VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2020 Glib Konstantinov

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

CHYTRÁ DOMÁCNOST
SMART HOME

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Glib Konstantinov**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2020

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

Student: Glib Konstantinov ***ID:*** 195364
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Chytrá domácnost

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je analýza prvků chytré domácnosti se zaměřením na způsoby komunikace a protokolů (např. KNX). Dílčím cílem práce je kategorizace spotřebičů, zásuvkových modulů a měřicích prvků (vodoměr, elektroměr, plynoměr) s cílem agregace dat v jednom centrálním bodě pro řízení a optimalizaci. Dále je cílem návrh metody způsobů implementace smart prvků do existující zástavby. Praktická část je zaměřena na sadu měření zásuvkových modulů, monitorů kvality a vybraných chytrých spotřebičů s cílem řízení spotřebičů, které nejsou vybaveny komunikací.
Výstupem je vizualizace pomocí dostupných nástrojů způsobů implementace smart prvků do existující zástavby, chytrých domů a různých kombinací spotřebičů a zdrojů (např. baterie, FVE, bojler).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KNX ASSOCIATION. 2015. KNX Handbook for Home and Building Control. Amazon Digital Services

[2] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN and Christof HÜBNER. 2008. Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet. Praha: Grada. Stavitel.

Termín zadání: 3.2.2020 ***Termín odevzdání:*** 8.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda rady studijního programu

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 v teoretické části zabývá analýzou inteligentních prvků a možnostmi jejích využití v domácnosti. Dále jsou popsány možnosti využití elektrické energie z fotovoltaické elektrárny a jejích srovnání z hlediska finančních úspor a efektivity využití. V teoretické části je také popsán smart metering a jsou uvedeny způsoby sledovaní spotřeby elektrické energie z klasických elektroměrů. Praktická část se zaměřuje na měření spotřeby elektrické energie domácími spotřebiči pomocí zásuvkového modulu s cílem jejích kategorizace a měření kvality elektrické energie pomocí monitoru kvality MEg44PAN. Výstupem bakalářské práce je vizualizace různých způsobů implementace inteligentních prvků do existující zástavby, chytrých domů a různých kombinací spotřebičů a zdrojů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Chytrá domácnost, FVE, zásuvkový modul, dálkové sledování spotřeby, webová aplikace

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the analysis of intelligent devices and the possibilities of their usage in the household. Furthermore, the possibilities of using electricity from a photovoltaic power station and their comparison in terms of financial savings and efficiency of use are described. Moreover, in the theoretical part, a smart metering is described and methods of monitoring electricity consumption from classic electricity meters are presented. The practical part focuses on measuring the consumption of electricity by home appliances using a smart plug with the aim of their categorization, measuring the quality of electricity using a quality monitor MEg44PAN. The output of the bachelor thesis is the visualization of ways how intelligent elements can be implemented into existing buildings, smart homes and various combinations of appliances and resources.

KEYWORDS

Smart Home, PV system, smart plug, remote consumption monitoring, web application

KONSTANTINOV, Glib. *Chytrá domácnost*. Brno, 2020, 79 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mlýnek, CSc.

Vysázeno pomocí balíčku `thesis` verze 3.05; `http://latex.feec.vutbr.cz`

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Chytrá domácnost“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce 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 uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom 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

PODĚKOVÁNÍ

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

Obsah

Úvod **17**

1 Technologie chytré domácnosti **19**
1.1 Kabelová technologie 20
1.1.1 KNX/EIB 20
1.2 Komunikace na bázi PLC 21
1.3 Bezdrátová technologie 22
1.3.1 Wi-Fi 22
1.3.2 Z-Wave 23
1.3.3 ZigBee 23

2 Analýza prvků chytré domácnosti **25**
2.1 Osvětlení 26
2.2 Vytápění 27
2.3 Klimatizace 29
2.4 Zabezpečení 30

3 Fotovoltaická elektrárna **31**
3.1 Základní prvky fotovoltaické elektrárny 31
3.2 Možnosti využití fotovoltaicke elektrárny 32
3.2.1 Přímá spotřeba v okamžiku výroby 32
3.2.2 Akumulace do baterie 33
3.2.3 Využití přebytků energie pro ohřev vody 33
3.3 Analýza způsobů využití elektrické energie z FVE 34
3.3.1 Vyžití elektřiny domácími spotřebiči 34
3.3.2 Ohřev vody 34
3.3.3 Ukládaní přebytku elektřiny do baterii 35
3.3.4 Srovnání tří metod využití elektřiny z FVE 36

4 Domácí spotřeba **37**
4.1 Systém HDO 37
4.2 Klasické elektroměry 37
4.2.1 Senzory pro dálkový odečet dat 38
4.2.2 Srovnání třech senzorů 40
4.3 Smart Metering 40
4.3.1 Dynamický tarif 40
4.3.2 Stanovení ceny elektrické energie 41
4.3.3 AMI(Advanced Metering Infrastructure) 42

4.3.4 Komunikace . . . 43
4.3.5 Datový koncentrátor . . . 43
4.3.6 Datová centrála . . . 44
4.3.7 Inteligentní elektroměry(smart meters) . . . 44
4.3.8 Sledovaní spotřeby ze smart metrů . . . 45
4.4 Odložení spotřeby . . . 46
4.4.1 Spotřebiče nevhodné pro přesun spotřeby . . . 46
4.4.2 Spotřebiče vhodné pro přesun spotřeby . . . 47

5 Praktická část **49**
5.1 Zásuvkové moduly . . . 49
5.1.1 Revogi Smart Power Plug . . . 49
5.1.2 Evolveo Porta U2 . . . 51
5.1.3 Fibaro Wall Plug . . . 51
5.1.4 Koogeek Smart Plug . . . 52
5.1.5 Výběr zásuvkového modulu . . . 52
5.2 Měření . . . 52
5.2.1 Popis vybraného zásuvkového modulu . . . 52
5.2.2 Měření spotřeby . . . 53
5.2.3 Měření kvality elektrické energie . . . 55
5.3 Návrh vizualizace . . . 56
5.3.1 Aplikace z pohledu uživatele . . . 58
5.3.2 Automatizace domácnosti . . . 59
5.3.3 Výroba vlastní elektřiny . . . 60
5.3.4 Kategorie s cílem sledovaní domácí spotřeby . . . 65

Závěr **67**

Literatura **69**

Seznam symbolů, veličin a zkratek **75**

Seznam příloh **77**

A Obsah přiloženého CD **79**

Seznam obrázků

1.1 Chytrá domácnost[1]. 19
2.1 Klasifikace prvků chytré domácnosti. 25
2.2 Aquanta modul pro ohřívač vody[28]. 28
2.3 Eneco modul pro ohřívač vody[29]. 28
2.4 Rozhraní inteligentního termostatu. 29
3.1 Fotovoltaická elektrárna[17]. 31
3.2 Přímá spotřeba v okamžiku výroby[15]. 32
3.3 Akumulace vyráběné elektřiny do baterie[15]. 33
3.4 Výsledky při využití přebytku elektřiny domácími spotřebiči[16]. . . . 35
3.5 Výsledky při využití přebytku energie pro ohřev vody[16]. 35
3.6 Výsledky při ukládaní elektřiny do baterie[16]. 36
4.1 Schema přenosu dat při použití senzorů 38
4.2 Senzor pro měření spotřeby el. energie ElIoT[24]. 39
4.3 Čidlo pro odečet elektroměru Shark[25]. 39
4.4 SM2-RM-GSM 40
4.5 Roční energie z obnovitelných zdrojů[20] 41
4.6 Cena za elektřinu u třech tarifů [21] 42
4.7 Topologie v systému Smart Metering 44
4.8 Hlavní funkce inteligentního měřiče 45
4.9 Inteligentní měřič[22]. 46
4.10 In-home display[23]. 46
5.1 Denní spotřeba boilerem 54
5.2 Denní spotřeba lednicí 54
5.3 Týdenní spotřeba na základě chování obyvatelů 55
5.4 Statistika naměřených údajů 56
5.5 Naměřené hodnoty napětí 57
5.6 Průběh napětí 57
5.7 Oblasti pro automatizaci domácnosti 58
5.8 Fotovoltaická elektrárna a spotřeba elektřiny 59
5.9 Oblast «Zabezpečení» 60
5.10 Seznam inteligentních prvků 61
5.11 Roční spotřeba elektřiny pro vytápění, ohřev TUV. Roční výroba FVE. 63
5.12 Roční náklady na vytápění 64
5.13 Roční výroba FVE/roční spotřeba elektřiny pro nabíjení elektromobilu. 65
5.14 Roční náklady na palivo/elektrickou energii pro nabíjení auto. 66

Seznam tabulek

3.1 Srovnaní úspor pro tři způsoby využití FVE 36
4.1 Srovnání senzorů pro dálkový sběr dat 40
5.1 Charakteristika měřičů elektrické energie. 50
5.2 Charakteristika bezdrátových zásuvkových modulů. 50
5.3 Rozložení spotřeby tepelného čerpadla na celý rok 62
5.4 Rozložení výroby fotovoltaické elektrárny na celý rok 62

Úvod

Historie pojmu «Chytrá domácnost» pochází z poloviny 20. století, s příchodem prvních zařízení pro regulaci úrovně osvětlení. Automatizace vlastního obytného prostoru a správa domácích podsystémů byly po dlouhou dobu ekonomicky nevýhodné, ale s rozvojem úrovně komunikační technologií se inteligentní dům stal každým rokem dostupnější. V dnešní době si téměř každý může dovolit elementy chytré domácnosti. První kapitola popisuje technologie, které se dnes používají pro návrh inteligentního domácího systému nebo při vzdáleném sběru dat.

V další kapitole byla provedena analýza jednotlivých zařízení inteligentního domu, variace jejich umístění a kombinace s jinými zařízeními za účelem vytvoření konkrétního inteligentního systému. Také byla v této kapitole provedena klasifikace domácích spotřebičů na základě možnosti komunikace s uživatelem.

Třetí kapitola se zabývá problematikou využití elektrické energie z vlastní fotovoltaické elektrárny. Zde jsou popsané způsoby využití vyrobené elektřiny, jejích výhody a nevýhody, také je znázorněné porovnání třech způsobů z hlediska finančních úspor.

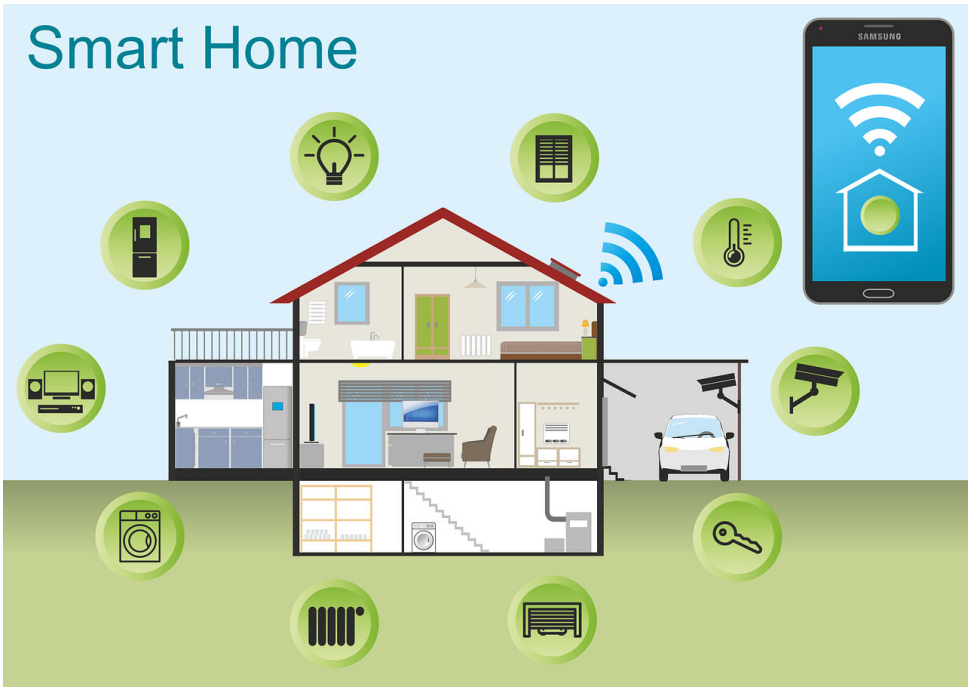
V první části čtvrté kapitoly byla analyzovaná problematiky sledování spotřeby elektrické energie z klasických elektroměrů. Také bylo provedeno porovnání několika senzorů pro dálkový sběr dat se zaměřením na způsob komunikace. Ve druhé části bya rozebraná problematika inteligentního zúčtovacího systému(Smart Metering) a jeho nezbytných součástí, jako dynamické tarify a jejích zavádění do Evropské Unie, AMI(Advanced Metering Infrastructure), inteligentní elektroměry a datové koncentrátory.

Praktická část sestává ze tří části. V první části byla provedená analýza a srovnaní zásuvkových modulů pro měření spotřeby elektrické energie. Druhá část je zaměřená na měření spotřeby elektrické energie domácími spotřebiči pomocí zásuvkového modulu Evolveo Porta U2 s cílem jejích kategorizace z hlediska velikosti spotřeby a možnosti její řízení. Dále bylo realizované měření kvality napětí pomocí monitoru Meg44PAN. Ve třetí části jsme se zabývali návrhem vizualizace způsobů implementace inteligentních prvků do existující zástavby, chytrých domů a různých kombinací spotřebičů a zdrojů. Jako způsob vizualizace byla zvolená webová aplikace. V textu jsou popsané jednotlivé části webové aplikaci a podle čeho byl realizovaný její návrh.

1 Technologie chytré domácnosti

Pojem «chytrá domácnost» je obšírná a relativní. V klasickém smyslu jde o autonomní kontrolní komplex pro všechny systémy objektu na základě přednastavených podmínek bez účasti člověka. V širším smyslu jakýkoli systém, který umožňuje dálkově ovládat zařízení, konfigurovat automatické scénáře vázané na určité události, ovládat klima v domově a dokonce generovat vlastní elektrickou energii, je považován za inteligentní dům. Jinými slovy výsledek modernizace jakéhokoliv systému obytného prostoru patří k chytré domácnosti.

Objem zavádění nových technologií do domova a to, jak moc chce člověk svoje obydlí zmodernizovat, závisí na různých faktorech, například na tom, v jaké fázi výstavby je budova. U rodinného domu, který se staví, je mnohem více možností pro implementaci inteligentních technologií než u bytu, ve kterém již byly provedeny opravy. Hlavními cíli při vytváření inteligentního domu je snížení spotřeby elektrické energie a zvýšení bezpečnosti obydlí a komfortu.



Obr. 1.1: Chytrá domácnost[1].

Hlavním požadavkem každého inteligentního domu je, aby majitel mohl jakýmkoli způsobem spravovat zmodernizované systémy nebo o něm získávat informace, které potřebuje. Důležitou součástí inteligentního domu je také komunikace prvků mezi sebou. Z toho můžeme vyvodit, že při plánování implementace inteligentních technologií, je důležité se rozhodnout o tom, jakým způsobem bude probíhat komunikace.

1.1 Kabelová technologie

Kabelová technologie inteligentního domu je vhodná pro průmyslové objekty a soukromé domovy nebo byty, které jsou ve fázi návrhu. Podstatou kabelového systému je to, že všechna ovládací zařízení - senzory, vypínače, zařízení pro regulaci teploty, různé ovládací prvky jsou propojeny jedinou kabelovou informační sběrnicí, po které signály vedou k akčním členům, umístěných v rozvaděči. Rozvaděče zpracovávají tento signál a napájí zařízení po silnoproudém vedení. Pro informační sběrnici se používají speciální kabely nebo kroucený pár.

Výhody kabelového systému:

- spolehlivost,
- rychlost odezvy,
- neomezené možnosti rozšíření systému,
- dobré zabezpečení sítě,
- nezávislost na provozu bateriových zdrojů energie, protože je nevyužívá.

Nevýhody kabelového systému:

- potřeba položení informačních sběrnicí,
- cena,
- většinou je nutné schválit projekt před instalací systému.

1.1.1 KNX/EIB

KNX je globální otevřený standard pro komunikační sběrnice. Více než 400 výrobců ve 44 zemích světa vyrábí své výrobky pod jménem tohoto standardu[2].

Technologie KNX podporuje čtyři způsoby přenosu dat[3]:

- kroucený pár (rychlost přenosu 9600 b/s),
- silnoproudé vedení (1200 b/s),
- IP síť (Ethernet), KNX datagramy mohou být zapouzdřené do IP datagramu a přenášené po LAN síti,
- rádiokanál, KNX datagramy jsou přenášené ve frekvenčním pásmu 868 MHz a mají přenosovou rychlost 16 kb/s.

Struktura

Systém KNX je decentralizovaný, a tedy nepoužívá centrální jednotku. Struktura KNX se tvoří ze tří typů linií: páteřní, hlavní a vedlejší linie . Do páteřní linie lze připojit až 15 hlavních linie (oblasti). V každé hlavní linii může být 15 vedlejších linií. Do ní lze připojit maximálně 4 segmenty ve kterých je 64 zařízení. Celkem v KNX systému může fungovat 57600 prvků[4].

1.2 Komunikace na bázi PLC

PLC (Powerline Communication) komunikace je moderní technologie založená na přenosu dat po silnoproudovém vedení. Použití takového systému je účelné, pokud je nutné přenášet data, a instalace bezdrátové technologie nebo pokládání kabelů je obtížné z různých důvodů. Nejviditelnější výhodou použití vysokonapěťové komunikace pro přenos dat není nutné položit kabel a provést instalační práce.

Komunikaci na bázi PLC, z pohledu šířky pásma můžeme rozdělit na tři kategorie:

UNB (Ultra Narrow Band)

Šířka komunikačního pásma je stanovena na 0,3-3 kHz, rychlost přenášených dat je 100 b/s. UNB-PLC se dneska nepoužívá pro inteligentní systémy, ale pro M2M (Machine-to-Machine) komunikaci a v systémech LPWAN(Low Power Wide Area Network), vyznačují se velkým dosahem, nízkou rychlosti přenosu a dlouhou životností zařízení na baterie. Využívá se většinou v energetice pro dálkový sběr dat, monitoring různých parametrů zařízení(teplota, pozice) a systémem hromadného dálkového ovládaní (HDO)[5].

NB (Narrow Band)

Úzkopásmové PLC je nejvhodnější pro inteligentní systémy. Komunikace probíhá v pásmu 3-500 kHz. Používá se pro dálkový sběr dat a pro domácí automatizaci (ovládaní domácích spotřebičů). Podle rychlosti přenosu dat lze rozdělit na dva druhy:

- LDR (Low Data Rate) - rychlost přenosu nepřesahuje desítky kb/s. Známé standardy jsou HomePlug C&C, X10, IEC 61334-5.
- HDR (High Data Rate) - rychlost je od desítek kb/s až po 500 kb/s podle použité technologie, například PRIME, G3-PLC, ITU-T G.hnem.

Standardy úzkopásmového PLC se liší podle regionu, kde NB frekvence definují CENELEC v Evropě, FCC ve Spojených státech amerických, ARIB v Japonsku a EPRI v Číně[6].

BB (Broad Band)

Širokopásmová komunikace má šířku 1,8-250 MHz. V současné době je jedna z nejdůležitějších komunikačních technologií pro technologii *Smart Gird*, které jsou AMI (Advanced Metering Infrastructures) a HAN (Home Area Networks). Pro AMI nejdůležitější charakteristiky jsou spolehlivost a rychlost přenosu, pro HAN naopak, rychlost není tak důležitá jako stabilita, která je důležitá pro přenos hlasu a videa[7].

Nejrozšířenější standard pro domácí PLC komunikaci je HomePlug AV2.

1.3 Bezdrátová technologie

V posledních letech se staly populární bezdrátové inteligentní technologie pro chytrou domácnost. Obvykle jsou rozděleny do kategorií:

- částečně bezdrátové - položeno ve fázi stavby nebo rekonstrukce. Bloky jsou napájeny elektrickým vedením a komunikace zařízení probíhá bezdrátově,
- zcela bezdrátové - může být provedeno po opravě. Tento systém je sada zařízení, která lze navzájem nezávisle synchronizovat přes internet.

Porovnáme-li tyto dva typy bezdrátového automatizačního systému, první možností bude nejbezpečnější: centrální jednotka je připojená k elektrické síti a panely, vypínače a další komponenty systému mohou být bezdrátové.

Výhody bezdrátové technologie:

- není potřeba pokládat kabeláž.
- rychlá a snadná instalace.
- cena
- mobilita a flexibilita.

Nevýhody :

- náchylnější k poruchám.
- nutnost vyměňovat u všech prvků baterie.

1.3.1 Wi-Fi

Technologie Wi-Fi je založena na standardech bezdrátových sítí IEEE 802.11x. Definují pouze první dvě vrstvy modelu OSI - fyzickou a linkovou. Síť Wi-Fi má topologii «hvězda», což znamená, že všechny její uzly jsou připojeny přímo k centrálnímu prvku - bezdrátovému přístupovému bodu. V takové topologii lze koncová zařízení přidávat a odebírat ze sítě, aniž by to ovlivňovalo integritu její struktury a přenos dat v ní. Tento přístup však vytváří jediný bod selhání.

Avšak táto technologie má určité omezení. První vyplývá z topologie sítě Wi-Fi. Závislost veškerého provozu na centrálním bodu má vážnou nevýhodu: Jakmile přístupový bod selže, jednotlivé síťové uzly přestanou vzájemně komunikovat. Druhý problém spočívá v tom, že technologie Wi-Fi je pro «IoT» příliš energeticky náročná. To se stává nevýhodou pro ta zařízení, která musí fungovat ze samostatných zdrojů energie. Například samostatný senzor pohybu, kouře, otevírání/zavírání dveří na základě Wi-Fi nemá smysl provozovat, protože jeho baterie se rychle vybíjí[11].

Všechny výše uvedené vlastnosti nečiní Wi-Fi dobrým řešením pro chytrou domácnost.

1.3.2 Z-Wave

Z-Wave je patentovaný bezdrátový komunikační protokol určený pro domácí automatizaci, zejména pro monitorování a řízení v obytných a komerčních budovách. Pokrývá všechny vrstvy síťového modelu OSI, od fyzické po aplikační, je založený na síťové topologii typu Mesh. Protokol je navržen tak, že síťové uzly, které fungují jako opakovače, mají schopnost přeposílat zprávy, dokud nedosáhnou cíle. Tento přístup nejenže umožňuje výrazně rozšířit dosah vaší bezdrátové sítě, ale také zvyšuje její spolehlivost. Každá síť Z-Wave má řídicí jednotkou (kontroller), která přidává nové zařízení do sítě a odstraňuje staré, sestavuje směrovací mapu, zajišťuje bezpečné připojení, poskytuje možnosti vytváření automatizačních skriptů[8].

Z-Wave pracuje v pásmu 868,42 MHz(Evropa)[9] vyhrazené pro zařízení krátkého dosahu.Toto pásmo je charakterizováno malým množstvím rušení způsobeného jinými zařízeními pracujícími na stejných frekvencích. Výhodou technologie Z-Wave je schopnost téměř okamžitě spravovat síť, když uzel přestane reagovat. Toho je dosaženo pomocí funkce Explore Frame, pro hledání všech možných cest, která se spustí automaticky.

Na světě existuje více než 200 výrobců nabízejících produkty s čipy nebo moduly Z-Wave, a všechny tyto výrobky jsou vzájemně kompatibilní[10].

1.3.3 ZigBee

Jedná se o nízkorýchlostní standard s nízkou spotřebou energie, optimalizovaný pro dálkové monitorování a inteligentní ovládání domácnosti. Sada protokolů ZigBee definuje horní vrstvy modelu OSI - síťovou, transportní a aplikační. Funguje podle standardu IEEE 802.15.4. Jako pracovní pásmo definuje tento standard frekvenci 2,4 GHz. Používá topologii sítě typu Mesh, komunikace v síti se provádí postupným předáváním paketů ze zdrojového do cílového uzlu.

Síťová zařízení ZigBee jsou rozdělena do 3 typů:

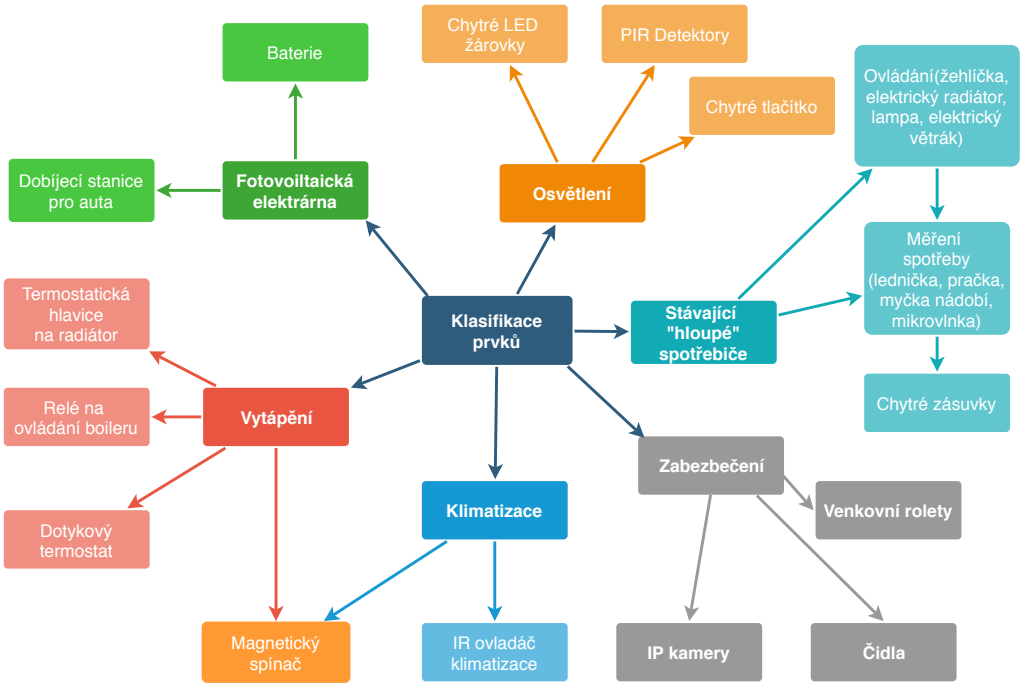
- koordinátor - spustí a spravuje síť, nastavuje zásady zabezpečení, uchovává informaci o síti
- směrovač přeposílá pakety, provádí dynamické směrování, obnovuje trasy v případě přetížení sítě nebo selhání jakéhokoli zařízení. Pracuje v nepřetržitém režimu.
- koncové zařízení může přijímat a odesílat pakety, ale nepřenáší je . Může přejít do režimu spánku, aby se šetřila energie baterie[11].

2 Analýza prvků chytré domácnosti

Prvky chytré domácnosti jsou zařízení které prostřednictvím komunikace mezí sebou nebo centrální jednotkou, umožňují uživateli snadno ovládat děj ve svém bytě nebo domově. Prvky centralizovaného řídícího systému chytré domácnosti lze rozdělit do těchto skupin podle jejích funkcí[13]:

- ***snímače*** - zařízení, která generují ovládací příkazy (vypínače, senzory světla, pohybu, teploty atd.) a posílají je do řídící jednotky.
- ***akční zařízení*** - zařízení, která přijímají signály od řídicí jednotky, a aktivují nějaký děj (žárovky, regulátory a relé).
- ***řídicí jednotka*** přijímá příkazy od snímačů a posílá je akčním zařízením, a umožňuje fungování celého systému.

V dalších částech semestrální práce budou probírané varianty implementace chytré domácnosti pro již stávající byt, ve kterém nejsou žádné inteligentní spotřebiče, a proto se zaměříme na inteligentní prvky a různé kombinace s nimi, díky kterým dokážeme minimalizovat spotřebu elektrické energie, náklady a zpříjemnit život. Nejvíc vyhovující způsob pro tento scénář bude klasifikace prvků podle oblasti použití:



Obr. 2.1: Klasifikace prvků chytré domácnosti.

2.1 Osvětlení

Odborným názvem «Inteligentní osvětlení» míníme světlo, které je automatizované prostřednictvím přednastavených scénářů nebo dálkově ovládané smartfonem a jinými chytrými zařízeními. Inteligentní osvětlení počítá s takovými faktory jako například denní doba, přítomnost osob v místnosti a stupeň osvětlení pro spínání a vypínání světla, což umožní šetřit spotřebu elektrické energie a zmenšit náklady. Z pohledu bezpečnosti, inteligentní osvětlení lze využít v situaci když doma nikdo není a zapnutím světla simulovat přítomnost osob doma. Takový systém se skládá z dvou typů prvků: svítidla a elektronické systémy, které řídí svítidla. Jako svítidla mohou být luminiscenční výbojky, xenonové lampy a LED žárovky, které jsou nejvíc používané v současných inteligentních domech. Řídicí systémy se rozhodují na základě detektorů pohybu, okenních rolet, dimmerů, bezdrátových vypínačů.

Ovládaní osvětlení lze snadno dosáhnout různými způsoby. Za prvé je nutno roztřídit inteligentní svítidla v bytě do jednotlivých skupin v závislosti na tom, v jaké místnosti se nachází. Jedna z možností je automatické spínaní a vypínaní světla ve vybraných místnostech, kde přítomnost osob není trvalá. PIR detektor se umisťuje v rohu místnosti ve výšce 2 metry pod uhlem 15° a přes centrální jednotku se nastavuje scénář při kterém se světlo rozsvítí na určitou dobu, když detektor detekuje pohyb. Druhý scénář je nastavení tlačítek na zapnutí a vypnutí vybraných zón nebo i v celém bytě, což je velmi užitečně při odcházení nebo před spáním.

Na základě popsáných scénářů můžeme vyčlenit hlavní prvky této kategorie.

- ***LED žárovky*** - žárovky, ve kterých se používá LED technologie, mají výhodu oproti klasickým žárovkám v nízké spotřebě elektrické energie, která je 8-10 krát menší než u obyčejných žárovek.
- ***PIR detektory*** - jsou pasívní infračervená čidla, jejích fungovaní je založené na snímaní změn teploty v prostoru. Uvnitř detektoru jsou dvě pyroelektrické destičky s rozdílovým napětím, pokud dojde ke změně teploty jedné z destičky, bude poslán signál na centrální jednotku, která podle přednastaveného scénáře rozsvítí světlo ve vybrané místnosti[14].
- ***Dimmery*** - zařízení, které mají v sobě nejenom funkci spínače, ale i umožňují nastavovat intenzitu osvětlení v místnosti. Existují senzorové a mechanické dimmery. Při otáčení mechanického dimmeru se mění intenzita, případně při stisknuti - zapnutí a vypnutí světla. Fungovaní je založené na potenciometru umístěném uvnitř.

2.2 Vytápění

Vytápění je jedním s nejdůležitějších elementů inteligentní domácnosti v ohledu na spotřebu elektrické energie a komfortnímu žití. Jde o možnosti nastavení nezávislých teplot v různých místnostech (ložnice, kuchyně, obývací a dětský pokoj), monitorovaní spotřeby energie, vzdáleného ovládaní vytápějících zařízení a programovaní automatického režimu provozu. Vytápěcí systém bere v úvahu různé faktory: denní dobu, roční období, teplotu, nízké a vysoké tarify za elektrickou energii. Každý den lidé přeplácí za spotřebovanou elektrickou energii, protože nemají možnost racionálně využívat vytápějící zařízení, a nekontrolují svou energetickou a finanční spotřebu. K systému vytápění můžeme taky přidat větrání místností.

Pro stávající byt, nejvíc vyhovující řešení bude implementace bezdrátového systému, který bude zahrnovat senzory a akční zařízení. K čidlům můžeme zahrnout termostaty a magnetické senzory pro otevírání oken, k akčním zařízením - relé na ovládaní boileru a termostatické hlavice pro radiátory. Jeden centrální termostat bude jen problematicky udržovat různé teploty v místnostech. K vyřešení tohoto problému lze použít termostatické hlavice, nainstalované na radiátorových ventilech, které nastaví individuální teplotu pro každý pokoj.

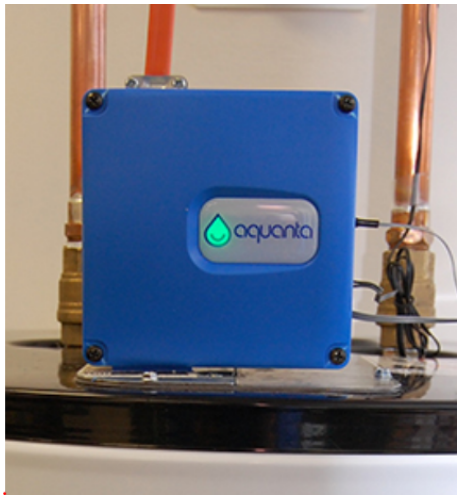
Druhým způsobem, jak šetřit energii a teplo, je instalace magnetických čidel na okna. Princip fungování je založený na magnetickém kontaktu. Detektor sestává ze dvou části: jazýčkové relé, které se umist'uje do rámu okna a magnet se nachází na pohybové častí. Jestli otevřeme okno, intenzita magnetického pole se sníží a dojde k rozepnutí kontaktu[14]. Signál je přenesen do řídicí jednotky a potom podle přednastavené scény, se vytápění zredukuje. Tímto způsobem nevzniknou tepelné ztráty.

Dalším způsobem, jak zlepšit proces vytápění, je nastavení časovačů a plánovaní. Teplota v každé místnosti může být individuálně nastavena pro každého člena rodiny, v závislosti na tom, kdy odejde a přijde domů, nebo v závislosti na nočním nebo denním režimu.

Ohřívač vody

Hlavním prvkem systému ohřevu vody je boiler. V dnešní době se v bytech nebo malých soukromých domech používá elektrický boiler, který distribuuje teplou vodu do radiátorů. Pokud víme, kdy jsou nízké náklady za elektřinu, můžeme kontrolovat spínaní a vypínaní boileru, který bude řízen pomocí relé. Relé lze ovládat dálkově prostřednictvím aplikace, lokálně nebo může záviset na termostatu.

Pro automatizaci a kontrolu ohřívače vody jsou používané speciální moduly, které vyrábějí například firmy Aquanta[28] a Eneco[29].



Obr. 2.2: Aquanta modul pro ohřívač vody[28].

Obr. 2.3: Eneco modul pro ohřívač vody[29].

Fungovaní je založeno na tom, že modul provádí dvě funkce: monitoring a vytvoření rozvrhu své aktivace. Monitoring funguje na základě entalpického senzoru, který měří změnu elektrické energie uvnitř boileru, čím se dá zjistit kolik energie bylo spotřebováno udržováním tepla stojaté vody. Druhý senzor sleduje objem vody, vstupující do boileru, aby zjistil jaky objem vody se používá. Takovým způsobem modul vytvoří rozvrh intenzivního ohřevu vody, v té době, kdy je sprcha používaná nejvíc a během dne je úroveň teplé vody na minimu, ale dostatečný pro nečekané používaní[30].

Inteligentní ohřívače vody

Jedním z hlavních výrobců inteligentních ohřívačů vody v České republice je společnost DZ DRAŽICE[32].

Model OKHE SMART má řídicí jednotku, která je vybavena inteligentním termostatem, ve kterém jsou režimy *Smart* a *Smart HDO*.

- *Smart* režim spočívá v tom, že regulátor prochází dvěma fázemi. V první fázi, v ohřívači je konstantní teplota 65% během prvního týdne a řídicí jednotka jen sleduje odběr vody a informaci ukládá. Ve druhé fázi, která se začíná druhým týdnem, regulátor na základě informace získané z první fáze připravuje takový objem vody, který uživatel potřebuje v konkretním čase, a také počítá s rezervou pro nečekaný odběr vody. Mimo to se ve druhé fázi rovněž sleduje spotřeba vody. Jako výsledek ohřívač vody samostatně vytvoří rozvrh ohřívaní vody, na základě chování uživatelů. Výhodou je to, že při přepnutí z režimu

Obr. 2.4: Rozhraní inteligentního termostatu.

Smart do jiného režimu, se aktualizace dat pozastaví, ale data se uloží do vnitřní paměti ohřívače, což umožní po návratu do režimu *Smart* pokračovat využití uložené informace o spotřebě vody.

- *Smart HDO* režim funguje stejně jako předchozí, ale řídicí jednotka sleduje signál HDO (hromadné dálkové ovládaní) a ukládá ho do týdenní historie, potom na základě uložených informací předpokládá ve kterém okamžiku bude vysoký tarif, a v té době ohřev vody zamítne.

Kromě těchto «inteligentních» režimů, jsou také klasické režimy *Manual*, *Manual HDO*, které jsou založené na udržovaní konstantní teploty vody, nastavené ručně (*Manual*) nebo jestli řídicí jednotka detekuje nízký tarif(*Manual HDO*)[31].

2.3 Klimatizace

Klimatizační systém je úzce propojen s výše popsaným topným systémem. Zlepšení lze provést instalací potřebného vybavení, konkrétně: klimatizace, centrálního ovladače, senzorů, ovládacího panelu (počítač, tablet nebo smartphone) a ovládacích členů. Senzory jsou termostaty a magnetická okenními čidla a roli akčních zařízení plní infračervený ovládač klimatizační jednotky. IR dálkový ovládač představuje zásuvkový modul, který je napájený ze sítí a umístěný do osmi metrů od klimatizace.

Stejně jako v předchozí kapitole jsou možné různé způsoby kombinace zařízení, aby bylo dosaženo maximální úspory elektrické energie:

Použití okenních senzorů umožní v případě otevření oken automaticky vypnout klimatizaci.

Udržování určité teploty: Infračervený dálkový ovládač na základě dat termostatu

zchladí místnost na určitou teplotu.

Možnost dálkového ovládání klimatizace pomocí IR dálkového ovladače.

2.4 Zabezpečení

Tato kategorie se liší od předchozích cíli, které chceme při návrhu zabezpečovacího systému dosáhnout. Pokud jsme v předchozích kapitolách chtěli ušetřit spotřebu elektrické energie, pak v tomto případě bude naším úkolem zajistit bezpečnost našeho bytu. Pro další analýzu prvků můžeme rozdělit celkové zabezpečení do podskupin:

- zvukový alarm
- kamerový dohled
- požární alarm
- kontrola úniku vody

Bezpečnostní poplach je zaměřen na detekci nežádoucího proniknutí do bytu útočníka a okamžitou reakci. Detekce se provádí pomocí okenních a dveřních magnetických čidel, které již byly popsány v předchozích oddílech, a také pasivními infračervenými pohybovými detektory, akční zařízení - siréna, která vyhlásí poplach, jestli byl aktivován jeden z detektorů, pokud systém byl v režimu střežení. V této podskupině mohou být také externí žaluzie a tlačítko, které před odcházením zapíná režim dozoru.

IP kamera je digitální videokamera, která má vestavěný web-server a sítové rozhraní (Ethernet nebo Wi-Fi). Zařízení je založené na zachycovaní obrazu a komprimaci souborů pro přenos po síti. Každá kamera má svou vlastní síťovou adresu, kterou obdrží, až bude připojena ethernetovým kabelem k širokopásmovému modemu nebo routeru, nebo bezdrátově přes Wi-Fi router. Potom se k ní lze připojit prostřednictvím sítě vzdáleně pomocí počítačů, tabletů nebo smartphonu, a sledovat dění v místnosti, kde je kamera umístěná[14].

Další možností zlepšení zabezpečovacího systému je kontrola úniku vody. V tomto případě potřebujeme speciální snímač a elektronicky řízení uzávěr vody. Detektor je umístěn v místě, kde může dojít k úniku, například vedle vany, umyvadla nebo pračky. Uvnitř senzoru jsou dva kontakty, když je senzor ponořen do vody, odpor klesá a mezi kontakty začíná protékat proud. Senzor vyšle rádiový signál do řídicí jednotky, která vyšle signál pro aktivaci elektronického uzávěru vody.

3 Fotovoltaická elektrárna

Fotovoltaická elektrárna je ekologický zdroj elektrické energie fungování kterého je založené na přeměně slunečních paprsků na elektřinu, kterou lze použít k různým účelům jako napájení obydlí, nabíjení elektromobilu, vytápění a ohřev vody.

3.1 Základní prvky fotovoltaické elektrárny

Na obrázku 3.1 je zobrazená fotovoltaická elektrárna v kombinaci s různými domácími spotřebiči.

Obr. 3.1: Fotovoltaická elektrárna[17].

1. Fotovoltaický střídač převádí stejnosměrný proud na střídavý,
2. centrální manažer energií analyzuje vstupní parametry a používá plánovací algoritmus k harmonizaci plánů výroby energie a spotřeby,
3. aplikace sloužící k ovládaní centrálního manažeru,
4. systém v kombinaci s bateriemi umožňuje skladovaní solární energie,
5. elektroměr sbírá data naměřená z fotovoltaického střídače(o výši odebrané a dodané elektřiny) a posílá je do manažeru energie,

6. elektroměr komunikující s manažerem energie přes D0 rozhraní,
7. údaje o spotřebě spotřebiče neovládaného manažerem energie se ukládají,
8. lednice,
9. pračka,
10. tepelné čerpadlo,
11. uchovávání tepla ve formě teplé vody,
12. zásuvkový modul pro ovládaní spotřebičů, komunikující přes Bluetooth,
13. zatížení rozvodné sítě je sníženo vlastní spotřebou,
14. směrovač.

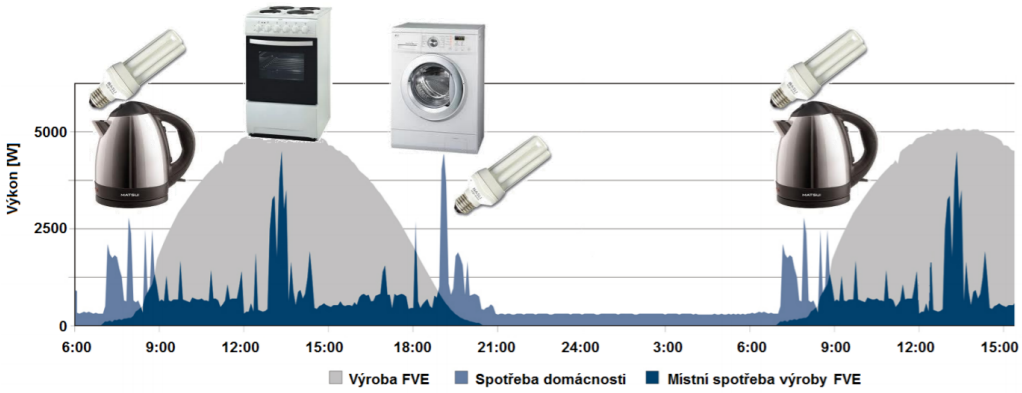
3.2 Možnosti využití fotovoltaicke elektrárny

Vyrobená elektrická energie může být využita domácími spotřebiči v okamžiku výroby, tepelným zdrojem pro vytápění a ohřev vody nebo může být uložena do baterie pro další využití v domácnosti.

3.2.1 Přímá spotřeba v okamžiku výroby

Jak plyne z názvu, vyrobená elektřina je využita domácími spotřebiči v té době, kdy elektrárna ji produkuje. Princip fungování je následující:

1. Střídač mění stejnosměrný proud ze solárních panelů na střídavý,
2. kdy svítí slunce, energie se dodává k používání domácím spotřebičům, které jsou v té chvíli zapojeny,
3. nevyužitá elektrická energie může být dodaná do distribuční sítě.



Obr. 3.2: Přímá spotřeba v okamžiku výroby[15].

Nevýhody tohoto způsobu:

- velké množství nevyužité elektrické energie,

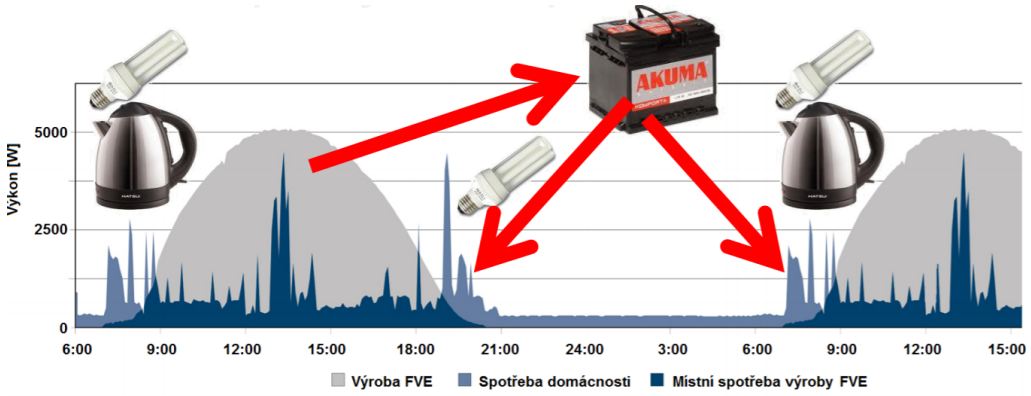
- jak lze vidět z obrázku 3.2, některé spotřebiče se zapínají ráno nebo večer, a tedy v době, kdy se obyvatelé vrátí z práce, fotovoltaika energii nevyrábí. Částečně se tomu lze vyhnout pomocí funkce odloženého startu u spotřebičů jako jsou pračka, sušička a myčka nádobí.

3.2.2 Akumulace do baterie

Stejně jako v předchozím případě musí být připojení systému k distribuční síti dohodnuto s dodavatelem elektřiny.

Pracovní princip je následující:

1. Střídač mění stejnosměrný proud přicházející ze solárních panelů na střídavý,
2. vyrobená elektřina je použitá domácími spotřebiči přes stávající elektrickou instalaci,
3. systém je vybavený lithiovými bateriemi, ve kterých se přebytek vyráběné elektřiny ukládá,
4. v noci nebo za špatného počasí, kdy se energie nevyrábí, centrální jednotka vybírá zdroj elektrické energie v závislosti na aktuální ceně za elektřinu v distribuční síti.



Obr. 3.3: Akumulace vyráběné elektřiny do baterie[15].

Maximálního výnosu je možně dosáhnout při správně konfigurace daného systému a výběru baterie se vhodnou kapacitou. Elektřina v bateriích může také sloužit jako zdroj energie v případě výpadku elektřiny.

3.2.3 Využití přebytků energie pro ohřev vody

Při použití této technologie bude systém připojen k distribuční síti a jeho použití musí být dohodnuto s dodavatelem elektřiny.

Princip fungování je opět podobný:

1. Střídač mění stejnosměrný proud ze solárních panelů na střídavý,
2. vyrobená elektřina je použitá domácími spotřebiči přes stávající elektrickou instalaci,
3. pokud je výkon větší než spotřeba, řídicí jednotka přesměruje přebytečnou energii k ohřevu vody v bojleru.

3.3 Analýza způsobů využití elektrické energie z FVE

V této části budeme porovnávat tři metody využití elektřiny vyráběné z vlastní fotovoltaické elektrárny a zjistíme, která z metod je pro zákazníka nejvýhodnější z hlediska ročních úspor. Pro tuto analýzu byla využita on-line aplikace z webového portálu[16], jehož vlastníkem je společnost ČEZ, a. s.

Ve všech případech jsou použité stejné výchozí podmínky, a to konkrétně:

- odhadovaný počet fotovoltaických panelů je 12, což činí výkon 3 kWp,
- střecha domu je orientovaná na jih,
- v domě bydlí tři osoby.

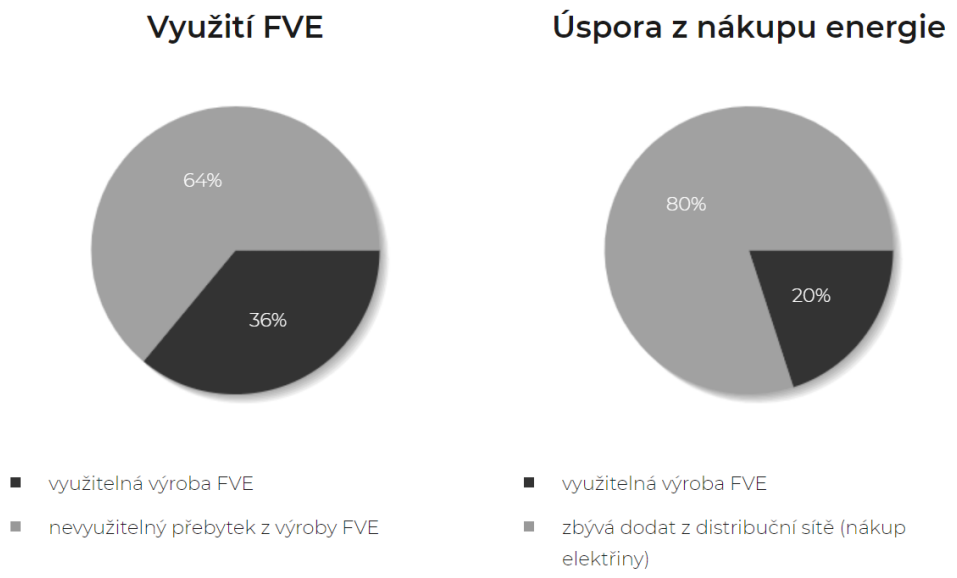
Počítáme s tím, že cena za 1 kWh je stanovena na 2,37 Kč a celková spotřeba elektrické energie domácnosti se třemi obyvateli je 5 314 kWh za jeden rok, a proto celková roční sazba za elektřinu bude 12 585 Kč. Množství vyráběné elektřiny elektrárnou závisí na počtu fotovoltaických panelů a na orientaci střechy. V daném případě máme 12 panelů a jižní orientaci, a proto je celková hrubá výroba fotovoltaické elektrárny 2 923 kWh za jeden rok.

3.3.1 Vyžití elektřiny domácími spotřebiči

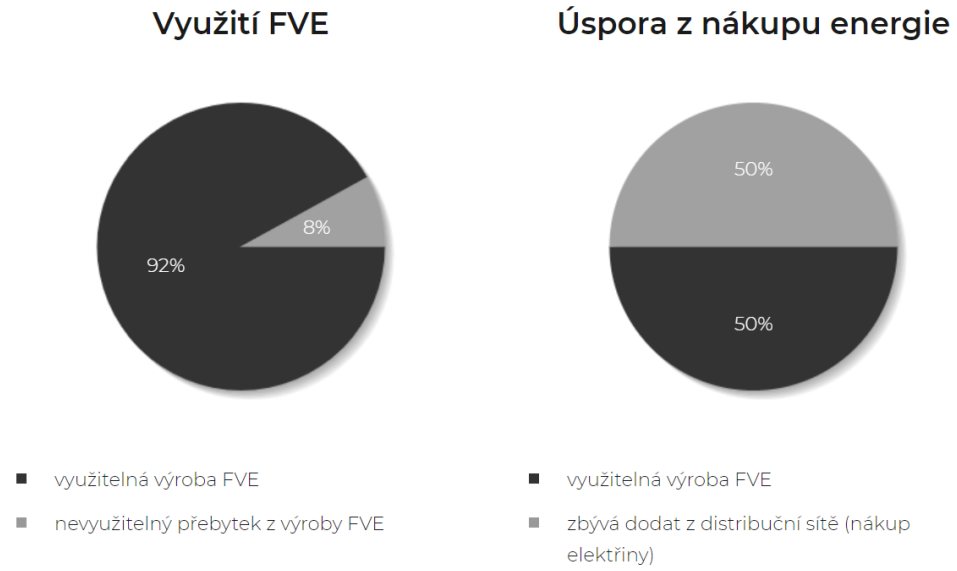
Jako první byla vybrána metoda, při které se elektrická energie z fotovoltaické elektrárny využívá domácími spotřebiči během její výroby, a proto využitelná elektřina činí pouze 36 %, jak je znázorněno na obrázku3.4. Tato hodnota odpovídá 1 047 kWh ročně. Protože celková roční spotřeba domácnosti je 5314 kWh, množství energie, kterou je nutně nakoupit ze sítě, činí 4 267 kWh/rok. Takové využití fotovoltaické elektrárny je ekonomicky nevýhodné, a proto se skoro nepoužívá.

3.3.2 Ohřev vody

V tomto případě je přebytek vyráběné elektrické energie využitý pro ohřev vody. Takovým způsobem se množství využitelné elektřiny zvýšilo a činí 92 %(viz obrazek 3.5), což je 2 681 kWh za rok. Jelikož celková roční spotřeba domácnosti byla stanovena na 5 314 kWh, pro její pokrytí je nutné nakoupit 2 633 kWh. Při takovém způsobu využití přebytku elektrické energie je možné uspořit 6 344 Kč za jeden rok.



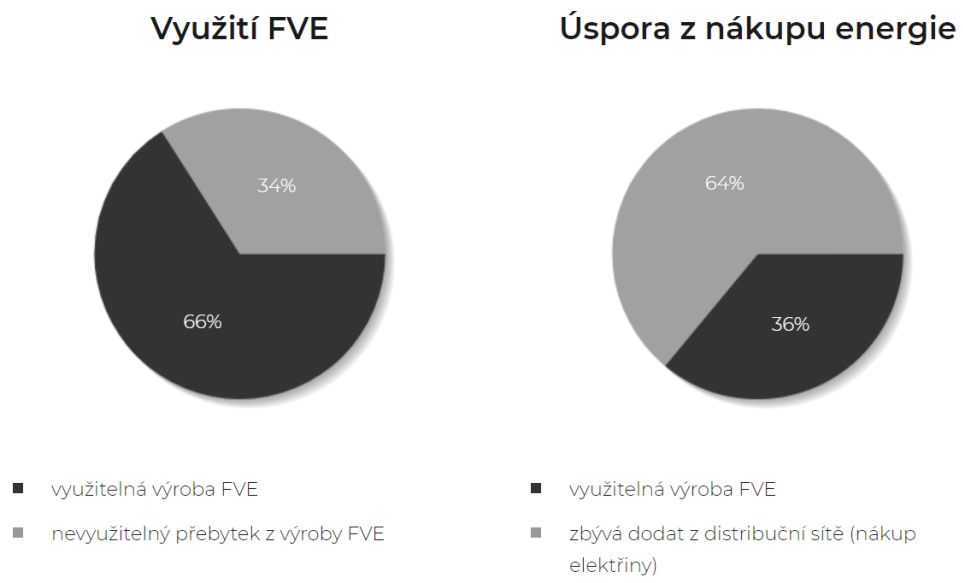
Obr. 3.4: Výsledky při využití přebytku elektřiny domácími spotřebiči[16].



Obr. 3.5: Výsledky při využití přebytku energie pro ohřev vody[16].

3.3.3 Ukládaní přebytku elektřiny do baterii

Při využití poslední metody se přebytky vyráběné elektrické energie ukládají do baterií a mohou být využity pro různé účely, když fotovoltaická elektrárna nevyrábí elektřinu. Z obrázku 3.6 lze vidět, že množství využitelné elektřiny je menší než v předchozí variantě, a to 66 %, což je 1 922 kWh ročně. Při celkové roční spotřebě elektrické energie 5314 kWh je třeba nakoupit 3 392 kWh pro pokrytí spotřeby domácnosti. Daný způsob umožňuje na nakoupené elektřině ušetřit ročně 4 529 Kč.



Obr. 3.6: Výsledky při ukládaní elektřiny do baterie[16].

3.3.4 Srovnání tří metod využití elektřiny z FVE

Po provedení analýzy byla vytvořena tabulka 5.4, ve které jsou znázorněny roční úspory pro každou ze tří metod využití fotovoltaické elektrárny. Jak lze vidět, největší roční úspora na nakoupené elektřině bude při použití přebytků vyráběné elektřiny pro ohřev vody.

Tab. 3.1: Srovnaní úspor pro tři způsoby využití FVE

	Využití elektřiny domácími spotřebiči	Ukládaní elektřiny do baterie	Využití přebytku elektřiny pro ohřev vody
Cena za nakoupenou elektřinu **před instalací FVE**:	12585 Kč/rok	12585 Kč/rok	12585 Kč/rok
Cena za nakoupenou elektřinu **po instalaci FVE**:	10120 Kč/rok	80056 Kč/rok	6236 Kč/rok
Úspora na nakoupené elektřině pomocí FVE:	2465 Kč/rok(20 %)	4529 Kč/rok(36 %)	6349 Kč/rok(50 %)

4 Domácí spotřeba

V této kapitole je popsána problematika inteligentního zúčtovacího systému, dynamického tarifu a dálkového sběru dat z měřicích prvků se zaměřením na způsoby komunikace. Informace v dané kapitole byly čerpány ze zdrojů.

4.1 Systém HDO

Klasické impulsní elektroměry se již dlouho používají v každodenním životě a nijak nesouvisejí s inteligentními domácími systémy, ale v systému HDO hrají jednu z hlavních rolí.

HDO (hromadné dálkové ovládaní) používá distributor elektřiny k dálkovému sepnutí a vypnutí domácích spotřebičů s největší spotřebou elektrické energie (například bojleru) s nástupem nízkého tarifu. Signál HDO přepíná mezi vysokým a nízkým tarifem (známým také jako noční proud).

Hlavní vlastnosti systému HDO jsou:

- přepnutí měřiče na výpočet spotřebované elektřiny za nízký tarif,
- blokování domácích spotřebičů při vysokých tarifech.

Na straně spotřebitele se systém HDO skládá z přijímače signálu HDO umístěného v rozváděči, elektroměru a relé. Jeden reléový kontakt je připojen k elektroměru pro přepínání mezi vysokým a nízkým tarifem, druhý kontakt vypíná spotřebič během vysokého tarifu. Když přijímač HDO přijme signál nízkého tarifu, aktivuje relé a poté přepne počítadlo na počítaní spotřeby podle nízkého tarifu a odemkne spotřebu energie domácího spotřebiče. Systém HDO tedy umožňuje spotřebiteli šetřit peníze.

Nevýhodou HDO je jednosměrná komunikace v rámci samotného systému, kvůli čemuž spotřebitel vzdáleně nemůže získat informaci o spotřebované elektrické energii. V současné době existují speciální senzory a čidla na vodoměry, plynoměry a elektroměry, které odečítají spotřebované množství energie a zasílají data prostřednictvím bezdrátových sítí na vzdálené servery, ke kterým má zákazník přístup a na kterých může kdykoli vidět svou spotřebu.

4.2 Klasické elektroměry

Stávající elektroměry se dnes používají dlouhodobě a dosáhly svého maxima v zúčtovacím systému. Důležitou funkcí však zůstává přepínání mezi vysokým a nízkým tarifem, ale existuje i řada nevýhod při zúčtování spotřeby elektrické energie:

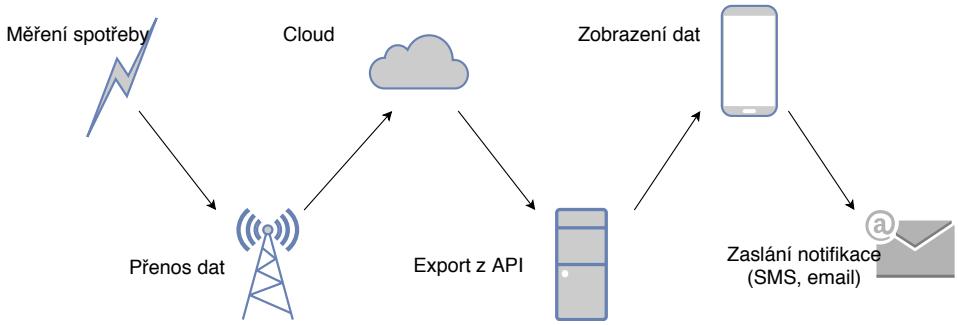
- manuální odečet dat,
- nemožnost průběžně kontrolovat spotřebu energie,

- celková spotřeba při zúčtování občas neodpovídá faktické spotřebě elektrické energie.

4.2.1 Senzory pro dálkový odečet dat

Pro vylepšení stávajícího systému se využívají senzory pro dálkový odečet z měřicích prvků. Existují tři typy senzorů, a to senzory pro elektroměry, pro vodoměry a pro plynoměry.

Všechny tři typy mají stejnou funkci: získat data z měřicího prvku a odeslat je na vzdálený server (cloud), kde uživatel po přihlášení může získat informace o své spotřebě za určité období.



Obr. 4.1: Schema přenosu dat při použití senzorů

Další část této práce se bude věnovat několika senzorům pro elektroměry se zaměřením na způsob komunikace se vzdáleným serverem.

ElIoT(komunikace se serverem na bázi NB-IoT nebo LoRaWAN)

ElIoT je bezdrátový bateriový optický snímač určený pro odečet spotřeby elektrické energie z elektroměrů vybavených optickým rozhraním. Je k dispozici ve dvou verzích: NB-IoT a LoRaWAN. Fungování je založené na přijetí zprávy z elektroměru prostřednictvím protokolu dle IEC 62056-21, obsahující data podle specifikace DLMS (Device Language Message Specification). Doplňující funkce umožňuje hlásit uživateli informace o stavu baterie a o překročení spotřeby.

Výhody daného senzoru jsou cena, rozlišování vysokého a nízkého tarifu a jednoduchá instalace. Nevýhodou je roční poplatek za využití bezdrátové komunikace.

Shark(komunikace se serverem na bázi NB-IoT nebo Sigfox)

Senzor slouží k dálkovému odečtu dat z elektroměru s výstupem S0. Nevýhodou senzorů s rozhraním S0 je nemožnost rozlišovat vysoký a nízký tarif. Zařízení je k dispozici ve dvou verzích: NB-IoT a Sigfox. Umisťuje se do těla elektroměru pomocí

Obr. 4.2: Senzor pro měření spotřeby el. energie ElIoT[24].

Obr. 4.3: Čidlo pro odečet elektroměru Shark[25].

vodičů a je napájen baterií s průměrnou životností 5 let. Zapojení zařízení muže provádět odborník dle vyhlášky 50/1978 Sb. Daný senzor může kromě sledování domácí spotřeby sledovat také výrobu elektřiny z vlastní fotovoltaické elektrárny, což umožňuje vyhodnotit její účinnost.

Mezi výhody patří:

- měření přebytků elektrické energie které se dodává do sítě,
- cena.

Nevýhody jsou :

- roční poplatek za využití bezdrátové komunikac,
- instalace může být prováděna pouze odborníkem,
- nemožnost rozlišení nízkého a vysokého tarifu .

Solar Monitor RM modul(komunikace se serverem na bázi GSM)

Daný senzor umožňuje dálkový sběr dat nejen z elektroměru, ale i z vodoměru a plynoměru. Stejně jako u předchozí varianty se připojení k měřiči realizuje pomocí rozhraní S0, a proto ani toto čidlo nerozlišuje nízký a vysoký tarif. Modul disponuje třemi binárními vstupy a umožňuje zároveň odečítat data ze tří měřidel.

Nevýhody:

- cena,
- roční poplatek,
- nerozlišení nízkého a vysokého tarifu.

Plusem je možnost zapojení do tří měřicích prvků.

Obr. 4.4: SM2-RM-GSM

4.2.2 Srovnání třech senzorů

Tab. 4.1: Srovnání senzorů pro dálkový sběr dat

Název produktu/ charalteristika	**ElIoT**	**Shark**	**SM-RM GSM**
Napajení	Lithiová baterie	2 x lithiové baterie	9-35 V DC
Životnost baterie	cca. 2 roky	cca. 5 let	-
Připojení k elektroměru	magnetem, přímo na elektroměr	Výstupem S0	Výstupem S0
Rozlišení vysokého a nízkého tarifu	Ano	Ne	Ne
Komunikace s cloudem	NB-IoT/LoRaWAN (868 MHz)	NB-IoT/Sigfox (868 MHz)	GSM(850/900/ 1800/1900 MHz)
Cena s DPH, Kč	2 990	2 900	5 748
Roční poplatek, Kč	300	290	496

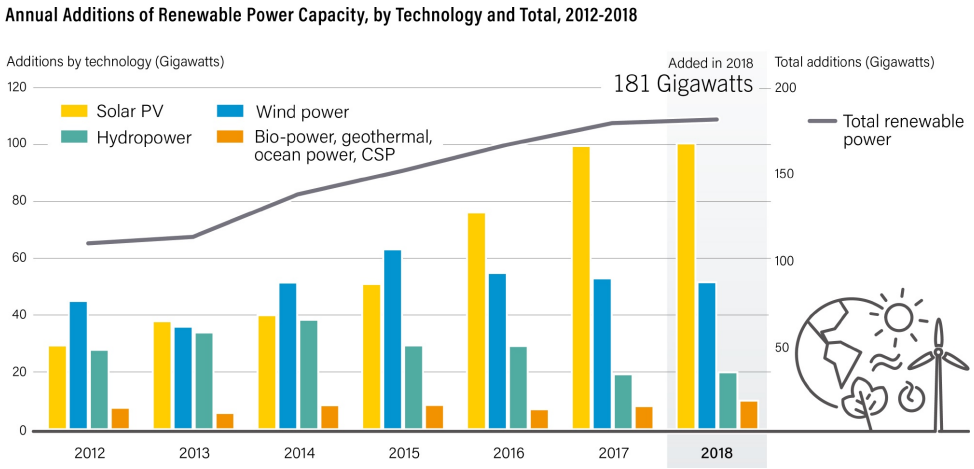
4.3 Smart Metering

4.3.1 Dynamický tarif

Možnost využití dynamického tarifu je důležitou částí inteligentního zúčtovacího systému (smart metering), kterým se do roku 2030 plánuje pokrýt celou Evropu (respektive nejméně 80 % spotřebitelů elektřiny v každé zemi). První země, které již úspěšně zavedly smart metering, jsou Itálie, Španělsko, Finsko a Švédsko. Česká

republika spolu s Polskem a Německem zavedení nových inteligentních elektroměrů plánují mezi roky 2026 a 2030[19].

Hlavními cíli přestupu na inteligentní zúčtovací systém jsou dálkový sběr dat z měřicích prvků a přesun spotřeby elektrické energie v čase. Odložení spotřeby umožňuje snižovat špičky spotřeby elektrické energie, což snižuje zatížení distribuční sítě a účinněji využívá stávající zdroje energie. Druhým důvodem použití smart meteringu je ročně rostoucí počet obnovitelných zdrojů energie a možnost využití přebytku energie z distribuční sítě. V současné době tvoří obnovitelná energie 26 % celosvětové elektřiny, ale podle IEA se do roku 2024 očekává její podíl ve výši téměř 30 %.



Obr. 4.5: Roční energie z obnovitelných zdrojů[20]

Hlavní myšlenka dynamických tarifů spočívá v tom, že se cena za kilowatthodinu může měnit během dne. Jak bylo uvedeno v předchozí části, v HDO existují dva tarify: vysoký a nízký (známý jak noční proud). Na rozdíl od HDO se v systému smart metering díky dynamickému tarifu mění cena za elektřinu každých 15 minut v závislosti na stavu distribuční sítě. Pokud v síti existuje v určitý okamžik přebytek energie, cena během časového intervalu za kilowatthodinu bude nižší. Naopak při nedostatku energie zaplatí spotřebitel za kilowatthodinu více.

Vzhledem k tomu, že inteligentní elektroměry umožňují obousměrnou komunikaci, spotřebitel se od svého distributora informuje o aktuálních cenách elektřiny v síti, což umožňuje uživateli ručně zapnout domácí spotřebiče nebo pomocí funkce odloženého startu odložit jejich zapnutí na dobu, kdy je cena nejvýhodnější.

4.3.2 Stanovení ceny elektrické energie

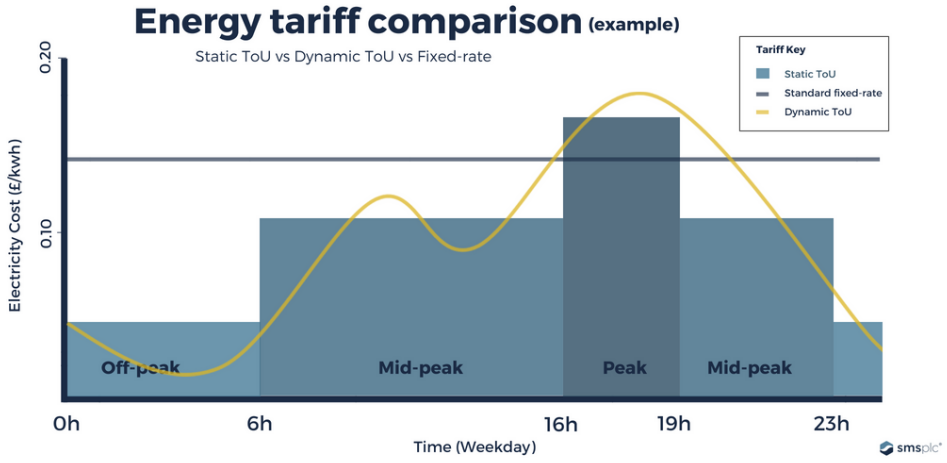
Na obrázku 4.6 lze vidět vzorové stanovení ceny za elektrickou energii podle tří typů využívaných tarifů.

První tarif(na obrázku 4.6 označený jako tmavě modrý) předpokládá, že cena za spotřebovanou elektřinu zůstává fixní a během času se nemění.

Druhý tarif (modrý) na rozdíl od prvního stanovuje existenci tří statických cen za elektřinu, které budou platné v určitých časových intervalech. Aktuálně v České republice existuje podobný typ tarifikace, který má ale jen vysoký a nízký tarif.

Poslední tarif (žlutý) se zásadně liší od prvních dvou, protože cena nemá statickou či fixní hodnotu, ale formuje se dynamickým způsobem. Změna probíhá v pravidelném časovém intervalu, který činí 15 minut.

Dynamické tarify z dlouhodobého hlediska pravděpodobně nabídnou zákazníkům největší úspory peněz za energie. To nastane zejména v případě, že nezbytná inteligentní technologie bude dostupnější a umožní domácím spotřebičům automaticky reagovat na časté změny cen a spínat se v době nízké ceny. Dokud tento scénář nebude realitou, budou muset zákazníci manuálně nastavovat zapnutí spotřebičů v dobách s nízkou cenou nebo používat funkce odloženého startu, aby si uvědomili všechny výhody - obtížný návrh pro ty, kteří nemají zavedenou alespoň nějakou funkci „chytré domácnosti“.



Obr. 4.6: Cena za elektřinu u třech tarifů [21]

4.3.3 AMI(Advanced Metering Infrastructure)

AMI je hlavní systém ve Smart Meteringu, který umožňuje obousměrnou real-time komunikaci mezi spotřebitelem a distributorem elektrické energie. AMI poskytuje správu celého inteligentního systému, kvalitnější a rychlejší údržbu, možnost co nejrychleji dostávat informaci o stavu sítě a také umožňuje spotřebitelům plně se podílet na zlepšování kvality elektřiny.

Hlavní pojmy v AMI systému jsou:

- HAN(Home Area Network),
- NAN(Neighbourhood Area Network),
- WAN(Wide Area Network),
- smart meter,
- datový koncentrátor,
- datová centrála [26].

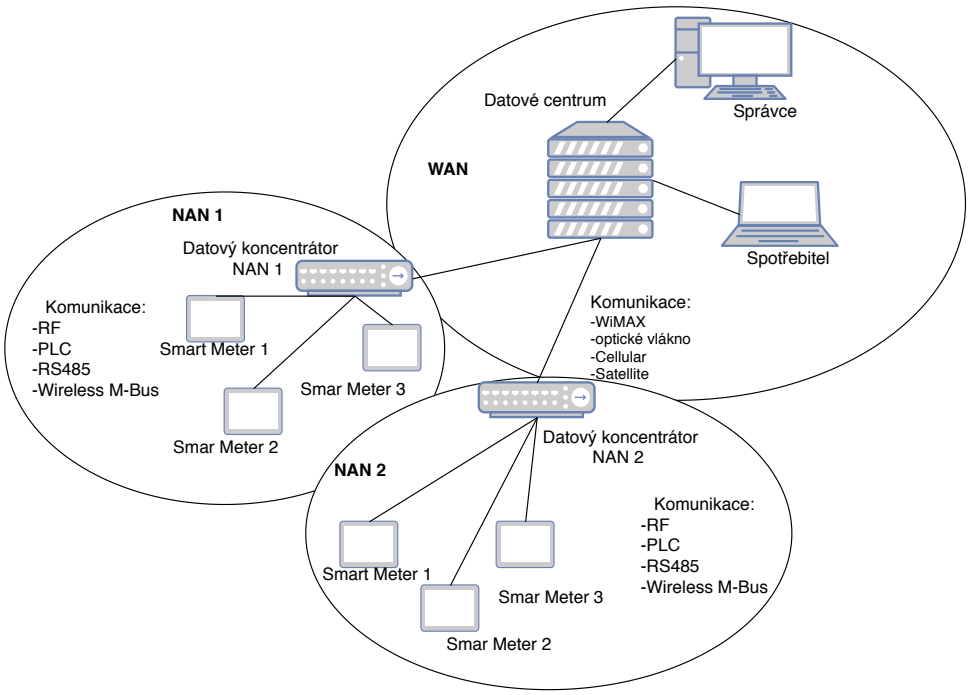
4.3.4 Komunikace

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, chytré měřiče podporují obousměrnou komunikaci. V systému smart metering je využita topologie P2MP (Point-to-Multipoint), u které se data z odběrných míst přenáší do datové centrály přes datový koncentrátor. Celý komunikační systém lze rozdělit do tří částí:

- **HAN(Home Area Network)** - síť implementovaná v rámci jedné bytové jednotky pro komunikaci smart metru s domácím displejem pro zobrazení aktuální spotřeby, tarifu a možných výpadků. Druhým cílem je řízení domácích spotřebičů s cílem přesunu spotřeby elektrické energie. Základní funkcí smart metru je zaznamenávání spotřeby všech spotřebičů jedné bytové jednotky. Pro tento účel mohou být použity technologie PLC, ZigBee a Wi-Fi.
- **NAN(Neighbourhood Area Network)** - síť, která se skládá z jednoho datového koncentrátoru a skupiny chytrých měřičů. Pro tuto komunikaci je nejvhodnější využít bezdrátovou technologii RF, Wi-Fi nebo ZigBee. Jako kabelová technologie se v České republice již dlouhou dobu používá komunikace PLC Narrowband pro systém HDO.
- **WAN(Wide Area Network)** - síť se skládá z datových koncentrátorů a datové centrály. Požadavkem pro komunikaci v této síti je rychlý a zabezpečený přenos dat na velkou vzdálenost. K tomu se používá WiMAX, Cellular, Satellite, optické vlákno[26].

4.3.5 Datový koncentrátor

Koncentrátory dat se používají pro komunikaci mezi inteligentními měřicími prvky určité HAN sítě a datovou centrálou. V HAN síti pracuje jeden datový koncentrátor, který pravidelně sbírá naměřená data ze všech měřičů této sítě a posílá je datové centrále. Pro komunikaci s měřicími prvky se jako kabelová technologie využívá komunikace po silnoproudém vedení PLC (úzkopásmová). Při bezdrátové komunikaci se používají RF, Wireless M-Bus a ZigBee[26].



Obr. 4.7: Topologie v systému Smart Metering

4.3.6 Datová centrála

Fungování datové centrály se realizuje prostřednictvím dvou částí:

- MDC(Meter Data Central) systém
- MDM(Meter Data Management) systém

MDC

MDC systém je sada softwarových nástrojů potřebných pro shromažďování dat ze všech datových koncentrátorů, které obsahují data z inteligentních měřičů. Data se shromažďují v jediné databázi pro jejich následné zpracování, klasifikaci a analýzu.

MDM

Systém MDM zahrnuje sadu softwarových nástrojů a databází vytvořených na MDC. K primárním funkcím MDM patří validace, odhad a editace dat měřiče, která jsou později předávána jiným obslužným systémům, například fakturačnímu systému.

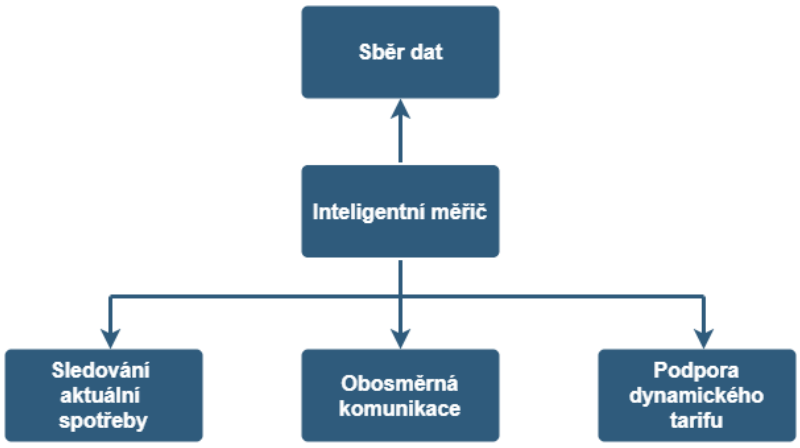
4.3.7 Inteligentní elektroměry(smart meters)

V mnohých evropských zemích se běžně využívají inteligentní měřicí prvky (smart meters). Přibližně 44 % zákazníků ve třiceti evropských zemích mělo chytré měřiče už na konci roku 2018 a do roku 2023 se očekává zvýšení jejich počtu na 71 %. Z toho

vyplývá, že od roku 2020 bude počet ročně vyměňovaných klasických měřičů činit přibližně 25 milionů. Většina smart metrů bude instalována ve Francii, Nizozemsku, Rakousku a Velké Británii[18].

Inteligentní měřiče jsou nedílnou součástí inteligentního síťového systému a inteligentního měření, které se zavádí s každým rokem rostoucí intenzitou. Inteligentní měřič je ve skutečnosti aktualizovaná verze klasického měřiče, ale s tím rozdílem, že má sadu nových funkcí umožňujících vylepšení a zmodernizování procesu dálkového sběru dat, a to jak na straně distributora, tak na straně zákazníka. Nejdůležitější z nich jsou znázorněné na obrázku4.8.

Hlavní vlastnost inteligentních měřičů spočívá v obousměrné komunikaci, která umožňuje zasílat data o spotřebě energie příslušnému dodavateli. Data jsou shromažďována z určitých spotřebičů a zaznamenávána v pravidelných časových intervalech, poté se ukládají do paměti chytrého měřiče. Datový koncentrátor sbírá data ze všech chytrých měřičů v okolí a přeposílá je na distribuční server pro zpracování.



Obr. 4.8: Hlavní funkce inteligentního měřiče

4.3.8 Sledovaní spotřeby ze smart metrů

Inteligentní měřič v kombinaci s domácím displejem

Se zavedením inteligentních elektroměrů dodávají někteří poskytovatelé elektřiny svým zákazníkům speciální přístroj IHD (In-Home-Display)4.10, na němž se zobrazuje informace o spotřebě elektrické energie. Spotřebitel může sledovat různé charakteristiky jako například aktuální spotřebu elektřiny, historii spotřeby, cenu za kilowatthodinu a celkovou cenu za spotřebovanou elektrickou energii. IHD také zobrazuje údaje o spotřebě plynu, pokud je v domácnosti nainstalován inteligentní měřič plynu. Princip fungování daného inteligentního měřícího systému je následující:

Smart meter měří množství spotřebované elektřiny a plynu a prostřednictvím Wi-Fi je zasílá na domácí obrazovku, která je vybavená Wi-Fi modulem. Paralelně s tím vysílá data o spotřebované energii na vzdálený server přes LPWAN technologii (NB-IoT, LoRa, SigFox, Wireless M-Bus). Ze vzdáleného serveru se informace přesměrují k dodavateli energie, kde se doručená data analyzují a třídí. Posledním krokem tohoto řetězce je vysílání dat na domácí obrazovku spotřebitele ve formě statistiky a historie spotřeby energie.

Obr. 4.9: Inteligentní měřič[22].

Obr. 4.10: In-home display[23].

4.4 Odložení spotřeby

Pojem «odložení spotřeby» elektřiny je aktuální v problematice chytré domácnosti a přímo souvisí s výše popsaným dynamickým tarifem a systémem smart metering. Odložení spotřeby se částečně používá ve stávajícím systému HDO a spočívá v dálkovém ovládaní spotřebičů (nejčastěji bojlerů) prostřednictvím přijímače HDO. Myšlenka odložené spotřeby v předmětu chytré domácnosti zahrnuje podporu dynamického tarifu, který bude použit s hromadným zavedením systému smart metering. Princip fungování spočívá v dálkovém zapnutí jednotlivých spotřebičů v časových intervalech, kdy je v distribuční síti přebytek elektrické energie a sazba za elektřinu nabývá nízké hodnoty.

Jedním z problémů dané technologie je to, že ne všechny domácí spotřebiče jsou vhodné pro přesun spotřeby elektrické energie. Mnohé z nich jsou velmi závislé na životním cyklu a chování obyvatel a používají se podle potřeby obyvatel. Proto je v této části důležité roztřídit spotřebiče z hlediska možnosti přesunu jejich zapnutí.

4.4.1 Spotřebiče nevhodné pro přesun spotřeby

Tento typ zahrnuje spotřebiče, které se využívají v určitém čase podle potřeby obyvatele a potřebují k tomu přímou interakci. K takovým spotřebičům patří například kávovar, mikrovlnná trouba, trouba, vysavač a žehlička nebo multimediální zařízení

jako jsou televize, počítač, notebook atd. Mezi speciální spotřebiče patří ledničky a mrazáky, protože musejí průběžně udržovat určitou teplotu. Jako poslední můžeme do tohoto typu spotřebičů zařadit systém osvětlení, jehož spotřebu také nelze v čase přenést, ale je možné optimalizovat jeho provoz zavedením inteligentních LED žárovek, magnetických dveřních čidel a pohybových PIR detektorů.

4.4.2 Spotřebiče vhodné pro přesun spotřeby

Tento typ zahrnuje menší počet spotřebičů, které mají obvykle velký příkon a díky přesunu jejich spotřeby je možné dosáhnout maximální úspory. Tato skupina zahrnuje některé kuchyňské spotřebiče, například domácí pekárnu a multifunkční hrnce. Mezi nejnáročnější spotřebiče v této kategorii patří pračky, sušičky, myčky nádobí a zařízení pro vytápění a ohřev vody jako jsou bojler nebo akumulační vytápění. Právě poslední zmíněné jsou nejvhodnější pro přesun spotřeby, protože jejích pracovní cyklus může být rozdělen na několik cyklů v různých časových intervalech. Klimatizační jednotky a přímotopy nemají schopnost akumulovat tepelnou energii, nicméně jejich spotřebu lze také přesunout s ohledem na různé faktory, jako například roční období. Například v létě je časté automatické zapnutí klimatizace v časových intervalech s nízkou sazbou celkem účelné, zatímco v zimě je tomu naopak.

Důležitou podmínkou pro výše uvedené spotřebiče je podpora funkce odloženého startu.

5 Praktická část

Praktickým cílem této bakalářské práce je návrh vizualizace implementace inteligentních prvků do již existující zástavby (což znamená, že domácnost není vybavená žádnými smart prvky), znázornění kombinace různých domácích spotřebičů a vlastních zdrojů elektrické energie.

5.1 Zásuvkové moduly

Dílčím cílem bakalářské práce je kategorizace spotřebičů, což znamená rozdělení domácích spotřebičů do jednotlivých skupin podle velikosti spotřeby elektrické energie. Nejsnadněji to lze udělat pomocí zásuvkových modulů pro měření různých parametrů spotřebičů. Existuje několik typů takových modulů. První typ měří výkon, kmitočet, proud a je vybaven obrazovkou na které se tyto charakteristiky zobrazují. Druhý typ zásuvkových modulů měří charakteristiky, ale je vybaven i modulem pro bezdrátovou komunikaci se smartphonem nebo tabletem. Používají se technologie Wi-Fi, Z-Wave a Bluetooth 4.0 Smart. Pro realizaci kategorizace spotřebičů potřebujeme získávat data od spotřebičů během nějakého času a ukládat je do databáze, proto budeme používat zásuvkové modulů podporující technologii bezdrátové komunikace.

V níže uvedených tabulkách 5.1 5.2 jsou zobrazené různé modely obou typů zásuvkových modulů. Z druhé tabulky byli vybrané zásuvkové moduly, které mají nejvíc funkcí. Dále byla provedena analýza každé ze zásuvek a na základě teto analýzy byla zakoupena jedna z nich, pomocí které bude provedena měření spotřeby elektrické energie.

5.1.1 Revogi Smart Power Plug

Chytrá zásuvka Revogi umožňuje řízení různých elektrických spotřebičů bezdrátovým způsobem pomocí mobilního telefonu s předinstalovanou aplikací nebo přes webový prohlížeč na počítači. Komunikace se vzdáleným zařízením je zajištěna technologií Wi-Fi 2,4 GHz. Na panelu zásuvky je zapínací tlačítko a tři indikátory: indikátor provozu(ukazuje stav připojeného zařízení), systémový indikátor(ukazuje stav zásuvky) a indikátor Wi-Fi připojení. Maximální zatížení zásuvky je 3840 W, cena je stanovena na 799 Kč. Mobilní aplikace zobrazuje čtyři hlavní položky:

- napájení - zobrazuje ve Wattech spotřebu elektrických spotřebičů připojených do zásuvky v reálném čase,

Tab. 5.1: Charakteristika měřičů elektrické energie.

Název produktu/ Charakteristika	Kod produktu	Napájení V	Max. měření A/W	Měření sítového napětí, V	Měření proudu, A	Měření frekvence, Hz	Měření činného vykonu, W	Měření el. energii, kWh	Cena, Kč
Steinner ENM 100	ENM100	230	16/3680	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	299
Solight DT26	DT26	230	16/3680	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano	219
Wattmetr SCHUKO P5821	P5821	230	16/3680	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	540
Solight DT27	DT27	230	16/3680	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	309
GreenBlue GB202	GB202	230	16/3680	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	293
BX09	BX09	230	16/3680	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	400
VoltCraft Energy-Logger 4000 FR	125449	230	15/3450	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	1290
Voltcraft EM 1000Basic	1343605	230	16/3680	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	419
Basetech EM 2000	1302517	230	16/3680	Ne	Ne	Ne	Ano	Ano	279
Brennenstuhl EM 231	103693	230	15/3450	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	469

Tab. 5.2: Charakteristika bezdrátových zásuvkových modulů.

Nazev produktu/ Charakteristika	Kod Produktu	Napájení, V	Max. měření, A/W	Komunikace	Měření spotřeby energie	Vzdalené ovládání	Časovač	Cena s DPH, Kč
Revogi Smart Power Plug Wi-Fi	SOW512	230	16/2680	Wi-Fi	Ano	Ano	Ano	799
Eve Energy EU	ELGHK1h	230	11/2500	Bluetooth 4.0 Smart	Ano	Ano	Ano	1300
Koogeek Smart Plug	KOOCV124	230	11/2500	Wi-Fi	Ano	Ano	Ano	1199
Fibaro Wall Plug	FIBR03o1	230	10/2300	Z-Wave	Ano	Ano	Ano	1890
SmartHome Wi-Fi Socket	PCI-546	230	10/2300	Wi-Fi	Ne	Ano	Ne	699
TP-Link HS100	TP821a	230	16/3680	Wi-Fi	Ano	Ano	Ano	1199
WOOX Smart Plug 16A	WOox1e	230	16/2680	Wi-Fi	Ne	Ano	Ano	449
Solight DY11 Wi-Fi	SD033o	230	13/3000	Wi-Fi	Ne	Ano	Ne	532
D-Link DSP-W115	AT-5120135972	230	11/2500	Wi-Fi	Ano	Ano	Ano	990
Evolveo Porta U2	EVolv06	230	16/3680	Wi-Fi	Ano	Ano	Ano	709

- energie - možnost zobrazit graf spotřeby energie denní, týdenní, nebo měsíční, který obsahuje položku *Cena*, kde je možné zadat částku za jednu kilowatthodinu a zjistit náklady,
- časovač - umožní nastavit odpočet pro zapnutí a vypnutí zásuvky,
- plánování - nastavení pravidelného zapínaní a vypínaní zásuvky.

Minusy chytré zásuvky Revogi Smart Power Plug jsou:

- sít', přes kterou zásuvku párují, nesmí fungovat na frekvencí 5 GHz,
- není možné exportovat data do souboru pro další práci v Excelu[33].

5.1.2 Evolveo Porta U2

Zásuvka Evolveo řídí elektrické spotřebiče. Pro ovládání se používá originální mobilní aplikace a pro přenos informací a dat, používá technologii Wi-Fi standard 802.11 b/g/n. Maximální zatížení zásuvky je 3840 W, cena je stanovená 690 Kč. Klady zásuvky:

- naměřené hodnoty se ukládají do interní pamětí, v případě výpadku elektrického proudu, bude zásuvka po zapnutí pokračovat dle přednastaveného programu,
- možnost nastavení časového harmonogramu spínaní a zapínaní, časovač,
- online zobrazení napětí v síti, odběr proudu spotřebiče a celkovou spotřebu elektrické energie,
- možnost zadaní ceny za elektřinu a sledovat náklady z grafu,
- data lze uložit do souboru `csv` a exportovat do Excelu[34].

5.1.3 Fibaro Wall Plug

Fibaro zásuvka komunikuje se zařízeními přes technologii Z-Wave. Maximální zatížení je 2500 W, cena je 1500 - 1800 Kč. Plusy:

- protokol Z-Wave je vhodnější pro chytrou domácnost, protože zařízení komunikují na frekvencí 868,42 MHz, to znamená že nedojde k zatížení sítě. Chytré zařízení podporující protokol Z-Wave, zároveň fungují jako opakovače, přeposílají signál ke konečnému prvku, bez zpoždění a ztrát,
- možnost nastavení časovače, plánování,
- měření spotřeby energie, zobrazení historie a statistiky spotřeby.

Minusy zásuvky:

- je nutná instalace a konfigurace kontroléru pro řízení síťových prvků.
- vyšší cena[35].

5.1.4 Koogeek Smart Plug

Zásuvka Koogeek se ovládá mobilním telefonem pomocí aplikací Kogeek přes Wi-Fi síť. Maximální zatížení je 2500 W. Cena stanoví 1199 Kč. Plusy zásuvky:

- Plánování a časovač spínaní a vypínaní zásuvky.
- Real-time monitoring spotřeby energie a sledovaní spotřeby za zvolenou periodou.

K minusům zásuvky můžeme odnést nemožnost exportu naměřených hodnot do jiného softwaru pro práci s nimi, a nastavení ceny za elektřinu[36].

5.1.5 Výběr zásuvkového modulu

Na základě výše uvedených charakteristik zásuvkových modulů, byl vybrán jeden pro měření spotřeby elektrické energie. Všechny vybrané zásuvky jsou vybavené ochranou proti přepětí a při popisu byli zanedbané takové vlastnosti jako ovládaní hlasem nebo změna barvy zásuvky při různých zatížení. Nejdůležitější vlastnosti jsou nastavení časovače, scénářů a uchovaní dat pro další práci s nimi. Na základě analýzy, je nejvhodnější inteligentní zásuvka Elvoveo Porta U2, s možností exportu dat do `csv` souboru. Vzhledem k tomu že vybíráme přistroj pro měření a analýzu naměřených hodnot, stačí zařízení které používá technologii Wi-Fi.

5.2 Měření

5.2.1 Popis vybraného zásuvkového modulu

Pro měření spotřeby domácích spotřebičů byl vybrán zásuvkový modul Evolveo Porta U2. Výrobce uvedl že modul se nebyl podrobovaný metrologickým měřením a nemá třídu přesnosti, proto zařízení je vhodné jenom pro domácí využití ale ne jako zúčtovací prvek. Zásuvkový modul vysílá naměřená data prostřednictvím technologie Wifi. Uživatel může sledovat různé udaje v aplikaci EOLVEO porta. Dále jsou uvedené jednotlivé funkce daného modulu.

- V **hlavním menu** je seznam všech vyvíjených zařízení(v našem případě měli jsme dvě zásuvky). Zde lze sledovat aktuální hodnoty: spotřebu elektřiny(W), tečení proudu(A) a sítové napětí(V). K dispozici je také funkce pro zapnutí a vypnutí zásuvky.
- V záložkach **rozvrh** a **časovač** můžeme vytvořit individuální provozní režimy zařízení.
- Pomocí funkci **SOP** se konfigurují prahové hodnoty výkonu, proudu a napětí, při přeskočení kterých se modul automaticky vypíná.

- Funkce **statistika** povoluje nastavit počáteční čas, od kterého se začne měření spotřeby energie.
- Nahoře je také funkce **záznamu historie**, která ukazuje průběh spotřeby energie od aktivace zásuvkového modulu.

5.2.2 Měření spotřeby

Pro měření spotřeby elektrické energie byly vybrány: lednice, ohřívač vody, teplovzdušný konvektor a digestoř. Měření spotřeby všech zařízení probíhalo v průběhu týdne a taktéž byla prováděna denní měření, aby se získala závislost spotřeby na denní době.

V praktické části se ukázalo, že minimální interval, který zásuvkový modul ukládá do záznamu historie, je jeden den, což nám nevyhovovalo, proto byla denní měření prováděna ručně, takže každou hodinu od počátečního času byla zaznamenána energie spotřebovaná zařízením.

Ohřívač vody

Spotřeba ohřívače vody byla měřena 15. listopadu od 1:00 do 00:00. Parametry ohřívače vody:

- Výrobce: Baxi Ecofour
- Typ: plynový kotel

Z diagramu lze vidět, že maximální spotřeba byla stanovená mezi 16. a 22. hodinou, a minimální - o půlnoci a kolem 14. hodiny.

Lednice

Měření bylo prováděno 15. listopadu od 1:00 do 00:00. Parametry lednice:

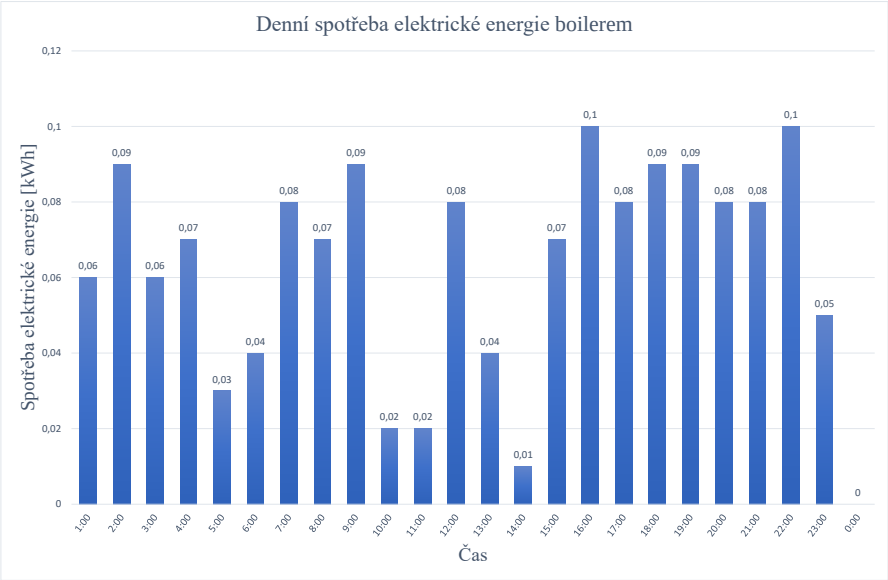
- Výrobce: BEKO
- Napětí: 220 - 240 V
- Frekvence: 50 Hz
- Příkon: 120 W

Týdenní měření spotřebičů

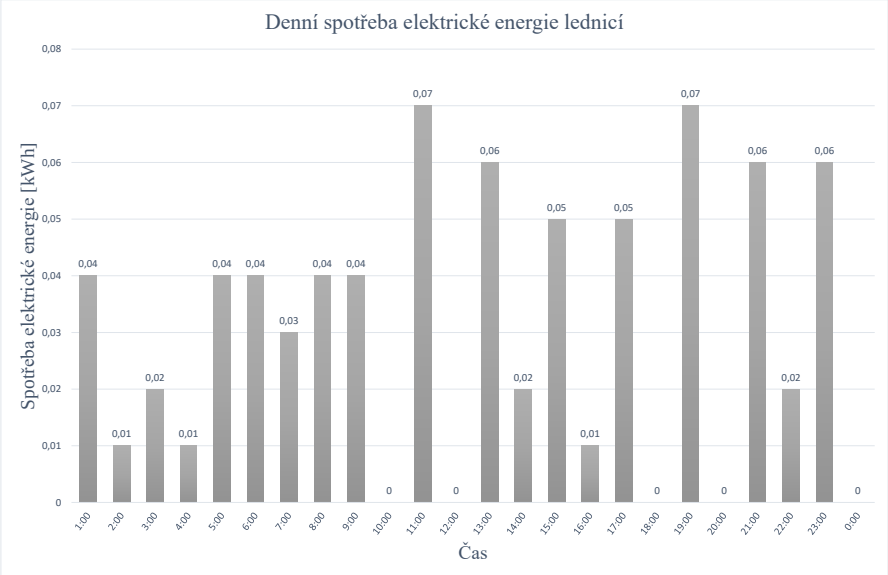
Pro kategorizaci domácích spotřebičů bylo provedeno týdenní měření všech čtyř zařízení. Spotřeba boileru a lednice byla měřena z 11.11.2019 do 17.11.2019, digestoř a teplovzdušný konvektor - z 25.11.2019 do 1.12.2019.

Parametry digestoře:

- Výrobce: Sencor
- Napětí: 230 V

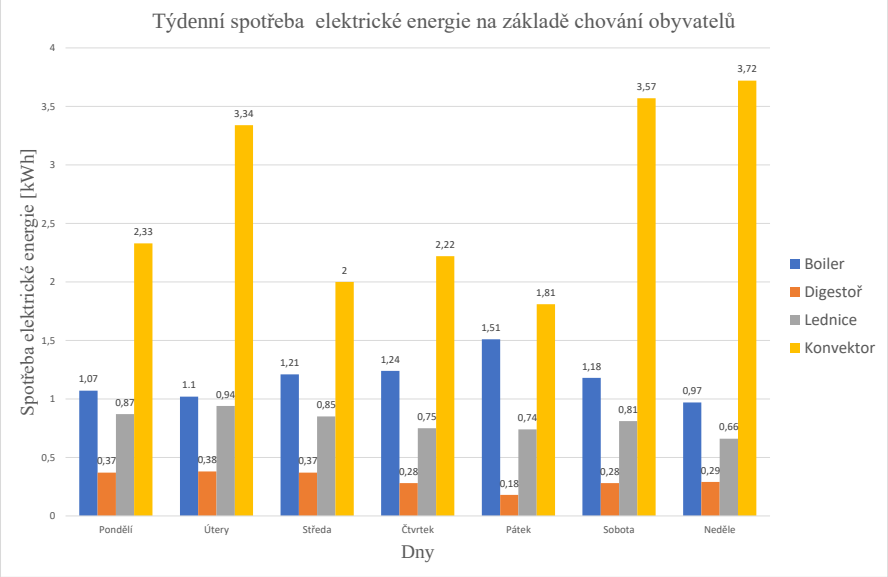


Obr. 5.1: Denní spotřeba boilerem



Obr. 5.2: Denní spotřeba lednicí

- Frekvence: 50 Hz
- Příkon: 2000 W



Obr. 5.3: Týdenní spotřeba na základě chování obyvatelů

Vycházeje z uvedeného diagramu lze provést kategorizace domácích spotřebičů podle jejích denní spotřeby elektrické energie:

- Digestoř: do 0,5 kWh.
- Lednice: do 1 kWh.
- Ohřívač vody: 1 - 1,5 kWh.
- Teplovzdušný konvektor: 2 - 4 kWh.

Všechny spotřebiče mají skoro stejnou denní spotřebu, kromě teplovzdušného konvektoru. Ten má dvě velmi odlišné hodnoty: první je kolem 2 kWh, druhá - 3,5 kWh. První hodnota je změřena ve čtyřech pracovních dnů z pěti, druhá - o víkendu a v úterý. Pro víkend táhle hodnota je odpovídající, protože obyvateli se nacházeli doma, a konvektor byl v provozu více času. Rozdíl spotřeby v úterý a ve zbývajících pracovních dnů spočívá v tom, že v úterý konvektor nefungoval podle přednastaveného rozvrhu, ale v ostatní pracovní dny ano.

5.2.3 Měření kvality elektrické energie

Pro měření kvality elektrické energie byl použit panelový PQ monitor MEg44PAN. Tento přistroj je určen pro měření třech napětí a třech proudu, a také ho lze použít pro jednofázová měření. Zařízení umožňuje vykonávat funkci elektroměru, záznamníku, analyzátoru kvality napětí, a zobrazuje graf naměřených hodnot[37].

Měření bylo provedeno od 2.12.2019 do 3.12.2019. Interval měření byl nastaven na 5 minut 5.5.

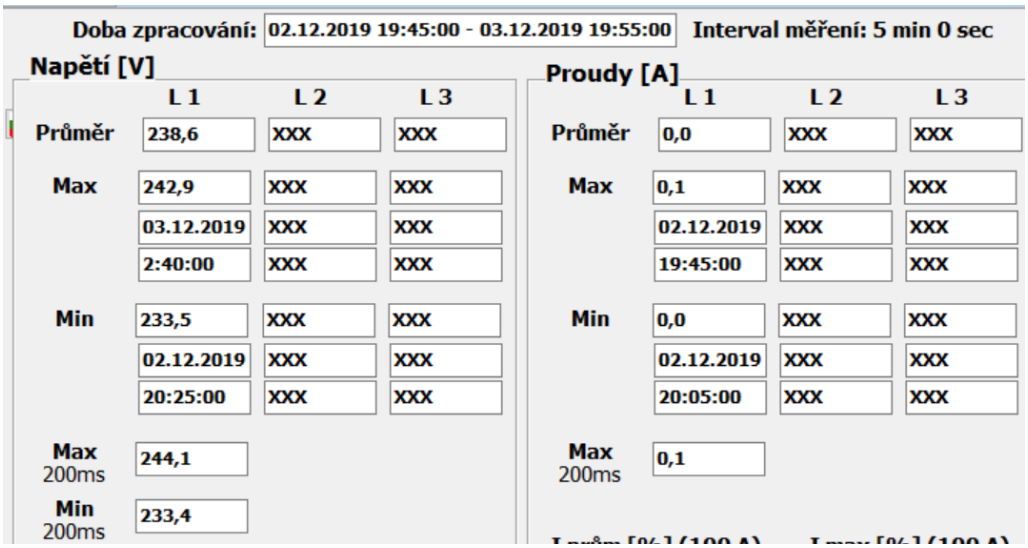
Na obrázku 5.4 jsou zobrazené naměřené údaje, konkretně: napětí, frekvence, flicker a harmonické kmity.

Doba zpracování	02.12.2019 19:50:00	03.12.2019 19:50:00				
	EN 50160	**Skutečnost**				
Délka měření	týden	00:00 (144 vz.) (Plt L1-11 L2-0 L3-0 vz.)				
Interval záznamu	10 minut	10 minut				
Nesymetrie	x< 2,0 % / 95,0 %	0,00 - 0,00/100,0 %				
Frekvence	49,5 <x< 50,5 / 99,5 %	100,0 %				
Frekvence	47,0 <x< 52,0 / 100,0 %	100,0 %				
Napětí	85% <x< 110% / 100%	233,5 - 242,7/100,0 %		0,0 - 0,0/100,0 %		0,0 - 0,0/100,0 %	
Napětí	90,0% <x< 110,0% / 95%	100,0 %		100,0 %		100,0 %	
Flikr Plt	x< 1,0 / 95%	0,14 - 0,26/100,0 %		----		----	
THD	x< 8,0% / 95%	1,75 - 2,56/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
2.harmonická	x< 2,0% / 95%	0,00 - 0,01/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
3.harmonická	x< 5,0% / 95%	0,31 - 0,87/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
4.harmonická	x< 1,0% / 95%	0,00 - 0,03/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
5.harmonická	x< 6,0% / 95%	1,74 - 2,43/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
6.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
7.harmonická	x< 5,0% / 95%	0,58 - 1,04/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
8.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
9.harmonická	x< 1,5% / 95%	0,20 - 0,46/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
10.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
11.harmonická	x< 3,5% / 95%	0,08 - 0,28/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
12.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
13.harmonická	x< 3,0% / 95%	0,00 - 0,27/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
14.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
15.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,07 - 0,30/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
16.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
17.harmonická	x< 2,0% / 95%	0,00 - 0,26/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
18.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
19.harmonická	x< 1,5% / 95%	0,07 - 0,22/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
20.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
21.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,08/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
22.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
23.harmonická	x< 1,5% / 95%	0,00 - 0,05/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
24.harmonická	x< 0,5% / 95%	0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
25.harmonická	x< 1,5% / 95%	0,00 - 0,04/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %		0,00 - 0,00/100,0 %	
HDO 216,6 [Hz]	x< 9,0 / 99% dne	100,0 %		100,0 %		100,0 %	

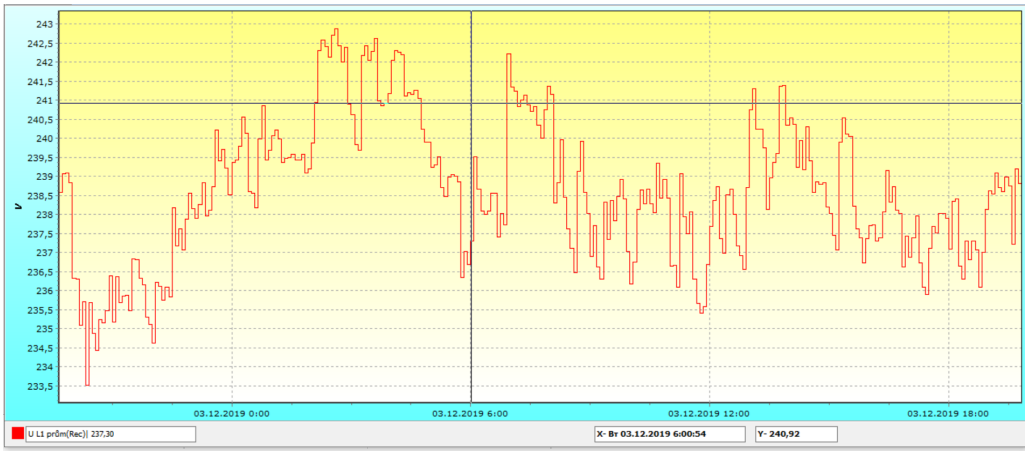
Obr. 5.4: Statistika naměřených údajů

5.3 Návrh vizualizace

Hlavními úkoly pro implementaci chytré domácnosti v rámci praktické části byly automatizace a zabezpečení domácnosti, monitorování spotřeby elektrické energie s cílem její úspory a také i výroba vlastní elektřiny a její racionální využití. Vzhledem k tomu, že problematika inteligentní domácnosti je velice rozsáhlá a má mnoho



Obr. 5.5: Naměřené hodnoty napětí



Obr. 5.6: Průběh napětí

aspektů, jako způsob vizualizace byla zvolena forma webové aplikace, která je založená na principu on-line průvodce po níže uvedených kategoriích, podle kterých jsou roztříděny inteligentní prvky, jejich technické charakteristiky, možnosti použití a odkazy na jejich nakoupení. Aplikace je dostupná na adrese `https://chytra-domacnost.herokuapp.com/`. Webová aplikace byla napsaná v jazyce Python 3.7 s využitím webového frameworku Flask pro zajištění backend funkčnosti. Jednotlivé webové stránky jsou napsané v HTML a frameworku Bootstrap. Oblasti domácnosti jsou následující:

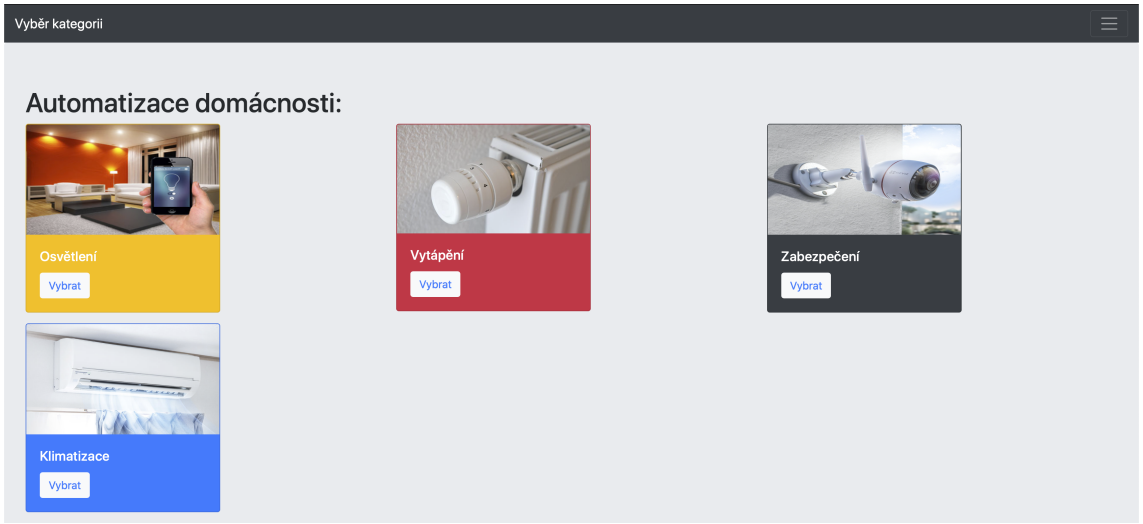
- osvětlení,
- zabezpečení,
- klimatizace,
- vytápění,

- fotovoltaická elektrárna,
- domácí spotřeba,
- domácí spotřebiče.

5.3.1 Aplikace z pohledu uživatele

Cílem bylo navrhnout aplikaci pro dva typy uživatelů, kteří se zajímají o různé způsoby modernizace svého obydlí. První typ uživatelů jsou amatéři, kteří o pojmu «chytrá domácnost» zatím nevědí nic, ale chtějí se seznámit s možnostmi implementace inteligentních prvků například pro sledování své spotřeby elektrické energie. Druhou kategorii tvoří zkušení uživatelé, kteří mají představu o inteligentních domech, ale chtějí získat více informací například o způsobech využití konkretních prvků, jejich komunikaci a technických charakteristikách. Pro obě skupiny uživatelů by tato aplikace měla být intuitivně pochopitelná a vést je od vybrané kategorie krok za krokem s následným vysvětlením principů využití jednotlivých prvků, přičemž se míra technických detailů bude zvyšovat.
Na první stránce aplikace, jak lze vidět na obrázcích 5.7 a 5.8, uživatel vybírá, pro jaký cíl potřebuje jednotlivé skupiny. Všechny kategorie lze rozdělit na několik typů:

- automatizace domácnosti,
- sledovaní spotřeby elektrické energie,
- výroba vlastní energie a její využití.



Obr. 5.7: Oblasti pro automatizaci domácnosti

Obr. 5.8: Fotovoltaická elektrárna a spotřeba elektřiny

5.3.2 Automatizace domácnosti

V dané skupině jsou ty oblasti, jejichž úkolem je dosáhnout snížení spotřeby elektřiny a zvýšit bezpečnost prostřednictvím automatizace fungování domácích spotřebičů pomocí inteligentních prvků. Řadíme sem:

- osvětlení,
- vytápění,
- bezpečnost,
- klimatizace.

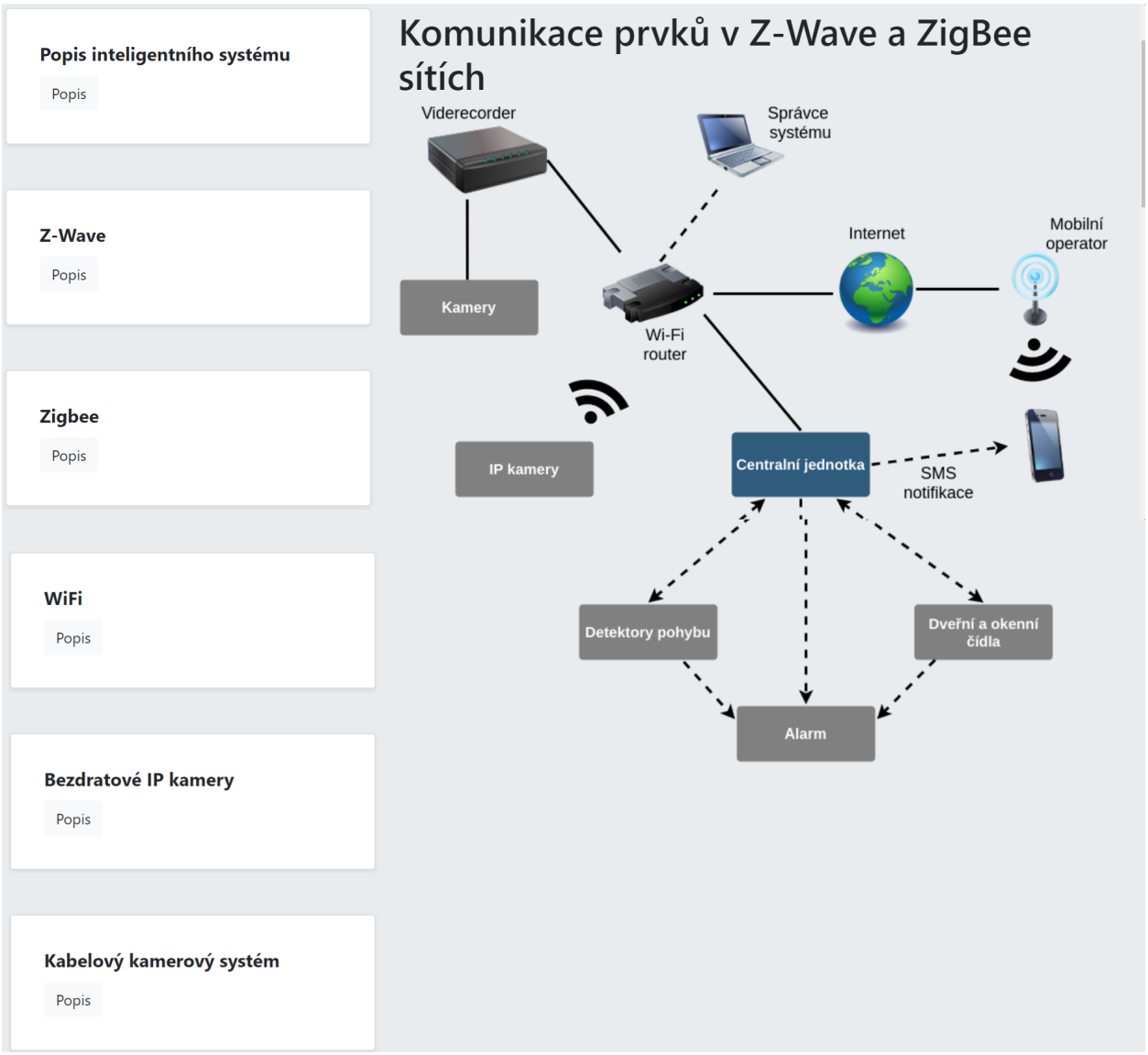
Předpoklad návrhu

V každé z výše uvedených kategorií je předložen podobný způsob modernizace. Jednou z podmínek při návrhu aplikace bylo to, že máme stávající zástavbu nebo byt, a vzhledem k tomu byly jako způsob komunikace zvoleny bezdrátové technologie s jejich zřejmými výhodami: rychlá instalace, cena, mobilita a neexistence potřeby pokládat kabeláž. Druhým předpokladem byla existence širokého výběru na trhu inteligentních zařízení, proto většina prvků představených ve skupině pro automatizaci domácnosti využívá pro komunikaci technologie Zigbee, Z-Wave a Wi-Fi.

Popis rozhraní

Struktura rozhraní je stejná pro všechny čtyři oblasti domácnosti. Po zvolení určité kategorie (například «Zabezpečení») podle obrázku 5.9 se zobrazí popis technologií využívaných v dané oblasti, určitých smart prvků a také topologie sítě, ze které lze zjistit, v jaké roli vystupuje každé ze zařízení a jak uživatel spravuje celý systém.

V dolní části teto stránky uživatel muže rozkliknout určitý typ prvků.

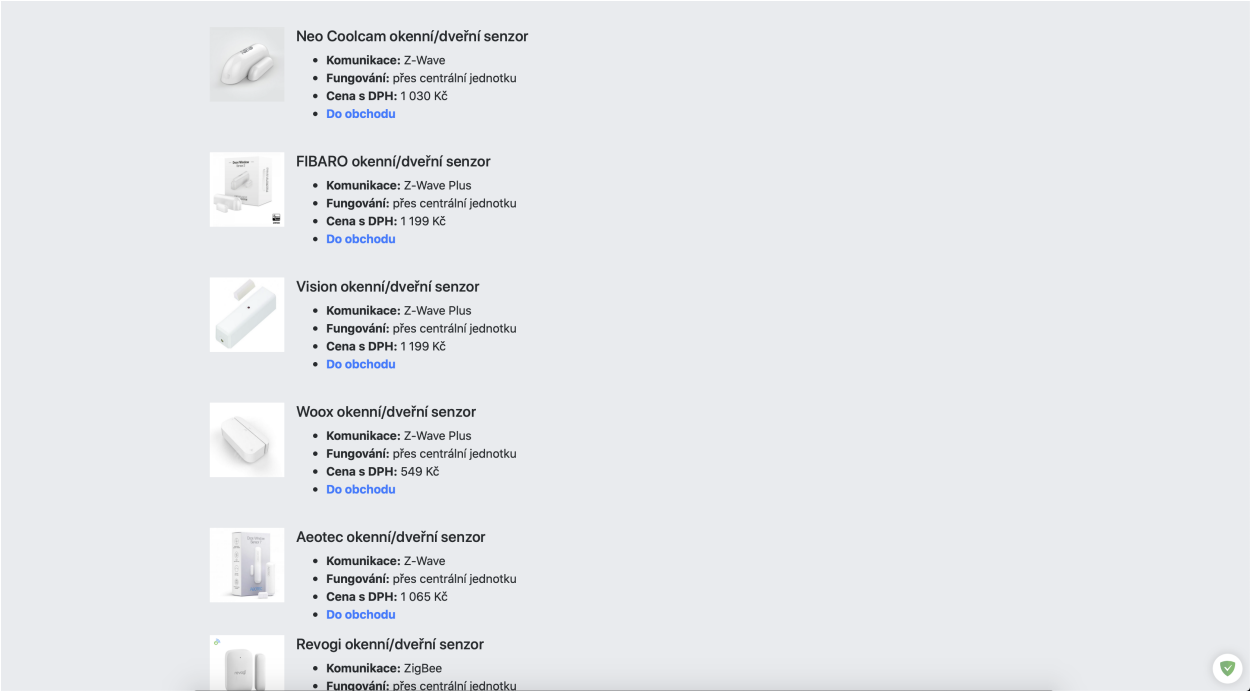


Obr. 5.9: Oblast «Zabezpečení»

Až se uživatel vybere typ prvku, otevře se poslední stránka se seznamem různých modelů tohoto zařízení a s popisem technických charakteristik, konkrétně způsobu komunikace, potřebuje-li centrální jednotku, ceny, napájení atd.(obrázek 5.10).

5.3.3 Výroba vlastní elektřiny

V dané kategorii jsou pro uživatele uvedené různé možnosti využití elektrické energie vyráběné z vlastní fotovoltaické elektrárny. Pro ukázku jsou znázorněné tři možnosti a jejich efektivita z hlediska množství využitelné elektřiny a nakoupené elektrické energie ze sítě:



Obr. 5.10: Seznam inteligentních prvků

- přímá spotřeba v okamžiku výroby,
- ukládaní přebytků elektřiny do baterie,
- využití přebytků pro ohřev vody.

Využití FVE pro vytápění

V kapitole 6.2.2 byla změřená spotřeba elektrické energie různými spotřebiči, a z obrázku 5.3 lze vidět že největší spotřebu má topný systém, proto v teto části bude popsán způsob jak lze dosáhnout energetických a finančních úspor pomocí využití fotovoltaické elektrárny pro vytápění.

V rámci daného návrhu bylo jako zdroj tepelné energie zvoleno tepelné čerpadlo díky jeho účinnosti a ekologičnosti.

Úspora spotřeby elektrické energie je přímo úměrná jeho topnému faktoru. Topný faktor udává poměr tepelné energie, kterou musí tepelné čerpadlo vyprodukovat pro vytápění obytného prostoru, a elektrické energie, kterou pro toto vyrábění spotřebuje. Například pokud je hodnota topného faktoru 3, znamená to, že při příkonu 3 kW bude mít tepelné čerpadlo výkon 9 kW. Také díky tomu, že princip fungování je založen na odběru tepla z okolí (ze vzduchu, vody, země), je takový způsob vytápění ekologičtější než topení elektřinou, plynem nebo tuhým palivem.

Návrh se skládá ze dvou částí. První část představuje on-line kalkulace, ve které uživatel zjistí roční náklady na spotřebu pro dva typy vytápění a také úspory, kterých

lze dosáhnout instalací fotovoltaické elektrárny v kombinaci s určitými zdroji tepla.

Ve druhé části byly sestaveny grafy zobrazující roční spotřebu jednotlivých spotřebičů pro vytápění a roční výrobu fotovoltaické elektrárny.

je potřeba, aby uživatel zadal na vstupy tři parametry: plochu obytného prostoru, počet obyvatel a topný faktor tepelného čerpadla v rozsahu 2 až 5.

Po zjištění těchto hodnot lze spočítat množství tepelné energie pro ohřev obytného prostoru a příkon topného zdroje při elektrickém vytápění (například elektrickým kotlem). Příkon tepelného čerpadla se počítá pomocí tepelného faktoru zvoleného uživatelem.

Až je jistý příkon zdrojů tepla, podle něho bude zvolená fotovoltaická elektrárna(například jestli příkon tepelného čerpadla je 5 kW, výkon FVE bude 5 kWp).

Další dva kroky jsou nezbytné pro sestavení grafu roční spotřeby a výroby elektřiny a pro výpočet ročních nákladů včetně přebytků elektřiny v letním období.

Prvním krokem je nutné zjistit množství elektrické energie, kterou měsíčně spotřebuje tepelný zdroj pro vytápění obytného prostoru. Toto je řešeno podle tabulky 5.3, ze které vyplývá, jak je roční spotřeba tepelného čerpadla rozdělená na 12 měsíců[38].

Tab. 5.3: Rozložení spotřeby tepelného čerpadla na celý rok

Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
24 %	17 %	10 %	6 %	4 %	3 %	2 %	2 %	4 %	5 %	9 %	14 %

Druhý krok je podobný prvnímu a spočívá ve stanovení měsíční výroby fotovoltaické elektrárny. Tyto údaje lze zjistit z tabulky 5.4, ve které je uvedené rozložení roční výroby FVE na 12 měsíců.

Tab. 5.4: Rozložení výroby fotovoltaické elektrárny na celý rok

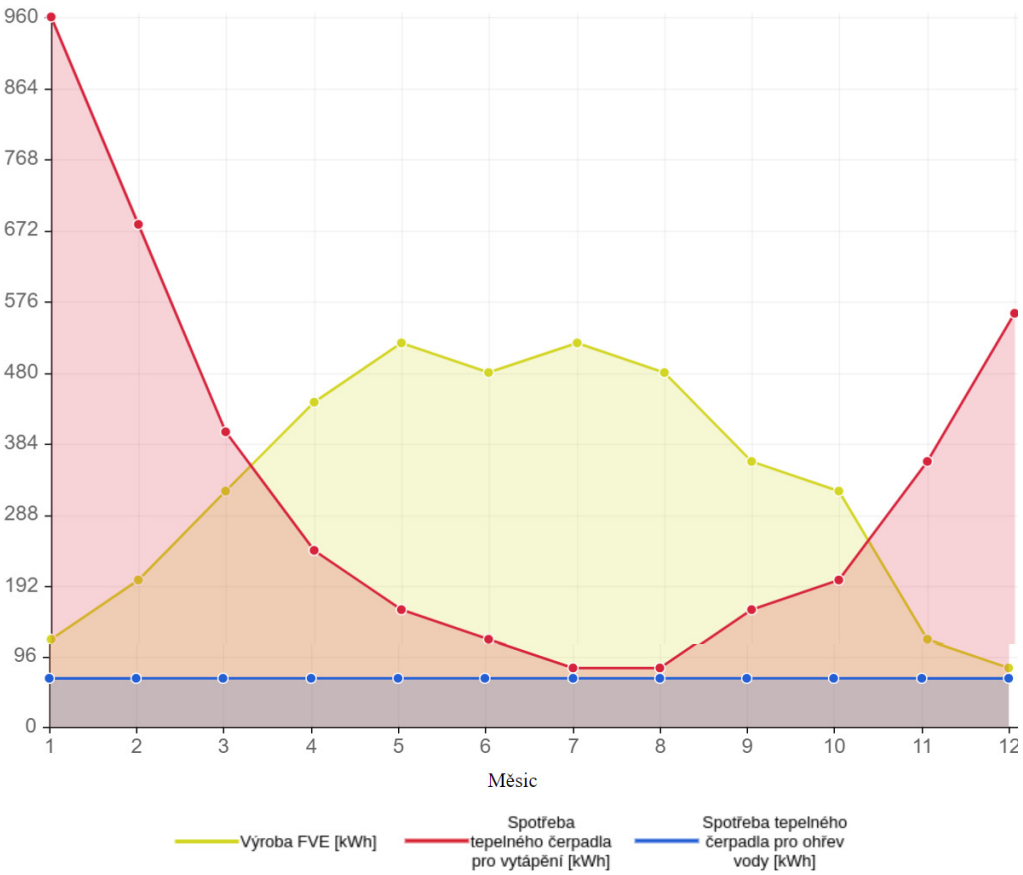
Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
3 %	5 %	8 %	11 %	13 %	12 %	13 %	12 %	9 %	8 %	3 %	2 %

V závislosti na počtu obyvatel lze spočítat spotřebu elektrické energie pro ohřev teplé užitkové vody (TUV), která bude konstantní pro každý měsíc.

Podle vstupních parametrů a hodnot z výše uvedených tabulek je pro uživatele sestaven graf, na kterém jsou zároveň zobrazené tři parametry:

- roční výroba FVE,
- roční spotřeba elektřiny pro vytápění,
- roční spotřeba elektřiny pro ohřev TUV.

Pro níže uvedený graf 5.11 obývací prostor činí 120 m2 , počet obyvatel je 3 a topný faktor tepelného čerpadla činí 3.



Obr. 5.11: Roční spotřeba elektřiny pro vytápění, ohřev TUV. Roční výroba FVE.

Po zjištění roční spotřeby a výroby elektrické energie je uživateli také představená tabulka (obrázek 5.12)s celkovými ročními náklady pro čtyři možnosti:

- elektrické topení,
- topení tepelným čerpadlem,
- topení tepelným čerpadlem s využitím FVE,
- topení a ohřev TUV tepelným čerpadlem s využitím FVE.

Jak lze vidět z obrázku 5.11, od dubna do října je přebytek vyráběné elektrické energie, avšak v zimě je jí naopak nedostatek. Proto při výpočtu ročních nákladů byla přebytečná elektřina dodaná ze sítě za třetinu sazby nízkého tarifu, což činí 0,9 Kč a nedostatek energie v zimě byl pokryt nakoupením elektřiny přibližně za 2,6 Kč. Praktickým řešením může být využití přebytků domácími spotřebiči v době vysokého tarifu, díky čemuž dojde k větším úsporám než při prodeji přebytků do distribuční sítě. Tato varianta je však velmi individuální a záleží na chování obyvatelů bytu, a proto při výpočtech nebyla využita.

Přibližné nutné teplo pro vytápění obytného prostoru: 12.0 kW

Nutný výkon topného zažizení pro elektricé vytápění: 12.48 kW

Podle zvoleného topného faktoru(3) tepelné čerpadlo má příkon : 4.00 kW

Roční náklady na palivo

	Přibližné roční náklady na vytápění
Elektrické topění	36192 Kč
Topení tepelným čerpadlem se zvoleným topným faktorem	11600 Kč
Tepelné čerpadlo + FVE	3640 Kč
Tepelné čerpadlo + FVE(+ohřev vody)	4913 Kč

Obr. 5.12: Roční náklady na vytápění

Využití FVE pro nabíjení elektromobilu

V daném návrhu jsou ukázané nejen úspory při použití fotovoltaické elektrárny pro nabíjení elektromobilu, ale i rozdíl ročních nákladů při využití klasických aut a elektromobilů.

Pro tento scénář je jednou z nevýhod to, že dobíjení auta může probíhat jen večer nebo v noci, když se obyvatelé vrátí z práce. Jak známo, slunce večer nesvítí, proto je potřeba vyrobenou energii někam ukládat. Obvykle jsou použity lithiové baterie.

Jako v předchozím scénáři pro topný systém bylo v dané variantě rovněž řešeno zobrazení výsledků ve formě tabulky (s ročními náklady na palivo a spotřebu elektrické energie) a grafu spotřeby a výroby elektřiny. Základní podmínkou je to, že uživatel zadává údaje při exploataci klasického benzinového nebo naftového auta, čímž ve výsledku zjistí, kolik ušetří při jeho výměně za elektromobil s další kombinací s fotovoltaickou elektrárnou.

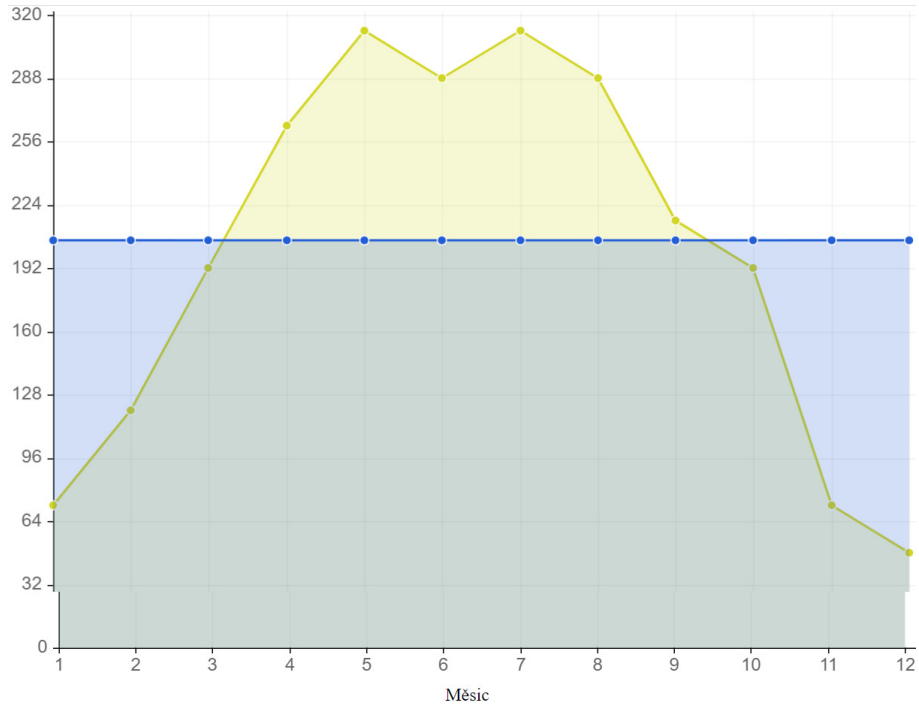
Nejprve musíme zjistit, kolik má uživatel měsíčně najetých kilometrů. Na tuto informaci by bylo možné se přímo zeptat, ale většinou lidé spíše vědí, kolik měsíčně utratí za palivo a jakou spotřebu paliva má jejích auto na 100 kilometrů.

Pro výpočet měsíční spotřeby elektřiny elektromobilem je nutné znát spotřebu energie na 100 kilometrů. Pro tento účel byla vybraná konstantní hodnota 19 kWh.

Měsíční náklady na nabíjení auta se počítají podle nízkého tarifu a jako v předchozím scénáři to je 2,9 Kč za 1 kWh.

Při zanedbání nevýrazných odchylek (změny jsou závislé na chování obyvatel) můžeme předpokládat, že měsíční spotřeba energie bude konstantní, a proto lze podle celkové roční spotřeby zvolit fotovoltaiku s výkonem odpovídajícím roční spotřebě. Při takovém výběru dojde k velkým finančním úsporám a zároveň nebudou přebytky elektřiny tak velké.

Podle tabulky 5.4 jsou spočítané hodnoty měsíční spotřeby pomocí rozdělení roční výroby fotovoltaické elektrárny na 12 měsíců(obrázek 5.13).



Obr. 5.13: Roční výroba FVE/roční spotřeba elektřiny pro nabíjení elektromobilu.

Posledním krokem je sestavení tabulky s ročními náklady na palivo a elektřinu, podle níž uživatel může porovnat své aktuální náklady při využití benzinového auta s elektromobilem v kombinaci s fotovaltaickou elektrárnou. Jak lze vidět na obrázku 5.14 použití elektromobilu s FVE umožní zmenšit roční náklady až 30krát.

5.3.4 Kategorie s cílem sledovaní domácí spotřeby

Sledovaní ze stávajících měřičů

V dané kategorii se uživatel seznámí s možností dálkového sběru dat z klasických měřicích prvků (elektroměr, vodoměr, a plynoměr). Na webové stránce je zobrazená

Obr. 5.14: Roční náklady na palivo/elektrickou energii pro nabíjení auto.

schema komunikace, popis principu fungování, grafické znázornění denní a měsíční spotřeby a nákladů. V dolní častí senzory jsou roztříděné podle účelu jejích využití.

Většinou se pro sledovaní spotřeby využívají senzory pracující na technologiích LPWAN(Low Power Wide Area Network) nebo GPRS. Wifi senzory jsou vhodné když se měřič nachází v předělech bytové jednotky a má připojení k lokální síti. Analýza a srovnání třech senzorů pro měření spotřeby elektřiny byla provedená v kapitole 5.3.1.

Sledovaní spotřeby pomocí zásuvkových modulů

Daným způsobem bylo provedené měření spotřeby domácích spotřebičů v kapitole 6.2.2. Zásuvkový modul je vhodný pro sledovaní spotřeby elektrické energie jednoho spotřebiče. Při zvolení teto záložky uživateli jsou k dispozici obrázky s uživatelským rozhraním zásuvkového modulu a seznam modulů z tabulky 5.1.

Závěr

Teoretická část této bakalářské práce je rozdělená do několika částí. První se zabývá analýzou inteligentních prvků využívajících v domácnosti s cílem její automatizace a snížení spotřeby elektrické energie. Ve druhé části byla popsána problematika využití elektrické energie z vlastní fotovoltaické elektrárny. Byly uvedené různé způsoby a jejich srovnání. Další část se zabývá popisem problematiky dálkového sledování spotřeby elektrické energie ve stávajícím systému HDO, a možnosti jejího řešením pomocí senzorů pro dálkový sběr dat z klasických elektroměrů.

Praktická část se také dělí do tří části. V první části byla provedená analýza a srovnání zásuvkových modulů pro měření spotřeby elektrické energie. Na základě analýzy zásuvkových modulů byla vybrána chytrá zásuvka české společnosti Evolveo porta u2, která má schopnost komunikace prostřednictvím Wi-Fi. Pro měření byla vybrána lednička, plynový kotel, digestoř a teplovzdušný konvektor. Na základě naměřených hodnot lednice a plynového kotle byly sestaveny grafy denní spotřeby elektrické energie. V obou případech nebyla zjištěna žádná zvláštní závislost spotřebované energie na denní době. Dále byla naměřena spotřeba všech čtyř zařízení na základě chování obyvatelů domácnosti. Podle naměřených hodnot bylo také sestaveny graf, na základě kterého byla provedena kategorizace domácích spotřebičů, z čehož je zřejmé, že digestoř je nejméně energeticky náročná a konvektor nejvíce.

Dále byla změřena kvalita napětí sítě pomocí PQ monitoru Meg44PAN. Naměřené hodnoty napětí, frekvence, flickeru a vzniklých harmonických kmitů jsou v toleranci s normou.

Výstupem bakalářské práce byl na základě předchozích analýz a prostudované informace návrh vizualizace způsobů implementace inteligentních prvků do existující zástavby, chytrých domů a různých kombinací spotřebičů a zdrojů. Jako způsob vizualizace byla zvolená webová aplikace, která je dostupná na adrese `https://chytra-domacnost.herokuapp.com/`. Cílem aplikace je seznámit uživatele podle jeho požadavků s možnostmi modernizace své domácnosti a způsoby sledování spotřeby elektrické energie. V každé kategorii jsou odkazy na obchody, kde si uživatel může objednat určitou službu nebo zakoupit inteligentní prvek.

V kategorii «Výroba vlastní elektřiny z FVE» jsou pro uživatele k dispozici dvě on-line kalkulačky pro výpočet ročních úspor při vyžití FVE v kombinaci s topným systémem nebo elektromobilem.

Literatura

[1] *Chytrá domácnost budoucnosti? Čím dál víc prvků a stále jednodušší ovládání, předpovídá přední český vývojář / Radiožurnál* [online]. 2018 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z URL: https://radiozurnal.rozhlas.cz/chytra-domacnost-budoucnosti-cim-dal-vic-prvku-a-stale-jednodussi-ovladani-7715097

[2] *KNX Manufacturers list KNX Association* [online]. Belgium [cit. 2020-03-05]. Dostupné z URL: <https://www.knx.org/knx-en/for-manufacturers/members/index.php>.

[3] *Communication Media - KNX Association* [online]. Belgium [cit. 2020-03-05]. Dostupné z URL: <https://www2.knx.org/ie/knx/technology/communication-media/index.php#>.

[4] PANG, Dang-Feng; LU, Sheng-Li; ZHU, Qi-Ying. *Design of intelligent home control system based on knx/eib bus network.* In: 2014 International Conference on Wireless Communication and Sensor Network. IEEE, 2014. p. 330-333. Dostupné z URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7061750>.

[5] ANTEUR, Mehdi, et al. *Ultra narrow band technique for low power wide area communications.* In: 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM). IEEE, 2015. p. 1-6. Dostupné z URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7417420>.

[6] KABALCI, Ersan a Yasin KABALCI. *From Smart Grid to Internet of Energy. Academic Press.* 2019. ISBN 0128197110. Dostupné z URL: <https://books.google.cz/books?id=ZzamDwAAQBAJ&pg=PA122&lpg=PA122&dq=ldr+hdr+narrowband&source=bl&ots=UmyRbWGTvR&sig=ACfU3U2XwofYUcWJTemdtaig6BzXHe-MEg&hl=ru&sa=X&ved=2ahUKEwiG2r3Zi5jmAhWPYMAKHTffDQ4Q6AEwBHoECAkQAQ#v=onepage&q=ldr%20hdr%20narrowband&f=false>.

[7] JIANMING, Liu, et al. *Communication performance of broadband PLC technologies for smart grid.* In: 2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications. IEEE, 2011. p. 491-496. Dostupné z URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5764448>.

[8] YASSEIN, Muneer Bani; MARDINI, Wail; KHALIL, Ashwaq. *Smart homes automation using Z-wave protocol.* In: 2016 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS). IEEE, 2016. p. 1-6. Dostupné z URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7745306>.

[9] *Z-Wave Global Regions - Silicon Labs* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z URL: <https://www.silabs.com/products/wireless/mesh-networking/z-wave/benefits/technology/global-regions>.

[10] *Member Companies of the Z-Wave Alliance - Z-Wave Alliance* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z URL: <https://z-wavealliance.org/z-wave_alliance_member_companies/>.

[11] AL-QUTAYRI, Mahmoud A.; JEEDELLA, Jeedella S. *Integrated wireless technologies for smart homes applications.* In: Smart Home Systems. IntechOpen, 2010. Dostupné z URL: <https://www.researchgate.net/publication/221907506_Integrated_Wireless_Technologies_for_Smart_Homes_Applications>.

[12] *ZigBee Alliance | IoT ONE* [online]. 2019 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z URL: <https://www.iotone.com/organization/zigbee-alliance/o206>.

[13] SOLIMAN, Moataz, et al. *Smart home: Integrating internet of things with web services and cloud computing.* In: 2013 IEEE 5th international conference on cloud computing technology and science. IEEE, 2013. p. 317-320. Dostupné z URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6735443>.

[14] BURDA, K. - STRAŠIL, I.: *Zabezpečovací systémy.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. s. 1-187. ISBN 78-80-214-4441-6.

[15] BECHNÍK, PH.D., Ing. Bronislav. *Řízení spotřeby nebo akumulace?* [online]. , 14 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z URL: <https://www.tzb-info.cz/docu/clanky/0080/008065_Bechnik_RizeniSpotreby.pdf>.

[16] *Kalkulačka Fotovoltaika. Bydlíme s Filipem* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z URL: <https://www.bydlimesfilipem.cz/cs/kalkulacky/kalkulacka-fotovoltaika>.

[17] *SMA Smart Home* [online]. 2014 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z URL: <https://www.sma.de/fileadmin/intersolar/SMART_HOME-KEN1421W.pdf>.

[18] *Global Smart Metering Markets, 2018-2019; Forecast to 2024* [online]. 2019 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/07/22/1885589/0/en/Global-Smart-Metering-Markets-2018-2019-Forecast-to-2024.html>.

[19] *Final Report Benchmarking Smart Metering deployment in the EU-28* TRACTEBEL IMPACT [online]. 2019 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z URL: <https://www.vert.lt/SiteAssets/teises-aktai/EU28%20Smart%20Metering%20Benchmark%20Revised%20Final%20Report.pdf>.

[20] *Photovoltaic-en | SAMANIR* [online]. [cit. 2020-04-28]. Dostupné z URL: <https://samanir.com/en/photovoltaic-en/>.

[21] *Thomas Engineering, Inc.* [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z URL: <https://www.thomasengineering-inc.com/services6.php>.

[22] *Physicians for Safe Technology | Meters* [online]. 2013 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z URL: <https://mdsafetech.org/smart-meters/>.

[23] *All you need to know about smart meters in 2020* [online]. 2020 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z URL: <https://www.uswitch.com/gas-electricity/guides/smart-meters-explained/>.

[24] *ElIoT CLASSIC; sledování spotřeby el. energie online; VisionQ* [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z URL: <https://visionq.cz/produkt/eliot-classic/#main>.

[25] *ZOOCO | Čidlo pro měření výroby elektřiny Shark* [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z URL: <https://www.zooco.io/cs/cidla/vyroba-elektriny>.

[26] BARAI, Gouri R.; KRISHNAN, Sridhar; VENKATESH, Bala. *Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid-a review.* In: 2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). IEEE, 2015. p. 138-145. Dostupné z URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7379940/>.

[27] *VODŘÁŽKA, Jiří. Smart Grid: Komunikační sítě pro energetiku* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z URL:
<https://www.powerwiki.cz/attach/RES/Energetika_RES_2.pdf.ČVUTvPraze,FEL>.

[28] *Aquanta smart water heater controller* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z URL:
<https://aquanta.io/>.

[29] *SlimmeBoiler Module | Eneco* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z URL:
<https://www.eneco.nl/energieproducten/slimmeboiler-module/>.

[30] *Aquanta will help your water heater learn your habits - CNET* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z URL:
<https://www.cnet.com/reviews/aquanta-preview/>.

[31] *OKHE SMART - Ohřívače a zásobníky teplé vody Dražice* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z URL:
<https://www.dzd.cz/ohrivace-a-zasobniky-teple-vody/elektricke/zavesne/okhe-smart#ke-stazeni>.

[32] *Ohřívače a zásobníky teplé vody, bojlery DZ Dražice* [online]. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z URL:
<https://www.dzd.cz/>.

[33] *Revogi Smart Power Plug* [online]. 2019 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z URL:
<https://www.revogi.cz/RevogiSmartPowerPlug.html>.

[34] *EVOLVEO Porta U2, chytrá WiFi zásuvka s měřením spotřeby EVOLVEO.COM/CZ* [online]. 2019 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z URL:
<https://www.evolveo.com/cz/porta-u2>.

[35] *Wall Plug - type E/F | FIBARO Manuals* [online]. 2019 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z URL:
<https://manuals.fibaro.com/wall-plug/>.

[36] *KLSP1 Plug eu - Koogeek.com* [online]. 2018 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z URL:
<https://www.koogeek.com/p-klsp1-1.html>.

[37] *MEgA Měřící Energetické aparáty: PQ monitor MEg44PAN* [online]. Česká Rebublica, 2018 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z URL:
<http://www.e-mega.cz/doc/cz/MEg44PAN.pdf>.

[38] *Co je běžná spotřeba energie pro mé ventilační tepelné čerpadlo? | Tepelná čerpadla NIBE* [online].[cit. 2020-06-06]. Dostupné z URL: <https://www.nibe.cz/otazky-odpovedi/faq/faq/70-co-je-bezna-spotreba-energie-pro-me-ventilacni-tepelne-cerpadlo>.

Seznam symbolů, veličin a zkratek

AMI	Advanced Metering Infrastructure
DLMS	Device Language Message Specification
EIB	European Installation Bus
FVE	Fotovoltaická elektrárna
GSM	Global System for Mobile Communications
HAN	Home Area Network
HDO	Hromadné dálkové ovládaní
HDR	High Data Rate
IHD	In-Home-Display
IoT	Internet of things
IP	Internet protokol
LDR	Low Data Rate
LED	Light-emitting diode
LPWAN	Low Power Wide Area Network
M2M	Machine-to-machine
MDC	Meter Data Central
MDM	Meter Data Management
NAN	Neighbourhood Area Network
NB	Narrow Band
PIR	Pasivní infračervený detektor
PLC	Powerline Communication
P2MP	Point-to-Multipoint
UNB	Ultra Narrow Band
WAN	Wide Area Network

Seznam příloh

A Obsah přiloženého CD **79**

A Obsah přiloženého CD

- `satic` ..... Složka s obrázky
- `templates` ..... Složka s HTML šablonami
  - `fve`
  - `klimatizace`
  - `osvetleni`
  - `spotreba`
  - `spotrebice`
  - `vytapeni`
  - `zabezpeceni`
  - `base.html`
  - `hubs.html`
  - `index.html` ..... Šablona úvodní stránky
- `app.py` ..... Zdrojový Python soubor
- `ProcFile` ..... Vytvoření příkazu pro Heroku
- `requirements.txt` ..... Knihovny pro rozmístění aplikace na serveru Heroku
- `BP_Konstantinov` ..... Text práce