

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

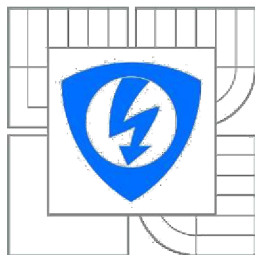
**ŘÍZENÍ SPOTŘEBY V SYSTÉMECH S OZE PRO
MAXIMALIZACI ZELENÉHO BONUSU**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

RICHARD FAKTOR

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Richard Faktor

ID: 154702

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Řízení spotřeby v systémech s OZE pro maximalizaci zeleného bonusu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provoz OZE v režimu zeleného bonusu
2. Technická řešení řízení vlastní spotřeby a jejich kategorizace
3. Experimentální analýza technických řešení
4. Definice podmínek využití

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 28.5.2015

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

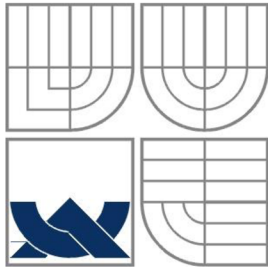
UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

FAKTOR, R. *Řízení spotřeby v systémech s OZE pro maximalizaci zeleného bonusu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 64 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D..

Jako autor uvedené diplomové (bakalářské) práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové (bakalářské) práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

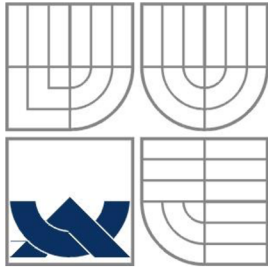
**ŘÍZENÍ SPOTŘEBY V SYSTÉMECH S OZE PRO
MAXIMALIZACI ZELENÉHO BONUSU**

Richard Faktor

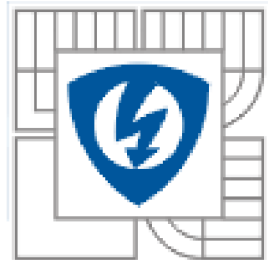
vedoucí: doc. Ing. Jiří Drápela Phd.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2015

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's thesis

**DEMAND SIDE MANAGEMENT OF
CUSTOMERS OPERATING A RENEWABLE
SOURCE IN “GREEN BONUS” MODE**

Richard Faktor

Supervisor: doc. Jiří Drápela Phd.

Brno University of Technology, 2015

Brno

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou riadenia vlastnej spotreby v systémoch s rozptýlenou výrobou prostredníctvom obnoviteľných zdrojov energie. Vlastnú spotrebu môžeme definovať ako množstvo vyprodukovanej elektrickej energie spotrebovanej priamo v mieste výroby, pričom jej zvýšenie je možné dosiahnuť akumuláciou elektrickej energie alebo riadením spotreby objektu prostredníctvom vhodného ovládania a regulácie spotrebičov a zariadení používaných v domácnostiach. Práca obsahuje kategorizáciu spotrebičov z hľadiska potenciálu pre riadenie spotreby a popis a návrh konceptu domácich riadiacich systémov.

KLÍČOVÁ SLOVA: obnoviteľné zdroje energie; vlastná spotreba; riadenie spotreby; domáce spotrebiče,

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with self-consumption management in renewable distributed generation systems. Self-consumption can be defined as the share of the total produced electricity directly consumed by the system owner. Its increase can be achieved by the accumulation of electrical energy or load management, also called demand side management (DSM) through a suitable control and regulation of households appliances and equipments. The work includes the categorization of appliances in terms of the potential for demand side management and a description and design a concept of domestic load management systems.

KEY WORDS: renewable energy sources; self consumption; demand side management; household appliances

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV.....	10
ZOZNAM TABULIEK.....	12
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....	13
1 ÚVOD.....	15
1.1 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY.....	15
1.2 CIELE PRÁCE.....	18
2 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE A ICH INTEGRÁCIA DO ENERGETICKÉHO MIXU .19	
2.1 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE.....	19
2.2 INTEGRÁCIA ROZPTÝLENEJ VÝROBY DO ENERGETICKÉHO SYSTÉMU A JEJ DÔSLEDKY.....	20
2.2.1 OVPLYVNENIE PRENOSOVÝCH A DISTRIBUČNÝCH SIETÍ.....	21
2.2.2 OVPLYVNENIE KLASICKÝCH VÝROBNÍ ELEKTRICKEJ ENERGIE.....	21
3 FINANČNÁ PODPORA INTEGRÁCIE OZE.....	23
3.1 PREDPOKLADANÉ CELOSVETOVÉ INVESTÍCIE DO OZE.....	23
3.2 DOTAČNÉ POLITIKY ŠTÁTOV EU.....	24
3.2.1 SYSTÉM DOBROVOĽNOSTI.....	24
3.2.2 FINANČNÉ STIMULÁCIE.....	25
3.2.3 TENDRE NA REALIZÁCIU PROJEKTOV.....	25
3.2.4 UHLÍKOVÉ A ZELENÉ DANE.....	25
3.2.5 ZELENÉ CERTIFIKÁTY.....	25
3.3 PODPORA OBNOVITELNÝCH ZDROJOV ENERGIE V ČR.....	26
3.3.1 PODPORA VÝROBY ELEKTRICKEJ ENERGIE FORMOU VÝKUPNÝCH CIEN.....	26
3.3.2 PODPORA VÝROBY ELEKTRICKEJ ENERGIE FORMOU ZELENÝCH BONUSOV A INŠTALÁCIE V REŽIME ZELENÉHO BONUSU NA ÚZEMÍ ČR.....	26
3.4 PREVÁDZKA OZE V REŽIME ZELENÉHO BONUSU A POROVNANIE EKONOMICKEJ VÝHODNOSTI FORIEM PODPORY OZE V ČR.....	27
4 KATEGORIZÁCIA ELEKTRICKÝCH SPOTREBIČOV A ZARIADENÍ PRE RIADENIE SPOTREBY.....	31
4.1 REGULOVATELNÉ SPOTREBIČE.....	32
4.1.1 ODPOROVÉ TEPELNÉ SYSTÉMY A ICH REGULÁCIA.....	33
4.2 PRELOŽITELNÉ SPOTREBIČE.....	36
4.2.1 PRÁČKA, SUŠIČKA BIELIZNE A UMÝVAČKA RIADU.....	36
4.2.2 NABÍJANIE ZARIADENÍ.....	38
4.3 CHLADNIČKY A MRAZNIČKY.....	38
4.4 KLIMATIZÁCIA A TEPELNÉ ČERPADLO.....	39
5 SYSTÉMY PRE RIADENIE SPOTREBY.....	42
5.1 RIADENIE SPOTREBY POMOCOU REGULÁTOROV VÝKONU.....	42

5.2 NÁVRH KONCEPTU DOMÁCEHO RIADIACEHO ENERGETICKÉHO SYSTÉMU	44
5.2.1 ROZHRANIE NA STRANE SPOTREBIČA	47
6 EXPERIMENTÁLNA ANALÝZA.....	48
6.1 UKAZOVATELE VYJADRUJÚCE MIERU RIADENIA SPOTREBY V SYSTÉMOCH S OZE	48
6.1.1 FAKTORY OVPLYVNŮJÚCE UKAZOVATELE	50
6.2 SIMULÁCIA REGULÁTOROV VÝKONU	51
6.3 SIMULÁCIA NAVRHNUTÉHO KONCEPTU RIADIACEHO SYSTÉMU	51
6.3.1 OBJEKT BEZ RIADENIA SPOTREBY V LETNOM A ZIMNOM REŽIME	52
6.3.2 OBJEKT S RIADENÍM SPOTREBY	55
7 ZÁVER.....	59
POUŽITÁ LITERATÚRA	60

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 2-1: Tok výkonu v energetickom systéme bez (vľavo) a s rozptýlenou výrobou (vpravo)[27]</i>	20
<i>Obr. 3-1: Nové investície do obnoviteľných zdrojov energie v rokoch 2004-2013 (Zdroj dát : Bloomberg New Energy Finance)</i>	23
<i>Obr. 3-2: Predpokladané kumulované investície do OZE v rokoch 2013 až 2015 [7]</i>	24
<i>Obr. 3-3: Solárna mapa územia Českej republiky (Zdroj : SolarGis)</i>	27
<i>Obr. 4-1 :Grafické rozloženie spotreby energie v domácnostiach [19]</i>	31
<i>Obr. 4-2: Striedavý menič napätia s odporovou záťažou a priebehy napätí a prúdov [35]</i>	35
<i>Obr. 4-3: Priebeh napätia a prúdu na odporovej záťaži pri spínaní v nule</i>	35
<i>Obr. 4-4: Principiálna schéma sériového transformátoru s meničovým budením [37]</i>	36
<i>Obr. 4-5: Odberová charakteristika práčky LG WM2016CW pre režim prania Normal [23]</i>	37
<i>Obr. 4-6: Odberová charakteristika umývačky riadu Kenmore 665 [23]</i>	37
<i>Obr. 4-7: Odberová charakteristika sušičky bielizne LG DLE2516W v automatickom programe sušenia [23]</i>	38
<i>Obr. 4-8: Odberová charakteristika chladničky Hotpoint HTR16A [23]</i>	39
<i>Obr. 4-9: Zjednodušené grafické znázornenie modifikácie odberovej charakteristiky prestavením vnútornej teploty [25]</i>	39
<i>Obr. 4-10: Odberová charakteristika klimatizačnej jednotky LG LW1212ER [23]</i>	40
<i>Obr. 4-11: Regulácia výkonu tepelného čerpadla/klimatizácie kontrolou množstva vstupného média do kompresoru [38]</i>	41
<i>Obr. 5-1: Principiálna schéma regulátora výkonu GreenBono [32]</i>	43
<i>Obr. 5-2: Grafické znázornenie algoritmu pre riadenie spotreby [21]</i>	45
<i>Obr. 5-3: Vývojový diagram riadiaceho systému pri zistení odberu elektrickej energie zo siete</i>	46
<i>Obr. 5-4 Vývojový diagram riadiaceho systému pri zistení dodávky elektrickej energie do siete</i>	46
<i>Obr. 5-5: Zjednodušená koncepcia celého funkčného reťazca pre riadenie spotreby objektu [26]</i>	47
<i>Obr. 6-1: Časové krivky spotreby a výroby elektrickej energie fiktívneho objektu počas jedného dňa [2]</i>	48
<i>Obr. 6-2: Schematické znázornenie tokov výkonov v objektoch s distribuovanou výrobou [42]</i>	49
<i>Obr. 6-3: Zobrazenie toku výkonu v prípade regulácie bojleru spínaním v nule</i>	51
<i>Obr. 6-4: Výroba a odber elektrickej energie objektu v letnom režime s 10 minútovým časovým rozlíšením</i>	53

<i>Obr. 6-5: Výroba a odber elektrickej energie objektu v zimnom režime s 10 minútovým časovým rozlíšením</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 6-6: Zobrazenie toku výkonu objektu v letnom režime.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 6-7: Zobrazenie toku výkonu objektu v zimnom režime</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 6-8: Výroba a odber elektrickej energie objektu s riadením spotreby v letnom režime s 10 minútovým časovým rozlíšením</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 6-9: Výroba a odber elektrickej energie objektu s riadením spotreby v zimnom režime s 10 minútovým časovým rozlíšením</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 6-10: Zobrazenie toku výkonu objektu s riadením spotreby v letnom režime.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 6-11: Zobrazenie toku výkonu objektu s riadením spotreby v zimnom režime</i>	<i>57</i>

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 2-1: Rozdelenie rozptýlených výrobných systémov podľa veľkosti výkonov.....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 3-1: Výkupné ceny a zelené bonusy pre výrobu elektrickej energie využitím slnečného žiarenia [14].....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 3-2: Porovnanie ekonomickej výhodnosti jednotlivých foriem podpory fotovoltickej elektrárne.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 3-3: Ekonomická výhodnosť inštalácie fotovoltickej elektrárne bez štátnej podpory.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 4-1: Kategorizácia spotrebičov v domácnosti.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 6-1: Hodnoty ukazovateľov pre objekt v letnom režime.....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 6-2: Hodnoty ukazovateľov pre objekt v letnom režime.....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 6-3: Hodnoty ukazovateľov pre objekt s riadením spotreby v letnom režime.....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 6-4: Hodnoty ukazovateľov pre objekt s riadením spotreby v zimnom režime.....</i>	<i>58</i>

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratka	Význam	Značka jednotky danej veličiny
CO ₂	Oxid uhličitý	
DPH	Daň z pridanej hodnoty	[%]
DS	Distribučná spoločnosť	
DSM	Demand side management	
EMC	Elektromagnetická kompatibilita	
ERÚ	Energetický regulačný úrad	
EU	Európska únia	
f	Frekvencia	[Hz]
HDO	Hromadné diaľkové ovládanie	
i	Označenie časového intervalu merania činnnej energie	
l	Okamžitý odber	[W]
m	Okamžitá časť výkonu spotrebovaná priamo v objekte	[W]
NN	Nízke napätie	
OZE	Obnoviteľný zdroj energie	
p	Okamžitá výroba	[W]
P _{d,T}	Celková dodaná energia za časový úsek T	[Wh]
P _{dmax,T}	Maximálna hodnota okamžitého dodávaného výkonu	[W]
PF	Celkový účinník odberu	
P _{o,T}	Celková odobraná energia za časový úsek T	[Wh]
P _{omax,T}	Maximálna hodnota okamžitého odoberaného výkonu	[W]
RD	Rodinný dom	
s	Okamžitý výkon storage systému	[W]
SB	Sebestačnosť systému	[%]
SR	Slovenská republika	
SSR	Polovodičové relé	
t	Čas	[s]
T	Časový úsek	

TÚV	Teplá úžitková voda	
U	Napätie	[V]
VN	Vysoké napätie	
VS	Vlastná spotreba systému	[%]

1 ÚVOD

V dnešnej dynamicky sa rozvíjajúcej dobe, kedy svetová populácia z roka na rok stále narastá a zároveň sa zväčšujú energetické nároky obyvateľov vplyvom závislosti ich kvality každodenného života na potrebe dodávok elektrickej energie, musí ľudstvo riešiť otázku nedostatku a nerovnomerného rozloženia zdrojov a palív potrebných pre výrobu elektrickej energie, a taktiež otázku ohrozenia životného prostredia vplyvom výroby elektrickej energie spaľovaním fosílnych palív. Práve tieto skutočnosti sú motiváciou pre nástup obnoviteľných zdrojov energie. Podpora rozvoja obnoviteľných zdrojov energie je závislá od energetickej politiky daného štátu. V Českej republike prebieha podpora OZE formou výkupných cien alebo zelených bonusov, ktoré majú za úlohu vytvoriť priestor pre investície v tomto odvetví. Pre prevádzku elektrárne na OZE v režime zeleného bonusu je najvýhodnejšie všetku vyrobenú energiu spotrebovať v mieste inštalácie elektrárne. Táto spotreba je dôležitá aj pre stabilitu energetického systému, pretože v sieti musí byť neustála rovnováha medzi spotrebou a výrobou elektrickej energie. Realizácia spotreby vyrobenej energie sa môže vykonať zmenou návykov používateľov elektrických zariadení v takomto systéme, avšak takéto riešenie prináša do života užívateľov diskomfort a nie je ani efektívne. Preto pre každý objekt vyrábajúci vlastnú elektrickú energiu potrebujeme rôzne technické riešenia a opatrenia, aby sme maximalizovali spotrebu vyrobenej elektrickej energie tak, aby sa elektrická energia spotrebovala v čase a na potrebné účely.

1.1 Súčasný stav riešenej problematiky

Domácnosti, ktoré sa rozhodli umiestniť na svoj dom alebo pozemok výrobu na OZE (napríklad fotovoltickú elektrárňu), ktorá funguje v režime zeleného bonusu prípadne bez finančnej podpory a má slúžiť pre vlastnú spotrebu vyrobenej elektrickej energie, by mali vhodnými spôsobmi zabezpečiť, aby ich spotreba vlastnej vyrobenej elektrickej energie bola priamo spotrebovaná v mieste výroby. Ak sa tak nedeje, dochádza k toku výkonu z elektrárne do distribučnej siete, čo sa v závislosti od režimu, v ktorom táto elektrárňu funguje, prejaví v zhoršení ekonomiky prevádzky a zároveň tento tok výkonu spôsobuje v energetickom systéme nemalé problémy, ktoré budú rozobrané v ďalších kapitolách. To znamená, že pre riadenie strany spotreby existuje jednak finančná motivácia pre majiteľov týchto výrobní, jednak aj motivácia vyriešenia technických výziev a problémov, ktoré súvisia s rozptýlenou výrobou.

V elektroenergetickom systéme musí byť neustála rovnováha medzi výrobou a spotrebou, a preto sa operátori snažia tieto dve veličiny k sebe prispôbiť. To sa môže vykonať dvoma spôsobmi:

- Prispôbením výroby elektrickej energie k spotrebe.
- Prispôbením spotreby elektrickej energie k výrobe jej riadením (tzv. demand-side management).

Demand-side management v preklade znamená riadenie strany spotreby energetického systému, ktorý pozostáva zo štyroch hlavných sektorov: výroba, prenos, distribúcia a spotreba elektrickej energie. Kým v oblasti riadenia výroby, prenosu a rozvodu elektrickej energie existujú možnosti

a dlhoročné skúsenosti ako zlepšovať a optimalizovať energetický systém ako celok, riadenie strany spotreby si až teraz začína získavať väčšiu pozornosť kvôli čoraz väčšej integrácii OZE. Pod pojem DSM môžeme zaradiť opatrenia, ktoré siahajú od zlepšovania energetickej účinnosti spotrebičov napríklad používaním modernejších materiálov, cez inteligentné tarify distribučných spoločností zvyhodňujúce určitý odberový diagram, až po sofistikované metódy ovládajúce stranu spotreby v reálnom čase [1]. Tieto opatrenia sa môžu rozdeliť podľa času, ktorý požadujú na zmenu stavu energetického systému, a podľa dopadu na koncového používateľa. Čím rýchlejšie vykonáva opatrenie zmeny, tým väčší neželaný dopad môže potenciálne mať na procesy spotrebiteľa [17][18]. V súčasnosti existujú dve možnosti pre prispôsobenie spotreby k výrobe elektrickej energie:

- Riadenie odberu elektrických zariadení a spotrebičov.
- Akumulácia elektrickej energie.

Riadenie odberu elektrických zariadení a spotrebičov súvisí s prepínaním, regulovaním a časovým spínaním odberu zariadení a spotrebičov v týchto systémoch (práčka, umývačka riadu, vykurovanie, klimatizácia atď.) na čas, kedy je prebytok výroby elektrickej energie z vlastného zdroja. To sa môže dosiahnuť:

- Manuálne (užívatelia musia vhodne načasovať činnosti, pri ktorých sa používajú elektrické spotrebiče, pričom toto opatrenie má priamy dosah na komfort obyvateľov v danom objekte, pretože v skutočnosti ľudia potrebujú používať elektrické spotrebiče a užívať si tepelný komfort v čase, keď to najviac potrebujú a keď sa nachádzajú v danom objekte).
- Automaticky (vyžadujú sa kontrolné algoritmy a zariadenia ktoré, v závislosti od princípu ich činnosti, pracujú s informáciami ako predpoveď počasia, teplota prostredia, množstvo slnečného žiarenia a podobne).

Dnes poznáme niekoľko spôsobov DSM, ktorý sa uskutočňuje nielen na lokálnej (samostatne v objektoch) ale aj na sieťovej úrovni. Medzi tie patrí napríklad priame ovládanie odberu (direct load control), ktoré distribučné spoločnosti v Českej republike a na Slovensku robia niekoľko rokov pod skratkou HDO, obmedzovače odberu (load limiters), smart metering a podobne. Štúdie zaberajúce sa zlepšením vlastnej spotreby pomocou techník pre DSM používajú pre simulácie jednak teoretické algoritmy pre spínanie odberov ale aj reálne experimenty. Simulácie sa často robia retrospektívne pre konkrétnu inštaláciu, kde krivky výroby a odberu sú známe, ale taktiež sa robia dopredu na základe predpovedí počasia [2].

Pre zvýšenie vlastnej spotreby objektov sa používajú aj rôzne akumulčné systémy tzv. storage systémy, prípadne ich kombinácia s DSM. Na trhu sú dostupné rôzne technológie na uskladňovanie energie, ktoré sa od seba odlišujú cenou na jednotkový výkon, maximálnym výkonom, energetickou kapacitou, energetickou hustotou (tento parameter pojednáva o veľkosti batérie), dobou uskladnenia energie, časom odozvy, účinnosťou, životnosťou, samovoľným vybíjaním a vyspelosťou konkrétnej technológie. Pre rezidenčné mikro-generačné systémy je v závislosti od doby potrebnej na uskladnenie energie najvhodnejšie použiť buď vodíkový, alebo batériový storage systém, prípadne ich kombináciu. Batérie majú výhodu vo vysokej účinnosti konverzie, avšak trpia relatívne vysokým samovoľným vybíjaním (v závislosti od technológie),

takže sú vhodnejšie pre vybalancovanie fluktuácií denného odberového diagramu. Vodíkové storage systémy fungujú na princípe tvorby vodíku prostredníctvom elektrolyzéra. Vodík sa uskladňuje vo vysokotlakovej nádobe a rekonvertuje sa na elektrickú energiu pomocou palivových článkov. Tento proces dosahuje účinnosť okolo 36 %, čo je oveľa menej, než pri batériových systémoch. Pri vodíkových systémoch sa hodnota samovoľného vybíjania blíži k nule. V posledných rokoch nastal prudký vývoj v oblasti batériových technológií, ktorý súvisí aj s rozvojom elektromobility. Pre potreby storage systémov na ukladanie elektrickej energie je na trhu niekoľko vhodných druhov akumulátorov, napríklad olovené, lítium-iónové (Li-ion), sodíkovo-sírové (NaS), Nikel-kadmiové (NiCd), Nikel metal hydridové (NiMH) a medzi rozvíjajúce sa technológie akumulátorov, vhodných pre tieto účely, môžeme zaradiť sodík-iónové batérie alebo tzv. prietokové batérie. Z menovaných technológií sú olovené akumulátory najstaršie a v súčasnosti najviac používané, lenže vďaka obsahu olova a kyseliny sírovej môžu negatívne vplyvať na životné prostredie. Lítium-iónové akumulátory majú veľký potenciál pre ďalší rozvoj a širšie použitie vďaka ich vysokej účinnosti a relatívne vysokej energetickej hustote, no ich cena je stále pomerne vysoká. Porovnateľné s Li-ion akumulátormi sú sodík-iónové, keďže sodík aj lítium sú alkalické kovy s podobnými chemickými vlastnosťami, takže technologické náležitosti okolo Li-ion batérií (výroba, nabíjanie a podobne) môžu byť aplikovateľné aj na sodík-iónové batérie. Vzhľadom na lepšiu dostupnosť a cenu sodíku než lítia sú tieto batérie zaujímavou alternatívou k spomínaným technológiám. Uskladniť elektrickú energiu je možné aj nabíjaním batérií elektrických alebo hybridných vozidiel podobne ako batériových storage systémov [3] [4].

Veľká časť štúdií, ktoré sa zameriavajú na zvýšenie a riadenie vlastnej spotreby systémov s OZE, pracuje s domácimi storage systémami. Jedná sa najmä o simulácie fiktívnych inštalácií a meranie na existujúcich systémoch v priebehu celého roka s časovým rozlíšením jedna hodina prípadne menším [2]. Najmä pri fotovoltických elektrárnach je veľmi dôležité robiť tieto merania počas celého roka, pretože vplyvom striedania ročných období dochádza k zmene výstupného výkonu výroby, čo ovplyvňuje vlastnú spotrebu objektu. V týchto štúdiách sa storage systémy používajú na krátkodobé uskladnenie elektrickej energie s dobou uskladnenia maximálne jeden deň. Tento fakt pravdepodobne spôsobuje cena batérií, ktorá je stále vysoká vzhľadom na ich kapacitu [5]. Kvôli absentujúcim alebo nedostatočným údajom o podmienkach, pri ktorých boli jednotlivé štúdie spracované (spotreba objektu a jej časová krivka, klimatické podmienky prostredia v ktorom je objekt umiestnený, počítateľná vlastná spotreba objektu, skladba spotrebičov v domácnosti a iné), a ktoré výrazne ovplyvňujú výsledky meraní, je ťažšie tieto výsledky porovnať medzi sebou.

Elektrickú energiu je možné uskladňovať aj vo forme tepla, napríklad pomocou elektrického bojlera, tepelného čerpadla, prípadne do akumulačnej nádrže v prípade elektrického teplovodného vykurovania a šetriť tým náklady na vykurovanie a prípravu teplej úžitkovej vody. Jedná sa o takzvané tepelné akumulačné systémy, pričom akumulátorom môže byť aj plášť objektu. V tomto prípade sa elektrická energia prakticky nedá rekonvertovať späť. Je dôležité poznamenať, že nabíjanie, uchovávanie energie a následné vybíjanie vždy vedie k stratám energie a tieto straty nie je vhodné prirátavať k vlastnej spotrebe elektrickej energie systému. Vzhľadom na túto skutočnosť je energeticky efektívnejšie okamžité využitie elektrickej energie (ak je to

možné), namiesto uskladňovania na neskoršie použitie, a preto sa táto bakalárska práca bude zaoberať technickými riešeniami, ktoré maximalizujú okamžité využitie elektrickej energie na potrebné účely [2].

1.2 Ciele práce

Ciele tejto bakalárskej práce boli zvolené za účelom priblíženia problematiky integrácie obnoviteľných zdrojov energie do globálneho energetického mixu (výhody, nevýhody a problémy, ktoré táto integrácia so sebou prináša) so zameraním najmä na rozptýlenú výrobu a mikro-systémy, t.j. systémy, ktoré si stavajú jednotlivci alebo malé komunity primárne pre pokrytie svojich energetických potrieb. Ďalej sa táto práca bude zaoberať problematikou motivácie pre stavbu týchto systémov a formami podpory OZE vo svete a v Českej republike, pričom bude uvedené jednoduché porovnanie ekonomickej výhodnosti výrobné fungujúcej v rôznych režimoch podpory s dôrazom na množstvo vlastnej spotrebovanej energie. Následne sa práca zameriava na rozdelenie spotrebičov a zariadení, ktoré by sa mohli použiť pre efektívne využitie energie v mikro-systémoch tak, aby sa maximalizovala spotreba v mieste výroby, pričom je potreba tieto spotrebiče vhodne ovládať, riadiť a regulovať, na čo je potreba vhodného riadiaceho systému, ktorým sa zaoberá predposledná časť tejto práce. Posledná časť je zameraná na experimentálne overenie zlepšenia vlastnej spotreby použitého technického riešenia.

2 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE A ICH INTEGRÁCIA DO ENERGETICKÉHO MIXU

2.1 Obnoviteľné zdroje energie

Obnoviteľné zdroje energie sa stávajú čoraz väčšou časťou globálneho energetického mixu. Za posledné desaťročie niektoré technológie zaznamenali až dvojciferný rast a počíta sa, že tento rast bude ďalej napredovať za predpokladu, že budú dodržiavané nevyhnutné podporné opatrenia. Za benefity obnoviteľných zdrojov pre energetiku štátu môžeme považovať okrem iných aj:

- Energetickú bezpečnosť a diverzitu. Obnoviteľné zdroje energie sa podieľajú na energetickej bezpečnosti obmedzením závislosti jednotlivých štátov na fosílnych palivách a iných nerastných surovinách, ktoré sa môžu nachádzať v politicky nestabilných častiach sveta, potrebných pre výrobu elektrickej energie.
- Ochrana životného prostredia. Za predpokladu vzrastajúceho dopytu po elektrickej energii, môže ľudstvo v energetickom sektore v roku 2035 obmedziť tvorbu CO₂ použitím obnoviteľných zdrojov energie o 3,6 gigaton v porovnaní s prípadom, ak by sa na výrobu elektriny v roku 2035 použil súčasný energetický mix. Obnoviteľné zdroje energie taktiež prispievajú k obmedzeniu iných znečisťujúcich látok a skleníkových plynov, ktoré sa generujú najmä spaľovaním uhlia v klasických tepelných elektrárnach. Tieto látky zhoršujú kvalitu ovzdušia, negatívne ovplyvňujú ľudské zdravie a spôsobujú množstvo enviromentálnych problémov ako sú kyslé dažde, ničenie ozónovej vrstvy zeme, otepľovanie povrchu planéty a iné. Patrí sem napríklad oxid siričitý (SO₂) prípadne oxidy dusíku (NO_x).
- Ekonomické výhody. Rozvoj a aplikácia obnoviteľných zdrojov energie so sebou prináša tvorbu pracovných miest, priestor pre podnikanie a investície. Môžu sa podieľať na ozdravovaní ekonomík a môžu byť súčasťou rozsiahlej stratégie zameranej na udržateľný ekonomický rast (nazývaný ako „zelený rast“).
- Energetická dostupnosť. Obnoviteľné zdroje energie môžu poskytnúť prístup k elektrickej energii približne 1,3 miliarde ľuďom v menej rozvinutých alebo odľahlých oblastiach sveta a podieľať sa tak na skvalitnení ich každodenného života. Mini-grid a off-grid systémy môžu byť lacnejšie, ako výstavba sietí do takých oblastí [6][7].

Táto práca sa zaoberá riadením spotreby v systémoch s OZE, ktoré sú umiestnené v bytových jednotkách blízko koncových spotrebiteľov. Preto môžeme hovoriť o tzv. distribuovanej (vzdialenej/ decentralizovanej/ rozptýlenej) výrobe. Za distribuovanú výrobu je považovaný zdroj pripojený do energetického systému v mieste blízko koncového spotrebiteľa, ktorého veľkosť je v porovnaní s centralizovanou elektrárnou zanedbateľná. Rozdelenie rozptýlených výrobných systémov vzhľadom na veľkosť výkonov podľa [27] môžeme vidieť v Tab. 2-1. V nasledujúcich kapitolách bude popísaná integrácia rozptýlenej výroby a jej dôsledky na elektrizačnú sústavu so zameraním najmä na mikro a malé systémy vyrábajúce elektrickú energiu z variabilných OZE. Tieto systémy bývajú zväčša umiestnené na

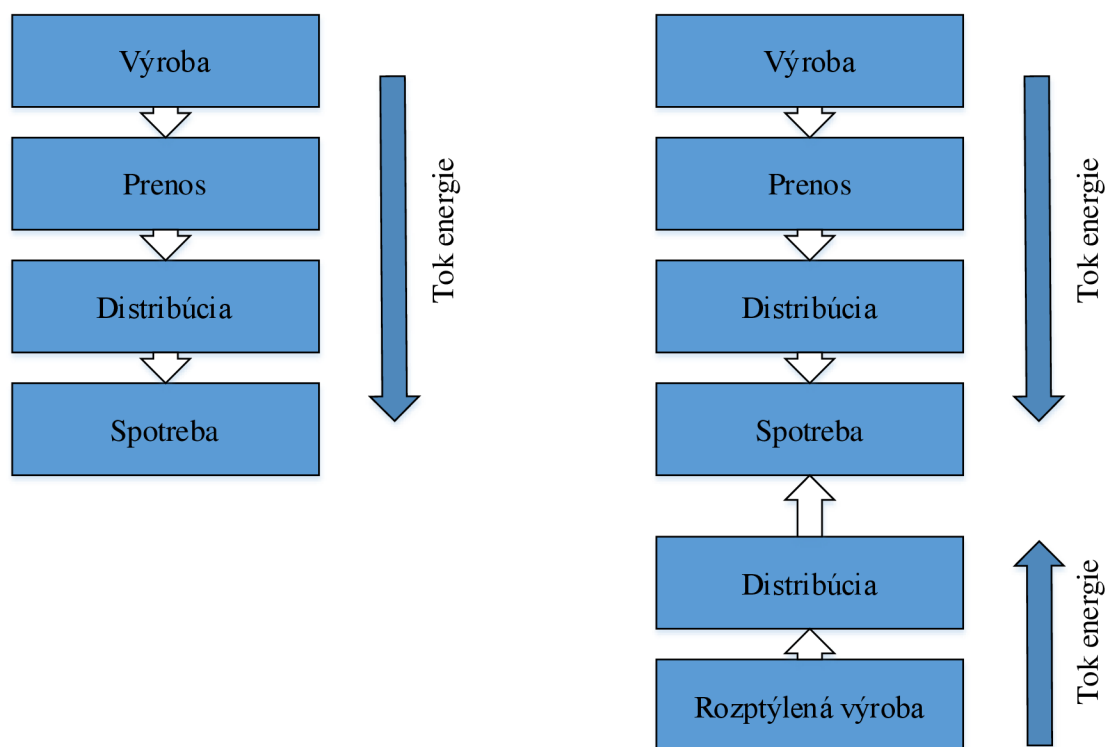
rezidenčnej úrovni a oproti väčším systémom nie sú podrobené monitorovaniu a regulácii zo strany sieťových operátorov [27].

Tab. 2-1: Rozdelenie rozptýlených výrobných systémov podľa veľkosti výkonov [27]

Typ výroby	Veľkosť výroby
Mikro-systémy	1 W < 5 kW
Malé systémy	5 kW < 5 MW
Stredné systémy	5 MW < 50 MW
Veľké systémy	50 MW < 300 MW

2.2 Integrácia rozptýlenej výroby do energetického systému a jej dôsledky

Integrácia rozptýlenej výroby najmä pomocou variabilných zdrojov energie, ktorých výstupný výkon je kolísajúci v závislosti od zmien výkonu zdroja energie (napríklad zmena slnečného svitu, prípadne zmena rýchlosti a smeru vetra), so sebou prináša problémy a technické výzvy, ktoré závisia na špecifických faktoroch danej siete ako sú napríklad korelácia medzi dostupnosťou vetra, prípadne slnečného žiarenia a dopytom po elektrickej energii, flexibilita ostatných výrobní v systéme, schopnosť akumulácie energie v sieti, podiel premenlivých zdrojov v celkovom energetickom mixe a iné. Dopad týchto problémov na energetické systémy sa môže obmedziť správnym načasovaním a koordináciou inštalovanej kapacity OZE, investícií do energetických sietí a rýchlosťou rozvoja opatrení pre integráciu OZE [6].



Obr. 2-1: Tok výkonu v energetickom systéme bez (vľavo) a s rozptýlenou výrobou (vpravo)[27]

Pri tradičnom koncepte elektrizačných sústav, energia tečie jedným smerom od veľkých centralizovaných výrobní cez prenosovú a distribučnú sieť, ktorá tvorí posledné spojenie medzi prenosovou sieťou a koncovým spotrebiteľom, pričom výsledná kvalita elektrickej energie závisí práve na jej spoľahlivosti. Pri neustále sa zvyšujúcom podiele rozptýlenej výroby v energetických systémoch, tečie energia k spotrebiteľom jednak z veľkých výrobných jednotiek a zároveň z rozptýlenej výroby, čo pri variabilných zdrojoch energie spôsobuje celý rad technických problémov na všetkých úrovniach elektrizačnej sústavy. Ovplyvnenie častí elektrizačnej sústavy bude naznačené v nasledujúcich podkapitolách [27].

2.2.1 Ovplyvnenie prenosových a distribučných sietí

Z dôvodu možnej veľkej vzdialenosti medzi miestami spotreby a výroby elektrickej energie z OZE (napríklad off-shore veterné farmy) bude potrebné rozširovanie a vytváranie nových distribučných a prenosových sietí. V niektorých častiach sveta budú tieto nové prepojenia na medzištátnej úrovni, takže bude potrebná kooperácia medzi jednotlivými operátormi a regulačnými úradmi [7].

Variabilné obnoviteľné zdroje, medzi ktoré patria veterné a solárne elektrárne, sa pripájajú najmä do distribučnej sústavy, pričom veterné a solárne výrobné väčších výkonov sa pripájajú na napäťovú hladinu VN, elektrárne menších výkonov (mikro a malé systémy) môžu byť pripojené na napäťovú hladinu NN [7]. Integrácia rozptýlenej výroby do distribučných sietí NN, ktoré boli navrhnuté pracovať bez pripojených výrobných jednotiek s jednosmerným tokom výkonu, prináša so sebou ovplyvnenie napäťového profilu týchto sietí, ktoré sa môže prejaviť napríklad:

- Ovplyvnením veľkosti napätia a napäťovými fluktuáciami. Napäťová regulácia je založená na jednosmernom toku výkonu v elektrizačnej sústave. Zaradením výrobné do distribučnej siete NN môže v závislosti od veľkosti injektovaného výkonu dôjsť k vzniku podpätia alebo prepätia, čo je nutné vyregulovať buď distribučným transformátorom (to so sebou prináša technické obmedzenia) alebo špeciálnymi typmi regulátorov na to určenými [28]
- Ovplyvnením symetrie napätia. Výrobné môžu byť pripojené do distribučnej siete v závislosti na ich type a výkone symetricky na všetky tri fázy alebo asymetricky. V prípade asymetrického pripojenia dochádza k asymetrickému toku výkonov (prúdov) v jednotlivých fázach. To znamená, že veľkosť fázorov jednotlivých fáz nebude rovnaká a ich vzájomný posuv nebude ideálnych 120° . Tieto nesymetrie napätia majú dopad na trojfázové záťaže ako sú asynchrónne motory.
- Pridávaním vyšších harmonických zložiek napätia. Výrobné používajúce polovodičové výkonové meniče môžu byť zdrojom vyšších harmonických zložiek napätia, ktoré spôsobujú deformáciu sínusového priebehu napätia.

2.2.2 Ovplyvnenie klasických výrobní elektrickej energie

Variabilné obnoviteľné zdroje majú priamy dôsledok na fungovanie a prevádzkové náklady klasických výrobní z dôvodu rozdielnosti kriviek dopytu po elektrickej energii a výroby elektrickej energie z týchto zdrojov. Rozdiel týchto dvoch kriviek sa v čase mení, a preto s narastajúcim počtom výrobní na variabilné OZE je potreba vhodne regulovať výstupný výkon

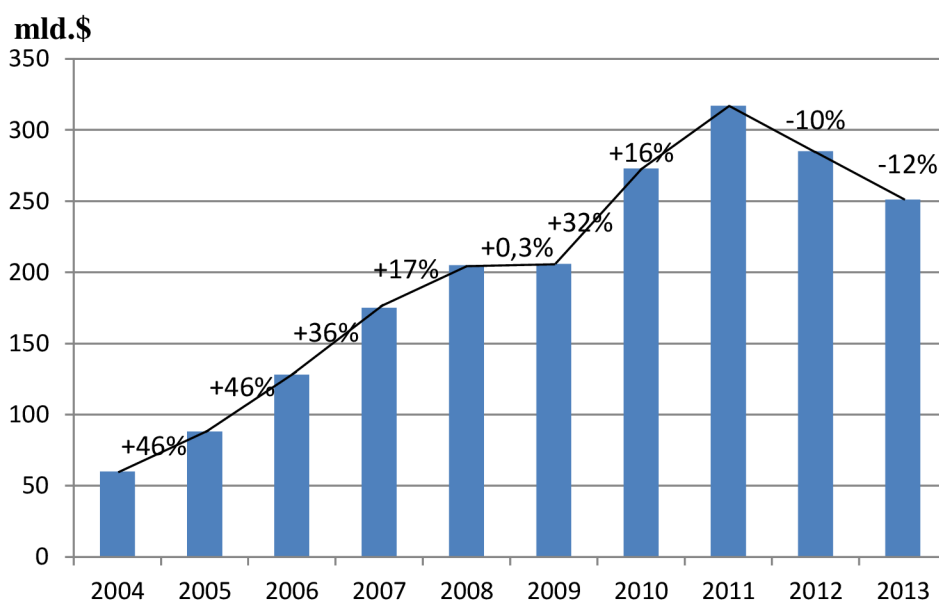
klasických elektrární, pretože v energetickom systéme musí byť neustála vyváženosť spotreby a výroby elektrickej energie. To sa môže prejaviť vo zväčšených nákladoch na chod týchto elektrární z dôvodu straty účinnosti kvôli neoptimálnemu chodu, a taktiež na zvýšenej opotrebovanosti komponentov. Tieto náklady sa v budúcnosti môžu obmedziť:

- Pokročilejšími technikami na predikciu množstva vyrobenej energie z obnoviteľných zdrojov. To zahŕňa zlepšenie predpovedí rýchlosti vetra, prípadne množstva slnečného svitu atď.
- Rozšírením distribučných a prenosových sietí kvôli dostupnosti vzdialenejších zdrojov energie.
- Aplikovaním riadenia spotreby elektrickej energie tzv. demand-side management, ktoré bude modifikovať dopyt po elektrickej energii v závislosti na dostupnosti energie.
- Zvýšením schopnosti akumulovať a skladovať energiu, to znamená investovať do tzv. storage systémov ako sú prečerpávacie vodné elektrárne, systémy pracujúce na princípe stlačeného vzduchu, batériové systémy a iné.

Avšak tam, kde je možnosť aby krivka výroby z OZE bola podobná krivke dopytu po elektrickej energii, môžu byť variabilné OZE v závislosti na počte inštalácii prínosné pre vyhladenie denného odberového diagramu. Napríklad v teplejších oblastiach sveta, kde je dostatok slnečného svitu, môže byť energia generovaná z fotovoltických mikro-systémov spotrebúvaná klimatizačnými jednotkami v tých istých budovách.

3 FINANČNÁ PODPORA INTEGRÁCIE OZE

Na Obr. 3-1 môžeme vidieť celosvetový rast investícií do obnoviteľných zdrojov energií, ktorý prebiehal do roku 2012, keď zaznamenal prvý výraznejší pokles. Tento pád bol spôsobený strmým poklesom cien solárnych systémov a takisto aj politickou neistotou v otázke podpory OZE v mnohých krajinách sveta a ukázal verejnosti, že masovejší nástup zelených technológií sa stáva zložitejší.

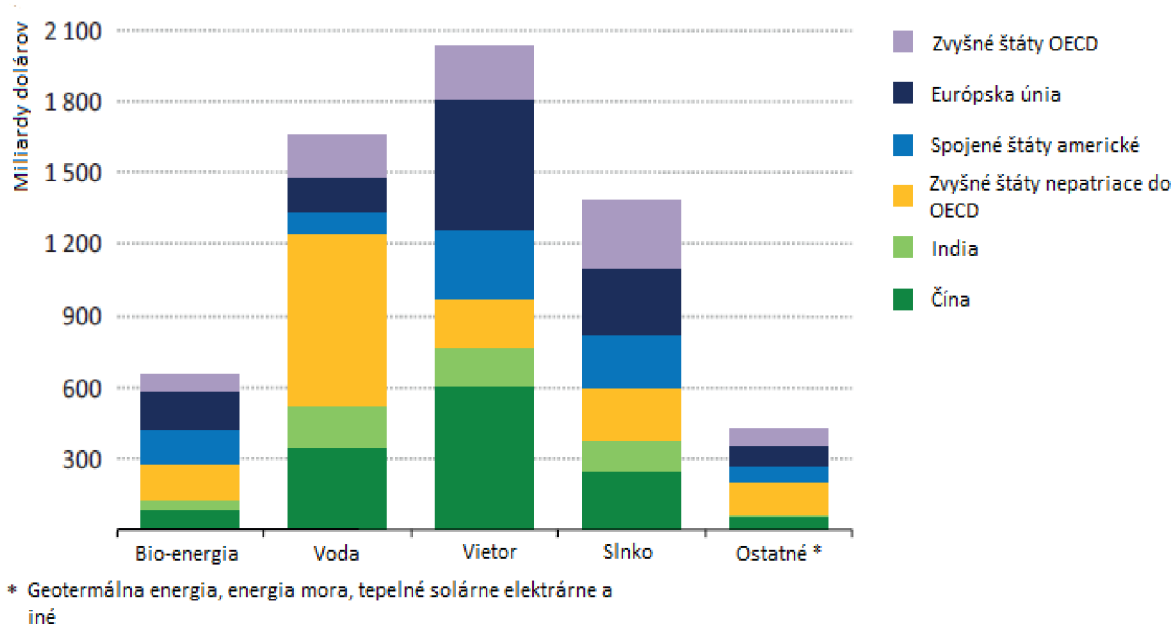


Obr. 3-1: Nové investície do obnoviteľných zdrojov energie v rokoch 2004-2013
(Zdroj dát : Bloomberg New Energy Finance)

Európska únia v roku 2007 pomocou pracovného plánu pre obnoviteľné zdroje energie stanovila celkový povinný cieľ 20 % k zvýšeniu podielu energie z obnoviteľných zdrojov na celkovej skladbe zdrojov energie EU na 20 % do roku 2020. To sa prejavilo na rapídnom nástupe technológií využívajúcich najmä energiu vetra a slnečného žiarenia.

3.1 Predpokladané celosvetové investície do OZE

Predpokladá sa, že na splnenie cieľov integrácie OZE do energetického mixu ako aj na vyriešenie problémov, ktoré toto začlenenie so sebou prináša, kumulatívne investície v energetickom sektore narastú do roku 2035 na hodnotu 6,2 biliónov dolárov. Na Obr. 3-2 je uvedené predpokladané množstvo investícií do jednotlivých najvýznamnejších technológií OZE, farebne sú odlišené podiely jednotlivých častí sveta na týchto investíciách. Na grafoch v obrázku si môžeme všimnúť, že štáty Európskej únie majú zámer investovať najväčšie prostriedky práve do variabilných OZE, takže pre EU bude obzvlášť potrebné vyriešiť problémy integrácie týchto zdrojov energie, spomínané v predchádzajúcich kapitolách.



Obr. 3-2: Predpokladané kumulované investície do OZE v rokoch 2013 až 2015 [7]

Rozvoj a integrácia OZE v rôznych štátoch Európskej únie sa značne líši a vplyva na ňu niekoľko faktorov ako sú napr.:

- Geografická poloha krajiny.
- Prírodné danosti krajiny.
- Intenzita uplatňovania stimulačných opatrení.

Krajiny západnej Európy sa môžu rozdeliť na štáty, kde vlády silno podporujú OZE ako sú napríklad Nemecko, Rakúsko, Švajčiarsko prípadne Dánsko a na štáty, kde podpora prebieha v menšej miere a najmä pre technológie, ktoré majú v danej krajine najvhodnejšie podmienky. Do tejto skupiny patrí Veľká Británia, Francúzsko, Taliansko a iné. V strednej a východnej Európe, kde v minulosti prebehla celková transformácia hospodárstva, je výrazný záujem podporovať OZE, avšak v týchto krajinách sa nemalé finančné prostriedky vynakladali a stále vynakladajú na iné priority ako sú zvyšovanie energetickej účinnosti, znižovanie vypúšťania emisií v zariadeniach spaľujúcich fosílnu palivá a podobne. Tieto skutočnosti spolu s nedostatkom finančného kapitálu spomaľujú rozvoj OZE v týchto krajinách [9].

3.2 Dotačné politiky štátov EU

Podpora OZE v štátoch EU prebieha rôznou formou a jednotlivé štáty majú voľnú ruku pri voľbe energetickej politiky, avšak podporné mechanizmy musia byť v súlade so zásadami voľného trhu. Podporné mechanizmy môžeme rozdeliť podľa princípov fungovania na kategórie, ktoré budú popísané v nasledujúcich podkapitolách.

3.2.1 Systém dobrovoľnosti

Princíp fungovania tejto stratégie je založený na určitej ochote ľudí platiť viac za elektrickú energiu z obnoviteľných zdrojov energie. V praxi to funguje tak, že občania priamo vkladajú svoje peniaze vo forme kapitálu do nejakej obchodnej spoločnosti, ktorá bola založená za účelom

výstavby a prevádzkovania OZE, prípadne kúpou určitej kapacity v zdroji sa stanú akcionármi spoločnosti. Ďalší spôsob sú takzvané zelené tarify, čo sú zvýšené ceny elektrickej energie, ktoré sú odberatelia ochotní dobrovoľne zaplatiť za zelenú energiu. Je to populárna forma podpory najmä v Nemecku, Rakúsku, Fínsku a Veľkej Británii, kde ich platia celé obce, mestá alebo regióny.

3.2.2 Finančné stimulácie

Je to najrozšírenejší spôsob podpory OZE. Môžu mať formu:

- Dotácií, slúžiacich na podporu výstavby nových elektrární. Sú to rôzne granty alebo priame peňažné podpory od štátov obvykle v objeme 30 až 70 % nákladov na výstavbu.
- Daňových úľav, ktoré sú vo forme zníženého alebo nulového DPH na zariadenia elektrárne na OZE, prípadne daňových prázdnin, ktoré oslobodzujú platiť daň z príjmu na určitú dobu po začatí prevádzky.
- Výkupných tarifov, kedy distribučné spoločnosti sú povinné vykupovať elektrickú energiu za pevne stanovené ceny od dodávateľov. Najvyššie výkupné ceny elektrickej energie z OZE z krajín EU sú v Taliansku, Rakúsku, Nemecku a Dánsku.

3.2.3 Tendre na realizáciu projektov

Sú to tendre štátov, prípadne distribučných spoločností na realizáciu výstavby výroby na OZE, na ktorú je stanovená finančná dotácia. Víťazom sa stáva subjekt, ktorý ponúkne najnižšiu cenu elektrickej energie, čím je zabezpečená prijateľná cena pre koncového užívateľa. Tento systém nie je v súčasnosti preferovaný pre problémy s cenami elektrickej energie

3.2.4 Uhlíkové a zelené dane

Tieto dane patria medzi stimuly, ktoré nepriamo podporujú výrobu z OZE. Uhlíkové dane môžu byť realizované zdanením konkrétnych emisií, ktoré vypúšťajú výrobné spaľujúce fosílna palivá, prípadne zdanením elektrickej energie, pochádzajúcej z týchto výrobní (tzv. energetická daň). Zelené dane slúžia na zníženie daňového zaťaženia výrobní na obnoviteľné zdroje energie oproti výrobniam na fosílna palivá a slúžia na kompenzáciu ich vyšších nákladov. Kombináciou oboch typov daní sa môže efektívne znížiť rozdiel nákladov výrobní na obnoviteľné a neobnoviteľné zdroje.

3.2.5 Zelené certifikáty

Zelené certifikáty dostávajú producenti za každú vopred definovanú jednotku elektrickej energie vyrobenej z OZE, ktorá je dodaná do siete. Odberatelia majú záväzok, že určitá časť ich odobratej energie bude pochádzať z obnoviteľných zdrojov a na splnenie tohto záväzku sa musia preukázať certifikátmi v určitom čase. Ak by sa tak nestalo, hrozila by im pokuta, a preto sú nútení tieto certifikáty kupovať, takže tie sa stávajú cennými. Tento systém využíva trhový mechanizmus, a to tak, že keď je nízka dodávka elektrickej energie z OZE, certifikáty sa stávajú drahšie, a to motivuje výstavbu ďalších výrobní zelenej energie. Systém v tejto podobe funguje pár rokov v Holandsku [10].

3.3 Podpora obnoviteľných zdrojov energie v ČR

V Českej republike štátnu podporu zdrojov elektrickej energie upravuje zákon 165/2012 Sb. z 31. januára 2012 o podporovaných zdrojoch energie a o zmene niektorých zákonov. V zákone sa upravuje, okrem iných záležitostí, aj podpora elektriny z obnoviteľných zdrojov energie, práva a povinnosti fyzických a právnických osôb s tým spojené a taktiež aj Národný akčný plán Českej republiky pre energiu z obnoviteľných zdrojov. Podpora výroby elektriny z OZE sa v Českej republike realizuje buď formou výkupných cien, alebo zelených bonusov. Možnosť vybrať si konkrétnu formu podpory je podmienená veľkosťou inštalovaného výkonu a výberom obnoviteľného zdroja. Jednotlivé podmienky budú uvedené v nasledujúcich podkapitolách [11].

3.3.1 Podpora výroby elektrickej energie formou výkupných cien

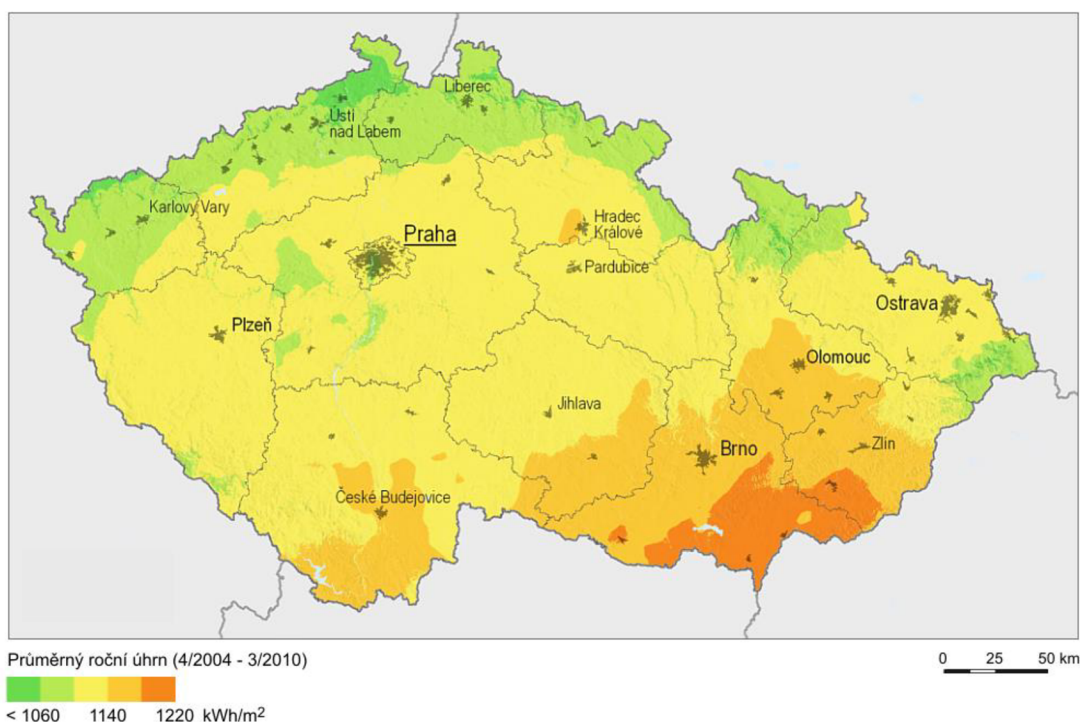
Podľa § 8 ods. 2 zákona o podporovaných zdrojoch energie a o zmene niektorých zákonov č. 165/2012 Sb. „*má právo zvolit podporu elektriny formou výkupných cen pouze výrobce elektriny z obnovitelných zdrojů využívající energii vody, a to ve výrobně elektriny o instalovaném výkonu do 10 MW včetně a ostatní výrobci elektriny z obnovitelných zdrojů ve výrobně elektriny o instalovaném výkonu do 100 kW včetně*“. Podporu elektriny formou výkupných cien nejde v rámci jednej výroby kombinovať s podporou formou zelených bonusov. Ak výrobca zvolí túto formu podpory, distribučná spoločnosť je povinná vykúpiť všetku vyrobenú elektrickú energiu z tohto zdroja za vopred stanovenú výkupnú cenu. Výšku výkupných cien stanovuje energetický regulačný úrad na rok dopredu.

3.3.2 Podpora výroby elektrickej energie formou zelených bonusov a inštalácie v režime zeleného bonusu na území ČR

Ak výrobca nezvolil podporu formou povinného výkupu a rozhodol sa pre podporu formou zeleného bonusu, je distribučná alebo prenosová spoločnosť povinná hradiť výrobcovi tento zelený bonus. Zelený bonus je stanovený v Kč/MWh a je poskytovaný v ročnom alebo hodinovom režime. Právo na úhradu zeleného bonusu má aj výrobca, ktorý vyrába elektrickú energiu pre vlastnú spotrebu. Podľa § 8 ods. 2 zákona o podporovaných zdrojoch energie a o zmene niektorých zákonov č. 165/2012 Sb majú výrobcovia s výnimkou tých, ktorí sú uvedení v 3.3.1, právo len na dotáciu formou zelených bonusov. Týka sa to aj výrobní s inštalovaným výkonom do 100 kW spoločne z obnoviteľných a neobnoviteľných zdrojov.

Pri inštaláciách menšej veľkosti, kde výrobca môže vyrobenú energiu spotrebovať, je podpora formou zeleného bonusu výhodnejšia ako formou výkupných cien. Na území Českej republiky sa jedná najmä o inštalácie strešných fotovoltických elektrární, a to aj napriek tomu, že výkon slnečného žiarenia na jednotku plochy, ako ukazuje Obr. 3-3, nie je úplne ideálny. Po dynamickom rozvoji fotovoltických elektrární v Českej republike, ktorý so sebou priniesol niekoľko ekonomických i technických problémov, sa v roku 2010 stopla podpora výstavby veľkých fotovoltických elektrární, umiestňovaných zväčša na poľnohospodárskej pôde, ktoré mali v roku 2011 71% podiel z celkového inštalovaného výkonu 1971 MWp. Vydaním zákona 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojoch energie sa upravila podpora iba pre inštalácie, ktorých výkon nepresiahne 30 kWp, a ktoré sú umiestnené na strešnej konštrukcii alebo na obvodovej stene budovy, umiestnenej v katastre nehnuteľností.

Zaujímavým riešením podpory OZE z pohľadu výrobcu by v budúcnosti mohol byť tzv. net metering. Je to účtovný systém podpory, založený na tom, že zákazníkovi, ktorý je súčasne výrobcom aj konzumentom elektrickej energie, umožňuje znížiť výsledný účet za elektrickú energiu. Uskutočňuje sa to takým spôsobom, že od množstva nakúpenej elektrickej energie sa odpočíta vyrobená energia, ktorú výrobca nespotrebuje a dodá ju do elektrickej siete, pričom zaplatí len rozdiel. Avšak net metering je len finančný nástroj, ktorý nerieši problémy integrácie OZE do energetického mixu štátu, pretože výrobca nie je motivovaný vlastnú energiu spotrebovať v danom objekte.



Obr. 3-3: Solárna mapa územia Českej republiky (Zdroj : SolarGis)

3.4 Prevádzka OZE v režime zeleného bonusu a porovnanie ekonomickej výhodnosti foriem podpory OZE v ČR

Množstvo elektrickej energie, ktoré vyrobí fotovoltaická elektrárňa umiestnená na streche alebo obvodovej stene budovy, závisí na orientácii strechy alebo obvodovej steny, na ktorej je inštalácia situovaná, umiestnení lokality z hľadiska priemerného ročného úhrnu a priemernej doby slnečného svitu, účinnosti panelov a ostatných zariadení potrebných pre chod elektrárne. Pre zjednodušenie možno povedať, že na území Českej republiky pripadá na inštalovaný výkon 1kWp zhruba 1000 kWh vyrobenej elektrickej energie za rok [13].

Výšku výkupných cien a zelených bonusov stanovuje energetický regulačný úrad. V Tab. 3-1 sú uvedené výkupné ceny a zelené bonusy pre výrobu elektrickej energie využitím slnečného žiarenia z cenového rozhodnutia ERÚ z dňa 12. 11. 2014. V tabuľke je vidieť, že podpora pre fotovoltaické elektrárne skončila 1. 1. 2014, takže všetky nové inštalácie fotovoltaických elektrární sa musia zaoberať bez štátnej podpory.

Tab. 3-1: Výkupné ceny a zelené bonusy pre výrobu elektrickej energie využitím slnečného žiarenia [14]

Dátum uvedenia výroby do prevádzky		Inštalovaný výkon		Jednotarifné pásmo prevádzky	
Od (vrátane)	Do (vrátane)	Od	Do (vrátane)	Výkupné ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
-	31.12.2005	-	-	7566	6836
1.1.2006	31.12.2007	-	-	15876	15146
1.1.2008	31.12.2008	-	-	15484	14754
1.1.2009	31.12.2009	0	30	14528	13878
1.1.2009	31.12.2009	30	-	14422	13692
1.1.2010	31.12.2010	0	30	13530	12880
1.1.2010	31.12.2010	30	-	13424	12694
1.1.2011	31.12.2011	0	30	8118	7468
1.1.2011	31.12.2011	30	100	6389	5659
1.1.2011	31.12.2011	100	-	5954	5224
1.1.2012	31.12.2012	0	30	6538	5888
1.1.2013	30.6.2013	0	5	3548	2898
1.1.2013	30.6.2013	5	30	2945	2295
1.7.2013	31.12.2013	0	5	3111	2461
1.7.2013	31.12.2013	5	30	2529	1879

Pre zjednodušený výpočet ekonomickej výhodnosti jednotlivých foriem podpory predpokladajme elektrárňu o inštalovanom výkone 5 kWp, čo znamená 5000 kWh vyrobenej energie za rok a ročnú spotrebu elektrickej energie v objekte, na ktorom je elektrárňu nainštalovaná, rovnakú ako množstvo vyrobenej elektrickej energie z inštalovanej fotovoltickej elektrárne. Pre určenie výšky výkupných cien a zelených bonusov predpokladajme, že táto elektrárňu bola uvedená do prevádzky medzi 1. 7. 2013 a 31. 12. 2013. Výšku nákupnej ceny silovej elektriny určuje distribučná spoločnosť v lokalite, kde je umiestnený objekt. Podľa cenníku spoločnosti E.ON Energie a.s. by bola cena pre zákazníka typu D-domácnosti v distribučnej sadzbe D02d (jednotarifný produkt určený pre domácnosti s bežnými elektrickými spotrebičmi, kde sa elektrická energia nevyužíva na vykurovanie alebo ohrev vody) na úrovni 4331,94 Kč/MWh s DPH. Výkupná cena nespotrebovaných prebytkov elektrickej energie sa pohybuje v priemere 0,3 Kč/kWh [15].

V Tab. 3-2 je jasne vidieť, že podpora formou výkupných cien je nevhodná pre daný objekt, pretože výrobca by na konci roku dosiahol stratu 6104,2 Kč, a to z dôvodu menšej výkupnej ceny vyrobenej elektrickej energie ako je nákupná cena elektrickej energie od distribučnej spoločnosti. V prípade podpory formou zeleného bonusu závisí ekonomická výhodnosť od vlastnej spotreby vyrobenej elektrickej energie, pričom pri vhodnej realizácii a riadení vlastnej spotreby objektu by mohol byť výrobca v pluse až 33964,7 Kč, ak by dokázal vyrobenou elektrinou pokryť 100 % svojich energetických potrieb. Optimalizácia vlastnej spotreby elektrickej energie je ešte

dôležitejšia, ak by sa jednalo o inštaláciu uvedenú do prevádzky po 1. 1. 2014 kvôli absentujúcej podpore všetkých fotovoltaických inštalácii bez ohľadu na inštalovaný výkon.

Otázka výhodnosti investície do vlastnej elektrárne na OZE určenej primárne pre vlastnú spotrebu závisí na tom, či sú výrobné náklady elektrickej energie z tejto elektrárne rovnaké ako cena elektrickej energie kupovanej od distribučnej spoločnosti. To nastane dosiahnutím bodu sieťovej parity (v anglickej literatúre grid parity). Grid parita mohla byť jedným z dôvodov, prečo sa vláda Českej republiky rozhodla, že od roku 2014 prestane podporovať nové inštalácie fotovoltaických elektrární, v súvislosti s poklesom cien fotovoltaických panelov. Z hľadiska rozptýlenej výroby, pod ktorú spadajú aj mikro-systémy, spočíva prínos riadenia spotreby v rýchlejšej návratnosti investícií do výroby a následnom ušetrení nemalých finančných prostriedkov za neodkupovanie elektrickej energie zo siete.

Tab. 3-2: Porovnanie ekonomickej výhodnosti jednotlivých foriem podpory fotovoltaickej elektrárne

Forma podpory	Výkupná cena	Zelený bonus				
		Percentuálna vlastná spotreba vyrobenej elektrickej energie [%]				
		0	25	50	75	100
Inštalovaný výkon elektrárne [kWp]	5	5	5	5	5	5
Spotreba elektrickej energie domácnosti [kWh]	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Množstvo vyrobenej elektrickej energie [kWh]	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Vlastná spotreba elektrickej energie [kWh]	0	0	1250	2500	3750	5000
Množstvo (prebytky pri ZB) elektrickej energie dodanej do distribučnej siete [kWh]	5000	5000	3750	2500	1250	0
Množstvo elektrickej energie kúpenej od DS [kWh]	5000	5000	3750	2500	1250	0
Cena za odkúpenú elektrickú energiu od DS [Kč]	21659,7	21659,7	16244,8	10829,9	5414,9	0,0
Inkasovaný zelený bonus [Kč]	0,0	12305,0	12305,0	12305,0	12305,0	12305,0
Inkasovaná cena za predaj vyrobenej elektrickej energie do siete [Kč]	15555,5	0	0	0	0	0
Inkasovaná cena za predaj prebytkov vyrobenej elektrickej energie do siete [Kč]	0	1500,0	1125,0	750,0	375,0	0,0
Ušetrené finančné prostriedky za neodkúpenú elektrickú energiu zo siete [Kč]	0	0	5414,9	10829,9	16244,8	21659,7
Finančná bilancia na konci roku [Kč]	-6104,2	-7854,7	2600,2	13055,0	23509,9	33964,7

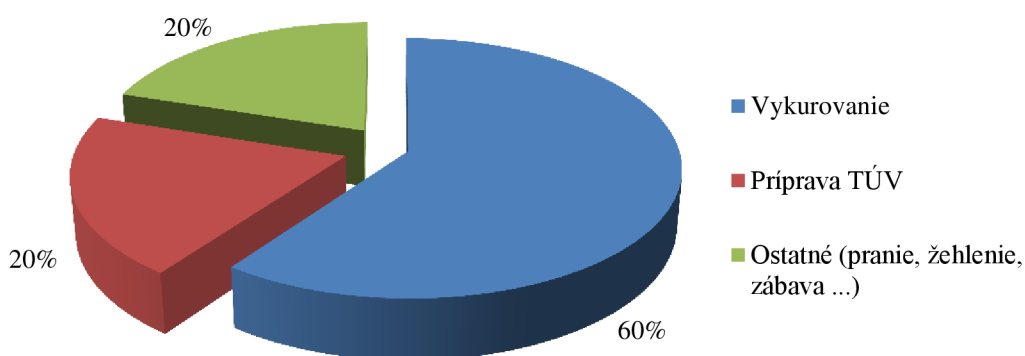
Tab. 3-3: Ekonomická výhodnosť inštalácie fotovoltickej elektrárne bez štátnej podpory

Forma podpory	Bez podpory				
	Percentuálna vlastná spotreba vyrobenej elektrickej energie [%]				
	0	25	50	75	100
Inštalovaný výkon elektrárne [KWp]	5	5	5	5	5
Spotreba elektrickej energie domácnosti [kWh]	5000	5000	5000	5000	5000
Množstvo vyrobenej elektrickej energie [Kwh]	5000	5000	5000	5000	5000
Vlastná spotreba elektrickej energie [KWh]	0	1250	2500	1750	5000
Množstvo prebytkov elektrickej energie dodaných do distribučnej siete [kWh]	5000	3750	2500	3250	0
Množstvo elektrickej energie kúpenej od DS [kWh]	5000	3750	2500	1250	0
Inkasovaná cena za predaj prebytkov vyrobenej elektrickej energie do siete [Kč]	1500,0	1125,0	750,0	975,0	0
Ušetrené finančné prostriedky za neodkúpenú elektrickú energiu zo siete [Kč]	0	5414,9	10829,9	16244,8	21659,7
Finančná bilancia na konci roku [Kč]	-20159,7	-9704,9	750,0	11804,9	21659,7

4 KATEGORIZÁCIA ELEKTRICKÝCH SPOTREBIČOV A ZARIADENÍ PRE RIADENIE SPOTREBY

Pri uvažovaní o realizácii zvýšenia vlastnej spotreby pomocou riadenia odberu objektu je potreba vedieť, ktoré zariadenia a spotrebiče bežne dostupné v domácnostiach majú potenciál pre tieto účely. Kategorizácia spotrebičov bude vykonaná v závislosti na spôsobe a čase ich používania, možného stupňa a spôsobu regulácie a miery zásahu do komfortu užívateľov.

Na Obr. 4-1 je grafické rozloženie spotreby energie v domácnostiach v priebehu jedného roka. Aj napriek tomu, že každá domácnosť je rozdielna veľkosťou a typom obytného priestoru, počtom osôb a svojim životným štýlom, je možné zovšeobecniť skladbu, spotrebu elektrickej energie a časové používanie spotrebičov podľa [19] :



Obr. 4-1 :Grafické rozloženie spotreby energie v domácnostiach [19]

- Vykurovanie a príprava TÚV tvoria spolu 80 percentný podiel energetických potrieb domácnosti.
- Chladiace zariadenia ako sú chladničky alebo mrazničky fungujú celý deň a ich podiel na spotrebe elektrickej energie v kategórii ostatné je 18 %
- Práčky a sušičky bielizne sa zvyčajne používajú ráno alebo neskoro poobede a ich podiel na spotrebe elektrickej energie v kategórii ostatné je 5,2 %.
- Umývačky riadu sa zvyknú zapínať po večeri a ich podiel na spotrebe elektrickej energie spolu s ostatnou technikou na udržiavanie čistoty v domácnosti v kategórii ostatné je 7,8 %.
- Osvetlenie, audio, video a kancelárska technika, ktorých používanie je veľmi závislé od potrieb užívateľov objektu, sa podieľajú na spotrebe elektrickej energie v kategórii ostatné hodnotou až 41,4 %.
- Príprava pokrmov, ktorá podobne ako predchádzajúca kategória, je striktne naviadaná na potreby užívateľov sa podieľa na spotrebe elektrickej energie v kategórii ostatné hodnotou 20,7 %.

Tieto informácie majú len obmedzenú výpovednú hodnotu pre určenie, ktoré zariadenia a spotrebiče by mohli byť kontrolované, prípadne regulované bez väčšieho ovplyvnenia komfortu užívateľov. Preto treba brať do úvahy samotný pracovný cyklus spotrebičov so zameraním na tieto údaje :

- Možnosť omeškania alebo preloženia pracovného cyklu spotrebiča na inú dobu.
- Možnosť prerušenia a následného obnovenia pracovného cyklu bez ovplyvnenia kvality vykonávanej práce.
- Možnosť regulácie príkonu zariadenia (skokovou alebo plynulou reguláciou).

Touto analýzou je možné určiť tie spotrebiče, ktoré sú bežne dostupné v domácnostiach a hodia sa na riadenie vlastnej spotreby elektrickej energie [20]. Podľa náležitostí uvedených v predchádzajúcich odsekoch a analýzou princípu činnosti, môžeme rozdeliť zariadenia a spotrebiče na tieto štyri kategórie:

- Nekontrolovateľné (NEK). Tieto spotrebiče nemôžu byť cieľom žiadnych automatických akcií na zvýšenie vlastnej spotreby systému s OZE. Napríklad riadenie osvetlenia by nebolo tolerované koncovým používateľom.
- Regulovateľné (REG). Príkon týchto spotrebičov je možné plynulo alebo skokovo regulovať tak, aby bolo možné pokrytie výroby spotrebou v reálnom čase a zároveň nedošlo k ovplyvneniu komfortu používania týchto zariadení.
- Preložiteľné (PRL). Použitie týchto spotrebičov môže byť odložené na inú dobu a na tak dlho, aby bol zachovaný komfort užívateľov. To znamená, že pracovný cyklus by mal byť ukončený v akceptovateľnom čase.
- Prerušiteľné (PRE). Pracovný cyklus týchto spotrebičov môže byť prerušený počas určitej doby v určitom bode.
- Akumulačné (AKU). Zariadenia akumulujú elektrickú energiu v čase jej dostatku (alebo nízkych cien).

Treba poznamenať, že spotrebiče, ktoré radíme do jednej z kategórií, môžu vyžadovať rozdielne úpravy a spôsoby regulácie nutné pre ich implementáciu do energetického manažmentu objektu a taktiež môžu spadať pod viaceré kategórie [20].

4.1 Regulovateľné spotrebiče

Pre čo najlepšie pokrytie výroby odberom elektrickej energie je nutná regulácia príkonu spotrebičov. Reguláciu príkonu spotrebičov je možné vykonávať pomocou regulácie veľkosti alebo tvaru vlny napájacieho napätia. Využíva sa skutočnosť, že činný príkon je závislý na veľkosti, prípadne frekvencii napájacieho napätia $P = f(U, f)$. Avšak zmenou napájacieho napätia môže dôjsť k súbežnému zhoršeniu vlastností spotrebiča, čo sa prejaví zvyšovaním finančných strát pri jeho používaní. Zmena parametrov napájacieho napätia sa dosahuje pomocou regulátorov, transformátorov alebo meničov napätia (frekvencie). Tie môžeme rozdeliť nasledujúcim spôsobom [37]:

Regulátory s plnou konverziou energie:

- Tyristorové/triakové fázové regulátory.

- Tranzistorové fázové regulátory.
- Transformátory s odbočkovou reguláciou.
- Polovodičové meniče s dvojitou konverziou (frekvenčné meniče s reguláciou na $U/f = \text{konšt.}$).

Regulátory so superpozíciou napätia (väzba cez sériový transformátor):

- Sériový transformátor s odbočkovou reguláciou.
- Sériový transformátor s plynulou reguláciou.
- Sériový transformátor s meničovým budením.

Jednotlivé typy regulátorov sa od seba odlišujú rýchlosťou a plynulosťou regulácie a vhodnosťou použitia pre jednotlivé typy záťaží.

Zo zariadení, ktoré sú bežne dostupné v domácnostiach, môžeme za regulovateľné považovať najmä odporové tepelné systémy, ktoré majú zároveň aj schopnosť akumulácie elektrickej energie vo forme tepla. Za regulovateľný môžeme pokladať aj príkon svetelných zdrojov, avšak v prípade fotovoltickej výroby by dochádzalo k reverznej regulácii, pretože pri poklese intenzity slnečného žiarenia klesá výstupný výkon z výroby, no zároveň stúpa potreba svetelného výkonu zo svetelného zdroja, takže regulácia výkonu svetelných zdrojov je technicky možná, avšak z hľadiska komfortu užívateľov objektu celkom nevhodná. Tepelné akumulčné systémy pre vykurovanie objektov majú veľký potenciál pre riadenie strany spotreby v energetických systémoch. Z hľadiska používateľa je riadenou akumuláciou tepla možné dosiahnuť rovnakého tepelného komfortu ako pri priamom vykurovaní pri nižších prevádzkových nákladoch používaním lacnejšej prípadne vlastnej vyrobenej elektrickej energie. Z hľadiska distribučnej siete dochádza k efektívnejšiemu využitiu výrobných kapacít a k redukcii potreby stavby nových výrobní vplyvom rozloženia odberových špičiek diagramu záťaženia [30]. Použitie týchto zariadení je úzko späté s konkrétnym objektom kvôli jeho tepelným stratám a ziskom, polohe, dispozícií, veľkosti, počtu obyvateľov a iných parametrov. Preto pre neznalosť konkrétnej situácie je na rozdiel od bežných elektrických domácich spotrebičov ťažšie definovať podmienky použitia týchto zariadení pre realizáciu a riadenie vlastnej spotreby.

4.1.1 Odporové tepelné systémy a ich regulácia

Delenie zariadení, ktoré slúžia pre elektrický ohrev, môžeme uskutočniť podľa doby, v ktorej vykurovací systém premieňa elektrickú energiu na teplo, a v ktorej sa generované teplo spotrebováva. Delenie bude nasledujúce:

- Priame vykurovanie elektrickou energiou.
- Akumulačné vykurovanie elektrickou energiou.

Aj napriek tomu, že zariadenia pre **priame vykurovanie** sú navrhnuté tak, aby začali vykurovať v čase, keď vznikne potreba na teplo bez ohľadu na odberový diagram elektrizačnej sústavy, prípadne bez ohľadu na veľkosť výroby z elektrárne na OZE, môžeme ich v spojení s objektom považovať za tepelný akumulčný systém, pri ktorom sa za akumulátor považuje samotný vykurovaný objekt, prípadne vykurovaná miestnosť. Využitie týchto systémov pre realizáciu vlastnej spotreby, kedy by sa vykurovanie púšťalo v dobe dostatku elektrickej energie

z OZE, je limitované tepelnými stratami objektu. Ak by sa zvolila takáto forma vykurovania v objektoch, ktoré majú veľké tepelné straty, musel by byť aj veľký príkon týchto zariadení, ktorý by výrobná nemusela zvládať pokryť vzhľadom na to, že v zimnom režime, kedy je najväčšia potreba tepla, je zároveň najnižšia solárna radiácia. Preto v objektoch s väčšími tepelnými stratami by bolo vhodné použiť priame vykurovanie elektrickou energiou v kombinácii s vlastnou výrobou iba ako doplnkový zdroj tepla, ktorý v prípade vhodnej regulácie môže svojim regulovaným odberom pokrývať prebytky výkonu vyrobenej elektrickej energie, ktoré by inak tiekli do siete. Pre priame vykurovanie sa využívajú zariadenia ako sú teplomety, elektrické radiátory, podlahové priamo-vykurovacie sústavy a iné [29] [30].

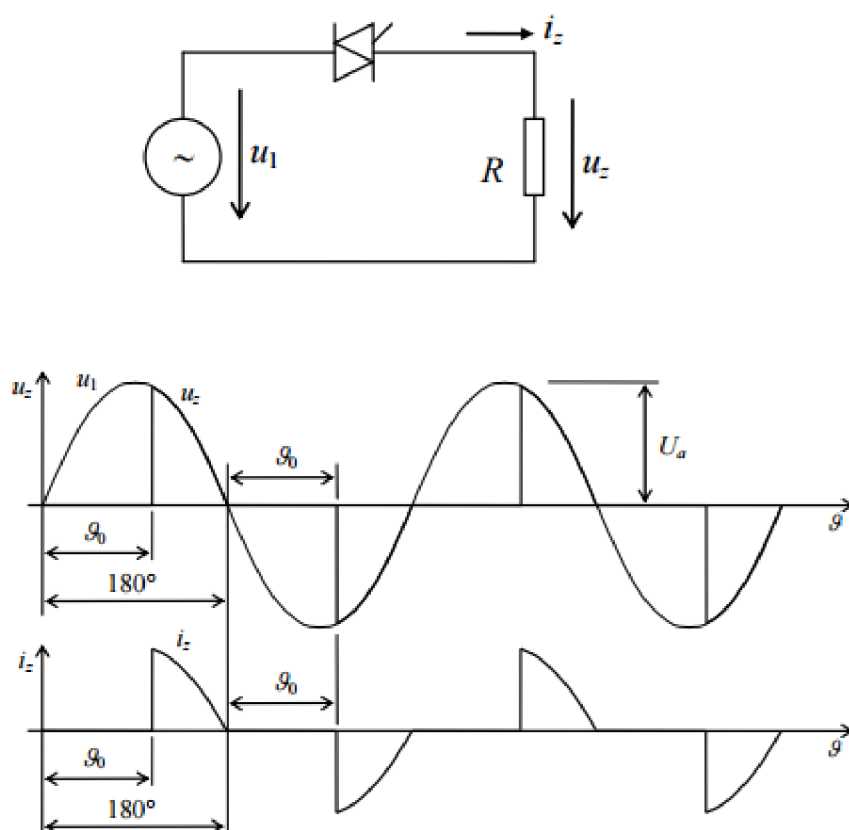
Pri **akumulačnom vykurovaní** elektrickou energiou vykurovacie teleso akumuluje teplo do vhodného zásobníka tepla, v ktorom je umiestnené teplonosné médium, prípadne priamo do teplonosného média. To môže mať kvapalnú podobu (voda), alebo to môže byť tuhý materiál (magnezit, keramika, šamot a podobne). Môže sa tak diať v dobe mimo energetických špičiek, keď je cena elektrickej energie v zníženej sadzbe, prípadne v dobe, keď je dostatok vlastnej vyrobenej elektrickej energie z elektrárne na OZE. Toto teplo sa uvoľňuje, keď vznikne potreba na ohriatie miestnosti (v tzv. vybijacej dobe akumulačného systému). Teplo pri elektrickom akumulačnom vykurovaní vzniká premenou elektrickej energie v odporových vykurovacích článkoch alebo kábloch, ktoré sú uložené v akumulačnom médiu. Realizácia akumulačného vykurovania môže byť urobená rôznymi zariadeniami, ktoré môžu mať tvar pece, kotla alebo častí stavebnej konštrukcie, najčastejšie podlahy. Za akumuláciu tepla je možné považovať aj **ohrev teplej úžitkovej vody** akumulačným ohrievačom (elektrický bojler), ktorý sa v súčasnosti často používa pre uskladnenie prebytkov elektrickej energie z OZE pomocou regulátorov výkonu popísaných v kap. 5.1 [32].

Ako bolo spomenuté, v objektoch s mikro-generáciou potrebujeme vhodným spôsobom zabezpečiť vyrovnanie výroby a odberu elektrickej energie v reálnom čase. K tomu môžeme využiť práve odporové tepelné spotrebiče, ktoré musia byť vybavené dostatočne rýchlou a plynulou reguláciou. Z vymenovaných regulátorov v predchádzajúcej kapitole je najvhodnejšie na tento účel použiť buď tyristorovú (triakovú) fázovú reguláciu, prípadne sériový transformátor s meničovým budením.

K plynulému riadeniu výkonu sa pri tyristorovej alebo triakovej regulácii používajú dve základné metódy:

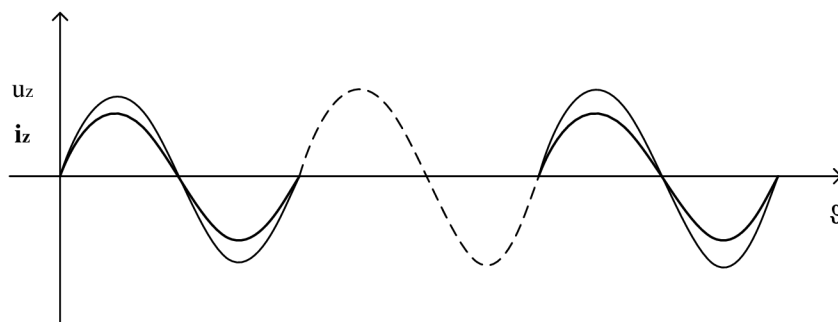
- Fázové riadenie výkonu.
- Spínanie v nule.

Tyristorová fázová regulácia je plynulá, stredne rýchla regulácia, ktorá mení efektívnu hodnotu napájacieho napätia zmenou riadiaceho uhlu ϑ_0 zopnutia tyristora (triaku). Nevýhodou tejto regulácie z hľadiska EMC je odber nesínusového prúdu, ktorý je výrazne deformovaný pri odporovej záťaži. Ďalšou nevýhodou je vznik napäťových špičiek pri zopnutí spínacieho prvku kvôli tomu, že pri fázovom spínaní sa nezopína pri prechode napätia nulou. To má za následok vznik vysokofrekvenčného rušenia, ktoré je nutné vhodnými prvkami odrušiť na prijateľnú medzu [35].



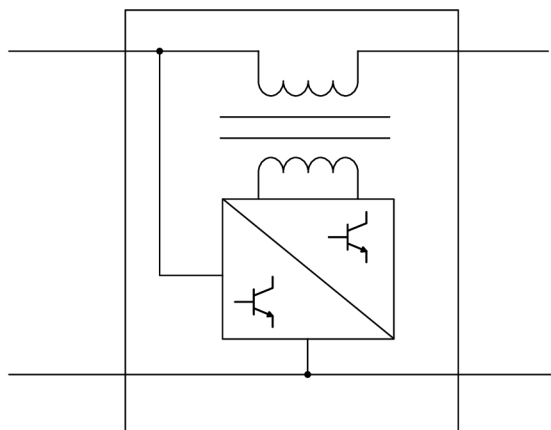
Obr. 4-2: Striedavý menič napätia s odporovou záťažou a priebehy napätia a prúdov [35]

Pri spínaní v nule sa riadi prechod prúdu výkonovým prvkom tým, že pri prechode napätia nulou jednu alebo zvolený počet periód napätia neprepustí. Veľkou výhodou je, že vzniká minimálne rušenie, pretože sa spínací prvok otvára a zatvára v dobe, kedy nevedie prúd a nie je na ňom žiadne napätie. Avšak táto regulácia výkonu strieda stavy spotrebič zapnutý a spotrebič vypnutý, čo v prípade regulácie spotrebičov pre maximálne využitie vyrobenej elektrickej energie je nevhodné. V stave zapnutý spotrebič odoberá maximálny príkon, ktorý výrobnia nemusí stačiť pokryť svojou kapacitou a vzniká odber zo siete. V stave vypnutý naopak dochádza k toku prebytkov elektrickej energie do distribučnej siete. To má za následok fluktuácie toku výkonu smerom do a zo siete, ktoré sú nežiaduce. Skokové zmeny prúdu pri spínaní v nule vyvolávajú vznik flicker efektu, ktorý sa prejavuje zmenou intenzity svetla zachytiteľnou ľudským okom vplyvom rýchlych zmien napätia v sieti.



Obr. 4-3: Priebeh napätia a prúdu na odporovej záťaži pri spínaní v nule

Sériový transformátor s meničovým buđením je zariadenie, ktoré je založené na princípe väzobného regulačného transformátora. Ten mení výstupné napätie externým buđením primárnej cievky, ktorá je voči sekundárnej pootočená tak, aby ich vzájomná interakcia vyvolala zníženie alebo zvýšenie výstupného napätia v určitom rozsahu. Táto regulácia je veľmi rýchla a má všestranné použitie [37].



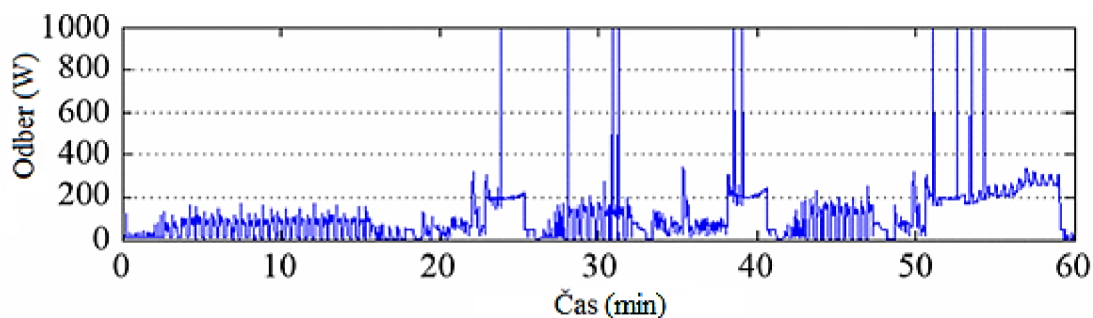
Obr. 4-4: Principiálna schéma sériového transformátora s meničovým buđením [37]

4.2 Preložiteľné spotrebiče

4.2.1 Práčka, sušička bielizne a umývačka riadu

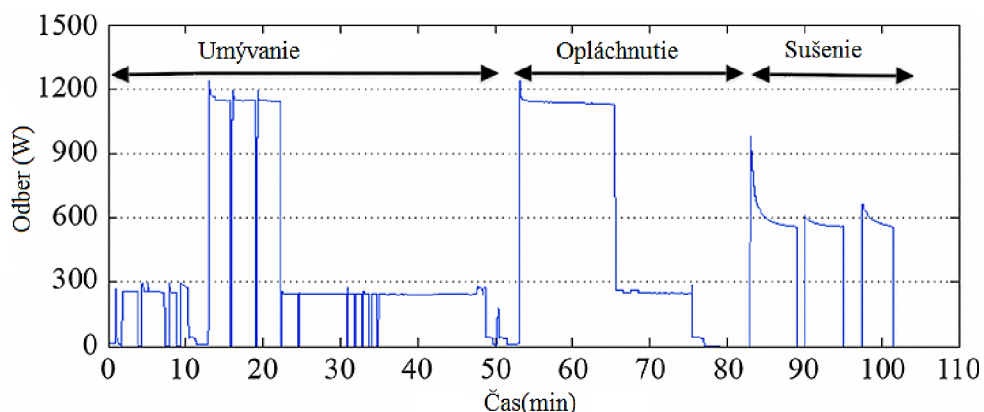
Práčka, sušička bielizne a umývačka riadu sú v súčasnosti často spájané s riadením spotreby v energetických systémoch a to najmä preto, lebo pri týchto spotrebičoch koncovému používateľovi nezáleží na priebehu pracovného cyklu, ale len na jeho výsledku. To so sebou prináša možnosť flexibilného času zapnutia týchto spotrebičov podľa potreby [22].

Obr. 4-5 ukazuje odberovú charakteristiku **práčky** LG WM2016CW pre režim prania Normal, ktorý je jedným z piatich možných režimov prania. Tento typ práčky sa radí do kategórie energeticky účinných s odberovou charakteristikou, ktorej celkový účinník odberu PF dosahuje hodnoty 0,13 až 0,69. Pracovný cyklus začína naplňaním vody do pracieho priestoru, počas ktorého práčka spotrebováva 4 až 50 W. Popri napúšťaní vody začína rotovať aj bubon práčky, čo sa prejaví v postupnom zvyšovaní spotreby motoru kvôli stúpajúcej hladine vody. Po naplnení začína samotný prací cyklus, v ktorom dochádza k pravidelnej zmene otáčok motora. Spotreba pracieho cyklu závisí najmä na hmotnosti obsahu bubna a dosahuje maximálnej hodnoty 350 W. Po skončení pracieho cyklu nasleduje režim, v ktorom sa náplň ešte raz prepláchnie čistou vodou, ktorého spotreba sa pohybuje medzi 40 až 80 W. Ako posledné nasleduje odstredovanie, kedy motor roztočí bubon na maximálne nastavené otáčky a spotrebuje pri tom v závislosti od otáčok a hmotnosti náplne 190 až 300 W. Touto analýzou sme zistili, že práčku môžeme radiť len do kategórie preložiteľných spotrebičov, pretože nie je priestor pre prerušenie pracovného cyklu, prípadne pre reguláciu jeho odberu kvôli zachovaniu kvality prania. V súčasnosti sú na trhu dostupné inteligentné práčky, ktoré priamo vo svojich nastaveniach ponúkajú možnosť neskoršieho zapnutia [23].



Obr. 4-5: Odberová charakteristika práčky LG WM2016CW pre režim prania Normal [23]

Odberová charakteristika **umývačky riadu** Kenmore 665 je zobrazená na Obr. 4-6. Pracovný cyklus pozostáva z troch častí: umývanie (prvých 50 minút), opláchnutie (ďalších 30 minút) a sušenie. Umývanie začína pred-umývacou fázou, počas ktorej sa napúšťa voda a vstrekuje sa pomocou trysiek na špinavý riad. Odber počas vstrekovania je 250 až 300 W s PF 0,62 až 0,65. Nasleduje umývanie, kedy sa voda v umývačke začne ohrievať pomocou výhrevného elementu, kým sa nedosiahne požadovaná teplota. Počas ohrevu je odber umývačky 1180 W s PF 1,0. Po nahriatí sa voda vstrekuje tak, ako pri pred-umývacej fáze. Po umytí riadu nasleduje vypúšťanie špinavej vody, počas ktorého je odber okolo 40 W, a časť oplachovania, kedy sa voda opäť nahreje a vstrekuje na umytý riad. Potom je voda opäť vypustená a nasleduje sušenie, kedy umývačka spotrebuje okolo 600 W s PF 1,0.

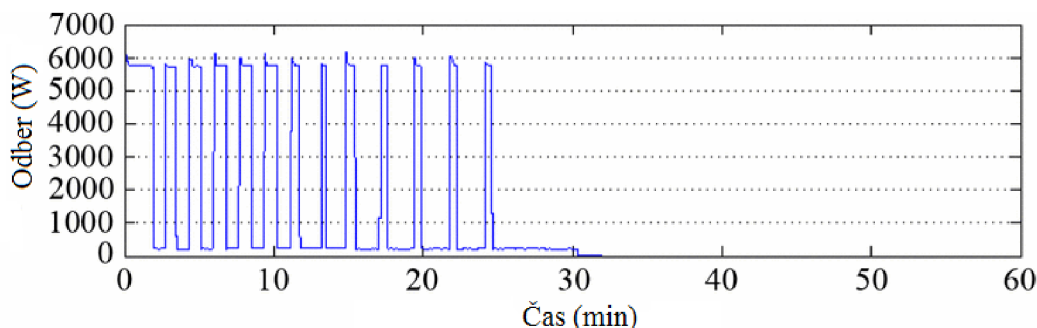


Obr. 4-6: Odberová charakteristika umývačky riadu Kenmore 665 [23]

Podobne ako práčku, aj umývačku riadu radíme do kategórie preložiteľných spotrebičov, pretože reguláciou alebo prerušením pracovného cyklu na určitú dobu by umývačka nemusela byť schopná pokračovať v operácii a mohla by byť ohrozená kvalita umytia riadu.

Na Obr. 4-7 môžeme vidieť odberovú charakteristiku **sušičky bielizne** LG DLE2516W pracujúcu v automatickom programe sušenia. Pracovný cyklus začína otáčaním bubna a nahrievaním elektrickej špirály, počas ktorého sušička odoberá 5,76 kW s PF 1,0 kvôli prevažujúcej odporovej záťaži elektrickej špirály. Po dosiahnutí potrebnej teploty vzduchu sa vypína ohrev, sušička sa otáča ďalej a odoberá 226 W s PF 0,44 až 0,47. Prvé nahrievanie špirály je vždy najdlhšie s nasledujúcou sekvenciou zopnutí a vypnutí ohrevu pre udržanie požadovanej teploty vzduchu. Pracovný cyklus sa končí otáčaním bubna sušičky bez ohrevu po dobu posledných 5 minút. Sušičku bielizne môžeme radiť jednak do kategórie preložiteľných spotrebičov ale aj do kategórie prerušiteľných spotrebičov, pretože je možné prerušiť pracovný

cyklus odpojením ohrievacej špirály a ponechať sušičku otáčať sa bez ohreву prípadne prerušiť pracovný cyklus kompletne, pričom nebude ovplyvnená výsledná kvalita pracovného cyklu. Pre túto možnosť by musel byť spotrebič vybavený rozhraním, ktoré by ovládalo samostatné zopnutie a vypnutie špirály.



Obr. 4-7: Odberová charakteristika sušičky bielizne LG DLE2516W v automatickom programe sušenia [23]

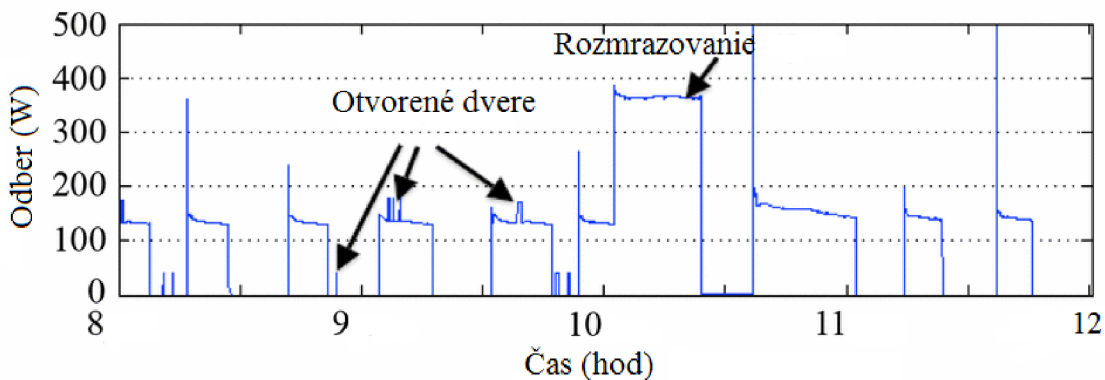
4.2.2 Nabíjanie zariadení

Nabíjačky batérií zariadení môžeme radiť jednak ako preložiteľné spotrebiče, pri ktorých záleží používateľovi len na výsledku pracovného cyklu (nabitie batérie) a zároveň v spojení s batériou ako akumulátory elektrickej energie. Je treba poznamenať, že v závislosti od použitej technológie batérie nie je vhodné prerušovať nabíjací cyklus (z dôvodu ovplyvnenia životnosti batérie). Pri zariadeniach ako je robotický vysávač alebo sekačka na trávnu, ktoré pracujú celkom autonómne môže byť nabíjanie a chod zariadení plne v kompetencii energetického riadiaceho systému.

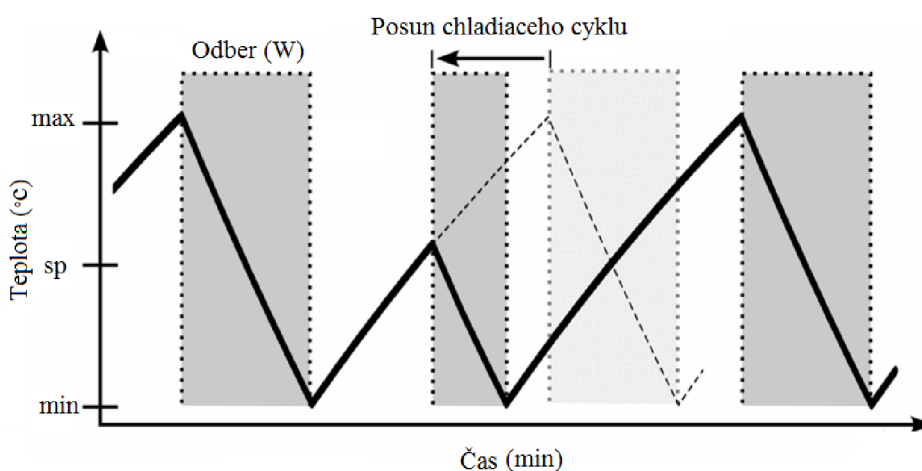
4.3 Chladničky a mrazničky

Chladiarske spotrebiče ako **chladnička a mraznička** majú pracovný cyklus založený na udržiavaní vnútornej teploty v určitom rozsahu minima a maxima. Na Obr. 4-8 môžeme vidieť odberovú charakteristiku chladničky Hotpoint HTR16A. Kompresor chladničky pracuje pokiaľ vnútorná teplota chladničky nedosiahne svojho minima, pričom zo siete odoberá 135 W s PF 0,92 až 0,99. Potom sa vypne a znova sa zapne až po ohriatí vnútra chladničky na maximálnu teplotu nastavenú termostatom. Časové rozpätie cyklov chladenia a ohrievania závisí na izolácii chladničky a na vonkajšej teplote. Vzhľadom na to, že chladnička a mraznička sa zvyčajne umiestňujú v obytných priestoroch, kde teplota nezvykne veľmi kolísať, ich odberová charakteristika sa vplyvom vonkajšej teploty mení len minimálne. Na obrázku si môžeme ďalej všimnúť, že vplyvom otvorenia dverí dochádza k predĺženiu času chladiaceho cyklu a k miernemu nárastu spotreby kvôli rozsvieteniu vnútornej žiarovky. Chladnička má najväčšiu spotrebu v rozmrazovacom cykle, ktorý sa v prípade tejto chladničky opakuje každých 30 hodín, a počas dvadsiatich minút trvania spotrebuje 365 W s PF 1,0. Pri riadení spotreby objektu by bolo výhodné preložiť krátko trvajúci rozmrazovací cyklus, ktorý je potrebné robiť raz za niekoľko hodín, na čas prebytku elektrickej energie z OZE. Ďalšou z možností je krátkodobé riadenie spotreby chladničky modifikáciou odberovej charakteristiky. V praxi by to vyzeralo tak, že do doby, kedy by bola dostupná elektrická energia z OZE prípadne nízka výkupná cena elektrickej

energie, by vstupovala chladnička s maximálnou možnou vnútornou teplotou (aby chladenie bežalo za čo najmenšie náklady) a po znížení výroby z OZE by mala mať minimálnu vnútornú teplotu. Pre dosiahnutie požadovaných teplôt je treba riadiaci člen, ktorý nájde vhodný čas zopnutia alebo vypnutia kompresoru [24][25].



Obr. 4-8: Odberová charakteristika chladničky Hotpoint HTR16A [23]



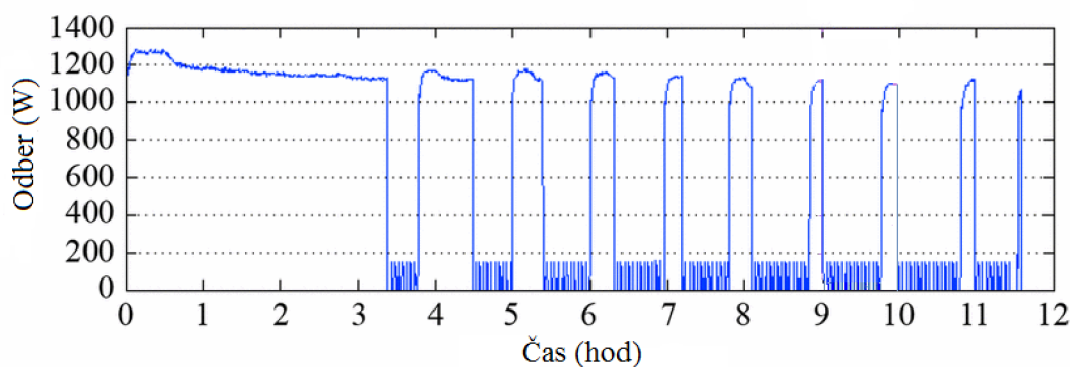
Obr. 4-9: Zjednodušené grafické znázornenie modifikácie odberovej charakteristiky prestavením vnútornej teploty [25]

Na Obr. 4-9 je možné vidieť princíp tejto regulácie, kde riadiaci člen vhodne prestaví teplotu z hodnoty max na hodnotu sp (setpoint), kvôli skoršiemu zopnutiu kompresora. Obmedzenie tejto regulácie spočíva v nastavení minimálneho času chodu a vypnutia kompresora kvôli jeho ochrane. Podľa tejto analýzy môžeme chladničku a mrazničku radiť do všetkých troch kategórií, avšak, v súčasnosti na trhu nie sú dostupné zariadenia, ktoré by podporovali podobné funkcie, takže by bola potrebná úprava bežne kúpenej chladničky, čo v reálnych podmienkach domácnosti bude iba ťažko realizovateľné [25].

4.4 Klimatizácia a tepelné čerpadlo

Pri **klimatizovaní** priestorov je možné hovoriť tiež o určitom tepelnom akumuláčnom systéme, pričom akumulátorom môže byť samotný objekt, alebo určitý akumulátor chladu. Klimatizácia doplnená o akumulátor chladu môže vychladiť chladivo počas nabíjacej fázy a počas vybijania chladenia iba z neho odoberá chlad a nezapína sa chladiaca jednotka [30]. Na

Obr. 4-10 je možné vidieť odberový diagram klimatizačnej jednotky LG LW1212ER počas dvanástich hodín chodu. Počas chladenia miestnosti (beh kompresoru), ktorého trvanie závisí na počiatočnej a nastavenej teplote miestnosti (v tomto prípade 3,5 hodiny) spotrebuje klimatizácia medzi 1,10 až 1,25 kW elektrickej energie. Po dosiahnutí nastavenej teploty sa vypína kompresor a striedavo sa zopína a vypína ventilátor, ktorý cirkuluje vzduch v miestnosti. Pri zapnutom ventilátore klimatizácia spotrebuje 120 až 150 W.



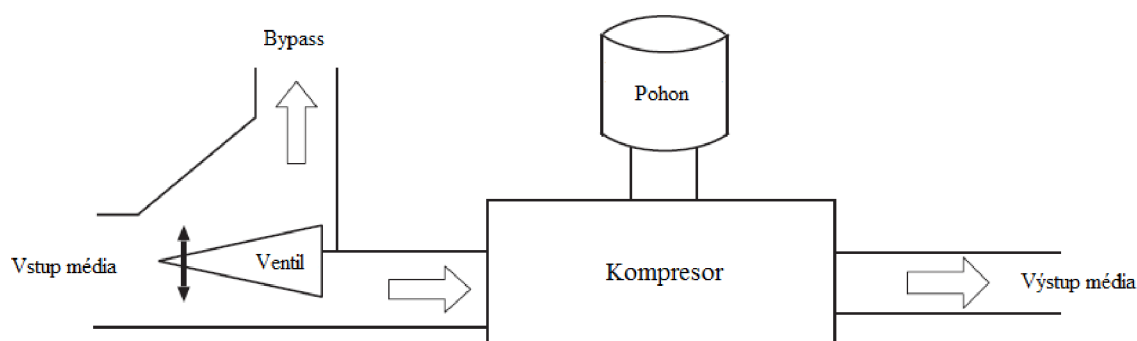
Obr. 4-10: Odberová charakteristika klimatizačnej jednotky LG LW1212ER [23]

Podobne ako pri chladničke, po ohriatí miestnosti na určitú maximálnu teplotu sa znova zopína kompresor a tento dej sa cyklicky opakuje kým nedôjde k vypnutiu klimatizácie. Klimatizácia je podobne ako chladnička termostaticky regulovateľné zariadenie, pričom je taktiež možné pracovný cyklus prerušiť avšak podobne ako pri chladničke je dôležité dodržať minimálne doby chodu a odstavenia kompresora [23].

V objektoch, kde sa na vykurovanie používa **tepelné čerpadlo** môžeme vyrobenú elektrickú energiu využiť na pohon samotného tepelného čerpadla, ktorý bude fungovať v kombinácii s akumulacnou nádržou tepla. Použitím akumulacnej nádrže sa môžeme predzásobiť teplom v hodinách s maximálnou výrobou a neskôr teplo odoberať. Výhodou je, že na dodanie určitého tepelného výkonu, potrebuje tepelné čerpadlo menší elektrický príkon než elektrický kotol, takže elektrická energia vyrobená vo vlastnej elektrárni by mohla postačovať pre pokrytie celého príkonu TČ. Tepelné čerpadlo môžeme považovať za preložiteľný a prerušiteľný spotrebič, ktorý môže akumulovať elektrickú energiu vo forme tepla. Pri častom spínaní TČ je dôležité dodržať minimálnu dobu chodu a minimálnu dobu odstávky z dôvodu obmedzenia nadmerného cyklovania kompresoru, pričom pri nedodržaní tejto podmienky môže dôjsť k jeho rýchlejšiemu opotrebeniu a zničeniu. Elektrická energia sa môže využiť aj na zvýšenie vykurovacieho faktoru, to znamená zlepšenie účinnosti tepelného čerpadla. Zvýšenie vykurovacieho faktoru tepelného čerpadla môžeme uskutočniť zmenou teploty vstupného média (závisí od typu TČ), takže v zimných mesiacoch, môžeme energiu vyrobenú prostredníctvom zdroja na OZE použiť pre predohrev vstupného média na požadovanú teplotu pomocou regulovateľného odporového ohrevu, ktorá zaručí potrebný vykurovací faktor tepelného čerpadla [31].

Klimatizácia aj tepelné čerpadlo regulujú svoj výkon spínaním stavu zapnuté a vypnuté. Pre plynulú reguláciu výkonu by museli obsahovať frekvenčný menič pre ovládanie pohonu kompresoru, ktorý využíva moduláciu frekvencie pre zníženie alebo zvýšenie otáčok kompresora,

a tým aj zmenu jeho výkonu. Ďalší spôsob regulácie tepelného čerpadla alebo klimatizácie prostredníctvom kontroly toku vstupného média do kompresora je znázornený na Obr. 4-11. Ventil obmedzuje množstvo privádzaného vstupného média do kompresora čím reguluje potrebný výkon na jeho pohon. Posuvný ventil je ovládaný hydraulickým zariadením, ktoré dostáva ovládacie signály na základe požiadavky zvýšenia alebo zníženia výkonu. Nevýhodou tejto regulácie oproti regulácií pohonu frekvenčným meničom je jej menšia rýchlosť [38].



Obr. 4-11: Regulácia výkonu tepelného čerpadla/klimatizácie kontrolou množstva vstupného média do kompresora [38]

Tab. 4-1: Kategorizácia spotrebičov v domácnosti

Spotrebič	Kategória				
	NEK	REG	PRE	PRL	AKU
Sušička bielizne					
Práčka					
Umývačka riadu					
Chladnička					
Mraznička					
Klimatizácia					
Elektrické vykurovanie					
Elektrický ohrievač TUV					
Tepelné čerpadlo					
Nabíjanie zariadení					
Elektrický šporák					
Osvetlenie					
Audio a video technika					
Kancelárska technika					

5 SYSTÉMY PRE RIADENIE SPOTREBY

V prípade riadenia spotreby objektov (prípadne celých mestských častí) prostredníctvom riadenia odberu zariadení a spotrebičov (regulácia, prekladanie a prerušenie pracovných cyklov) závisí lokálne zvýšenie vlastnej spotreby vyrobenej elektrickej energie z distribuovanej výroby na počte zariadení, ktoré sú zahrnuté do tohto opatrenia, a na tom, či k tomu dochádza spontánne pomocou zmeny návykov používateľov alebo pomocou automatického systému [21]. Tento systém môže byť umiestnený na troch úrovniach:

- Úroveň spotrebiča. Každý spotrebič má svoje vlastné rozhranie pre odkladanie pracovných cyklov v závislosti na vstupných dátach. Tieto spotrebiče sa označujú ako veľmi inteligentné spotrebiče (very smart).
- Úroveň objektu. V objekte bude umiestnený centrálny riadiaci systém, ktorý bude ovládať všetky preložiteľné spotrebiče tzv. domáci manažment systém (DMS).
- Úroveň distribučnej siete. Riadenie by prebiehalo na sieťovej úrovni, pričom by sa ovládali všetky spotrebiče v objektoch pripojených na sieť.

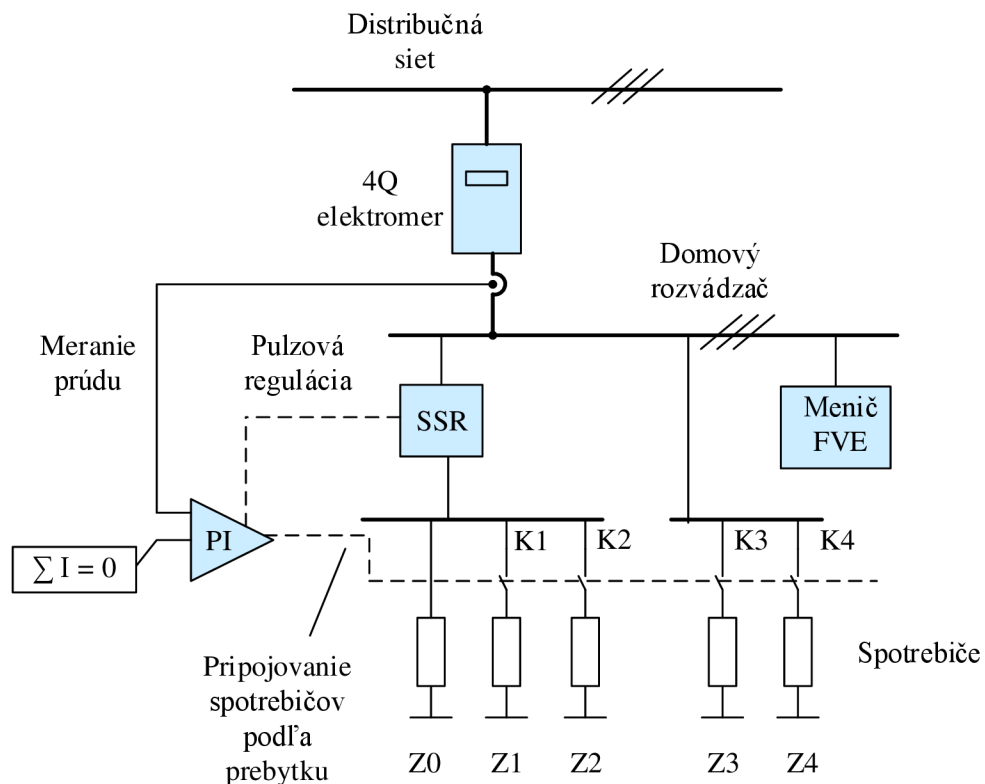
Na sieťovej úrovni je založený projekt EEPOS, ktorý funguje v rámci podporného programu FP7 pre výskum a inovácie Európskej únie. Tento projekt má za cieľ pokročilým energetickým manažmentom maximalizovať využitie distribuovanej výroby v rámci susedstva niekoľkých objektov. Susedstvom sa rozumie všetky objekty umiestnené za distribučným transformátorom. V tomto systéme majú všetky objekty taktiež riadiaci systém umiestnený na ich úrovni (DMS), ktorý zabezpečuje monitorovanie spotreby a výroby v reálnom čase, a taktiež zabezpečuje ovládanie spotrebičov. Avšak ten je podriadený jednému centrálnemu riadiacemu systému. Výhodou je efektívnejšia spotreba vyrobenej elektrickej energie napríklad tým, že rezidenčné objekty s fotovoltaickými mikro-systémami, v ktorých sa počas dňa nenachádzajú ľudia, môžu zásobovať vyrobenou energiou kancelárske budovy alebo malé podniky pripojené do tej istej siete [33].

Technické prevedenia systémov pre riadenie spotreby na úrovni objektov siahajú od jednoduchých zariadení obsahujúcich jednoduchý reléový výstup, cez ktorý je pripojený jeden konkrétny spotrebič, až po zložitejšie technické riešenia, ktoré riadia spotrebu v celom objekte na základe informácií ako okamžitá výroba a odber elektrickej energie, predikcia výroby na základe predpovede počasia, ceny elektrickej energie a podobne [39].

5.1 Riadenie spotreby pomocou regulátorov výkonu

Pre inštalácie v Českej republike fungujúce v zelenom bonuse ponúkajú niektorí výrobcovia regulátory výkonu, ktoré sa podieľajú na zlepšení ekonomiky prevádzky týchto objektov. Tieto regulátory smerujú prebytky vyrobenej elektrickej energie do riadených spotrebičov (väčšinou sa jedná o elektrotepelné spotrebiče so schopnosťou akumulácie ako elektrický bojler a podobne, ktorých regulácia nemá vplyv na komfort spotrebiteľa), pričom štandardne obsahujú vlastný triakový silový výstup, reléový výstup a signálový výstup pre riadenie výkonového polovodičového relé (SSR) spínaním v nule. Tieto regulátory sa svojou činnosťou snažia ovplyvniť registračnú funkciu statického elektromeru, ktorý meria činnú energiu postupnou

integráciou súčiny fázových napätí a prúdov v synchronizovanom meracom okne, ktoré je celistvým násobkom doby trvania periódy sieťovej frekvencie. Násobky sa pohybujú typicky medzi 5 až 50 periód sieťovej frekvencie, to znamená 100 milisekúnd až 1 sekunda. Preto rýchle zmeny medzi dodávkou a odberom elektrickej energie môžu viesť k odchýlke zaznamenatej energie oproti skutočnej, ktorá môže dosahovať až 100 %. Tým sa fiktívne vyrovnáva výkonová bilancia spotreby a výroby elektrickej energie vďaka čomu sa zvyšuje ekonomická výhodnosť inštalovanej výroby. Ak je spínací cyklus záťaže o určitom menovitom výkone rovný alebo x -násobne menší ako meracia perióda elektromeru (x musí byť celé číslo), môže registrovaná činná energia dosiahnuť minimálnych alebo až nulových hodnôt. Pri použití elektromeru, ktorý meria každú fázu samostatne, musí byť aj regulátor schopný regulovať každý fázový vodič. Na Obr. 5-1 môžeme vidieť principiálnu schému regulátora výkonu GreenBono. Samotné regulovanie je úlohou proporcionálne-integračného PI člena, ktorého merací obvod meria činnú zložku prúdu tečúceho buď do distribučnej siete alebo k spotrebičom. PI regulátor sa zmenou striedy spínacích impulzov do polovodičového relé (SSR) snaží udržiavať žiadanú hodnotu súčtu prúdov. Ak regulátor dosiahne saturačného stavu v hornej medznej hodnote svojho výstupu (strieda je 100 %), znamená to tok výkonu do siete a dochádza k pripojeniu ďalšieho spotrebiča Z1 pomocou riadiaceho signálu na zapínací kontakt relé K1. Naopak, ak sa dosiahne saturácie v dolnej medzi, dochádza k odpojeniu naposledy pripojeného spotrebiča [32] [36].



Obr. 5-1: Principiálna schéma regulátora výkonu GreenBono [32]

Používanie zariadení pracujúcich na tomto princípe nerieši technické problémy integrácie distribuovanej výroby z OZE, popísaných v kapitole 2.2, pretože sieť je využívaná ako akumulátor energie. Naopak, svojou pulzovou reguláciou, ktorej nevýhody sú popísane v kap. 4.1.1 vytvárajú ďalšie problémy technického charakteru [32].

5.2 Návrh konceptu domáceho riadiaceho energetického systému

DMS systém má za úlohu vykonávať tieto tri základné funkcie:

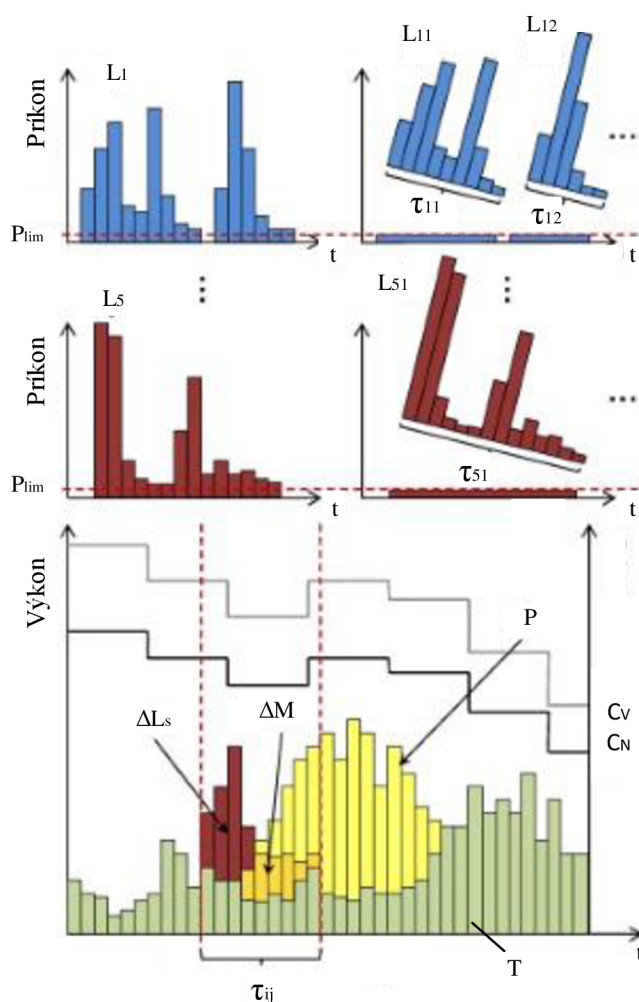
- Mal by vedieť zmerať okamžitú výrobu a spotrebu elektrickej energie celého objektu, pričom by sa mal snažiť rozdiel týchto dvoch hodnôt udržiavať na nulovej hodnote oproti regulátorom popísaných v kapitole 5.1, ktoré sa snažia udržať stanovenú výkonovú bilanciu medzi výkonom dodávaným do siete a výkonom z nej odoberaným fiktívne vďaka nedokonalosti merania činnnej energie statickým elektromerom.
- Prijímať a monitorovať dáta o spotrebe elektrickej energie jednotlivých preložiteľných spotrebičov v systéme pre analýzu ich odberových charakteristík z externého rozhrania pripojeného na každý preložiteľný (prerušiteľný) spotrebič.
- Spínať a regulovať spotrebiče a zariadenia pomocou vhodného algoritmu pričom toto spínanie by malo byť možné cez vlastné silové výstupy alebo posielaním ovládacích signálov do rozhraní umiestnených na úrovni spotrebiča [26].

Keďže sa jedná o automatický systém, pre svoj chod vyžaduje určitý algoritmus spínania a regulácie. V súčasnosti existuje mnoho publikácií, v ktorých sú prezentované rôzne verzie tohto algoritmu. Avšak, vo väčšine prípadov algoritmy považujú príkon spotrebičov v čase konštantný bez žiadnych zmien počas ich pracovných cyklov. Problém vytvorenia spoľahlivého algoritmu pre plánovanie spustenia preložiteľných spotrebičov spočíva vo veľkom počte možností zopnutia spotrebičov, ktoré by bolo náročné v daný okamih otestovať. Ak rozdelíme jeden deň na 10 minútové úseky, dostaneme 144 časových intervalov. Takže ak sa v domácnosti nachádza N spotrebičov, potom celkový počet kombinácií bude 144^N . Vzhľadom na túto skutočnosť, podľa [21] by mal algoritmus byť schopný z nameraných dát identifikovať odberovú charakteristiku pracovného cyklu každého spotrebiča individuálne, a podľa toho preložiť zopnutie spotrebiča tak, aby sa napasovala odberová charakteristika ku krivke výroby mikro-systému. Pracovným cyklom sa rozumie jedna kompletne ukončená úloha (napr. jedno pranie) a v praxi bude mať podobu jednej neprerušenej sekvencie spriemerovaných hodnôt príkonov s určitým časovým rozlíšením, ktoré budú nad určitou hodnotou príkonu pre vylúčenie pohotovostného režimu spotrebiča a šumu vstupujúceho do merania. Algoritmus potom nemusí skúšať všetky možné kombinácie, ale snaží sa nájsť optimálny čas zopnutia každého spotrebiča vzhľadom na predikciu výroby, ktorá bude založená na priemerných hodnotách solárnej radiácie s rovnakým časovým rozlíšením na konkrétny deň alebo na jej predpovedi v reálnom čase. Kombináciou niekoľkých pracovných cyklov sa dosiahne lepšie pokrytie výrobných charakteristik odberom, než by sa spotrebiče zapínali sekvenčne. V praxi by to napríklad mohlo vyzeráť tak, že po pripojení práčky do systému a jej spustení na určitom pracovnom programe by systém zmeral odberovú charakteristiku a uložil by ju do svojej pamäte pod určitým označením. V prípade ďalšieho prania na tom istom programe, užívateľ do systému zadá v akom pracovnom programe bude prať a nechá systém uskutočniť pranie v najvhodnejšom čase.

Na Obr. 5-2 je grafické znázornenie algoritmu, ktorý identifikuje všetky pracovné cykly spotrebiča č.1 (L_{11} , L_{12} , a tak ďalej) prostredníctvom neprerušenej sekvencie príkonov s hodnotami nad určitou medzou (P_{lim}). Tak isto vykoná pre všetky preložiteľné spotrebiče až po

spotrebič č.5. Každý pracovný cyklus má istú dobu trvania (násobok časových intervalov T označený ako τ_{ij} , kde i označuje číslo spotrebiča a j číslo pracovného cyklu). Potom práca algoritmu spočíva v tom, že pomocou údajov o všetkých pracovných cykloch každého spotrebiča testuje naplánovanie spustenia pracovných cyklov v každom časovom intervale T tak, aby to bolo optimálne pre zvýšenie vlastnej spotreby objektu.

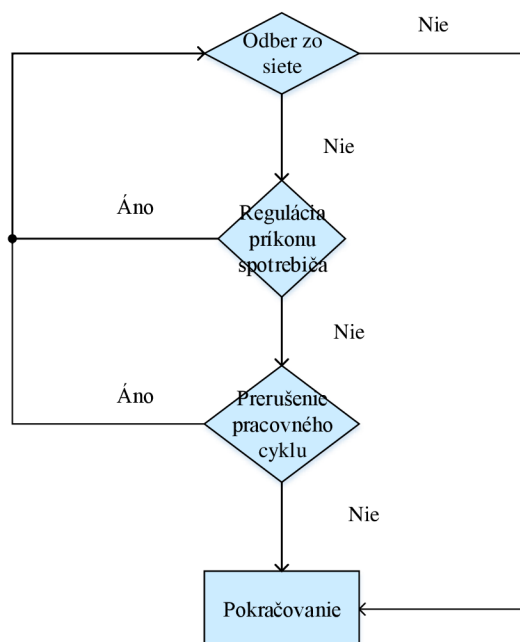
Ak by bol takýto algoritmus použitý pre výrobnú, ktorá by bola v režime prevádzky elektrárne na OZE pripojenej do siete, v ktorom by sa nákupná (C_n) a výkupná (C_v) cena elektrickej energie menila v čase, potom by optimálne naplánovanie mohlo byť uskutočňované pomocou ceny za spustenie pracovného cyklu. Ak by bol pracovný cyklus spustený, prejavilo by sa to buď zvýšením odberu zo siete ΔL_s alebo zvýšením spotreby vlastnej elektrickej energie ΔM , prípadne ich kombináciou. Takže cena za spustenie pracovného cyklu bude pozostávať z ceny za nakúpenú elektrickú energiu ($\Delta L_s * C_n$) a zo straty za nepredanú elektrickú energiu ($\Delta M * C_v$). Optimálne načasovanie minimalizuje sumu týchto dvoch cien.



Obr. 5-2: Grafické znázornenie algoritmu pre riadenie spotreby [21]

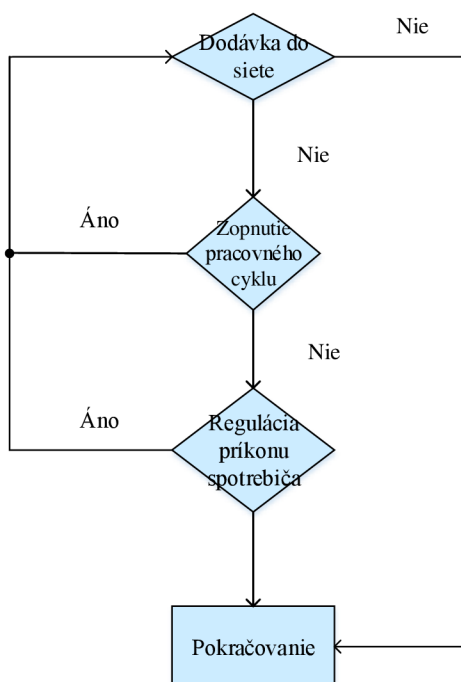
Limitujúcou podmienkou algoritmu je, že v určitom okamihu môže dôjsť k výraznému poklesu prípadne nárastu výroby oproti jej predikcii prípadne k náhlej zmene spotreby elektrickej energie počas bežiacich pracovných cyklov. V prípade poklesu výroby alebo nárastu spotreby

system vyhodnotí, že dochádza k odberu elektrickej energie zo siete a riadiaci systém bude postupovať podľa diagramu na Obr. 5-3.



Obr. 5-3: Vývojový diagram riadiaceho systému pri zistení odberu elektrickej energie zo siete

Systém najskôr zisťuje, či je možné zregulovať príkon na určitom plynule alebo skokovo regulovateľnom spotrebiči tak, aby došlo k vyrovnaniu výkonovej bilancie výroby a spotreby energie a tým k zníženiu odberu elektrickej energie zo siete. Ak to nebude možné, systém zistí, či je možné prerušiť pracovný cyklus pri prerušiteľných spotrebičoch. V prípade, že ani táto možnosť nebude dostupná, potom systém nechá dokončiť rozbehnuté pracovné cykly a preloží spustenie ďalších na vhodnejšiu dobu.

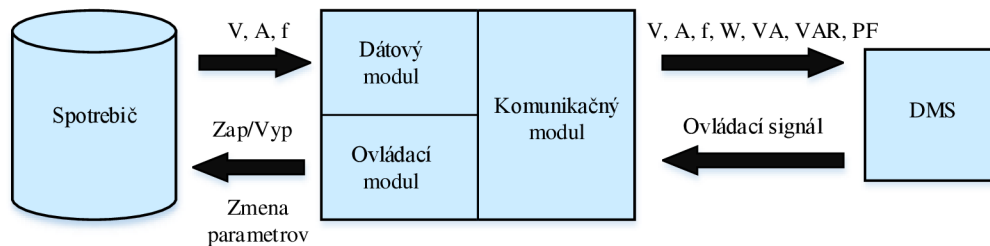


Obr. 5-4 Vývojový diagram riadiaceho systému pri zistení dodávky elektrickej energie do siete

Pri poklese spotreby alebo náraste výroby dochádza naopak k dodávke výkonu do distribučnej siete. Systém reaguje tak, že na základe predikcie výroby zisťuje, či je možné spustiť ďalší pracovný cyklus. Ak systém vyhodnotí, že výroba nebude dostatočná prípadne nie je požiadavka napríklad na ďalšie pranie, potom sa snaží zvýšiť príkon na regulovateľných spotrebičoch a tým využiť prebytky elektrickej energie.

5.2.1 Rozhranie na strane spotrebiča

Ako už bolo spomenuté, koncept domáceho manažment systému vyžaduje pre svoju činnosť určité rozhranie, ktoré bude monitorovať spotrebu elektrickej energie spotrebiča a zároveň ho bude aj ovládať. Toto rozhranie môžeme nazvať ako tzv. monitorovaciu a riadiacu jednotku (MRJ). Na Obr. 5-5 je zobrazená zjednodušená koncepcia celého funkčného reťazca pre riadenie spotreby objektu. MRJ pozostáva z troch funkčných modulov: dátový, ovládací a komunikačný modul. Dátový modul musí byť schopný zbierať a vyhodnocovať dáta spotreby elektrickej energie spotrebiča v reálnom čase. Elektrické veličiny ako napätie, prúd a frekvencia musia byť vhodným spôsobom zmerané a konvertované z analógovej do digitálnej podoby cez prevodník, ktorý je súčasťou dátového modulu. Tieto údaje sú následne spracované a dopočítavajú sa z nich veličiny ako činný, jalový, zdanlivý výkon a celkový účinník odberu. Ovládací modul musí byť schopný zvládať ovládanie rôznych typov spotrebičov. Pre jednoduché zapínanie a vypínanie spotrebičov môže byť ako ovládací modul použité mechanické relé alebo elektronické relé (SSR - solid state relay). Pre spotrebiče, ktoré neriadime len zapínaním a vypínaním môže ovládanie zabezpečovať samotný komunikačný modul.



Obr. 5-5: Zjednodušená koncepcia celého funkčného reťazca pre riadenie spotreby objektu [26]

Komunikačný modul je zodpovedný za komunikáciu medzi DMS a MRJ. Komunikácia a prenos dát v inteligentných sieťach môže byť rozdelená do troch základných kategórií, ktoré sa od seba odlišujú pracovnou vzdialenosťou:

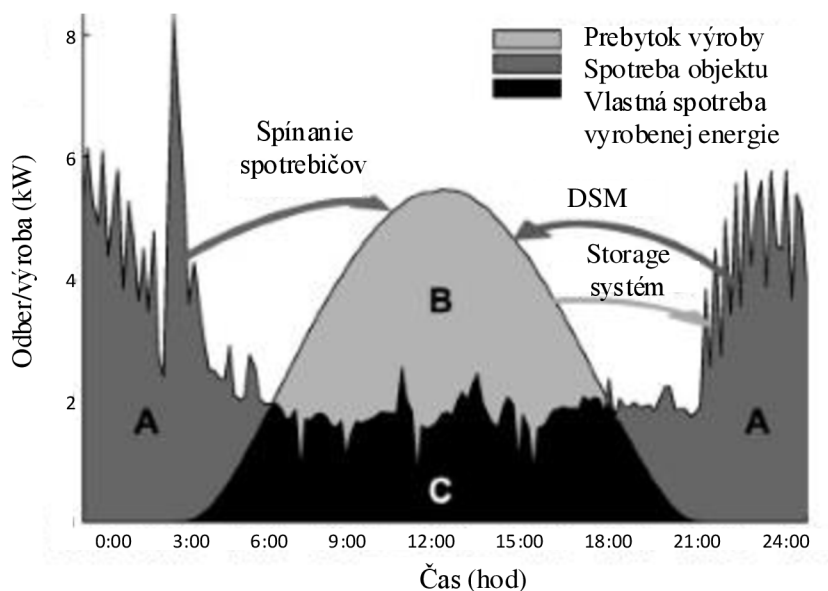
- Wide Area Network (WAN). Táto kategória združuje technológie pre prenos dát medzi zariadeniami v rozsiahlom priestore.
- Neighborhood Area Network (NAN). Prenos dát medzi inteligentnými elektromermi a centrárou v menšej oblasti (susedstve).
- Home Area Network (HAN). Prenos dát na krátke vzdialenosti, ktorý postačuje pre tieto účely.

Medzi známe komunikačné technológie patriace do HAN môžeme radiť Bluetooth (IEEE 802.15.1), ZigBee (IEEE 802.15.4) a WLAN (IEEE 802.11), ktorú sú vďaka nízkym inštaláčnym nákladom, vysokej mobilite a flexibilitate preferované pre inteligentné siete [26].

6 EXPERIMENTÁLNA ANALÝZA

6.1 Ukazovatele vyjadrujúce mieru riadenia spotreby v systémoch s OZE

Pri definovaní vlastnej spotreby objektu budeme vychádzať z metriky definovanej a používanej pre analýzu tzv. nulových domov. Na obrázku Obr. 6-1 môžeme vidieť časové krivky spotreby a výroby elektrickej energie fiktívneho objektu počas jedného dňa. Plocha A je celková spotreba objektu, B je celková výroba objektu. Oblasť C vzniknutá prekrytím týchto dvoch plôch je časť vyrobenej elektrickej energie, ktorá sa použije priamo v objekte. Táto plocha je často označovaná ako vlastná spotreba objektu, avšak toto označenie nie je vhodné pre porovnanie viacerých rozdielnych objektov. Pre vhodnejšie vyjadrenie vlastnej spotreby elektrickej energie je túto časť vhodné vzťahovať buď na celkové množstvo vyprodukovanej energie alebo na celkové množstvo spotrebovanej elektrickej energie [42] [2].



Obr. 6-1: Časové krivky spotreby a výroby elektrickej energie fiktívneho objektu počas jedného dňa [2]

Pri vzťahnutí na celkové množstvo vyprodukovanej elektrickej energie bude pri zachovaní označenia ako na Obr. 6-1 vyzeráť rovnica vlastnej spotreby ako:

$$VS = \frac{C}{B + C} \quad (6-1)$$

Ak by sa množstvo spotrebovanej elektrickej energie z mikro-systému vzťahlo na celkové množstvo spotrebovanej elektrickej energie, mohli by sme hovoriť o tzv. sebestačnosti objektu, pretože tento pomer vyjadruje, či je výroba dostatočná na pokrytie energetických potrieb objektu.

$$SB = \frac{C}{A + C} \quad (6-2)$$

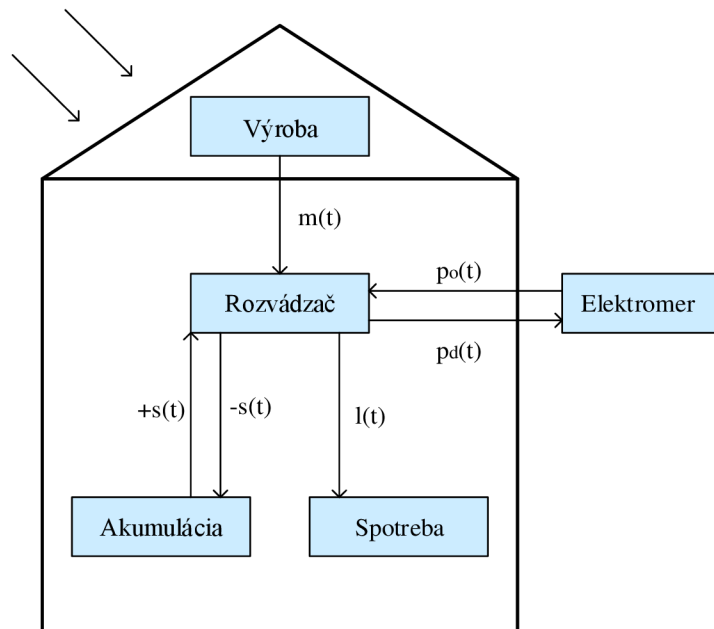
Pre technicky korektné vyjadrenie vlastnej spotreby označme okamžitý odber objektu ako $l(t)$ a okamžitú výrobu elektrárne ako $p(t)$. Okamžitá hodnota časti vyrábaného výkonu elektrickej energie, ktorý sa spotrebuje v objekte (označená ako $m(t)$) je potom limitovaná menšou hodnotou jednej z veličín. Preto môžeme napísať:

$$m(t) = \min\{p(t), l(t)\} \quad (6-3)$$

V prípade, ak bude v objekte umiestnený elektrický akumulčný systém (storage systém), rovnica (6-3) sa zmení na :

$$m(t) = \min\{l(t), p(t) + s(t)\} \quad (6-4)$$

kde $s(t)$ je výkon dodávaný alebo odoberaný zo storage systému. Pri nabíjaní je $s(t) < 0$ a pri vybíjaní je $s(t) > 0$.



Obr. 6-2: Schematické znázornenie tokov výkonov v objektoch s distribuovanou výrobou [42]

Pri vyhodnocovaní jednotlivých ukazovateľov pracujeme vždy s určitým časovým rozlíšením merania činnnej energie, ktorého veľkosť označujeme ako Δt . Indexom i môžeme označiť konkrétny interval, ktorý je meraný medzi časmi t_i a $t_{i+1} = t_i + \Delta t$. Potom budú rovnice pre VS a VB :

$$VS = \frac{M(i)}{P(i)} = \frac{\int_{t_i}^{t_{i+1}} m(t) dt}{\int_{t_i}^{t_{i+1}} p(t) dt} \quad (6-5)$$

$$SB = \frac{M(i)}{L(i)} = \frac{\int_{t_i}^{t_{i+1}} m(t) dt}{\int_{t_i}^{t_{i+1}} l(t) dt} \quad (6-6)$$

Vlastná spotreba a sebestačnosť za určitý dlhší časový úsek T bude potom súčtom diskrétnych hodnôt činných energií:

$$VS_T = \frac{\sum_i^{i+N} M(i)}{\sum_i^{i+N} P(i)} \quad (6-7)$$

$$SB_T = \frac{\sum_i^{i+N} M(i)}{\sum_i^{i+N} L(i)} \quad (6-8)$$

Celková dodaná a odobraná elektrická energia do siete za časový úsek T :

$$P_{d,T} = \sum_i^{i+N} P_d(i) \quad (6-9)$$

$$P_{o,T} = \sum_i^{i+N} P_o(i) \quad (6-10)$$

Celková vyrobená elektrická energia za časový úsek T :

$$P_T = \sum_i^{i+N} P(i) \quad (6-11)$$

Medzi ďalšie ukazovatele, pomocou ktorých sa bude vyhodnocovať úspešnosť riadenia spotreby objektu patrí:

- Maximálny okamžitý výkon dodávaný $p_{dmaxT}(t)$ do siete a odoberaný $p_{omaxT}(t)$ zo siete za časový úsek T .
- Maximálna hodnota z rozdielov dodanej a odobranej elektrickej energie zo siete $\max|P_d(i)-P_o(i)|_T$ za časový interval T .

6.1.1 Faktory ovplyvňujúce ukazovatele

Pri určovaní vlastnej spotreby a sebestačnosti objektu je potrebné brať do úvahy niekoľko faktorov, ktoré ovplyvňujú výsledky. Medzi tie je možné zaradiť:

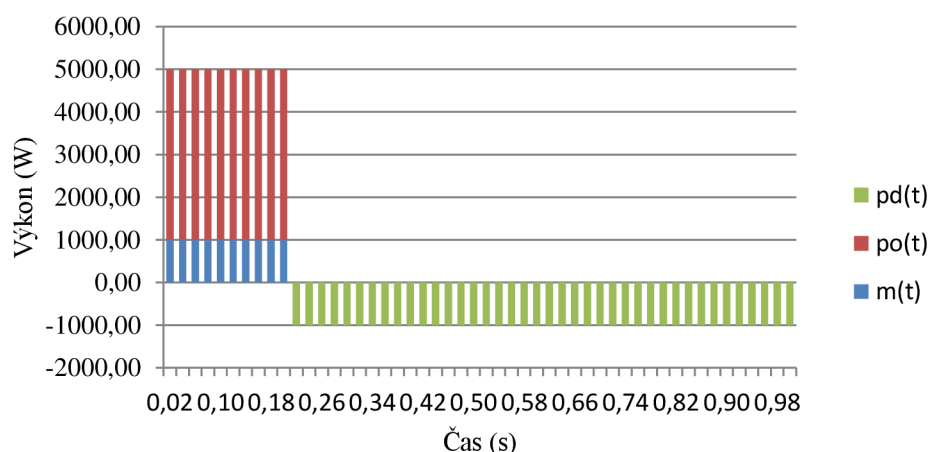
- Relatívnu veľkosť výroby a spotreby elektrickej energie. Z rovníc (6-5) a (6-6) vyplýva, že zvýšenie výroby elektrickej energie vzhľadom na odber elektrickej energie vedie k zníženiu vlastnej spotreby objektu, pričom sebestačnosť sa môže zvýšiť alebo zostane rovnaká.
- Časové rozlíšenie meraní. Vo veľa praktických situáciách sa údaje vyhodnocujú väčšinou zo série diskrétnych údajov, ktoré vznikli priemerovaním hodnôt okamžitej výroby $p(t)$ a odberu $l(t)$ elektrickej energie, typicky za jednu hodinu [2]. Nižšie rozlíšenie vedie k nadhodnoteniu vlastnej spotreby, pretože sa priemerovaním vyhladia fluktuácie kriviek výroby a spotreby elektrickej energie. Naopak, vyššie rozlíšenie poskytuje presnejšie informácie o tokoch výkonu smerom do siete a zo siete. Najpresnejšie by bolo časové rozlíšenie o veľkosti jednej periódy sieťového napätia t.j. 0,02 s. V tejto práci vzhľadom

na použité dáta výroby a odberu jednotlivých spotrebičov budú okamžité hodnoty vyjadrené ako priemerný okamžitý výkon za 10 minút.

- Počet prípadne veľkosť objektov. Celková krivka odberu elektrickej energie bude ovplyvnená počtom objektov v systéme. To sa prejaví vyhladením fluktuácií krivky odberu elektrickej energie kvôli priemerovaniu hodnôt okamžitého odberu všetkých objektov v systéme.

6.2 Simulácia regulátorov výkonu

Na Obr. 6-3 môžeme vidieť tok výkonov pri napájaní elektrického odporového výhrevného článku počas jedného meracieho okna elektromeru. V tomto prípade má elektrárň prebytok výkonu 1000 W a regulátor napája cez SSR elektrický bojler o príkone 5000 W. SSR zopína spotrebič na 20 % času meracieho okna elektromeru t.j.10 periód, počas ktorých je zároveň odber výkonu zo siete 4000 W. Zvyšných 80 % času je spotrebič vypnutý a do siete tečie prebytok výkonu 1000 W. Výsledkom je, že napriek celkovej odobranej a dodanej elektrickej energie, ktorá je za 1 sekundu 0,22 Wh, registrovaná činná energia elektromerom je rovná 0 Wh.



Obr. 6-3: Zobrazenie toku výkonu v prípade regulácie bojleru spínaním v nule

$VS_{\text{sek}} [\%]$	20,00
$SB_{\text{sek}} [\%]$	20,00
$p_{\text{dmax,sek}} [\text{W}]$	4000
$p_{\text{omax,sek}} [\text{W}]$	1000
$P_{\text{d,sek}} [\text{Wh}]$	0,22
$P_{\text{o,sek}} [\text{Wh}]$	0,22
Registrovaná energia elektromerom [Wh]	0,00

6.3 Simulácia navrhnutého konceptu riadiaceho systému

Experimentálna analýza popísaného konceptu riadiaceho systému riešeni bude vykonaná na fiktívnej inštalácii fotovoltickej elektrárne rovnakého inštalovaného výkonu, ako bolo uvedené v kap. 3.4. Táto inštalácia je umiestnená na streche rodinného domu umiestneného v Brne s nadmorskou výškou 289 m.n.m. Pre výpočet okamžitej výroby elektrárne s časovým rozlíšením

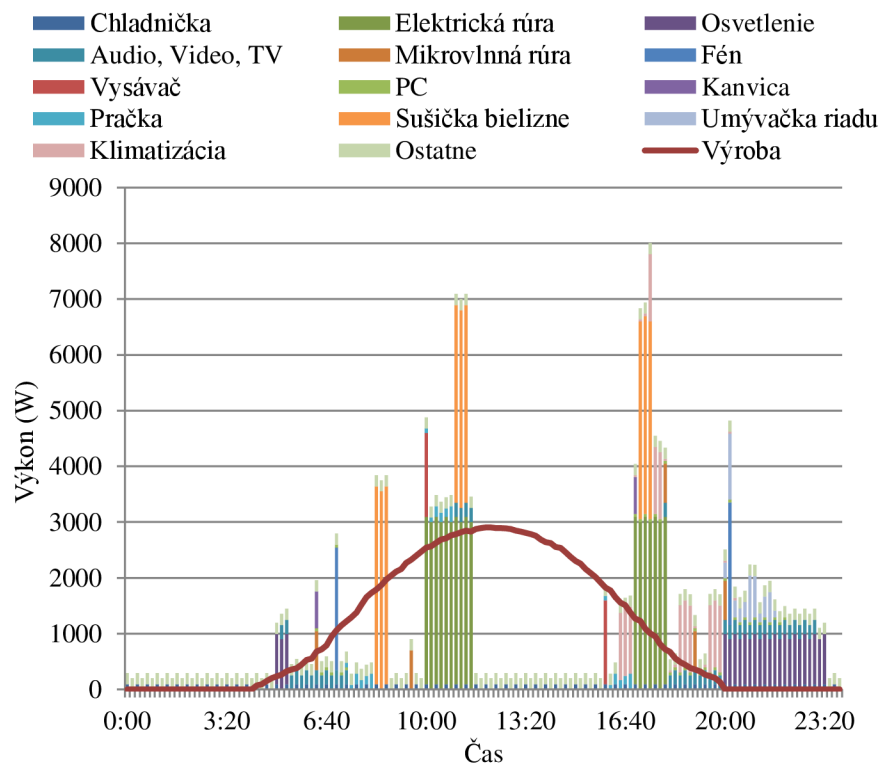
10 minút boli použité dáta solárnej radiácie z databázy SAF-PVGIS dostupnej z [34] pričom boli zvolené tieto parametre výroby:

- Južná orientácia panelov.
- Sklon panelov 35°.
- Odhadovaná účinnosť celého systému (účinnosť panelov a invertoru, úbytky napätia na kábloch, zmena účinnosti vplyvom teploty článkov) 12 %.
- Plocha panelov 40 m².

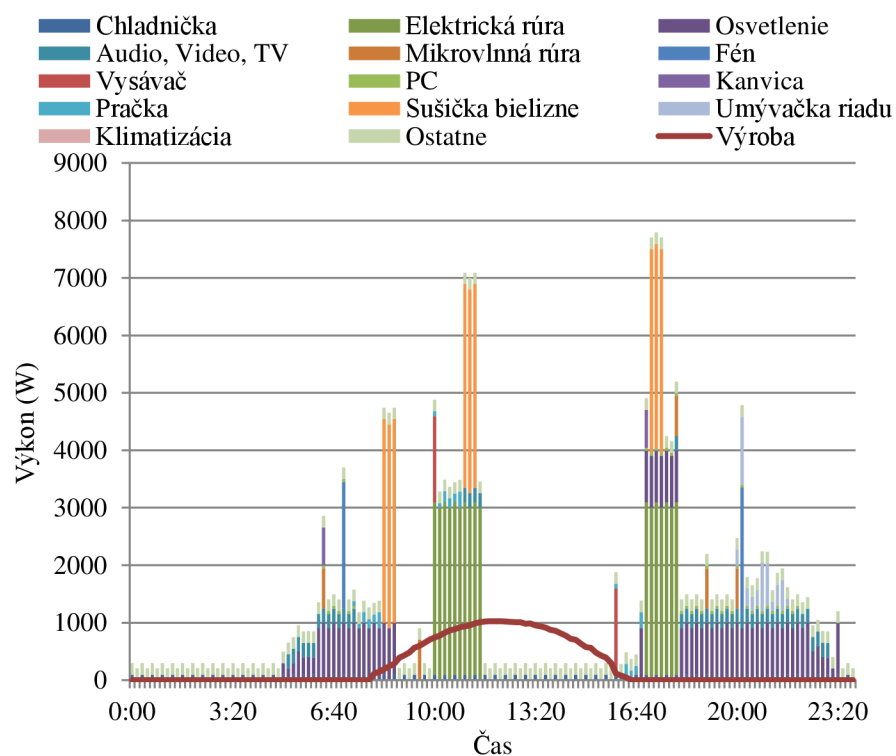
Pre hodnoty odberu a času používania jednotlivých elektrických spotrebičov boli použité odberové charakteristiky spotrebičov použité v kap. 4 a informácie o používaní spotrebičov v domácnostiach uvedené v [40]. Vyhodnotenie výsledkov bude založené na metrike použitej v kap. 6.1. Simulácia bude vykonaná v letnom (jún) a v zimnom režime (január), pričom v oboch prípadoch bude najskôr zobrazený objekt bez žiadneho druhu riadenia spotreby a následne bude použitý systém, ktorý prekladá spúšťanie preložiteľných spotrebičov a zároveň ukladá prebytky vyrobenej elektrickej energie vo forme tepla prostredníctvom bojlera pre ohrev TUV.

6.3.1 Objekt bez riadenia spotreby v letnom a zimnom režime

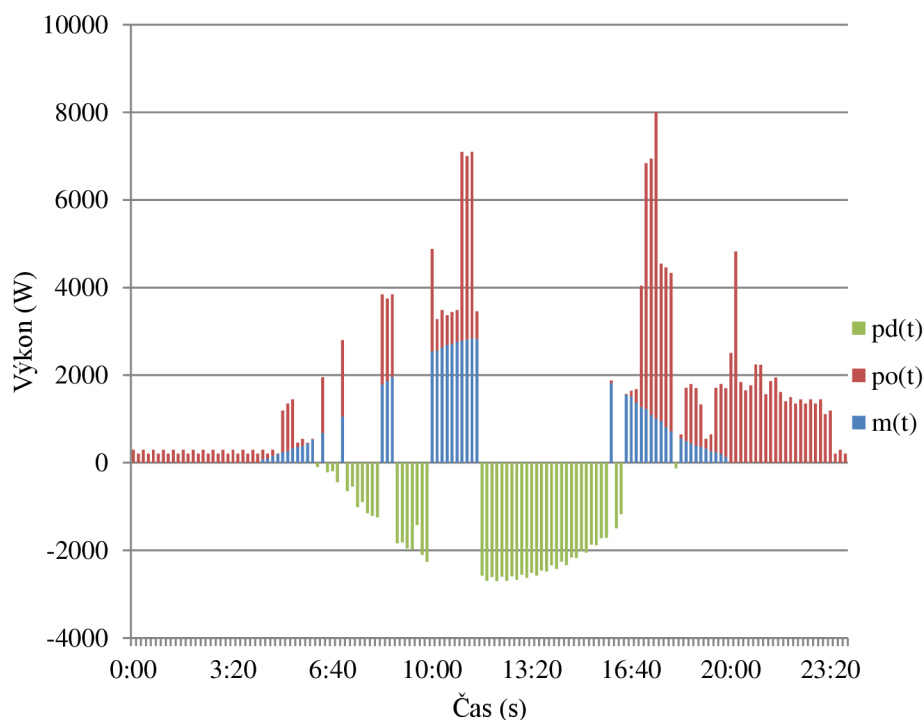
Na Obr. 6-4 a Obr. 6-5 môžeme vidieť namodelované priebehy výroby a odberu elektrickej energie objektov bez riadenia spotreby v letnom aj zimnom režime, ktoré sa od seba odlišujú nielen veľkosťou výroby elektrickej energie ale aj skladbou a časovým používaním spotrebičov. Napríklad v letnom režime je v poobedňajších hodinách pustená klimatizácia a osvetlenie sa zapína až okolo 20:00. Naopak, v zime sa klimatizácia nepúšťa vôbec a osvetlenie sa spúšťa oveľa skôr kvôli skoršiemu stmievaniu. Na Obr. 6-6 a Obr. 6-7 slúžia pre lepšiu predstavu o tokoch výkonov smerom do siete a zo siete a spotrebovanej vlastnej vyrobenej elektrickej energie, kde najmä v letnom režime je vidieť veľké skoky medzi odberom a dodávkou elektrickej energie zo siete.



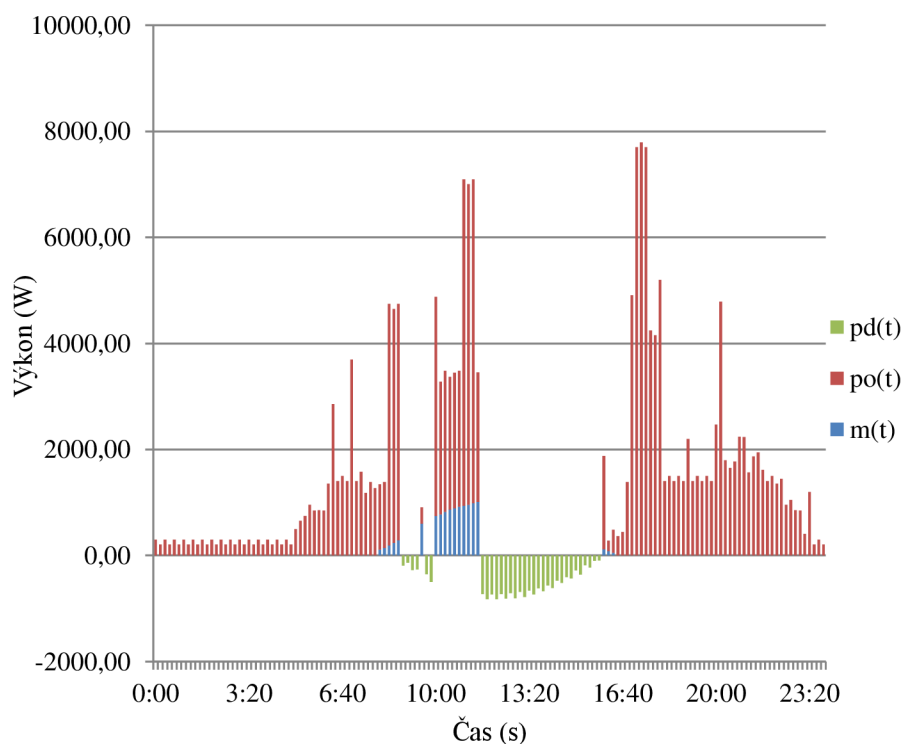
Obr. 6-4: Výroba a odber elektrickej energie objektu v letnom režime s 10 minútovým časovým rozlíšením



Obr. 6-5: Výroba a odber elektrickej energie objektu v zimnom režime s 10 minútovým časovým rozlíšením



Obr. 6-6: Zobrazenie toku výkonu objektu v letnom režime



Obr. 6-7: Zobrazenie toku výkonu objektu v zimnom režime

V tabuľkách je vidieť vypočítané hodnoty ukazovateľov definovaných v kap.6.1 pre oba režimy prevádzky objektu. V lete vlastná spotreba objektu za deň dosiahla hodnoty 45,10 % a sebestačnosť objektu 36,85 %, avšak dodaná elektrická energia je až na úrovni 14182,22 kWh, čo je viac ako polovica z celkovej vyrobenej elektrickej energie. V zimnom režime je vlastná

spotreba objektu vplyvom menšej výroby väčšia, no sebestačnosť dosahuje hodnoty iba 9,23 %, to sa prejaví aj na množstve dodanej elektrickej energie, ktorá je 30729 kWh.

Tab. 6-1: Hodnoty ukazovateľov pre objekt v letnom režime

P_{den} [Wh]	25823,27
VS_{den} [%]	45,10
SB_{den} [%]	36,85
$p_{dmax,den}$ [W]	2699,00
$p_{omax,den}$ [W]	6998,40
$P_{d,den}$ [Wh]	14182,22
$P_{o,den}$ [Wh]	19968,45

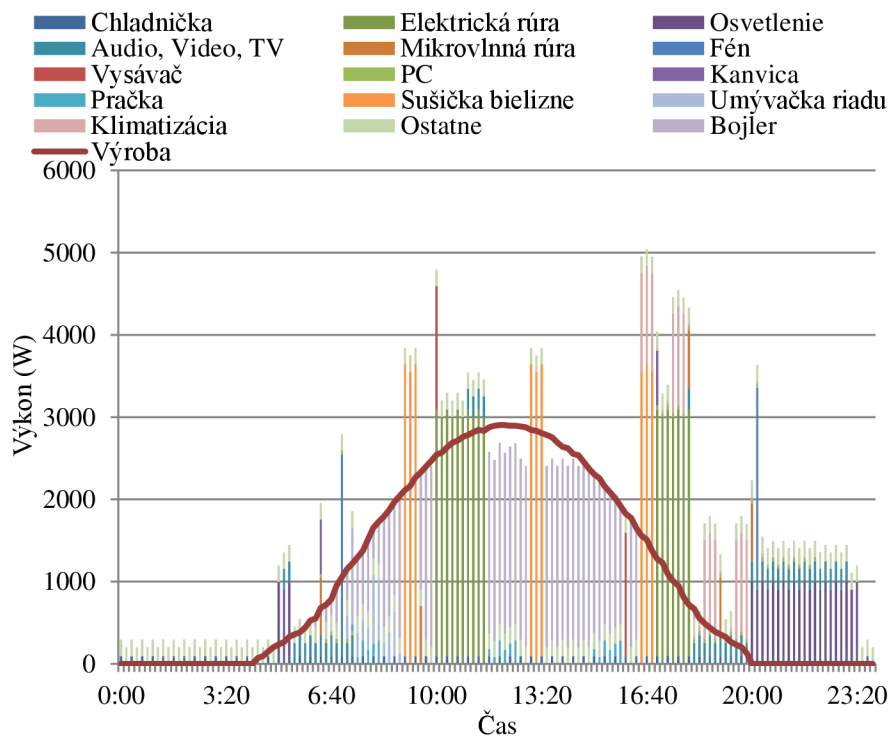
Tab. 6-2: Hodnoty ukazovateľov pre objekt v zimnom režime

P_{den} [Wh]	5831,27
VS_{den} [%]	53,54
SB_{den} [%]	9,23
$p_{dmax,den}$ [W]	822,20
$p_{omax,den}$ [W]	7792,40
$P_{d,den}$ [Wh]	2710,40
$P_{o,den}$ [Wh]	30729,97

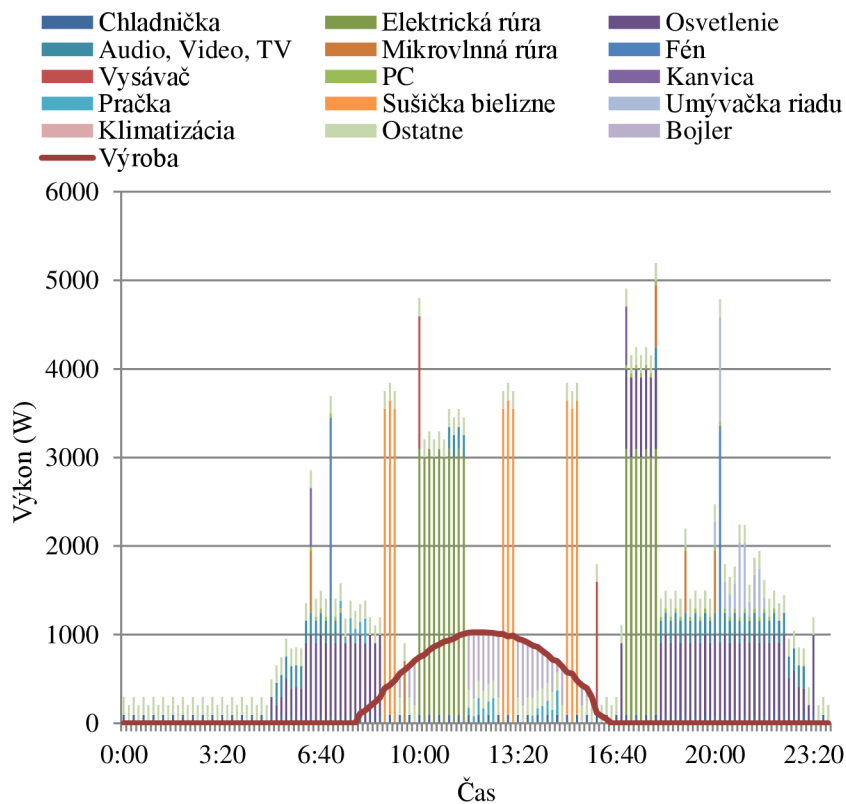
6.3.2 Objekt s riadením spotreby

Pri riadení spotreby objektu použitý koncept pracuje s preložiteľnými spotrebičmi, ktoré v tomto prípade sú práčka, umývačka riadu a sušička bielizne, pričom ešte svojim regulovateľným silovým výstupom napája bojler pre prípravu teplej vody o objeme 200 litrov a príkone 2,2 kW, ktorý podľa [41] spotrebuje pre ohriatie 200 litrov vody z teploty 10 °C na 60 °C 11,57 kWh elektrickej energie. Regulácia je plynulá prostredníctvom fázového riadenia triaku. Pri simulácii vychádzame z určitých zjednodušených predpokladov:

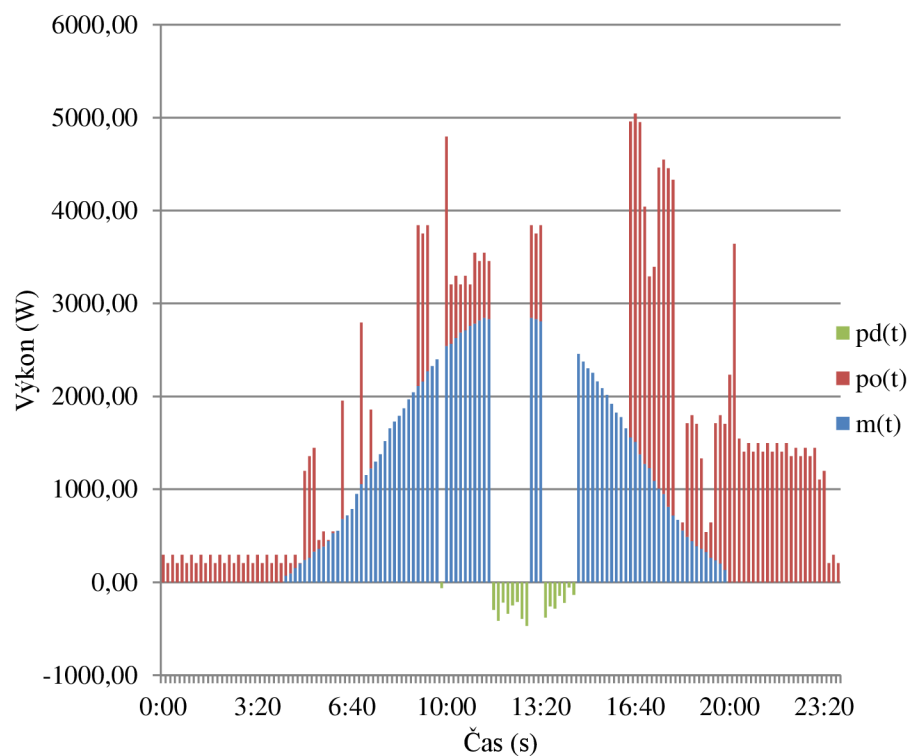
- Spotrebiče môžu byť spínané počas celého dňa bez časového obmedzenia.
- Nie je definovaná sekvencia spínania pre rôzne typy spotrebičov. Napríklad práčka a umývačka riadu sú spínané nezávisle od seba.
- Bojler je na začiatku dňa nenahriaty a nie je požadované jeho nahriatie do určitého času.



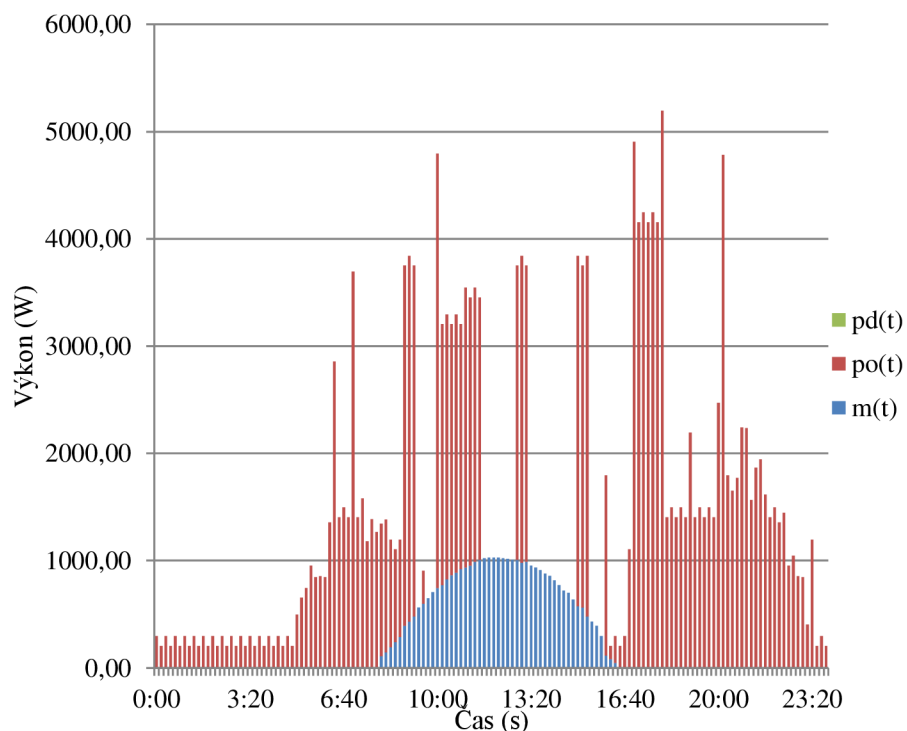
Obr. 6-8: Výroba a odber elektrickej energie objektu s riadením spotreby v letnom režime s 10 minútovým časovým rozlíšením



Obr. 6-9: Výroba a odber elektrickej energie objektu s riadením spotreby v zimnom režime s 10 minútovým časovým rozlíšením



Obr. 6-10: Zobrazenie toku výkonu objektu s riadením spotreby v letnom režime



Obr. 6-11: Zobrazenie toku výkonu objektu s riadením spotreby v zimnom režime

Porovnaním hodnôt bez riadenia spotreby a s riadením spotreby je možné povedať, že v letnom aj v zimnom režime prevádzky objektu došlo k nárastu vlastnej spotreby aj sebestačnosti objektu, pričom v zimnom režime vplyvom menšej celkovej dennej výroby dosiahla vlastná spotreba 100 %. V letnom režime dosiahla energia dodaná bojleru 11,06 kWh oproti požadovaným 11,57 kWh, čo znamená, že aj napriek reguláciám príkonu ohrievača by vo večerných hodinách mala byť

teplota vody takmer na požadovanej úrovni. Dodaná elektrická energia do siete za celý deň činí len 688,35 Wh, čo je o 13493,9 Wh menej ako v objekte bez riadenia spotreby. Pri riadení spotreby objektu v zimnom režime bola celková energia dodaná bojleru 1783,07 Wh, čo znamená, že v zimnom režime použitie prebytkov nie je dostačujúce na celkový ohrev TÚV ale iba na jej predohrev prípadne predohrev vykurovacej vody v akumuláčnom zásobníku.

Tab. 6-3: Hodnoty ukazovateľov pre objekt s riadením spotreby v letnom režime

		Rozdiel oproti východzie mu stavu
P_{den} [Wh]	25823,27	0
VS_{den} [%]	97,34	52,23378
SB_{den} [%]	58,91	22,066
$p_{dmax,den}$ [W]	470,20	-2228,8
$p_{omax,den}$ [W]	3643,80	-3354,6
$P_{d,den}$ [Wh]	688,35	-13493,9
$P_{o,den}$ [Wh]	17535,78	-2432,67
Energia dodaná bojleru [Wh]	11061,20	-

Tab. 6-4: Hodnoty ukazovateľov pre objekt s riadením spotreby v zimnom režime

		Rozdiel oproti východzie mu stavu
P_{den} [Wh]	5831,27	0
VS_{den} [%]	100,00	46,46188
SB_{den} [%]	16,37	7,144131
$p_{dmax,den}$ [W]	0,00	-822,2
$p_{omax,den}$ [W]	5196,00	-2596,4
$P_{d,den}$ [Wh]	0,00	-2710,4
$P_{o,den}$ [Wh]	29802,63	-927,333
Energia dodaná bojleru [Wh]	1783,07	-

Výsledky tejto simulácie naznačujú, že riadenie spotreby prostredníctvom riadiaceho systému, ktorý by fungoval v spojení s preložitelnými a vhodne regulovateľnými spotrebičmi môže byť jednou z vhodných možností, ako zvyšovať vlastnú spotrebu objektov s rozptýlenou výrobou. Avšak je treba zdôrazniť, že výsledky sú skutočne iba hypotetické a je potreba reálnych štúdií viacerých objektov počas dlhšieho časového obdobia a nie iba počas jedného dňa alebo týždňa, vďaka čomu môžu byť výsledky podhodnotené alebo nadhodnotené.

7 ZÁVER

Táto bakalárska práca sa zaoberala problematikou riadenia spotreby v systémoch s rozptýlenou výrobou. Prvé dve časti boli zamerané na motiváciu riešenia danej problematiky, ktorá je technického aj finančného charakteru. Technická motivácia spočíva v problémoch, ktoré integrácia rozptýlenej výroby prostredníctvom OZE do energetického mixu krajiny prináša, a ktoré môže svojim začlenením vyriešiť. Finančná motivácia je najmä pre majiteľov objektov s týmito výrobňami, pretože ako bolo ukázané na porovnaní podpory OZE v Českej republike, kde je robená formou výkupných cien alebo tzv. zelených bonusov, že podpora formou zeleného bonusu je v súčasnosti výhodnejšia, avšak táto výhodnosť je podmienená množstvom vlastnej spotreby vyrobenej elektrickej energie.

Pre komplexný pohľad na možnosti realizácie riadenia vlastnej spotreby elektrickej energie bolo nutné najskôr určiť, ktoré spotrebiče a akým spôsobom sa dajú použiť na tieto účely. Kategorizácia spotrebičov bola zvolená podľa času ich používania, možného stupňa a spôsobu regulácie a miery zásahu do komfortu užívateľov. Touto analýzou bolo zistené, že v súčasnosti je možné počítať najmä s prekladaním spúšťania spotrebičov na inú časovú dobu. To je možné iba pri spotrebičoch, pri ktorých používateľovi záleží len na výsledku pracovného cyklu a nie na jeho priebehu. Prekladaním spotrebičov sa dá doceliť zvýšenie vlastnej spotreby avšak kvôli fluktuáciám výkonu, ku ktorým dochádza premenlivou výrobnou a odberovou charakteristikou je potrebné odber dostatočne rýchlo a plynule regulovať. Z hľadiska možnej regulovateľnosti sú najpoužiteľnejšie najmä systémy premieňajúce elektrickú energiu na energiu tepelnú.

Ďalšia časť bakalárskej práce sa venovala automatickým systémom pre riadenie spotreby, pričom v úvode je popísaný princíp populárnych regulátorov výkonu. Následne bol navrhnutý koncept domáceho riadiaceho systému, ktorý bol v poslednej časti zjednodušeným spôsobom odsimulovaný na príklade fiktívnej inštalácie fotovoltickej elektrárne.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] PALENSKY, Peter a Dietmar DIETRICH. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads. In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics* [online]. 2011, s. 381-388 [cit. 2015-03-24]. ISSN 1551-3203. DOI: 10.1109/TII.2011.2158841. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5930335>
- [2] LUTHANDER, Rasmus, Joakim WIDÉN, Daniel NILSSON a Jenny PALM. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. In: *Applied Energy* [online]. 2015, s. 80-94 [cit. 2015-03-24]. ISSN 03062619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.12.028. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261914012859>
- [3] EVANS, Annette, Vladimir STREZOV a Tim J. EVANS. Assessment of utility energy storage options for increased renewable energy penetration. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2012, s. 4141-4147 [cit. 2015-03-24]. ISSN 13640321. DOI: 10.1016/j.rser.2012.03.048. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032112002316>
- [4] MUNKHAMMAR, Joakim, Pia GRAHN a Joakim WIDÉN. Quantifying self-consumption of on-site photovoltaic power generation in households with electric vehicle home charging. *Solar Energy* [online]. 2013, vol. 97, s. 208-216 [cit. 2015-03-24]. DOI: 10.1016/j.solener.2013.08.015. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X13003253>
- [5] DUNN, B., H. KAMATH a J.-M. TARASCON. Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices. *Science* [online]. 2011-11-17, vol. 334, issue 6058, s. 928-935 [cit. 2015-03-24]. DOI: 10.1126/science.1212741. Dostupné z: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1212741>
- [6] International Energy Agency. *World Energy Outlook 2012*. Paris: IEA Publications, 2012. ISBN 978-92-64-18084-0. Dostupné z: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2012_free.pdf
- [7] International Energy Agency. *World Energy Outlook 2013*. Paris: IEA Publications, 2013.. Dostupné z: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2013/WEO2013_Ch06_Renewables.pdf
- [8] Európska únia. Pracovní plán pro obnovitelné zdroje energie – Obnovitelné zdroje energie v 21. století: cesta k udržitelnější budoucnosti. In: Európska komisia pre obnoviteľné zdroje energie, 2007. Dostupné z: http://europa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/127065_cs.html
- [9] Porovnanie podpory OZE a výkupných cien elektriny vyrobenej z OZE v okolitých krajinách. In: [online]. Martin, 2014 [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: <http://www.urso.gov.sk/sites/default/files/Vykupne-ceny-OZE-v-EU-2014.pdf>
- [10] HOOGLAND, F.C.J. a G.J. SCHAEFFER. Green certificates, empowering the market ?!. In: [online]. 1999 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/1999/i99001.pdf>

- [11] Česká republika. Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *165/2012*. 2012
- [12] HOLÍK, Martin. Fotovoltaický boom v České republice, aneb krátké zamyšlení nad možnostmi podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. In: *Cofola 2010: the conference proceedings*. 1st ed. Brno: Masaryk University, 2010. Spisy Právnické fakulty Masarykovy univerzity v Brně, sv. 374. ISBN 9788021051515. Dostupné z: https://law.muni.cz/sborniky/cofola2010/files/nastroje/Holik_Martin_1638.pdf
- [13] GOMOLA, R. *Optimalizace elektrické spotřeby inteligentní digitální domácnosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2012. 43 s. Diplomové práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Kaláb, CSc. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/9003/Diplomov%C3%A1_pr%C3%A1ce_Gomola_Roman_106448.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [14] Energetický regulační úřad. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 1/2014 ze dne 12. listopadu 2014, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. In: 2014. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_4_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683
- [15] E.ON Energie a.s. *Ceník dodávky elektřiny*. České Budějovice, 2014. Dostupné z: <http://www.eon.cz/file/edee/cs/domacnosti/produkty>
- [16] CERMAN, M. Ekonomické aspekty využití energie z fotovoltaické elektrárny. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 74 stran. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Macháček, Ph.D. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65098
- [17] STRBAC, Goran. Demand side management: Benefits and challenges. *Energy Policy* [online]. 2008, vol. 36, issue 12, s. 4419-4426 [cit. 2015-03-24]. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.09.030. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421508004606>
- [18] PALENSKY, Peter a Dietmar DIETRICH. Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* [online]. 2011, vol. 7, issue 3, s. 381-388 [cit. 2015-03-24]. DOI: 10.1109/TII.2011.2158841. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5930335>
- [19] HALUZA, Miroslav a Jan MACHÁČEK. Spotřeba elektrické energie domácností, predikce a potenciální úspory pomocí BACS. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/8570-spotreba-elektricke-energie-domacnosti-predikce-a-potencialni-uspory-pomoci-bacs>
- [20] SOARES, A., A. GOMES a C. H. ANTUNES. Domestic load characterization for demand-responsive energy management systems. *2012 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST)* [online]. IEEE, 2012, s. 1-6 [cit. 2015-03-24]. DOI: 10.1109/ISSST.2012.6227976. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6227976>

- [21] WIDÉN, Joakim. Improved photovoltaic self-consumption with appliance scheduling in 200 single-family buildings. *Applied Energy* [online]. 2014, vol. 126, s. 199-212 [cit. 2015-03-24]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.04.008. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261914003419>
- [22] MCKENNA, Eoghan a Murray THOMSON. Demand response behaviour of domestic consumers with photovoltaic systems in the UK: an exploratory analysis of an internet discussion forum. *Energy, Sustainability and Society* [online]. 2014, vol. 4, issue 1, s. 13- [cit. 2015-03-25]. DOI: 10.1186/2192-0567-4-13. Dostupné z: <http://www.energysustainsoc.com/content/4/1/13>
- [23] PIPATTANASOMPORN, Manisa, Murat KUZLU, Saifur RAHMAN a Yonael TEKLU. Load Profiles of Selected Major Household Appliances and Their Demand Response Opportunities. *IEEE Transactions on Smart Grid* [online]. 2014, vol. 5, issue 2, s. 742-750 [cit. 2015-03-24]. DOI: 10.1109/TSG.2013.2268664. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6576261>
- [24] ZEHIR, M. Alparslan a Mustafa BAGRIYANIK. Demand Side Management by controlling refrigerators and its effects on consumers. *Energy Conversion and Management* [online]. 2012, vol. 64, s. 238-244 [cit. 2015-03-25]. DOI: 10.1016/j.enconman.2012.05.012. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S019689041200218X>
- [25] BIGLER, Thomas, Georg GADERER, Patrick LOSCHMIDT a Thilo SAUTER. SmartFridge: Demand Side Management for the device level. *ETFA2011* [online]. IEEE, 2011, s. 1-8 [cit. 2015-03-26]. DOI: 10.1109/ETFA.2011.6059105. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6059105>
- [26] PIPATTANASOMPORN, M., M. KUZLU a S. RAHMAN. Demand response implementation in a home area network: A conceptual hardware architecture. *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)* [online]. IEEE, 2012, s. 1-8 [cit. 2015-03-26]. DOI: 10.1109/ISGT.2012.6175675. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6175675>
- [27] SARABIA, Angel Fernandez. *Impact of distributed generation on distribution system* [online]. Aalborg, Denmark, 2011 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://projekter.aau.dk/projekter/files/52595515/Report_Angel_Fernandez_Sarabia.pdf. Dizertačná práca. Aalborg University.
- [28] BOLGÁR, R. Posouzení možností regulace napětí v distribučních sítích NN. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2013, 71 stran
- [29] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 264 s. ISBN 978-80-01-04938-9
- [30] ARTECONI, A., N.J. HEWITT a F. POLONARA. State of the art of thermal storage for demand-side management. *Applied Energy* [online]. 2012, vol. 93, s. 371-389 [cit. 2015-03-30]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.12.045. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261911008415>

- [31] MASTNÝ, P. *Tepelné čerpadlo a aktivní solární systém v kombinovaném provozu (I)*. TZB-info, ISSN 1801-4399, 2007, roč. 2007, č. 3, s. 1 – 6 Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3999-tepelne-cerpadlo-a-aktivni-solarni-system-v-kombinovanem-provozu-i>
- [32] GreenBonO: Regulátor s plynulou regulací výkonu pro dokonalé využití přebytků FVE. YORIX S.R.O. [online]. [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: http://www.yorix.cz/cz/greenbono/greenbono.htm#konfigurace_rele
- [33] KLEBOW, Birthe, Arturs PURVINS, Kalevi PIIRA, Veijo LAPPALAINEN a Florian JUDEX. EEPOS automation and energy management system for neighbourhoods with high penetration of distributed renewable energy sources: A concept. In: *2013 IEEE International Workshop on Intelligent Energy Systems (IWIES)*. IEEE, 2013, s. 89-94. ISBN 978-1-4799-1135-6. DOI: 10.1109/IWIES.2013.6698567. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6698567>
- [34] Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [35] PATOČKA, Miroslav. *Výkonová elektronika BVEL: 1. část-usměrňovače, střídavé měniče napětí*. Brno, 2010.
- [36] DRÁPELA, Jiří. *Měření činné energie statickými elektroměry při rychlých změnách mezi odběrem a dodávkou* [online]. In: . Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/file/o-spolecnosti/dcerine-spolecnosti/cds/pro_zakazniky/konference2015/07b_vut_drapela_2_cz.pdf
- [37] DRÁPELA, Jiří. *Spořiče energie: Faktické a domnělé úspory* [online]. Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/file/o-spolecnosti/dcerine-spolecnosti/cds/pro_zakazniky/konference2015/07a_vut_drapela_1_cz.pdf
- [38] HAGIWARA, Hiroto, Shunsuke KAWACHI, Jumpei BABA, Kei FURUKAWA, Eisuke SHIMODA a Shigeo NUMATA. Fundamental study on controllability of heat pump power consumption for fluctuated power compensation. In: *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)* [online]. IEEE, 2011, s. 413-419 [cit. 2015-05-24]. DOI: 10.1109/ICCEP.2011.6036375. ISBN 978-1-4244-8929-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6036375>
- [39] ROPCKE, Ina. *From power converter to energy manager* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.pv-magazine.com/archive/articles/beitrag/from-power-converter-to-energy-manager-100007085/86/?tx_ttnews%5BbackCat%5D=201&cHash=1d9c983c5aa7944e69f5b1b28bf073fc#axzz3b5IY7kM
- [40] *Ako znížit spotřebu elektriny v domácnosti* [online]. In: . Dostupné z: https://www.siea.sk/materials/files/poradenstvo/publikacie/brozury/uspory_elektrina/SIEAelektrina_domacnost_130210A_v10_naweb_o.pdf
- [41] Ohřev vody. *TZB-info* [online]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/97-ohrev-vody>

- [42] BERGGREN, Bjorn, Joakim WIDÉN, Bjorn KARLSSON a Maria WALL.
Evaluation and optimization of Swedish net ZEB-using load matching and grid interaction indicators [online]. In: . Dostupné z: <http://www.ibpsa-england.org/resources/files/bs0-2012/4C2.pdf>