Wh	19,0 %
PV panel	9000 Wh	56,2 %	PV panel	252000 Wh	56,2 %
Baterie	6470 Wh	40,4 %	Baterie	181160 Wh	40,4 %
Týdení spotřeba			Roční spotřeba		
Vysoký tarif	1750 Wh	1,5 %	Vysoký tarif	84 kWh	1,5 %
Nízký tarif	19600 Wh	17,5 %	Nízký tarif	940 kWh	17,5 %
Přípojka	21350 Wh	19,0 %	Přípojka	1024 kWh	19,0 %
PV panel	63000 Wh	56,2 %	PV panel	3024 kWh	56,2 %
Baterie	45290 Wh	40,4 %	Baterie	2173 kWh	40,4 %
Ener. Manag.	Nastavení	Zavlažování	Osvětlení	Žaluzie	22:19

Obr. 8.4: Obrazovka Statistiky

8.5 Grafy

Grafy jsou použity v obrazovce Statistiky pro vizualizaci spotřeb jednotlivých zdrojů ale také celkové spotřeby uživatele. Jednotlivé grafy se vyvolají při kliknutí na daný časový interval (například týdenní spotřeba).

Pro všechny časové intervaly, kromě roční spotřeby, jsou k dispozici dva typy grafů. Prvním typem je sloupcový graf, který zobrazuje podíl jednotlivých zdrojů na celkové spotřebě. Druhým typem je spojnicový graf, který zobrazuje spotřebu v čase, a to buď v hodinách pro denní spotřebu nebo ve dnech pro měsíční a týdenní spotřebu. Uživatel si tedy může jednoduše zjistit, ve kterých dnech byla spotřeba abnormální a najít příčinu.



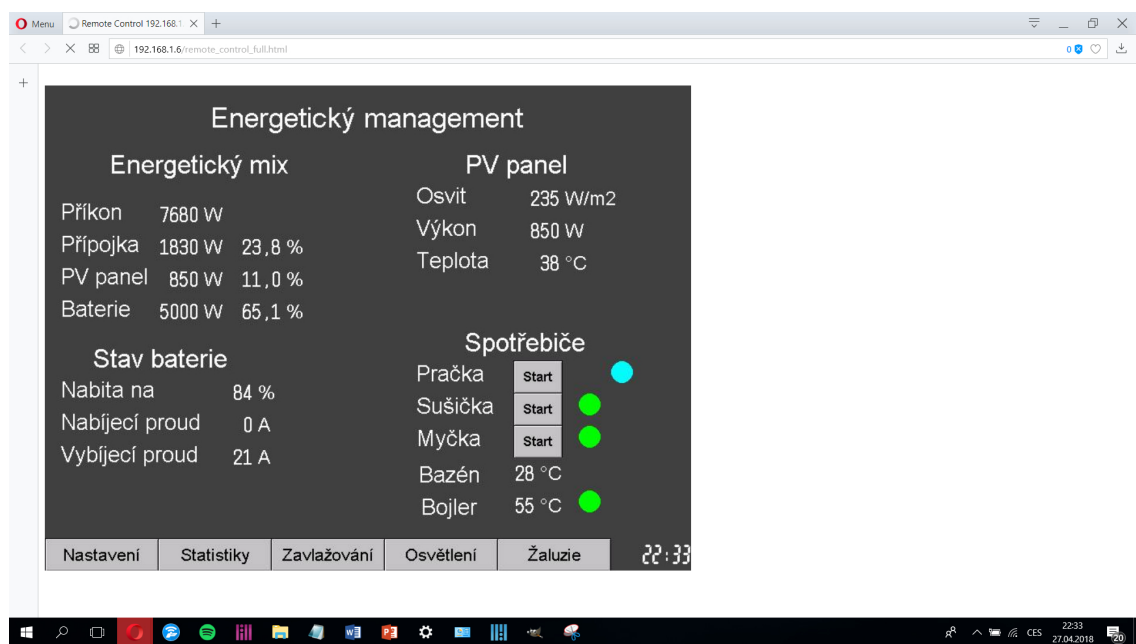
Obr. 8.5: Graf denní spotřeby

8.6 Vzdálená správa

HMI panel HG3G je vybaven web serverem, který je schopen vytvořit webové rozhraní, které je totožné jako vizualizace samotná. Uživatel se tedy může přes jakýkoliv webový prohlížeč na jakékoliv platformě k panelu připojit a ovládat ho stejným způsobem, jako by ovládal panel samotný.

Další možností je využít emailového klienta, který může zaslat email v případech ohrožení, například zapnutí alarmu nebo detekce úniku vody. Také může uživatele periodicky informovat o spotřebách nebo datech pro uživatele důležitých.

Pro možnost vzdálené správy je potřeba panel správně nakonfigurovat. Zapnout web server, nastavit vhodně parametry pro kontrolu a monitoring, zvolit výchozí obrazovku a povolit port. Dále je potřeba zajistit, aby panel byl součástí stejné sítě jako zařízení, ze kterého se na panel chceme připojit. Pokud je vše nastaveno správně, je možné se na panel připojit jakýmkoliv prohlížečem pouhým zadáním IP adresy webového serveru. Pro tuto aplikaci jsem zvolil adresu 192.168.1.6.



Obr. 8.6: Screenshot vzdálené správy

9 ZÁVĚR

Cílem práce bylo provést rešerši obnovitelných zdrojů energie, využitelných v rodinném domě, dále popsat technologie, vhodné pro uchování elektrické energie, prozkoumat trh s domácími bateriovými systémy a podrobně se podívat na trh systému pro domovní automatizaci. Na tuto teoretickou část je navázaná část praktická. Zadááním bylo navrhnout energetický management rodinného domu, který bude obsahovat OZE a akumulaci elektrické energie a tento systém následně vizualizovat pro uživatele pomocí uživatelského rozhraní

Jako nejpraktičtější obnovitelný zdroj elektrické energie se jeví fotovoltaická elektrárna. Díky masivním investicím neustále klesá cena tradiční křemíkové technologie a postupně přicházejí na trh vyspělejší systémy, jako je například popsáný CPV. Dále se jeví jako vhodné spojení fotovoltaická elektrárna a tepelné čerpadlo. Zatím nepříliš popsané řešení, kterým se budu prakticky zabývat v praktické části této práce, je aktivní chlazení panelů pomocí tepelného čerpadla a uložení odpadního tepla do země, která se v tuto chvíli chová jako obrovský tepelný akumulátor.

Téměř všechny dostupné bateriové systémy pro rodinné domy využívají Li-pol technologii pro uchování elektrické energie. Tato technologie se vyznačuje dlouhou životností, velkými nabíjecími proudy a vysokou kapacitou vůči objemu. Největší nevýhodou je nízká efektivita při recyklaci a relativně vysoké ekologické zatížení. Velké zlepšení by mohly přinést baterie společnosti HE3DA, kde výrobce uvádí parametry, které několikanásobně převyšují nejlepší modely na trhu.

Poslední teoretickou částí této práce byl průzkum nabízených řešení, které se věnují systémové elektroinstalaci. Na základě dostupných informací jsem vybral řešení společnosti TECO a.s. se systémem Foxtrot, společnost LOXONE, které jako jediné nabízejí komplexní řešení systémové elektroinstalace. Oba systémy jsou postaveny na řídicím členu, kterým je PLC. Strategie je však pro obě společnosti jiná. Zatímco LOXONE se snaží své řešení nabízet jako službu, Foxtrot se zaměřuje na HW a spolupracuje s třetími stranami, což jsou realizační firmy, které dodávají konečné řešení zákazníkovi. V kontrastu s výše uvedenými řešeními je možnost využití vhodného PLC a připravit systém na klíč pro uživatele.

Tato možnost byla dále převedena do reálné podoby na řídicím systému a HMI panelu značky IDEC. Navržený program slouží jako simulace, která zpracovává předpřipravená data, která byla do simulace vložena. Výsledkem může být možnost srovnání stávajícího řešení s inteligentním řešením, které využívá moderní technologie OZE a akumulace elektrické energie. Uživatel může veškerá data sledovat na HMI panelu, který nabízí kromě řídicích funkcí také statistiky a grafy. Řídicí algoritmus je složen z několika podprogramů, které díky společné kooperaci zajišťují vyhodnocení nejlepšího rozložení využitých zdrojů v daném okamžiku, predikují spotřebu uživa-

tele, která by pravděpodobně byla pokryta z vysokého tarifu. Uživatel přitom není otrokem systému a po inicializačním nastavení již není nucen do chodu zasahovat.

LITERATURA

- [1] *Inteligentní budovy*. elektro.tzb-info.cz [online]. 2007 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z URL:
<<http://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy>>.
- [2] CEN - European Committee for Standardisation. Buildings. In: Ec.europa.eu [online]. 2010 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z URL:
<<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings/>>
- [3] *BUILDINGS* European Committee for Standardisation. Buildings. In: Ec.europa.eu [online]. 2010 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z URL:
<<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>>
- [4] *Fotovoltaika - obecně i konkrétně*. Www.nemakej.cz [online]. 2013 [cit. 2017-11-21] Dostupné z URL:
<<http://www.nemakej.cz/fotovoltaicky-jev-a-idealni-podminky-pro-solarni-elektrarny.php>>
- [5] *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [6] *Větrné elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR*. Oenergetice.cz [online]. 2015 [cit. 2017-11-21]. Dostupné z URL:
<<http://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>>
- [7] *Princip fungování vodních elektráren*. cez.cz [online]. [cit. 2017-11-22]. Dostupné z URL:
<<https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/flash-model-jak-funguje-vodni-elektrarna.html>>
- [8] *Palivové články – princip funkce a dělení*. MAJLING, Eduard. Oenergetice.cz [online]. 2015 [cit. 2017-11-22]. Dostupné z URL:
<<http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni/>>

- [9] *Tepelná čerpadla pro každého (I)*. HOŘEJŠ, Ing. Miroslav. Vytapeni.tzb-info.cz [online]. 2002 [cit. 2017-11-26] Dostupné z URL:
<<http://vytapeni.tzb-info.cz/953-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-i>>
- [10] *Princip tepelného čerpadla*. Wwww.ochsner.cz [online]. [cit. 2017-11-26]. Dostupné z URL:
<<http://www.ochsner.cz/cz/o-tepelnych-cerpadlech/princip-tepelneho-cerpadla.html>>
- [11] *ENERGIE PROSTŘEDÍ, GEOTERMÁLNÍ ENERGIE, TEPELNÁ ČERPADLA*. BERANOVSKÝ, Jiří, Monika KAŠPAROVÁ, František MACHOLDA, Karel SRDEČNÝ a Jan TRUXA. Ekowatt.cz [online]. 2007 [cit. 2017-11-26] Dostupné z URL:
<<http://ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-prostredi-geotermalni-energie-tepelna-cerpadla>>
- [12] *Tepelná čerpadla pro každého (II)*. HOŘEJŠ, Ing. Miroslav. Vytapeni.tzb-info.cz [online]. 2002 [cit. 2017-11-26] Dostupné z URL:
<<http://vytapeni.tzb-info.cz/953-tepelna-cerpadla-pro-kazdeho-ii>>
- [13] *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel* MATUŠKA, Tomáš. Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP. In: Vytapeni.tzb-info.cz [online]. Buštěhrad: UCEEB ČVUT, 2015 [cit. 2017-12-09] Dostupné z URL:
<<http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>>
- [14] *informační bulletin pro uživatele systémů firmy Teco a.s.* informační bulletin pro uživatele systémů firmy Teco a.s. In: Informační bulletin pro uživatele systémů firmy Teco a.s. [online]. 2017, 2017, s. 38 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z URL:
<<https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=tecoinfo-38-cz>>
- [15] *LOXONE* Loxone In: Wwww.loxone.com [online]. 2017 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z URL:
<<https://www.loxone.com/cscz/>>
- [16] *EKOBONUS* EKOBONUS, Nízký tarif In: Nízký tarif: komu je určen a proč je výhodný. 2017 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z URL:

<<http://www.ekobonus.cz/nizky-tarif-komu-je-urcen-a-proc-je-vyhodny>>

- [17] *CPV (Concentrated Photovoltaics)* JOHAN, Jan, Vratislav GÁBRT a Jaroslav MERTA. CPV (Concentrated Photovoltaics) - Vývoj fotovoltaických panelů nové generace v Elceram a TTS [online]. Kouty nad Desnou, 2011, 14.4.2011, , 8 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z URL:
<http://www.elceram.cz/user-files/tinymce/files/prispevek_oze_2011_elceram_cz.pdf>
- [18] *Energetická samostatnost a optimalizace spotřeby energie s využitím obnovitelných zdrojů a systémové instalace v domácnosti.*) KADĚRA, J. Energetická samostatnost a optimalizace spotřeby energie s využitím obnovitelných zdrojů a systémové instalace v domácnosti. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Branislav Bátora, Ph.D.
- [19] *HE3DA* HE3DA. www.he3da.cz [online]. 2017 [cit. 2017-12-26]. Dostupné z URL:
<<https://www.he3da.cz>>
- [20] *How do solar batteries compare? Tesla Powerwall vs. Sonnen batterie vs. Aquion vs. LG Chem RESU* How do solar batteries compare? Tesla Powerwall vs. Sonnen batterie vs. Aquion vs. LG Chem RESU. In: [News.energysage.com](http://news.energysage.com) [online]. 2017 [cit. 2017-12-26]. Dostupné z URL:
<<https://news.energysage.com/tesla-powerwall-vs-sonnen-eco-vs-lg-chem/>>
- [21] *Akumulace elektrické energie pro rodinný domek* BLABLA, O. Akumulace elektrické energie pro rodinný domek. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 65 s. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [22] *Typy baterií a technologie.* Typy baterií a technologie. In: [Elektroport.cz](http://elektroport.cz) [online]. 2016 [cit. 2017-12-26]. Dostupné z URL:
<<http://elektroport.cz/vse-o-elektrokolech/baterie/typy-baterii-a-technologie>>
- [23] *Building Energy Management Systems (BEMS).* Building Energy Management Systems (BEMS). In: [Climatetechwiki.org](http://climatetechwiki.org) [online]. 2006 [cit. 2017-12-26]. Dostupné z URL:
<<http://www.climatetechwiki.org/technology/jiqweb-bems>>

- [24] *Building Energy Management Systems (BEMS)*. Building Energy Management Systems (BEMS). In: Climatetechwiki.org [online]. 2006 [cit. 2017-12-26]. Dostupné z URL:
<<http://www.climatetechwiki.org/technology/jiqweb-bems>>
- [25] *PLC IDEC FC6A*. PLC IDEC FC6A. In: www.us.idec.com [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z URL:
<http://us.idec.com/files/FC6A_site/AI0/aio.html#design>
- [26] *HMI panel IDEC HG3G*. HMI panel IDEC HG3G. In: Www.ccned.nl [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z URL:
<<https://www.ccned.nl/en/idec-hg3g-ajt22tf-w.html>>
- [27] *Úspory elektřiny v domácnosti* Úspory elektřiny v domácnosti. In: Energetika.cz [online]. 2008, 2008 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z URL:
<<http://energetika.cz/?id=71&cl=356>>
- [28] *Reducing household electricity consumption through demand side management: the role of home appliance scheduling and peak load reduction* LAICANE, Ilze, Dagnija BLUMBERGA, Andra BLUMBERGA a Marika ROSA. Reducing household electricity consumption through demand side management: the role of home appliance scheduling and peak load reduction. International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies – CONECT 2014” [online]. 2014, 2014 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z URL:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215007225#>>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

BEMS	Building Energy Management System
RD	Rodinný dům
OZE	Obnovitelné zdroje energie
TČ	Tepelné čerpadlo
CPV	Concentrated Photovoltaics
Si	Silicium (Křemík)
PLC	programovatelný logický automat
VT	Vysoký tarif elektrické energie z přípojky
NT	Nízký tarif elektrické energie z přípojky
PLC	Programmable Logic Controller - Programovatelný logický automat
HDO	Hromadné dálkové ovládání
HMI	Human-Machine Interface
	Human-Machine Interface