

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2016

Bc. Lukáš Krúpa

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Lukáš Krúpa

ID: 146876

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Fotovoltaický systém pro dobíjení elektromobilu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Možnosti dnešních malých fotovoltaických elektráren a jejich ekonomické parametry.
2. Návrh zapojení a výběr vhodných komponent.
3. Možnosti realizace a uplatnění v praxi.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 20.5.2016

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

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 citácia práce:

KRÚPA, L. *Fotovoltaický systém pro dobíjení elektromobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 77 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D..

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému „Fotovoltaický systém pro dobíjení elektromobilu“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Zároveň by som sa chcel poďakovať vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D. za cenné rady, pripomienky a pevné nervy pri realizácii mojej diplomovej práce. A taktiež veľké vďaka patrí моjím rodičom, za psychickú a finančnú podporu tie dlhé roky na škole.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM PRO DOBÍJENÍ ELEKTROMOBILU

PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR RECHARGING ELECTRIC VEHICLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Krúpa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2016

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá použitím ostrovného fotovoltaiického systému pre dobíjanie elektromobilu. Najprv je vysvetlený princíp premeny slnečnej energie na elektrickú energiu a teoreticky sú popísané komponenty systému. Ďalej sú predstavené reálne aplikácie fotovoltaiických elektrární vo svete pre dobíjanie elektromobilov ale aj pre iné použitie. V ďalšej časti práce je teoreticky navrhnutý ostrovný systém ako by mal reálne vyzerat' a sú predstavené možnosti voľby komponentov. Hlavnou časťou práce je samotná realizácia ostrovného systému pre dobíjanie elektromobilu a meranie. Záver diplomovej práce je tvorený predpokladaným ekonomickým zhodnotením celého systému.

KEÚČOVÉ SLOVÁ: slnečná energia; elektromobil; ostrovný fotovoltaiický systém; fotovoltaiický panel; MPPT regulátor; akumulácia energie; menič napätia; fotovoltaiické parkovisko

ABSTRACT

This master thesis deals with use grid-off photovoltaic system for recharging electric vehicle. First is explained the principle of converting solar energy into electric energy and theoretically describes the components of the system. Furthermore, is presented a real application of the photovoltaic power plants in the world for recharging electric vehicles but also for other uses. The next section theoretically describes the grid-off system how it should look like in real and there are presented the possibilities of choice of components. The main part is the actual construction of the grid-off system for recharging electric vehicle and measurement. The conclusion of this thesis is made up for the expected economic recovery of the entire system.

KEY WORDS: sun energy; electric vehicle; off-grid photovoltaic system; photovoltaic panel; MPPT regulator; energy storage; inverter; photovoltaic parking lot

OBSAH

Zoznam obrázkov	9
Zoznam tabuliek	11
Zoznam symbolov a skratiek	12
1. Úvod	14
2. Slnecná energia	15
2.1 <i>Slnecné žiarenie</i>	<i>15</i>
2.2 <i>Podmienky slnečného žiarenia v ČR</i>	<i>16</i>
3. Fotovoltaický systém.....	18
3.1 <i>Fotovoltaický článok.....</i>	<i>18</i>
3.1.1 Princíp funkcie fotovoltaického článku	19
3.1.2 Elektrické vlastnosti fotovoltaického článku	20
3.1.3 Energetická návratnosť fotovoltaického systému.....	22
3.1.4 Typy fotovoltaických článkov	23
3.2 <i>Fotovoltaický panel</i>	<i>26</i>
3.2.1 Konštrukcia fotovoltaického panela	26
3.2.2 Možnosti zvyšovania účinnosti FV panelov.....	27
3.3 <i>Menič napätia.....</i>	<i>28</i>
3.4 <i>Regulátor nabíjania</i>	<i>28</i>
3.5 <i>Akumulácia</i>	<i>29</i>
3.5.1 Olovené akumulátory	30
3.5.2 Lithium–železo–fosfátové akumulátory.....	31
4. Možnosti dnešných malých fotovoltaických elektrární	32
4.1 <i>Fotovoltaické parkoviská</i>	<i>32</i>
4.1.1 NREL Solar Tree	32
4.1.2 Parkovisko Kyocera Solar Grove	33
4.1.3 Parkovisko spoločnosti Dell	34
4.1.4 Eco Park	35
4.2 <i>Smartflowers POP.....</i>	<i>36</i>
4.3 <i>uTree.....</i>	<i>37</i>
5. Návrh fotovoltaického systému	38
5.1 <i>Možnosti komponentov systému.....</i>	<i>38</i>
5.1.1 Fotovoltaický panel	38

5.1.2	Regulátor nabíjania	40
5.1.3	Menič napätia	41
5.1.4	Akumulátor	42
5.2	<i>Schéma navrhnutého zapojenia fotovoltického systému</i>	44
6.	Realizácia FV systému pre dobíjanie elektromobilu	46
6.1	<i>Popis objektu</i>	46
6.2	<i>Elektromobil</i>	47
6.3	<i>Realizácia a voľba vhodných komponentov systému</i>	47
6.4	<i>Predpokladaný potenciál výroby elektrickej energie pre danú lokalitu</i>	61
6.5	<i>Meranie na ostrovnom FV systéme</i>	62
7.	Ekonomické zhodnotenie	65
7.1	<i>Cena ostrovného systému</i>	65
7.2	<i>Predpokladaná úspora systému</i>	65
7.2.1	Úspora paliva pre elektromobil	65
7.2.2	Úspora elektrickej energie na dobíjanie elektromobilu z FV systému	67
7.2.3	Celková úspora systému	68
8.	Záver	69
	Použitá literatúra	71
Príloha A	Bloková schéma FV systému	74
Príloha B	Silová časť elektromobilu	75
Príloha C	Schéma plošného spoja	76
Príloha D	Rozpočet FV systému	77

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 2.1 Podiel priameho a difúzneho žiarenia [3]</i>	15
<i>Obr. 2.2 Ročný podiel globálneho slnečného žiarenia v ČR [$W \cdot m^{-2}$] [5]</i>	17
<i>Obr. 3.1 Fotovoltaický systém [15]</i>	18
<i>Obr. 3.2 Princíp priamej premeny energie slnečného žiarenia na elektrickú energiu s využitím fotoelektrického javu [1]</i>	19
<i>Obr. 3.3 Zaťažovacia a výkonová charakteristika FV článku [4]</i>	20
<i>Obr. 3.4 Vplyv teploty na výkon FV článku [1]</i>	21
<i>Obr. 3.5 Vplyv intenzity slnečného žiarenia na výkon FV článku [1]</i>	22
<i>Obr. 3.6 Energetická návratnosť fotovoltaického systému [17]</i>	23
<i>Obr. 3.7 Kremíkové ingoty a kremíkový monokryštalický článok [12]</i>	24
<i>Obr. 3.8 Kremíkový polykryštalický článok [13]</i>	25
<i>Obr. 3.9 Štruktúra kremíkoveho fotovoltaického modulu [1]</i>	27
<i>Obr. 3.10 Porovnanie MPPT a PWM regulátora [11]</i>	29
<i>Obr. 4.1 Solárny strom NREL [22]</i>	33
<i>Obr. 4.2 Kyocera Solar Grove [22]</i>	34
<i>Obr. 4.3 Parkovisko spoločnosti Dell [22]</i>	35
<i>Obr. 4.4 Eco Park [23]</i>	35
<i>Obr. 4.5 Smartflower POP [24]</i>	36
<i>Obr. 4.6 Porovnanie výroby strešného systému a Smartflower POP [24]</i>	37
<i>Obr. 4.7 uTrees [25]</i>	37
<i>Obr. 5.1 Regulátory dobíjania: a) PWM, b) MPPT [32]</i>	40
<i>Obr. 5.2 Meniče napätia: a) modifikovaný sínus, b) čistý sínus, c) hybridný [32]</i>	41
<i>Obr. 5.3 Akumulátor: a) údržbový olovený, b) bezúdržbový gélový, c) $LiFePO_4$ [35]</i>	43
<i>Obr. 5.4 Bloková schéma navrhnutého zapojenia FV systému</i>	44
<i>Obr. 6.1 Vyznačená lokalita objektu na mape [28]</i>	46
<i>Obr. 6.2 Elektromobil CityEl</i>	47
<i>Obr. 6.3 Polykryštalický panel Axitec 250 Wp</i>	48
<i>Obr. 6.4 Umiestnenie panelov na strechu</i>	49
<i>Obr. 6.5 Olovené (v ľavo) a $LiFePO_4$ (v pravo) akumulátory</i>	49
<i>Obr. 6.6 $LiFePO_4$ akumulátor CALB-SE180AHA [40]</i>	50
<i>Obr. 6.7 Pôvodný úložný priestor pre batérie</i>	50
<i>Obr. 6.8 Ohnuté plechy a upravený priestor pre batérie</i>	51
<i>Obr. 6.9 Vloženie $LiFePO_4$ akumulátorov do elektromobilu</i>	51
<i>Obr. 6.10 Starý a nový regulátor do elektromobilu</i>	52
<i>Obr. 6.11 Starý a nový DC reverzný stykač</i>	52
<i>Obr. 6.12 Umiestnenie komponentov silovej časti pred a po výmene</i>	53
<i>Obr. 6.13 Umiestnenie dosky a prepojenie vodičov silovej časti elektromobilu</i>	53
<i>Obr. 6.14 Prepojenie akumulátorov</i>	54
<i>Obr. 6.15 BMS - Battery management system a Cell loggery</i>	54
<i>Obr. 6.16 Umiestnenie Victron BMV 700 a Cycle Analyst na palubnej doske</i>	55
<i>Obr. 6.17 Plošný spoj</i>	56
<i>Obr. 6.18 Umiestnenie a prepojenie BMS + plošný spoj</i>	57

<i>Obr. 6.19 Poistkové puzdro s 250 mA poistkou</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 6.20 Horná a dolná časť krabičky</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 6.21 Solárny MPPT regulátor nabíjania eTracer 12/24/36/48 V</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 6.22 Umiestnenie regulátora do elektromobilu</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 6.23 Konštrukcia regulátora a hlavný relé stýkač 12 VDC</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 6.24 MC4 konektor a Multi-Contact</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 6.25 Pohľad do zadného priestoru elektromobilu</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 6.26 Predpokladaná priemerná mesačná výroba elektrickej energie pre FV systém 1 kWp</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 6.27 Príkon FV ostrovnej elektrárne počas oblačného dňa (14.5.2016)</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 6.28 Príkon FV ostrovnej elektrárne počas zamračeného dňa (17.5.2016)</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 7.1 Predpokladaná úspora paliva za 10 rokov používania elektromobilu</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 7.2 Predpokladaná úspora elektrickej energie za 10 rokov používania FV systému</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 7.3 Celková predpokladaná úspora za 10 rokov pre FV systém a elektromobil</i>	<i>68</i>

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 2.1 Špecifické výkony žiarivej energie a podiel difúzneho žiarenia [6]</i>	16
<i>Tab. 3.1 Účinnosti jednotlivých typov fotovoltaičných článkov [4]</i>	24
<i>Tab. 5.1 Porovnanie jednotlivých typov fotovoltaičných panelov [29], [30], [31]</i>	39
<i>Tab. 5.2 Porovnanie najpoužívanějších akumulátorov [36], [37], [38]</i>	43
<i>Tab. 6.1 Parametre polykryštallického panelu Axitec [39]</i>	48
<i>Tab. 6.2 Parametre LiFePO₄ akumulátora CALB- SE180HA [40]</i>	50
<i>Tab. 6.3 Parametre solárneho MPPT regulátora eTracer [42]</i>	58
<i>Tab. 6.4 Predpokladaná ročná výroba elektrickej energie pre FV systém 1 kWp a dopad slnečné žiarenia pre lokalitu Brno – Medlánky [27]</i>	61

Zoznam symbolov a skratiek

Skratka Význam

AC	Alternating current – striedavý prúd
AM	Air Mass – vzduchová hmota
AGM	Absorbed Glass Mat – elektrolyt v tekutej forme
BMS	Battery management system – batériový manažment systém
CO ₂	Oxid uhličitý
ČR	Česká republika
DC	Direct current – jednosmerný prúd
DoD	Depth of discharge – hĺbka vybitia
DPH	Daň z pridanej hodnoty
€	Euro
EPBT	Energy PayBack Time - doba, za ktorú systém vráti energiu
EROEI	Energy Return on Energy Invested – pomer získanej energie k energii vložennej
EVA	etylvinylacetát
FF	Fill factor – faktor plnenia
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaické elektrárne
GPS	Global positioning system – globálny lokalizačný systém
H ₂ SO ₄	Kyselina sírová
IR	Infrared - infračervené
LED	Light – emitting diode
LiFePO ₄	Lithium železo fosfát
MC	Multi-Contact
MPP	Maximum power point – bod maximálneho výkonu
MPPT	Maximum power point tracking – bod maximálneho výkonu
NOCT	Normal operating cell temperature – bežná pracovná teplota článku
NREL	National Renewable Energy Laboratory
PVC	Polyvinylchlorid
PVGIS	Photovoltaic geographical information system – fotovoltaický geografický informačný systém
PWN	Pulse width modulation – pulzná šírková modulácia
STC	Standard test conditions – štandardné testovacie podmienky

Značka	Veličina	Jednotka
α_{isc}	Teplotný stratový koeficient prúdu	%/°C
AM	Vzduchová hmota	-
β_{Uoc}	Teplotný stratový koeficient napätia	%/°C
γ_{Pmpp}	Teplotný stratový koeficient výkonu	%/°C
E	Výroba elektrickej energie	kWh
E_d	Priemerná denná výroba elektrickej energie zo systému	kWh
E_m	Priemerná mesačná výroba elektrickej energie zo systému	kWh
f	Frekvencia	Hz
FF	Fill Factor	-
H_d	Priemerný denný súčet globálneho žiarenia na štvorcový meter dopadajúci na systém	kWh.m ⁻²
$H_{h,i}$	mesačný alebo ročný priemer intenzity globálneho žiarenia na vodorovný a naklonený povrch	-

Značka	Veličina	Jednotka
H_m	Priemerný mesačný súčet globálneho žiarenia na štvorcový meter dopadajúci na systém	kWh.m ⁻²
I	Prúd	A
I_0	Slnečná konštanta	W.m ²
I_{mp}	Prúd v maximálnom bode výkonu	A
I_{SC}	Prúd nakrátko	A
m	Hmotnosť	kg
η	Účinnosť	%
P	Výkon	W
P_{in}	Výkon dopadajúceho slnečného žiarenia	W
P_k	Špičkový inštalovaný výkon systému	kWp
P_{mp}	Špičkový výkon	Wp
R	Odpor	Ω
r_p	odhadovaný výkonnostný pomer systému	-
R_s	Sériový odpor	Ω
STC	Štandardná testovacia teplota	°C
U	Napätie	V
U_{0C}	Napätie naprázdno	V
U_{mp}	Napätie v maximálnom bode výkonu	V
v	Rýchlosť	km.h ⁻¹

1. ÚVOD

Výroba elektrickej energie je v dnešnej dobe veľmi dôležitá vzhľadom k neustále sa zvyšujúcej spotrebe. Väčšina sa vyrába z neobnoviteľných zdrojov, ktoré sa však každým rokom viac míňajú a začína ich byť nedostatok. Taktiež je používanie neobnoviteľných zdrojov na výrobu elektrickej energie neekologické, kvôli látkam, ktoré vznikajú ich spaľovaním.

Preto posledné roky získavajú na popularite obnoviteľné zdroje energie, ktoré majú taktiež svoje nevýhody ale sú oveľa ekologickejšie. Vodné elektrárne sú obmedzené na miesta kde tečie rieka a ich samotná výstavba veľmi zasahuje do celkového ekosystému krajiny. Veterné elektrárne sa stretávajú z odporom z hľadiska hluku a vplyvu na vtáctvo.

Veľmi perspektívnou metódou výroby elektrickej energie je využívať slnko, ktoré uvoľňuje neustále slnečnú energiu. Ich veľkou výhodou je čistota a nízke náklady na prevádzku a údržbu zariadení a taktiež samotná jednoduchosť výstavby novej fotovoltaikej elektrárne. Taktiež stále klesajúca cena samotného systému vďaka zlepšovaniu technológií na výrobu kryštalickej článkov a teda aj samotná doba návratnosti celého systému, ktorá je v súčasnosti pod 10 rokov. Nevýhoda fotovoltaičných systémov je fakt, že jednotlivé panely zaberajú vždy veľké plochy a využívať tieto systémy na výrobu elektrickej energie je možné len cez deň za dobrých slnečných podmienok. Potrebu využívať elektrickú energiu v noci zabezpečuje dodatočný akumulčný systém, ktorý cez deň nahromadí potrebnú energiu, tým ale stúpa cena celého fotovoltaičného systému. Slnečnú energiu je možné zachytávať pomocou fotovoltaičných panelov a využívať v rôznych aplikáciách pre rozličné účely ako napríklad ohrev vody v bojleri, ohrievanie bazénu alebo dobíjanie elektromobilu.

V prípade využívania fotovoltaičných systémov pre dobíjanie elektromobilov je možnosť rozmiestniť panely na nevyužívané parkoviská a strechy nákupných centier. Keďže je ropa rovnako ako uhlie a zemný plyn neobnoviteľná surovina, ktorá sa tiež stáva nedostatkovou sú elektromobily vhodnou alternatívou podobne ako obnoviteľné zdroje energie. Kvôli zatiaľ vysokej cene a nepripravenosti krajín na príchod elektromobilov v rámci dobíjacích staníc, sú ešte stále vytláčané benzínovými prípadne hybridnými automobilmi, ktoré však znečisťujú planétu a pre ich prevádzku je potrebná ťažba ropy.

Výstavbou malých fotovoltaičných elektrární či už na parkoviskách alebo strechách budov sa môže zaistiť ekologická výroba elektrickej energie pre dobíjanie takýchto elektromobilov a doceliť tak menšieho znečisťovania ovzdušia. Aj keď je zatiaľ ešte ľudstvo pohodlné a elektromobily nie sú tak veľmi rozšírené, nedostatok ropy a ekologické problémy sú na ich strane a ďalšie roky ich bude na cestách len pribúdať. Inštaláciou malých fotovoltaičných elektrární alebo iných obnoviteľných zdrojov elektrickej energie sa teda môže svet pripraviť na ich príchod a zabezpečiť tak potrebnú infraštruktúru dobíjacích staníc.

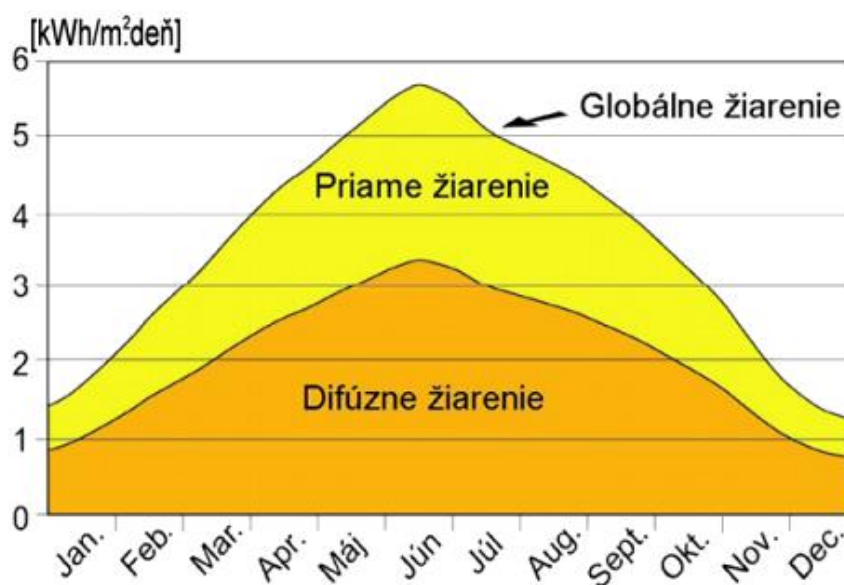
2. SLNEČNÁ ENERGIA

Takmer všetka energia, ktorú na Zemi máme, pochádza zo slnečného žiarenia. Slnečné žiarenie patrí medzi najčistejšie a najdostupnejšie zdroje energie na Zemi. Slnko je zdrojom žiarivej energie v celom rozsahu spektra od najmenších vlnových dĺžok röntgenového a ultrafialového žiarenia, až po metrové dĺžky rádiového žiarenia. Slnko je guľa žeravého plazmatu, ktorá neustále produkuje ohromné množstvo energie. Približne polovica žiarivého toku Slnka je pohltaná zemským povrchom a následne je vyžiarená vo forme IR žiarenia do vesmíru. Veľká časť energie je spotrebovaná k odpareniu vody v oceánoch [1].

2.1 Slnečné žiarenie

Slnečná energia dopadá na zemský povrch vo forme slnečného žiarenia, ktoré je primárnou vstupnou energiou vo fotovoltaike. Jeho intenzita, zloženie a doba trvania má zásadný vplyv na celkovú účinnosť fotovoltaického systému. Solárna energia je svojou povahou rozptýlená, teda málo koncentrovaná a jej dostupnosť je závislá na počasi a ročnom období, no je dostupná a využiteľná prakticky všade. Hodnota slnečnej konštanty približne $I_0 = 1360 \text{ W.m}^{-2}$ vyjadruje teoretické množstvo energie dopadajúcej za jednotku času na jednotkovú plochu mimo zemskú atmosféru. Pri priechode žiarenia cez atmosféru sa táto hodnota znižuje. V skutočnosti sa hodnota slnečnej konštanty pohybuje v priemere okolo 1000 W.m^{-2} .

Slnečné žiarenie môžeme rozdeliť na priame, rozptýlené (difúzne) a odrazené od zemského povrchu alebo iných objektov. Pri získavaní energie pomocou slnečného žiarenia má najväčší podiel priame a difúzne žiarenie, ktoré sa počas roka mení.



Obr. 2.1 Podiel priameho a difúzneho žiarenia [3]

Pri jasnej a bezmračnej oblohe dopadá najväčšia časť slnečného žiarenia na Zem bez zmeny smeru. Toto žiarenie sa nazýva priame žiarenie. Ide o žiarenie dopadajúce kolmo na plochu fotovoltaických panelov, ktoré je možné koncentrovať zrkadlami alebo šošovkami.

Pri difúznom žiarení ide o rozptýlené svetlo v atmosfére odrazom o molekuly plynov, prachu a mrakov. Intenzita difúzneho žiarenia rastie so súčiniteľom znečistenia. Ku difúznemu slnečnému žiareniu patrí taktiež priame slnečné žiarenie, ktoré sa odrazí od zemského povrchu alebo okolitých objektov. Súčet intenzity priameho a intenzity difúzneho slnečného žiarenia na zemskom povrchu sa nazýva globálne slnečné žiarenie.

Tab. 2.1 Špecifické výkony žiarivej energie a podiel difúzneho žiarenia [6]

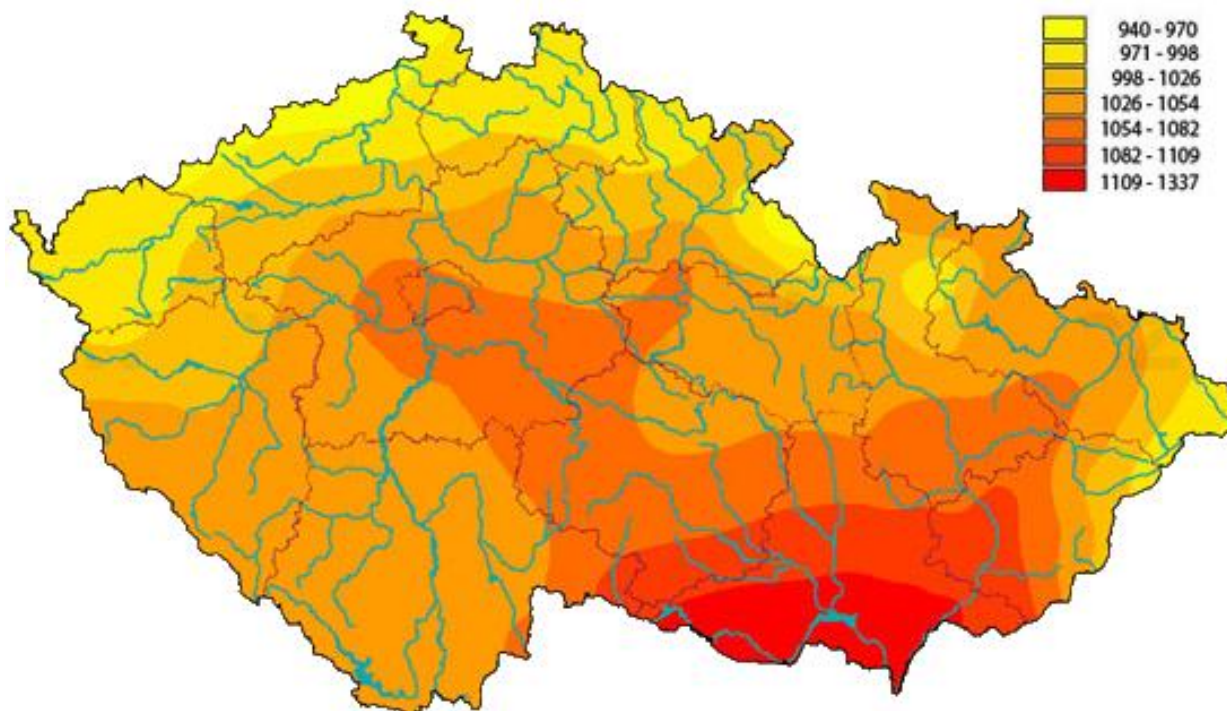
Ročné obdobie a typ počasia	Žiarenie (W.m^{-2})	Difúzny podiel (%)
Modrá obloha	800 – 1000	10
Zahmlená obloha	600 – 900	až 50
Zahmlený jesenný deň	100 -300	100
Zamračený zimný deň	50	100
Celoročný priemer	600	50 až 60

Monokryštalické a polykryštalické fotovoltaické panely potrebujú k dosiahnutiu maximálnej vyťaženia prevažne priame žiarenie, teda priame slnečné svetlo. Tenkovrstvové fotovoltaické panely vyrobené na báze amorfného kremíku, dokážu dobre využívať aj difúzne žiarenie a preto v celoročnom súhrne vyrobí tieto tenkovrstvové panely viac energie (asi o 10 %) než panely z monokryštalických alebo polykryštalických kremíkových článkov [1], [2], [3].

2.2 Podmienky slnečného žiarenia v ČR

Napriek tomu že Česká republika leží na severnej pologuli, kde z hľadiska slnečnej energie nie sú také podmienky ako v rovníkových oblastiach, aj tu je možné vyrábať elektrickú energiu premenou zo slnečného žiarenia. Celkový ročný podiel dopadajúcej slnečnej energie ovplyvňuje hlavne zemepisná poloha, orientácia fotovoltaického systému vzhľadom k slnku, celková doba slnečného svitu, nadmorská výška a v neposlednej rade aj čistota ovzdušia.

Podmienky pre využitie slnečnej energie sú na území Českej republiky pomerne dobré. Celková doba slnečného svitu (bez oblačnosti) je od 1 400 do 1 700 hodín za rok.



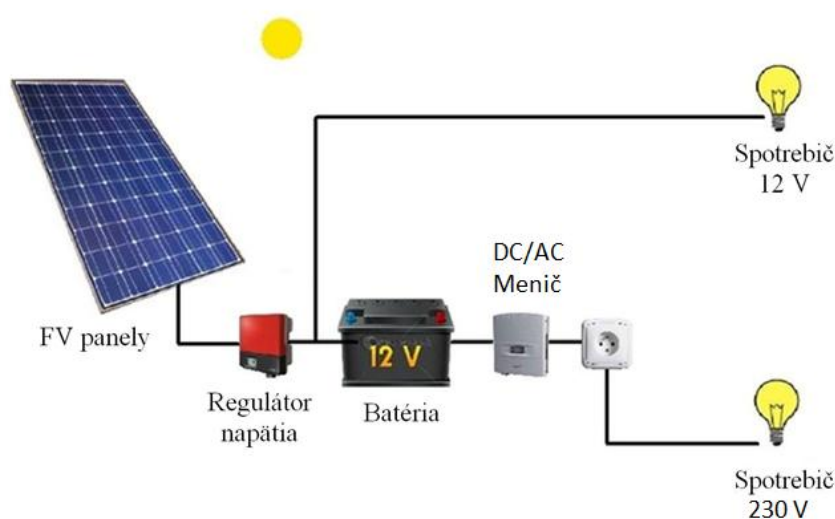
Obr. 2.2 Ročný podiel globálneho slnečného žiarenia v ČR [$W.m^{-2}$] [5]

Vhodné lokality pre využitie slnečnej energie najlepšie vystihuje mapa globálneho slnečného žiarenia, ktorá vychádza z dlhodobého meteorologického merania. V podmienkach Českej republiky dopadne na jeden meter štvorcový približne 950 – 1 340 kWh slnečnej energie z čoho najväčšia časť (asi 75 %) v letnom období. Pre výpočet energetickej bilancie fotovoltického systému a teda aj návratnosti investície sú tieto údaje o ročnom podiely globálneho slnečného žiarenia veľmi dôležité [5].

3. FOTOVOLTAICKÝ SYSTÉM

Zo slnečného žiarenia je možné vyrábať priamo elektrickú energiu pomocou fotovoltaického systému. Takýto systém je zložený zo solárnych panelov, riadiacej elektroniky (regulátor, menič), vlastnej akumulácie a následne napojený na spotrebič popri prípade je systém napojený na distribučnú sústavu pre zdieľanie prebytku elektrickej energie alebo nedostatočného výkonu.

Táto kapitola sa bude bližšie zaoberať jednotlivými časťami takéhoto fotovoltaického systému pre predstavu znázorneného aj na Obr. 3.1 [16].



Obr. 3.1 Fotovoltaický systém [15]

Ide o systém pre malé aplikácie, ako je napríklad dobíjanie elektromobilu. Systém je s kategórie ostrovných (off – grid), čo znamená že je nezávislý na rozvodnej sieti. Na akumuláciu energie budú slúžiť batérie samotného elektromobilu. Pred samotným návrhom konkrétneho systému si teoreticky popíšeme funkcie jednotlivých častí, ktoré môže takýto systém obsahovať, ich princíp, vlastnosti a taktiež druhy.

3.1 Fotovoltaický článok

Fotovoltaický článok je základným prvkom vo fotovoltaike. Jedná sa o tenký plátok či už z monokryštalického alebo polykryštalického kremíka, ktorý je dotovaný ďalšími prvkami. Takýto článok je schopný premeniť dopadajúce slnečné žiarenie na tok elektrónov, teda elektrický prúd, prostredníctvom fotovoltaického javu [2].

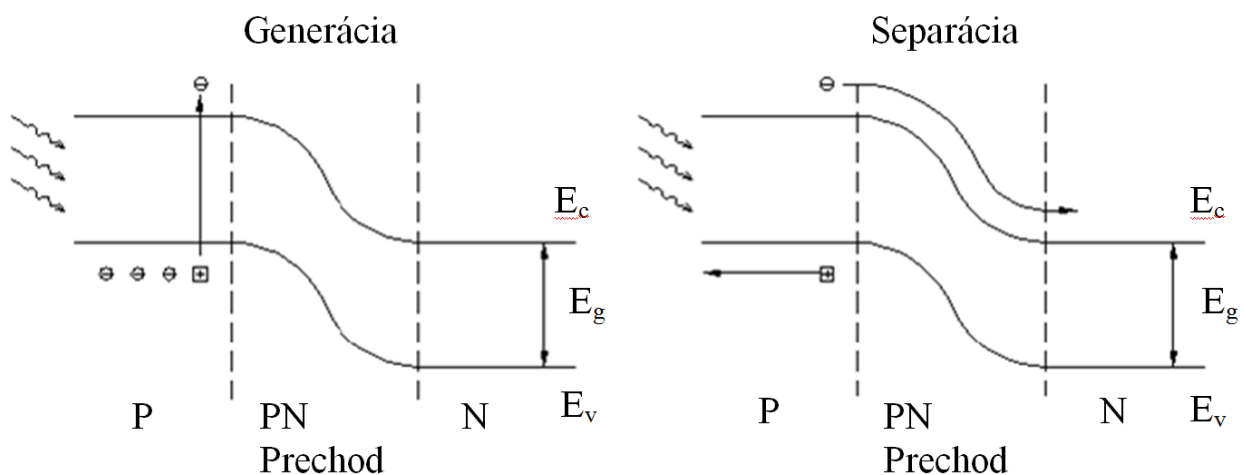
3.1.1 Princíp funkcie fotovoltaického článku

Základným princípom funkcie FV článku je teda fotovoltaický jav, pri ktorom sú elektróny uvoľňované z látky v dôsledku absorpcie elektromagnetického žiarenia látkou. Absorpcia je spôsobená interakciou svetla (fotóny) s časticami hmoty (elektrónmi a jadrami).

Pre funkciu FV článku je zásadné, aby fotón zo slnečného žiarenia uvoľnil v látke elektrón a vznikol tak pár elektrón - diera. V kovoch však dôjde k ich okamžitej rekombinácii, ktorej je potreba zabrániť a vzniknutý náboj teda odvieť z článku. Pre tento účel sa využívajú polovodiče, v ktorých sú elektróny a diery separované vnútorným elektrickým polom PN prechodu.

Tento PN prechod sa skladá z dvoch vrstiev kremíka a je orientovaný kolmo ku smeru dopadajúceho slnečného žiarenia. Dopadajúce slnečné žiarenie musí mať vyššiu energiu ako je šírka zakázaného pásma a tým vzniká medzi opačnými pólmi článku napätie. Vznik napätia je spôsobený dopadajúcim žiarením na polovodič typu N, ktorý sa vďaka prímеси atómov fosforu vyznačuje nadbytkom elektrónov. Pohltitím fotónu uvoľní tento polovodič voľný elektrón. Zároveň sa v polovodiči typu P, ktorý je obohatený atómami bóru (nedostatok elektrónov), generuje voľná diera a vzniká pár elektrón – diera [1], [7], [8], [9].

Na obrázku je znázornený základný princíp funkcie fotoelektrického javu.



Obr. 3.2 Princíp priamej premeny energie slnečného žiarenia na elektrickú energiu s využitím fotoelektrického javu [1]

Najjednoduchší fotovoltaický článok môžeme teda popísať ako veľkoplošnú diódou s jedným PN prechodom. Pri dopade slnečného žiarenia sa PN prechod aktivuje a pripojením záťaže medzi kontakty potom začne pretekať jednosmerný elektrický prúd, ktorý je priamo úmerný ploche fotovoltaického článku a intenzite dopadajúceho slnečného žiarenia, čiže množstvu dopadajúcich fotónov.

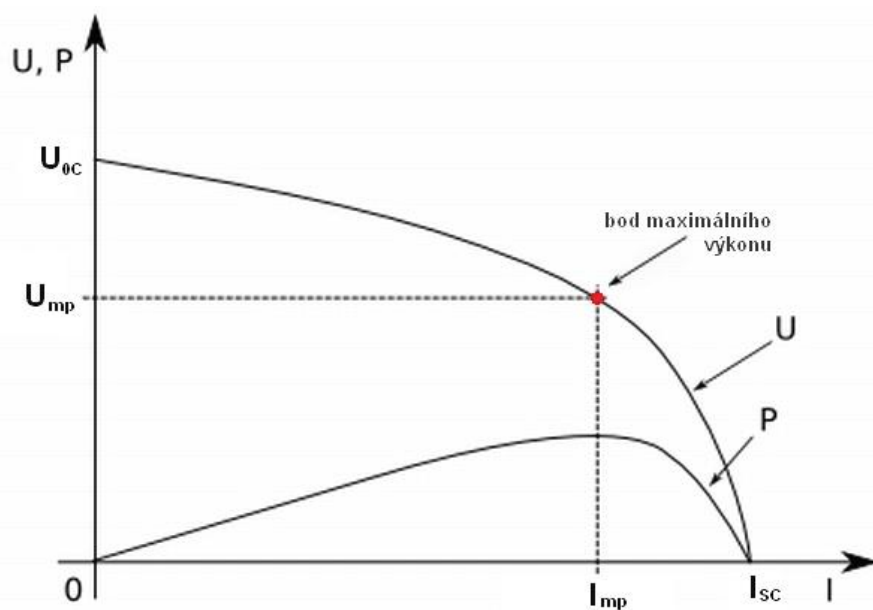
Napätie jedného fotovoltaického článku je približne 0,5 V. Pre ďalšie bežné využitie je toto napätie jedného článku príliš nízke a preto sa v rôznych typoch fotovoltaických systémov používa sériové alebo paralelné prepojenie článkov, ktorým získame potrebné napätie. Štandardne sú používané systémy pre menovité napätie 12 alebo 24 V. Tieto zostavy jednotlivých prepojených

článkov sú hermeticky uzatvorené v štruktúre krycích materiálov výsledného fotovoltaického panelu, ktorý musí zaisťovať dostatočnú mechanickú a klimatickú odolnosť [1], [7], [9].

3.1.2 Elektrické vlastnosti fotovoltaického článku

Voltampérová charakteristika (Obr. 3.3) je základnou informáciou o činnosti fotovoltaických článkov. Hraničné veličiny na voltampérovej charakteristike sú napätie naprázdno (U_{OC}) a prúd nakrátko (I_{SC}).

Napätie naprázdno je dané predovšetkým použitým polovodičom a predstavuje maximálne napätie na článku, ktorého možno dosiahnuť v prípade, že ku článku nie je pripojený žiadny spotrebič. Prúd nakrátko predstavuje maximálny (skratový) prúd, ktorý môže solárny článok pri danej intenzite slnečného žiarenia dodávať. Pri konštantnej intenzite slnečného žiarenia sa potom fotovoltaický článok správa ako zdroj konštantného prúdu. Z toho vyplýva, že u fotovoltaických článkov závisí predovšetkým na intenzite slnečného žiarenia [1], [10].



Obr. 3.3 Zaťažovacia a výkonová charakteristika FV článku [4]

Výkon solárneho článku sa určuje ako súčin prúdu a napätia. Pre každý článok existuje pracovný bod na charakteristike, v ktorom je výkon najväčší. Tento bod je označovaný ako bod maximálneho výkonu (MPP) o napätí U_{MP} a prúdu I_{MP} . Výkon určitého fotovoltaického článku (P) závisí na ožarení, na spektre svetla a na teplote článku. Pre výkon fotovoltaického článku môžeme teda napísať rovnicu

$$P = U_{MP} \cdot I_{MP} \quad (\text{W; V, A}) \quad (3.1)$$

Ďalšími charakteristickými prevádzkovými hodnotami fotovoltaického článku sú činiteľ plnenia (FF – Fill Factor) a účinnosť (η).

Činiteľ plnenia je charakterizovaný ako podiel maximálneho výkonu v bode MPP a maximálneho výkonu definovaného pomocou maximálneho napätia a maximálneho prúdu. Posudzujeme ním kvalitu fotovoltaického článku. V ideálnom prípade má hodnotu 1, no obvykle sa pohybuje od 0,7 do 0,9. Môžeme teda napísať rovnicu

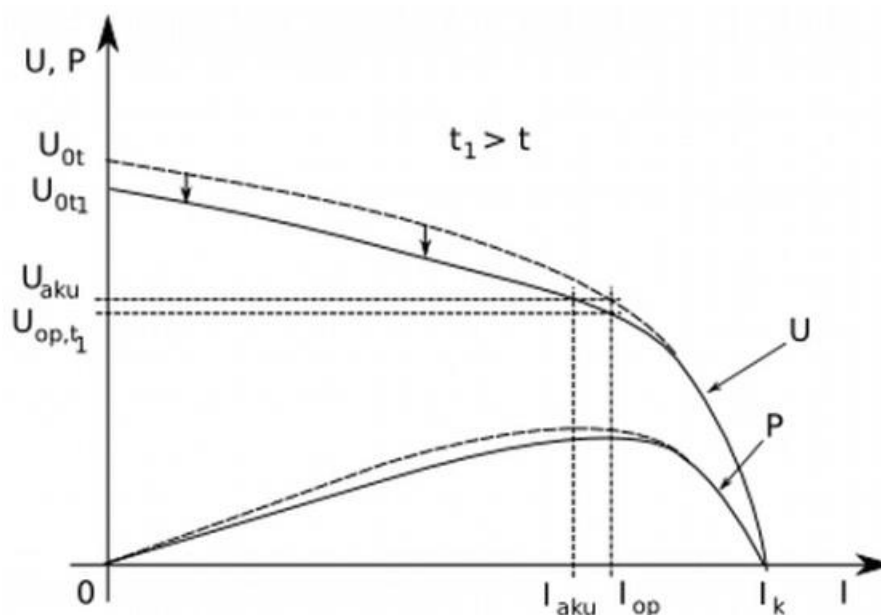
$$FF = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{U_{0C} \cdot I_{SC}} \quad (-; V, A, V, A) \quad (3.2)$$

Účinnosť FV článku je definovaná ako podiel maximálneho výkonu článku v bode MPP a výkonu dopadajúceho slnečného žiarenia (P_{in}). Pre účinnosť potom môžeme napísať rovnicu

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} \quad (-; V, A, W) \quad (3.3)$$

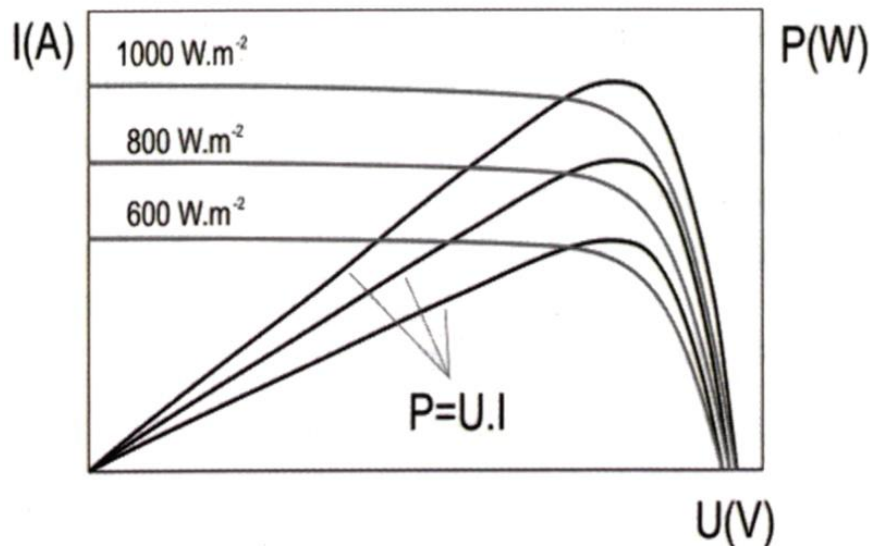
Tieto vyššie uvedené charakteristické veličiny sú vždy určované zo štandardných testovacích podmienok tzn. pri štandardnej testovacej teplote $STC = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, intenzite slnečného žiarenia $I = 1000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a definovanej vzduchovej hmoty (Air Mass) $AM = 1,5$. Na priebeh VA charakteristiky má vplyv predovšetkým hodnota intenzity slnečného žiarenia a teplota.

Vplyvom zvýšenej teploty sa zvyšuje difúzna hodnota minoritných nosičov náboja a zmenší sa energetická medzera polovodiča, čo vedie ku zvýšeniu fotoprúdu. Tento nárast je však zanedbateľný. Významnejší je v tomto prípade pokles napätia naprázdno U_{0C} . Pri dlhšie trvajúcej slnečnej intenzite alebo zhoršených podmienkach chladenia článku (bezvetrie), keď teplota vzduchu dosahuje $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dochádza ku zvýšeniu povrchovej teploty až na $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri takýchto vysokých teplotách dochádza ku zmene elektrických vlastností článku, ktoré vedú ku zníženiu zaťažovacej charakteristiky smerom k nižšiemu napätiu (Obr. 3.4). Pokles optimálneho napätie spôsobí zníženie dodávaného výkonu [1].



Obr. 3.4 Vplyv teploty na výkon FV článku [1]

Účinnosť fotovoltaiického článku ďalej závisí na intenzite dopadajúceho žiarenia a na veľkosti sériového a paralelného odporu. V prípade malého sériového odporu R_s účinnosť článku s rastúcou intenzitou žiarenia rastie, dosahuje maxima a až pri veľkých intenzitách žiarenia začína klesať. V prípade veľkého sériového odporu účinnosť článku s rastúcou intenzitou žiarenia klesá (tento efekt sa prejavuje hlavne u tenkovrstvých FV článkov). Môžeme priebehy závislosti účinnosti FV článkov na intenzite žiarenia vidieť na Obr. 3.5 [1].



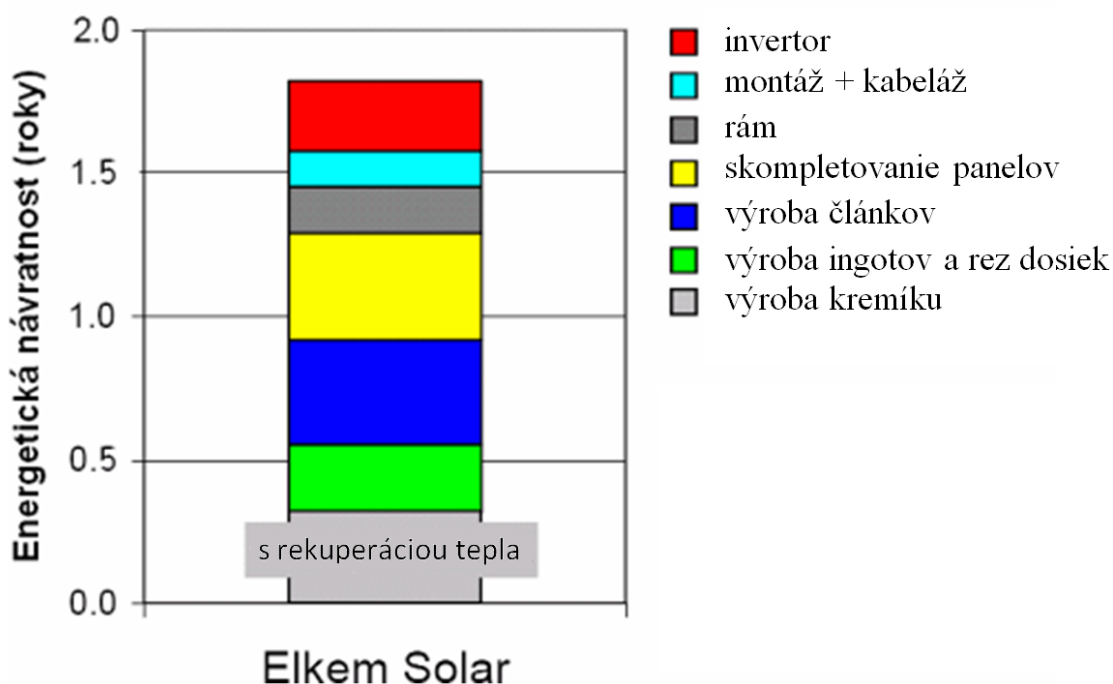
Obr. 3.5 Vplyv intenzity slnečného žiarenia na výkon FV článku [1]

3.1.3 Energetická návratnosť fotovoltaiického systému

Fotovoltaiické systémy neprodukujú žiadne odpady ani emisie pri výrobe elektrickej energie. Najskôr ich je však potrebné vyrobiť, nainštalovať a na konci životnosti opäť demontovať a spracovať. Pri všetkých týchto procesoch sa spotrebúvajú materiály a energia. Dôležitá je preto energetická návratnosť (EPBT – Energy PayBack Time) čiže doba, za ktorú systém vráti energiu, ktorá bola investovaná do jeho výroby na začiatku jeho životného cyklu, zahŕňajúc ťažbu a spracovanie materiálov a surovín. Ďalším parametrom umožňujúcim porovnávanie energie je energetická výnosnosť (EROEI – Energy Return on Energy Invested) čiže pomer získanej energie k energii vlozenej.

V prípade fotovoltaiických panelov z kryštallického kremíku môžeme rozlíšiť najvýznamnejšie položky fáz životného cyklu z hľadiska energetickej náročnosti. Ide hlavne o samotnú výrobu kremíku a jeho následne čistenie na solárny kremík, kryštalizácia ingotov, rezanie dosiek a výroba článkov. Ako menej významné energeticky náročné fázy sú napríklad ťažba surovín, montáž a demontáž systému, prevádzka a recyklácia.

Podiel jednotlivých položiek závisí okrem použitej metódy výroby solárneho kremíku a ingotov taktiež aj na konkrétnom výrobcovi. Výroba monokryštallických článkov je v porovnaní s polykryštallickými náročnejšia, majú však vyššiu účinnosť [17].



Obr. 3.6 Energetická návratnosť fotovoltického systému [17]

Doba energetickej návratnosti sa môže skracovať viacerými cestami ako napríklad

- znižovanie spotreby energie vo výrobe solárneho kremíku
- znižovanie spotreby kremíku
- zvyšovanie účinnosti článkov
- recyklácia na konci životnosti

Ekonomická návratnosť kompletného fotovoltického systému sa pri použití v súčasnosti dostupných metód môže skrátiť na menej než 3 roky aj v podmienkach Českej republiky. Pri životnosti 30 rokov tak môžu fotovoltické elektrárne s panelmi z kryštalicích kremíkových článkov dosiahnuť EROEI 15 a viac [17].

3.1.4 Typy fotovoltických článkov

Fotovoltické články sú vyrábané prevažne z kremíku, ktorý je vďaka veľmi dobrej dostupnosti a technológii jeho získavania vo vysokej čistote, spomedzi ostatných prvkov najpoužívanejší. V dnešnej dobe sa vyskytujú na našom trhu tri základne typy fotovoltických panelov, ktorých ceny sú v súčasnosti porovnateľné.

Jedná sa o monokryštalické, polykryštalické a amorfné kremíkové články, ktorých účinnosti sú prehľadne zobrazené v Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Účinnosti jednotlivých typov fotovoltaických článkov [4]

Typ fotovoltaického článku	Typická efektívita článku za bežných podmienok	Maximálna nameraná efektívita článku za bežných podmienok	Maximálna nameraná hodnota článku v laboratórií
	(%)	(%)	(%)
Monokryštalický kremík	12 – 16	22	25
Polykryštalický kremík	11 – 14	16	20
Amorfný kremík	5 – 7	10	13

- Kremíkové monokryštalické články

Základný a najstarší typ fotovoltaických článkov sú články z monokryštalického kremíku, ktoré sa vyrábajú z ingotov (tyčí) polykryštalického kremíku spravidla Czochralského metódou tzn. pomalým ťahaním zárodka kryštálu z taveniny čistého kremíku. Rozmer kryštálov je v rádo 10 cm.

Ingoty monokryštalického kremíku sa rozrežú špeciálnou drôtovou pílou, ktorá obsahuje niekoľko väčších paralelne napnutých drôtov. Tieto drôty s pomocou vhodného abrazíva režu naraz až niekoľko ingotov na plátky silné približne 0,25 až 0,35 mm. V poslednej dobe je možné vyrábať aj články o hrúbke iba 0,1 mm.

Súbežne s poklesom hrúbky dosiek sa podarilo zmenšiť aj odpad pri rezaní. Plátky sa zarovnávajú na rovnomernú hrúbku, vyleštia a na povrchu sa odleptajú, aby sa odstránili nepravidelnosti a nečistoty. Polovodičový PN prechod sa na doskách vytvorí pridaním fosforu, ktorý na povrchu vytvorí vrstvu s vodivosťou typu N.



Obr. 3.7 Kremíkové ingoty a kremíkový monokryštalický článok [12]

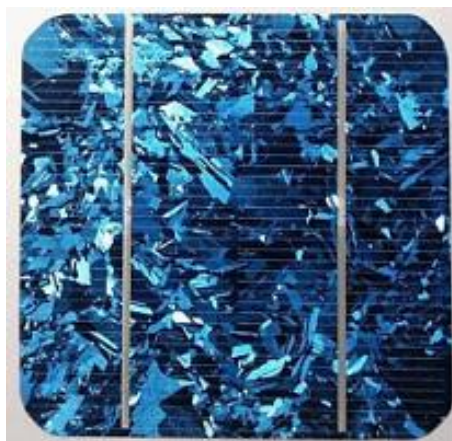
Z vyššie uvedeného postupu je vidieť, že je to veľmi energeticky a technicky náročná technológia, a nie je teda divu, že sa intenzívne hľadali cesty ako ju zlacniť. Jednou z možností je rovno ťahať z taveniny tenký monokryštalický pásik, ktorý sa dá rozrezať na solárne články ove-

Ľa ľahšie a z rovnakého množstva kremíku sa dá vyrobiť dvojnásobná plocha fotovoltaických článkov.

Účinnosť tohto typu článku je však o niečo menšia ako u článku vyrobeného rezaním z veľkých ingotov monokryštalického kremíku [10].

- Kremíkové polykryštalické články

Ide dnes o najbežnejší typ článkov. Tieto články sa vyrábajú odlievaním čistého kremíku do vhodných foriem a rezaním vytvorených ingotov na tenké plátky. Odlievania je podstatne jednoduchšia metóda než ťahanie monokryštálu a je možné taktiež pripraviť bloky so štvorcovým alebo obdĺžnikovým prierezom. Takto vyrobené články majú o niečo horšie elektrické vlastnosti (nižší prúd a účinnosť), pretože na styku jednotlivých kryštalických zŕn (ich rozmery sú rádovo v milimetroch) je väčší odpor.



Obr. 3.8 Kremíkový polykryštalický článok [13]

Zásadnou výhodou je ale to, že počiatočná surovina je lacnejšia, je možné ju vyrábať vo väčších rozmeroch a s obdĺžnikovým alebo štvorcovým tvarom. Taktiež veľkou výhodou týchto článkov je fakt, že dokážu oveľa efektívnejšie využívať difúzne slnečné žiarenie na rozdiel od monokryštalických článkov. Pri priamom žiarení je zasa účinnejší monokryštal, čo je zasa ich nevýhoda a taktiež, že účinnosť časom klesá rýchlejšie ako to je u monokryštálu.

Tento typ článku má zaujímavý vzhľad, viditeľné hranice kryštálov pripomínajú leštený kameň a práve preto sú obľúbenými medzi architektmi [10].

- Fotovoltaické články z amorfného kremíku

Články z amorfného kremíku majú oproti vyššie uvedeným typom výhodu v tom, že spotrebujú podstatne menej materiálu a vo výsledku sú teda pri veľkosériovej výrobe znateľne lacnejšie. Proces výroby je založený na rozklade vhodných zlúčenín kremíku vo vodíkovej atmosfére. Týmto spôsobom sa dajú pripraviť veľmi tenké vrstvy kremíku na sklenenej, nerezovej alebo plastovej podložke.

Takto nanosený vrstva kremíku je amorfná tzn. nemá pravidelnú kryštalickú štruktúru a obsahuje určité množstvo vodíku. Vďaka väčšej absorpcii slnečného žiarenia môže byť podstatne tenšia (už vrstva o hrúbke 1 μm pohltí 90 % slnečného žiarenia). Takto je možné pripraviť veľmi tenké a ohybné fotovoltaické články a moduly, ktoré sa dajú používať ako krycia fólia na strechy alebo našit' na oblečenie.

Tento materiál má však oproti kryštalickému kremíku ďaleko menej pravidelnú štruktúru s väčším množstvom porúch. Pretože niektoré atómy kremíku nedokážu vytvoriť väzbu, vznikajú tak nenasýtené väzby, ktoré vytvárajú energetické hladiny vnútri pseudozakázaného pásu a znižujú tak účinnosť článku. Zníženie hustoty nenasýtených väzieb je možné doceliť ich pasiváciou, najčastejšie vodíkom [10].

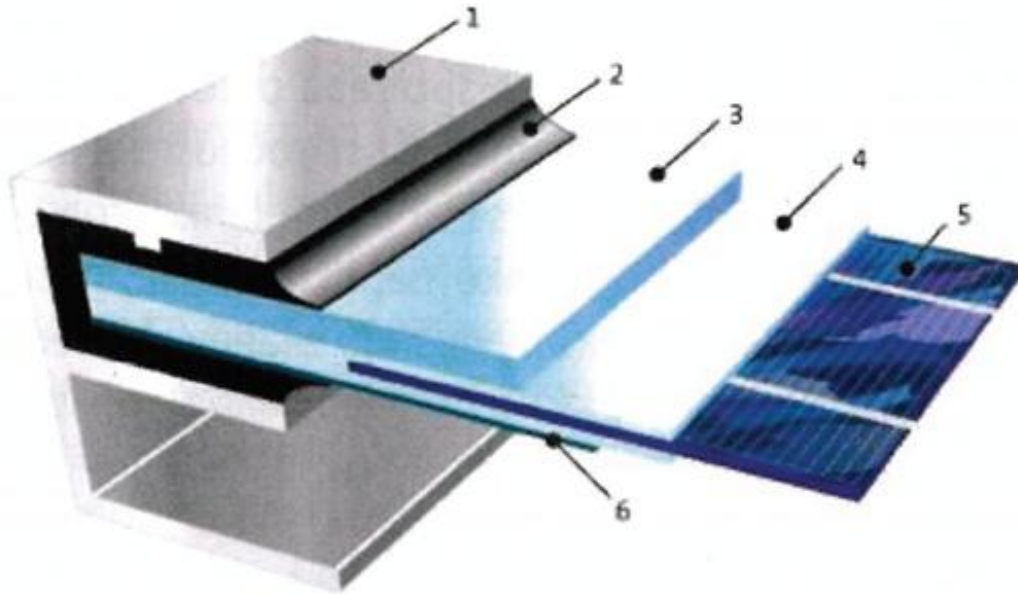
3.2 Fotovoltaický panel

Životnosť fotovoltaických panelov sa pohybuje v rozmedzí 25 – 35 rokov, najčastejšie sa udáva priemerná hodnota, tzn. 30 rokov. V priebehu času stráca fotovoltaický panel postupne na účinnosti, ale jedná sa iba o malú stratu (cca 0,3 % ročne), ktorá nijak výrazne neovplyvní výnosy z fotovoltaickej elektrárne. Fotovoltaický panel a taktiež celý systém je bezúdržbové zariadenie. Je však potrebná priebežná kontrola znečistenia panelov. Jedná sa hlavne o zakrytie plochy panela či už snehom alebo inými nečistotami ktoré výrazne znižujú aktuálny výnos celého systému [14].

3.2.1 Konštrukcia fotovoltaického panela

Počiatočným materiálom pre výrobu fotovoltaických článkov z kryštalického kremíku sú kremíkové doštičky (obvykle typu P) štvorcového tvaru o rozmeroch až 200 x 200 mm. Z jednej kremíkovej doštičky je vyrobený jeden fotovoltaický článok. Aby bola dosiahnutá vysoká životnosť, musia sa články chrániť pred vplyvom okolitého prostredia. Sériovým alebo aj paralelným elektrickým prepojením fotovoltaických článkov vzniká po ich zapuzdrení fotovoltaický panel. Príklad konštrukcie fotovoltaického článku z kryštalického kremíku je na Obr. 3.9.

Fotovoltaické články sa vkladajú do etylvinylacetátovej fólie (EVA). Predná strana článku tvorí vysoko priehľadné, špeciálne tvrdené sklo, aby boli články chránené pred vlhkosťou, vetrom, krúpami (do priemeru 25 mm) a ďalšími poveternostnými vplyvmi. Súčasne má sklo prepúšťať na článok čo najväčšie množstvo slnečného žiarenia. Zadná strana je uzatvorená viacvrstvou plastovou fóliou s vysokou pevnosťou alebo ďalšou sklenenou vrstvou. Moduly sú opatrené hliníkovým rámom pre uchytenie k nosným konštrukciám a na zadnej strane sú opatrené svorkovnicou s káblovými vývodmi a preklenovacími diódami. Fotovoltaický modul je kompaktný celok s predpísanými mechanickými, optickými a elektrickými vlastnosťami [1], [9].



1. Hliníkový rám, 2. Tesnenie, 3. Tvrdené sklo, 4. EVA, 5. Fotovoltaický článok, 6. Krycia fólia

Obr. 3.9 Štruktúra kremíkového fotovoltického modulu [1]

3.2.2 Možnosti zvyšovania účinnosti FV panelov

Pri danej účinnosti fotovoltických článkov sa môže energetický výnos zvýšiť spôsobmi, ktoré je možné aj navzájom kombinovať. Nevýhodou je, že tieto systémy je možné len výnimočne integrovať na budovy. Väčšinou je teda potrebné zaberat' voľné plochy.

- Obojstranné moduly

Pri inštalácii článku na priehľadnú podložku naňho dopadá svetlo z oboch strán. Aj keď na spodnú stranu dopadá len odrazené a difúzne žiarenie, uvádza sa zvýšenie produkcie až o 30 %.

- Natáčanie za slnkom

Pokiaľ na článok dopadajú lúče kolmo, zvýši sa vyťaženosť asi o 35 %. To zaisť dvojsoj polohovací systém, ktorý však zvýši tiež investičné náklady a vyžaduje aj údržbu a reinvestície.

- Koncentrátory

Pre koncentráciu žiarenie je možné použiť šošovky alebo rôzne korýtkové zrkadlá, najlacnejšie sú však ploché zrkadlá. Vďaka nim sa slnečné žiarenie zbiera z väčšej plochy a koncentruje na článok. Zrkadlo je vždy lacnejšie než fotovoltický článok. Koncentrátory obvykle vyžadujú aspoň jednoosý polohovací systém, ktorý udrží článok v ohnisku. Kvôli koncentrácii žiarenia je taktiež nutné použiť články, ktoré znesú vyššie teploty. Zvýšenie výkonu závisí na veľkosti koncentrátoru – bežne je to niekoľko desiatok percent [8].

3.3 Menič napätia

Fotovoltaické panely vyrábajú iba jednosmerný prúd, ktorý je nutné zmeniť na striedavý, aby bolo možné pripojiť elektráreň do elektrickej rozvodnej siete prípadne napájať spotrebiče na striedavý prúd. Zariadenie umožňujúce túto premenu sa nazýva menič alebo tzv. invertor.

Používané meniče sú taktiež schopné poskytovať informácie o vlastnej výrobe elektrickej energie. Menič musí dodávať čo najvyšší výkon s minimom strát. To môže byť zaistené odstránením transformátorov s následným znížením tepelných strát a využitím zariadenia pre sledovanie bodu maximálneho výkonu (MPP), ktoré zmenou vstupného odporu zaisťuje optimálny chod meniča.

Na životnosť meničov má vplyv mimo iné aj konštrukčné riešenie – chladenie prirodzenou cirkuláciou vzduchu bez použitia ventilátoru. Pre konkrétne použitie sa vyrábajú menič ostrovné a sieťové.

Ostrovný generuje vlastný kmitočet, ktorý odpovedá kmitočtu v rozvodnej sieti ($f = 50$ Hz). Tak je možné použiť v tejto sieti bežné elektrické spotrebiče striedavého prúdu. Sieťový menič synchronizuje svoj kmitočet a napätie s aktuálnymi parametrami rozvodnej siete.

Z hľadiska zapojenia vo fotovoltaickom systéme sa meniče diela na:

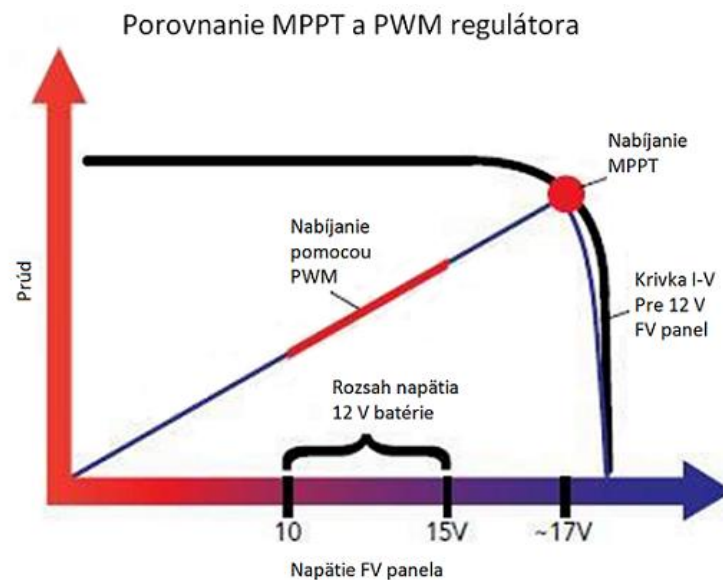
- modulové (menič je pripojený iba k jednému fotovoltickému modulu)
- stringové (každý menič je pripojený k niekoľkým fotovoltaickým panelom vzájomne prepojeným do série, prípadne aj paralelne)
- centrálné (pripojené na stovky až tisíce fotovoltaických panelov) [1].

3.4 Regulátor nabíjania

Regulátor sa stará o to, aby účinnosť nabíjania bola vždy najvyššia a aby sa batérie nabíjané vyšším napätím z panelov nepoškodili. Preto sa vždy zapájajú medzi fotovoltaické panely a batérie. Na výber sú dva typy regulátorov.

- Regulátor PWM (Pulse – width modulation) pracuje ako stabilizátor napätia, čiže znižuje napätie fotovoltaických panelov na také, ktoré je optimálne pre dobíjanie akumulátorov a dobíja pripojené akumulátory. Hneď ako sú akumulátory plno nabité, postará sa o to, aby boli odpojené od fotovoltaických panelov a nedochádzalo tak k prebíjaniu a tým pádom aj k znižovaniu životnosti. Kontrolujú taktiež aktuálny stav akumulátorov a udržiavajú ich v optimálne nabitom stave. Ak napätie klesne na paneloch pod hodnotu, ktorá je únosná pre nabíjanie akumulátorov opäť ich odpojí od fotovoltaických panelov.
- MPPT (Maximum power point tracking) regulátor má vstavaný vysokofrekvenčný DC - DC menič, ktorý zmení vstupné jednosmerné napätie na vysokofrekvenčné striedavé, toto napätie transformuje a opäť zmení na jednosmerné ale s inou veľkosťou pričom sa mení aj hodnota prúdu. Regulátor pracuje v podstate ako transformátor pre jednosmerné napätie

a prúd. Mení výstupné hodnoty napätia z fotovoltaických panelov na také, ktoré sú optimálne pre nabíjanie akumulátorov. V prípade ak regulátor zmenší výstupné napätie z panelov, automaticky zvýši prúd na väčšiu hodnotu, než je schopný dodať panel. Dochádza teda k optimalizácii napätia a prúdu, ktorým je nabíjaný akumulátor tak, aby bol využitý maximálny výkonový bod, čiže bod na voltampérovej charakteristike s maximálnym dosiahnutým výkonom.



Obr. 3.10 Porovnanie MPPT a PWM regulátora [11]

Zásadnou výhodou kvalitných MPPT regulátorov oproti klasickému PWM regulátoru, je možnosť využiť fotovoltaický panel z vysokým napätím, s tým, že ho veľmi efektívne spracuje výkon s týchto panelov aby nedochádzalo k vyšším stratám v systéme ako je znázornené na Obr. 3.10. Toto samozrejme PWM regulátor nie je schopný dosiahnuť [18], [19].

3.5 Akumulácia

Batéria (akumulátor) je zariadenie na opakované uchovanie elektrickej energie. Väčšina akumulátorov je založená na elektrochemickom princípe. Prúd prechádzajúci v elektrochemickom akumulátore vyvolá vratné chemické zmeny, ktoré sa prejavujú rozdielnym elektrochemickým potenciálom na elektródach. Množstvo energie v batériách je merané v ampérhodinách.

Okrem kapacity akumulátorov sa sledujú aj ďalšie parametre ako je hmotnosť, cena, rozmery, rýchlosť dobíjania, počet možných hĺbkových dobíjajúcich cyklov, samovybíjanie a mnohé ďalšie. U elektromobilov a teda aj ostrovných fotovoltaických systémoch budeme hovoriť o tzv. trakčných batériách. Oproti klasickým štartovacím batériám sú trakčné batérie navrhnuté na hĺbkové vybitie a oveľa menej podliehajú opotrebeniu elektródy, ktoré nie sú schopné dodať veľký prúd, ako štartovacie batérie, ale vydržia časté a hlboké vybíjanie [20], [21].

3.5.1 Olovené akumulátory

Vo fotovoltaických systémoch sa používajú predovšetkým údržbové a bezúdržbové olovené akumulátory. Ide o bezkonkurenčne najrozšírenejší typ batérií používané v ostrovných systémoch. Hlavnou výhodou týchto akumulátorov je ich pomerne nízka cena a rokmi overená technológia. Sú teda výhodné pre malé systémy, pri ktorých je hlavnou podmienkou celková obstarávacia cena. Podľa údržby sa ďalej delia na údržbové so zaplavenými elektródami a bezúdržbové riadené ventilom.

- Údržbové so zaplavenými elektródami

Údržbový akumulátor sa vyznačuje tým, že je opatrený zátkami pre doplňovanie elektrolytu a je konštruovaný tak, aby plyny vzniknuté pri elektrolyze (vodík a kyslík) mohli unikať von z akumulátora. U tohto typu akumulátora je elektrolyt tvorený koncentrovanou kyselinou sírovou, ktorá je zriedená vodou. Dochádza k prirodzenému odparovaniu vody z elektrolytu a tiež k rozkladu vody pri elektrolyze, ktorá v akumulátore prebieha a pri ktorej sa voda rozkladá na kyslík a vodík. Tak dochádza postupne k úbytku množstva elektrolytu, ktoré sa musí kontrolovať ak poklesne pod určitú hodnotu. V prípade ak nastane takýto stav, je potrebné zvýšiť hladinu elektrolytu doliatím destilovanej vody do akumulátora. Tieto akumulátory je na viac vhodné kvôli výparom pri rozklade vody skladovať vo vetraných priestoroch.

Keďže ide o technológiu, ktorá sa vyvíja už radu rokov, dnešné údržbové akumulátory nie sú na údržbu náročné ako to bývalo kedysi a hladina elektrolytu klesá oveľa menej a až po rokoch používania [41].

- Bezúdržbové riadené ventilom

Tento typ akumulátoru má vstavaný špeciálny ventil, ktorý je určený k regulácii pracovného tlaku vnútri akumulátora a súčasne sa jedná o bezpečnostný pretlakový ventil. Konštrukcia tohto ventilu je taká, že nie je umožnený prienik vzduchu z vonka do akumulátora. Vďaka uzatvorenej konštrukcii je vylúčený únik elektrolytu pri naklonení alebo prevrhnutí akumulátora.

AGM akumulátory (Absorbed Glass Mat) – nejedná sa o gélový akumulátor. Tieto akumulátory obsahujú tekutý elektrolyt, ten je nasiakli do špeciálnej sklenej látky. Mriežky akumulátora sú tesne u seba ale medzi nimi je vždy vrstva sklenej látky do ktorej je nasiaknutý elektrolyt. Výhodou AGM akumulátorov je schopnosť dodať veľký výkon pri nízkych teplotách, vysoká odolnosť voči otrasom, lepšie znášanie hlbokého vybíjania, veľmi pomalé samovybíjanie, vyššia kapacita pri rovnakej hmotnosti a úplná bezúdržbovosť.

Gélové akumulátory – vnútorná konštrukcia akumulátora je v podstate rovnaká ako u normálneho údržbového s tým rozdielom, že elektrolyt je v akumulátory vo forme hustého gélu. Elektrolyt je teda viazaný v kremičitej suspenzii. Podobne ako u AGM akumulátorov ani u gélových nehrozí únik elektrolytu z akumulátora pri jeho naklonení alebo prevrhnutí. Výhodou gélového akumulátora je na rozdiel od AGM typov menšia citlivosť na vyššie pracovné teploty. Oproti klasickým akumulátorom majú rovnaké výhody aké sú spomínané u AGM akumulátorov [41].

3.5.2 Lithium–železo–fosfátové akumulátory

Ďalšou možnosťou je použitie drahších LiFePO_4 akumulátorov, ktoré majú oproti oloveným batériám vyššiu životnosť, menšie rozmery, hmotnosť a ďalšiu radu výhod. Ide o akumulátory postavené na lithium železo fosfáte. Toto označenie získali vďaka katóde vyrobenej z tohto materiálu. Anóda je ako u ostatných li-ion batérií vyrobená z uhlíka. Medzi ich hlavné prednosti oproti lithium iontovým akumulátorom patrí predovšetkým schopnosť dodať vyšší prúd a to, že pri extrémnych podmienkach nevybuchujú. Na druhú stranu majú o niečo nižšie napätie a taktiež nižšiu hustotu energie. Najväčšou výhodou LiFePO_4 akumulátorov je ich životnosť, ktorá však závisí na hĺbke vybíjania. Životnosť týchto akumulátorov sa pohybuje medzi 4 000 – 8 000 nabíjajúcich cyklov, čo znamená že v ideálnom prípade dokážu pracovať až 20 rokov. Táto životnosť je však pri ideálnych podmienkach, preto sa v reálnych zapojeniach uvažuje so životnosťou 10 – 15 rokov. Najzaujímavejšie je, že tieto akumulátory starnú lineárne. Zatiaľ čo olovené akumulátory sa po prekročení určitého počtu cyklov rýchle znižujú, LiFePO_4 starnú pomalšie a rovnomerne.

Nevýhodou týchto akumulátorov je, že články sú citlivé na prebíjanie a preto musí byť súčasne s použitím LiFePO_4 riešené aj balansovanie článkov. Akumulátory sú na viac vybavené systémom pre monitorovanie úrovni napätí pre jednotlivé články batérií tzv. BMS – Battery Management System, ktorý je schopný pri prekročení napätia na článku akumulátory odpojiť od napájania a zamedziť tak nežiaducemu prebíjaniu. Pri nabíjaní alebo vybíjaní akumulátorov sa každý článok systému správa inak, preto je nutné sa riadiť vždy tým najviac nabitým alebo vybitým. Aby nebol akumuláčny systém odpojený pri prekročení maximálnej povolenej hodnoty napätia na článku od nabíjania a tým pádom by sa nevyužila energia na nabitie zvyšných článkov, ktoré ešte nie sú plnohodnotne nabité, používa sa balansovanie systému.

Sú dva typy balansovania a obidva sa starajú o rovnaké napätie na všetkých článkoch. Môže ísť o pasívne balansovanie, kde sa elektronicky pozoruje napätie článkov a ako náhle by nastalo prebíjanie, nabíjací prúd sa znižuje v odporoch. Zatiaľ čo aktívne balansovanie, ktoré je energetickejšie efektívnejšie porovnáva nabitie jednotlivých článkov v batérii a energiu tých, ktoré sú viac nabité predáva článkom menej nabitým. Nevýhodou je taktiež cena týchto akumulátorov, ktorá je kvôli potrebnej prídavnej elektronike vyššia. Je preto potrebné pri takýchto malých ostrovných typoch fotovoltaických elektrární premyslieť, či je použitie balansovania naozaj nutné. V prípade ak by nedochádzalo k veľkému balansovaniu medzi článkami a stačilo by napríklad raz za mesiac vyrovnať hladinu napätia článkov je ekonomickejšie pri systémoch, v ktorých sa kladie dôraz na celkovú cenu systému vhodné neuvažovať balansovanie [20], [21].

4. MOŽNOSTI DNEŠNÝCH MALÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁRNÍ

V predchádzajúcej kapitole je teoreticky popísaný fotovoltaický systém a jeho jednotlivé komponenty. Tieto systémy sa vo svete vyskytujú čoraz viac a slúžia na rôzne účely. Môže ísť o dobíjanie elektromobilu alebo elektrobicyklov no taktiež sa dá používať na ohrev vody v bazéne, verejné osvetlenie alebo aj napájanie celého domu prípadne niektorých energeticky významných spotrebičov v dome. V tejto kapitole si predstavíme niektoré aplikácie fotovoltaických systémov zo sveta určené na rôzne druhy využitia elektrickej energie.

4.1 Fotovoltaické parkoviská

Áut jazdiacich na elektrickú energiu každým rokom na cestách pribúda. Väčšina automobiliek plánuje v nasledujúcich rokoch výrobu elektromobilov a je teda otázkou času, kedy sa začnú zvyšovať nároky na zabezpečenosť elektrickej energie na parkoviskách a dobíjacie stanice v mestách, ktoré by slúžili ako klasické benzínové stanice pre súčasné autá.

Elektromobily v súvislosti so spotrebou elektrickej energie čelia už v súčasnosti kritike, že ich palivo vzniká v tepelných elektrárnach, ktoré vypúšťajú do ovzdušia škodlivé látky. Riešenie tohto problému by mohli vyriešiť parkoviská a dobíjacie stanice napájané z obnoviteľných zdrojov energie. Konkrétne pri fotovoltaike je možné využiť energetický potenciál z rozsiahlych plôch parkovísk a striech supermarketov, čím by sa súčasne pozemok viacnásobne využil a ušetrilo by sa tak zaberanie iného pozemku na výstavbu fotovoltaických elektrární. Na viac sú fotovoltaické systémy pre parkoviská ideálnym riešením, pretože zabráňujú prehrievaniu áut v lete a tiež chránia autá a osoby pred snehom, krúpami a ľadovými cencúľmi.

Fotovoltaické parkoviská si v dnešnej dobe zriaďujú automobilky, veľké firmy, letiská, nemocnice, školy ale aj domácnosti. V prípade automobiliek a veľkých firiem je zámerom podporovať svojich zamestnancov a tiež zákazníkov v kúpe ekologickejšieho vozidla do práce a ponúkajú im bezplatnú možnosť dobíjania svojich áut počas pracovnej doby. Týchto fotovoltaických systémov pre dobíjanie elektromobilov je po celom svete celkom veľa, preto si zopár týchto aplikácií zo sveta pre predstavu ako vyzerajú a aké majú parametre a využitie predstavíme [22].

4.1.1 NREL Solar Tree

Prototyp solárneho stromu vyvinulo laboratórium pre národnú obnoviteľnú energiu (NREL - National Renewable Energy Laboratory) v štáte Colorado v USA. Strom je určený pre parkovanie dvoch automobilov a ide o pilotný projekt zariadenia, ktoré obsahuje dva integrované výstupy striedavého prúdu (zásuvky) pre dobíjanie hybridného automobilu.



Obr. 4.1 Solárny strom NREL [22]

Výkon zariadenia je udávaný 3 kW pre striedavý prúd a 3,5 kW pre jednosmerný prúd. Solárne panely sú použité 16 KC-200GT a 4 KC-88CGS, menič Aurora 3 600 W a výstupy sú dva na 120 V a jeden na 240 V. Vedecký pracovník laboratória tieto stromy využívajú k dobíjaniu automobilov počas pracovnej doby. Ročná výroba elektrickej energie tohto solárneho stromu je 1 520 kWh [22].

4.1.2 Parkovisko Kyocera Solar Grove

Parkovisko s 25 solárnymi stromami nájdete tiež v San Diegu (Kalifornia, USA) na parkovacej ploche u medzinárodnej centrály spoločnosti Kyocera. Celá koncepcia parkoviska vychádza z trendov udržateľného rozvoja a spojuje v sebe architektúru s funkčnými obnoviteľnými zdrojmi energie. Tento princíp má opäť za cieľ zvýšiť úžitkovú hodnotu realizácie a zaistiť výrobu elektrickej energie bez emisií CO₂.

Solárne parkovisko je zložené z 1 400 fotovoltaických panelov Kyocera KC 187GS a 200 priesvitných panelov KC88CGS, ktoré prepúšťajú k zaparkovaným vozidlám denné svetlo a zlepšujú vzhľad parkoviska z nadhľadu aj podhľadu. Celkový počet parkovacích staníc je 186 o spoločnom výkone 235 kW pre striedavý prúd a 279 kW pre jednosmerný prúd. Meniče sú použité 2 typu SMA American Sunny Central SC125U. Fotovoltaické panely sú pripevnené v špeciálnych rámoch z pozinkovanej oceli s integrovaným osvetlením a betónovým podkladom.



Obr. 4.2 Kyocera Solar Grove [22]

Tiež obsahujú systém kam je vedená odtekajúca dažďová voda, ktorá je zbieraná žľabmi po obvode panelov. V tomto systéme prechádza organickým a anorganickým filtračným materiálom a na konci vystupuje čistá voda vhodná pre ďalšie použitie. Osvetlenie zabudované v paneloch presvetľuje priestory pod panelmi parkoviska počas noci pre väčšiu bezpečnosť. Celková ročná výroba elektrickej energie z tohto parkoviska je 431 000 kWh [22].

4.1.3 Parkovisko spoločnosti Dell

Solárne parkovisko bolo vybudované taktiež u centrály spoločnosti Dell v meste Round Rock v americkom Texase, ktoré je umiestnené tak, aby solárne stromy nenásilne dotvárali okolie a pritom boli viditeľné z neďalekej diaľnice. Solárne parkovisko je jedným z krokov spoločnosti ku splneniu dlhodobých záväzkov udržateľného rozvoja a zahrňuje tiež dve stanice pre dobíjanie vozidiel elektrinou vyrobenou fotovoltaickými panelmi.

Na parkoviskách je nainštalovaných 11 solárnych stromov, ktoré dohromady predstavujú výkon 110,62 kW a vyrobia ročne približne 131 000 kWh energie. Inštalácia zahrňuje 516 BP panelov a poskytuje tiež pre 56 vozidiel [22].



Obr. 4.3 Parkovisko spoločnosti Dell [22]

4.1.4 Eco Park

Spoločnosť H2Eco, sídliaca v britskom meste Poole, predstavila svoj nový produkt v roku 2012. Ide o krycie parkovisko Eco Park pre elektromobily, v ktorom strechu elegantnej stavby riešia solárne panely, vďaka ktorým môžu elektromobily jazdiť skutočne ekologicky.



Obr. 4.4 Eco Park [23]

Zariadenie Eco Park spojuje architektonickú štruktúru krytého parkovania s vysoko efektívnym solárnym systémom s výkonom 1,8 kW. Podľa výrobcu má jeho výrobok potenciál vygenerovať 1 900 kWh elektrickej energie za rok, teda dostatok elektriny pre jazdu do vzdialenosti asi 8 000 kilometrov elektromobilom Nissan Leaf.

V porovnaní napríklad s automobilom na spaľovací motor, ktorý má priemernú spotrebu 6 litrov na 100 kilometrov a pri súčasných cenách benzínu, tak majiteľ Nissanu Leaf a solárneho systému Eco Park môže ušetriť čiastku okolo 17 000 Kč ročne [23].

4.2 Smartflowers POP

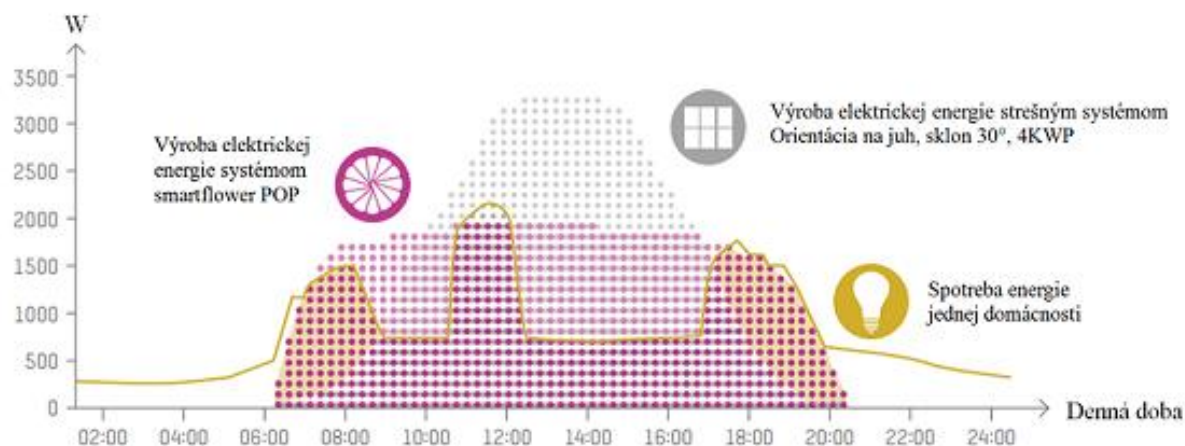
Smartflower POP je prvý solárny systém All-in-One na svete. Ide o systém od rakúskej firmy, ktorý funguje oproti iným fotovoltaickým systémom umiestneným na streche až o 40 % účinnejšie vďaka možnosti natáčaniu celého systému za slnkom podľa potreby celý deň.



V momente ako ráno vyjde slnko, smartflower POP sa automaticky rozvinie a natočí svoj vejárovitý modul, pozostávajúci z 12 monokryštalických panelov. Modul je astronomicky riadený a pohyblivý v dvoch osách. To zabezpečuje optimálnu orientáciu vzhľadom ku slnku (presný uhol 90°) v priebehu celého dňa, aj keď je slnko v zime nízko. Výhodou teda oproti strešným systémom je skutočnosť, že smartflower POP je schopný oveľa skorej produkovať presne také množstvo energie, ktoré je práve potrebné. Udržiava napájanie rovnomerne a využíva aj energiu posledných slnečných lúčov dostatočne efektívne a tým pokryje spotrebu elektrickej energie v podvečerných hodinách. Po západe slnka sa sám automaticky poskladá do svojej bezpečnostnej polohy a samočinne sa očistí.

Obr. 4.5 Smartflower POP [24]

Vďaka konštrukcii sú moduly smartflower POP vždy dobre vetrané a nehromadí sa na nich horúci vzduch, ktorý by zmenšoval účinnosť systému. Systém je schopný dodávať, vďaka navzájom perfektne zladeným komponentom a samotnej konštrukcii priemerne asi 4 000 kWh za rok, čo stačí na pokrytie kompletnej priemernej spotreby elektrickej energie jednej domácnosti v strednej Európe [24].



Obr. 4.6 Porovnanie výroby strešného systému a Smartflower POP [24]

4.3 uTree

Jedná sa o takzvané solárne stromy, ktoré slúžia ako verejné osvetlenie v meste. Obsahujú modulárnu konštrukciu a elektromotor, ktorý zabezpečuje plynulé otáčanie stromu za slnkom.



Obr. 4.7 uTrees [25]

Týmto sa docieli vždy optimálne nastavenie solárnych panelov voči slnečnému žiareniu. Vďaka ich jednoduchšej konštrukcii môžu byť inštalované prakticky kdekoľvek.

Každý strom obsahuje 77 solárnych buniek, ktoré generujú výkon 22,5 W za deň. Celý strom strednej veľkosti vyrobí teda za deň až 13,86 kWh. Tieto stromy na viac obsahujú Wi – Fi anténu, úsporné LED osvetlenie a taktiež svojím vzhľadom a organickým dizajnom slúžia ako prírodné a okrasné prvky. Na viac neprodukujú žiadne škodli-

vé CO₂ a šetria peniaze na verejné osvetlenie a semafore v meste [25].

5. NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

V tejto kapitole je riešený návrh ostrovného fotovoltaického systému pre dobíjanie elektromobilu. Návrh slúži ako porovnanie jednotlivých možností voľby komponentov pre systém a taktiež možnosti jeho realizácie. V rámci diplomovej práce je následne realizovaný systém dobíjania elektromobilu, ktorý vychádza z tohto teoretického návrhu a obsahuje tie najvhodnejšie komponenty pre správnosť funkcie systému.

Niektoré časti v nasledujúcej kapitole sú čerpané z predchádzajúceho teoretického popisu z 3. kapitoly pre lepšie vysvetlenie vlastností a funkcií niektorých prvkov systému.

5.1 Možnosti komponentov systému

Každý fotovoltaický systém pozostáva z rovnakých komponentov, ktoré slúžia pre jeho správnu funkciu, efektívnu prevádzku a bezpečnosť. V závislosti na spôsobe prevádzky a druhu využitia systému sa tieto komponenty môžu svojimi parametrami líšiť a taktiež nemusia byť vždy použité úplne všetky. Preto je potrebné pristupovať ku každej realizácii fotovoltaickej elektrárne individuálne a premyslieť si rôzne možnosti riešenia.

V tejto kapitole sú riešené prvky fotovoltaického systému pre dobíjanie elektromobilu, ktorý následne môže slúžiť ako akumulčný prvok pre iné aplikácie. Prvky sú medzi sebou porovnávané a následne v samotnej realizácii systému vybrané tie najvhodnejšie pre systém dobíjania elektromobilu. Kapitola taktiež slúži ako jednoduchý návod na výber vhodných hlavných komponentov pre realizáciu ostrovného systému rôznych aplikácií.

5.1.1 Fotovoltaický panel

Fotovoltaický panel je hlavný prvok celého fotovoltaického systému, ktorý zabezpečuje premenu slnečnej energie na elektrickú a je teda dôležité zvoliť ten správny. Na trhu sú najrozšírenejšie technológie panelov na báze kremíku. Každá z nich má svoje výhody a taktiež aj nevýhody. Pre ich lepšiu interpretáciu bol prevedený prieskum trhu a následne vybraný zástupcovia jednotlivých technológií, ktoré sú zobrazené v Tab. 5.1 nižšie.

Prvý a hlavný rozdiel medzi jednotlivými fotovoltaickými panelmi je ich samotná účinnosť. Zatiaľ čo monokryštalické a polykryštalické dosahujú účinnosti nad 15 %, amorfné zasa iba takmer 7 %. Ďalšou nevýhodou amorfných panelov je potreba použitia dvojnásobného počtu panelov pri dosiahnutí rovnakého výkonu ako sa dá dosiahnuť mono a polykryštalickými, tým pádom aj dvojnásobnej plochy. Amorfné panely majú menšiu životnosť, keďže ide o zatiaľ novú technológiu.

Výhodou amorfného kremíku vďaka tenkovrstvej technológii je, že panely trpia iba polovičnou stratou výkonu pri vzraste teploty o 1 °C oproti ostatným. Taktiež dokážu spracovávať veľmi dobre difúzne slnečné žiarenie a pracovať pri nízkych hodnotách slnečnej intenzity. Túto vlastnosť majú taktiež polykryštalické panely a preto je výhodné v miestach kde počas roku prevažuje

difúzne slnečné žiarenie oproti priamemu, ako je napríklad Česká Republika, použiť práve tieto panely. Pri zohľadňovaní ceny za jeden Wp taktiež vychádzajú ako najlepšie voľby amorfný a polykryštalický panel. Pri uvažovaní použitia jednotlivých panelov je teda potrebné premyslieť si jednotlivé výhody a nevýhody a zvážiť tú správnu možnosť.

Tab. 5.1 Porovnanie jednotlivých typov fotovoltaických panelov [29], [30], [31]

Testovacia metóda	Parameter	Jednotka	Polykryštalický	Monokryštalický	Amorfný
			Yingli Solar YL255P-29b	Yingli Solar Panda YL255C-30b	SCHOTT Protect ASI 100
STC	P_{MPP}	(Wp)	255	255	100
	U_{MPP}	(V)	30,6	30,6	30,4
	I_{MPP}	(A)	8,32	8,33	3,29
	U_{0C}	(V)	38,7	38,3	40,9
	I_{SC}	(A)	8,88	8,85	3,93
	η	(%)	15,6	15,6	6,9
NOCT	P_{MPP}	(Wp)	184,7	185,2	78
	U_{MPP}	(V)	27,9	27,7	28,5
	I_{MPP}	(A)	6,63	6,68	-
	U_{0C}	(V)	35,7	35,2	37,3
	I_{SC}	(A)	7,19	7,13	3,14
	γ_{Pmpp}	(%/°C)	-0,45	-0,42	-0,2
	β_{Uoc}	(%/°C)	-0,33	-0,31	-0,33
	α_{Isc}	(%/°C)	0,06	0,04	0,08
	Rozmer	(mm x mm)	1650 x 990	1650 x 990	1308 x 1108
	Hmotnosť	(kg)	19,1	19,1	20,8
	Cena s DPH	(€)	207,01	229,59	56,1
	Cena za 1 Wp	(€/Wp)	0,812	0,9	0,561

Kde:

- STC – (Standard Testing Conditions) štandardné testovacie podmienky. Moduly sú testované pri štandardnej testovacej teplote $STC = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, intenzite slnečného žiarenia $I = 1000\text{ W.m}^{-2}$ a definovanej vzduchovej hmote (Air Mass) $AM = 1,5$.
- NOCT – (Normal Operating Cell Temperature) keďže STC sa nedokáže väčšinou dosiahnuť, slúži táto metóda k reálnejšiemu porovnaniu modulov. Moduly sú testované pri testovacej teplote $NOCT = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, intenzite slnečného žiarenia $I = 800\text{ W.m}^{-2}$, definovanej vzduchovej hmote (Air Mass) $AM = 1,5$ a priemernej rýchlosti prúdiaceho vzduchu 1 m.s^{-1} .
- γ_{Pmpp} , β_{Uoc} , α_{Isc} – teplotné stratové koeficienty [29].

5.1.2 Regulátor nabíjania

Vo fotovoltaických systémoch sú používané dva typy regulátorov nabíjania. Jedná sa o PWM (Pulse – width modulation) a MPPT (Maximum power point tracking) regulátor, ktorých funkcie a vlastnosti sú presnejšie popísané v kapitole 3.4. Regulátor sa zapája medzi fotovoltaické panely a akumulčný prvok systému (batérie). Rovnako ako fotovoltaický panel je aj regulátor nabíjania dôležitou súčasťou systému.

Prvý spomínaný PWM regulátor, ktorý je braný ako bežný typ regulátora, slúži na stabilizáciu napätia a dobíjanie akumulátorov. Kontroluje stav akumulátorov a udržuje ich nabité. V prípade, že sú akumulátory plno nabité, odpojí ich od panelov aby nedochádzalo k prebíjaniu a tým sa predlžuje ich životnosť. Ide o jednoduchý prístroj za pomerne malú obstarávaciu cenu.

Nevýhodou tohto typu regulátora je fakt, že pracuje iba s prúdmi, ktoré sú FV panely schopné dodávať. Ďalšou je obmedzenie v prípade, že je nízka intenzita slnečného žiarenia a FV panely nie sú schopné dosiahnuť také napätie, ktoré je k dobíjaniu akumulátorov potrebné. Účinnosť sa teda pohybuje okolo 80 %, čo je celkom malo pre fotovoltaický systém, v ktorom je účinnosť celého systému hlavnou vlastnosťou. Používa sa preto v prípade ak ide o malé fotovoltaické systémy, ktorých prioritou je nízka obstarávacía cena celkového systému aj na úkor efektívnosti systému. Taktiež v prípade ak je systém používaný len časť roka.



Obr. 5.1 Regulátory dobíjania: a) PWM, b) MPPT [32]

V prípade ak ide o celoročnú prevádzku systému (domové aplikácie), v ktorých je dôležitá funkčnosť a efektívnosť systému používa sa MPPT regulátor. Jeho výhodou je schopnosť starať sa aby fotovoltaické panely pracovali v bode svojho maximálneho výkonu. V prípade ak sa zmenší výstupné napätie z panelov, regulátor automaticky zvýši prúd na väčšiu hodnotu, než je panel schopný dodať. Touto schopnosťou optimalizovať napätie a prúd dosahuje MPPT regulátor oproti obyčajnému solárnemu regulátoru vyššiu účinnosť (až 95 %) a tým pádom je ale cena regulátora väčšia.

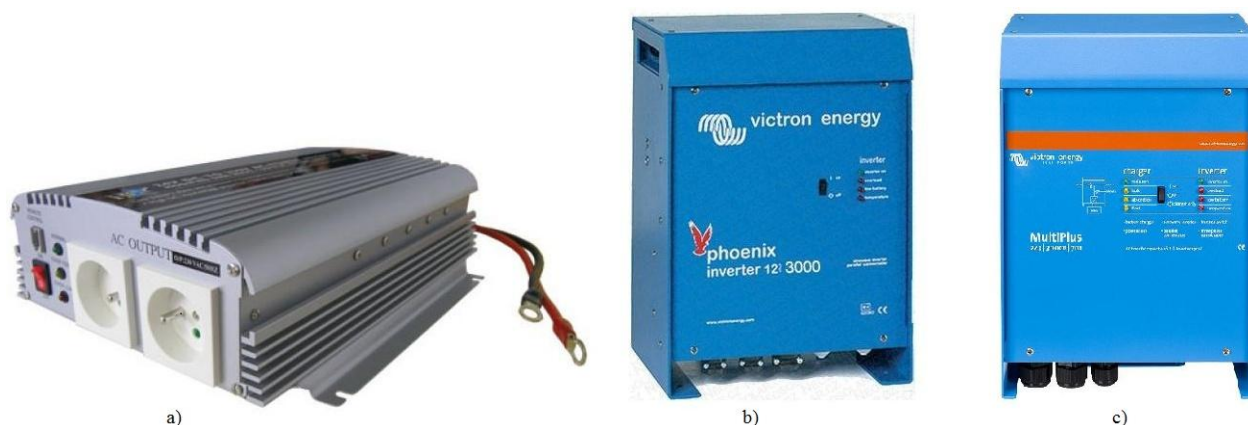
Výber regulátora je ovplyvnený spôsobom prepojenia panelov, ich celkového inštalovaného výkonu a taktiež od typu použitých akumulátorov. Kvalitné MPPT regulátory dokážu pracovať s napätím naprázdno, ktoré neprekročí 150 V. To znamená, že do série je na takéto regulátor

možné zapojiť 3-4 panely. Záleží na hodnotách napätia naprázdno jednotlivých panelov. Treba vziať do úvahy taktiež teplotný koeficient $\beta_{U_{oc}}$, ktorý udáva o koľko percent vzrastie napätie naprázdno panelu pri poklese vonkajšej teploty o 1 °C. V zimných mesiacoch bude teda klesajúcou teplotou, oproti štandardnej testovacej teplote 25 °C stúpať napätia naprázdno sériového spojenia fotovoltaických panelov.

Tieto hodnoty napätí naprázdno a teplotných koeficientov panelov sú udávané pri štandardných testovacích podmienkach, čiže pri intenzite slnečného žiarenia $I = 1000 \text{ W.m}^{-2}$. Tieto podmienky však nie sú v reálnych systémoch väčšinou nedosiahnuteľné a preto je treba pri návrhu počtu panelov pre regulátor zohľadniť lokalitu, v ktorej sa systém inštaluje [18], [19].

5.1.3 Menič napätia

V ostrovných systémoch (Grid – off), ktoré slúžia na napájanie spotrebičov pre striedavé napätie 230 V alebo v systémoch pripojených do elektrickej rozvodnej siete (Grid – on) je nutné používať menič napätia. Pretože fotovoltaické panely vyrábajú iba jednosmerné napätie je potrebný práve menič napätia, ktorý ho zmení na striedavé. Zapája sa medzi akumulátor a rozvodnú sieť, prípadne spotrebič na striedavé napätie.



Obr. 5.2 Meniče napätia: a) modifikovaný sínus, b) čistý sínus, c) hybridný [32]

Na výber máme z dvoch typov meničov, môže ísť o klasické alebo hybridné, ktoré sú kombináciou klasického meniča a integrovanej nabíjačky.

Hybridný menič je schopný pracovať v oboch režimoch, tzn. súčasne v Grid – off a zároveň v Grid – on režime. Je schopný na rozdiel od klasických meničov prepínať nie len medzi prevádzkou z akumulátora alebo siete, ale taktiež môže súčasne v reálnom čase regulovať množstvo energie odoberané zo siete alebo z akumulátorov. Hybridné meniče sú na viac galvanicky oddelené od distribučnej siete čo zamedzuje pretokom z FVE do siete a teda s ňou môžu pracovať paralelne bez žiadosti o pripojenie FVE do siete.

Meniče sa rozlišujú na základe toho, aký výstupný signál generujú. Môže ísť o čisto sínusový priebeh napätia alebo s modifikovaným sínusovým priebehom napätia. V prípade napájania spot-

rebičov a hlavne citlivej elektroniky je vhodné použiť menič s čisto sínusovým priebehom výstupného napätia. Ako ďalšie delenie je podľa veľkosti vstupného napätia, ktoré sa odvíja podľa celkovej hodnoty napätia akumulátorov.

Môžeme mať teda meniče s jednosmerným napätím 12 V, 24 V prípadne 48 V na vstupe z akumulátorov, ktoré ho premieňajú na 230 V striedavých na výstupe. Je nutné preto navrhnúť akumulátory použité v systéme tak, aby mali výstupné napätie približne v týchto hladinách a bolo možné použiť správny menič. Napätie na batériách sa však mení v pomerne širokom rozsahu a preto sú meniče konštruované tak aby boli schopné pracovať v určitom napäťovom rozsahu. U 12 V meničoch je to spravidla 10 V až 16 V, pri 24 V zasa 20 V až 32 V. Tieto hodnoty však závisia od rôznych typov meničov [1], [33], [34].

5.1.4 Akumulátor

Fotovoltaické systémy, ktoré sú pripojené do distribučnej siete môžu prebytočnú energiu do tejto siete posilať a poskytovať ju distribučnej spoločnosti v danej lokalite. Pri návrhu ostrovného systému sa ale vyrobená elektrická energia uchováva v objekte, v ktorom sa následne aj spotrebuje. Keďže fotovoltaické elektrárne vyrábajú energiu len cez deň, problém zásobovať objekt nastáva v noci. Preto sa používajú akumulačné systémy, ktoré sú tak veľmi dôležitou súčasťou každého ostrovného systému. Uchovávajú prebytočnú nespotrebovanú elektrickú energiu z dňa, čím využívajú navrhnutý systém efektívnejšie.

Jednoduchý akumulačný systém je napríklad aj voda, ktorú je možné počas dňa ohriať (napríklad v bojleri) a použiť v noci. Pre fotovoltaické systémy sa ale väčšinou využíva ukladanie prebytočnej energie do batérií. Ide o jeden z najdrahších prvkov celého systému a preto je potrebné zvoliť správny typ pre konkrétny systém a taktiež celkovú kapacitu, ktorá bude k dispozícii pre akumuláciu prebytočnej energie.

V prípade ak sa zvolí malý počet akumulátorov, systém sa stáva neefektívny pretože nedokáže vykryť energetickú náročnosť objektu v dňoch bez dostatočnej intenzity slnečného žiarenia. Taktiež ak by bolo v systéme použitých veľa akumulátorov, stal by sa predimenzovaný a dochádzalo by k neúplnému využitiu celkovej kapacity akumulátorov. Okrem kapacity akumulátorov sa sledujú aj ďalšie parametre ako je hmotnosť, cena, rozmery, rýchlosť dobíjania, počet možných hĺbkových dobíjajúcich cyklov, samovybíjanie a mnohé ďalšie.

Vo fotovoltaických systémoch sa používajú tzn. trakčné batérie. Oproti klasickým štartovacím batériám sú navrhnuté na hĺbkové vybitie a oveľa menej podliehajú opotrebeniu elektródy, ktoré nie sú schopné dodať veľký prúd, ako štartovacie batérie, ale vydržia časté a hlboké vybíjanie.

Medzi tie najpoužívanejšie vo fotovoltaických systémoch patria klasické údržbové olovené, bezúdržbové gélové a taktiež lithiové akumulátory. Každý typ akumulátora má isté výhody a taktiež nevýhody. Pre lepšiu orientáciu si porovnáme tie najpoužívanejšie akumulátory formou prehľadnej tabuľky.



Obr. 5.3 Akumulátor: a) údržbový olovený, b) bezúdržbový gélový, c) LiFePO_4 [35]

V Tab. 5.2 je vidieť, že klasický olovený akumulátor je najlacnejšou voľbou s používaných akumulátorov vo fotovoltaických systémoch čo sa týka obstarávacej ceny. Na druhej strane má zasa radu nevýhod. Pomerne malý počet vybíjajúcich cyklov, obsahuje toxické látky, nie je úplne bezpečný pretože obsahuje tekutý elektrolyt H_2SO_4 . Taktiež má štandardné samovybíjanie (menej ako 3 % za kalendárny mesiac), potrebná pravidelná údržba v podobe merania úrovne H_2SO_4 a dolievania destilovanou vodou a hlavne veľká váha akumulátora.

Olovený gélový akumulátor je viac než dvojnásobne drahší, než klasický olovený a tiež aj o niečo ťažší. Počet vybíjajúcich cyklov má približne rovnaký. Výhodou je lepšia životnosť a samotná bezúdržbovosť.

Tab. 5.2 Porovnanie najpoužívanějších akumulátorov [36], [37], [38]

Parameter	Jednotka	Olovený údržbový	Gélový bezúdržbový	LiFePO_4
		Banner 100Ah Solar	FG12-100DG	GWL High Power Battery
Napätie	(V)	12	12	12,8
Počet článkov	(-)	6	-	4
Kapacita	(Ah)	100	100	160
Počet cyklov $\text{DOD}_{100\%}$	(-)	min. 300	-	min. 2000
Počet cyklov $\text{DOD}_{80\%}$	(-)	-	700	-
Počet cyklov $\text{DOD}_{50\%}$	(-)	1200	1000	8000
Počet cyklov $\text{DOD}_{15\%}$	(-)	-	2400	-
Životnosť	(rok)	6 – 7	12	10 – 12
Rozmer	(mm)	354 x 175 x 190	328 x 172 x 222	232 x 92 x 183
Hmotnosť	(kg)	23,3	30	6,4
Cena	(Kč)	3838	8839	10 860
Cena za 1 cyklus pri $\text{DOD}_{50\%}$	(Kč/cyklus)	3,2	8,84	1,36

Kde:

DoD (Depth of discharge) – hĺbka vybitia tzn. ako hlboko je batéria vybitá v percentách

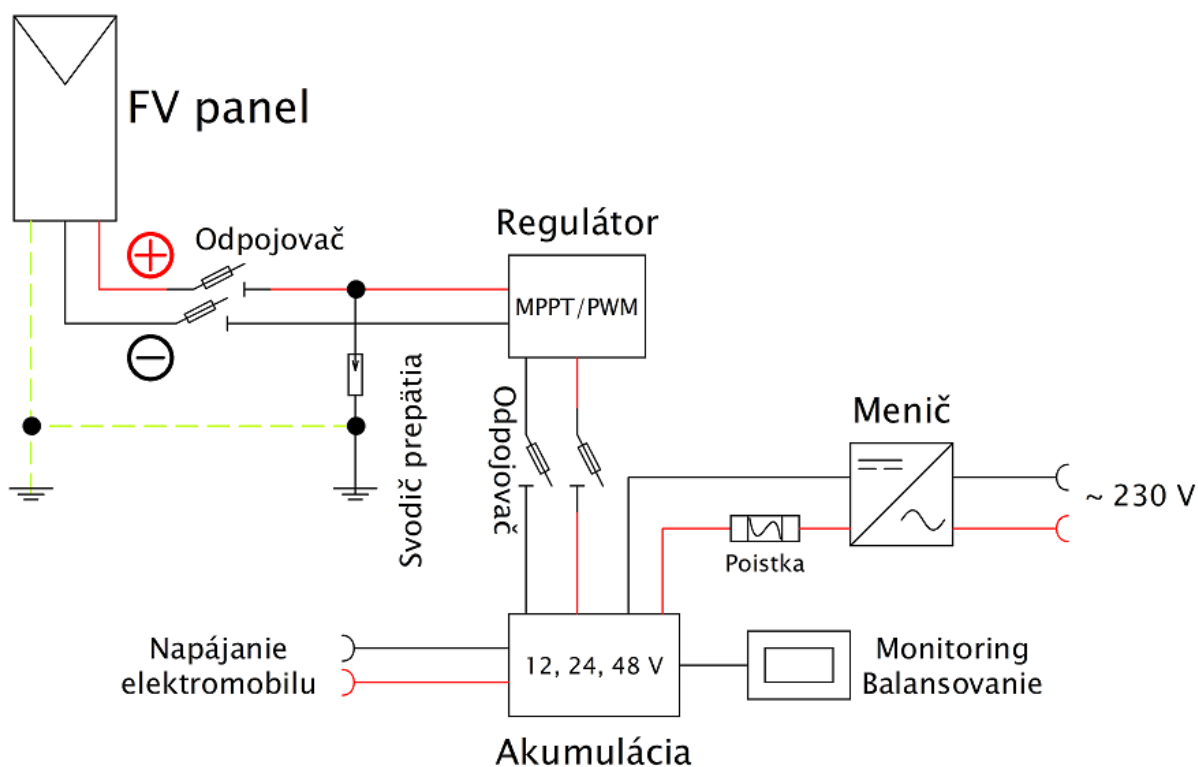
LiFePO_4 akumulátor je zasa najdrahší s pomedzi porovnávaných typov akumulátorov ale má veľký počet vybíjajúcich cyklov a články sú celkom ľahké. Preto je vhodné použiť tento typ aku-

mulátoru práve pri pohyblivých inštaláciách, ako napríklad v elektromobiloch. Ďalšou výhodou je vysoká ekologickosť týchto akumulátorov, pretože neobsahujú žiadne toxické látky. Tiež má veľmi nízke samovybíjanie a životnosť priemerne 15 rokov. Nevýhodou je spomínaná vysoká cena a tiež kvôli ochrane maximálne vybíjanie do 60 % kapacity.

V prípade ak ide pri návrhu systému o jeho celkovú cenu, vhodnou voľbou je olovený akumulátor a však pri použití LiFePO₄ akumulátorov je síce vysoká investičná cena systému (3-krát väčšia než pri olovených), no vďaka veľkému počtu vybíjajúcich cyklov sa táto investícia vyplatí oveľa viac. Pri porovnaní cien jednotlivých akumulátorov za 1 cyklus vychádza totižto LiFePO₄ akumulátor lepšie ako lacnejší olovený. Taktiež je LiFePO₄ akumulátor 4-krát ľahší než olovený, menších rozmerov, s dvojnásobnou životnosťou a bezúdržbový.

5.2 Schéma navrhnutého zapojenia fotovoltaického systému

Predpokladaná schéma fotovoltaického systému, slúži na ukážku ako sú medzi sebou prepojené jednotlivé komponenty. Ide o návrh systému pre dobíjanie elektromobilu ako by mal teoreticky vyzeráť a čo všetko by mal potrebovať pre správnu prevádzku. Skutočný systém bude realizovaný v ďalšej kapitole na základe tohto teoretického návrhu. Je preto možné, že reálny systém sa po zohľadnení rôznych možností realizácie a v priebehu realizácie samotnej bude odlišovať. Tento návrh môže taktiež slúžiť ako návod na výber vhodných komponentov a možnosti realizácie zapojenia ostrovného fotovoltaického systému pre iné aplikácie ako je dobíjanie elektromobilu.



Obr. 5.4 Bloková schéma navrhnutého zapojenia FV systému

Ako je vidieť na Obr. 5.4 hlavné komponenty systému sú medzi sebou prepojené pomocou vodičov, ktorých prierezy sa volia na základe celkového výkonu, ktoré musia prenášať. Pre vodiče z fotovoltaiických panelov to je väčšinou prierez 4 alebo 6 mm². Fotovoltaiický panel vyrába jednosmerný prúd, ktorý smeruje do regulátora. Medzi týmto spojením je nutné zabezpečiť ochranu a istenie formou prepäťovej ochrany a poistkového odpojovača, prípadne ističa, ale ten býva drahšou voľbou. Tieto bezpečnostné prvky bývajú umiestnené do rozvádzacích boxov, ktoré slúžia na ich bezpečnosť pred vlhkosťou a prachom. V prípade použitia pre ostrovný systém väčší počet panelov, musia byť zapojené do viacej stringov. Väčšinou sa v stringu nachádza 4 alebo 5 panelov, záleží na výkone panelov a teda celkovom zaťažení regulátora. Kvalitné MPPT regulátory nabíjania sú schopné pracovať so vstupným napätím až 150 V.

Regulátor následne nabíja akumulátory systému (ak sú jeho súčasťou) zvoleným napätím a zároveň je týmito akumulátormi napájaný. Na regulátore sa dá zvoliť z viacej napäťových hladín podľa akumuláčného systému použitého v ostrovnom systéme a tiež typ použitého akumulátora. Kvôli bezpečnosti je vhodné toto spojenie medzi regulátorom a akumuláciou istiť rovnako poistkovým odpojovačom alebo ističom.

K akumulácii je nutné pre lepšiu orientáciu o stave a prevádzke ostrovného systému nainštalovať monitoring elektrárne, ktorý bude zaznamenávať a zhromažďovať dáta o systéme. Podľa týchto dát sa dá vyhodnotiť efektívnosť využívania systému a množstvo vyrobenej elektrickej energie. Z akumulácie je možné napájať zariadenia na jednosmerné napätie, v našom prípade elektromobil. V prípade využívania fotovoltaiického systému pre napájanie spotrebičov na striedavé napätie, je nutné pripojiť menič, ktorý bude napájaný z akumulátorov a meniť jednosmerné napätie na striedavé 230 V. Pred meničom je potrebné umiestniť poistku, ktorá bude chrániť zariadenia v prípade skratu alebo inej nečakanej poruchy.

Ako menič je možné použiť klasický, ktorý mení jednosmerné napätie na striedavé alebo hybridný, ktorý na viac má možnosť pracovať v režime dobíjania a slúžiť tak ako nabíjačka pre batérie zo siete v prípade ak nie je možné nabíjať akumulátory z fotovoltaiických panelov.

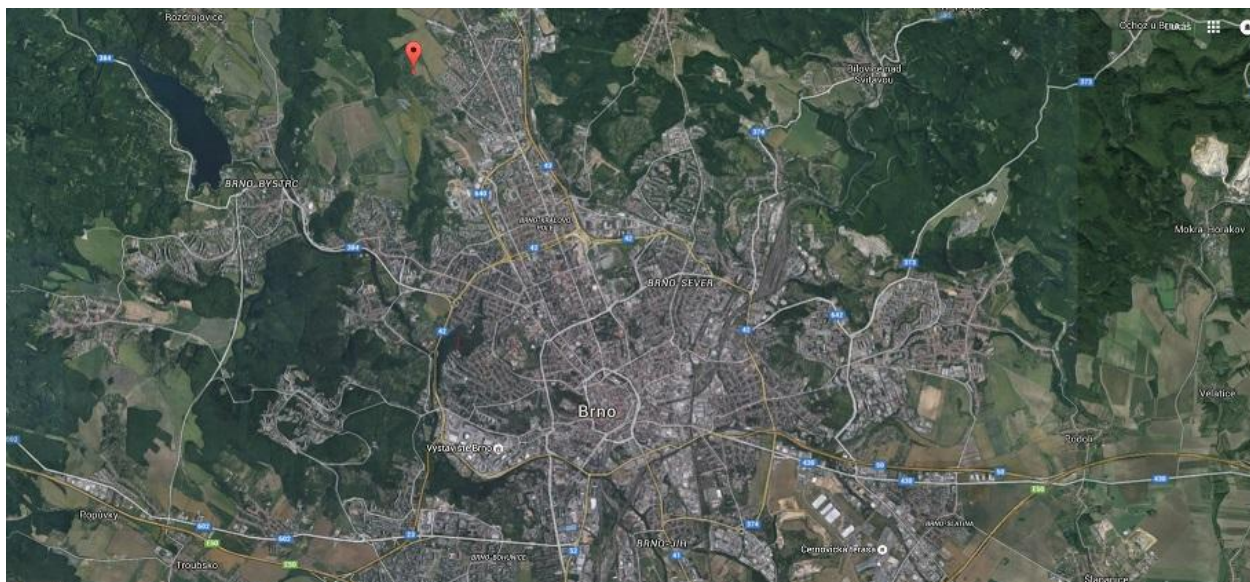
6. REALIZÁCIA FV SYSTÉMU PRE DOBÍJANIE ELEKTROMOBILU

Fotovoltaický systém bude slúžiť primárne pre dobíjanie elektromobilu, prípadne pre napájanie iných spotrebičov vyskytujúcich sa na záhrade alebo ako akumulčný prvok pre fotovoltaickú elektrárňu nachádzajúcu sa na záhradnej chate. Ide teda o ostrovný typ systému, ktorý nebude dodávať do siete elektrickú energiu ale bude spotrebovaná v rámci objektu.

Na základe teoretického návrhu z kapitoly 5 a možností komponentov, sú po uvážení zvolené tie najvyhovujúcejšie a taktiež je systém realizovaný, aby bol čo najefektívnejší. V nasledujúcej kapitole je popísaná realizácia fotovoltaického systému pre dobíjanie elektromobilu.

6.1 Popis objektu

Fotovoltaický systém sa nachádza v severnej časti Brna, presnejšie v záhradnej oblasti v lokalite Brno – Medlánky. Na záhrade sa nachádza pod dreveným prístreškom elektromobil CityEl, na ktorý je daný systém realizovaný. Mimo iné sa tu taktiež nachádza obytný priestor (chata), ktorá má vlastný fotovoltaický systém. GPS súradnice objektu, ktorý je vyznačený na Obr. 6.1 sú: zemepisná šírka $49^{\circ}14'46.5''\text{N}$, zemepisná dĺžka $16^{\circ}33'44.1''\text{E}$ a nadmorská výška 282 m.



Obr. 6.1 Vyznačená lokalita objektu na mape [28]

Miest, na ktoré by sa fotovoltaické panely dali umiestniť je viacero ale vzhľadom na prítomnosť strechy prístrešku nad elektromobilom, je najlepšie umiestniť panely priamo na ňu. Strecha s orientáciou na východ a sklonom 15° má približne rozmery $3,5 \times 5$ metrov a je pultového typu. Je pokrytá krycou fóliou spolu so štrkom a kameňmi po obvode na jej odolnosť proti vetru a iným prírodným vplyvom. Na streche sa nenachádzajú žiadne ďalšie objekty, ktoré by bránili rozloženiu panelov. K elektromobilu je dovedená sieť striedavého napätia 230 V, ktorá môže

slúžiť pre záložné nabíjanie elektromobilu v prípade ak nie je k dispozícii energia z fotovoltaikej elektrárne.

6.2 Elektromobil

Na záhrade je pod dreveným prístreškom elektromobil CityEl pôvodne vyrábaný v dánskou firmou El Trans A / S v Randersu pod označením Mini-El. Jedná sa o trojkolesové elektrické vozidlo pre jednu osobu s centrálnym sedením a s maximálnou rýchlosťou 50 km.h^{-1} . Namiesto konvenčných dvier je celá horná polovica auta vyklápatelná a umožňuje tak vstup do elektromobilu.



Obr. 6.2 Elektromobil CityEl

Za predným sedadlom vodiča sa nachádza detská sedačka umiestnená chrbtom k vodičovi, ktorá slúži pre jazdu dieťaťa do 30 kg, prípadne ako kufor. Pôvodná verzia má 36 V a 2,5 kW motor s tromi batériami o kapacite 90 Ah. Spotreba elektrickej energie je udávaná na 4 – 10 kWh na 100 kilometrov. Celková hmotnosť vozidla je 400 kg [26].

6.3 Realizácia a voľba vhodných komponentov systému

V rámci realizácie fotovoltaičného systému pre dobíjanie elektromobilu bol ako prvý vybraný vhodný typ a tiež počet panelov, ktoré sú hlavný prvok celého fotovoltaičného systému a je teda dôležité zvoliť ten správny. Pri jeho výbere je potrebné najskôr zistiť parametre objektu. Je dôležité poznať rozmery strechy alebo inej plochy, na ktorú sa budú panely rozmiestňovať, taktiež celkovú spotrebu objektu a požiadavky majiteľa.

V prípade dobíjania elektromobilu ide o ostrovný fotovoltaický systém, ktorý bude vyrobenú elektrickú energiu ukladať do akumulátorov elektromobilu. Pri voľbe panelov nemáme danú spotrebu objektu ako to býva pri návrhu systému pre rodinný dom, chatu alebo iný úžitkový objekt. Preto sme obmedzený len celkovou možnou využiteľnou plochou na rozmiestnenie panelov.

Strecha má rozmery približne 3,5 x 5 metrov a tiež menší sklon ako je požadovaný sklon strešných systémov (35°) ale nebude zatiaľ použitá žiadna konštrukcia na jeho dosiahnutie. Ak by bolo potrebné kvôli malej účinnosti systému, bola by v budúcnosti zvažovaná aj konštrukcia avšak v prípade malej strechy je riziko, že si budú panely navzájom tieniť kvôli nemožnosti dodržania rozstupu medzi nimi.

Ako panely vychádzajú najlepšie v rámci českej republiky polykryštalické, ktoré majú síce nižšiu účinnosť ako monokryštalické no zasa dokážu využívať celkom účinne aj difúzne slnečné žiarenie. Keďže monokryštál dokáže pracovať len pri priamom slnečnom žiarení je pravdepodobné že čo do ročnej výroby bude polykryštál s účinnosťou na rovnakej hodnote, prípade ešte vyššej. Amorfné kryštalické panely dokážu taktiež využívať difúzne žiarenie, no pre ich nižšiu účinnosť oproti polykryštalickým budú rovnako nevhodné. Taktiež pre dosiahnutie rovnakého výkonu z amorfného panelu je potrebné obsadiť dvojnásobok plochy ako to je pri poly alebo monokryštalických paneloch.

Použitý bude polykryštalický panel od nemeckej firmy Axitec model AC-250P/156-60S o výkone 250 Wp na panel. Parametre panelu sú prehľadne zobrazené v Tab. 6.1 nižšie. Vzhľadom na rozmery panelu je možné teoreticky umiestniť na strechu 6 panelov. Pre systém budú uvažované zatiaľ len 4 z možnosťou rozšírenia, pretože na jeden regulátor, ktorý je schopný spracovať vstupné napätie 150 V, je možné zapojiť maximálne práve 4 panely. V prípade využitia celkovej plochy strechy a teda šiestich panelov by sa zvýšili náklady o potrebný ďalší regulátor.



Obr. 6.3 Polykryštalický panel Axitec 250 Wp

Tab. 6.1 Parametre polykryštalického panelu Axitec [39]

Parameter	Jednotka	Hodnota
P_{MPP}	(Wp)	250
U_{MPP}	(V)	30,7
I_{MPP}	(A)	8,18
U_{OC}	(V)	37,8
I_{SC}	(A)	8,71
Účinnosť	(%)	15,35
$\gamma_{P_{MPP}}$	(%/°C)	-0,44
$\beta_{U_{OC}}$	(%/°C)	-0,33
$\alpha_{I_{SC}}$	(%/°C)	0,06
Rozmer	(mm)	1645 x 990 x 38
Hmotnosť	(kg)	19
Cena s DPH	(Kč)	4 500

Panely sú umiestnené na streche na drevenej konštrukcii, ktorú tvoria tri strešné laty. Sú prepojené medzi sebou do série a spoločne uzemnené cez uzemňovaciu tyč, ktorá je v zemi vedľa prístreška. Panely sú pripevnené na drevené laty pomocou samorezných skrutiek.



Obr. 6.4 Umiestnenie panelov na strechu

V ďalšom kroku, po umiestnení a prepojení panelov na streche, bolo pristúpené k výmene troch starých olovených akumulátorov nachádzajúcich sa v pôvodnej verzii elektromobilu za nových 12 LiFePO_4 akumulátorov. Olovené akumulátory mali kapacitu 90 Ah každá batéria a napätie 36 V spolu pre akumuláčny systém. Nové akumulátory na báze lithium železo fosfátu majú 180 Ah každá a napätie pohybujúce sa v rozmedzí 2,5 – 3,65 V na článok, pričom ako menovité je napätie 3,2 V. Celý systém zložený z 12 článkov teda môže dosiahnuť napätie v rozmedzí 30 – 44,4 V.



Obr. 6.5 Olovené (v ľavo) a LiFePO_4 (v pravo) akumulátory

Pre fotovoltaický systém slúžiaci na dobíjanie elektromobilu budú teda použité LiFePO_4 akumulátory, ktoré zvýšia akumuláčnú kapacitu elektromobilu o dvojnásobok. Pôvodne mal elektromobil kapacitu 3,24 kWh, ktorá sa po použití nového systému zvýšila na 6,912 kWh pri uvažovaní napätia na článku 3,2 V. Tento akumuláčny systém je najdrahšou časťou celého realizovaného ostrovného systému a taktiež elektromobilu. Má však radu výhod, kvôli ktorým bolo zvolené použitie práve drahých LiFePO_4 akumulátorov.

Tab. 6.2 Parametre LiFePO_4 akumulátora CALB-SE180HA [40]Obr. 6.6 LiFePO_4 akumulátor CALB-SE180AHA [40]

Parameter	Jednotka	Hodnota
Kapacita	(Ah)	180
Menovité napätie	(V)	3,2
Maximálne nabíjacie napätie	(V)	3,65
Minimálne vybíjacie napätie	(V)	2,5
Počet cyklov	(-)	2 000
Rozmery	(mm)	182 x 71 x 280
Hmotnosť	(kg)	5,7
Cena	(Kč)	5 247,77

Ako bolo už spomenuté v predchádzajúcej kapitole pri porovnaní jednotlivých akumulátorov, medzi výhody LiFePO_4 patrí ich hmotnosť a aj celkové rozmery oproti oloveným. V prípade používania akumulátorov v elektromobile sú tieto výhody veľmi dôležité a preto je vhodné zvoliť práve LiFePO_4 . Taktiež majú dlhšiu životnosť, väčší počet vybíjacích cyklov a sú celkom ekologické. Hlavnou nevýhodou je však obstarávacía cena, ktorá je približne trojnásobná oproti klasickým oloveným. Treba si ale uvedomiť, že LiFePO_4 majú možnosť väčšieho počtu vybíjacích cyklov a teda je cena za jeden cyklus menšia ako pri olovených.

Pri samotnej inštalácii akumuláčného systému do elektromobilu boli najprv vybrané staré olovené batérie a následne vymenené za nové LiFePO_4 . Staré olovené batérie boli vložené do originálnej konštrukcie v zadnom priestore elektromobilu, ktorá bola pre ne rozmerovo prispôbená. Ako je vidieť na Obr. 6.7 batérie držala konštrukcia po ich obvode a pod nimi bol voľný priestor.



Obr. 6.7 Pôvodný úložný priestor pre batérie

Toto riešenie úložného priestoru bolo nevhodné pri použití LiFePO_4 batérií, ktoré obsahujú viac menších článkov a tým pádom hrozí riziko vypadnutia batérie z elektromobilu cez tento voľný priestor. Ako ďalší problém bol väčší rozmer celého bloku LiFePO_4 akumulátorov, ktorý

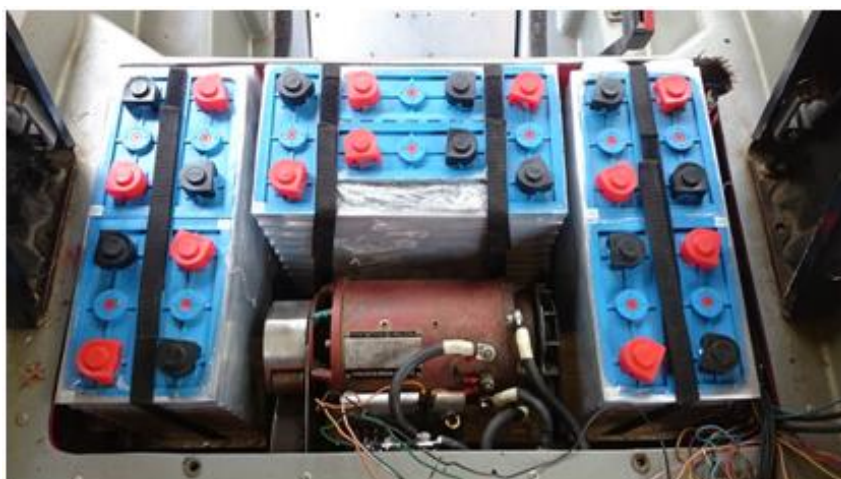
bol o pár centimetrov väčší ako pôvodných a teda blok nepasoval do železnej konštrukcie určenej pre umiestnenie batérií. Z toho dôvodu bolo nutné upraviť priestor pre uloženie nových akumulátorov.

Pre vyplnenie voľného priestoru bol použitý plech, ktorý bolo potrebné ohnúť na výšku 20 mm, pretože stará konštrukcia mala vyhlbený úložný priestor pre lepšiu stabilitu batérie. Bolo nutné teda pre väčšie bloky LiFePO_4 batérií tento vyhlbený priestor zdvihnúť. Stredný plech je nerezový a má rozmery 350 x 165 mm. Dva bočné plechy o rozmeroch 360 x 170 mm bolo nutné natrieť pre zabránenie vzniku korózie a sú oproti strednému dielu ohnuté v hornej časti, v ktorej sú tiež vyvítané diery a plechy sú pripevnené cez skrutky ku konštrukcii. Taktiež aj samotná konštrukcia pre batérie bola ošetrená a natretá.



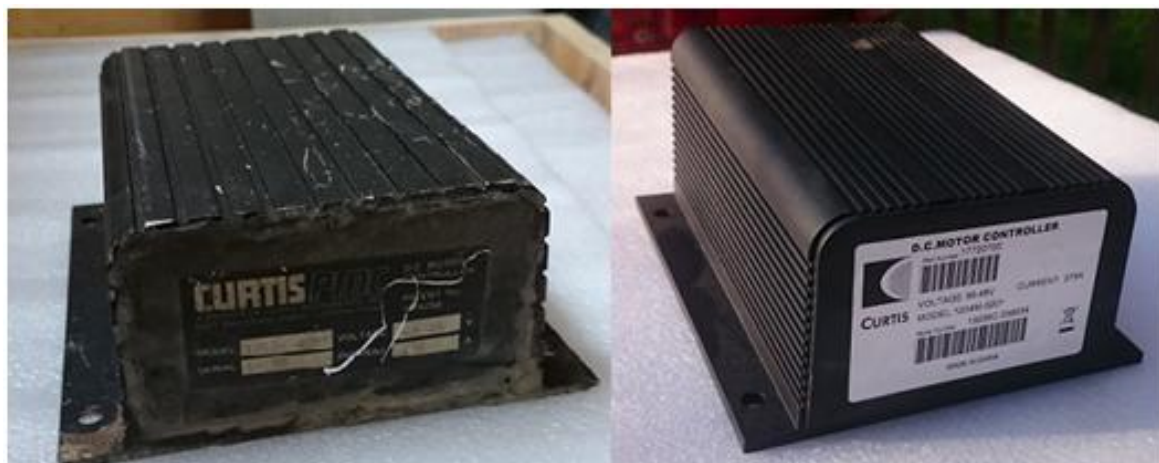
Obr. 6.8 Ohnuté plechy a upravený priestor pre batérie

Keďže nové batérie sú zložené z 12 článkov, boli pre lepšiu manipuláciu a stabilnejšie uloženie v elektromobile, rozdelené do troch blokov ako je ukázané na Obr. 6.9. Každý blok obsahuje 4 články, ktoré sú pomocou potravinárskej fólie spevnené aby držali v jednom celku a bolo ich možné ľahšie vkladať a vykladať v prípade potreby z elektromobilu. Pre lepšiu stabilitu v elektromobile počas prevádzky sú na viac spevnené pomocou suchého zipsu, ktorý je našitý na látkovom pásiku. Ten je natiahnutý okolo každého bloku a cez konštrukciu, čím sú batérie k tejto konštrukcii pripevnené.



Obr. 6.9 Vloženie LiFePO_4 akumulátorov do elektromobilu

Keďže nový akumulačný systém má vyššie napätie (30 – 44,4 V) ako ten starý (36 V) bol z bezpečnostných dôvodov vymenený regulátor nachádzajúci sa v elektromobile za nový, ktorý zvládne zvýšené napätie batérií. Starý regulátor Curtis model 1204X-4201, zobrazený tiež na Obr. 6.10, má pracovné napätie od 24 do 36 V zatiaľ čo nový je schopný pracovať v napäťovom rozsahu 36 – 48 V. Jedná sa o regulátor od firmy Curtis konkrétne model 1204M-5201.



Obr. 6.10 Starý a nový regulátor do elektromobilu

Pri výmene regulátora, ktorý sa nachádza na doske umiestnenej spolu s ostatnými prvkami silovej časti elektromobilu v zadnej časti pri akumulátoroch a elektromotore, bol zistený ďalší problém. Jednalo sa o poškodený DC reverzný stýkač slúžiaci na prepólovanie elektromotoru, ktoré zabezpečuje riadenie pohonu elektromobilu dopredu alebo dozadu. Ako je vidieť na Obr. 6.11 poškodenie sa týkalo odpáleného výstupu zo stýkača a tiež prepálených niektorých pripojených vodičov.

Bolo teda nutné tento stýkač vymeniť a tiež natiahnuť nové vodiče silovej časti. Keďže nebolo možné zohnať rovnaký typ ako bol pôvodný bol objednaný podobný typ, ktorý odpovedá požiadavkám a tiež dokáže pracovať s väčším maximálnym prúdom až 150 A oproti pôvodnému, ktorý zvládol prúd do 100 A. Nový stýkač je od firmy Albright model DC182B-598T s menovitým napätím 36 V.



Obr. 6.11 Starý a nový DC reverzný stýkač

Ako bolo spomenuté tieto komponenty, ktoré bolo potrebné vymeniť sa nachádzajú na doske pri elektromotore. Na tejto doske sa taktiež nachádza 160 ampérová poistka, cez ktorú prechádza plus pól akumulátorov a bočník, ktorý slúži na meranie prúdu batérií a prechádza cez neho zasa mínusový pól akumulátorov. V rámci výmeny jednotlivých komponentov a aj samotných vodičov silovej časti, bola tiež vymenená doska a všetky jej prvky boli na novo namontované (Obr. 6.12).



Obr. 6.12 Umiestnenie komponentov silovej časti pred a po výmene

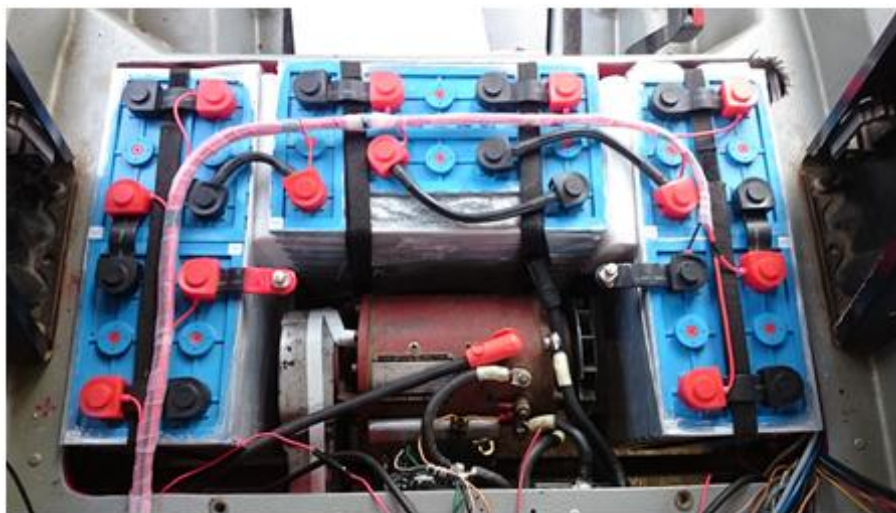
Pribudol na nej na viac ďalší bočník, ktorý slúži na pripojenie meracieho prístroja batérií Victron BMV 700. Tento prístroj bude viac rozobraný neskorej spolu s ostatnými meracími prístrojmi akumuláčného systému a elektromobilu. Pre natiahnutie nových vodičov bol použitý zväčškový vodič z priemerom 35 mm² a gumovou izoláciou, ktorá je oproti klasickej PVC flexibilnejšia a bolo možné s vodičmi na pomerne malom priestore na doske jednoduchšie manipulovať. Vodiče sú poprepájané medzi komponentmi ako je zobrazené na schéme silovej časti elektromobilu, ktorá je zobrazená v prílohe na konci práce. Umiestnenie novej dosky spolu s novými prvkami a následným prepojením vodičov je zobrazené nižšie na Obr. 6.13.



Obr. 6.13 Umiestnenie dosky a prepojenie vodičov silovej časti elektromobilu

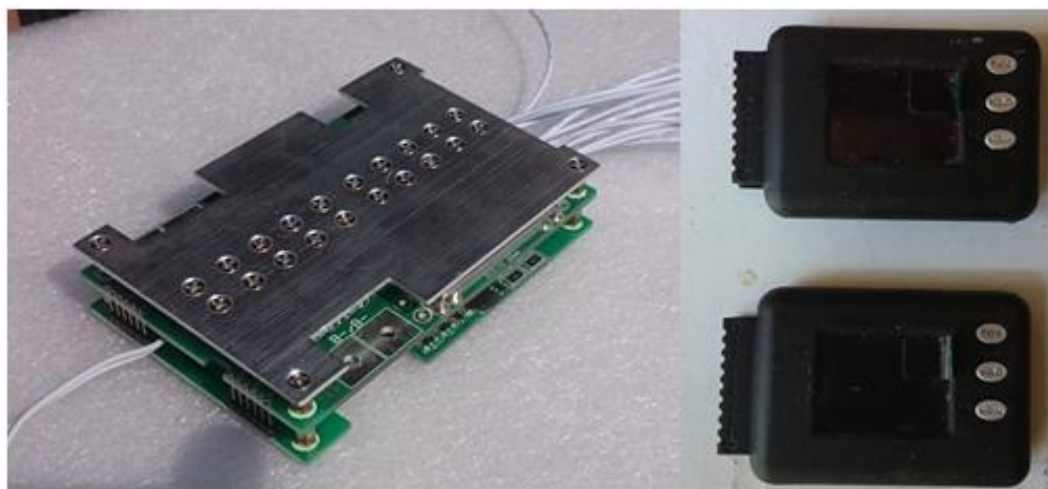
Po umiestnení novej dosky s novými komponentmi, ktoré boli pokazené alebo nevyhovovali novému akumuláčnému napätiu systému bol elektromobil teoreticky znovu schopný prevádzky. Na otestovanie správnej funkcie nových komponentov, bolo potrebné pripojiť batérie k silovej časti elektromobilu. V prvom kroku sa prepojili jednotlivé batérie medzi sebou, keďže bolo vo-

pred premyslené ich rozmiestnenie aby bolo nutné použiť čo najmenej pohyblivých prepojení medzi akumulátormi, väčšina ich je prepojená pomocou pevných medených konektorových pripojok. Ako je vidieť na Obr. 6.14 pohyblivé prepojenia sú použité len 3, dva medzi každým blokom akumulátorov a jeden pre stredný blok. Všetky plus a mínus póly batérií sú zakryté farebnými umelohmotnými krytkami pre väčšiu bezpečnosť.



Obr. 6.14 Prepojenie akumulátorov

Taktiež je vyvedený červený vodič s každého plus pólu článku batérie, ktoré sú privedené na spoločný konektor. Konektor je od firmy Multi-Contact a zabezpečuje jednoduché rozpojenie vodičov pri potrebe vybrať batérie. Všetkých 12 vodičov s plus pólom a jeden zo záporného pólu batérie slúžia ako napájanie a informácie o stave jednotlivých článkov batérií pre BMS a Cell loggery. Ide o systémy slúžiace pre meranie úrovni napätia každého článku. Z konektoru vedú vodiče na plošný spoj odkiaľ je pripojený BMS systém a na samotnom plošnom spoji sú umiestnené a pripojené taktiež na tento konektor Cell loggery.



Obr. 6.15 BMS - Battery management system a Cell loggery

Okrem týchto meracích prístrojov, ktoré sú umiestnené v zadnom priestore elektromobilu pri batériách a slúžia na odpojovanie akumulátorov od dobíjania cez fotovoltaiický systém v prípade ak niektorý článok presiahne maximálnu dovolenú hranicu napätia obsahuje elektromobil ďalšie dva meracie systémy. Obidva sú privedené na palubnú dosku. Jedná sa o Victron BMV 700, ktorý je pripojený pomocou UTP kábla z bočníka nachádzajúceho sa v zadnom priestore na novej doske a prechádza cez neho mínusový pól z batérií. Victron slúži pre získavanie informácií o fotovoltaiickom systéme. Ako ďalší systém je použitý Cycle Analyst, ktorý je taktiež napájaný zo zadného priestoru. Tento systém slúži pre zmenu na monitorovanie stavu elektromobilu tzn. meranie kilometrov, rýchlosti a ďalších vlastností. V rámci Cycle Analyst systému je v elektromobile pripevnený merač otáčok, ktorý je umiestnený pri zadnom kolese.



Obr. 6.16 Umiestnenie Victron BMV 700 a Cycle Analyst na palubnej doske

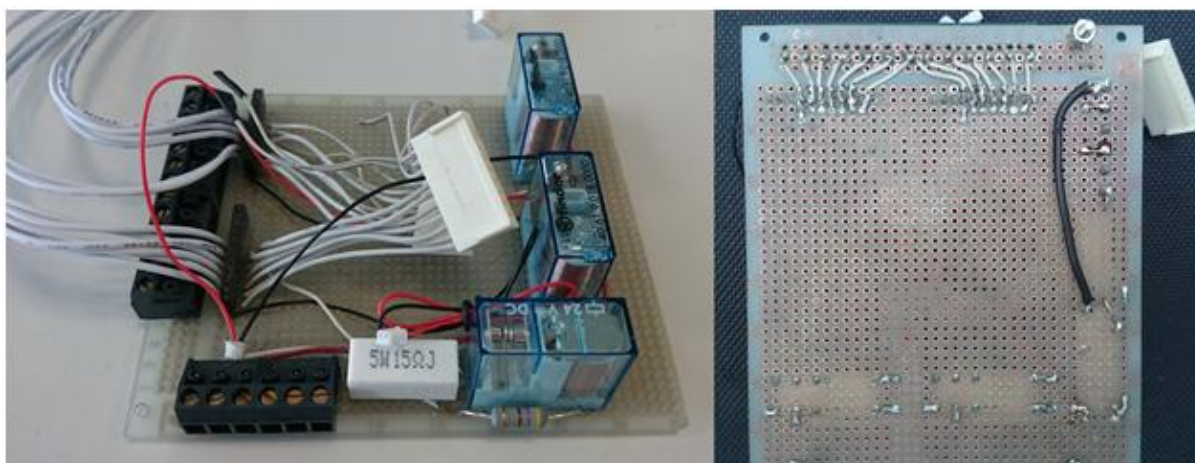
Keďže pre ostrovný systém nebudú použité žiadne systémy na balansovanie, je preto nutné zabezpečiť ochranu akumulátorov pre kritické stavy, ktoré môžu nastať pri nabíjaní a vybíjaní batérií. Ide o prebíjanie batérií, ktoré nastane v prípade ak by pri dosiahnutí maximálneho nabitia aspoň jedného článku batérií nebolo odpojené alebo prerušené napájanie akumulátorov. Taktiež v prípade podbitia aspoň jedného článku batérií. Pre tieto prípady sa používajú v ostrovných systémoch práve systémy na balansovanie, ktoré v prípade nabitia článku na maximálnu hodnotu tento článok prestanú nabíjať a dobíjajú sa stále nenabité články. V prípade ak napätie na článku klesne pod stanovenú úroveň tento systém dobíja článok, ktorému hrozí podbitie s ostatných stále dostatočne nabitých článkov.

Nevýhodou týchto systémov je obstarávacia cena, ktorá je pomerne vysoká. Taktiež je otázne, či sú tieto systémy pre akumulačný systém potrebné a ich využívanie je efektívne. V našom ostrovnom systéme bude zatiaľ použitý systém, ktorý bude priamo odpojovať nabíjanie pomocou relé stýkačov. Tento systém bude navrhnutý na odpojenie dobíjania z FV systému v prípade ak by hrozilo aspoň jednému článku prebitie v režime keď budú akumulátory dobíjané. V tom prípade ak sa hocikaký článok akumulačného systému nabije na maximálnu úroveň prestane FV systém nabíjať celý systém. Ostatné články tak ostanú nenabité na maximum ako by sa v prípade použitia balansovania nabili. To ale znamená, že v skutočnosti niektorý článok sa nabíja rýchlejšie ako ostatné ale pritom sa všetky nabíjajú rovnakú dobu, takže by mali mať rovnakú naakumulovanú

kapacitu. Preto v prípade vybíjania systému pri jazde elektromobilu alebo využívanie pre iné aplikácie sa celý systém bude vybíjať rovnomerne. To znamená, že aj tie menej nabité články sa budú vybíjať pomalšie ako tie rýchlo nabité na maximum, pretože majú naakumulovanú rovnakú kapacitu. Je teda otázne, či je používanie balansovania efektívne a oplatí sa používať v malých FV systémoch tieto drahé doplnky.

Zatiaľ bude teda zvolené odpájanie systému, ktoré sa zameriava len na ten najnabitejší alebo ten najvybitejší článok. Pre toto odpájanie sa stará BMS, na ktorý je privedený každý plus pól batérií a má tak informácie o napätí na každom článku a dokáže tak vyhodnotiť, ktorý článok je ako nabitý. Zároveň cez tento systém prechádza mínus pól, ktorý je pripojený ďalej na regulátor. V prípade ak nastane nežiaduce prebíjanie hocijakého článku, odpojí BMS tento mínus pól a odpojí tak dobíjanie z fotovoltaiiky. Ako záložný systém slúžia Cell loggery, ktoré slúžia taktiež na meranie napätia na jednotlivých článkoch a sú viac citlivejšie ako BMS. Tie majú možnosť zvoliť rozsah napätí na článku a v prípade, že sa článok nachádza v kritických hodnotách ohlásí Cell logger pomocou alarmu nebezpečenstvo ohrozenie batérie. Tento alarm je prepojený cez 18 V relé s DC cievkou, ktoré odpojí ako BMS dobíjanie z FV systému. V rámci systému sú použité 2 Cell loggery, každý sníma 6 akumulátorov a každý má vlastné relé. Problém je, že tieto systémy odpájajú dobíjanie FV systému tým, že odpoja regulátor dobíjania, na ktorý ale ostanú pripojené panely.

Regulátor je však spotrebič, ktorý pre svoju činnosť musí byť napájaný. Toto napájanie je realizované z akumulátorov a keďže tieto systémy odpoja akumulátory od regulátora ale panely sú stále pripojené, hrozí poškodenie regulátora. Preto bolo potrebné použiť hlavné relé, ktoré sníma napätie pred regulátorom a v prípade ak klesne, odpojí zároveň panely od regulátora. S týmto hlavným relé stýkačom sú poprepájané aj ostatné relé zo Cell loggerov. Pre lepšiu orientáciu bola jednotlivá elektronika umiestnená na spoločný plošný spoj, s ktorého sú pripojené Cell loggery a taktiež BMS.

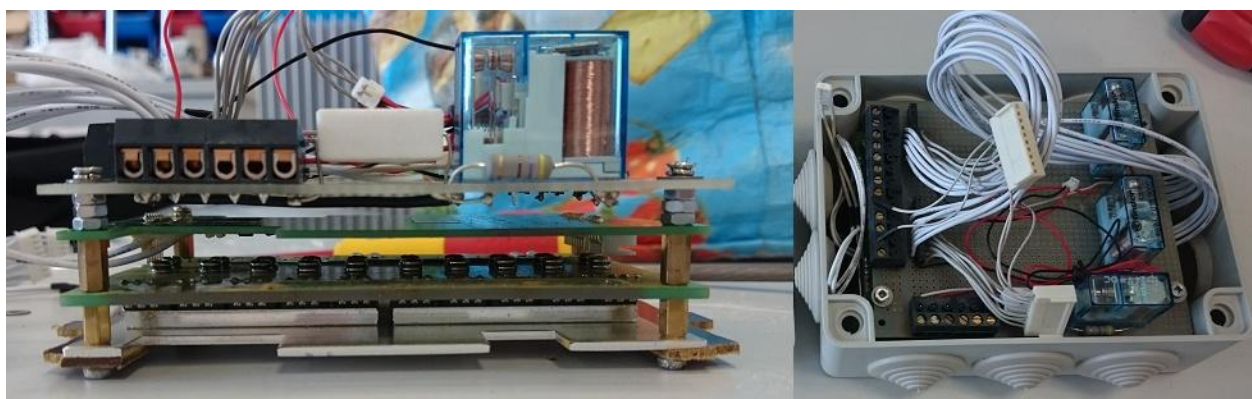


Obr. 6.17 Plošný spoj

Okrem spomínaných komponentov sa na tomto plošnom spoji nachádza ďalší relé stýkač 24 V s DC cievkou, ktorý slúži na odpájanie kontaktora v prípade ak napätie na aspoň jednom článku klesne pod 2,7 V. Táto hodnota je zadaná práve v Cell loggeroch, ktoré spustia zároveň

alarm. Keďže je relé na 24 V a v elektromobile sa nachádza 36 V, musíme pred toto relé predradíť odpor o hodnote $470\ \Omega$ pre zníženie napätia. Taktiež bolo potrebné obmedziť napätie kontaktora, ktorý je schopný pracovať s 36 V. Medzné napätie v systéme je až 44 V, preto bolo nutné predradíť $15\ \Omega$ odpor pre zníženie napätia na cievkach kontaktora o 5 V, keďže znesie preťaženie 10 % tzn. že je schopný pracovať s napätím 39,6 V.

Všetky tieto komponenty sú pre lepšiu bezpečnosť proti prachu a vlhkosti umiestnené v spoločnej krabici, ktorá je znázornená na obrázku 6.20. BMS a plošný spoj sú medzi sebou prepojené pre lepšiu stabilitu v krabici a následne do nej vložené a umiestnené pomocou skrutiek.



Obr. 6.18 Umiestnenie a prepojenie BMS + plošný spoj

Pre lepšiu viditeľnosť Cell loggerov, ktoré majú displej a je možné nastavovať na nich napäťový rozsah článkov batérií sú v krabici vyrezané diery, cez ktoré sú vyvedené a pomocou suchého zipsu pripevnené na hornú časť krabíčky. Na spodnej časti je zasa pripevnený konektor od firmy Multi-Contact, do ktorého je privedených 12 červených vodičov z jednotlivých plus článkov batérií a jeden mínus vodič z bočníka Victrona. Z konektora ďalej tieto vodiče pokračujú do krabíčky na svorkovnicu plošného spoja, odkiaľ sú napájané Cell loggery a BMS.



Obr. 6.19 Poistkové puzdro s 250 mA poistkou

Pre bezpečnosť týchto vodičov z plus pólov batérií, ktoré nie sú nijako zabezpečené v prípade skratu, sú použité 250 mA poistky umiestnené v poistkových puzdrách, ktoré sú naletované na každom vodiči.



Obr. 6.20 Horná a dolná časť krabičky

Po vyriešení a realizovaní systému na odpájanie akumulátorov v prípade rizika prebývania alebo podbývania batérií bolo ako ďalšie potrebné pripojiť v rámci fotovoltického systému regulátor nabíjania. Ako regulátor nabíjania je použitý solárny MPPT regulátor eTracer schopný pracovať so systémami na 12, 24, 36 a 48 V. Maximálny výstupný prúd až 60 A, vstupné napätie až 150 V a maximálny vstupný výkon až 3 200 W. Pracovné napätie je možné nastaviť na regulátore podľa použitého typu batérie tak, aby bola nastavená spodná hodnota ochrana batérií proti podpätiu a prebitiu. Vďaka použitiu najmodernejšej technológie MPPT (Maximum Power Point Tracking) dochádza k zvýšeniu účinnosti celého systému o 30 % [42].



Obr. 6.21 Solárny MPPT regulátor nabíjania eTracer 12/24/36/48 V

Tab. 6.3 Parametre solárneho MPPT regulátora eTracer [42]

Parameter	Jednotka	Hodnota
Menovité napätia	(V)	12, 24, 36, 48
Maximálny výkon	(W)	3 200
Max. výstupný prúd	(A)	60
Max. vstupné napätie	(V)	150
Rozmer	(mm)	285 x 203 x 121
Hmotnosť	(kg)	5,72
Cena s DPH	(Kč)	9 415

Ako jedna z možností bolo umiestniť ho v rámci dreveného prístreška a vyviesť z neho prípojku, na ktorú by sa pripájali akumulátory z elektromobilu. Po uvážení bola zvolená oveľa výhodnejšia možnosť umiestnenia regulátora v rámci elektromobilu. Tento koncept umiestnenia všetkých potrebných komponentov fotovoltického ostrovného systému okrem panelov nachádzajúcich sa na streche v elektromobile slúži ako pojazdná elektráreň a je teda možné dobíjať

system nie len z vlastného FV systému ale aj z iných elektrární, ktoré majú potrebný výkon na dobíjanie.



Obr. 6.22 Umiestnenie regulátora do elektromobilu

Regulátor je umiestnený v zadnom priestore elektromobilu, ktorý slúži ako kufr, na mieste kde sa pred tým nachádzala originálna nabíjačka pre olovené akumulátory, dodávaná spolu s elektromobilom. Keďže je samotný regulátor väčší ako je priestor pre nabíjačku, musela byť vyrobená konštrukcia umožňujúca vloženie regulátora. Ako je možné vidieť na Obr. 6.22, priestor do ktorého sa regulátor vkladá je predelený priečkou približne 8 cm vysokou. Bolo teda potrebné vyrobiť konštrukciu pod regulátor, ktorá ho nadvihla nad túto priečku a tým sa dal do elektromobilu umiestniť.

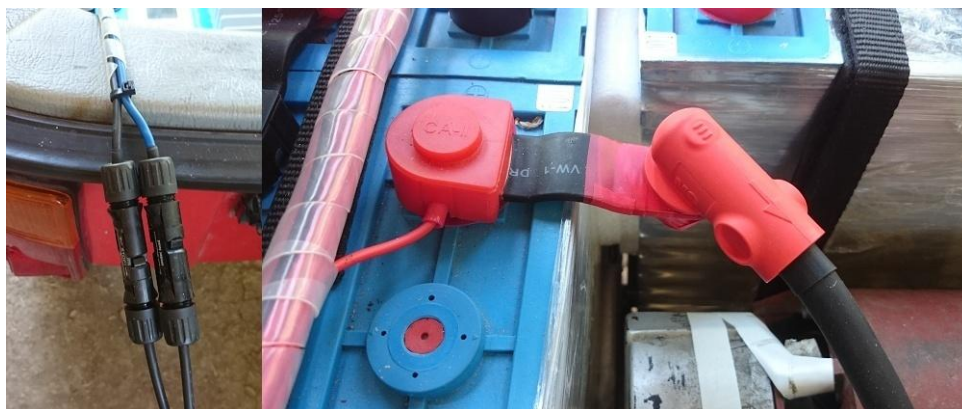


Obr. 6.23 Konštrukcia regulátora a hlavný relé stykač 12 VDC

Táto konštrukcia je znázornená na Obr. 6.23 a pozostáva z nerezového plechu, ktorý je pripevnený pod regulátor a má jeho rozmery a troch kusov plastových nožičiek, ktoré sú vysoké 9 cm a pripevnené na tento plech. V rámci konštrukcie je pod regulátorom umiestnené taktiež hlavné relé, ktoré slúži na odpájanie FV panelov od akumuláčného systému a dve 12 V/10 W

autožiarovky, ktoré slúžia na zníženie napätia keďže relé je na 12 VDC a v systéme sa nachádza 36 V. Ide o dočasný spôsob zníženia napätia, do budúcnosti je uvažované o DC-DC meniči alebo inom relé stýkači. Za týmito autožiarovkami sa nachádza vypínač, ktorý slúži na bezpečné pripájanie regulátora bez záťaže. Pre lepšiu stabilitu je regulátor prichytený v priestore elektromobilu látkovým pásikom, ktorým bola prichycovaná originálna nabíjačka olovených akumulátorov.

Po umiestnení regulátora do zadného priestoru elektromobilu boli nainštalované všetky potrebné komponenty fotovoltaiického systému. Ako záverečný krok bol pripojený regulátor na batérie pomocou konektora od firmy Multi-Contact, ktorý slúži na rýchle odpájanie prírodných vodičov z regulátora na akumulčný systém v prípade poruchy alebo situácií, pri ktorých je nutné rýchlo a bezpečne odpojiť akumulátory. Z regulátora je taktiež vyvedený MC4 konektor pre možnosť pripojiť fotovoltaiické panely a dobíjať systém. Tieto konektory sú pre lepšiu predstavu zobrazené na Obr. 6.24.



Obr. 6.24 MC4 konektor a Multi-Contact

Na samotný záver realizácie ostrovného fotovoltaiického systému pre dobíjanie elektromobilu bol priestor nad elektromotorom a akumulátormi zakrytý plexisklom o rozmeroch 460 x 680 mm. Vzhľadom na vyššiu výšku akumulátorov oproti pôvodným bolo plexisklo zdvihnuté o 36 mm. Na nasledujúcom Obr. 6.25 je ukázaný pohľad do zadného priestoru elektromobilu vo finálnej podobe.



Obr. 6.25 Pohľad do zadného priestoru elektromobilu

6.4 Predpokladaný potenciál výroby elektrickej energie pre danú lokalitu

Pre určenie predpokladanej výroby elektrickej energie z fotovoltaiického systému počas roka pre lokalitu Brno – Medlánky bol použitý internetový program PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Ide o fotovoltaiický geografický informačný systém, ktorý umožňuje užívateľom odhadnúť intenzitu slnečného žiarenia na akomkoľvek mieste v Európe.

Na základe zvolenej lokality, sklonu a orientácii panelov, celkovej predpokladanej hodnoty výkonu všetkých panelov a ďalších hodnôt dokáže program odhadnúť mesačné a denné hodnoty intenzít pre daný fotovoltaiický systém. Na výpočet počítačovej simulácie pre zvolenú lokalitu je použitý vzorec:

$$E = 365 \cdot P_k \cdot r_p \cdot H_{h,i} \quad (\text{kWh; kWh}) \quad (6.1)$$

Kde:

- P_k – špičkový inštalovaný výkon systému
- R_p – odhadovaný výkonnostný pomer systému (obvyklá hodnota pre strešné systémy z monokryštalických alebo polykryštalických kremíkových modulov je 0,75)
- $H_{h,i}$ – mesačný alebo ročný priemer intenzity globálneho žiarenia na vodorovný a naklonený povrch

Tab. 6.4 Predpokladaná ročná výroba elektrickej energie pre FV systém 1 kWp a dopad slnečné žiarenia pre lokalitu Brno – Medlánky [27]

Mesiac	E_d	E_m	H_d	H_m
Január	0,65	20,1	0,84	26,0
Február	1,26	35,3	1,57	43,9
Marec	2,44	75,8	3,03	94,0
Apríl	3,61	108	4,62	139
Máj	3,99	124	5,24	162
Jún	4,24	127	5,66	170
Júl	4,16	129	5,61	174
August	3,59	111	4,80	149
September	2,61	78,2	3,40	102
Október	1,58	48,9	2,03	63,0
November	0,75	22,4	0,98	29,3
December	0,48	14,9	0,64	19,8
Ročný priemer	2,45	74,6	3,21	97,6
Celkovo za rok	895		1170	

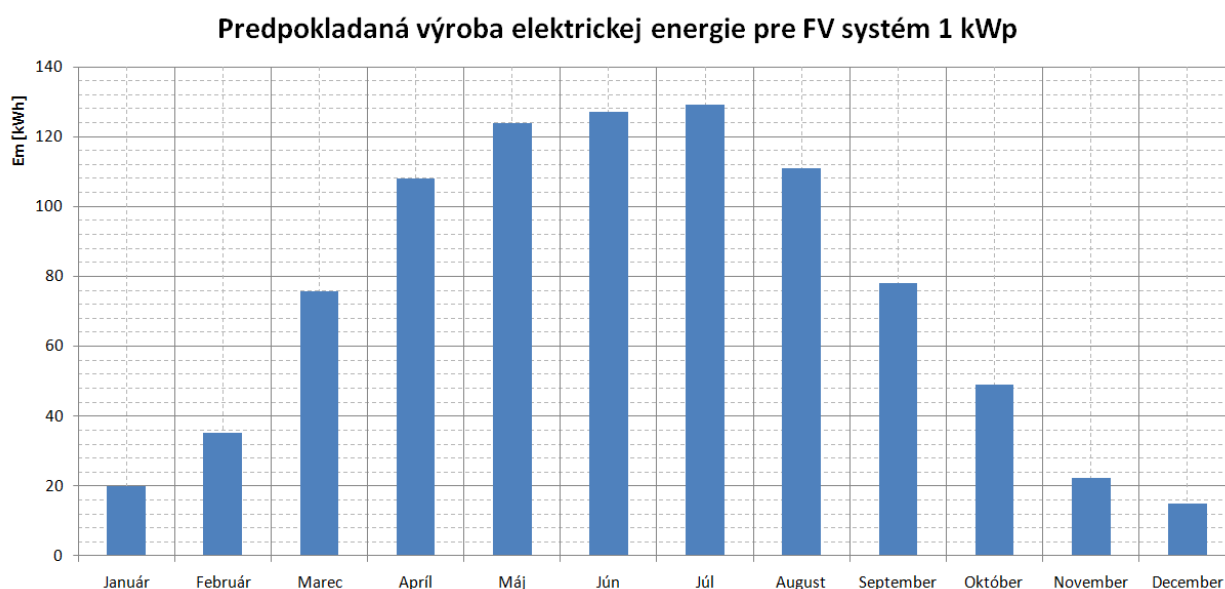
Kde:

- E_d – Priemerná denná výroba elektrickej energie zo systému v kWh
- E_m – Priemerná mesačná výroba elektrickej energie zo systému v kWh

- H_d – Priemerný denný súčet globálneho žiarenia na štvorcový meter dopadajúci na systém v kWh.m^{-2}
- H_m – Priemerný mesačný súčet globálneho žiarenia na štvorcový meter dopadajúci na systém v kWh.m^{-2} [27]

Vstupné hodnoty do programu boli pre nami zvolený objekt uvažované: GPS súradnice lokality Brno – Medlánky $49^{\circ}14'46.5''\text{N}$ $16^{\circ}33'44.1''\text{E}$, špičkový inštalovaný výkon systému 1 kWp, sklon panelov približne 10° , ich orientácia (azimut) na východ a celkové straty systému 23,3 %, ktoré sú zložené zo odhadovaných strát vplyvom teploty 7,2 % (použitá databáza teplôt), odhadovaných strát vplyvom uhlovej odraznosti 4 % a ostatné straty (káble, menič atď.) 14 %. Výsledok výpočtu výroby elektrickej energie zvoleným fotovoltaickým systémom je zobrazený v Tab. 6.4 [27].

Tieto hodnoty sú len orientačné, pretože v reálnej situácii sa nedá predpokladať vývoj počasia počas roka, tiež program počíta s priamym slnečným žiarením no polykryštál dokáže využiť aj difúzne a taktiež každý systém má vďaka vlastným komponentom v ňom zapojeným iné straty a veľa ďalších faktorov. Pre prehľadnejšie zobrazenie sú výstupné údaje o ročnej výrobe elektrickej energie v jednotlivých mesiacoch prevedené do grafickej podoby zobrazenej na Obr. 6.26.



Obr. 6.26 Predpokladaná priemerná mesačná výroba elektrickej energie pre FV systém 1 kWp

6.5 Meranie na ostrovnom FV systéme

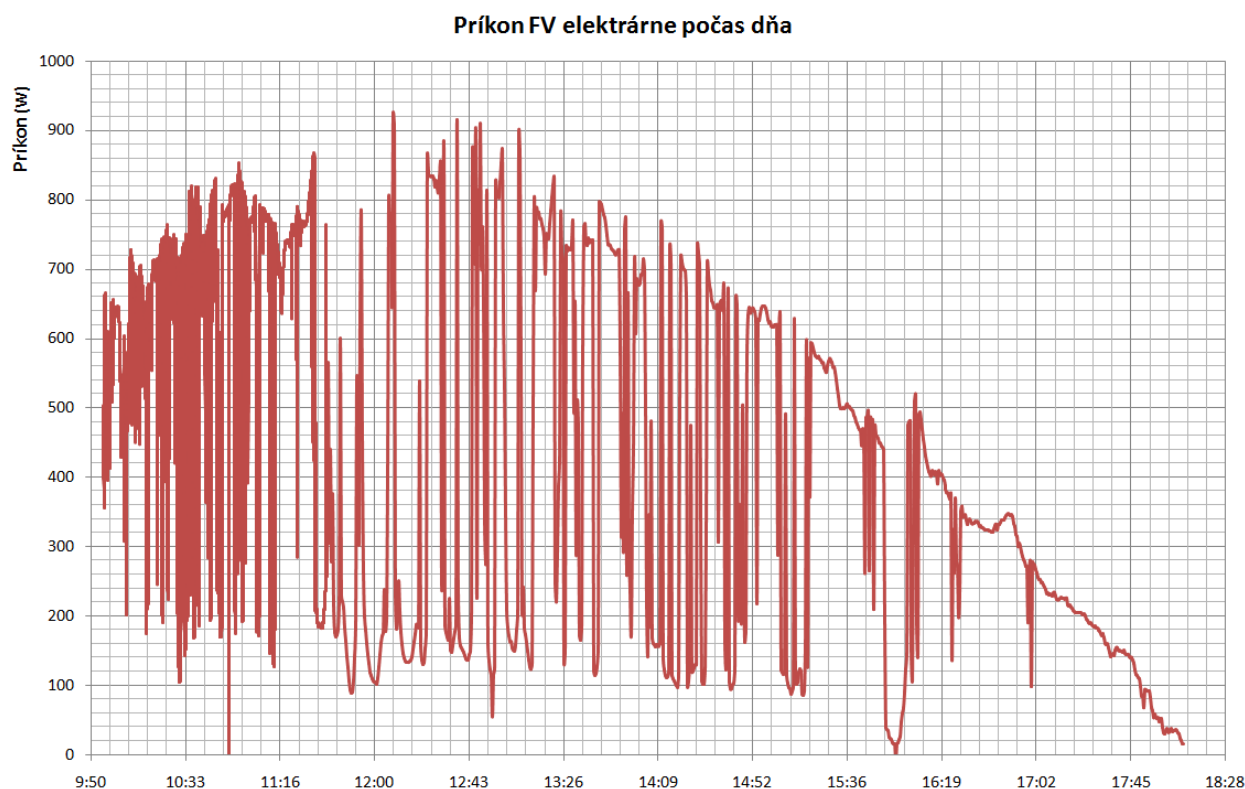
Aby bolo možné uskutočniť meranie na realizovanom ostrovnom FV systéme bolo potrebné v prvom rade vyskúšať funkčnosť dobíjania a elektromobilu. Ako prvé bolo po pripojení systému na batérie vyskúšané napájanie meracích prístrojov. Všetky fungovali správne až na Cell loggery, ktoré začali chybné hlásiť napätia na jednotlivých článkoch akumulátorov. Niektoré články boli

podľa nich viac rozbalansované a boli medzi nimi väčšie rozdiely, ktoré sa stále menili. Po premeraní prírodných vodičov k Cell loggerom bolo zistené, že chyba nastáva na poistkách, ktoré slúžia na ochranu vodičov. Každá poistka mala odpor $2,2 \Omega$ a puzdrá v ktorých sa poistky nachádzali kvôli zaobleniu nemali dostatočnú stykovú plochu s poistkou a vznikali tak nepresné informácie pre Cell loggery. Bolo preto nutné tieto poistky odstrániť a ponechať vodiče bez nich.

Ako ďalší problém nastal po pripojení fotovoltických panelov k regulátoru a následnom pokuse o dobíjanie systému. Po pár minútach dobíjania BMS z neznámych príčin odpojil FV panely cez relé stykač a tým prestal nabíjať systém. Batérie pritom neboli prebíjané ani nim nehrozilo iné nebezpečenstvo kvôli ktorému by BMS malo odpojiť dobíjanie. Keďže BMS nepripojilo naspäť dobíjanie a ostal stále v rozpojenom stave, bolo ho nutné vyradiť zo systému a prevádzkovať dobíjanie bez neho. Úlohu blokovania dobíjania v prípade prebývania teda majú na starosti len Cell loggery.

Po odstránení spomínaných chýb bol systém pre dobíjanie elektromobilu funkčný a aj elektromobil schopný prevádzky. V rámci diplomovej práce bolo uskutočnené meranie nabíjania akumulačného systému pomocou Victronu BMV 700 ako je vidieť na Obr. 6.27 a Obr. 6.28.

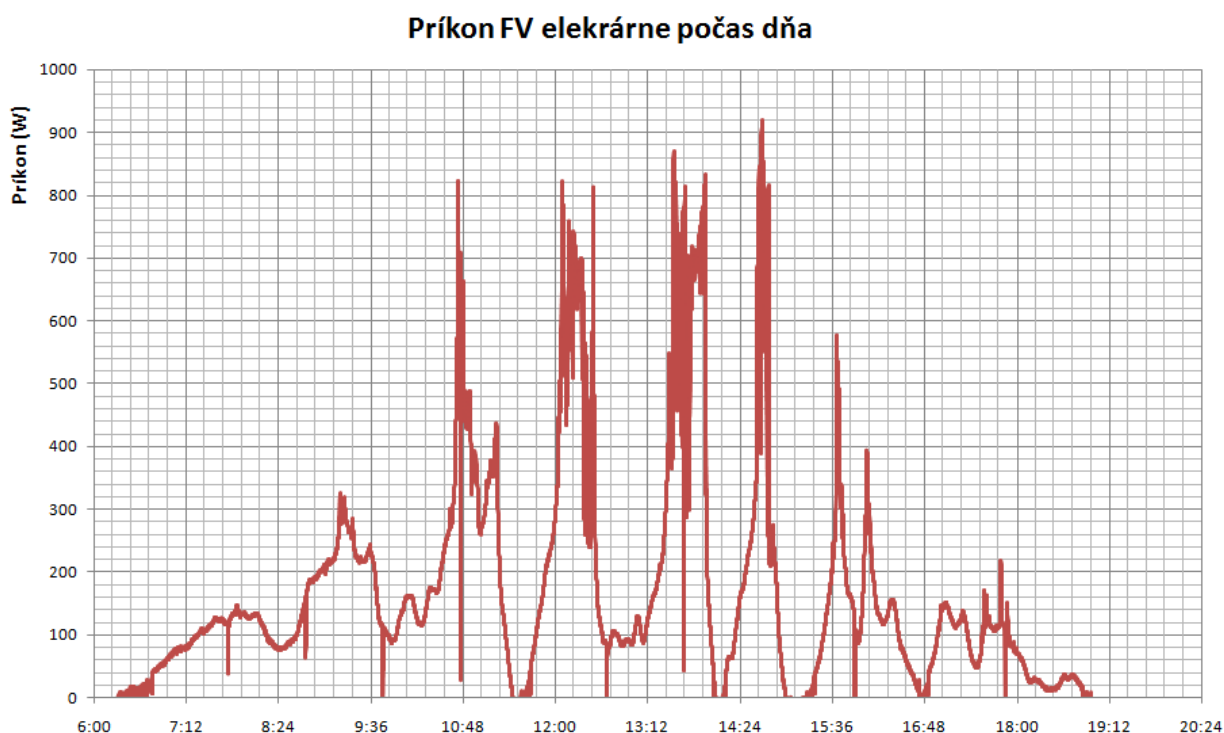
Na Obr. 6. 27 je systém nabíjaný pri oblačnej oblohe a ako je vidieť, elektrárňou dodávala už od ranných hodín pomerne veľký výkon okolo 600 W a postupne v priebehu dňa tento výkon narastal. Medzi 12:00 a 13:00 dosiahol systém dobíjania maximálnej hodnoty okolo 900 W čo odpovedá inštalovanému výkonu elektrárne 1 kWp. Ako slnko zapadalo je postupne vidieť, že k večerným hodinám systém dodával postupne menej výkonu, až nakoniec okolo 18:00 prestal dobíjať.



Obr. 6.27 Príkion FV ostrovnej elektrárne počas oblačného dňa (14.5.2016)

Jednotlivé skoky v grafe naznačujú, že slnko bolo v tej dobe za oblakom a systém sa dobíjal len pomocou difúzneho žiarenia. Za celý deň systém dobil akumulčný systém približne o 4,2 kWh, čo je viac ako priemerná predpokladaná výroba elektrickej energie pre deň v mesiaci máj zistená pomocou programu PVGIS.

Na Obr. 6.28 je zasa zobrazené dobíjanie akumulčného systému pri zamračenej oblohe. Ako je vidieť, systém počas dňa dobíja prevažne difúzne slnečné žiarenie a v ojedinelých prípadoch aj priame. Ide o výkonové špičky v obedných hodinách, presnejšie okolo 10:45 a medzi 12:00 a 14:30. V tejto dobe systém dobíjal plným výkonom okolo 850 – 900 W ale len na krátky čas. Počas tohto zamračeného dňa systém dobil akumulátory o približne 1,8 kWh.



Obr. 6.28 Príkon FV ostrovnej elektrárne počas zamračeného dňa (17.5.2016)

Tento výkon odpovedá približne 30 km jazdy elektromobilu a je teda možné odhadnúť, že v prípade uvažovania celkovej kapacity akumulátorov 6,9 kWh by bol elektromobil schopný dojazdu okolo 100 km a teda spotreby okolo 60 Wh na 1 kilometer. Vlastná spotreba elektromobilu je bez zapnutého kľúčika zapalovania, teda pre napájanie solárneho regulátora a meracích prístrojov pre ostrovný systém 0,2 A. Po zapnutí kľúčika a pripojení elektroniky elektromobilu je vlastná spotreba 1,04 A.

7. EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Realizovaný ostrovný FV systém v spolupráci s elektromobilom je ekologicky veľmi výhodnou formou výroby, uchovávaní elektrickej energie a prepravy osôb. V tejto kapitole si ukážeme taktiež ekonomické výhody, ktoré z tohto systému vyplývajú. V prvom rade to je úspora za vyrobenú elektrickú energiu, ktorou by sme inak elektromobil nabíjali zo siete. Tá je ešte stále vyrábaná vo svete vo väčšine neekologicky z neobnoviteľných zdrojov a preto je používanie elektromobilu, ktorý je síce šetrný k životnému prostrediu, nabíjaného práve touto neekologicky vyrobenou energiou nie veľmi účinné.

Ako ďalšia úspora tohto systému je v palive na pohon elektromobilu. Oproti klasickým automobily na spaľovací motor je elektromobil ekologickejší, pretože využíva na svoj pohon elektrickú energiu. Klasické autá potrebujú naftu, ktorej je obmedzené množstvo a taktiež je neekologická k životnému prostrediu, kvôli škodlivým látkam, ktoré pri prevádzke unikajú. Ide o benzínové alebo dieselové automobily, ktorých spotreba na kilometer a cena paliva sa líši. Kombinácia fotovoltaického alebo iného systému z obnoviteľného zdroja energie a elektromobilu je preto výhodná a javí sa ako najvhodnejšia pre šetrenie životného prostredia, či už od výfukových plynov klasických automobilov, alebo škodlivých látok unikajúcich z elektrární.

7.1 Cena ostrovného systému

Prehľad jednotlivých častí realizovaného ostrovného systému spolu s cenami je prehľadne zobrazený v prílohe na konci diplomovej práce. Ako je vidieť, najdrahšou časťou celého systému sú jednoznačne akumulátory, ktorých cena je za použitých 12 kusov až 62 973 Kč. Taktiež pomerne drahým komponentom sú fotovoltaické panely za 18 000 Kč, solárny regulátor eTracer za 9 415 Kč a regulátor Curtis 1204M za 9 000 Kč. Tabuľka neobsahuje úplne všetky komponenty, ktoré boli použité, ide o lacné položky, ktoré nie sú kvôli prehľadnosti do tabuľky zahrnuté. Celková cena ostrovného FV systému je teda približne 123 190 Kč.

7.2 Predpokladaná úspora systému

V tejto časti bude teoreticky na základe predpokladaného ročného využívania elektromobilu a vyrobenej elektrickej energie určené koľko je schopný systém ušetriť. Úspora bude predpokladaná na 10 rokov, čo by mohla byť zároveň predpokladaná životnosť akumulačného systému v elektromobile. V prvom rade sa jedná o úsporu na palive a tiež o úsporu na elektrickej energii.

7.2.1 Úspora paliva pre elektromobil

Ako je už spomenuté, elektromobil je oproti klasickému automobilu oveľa ekologickejší, pretože pri svojej prevádzke nevypúšťa do ovzdušia škodlivé látky. Na viac môže slúžiť, keďže

ide v podstate o pojazdný akumulčný systém, ako dobíjacia alebo pohonná stanica pre rôzne zariadenia využívajúce elektrickú energiu a tiež ako akumulčný prvok pre prebytočnú energiu vyrobenú z obnoviteľných zdrojov. V tejto časti sa budeme však zatiaľ zaoberať ekonomickou výhodou elektromobilu ako dopravného prostriedku.

Pre činnosť automobilov je potrebné pravidelné tankovanie nafty. Či už ide o dieselové alebo benzínové motory, každý má svoju vlastnú spotrebu a rozdielny dojazd na jedno natankovanie. Ropa však nie je lacnou záležitosťou a taktiež obnoviteľný zdroj energie, jedného dňa sa vyčerpá a predpokladá sa, že postupne sa jej cena bude stále zvyšovať. Oproti tomu do elektromobilu „tankujeme“ elektrickú energiu, ktorú si dokážeme s dnešnými technológiami vyrobiť s obnoviteľných zdrojov. Tie majú síce zatiaľ vysoké obstarávacie náklady ale je veľký predpoklad, že postupom rokov sa tieto technológie začnú viac rozvíjať a tým ich cena klesne.

Na druhej strane sú ale nenáročné na prevádzku a môžu teda počas svojej životnosti dobíjať elektromobily takmer zadarmo. To znamená, že v prípade používania elektromobilu, majiteľ ušetrí ročné náklady za pohonné hmoty, ktoré by inak musel platiť. Ak by sme chceli zistiť výšku takýchto ročných nákladov za naftu, je to celkom individuálne. Záleží na type automobilu, na jeho spotrebe, type paliva a taktiež koľko ročne majiteľ najazdí. Tieto parametre sa v prípade automobilov ale aj majiteľov líšia.

Pre náš systém, budeme porovnávať úsporu oproti dvom typom áut. Prvé bude obsahovať benzínový motor s uvažovanou kombinovanou spotrebou 7 litrov na 100 kilometrov a druhý bude s úspornejším dieselovým motorom so spotrebou 5 litrov na 100 kilometrov. Taktiež budeme predpokladať pre potreby vyhodnotenia, že majiteľ najazdí priemerne 30 kilometrov denne, čo by za rok robilo celkovo 10 950 kilometrov. Priemernú cenu benzínu budeme uvažovať 31,26 Kč za liter a priemernú cenu nafty 29,6 Kč za liter. Ceny za pohonné látky boli zisťované podľa internetového portálu Ropa.cz pre Českú republiku ku dňu 18.5.2016 [43]. Ročnú sumu za palivá pre dané typy automobilov môžeme vypočítať nasledovne.

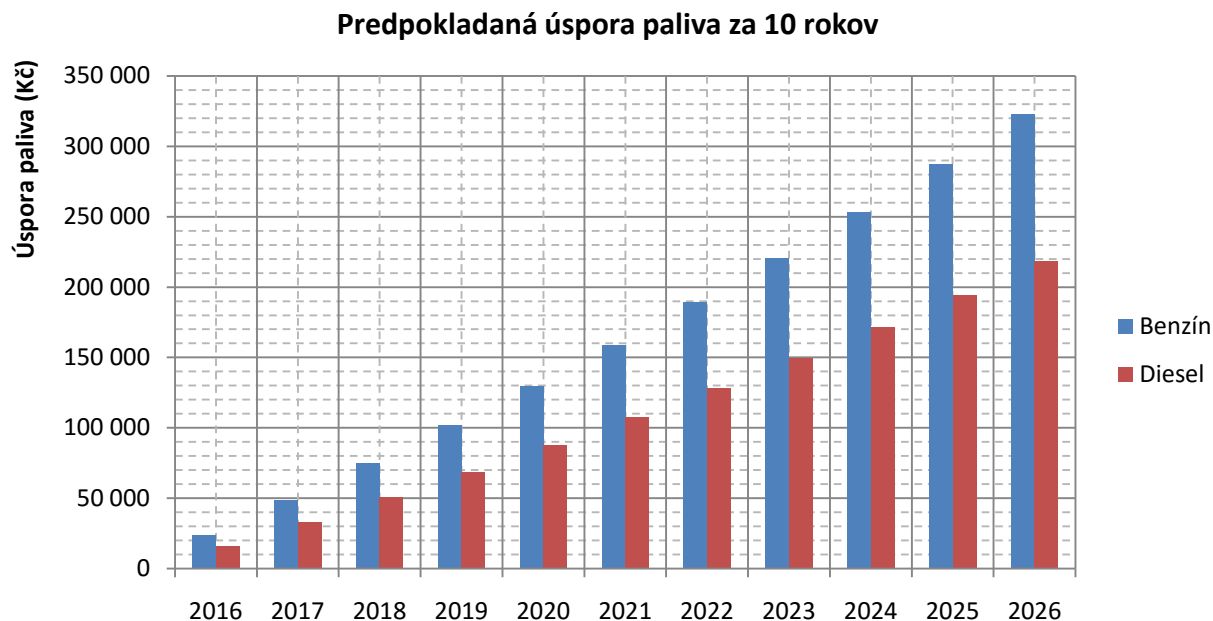
Pre benzínový automobil:

$$\text{Benzín} = \text{Najazdené} \cdot \text{Spotreba} \cdot \text{Cena} = 10950 \cdot \frac{7}{100} \cdot 31,26 = 23\,960,8 \text{ Kč.l}^{-1} \quad (7.1)$$

Pre dieselový automobil:

$$\text{Diesel} = \text{Najazdené} \cdot \text{Spotreba} \cdot \text{Cena} = 10950 \cdot \frac{5}{100} \cdot 29,6 = 16\,206 \text{ Kč.l}^{-1} \quad (7.2)$$

Pri uvažovaní predpokladaného ročného nárastu ceny palív o 4 % potom môžeme určiť cenu paliva na 10 rokov a určiť tak koľko elektromobil oproti klasickému automobilu ušetrí majiteľovi za tankovanie. Pre lepšiu prehľadnosť je celková úspora zobrazená na Obr. 7.1 nižšie pre jednotlivé roky. Ako je na grafe vidieť, za 10 rokov prevádzky elektromobilu je majiteľ schopný ušetriť približne až 320 000 Kč v prípade benzínového automobilu a približne 220 000 Kč pri dieselevom aute.



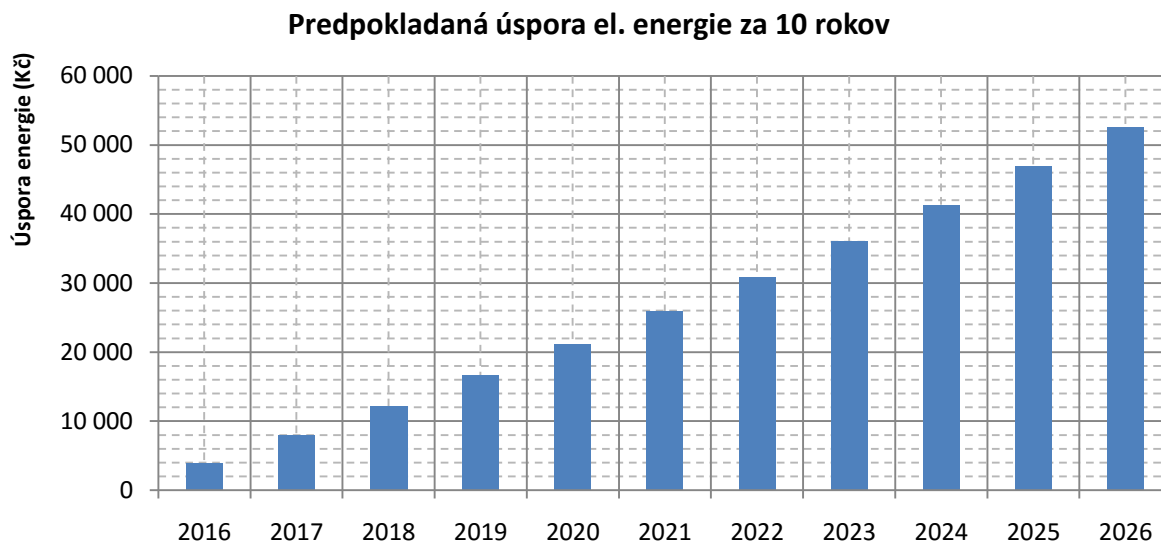
Obr. 7.1 Predpokladaná úspora paliva za 10 rokov používania elektromobilu

7.2.2 Úspora elektrickej energie na dobíjanie elektromobilu z FV systému

Ako ďalšou ekonomickou úsporou je v kombinácii elektromobilu a FV ostrovného systému vyrobená elektrická energia. Ako bolo spomínané, nevýhodou FV systému ale aj iného systému na obnoviteľný zdroj je vysoká obstarávacía cena. Je ale treba myslieť, že na rozdiel od dobíjania elektromobilu počas roka zo siete a platením tak distribútorovi za spotrebovanú elektrickú energiu, pomocou FV systému je možné dobíjať elektromobil energiou zo slnka a zadarmo. Tým pádom odpadávajú ročné náklady za elektrickú energiu, ktoré sa budú vzhľadom na zvyšujúcu sa záťaž siete zvyšovať. V prípade fotovoltaiky je teda najdrahšou časťou samotná investícia a keďže sú prevádzkové náklady takmer nulové a životnosť systému okolo 20 rokov, táto prvotná investícia sa počas rokov prevádzky začne majiteľovi pomaly vracat' práve na úsporách za platenie energie zo siete.

Podľa programu PVGIS je možné teoreticky odhadnúť energetický potenciál našej ostrovnej FV elektrárne, ktorý je 895 kWh ročne. Môžeme uvažovať, že do systému bude zakomponovaný menič napätia, ktorý nám bude vyrábať striedavé napätie. Týmto napätím môžu byť napájané iné spotrebiče na záhrade a teda v ideálnom prípade by sme boli schopní využiť celú ročnú vyrobenú elektrickú energiu. Časť by bola naakumulovaná a slúžila by na prevádzku elektromobilu a prebytočná energia využitá na iné aplikácie. Cena elektriny pre Brno, ktoré patrí do distribučnej siete spoločnosti E. ON Energie, a.s. je 4,36 Kč za 1 kWh [44].

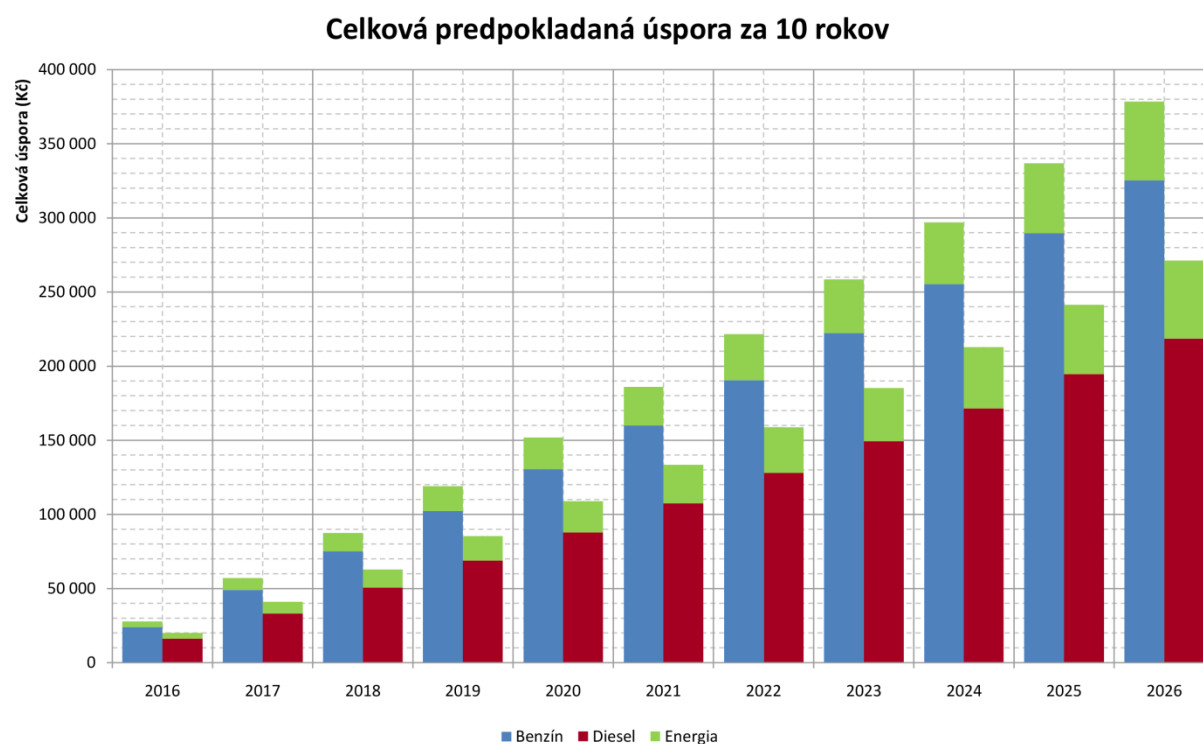
Pri uvažovaní ročného nárastu ceny energií o 4 % potom môžeme určiť cenu elektrickej energie na 10 rokov. Pre lepšiu prehľadnosť je celková úspora zobrazená na Obr. 7.2 nižšie pre jednotlivé roky. Ako je na grafe vidieť, za 10 rokov prevádzky FV systému je majiteľ schopný ušetriť približne 53 000 Kč.



Obr. 7.2 Predpokladaná úspora elektrickej energie za 10 rokov používania FV systému

7.2.3 Celková úspora systému

Na záver pre lepšiu orientáciu v celkovej predpokladanej úspore je zostrojený graf, v ktorom sú skombinované určené úspory a porovnané medzi sebou. Ako je vidieť z Obr. 7.3 kombinácia FV ostrovného systému a elektromobilu je schopná na základe úspory na palive a elektrickej energii ušetriť približne 375 000 Kč oproti benzínovému autu a 270 000 Kč oproti dieselovému autu. Môžeme teda vidieť, že nevýhoda ostrovného systému a elektromobilu samotného v podobe veľkej obstarávacej ceny, ktorá bola v prípade systému 123 190 Kč sa z dlhodobého hľadiska opláti viac, ako platiť za elektrickú energiu a palivo do klasického automobilu.



Obr. 7.3 Celková predpokladaná úspora za 10 rokov pre FV systém a elektromobil

8. ZÁVER

Fotovoltaický systém pre dobíjanie elektromobilu je pomerne nový a v českej republike zatiaľ celkom nerozšírený spôsob využívania ekologického a obnoviteľného zdroja energie pre prevádzku elektromobilu. Tento druh ostrovného systému sa postupne rozširuje po parkoviskách a strechách supermarketov alebo iných spoločností, pre využívanie voľných plôch a možnosť dobíjania elektromobilov pre zákazníkov. V diplomovej práci je takýto ostrovný FV systém pre dobíjanie elektromobilu realizovaný v rámci záhrady, na ktorej sa elektromobil nachádza. Práca je rozdelená do jednotlivých kapitol, ktorých obsah si podrobnejšie predstavíme.

V úvode diplomovej práce je vysvetlená dôležitosť slnečného žiarenia na fotovoltaický systém, aké sú podmienky žiarenia v českej republike a tiež aké druhy žiarenia existujú. V ďalšej kapitole je zasa teoreticky popísaný fotovoltaický systém a jeho jednotlivé komponenty, ktoré môže ale aj nemusí obsahovať. Vysvetlený je fotovoltaický jav, ktorý spôsobuje že je možné z fotovoltaických panelov vyrábať elektrickú energiu a tiež jednotlivé druhy fotovoltaických článkov, s ktorých panel pozostáva. Spomenuté sú aj základne charakteristické veličiny fotovoltaických článkov. Hlavné komponenty ako je menič, regulátor a akumulácia sú rozobrané na záver teórie o fotovoltaickom systéme, ktorá slúži ako oboznámenie sa s prvkami navrhnutého a realizovaného ostrovného fotovoltaického systému.

Po vysvetlení jednotlivých častí fotovoltaického systému sa práca zameriava na popis reálnych aplikácií takýchto systémov vo svete, ich parametre a účel použitia. Jedná sa o solárne parkoviská, systémy pre verejné osvetlenie ale aj systém pre napájanie celej domácnosti. Hlavne v prípade fotovoltaických parkovísk ide o veľmi sa rozvíjajúci a perspektívny cieľ ekologického dobíjania elektromobilov, ktorých každým rokom na cestách pribúda postupne viac.

V ďalšej kapitole je potom teoreticky navrhnutý fotovoltaický systém pre elektromobil, ktorý je následne v diplomovej práci realizovaný a vychádza z tohto teoretického návrhu. Ide o predstavenie možností hlavných komponentov, ktoré by mal taký ostrovný systém obsahovať. Jednotlivé technológie týchto komponentov sú medzi sebou porovnané a sú predstavené ich výhody a nevýhody. Návrh taktiež slúži zároveň ako návod na realizáciu ostrovného FV systému pre rôzne iné aplikácie, než dobíjanie elektromobilu. Na záver návrhu je navrhnutá bloková schéma ostrovného systému, kde sú poprepájané jednotlivé komponenty a je ukázané, ako by mal taký systém vyzeráť a ako majú byť medzi sebou komponenty poprepájané a chránené.

Hlavnou časťou diplomovej práce je realizácia systému a meranie na tomto systéme. Systém je realizovaný pre záhradnú lokalitu Brno – Medlánky, konkrétne pre drevený prístrešok na elektromobil. Na streche sú nainštalované 4 polykryštalické panely od firmy Axitec s celkovým výkonom 1 kWp. V rámci elektromobilu od firmy CityEl boli vymenené staré olovené akumulátory za nové LiFePO_4 s celkovou kapacitou 6,912 kWh, pre ktoré musel byť upravený priestor ich usadenia. Ako ďalšie boli vymenené niektoré komponenty silovej časti elektromobilu ako bol regulátor Curtis 1204M a tiež kontaktor Albright DC-182. Taktiež boli nainštalované meracie prístroje, ktoré sa nachádzajú v zadnom priestore pri akumulátoroch a tiež na palubnej doske elektromobilu. Ide o systémy Victron BMV 700, ktorý slúži na meranie FV elektrárne a tiež Cycle Analyst, ktorý pre zmenu meria a sníma vlastnosti elektromobilu.

Keďže v rámci akumulácie nie je použité balansovanie, je realizovaný plošný spoj, ktorý slúži na blokovanie pred prepätím a podpätím akumulátorov pomocou relé stýkačov. Na záver realizácie je systém poprepájaný a do elektromobilu taktiež umiestnený regulátor dobíjania. Týmto spôsobom umiestnenia všetkých komponentov, až na FV panely, do elektromobilu predstavuje realizovaný systém pojazdnú elektrárňu. Takto je možné pripojiť elektromobil k hocikámu inému obnoviteľnému zdroju energie požadovaného výkonu a dobíjať akumulátory.

V rámci realizácie, po oživení systému a spojznení elektromobilu do funkčného stavu, bolo zmerané nabíjanie akumulátorov systému počas dňa. Pre porovnanie boli použité na ukážku dáta s merania oblačného dňa, kedy systém fungoval takmer celý čas na maximálny výkon vzhľadom na dopadajúce slnečné žiarenie a za celý deň nabil systém o približne 4,6 kWh. Ako ďalší bol premeraný zamračený deň, kedy väčšinu času bol systém dobíjaný difúznym žiarením a občas priamym, ktoré však trvalo krátku chvíľu. Za takýto zamračený deň systém nabil akumulátory o približne 1,8 kWh. Predpokladaný dojazd elektromobilu je odhadovaný okolo 100 km na jedno nabitie.

Na záver diplomovej práce je ukázané jednoduché ekonomické zhodnotenie, ktoré má za úlohu predstaviť aké úspory môže kombinácia FV ostrovného systému a elektromobilu dosiahnuť. Ide o úsporu za elektrickú energiu, ktorá by teoreticky mohla byť za 10 rokov životnosti akumulačného systému okolo 53 000 Kč. Ako ďalšia úspora je za palivo, ktoré je v prípade používania klasických automobilov značnou finančnou nevýhodou. V prípade používania elektromobilu ako dopravného prostriedku je možné za 10 rokov prevádzky ušetriť oproti benzínovému autu až približne 320 000 Kč a v prípade dieselového auta približne 220 000 Kč. Cena realizovaného systému je pritom okolo 123 000 Kč.

Ostrovný FV systém realizovaný v práci slúži zatiaľ ako ukážka ako taký systém pre dobíjanie elektromobilu môže fungovať a ako sa môže správať v praxi oproti teoretickým predpokladom. Ide o prvý pokus realizácie, ktorú je do budúcnosti potrebné vylepšiť, vychytať chyby a upraviť systém do funkčnejšej podoby. Ako prvým vylepšením by mohla byť externá nabíjačka batérií pre zálohu dobíjania v prípade zlých slnečných podmienok a nedostatočného výkonu FV elektrárne. Veľmi praktickým spôsobom externého nabíjania zo siete by bol napäťový zdroj s prúdovým obmedzením, ktorý by simuloval napätie a prúd FV elektrárne, približne 120 V a 8 A. Ten by bol pripojený namiesto FV panelov na regulátor a akumulátory by boli dobíjané zo siete cez tento zdroj. Ako ďalší spôsob nabíjania zo siete je v cez hybridný menič napätia, ktorý okrem premeny jednosmerného napätia na striedavé a dobíjanie spotrebičov na striedavé napätie slúži taktiež ako nabíjačka zo siete. V tomto prípade ale ide o pomerne drahý komponent.

Ako ďalším vylepšením je práve spomínaný menič, ktorý by v prípade hlavne letných mesiacov mohol prebytočnou nevyužitou elektrickou energiou napájať spotrebiče na striedavé napätie nachádzajúce sa na záhrade. Pri uvažovaní umiestnenia tohto meniča do elektromobilu by sa stal elektromobil okrem pojazdnej elektrárne na viac pojazdnou zásuvkou na striedavých 230 V. Mohol by tak slúžiť ako mobilný akumulačný zdroj, ktorý by bolo schopné dopraviť na rôzne miesta a dobíjať ním iné spotrebiče.

Elektromobil je budúcnosť dopravy a spôsob, akým zabrániť zbytočnému znečisťovaniu planéty. Ak bude ale využívať elektrickú energiu s elektrární, ktoré sú neekologické k životnému prostrediu, nie je to dva krát efektívne. Preto by vždy mali fungovať v kombinácii s obnoviteľnými zdrojmi energie.

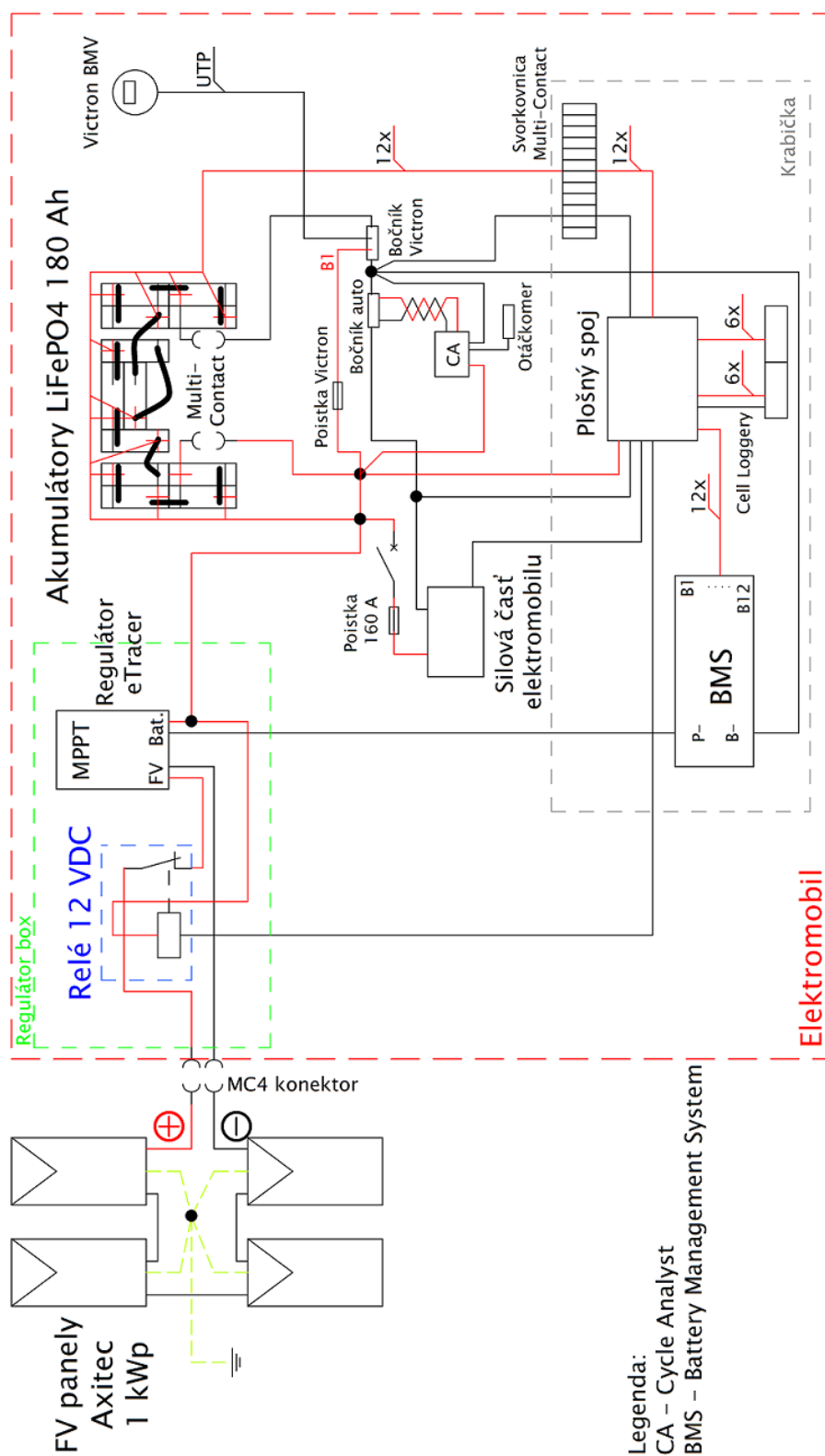
POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] MASTNÝ, Petr; DRÁPELA, Jiří; MIŠÁK, Stanislav; MACHÁČEK, Jan; PTÁČEK, Michal; RADIL, Lukáš; BARTOŠÍK, Tomáš; PAVELKA, Tomáš. *Obnovitelné zdroje elektrické energie* Praha : Vydavatelství ČVUT, 2011. 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] Isofen Energy s.r.o. *Teorie fotovoltaiky*, [online]. c2009, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [3] Energetické centrum Bratislava. *Slnečná energia*, [online]. cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.slnečnaenergia.sk/energia.htm>
- [4] MASTNÝ, Petr. *Studijní podklady předmětu Malé zdroje elektrické energie*, 2011. Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně
- [5] Isofen Energy s.r.o. *Fotovoltaika v podmínkách České Republiky*, [online]. c2009, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [6] LADENER, Heinz; SPATE, Frank. *Solární zařízení*. Praha: Grada Publishing, 2003. cit [13.12.2015].
- [7] K-Acko, *Fotovoltaické principy fungovania*, [online]. 2012, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.k-acko.sk/fotovoltaika-na-kluc/>
- [8] EkoWATT. *Energie slunce – výroba elektřiny*, [online]. c2011, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/energie-slunce---vyroba-elektriny>
- [9] Czech RE Agency. *Fotovoltaika pro každého*, [online]. c2009, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#fv>
- [10] CHMEL, Ladislav; HAMERNÍK, Ivo. *Fotovoltaika, fototermika*, [online]. 2015, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/91/Cover.html>
- [11] KOLAŘÍK, Martin. *Jaký je rozdíl mezi levným PWM a dražším MPPT regulátorem?*, [online]. c2012-2016, cit [19.5.2016]. Dostupné z WWW: <http://ostrovni-elektrarny.tumblr.com/post/24832727622>
- [12] W.E.B Větrná energie s.r.o. *Energie žvlů – Fotovoltaika*, [online]. c2010, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: http://www.vetrna-energie.cz/energie-zivlu/fotovoltaika_11
- [13] SRDEČNÝ, Karel. *Problémy fotovoltaických projektů z hlediska energetického auditu*, [online]. © Topinfo s.r.o. 2001-2015, cit [13.12.2015] Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/005073-problemy-fotovoltaickych-projektu>
- [14] CNE a.s. *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny*, [online]. c2015, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.cne.cz/seniori/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [15] Tzb-energ. *Fotovoltaika*, [online]. cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>
- [16] ŠKORPÍK, Jiří. *Sluneční záření jako zdroj energie*, [online]. Brno, 2015, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni>
- [17] BECHNÍK, Bronislav, *Historie a perspektivita OZE – fotovoltaika, technologie krystalického křemíku*, [online]. 2009, cit [13.12.2015]. Dostupné z WWW: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/>

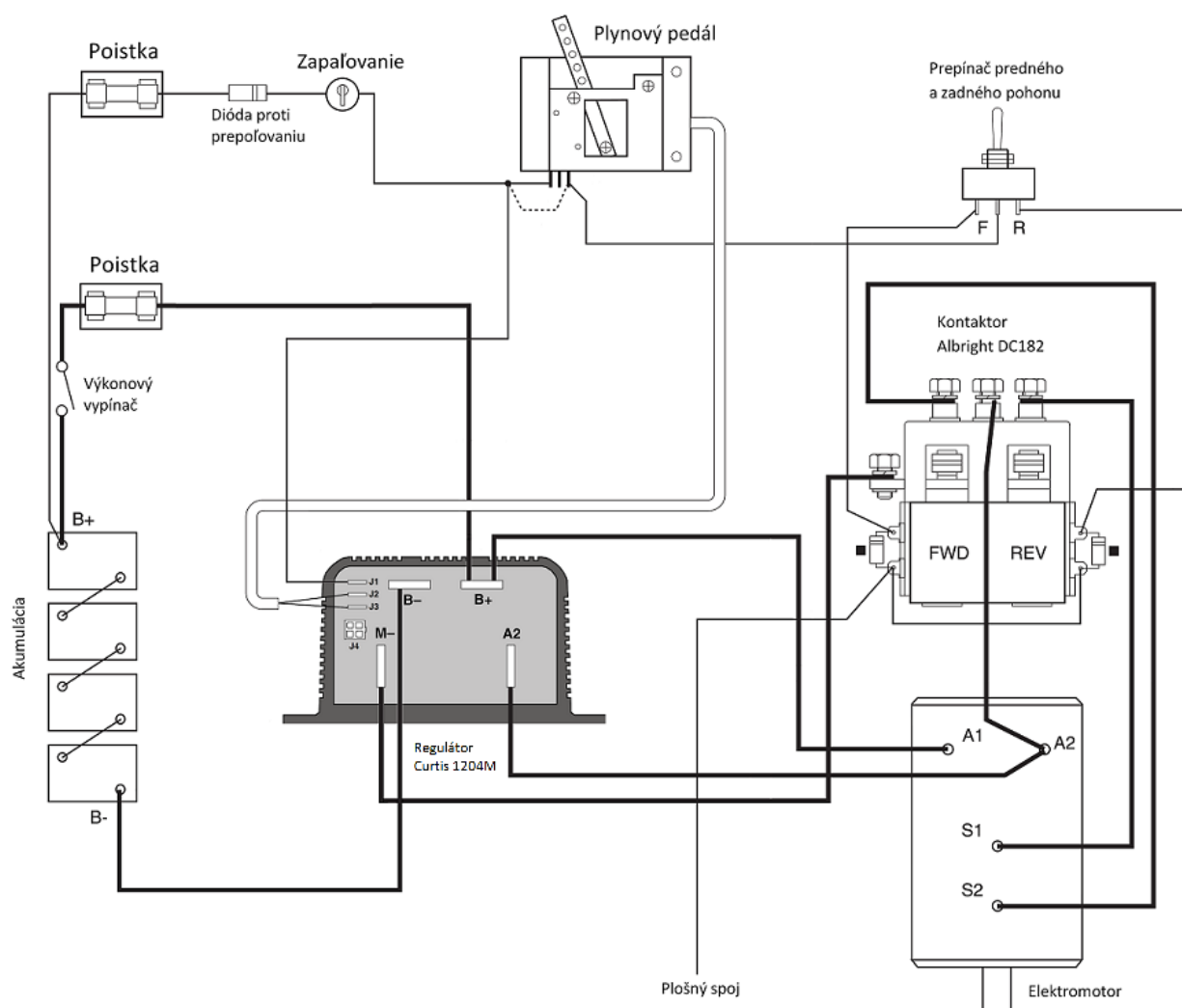
- [18] KOLARČÍK, Martin. *Ostrovne fotovoltaické elektrárny – Technologie používané pro ostrovne elektrárny*, [online]. 2015, cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <http://www.solarnenovinky.sk/technika/2015>
- [19] Deramax.cz s.r.o. *Jaký solární regulátor použít*, [online]. cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <http://www.deramax.cz/6-jaky-solarni-regulator-pouzit-6-dil-ze-serialu-clanku>
- [20] DOLEŽEL, Michal. *Lithium-železo-fosfátové akumulátory – budoucnost domácí výroby a spotřeby elektriny*, [online]. 2014, c2015, cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <http://www.nazeleno.cz>
- [21] Elektromobily. *Baterie v elektromobilech*, [online]. c2010, cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>
- [22] ŠTÁVOVÁ, Petra. *Solární parkoviště – více užítu u jedné instalace*, [online]. 2010, © JAGA GROUP, s.r.o., cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <http://www.asb-portal.cz/tzb/fotovoltaika>
- [23] HRADIL, Ivo. *Nové kryté solární parkování bude k dostání ve Velké Británii*, [online]. 2012, cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <http://www.hybrid.cz/>
- [24] Smartflower POP – první solární systém All-in-One na světě, [online]. cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <https://www.smartflower.com/>
- [25] Futuristic news. *uTree: Realistic Mass Solar Energy Generation*, [online]. c2015, cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <http://futuristicnews.com/utree-realistic-mass-solar-energy-generation/>
- [26] Wikipedia. *CityEl*, [online]. 2015, cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/CityEl>
- [27] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). [online]. 2012, cit [13.12.2015].
Dostupné z WWW: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [28] Google mapy. *Lokalita realizovaného ostrovného FV systému Brno-Medlánky*, [online]. c2016 Google, cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <https://www.google.sk/maps>
- [29] YGE 60 Cell 40mm SERIES. *Datasheet pre Yingli Solar YL255P-29b*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.eborx.com/download/en/yingli>
- [30] PANDA 60 Cell 40mm SERIES. *Datasheet pre Yingli Solar Panda YL255C-30b*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.eborx.com/download/en/yingli>
- [31] SCHOTT PROTECT™ ASI series. *Datasheet pre Schott protect ASI 100*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: http://www.goingsolar.com.au/files/file-uploads/schott_protect_asi_100
- [32] ECO produkt s.r.o. *Internetový obchod*, [online]. c2011-2016, cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.ecoprodukt.cz/>
- [33] Deramax.cz s.r.o. *Jak vybrat měnič napětí (střídač) a nenapálit se*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.deramax.cz/jak-vybrat-menic-napeti-stridac-a-nenapalit-se>
- [34] Solární-Panely.cz. *Hybridní měniče napětí*, [online]. c2007-2016, cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://solarni-panely.cz/katalog-produktu/hybridni-menice-napeti>

-
- [35] Neosolar, spol. s.r.o. *Obrázky akumulátorov*, [online]. c2016, cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.neosolar.sk/>
- [36] Neosolar, spol. s.r.o. *Datasheet pre Banner 100 Ah Solar*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: http://eshop.neosolar.cz/images_content/231/662-O-banner-pdf-2.pdf
- [37] fgForte s.r.o. *Datasheet pre FG12-100DG*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.fg-forte.cz/images/file/Datasheets/fgFORTE>
- [38] ostrovni-elektrarny.cz. *Datasheet pre LiFePO₄ 160 Ah*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: http://www.ecoshopa.sk/fotky3530/fotov/_ps_836LYP-Product-Spec
- [39] AXIworldpower. *Datasheet pre Axitec AC-250P/156-60S*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: http://solarni-panely.cz/content/download/4987/37578/file/Axitec_250Wp.pdf
- [40] Eco Power. *Špecifikácie pre CALB-SE180AHA*, [online]. c2011, cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.ecopowerpack.com/products-detail.php?ProId=45>
- [41] Deramax.cz s.r.o. *Akumulátory pro měniče napětí*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.deramax.cz/akumulatory-pro-menice-napeti>
- [42] Jakama - Green Energy. *Špecifikácie pre solárny regulátor eTracer 60 A*, [online]. cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.jakama-ge.sk/jakama-ge/eshop/5-1-Regulatory-dobijania>
- [43] Ropa.cz. *Ceny benzínu a nafty pre českú republiku*, [online]. c2013-2015, cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.ropa.cz/>
- [44] TBZ-info. *Ceny paliv a energií – Sazba D 01d*, [online]. c2013-2015, cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/14-prehled-cen-elektricke-energie>
- [45] Curtis Instruments, INC. *Datasheet pre Curtis 1204X*, [online]. c2011, cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: [http://curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=1204X+\(11E\).pdf](http://curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=1204X+(11E).pdf)
- [46] Curtis Instruments, INC. *Datasheet pre Curtis 1204M*, [online]. c2011, cit [19.5.2016].
Dostupné z WWW: [http://curtisinstruments.com/?fuseaction=1204M%20\(11B\).pdf](http://curtisinstruments.com/?fuseaction=1204M%20(11B).pdf)

PRÍLOHA A BLOKOVÁ SCHÉMA FV SYSTÉMU

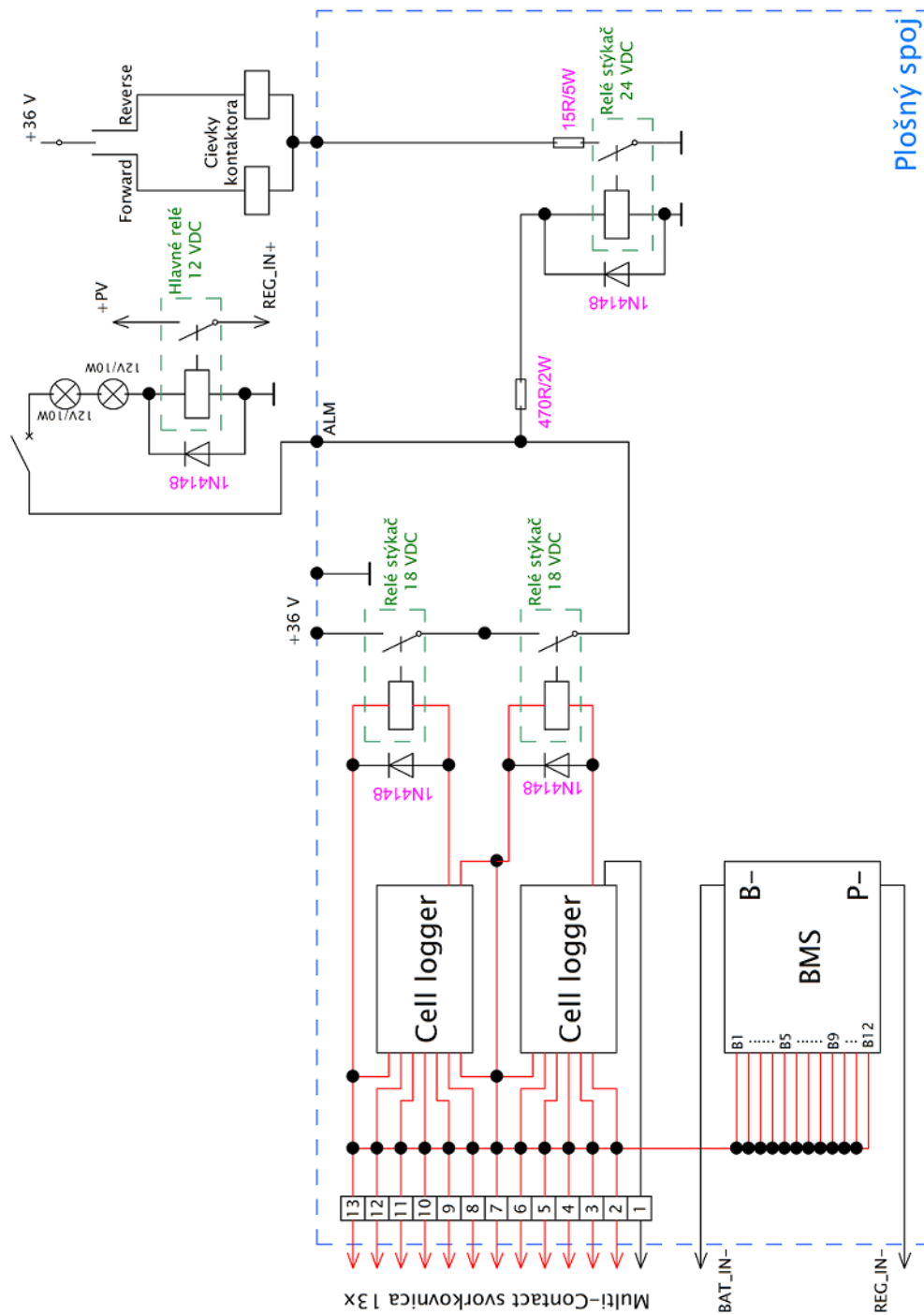


PRÍLOHA B SILOVÁ ČASŤ ELEKTROMOBILU



Obr. B Silová časť elektromobilu z datasheetu od Curtis 1204X [45] upravená o nový typ Curtis 1204M [46] a elektromobil CityEl

PRÍLOHA C SCHÉMA PLOŠNÉHO SPOJA



PRÍLOHA D ROZPOČET FV SYSTÉMU

Názov produktu	Počet (ks/meter)	Cena bez DPH za kus/meter (Kč)	Cena bez DPH spolu (Kč)	DPH (%)	Cena s DPH spolu (Kč)
Simple battery management pre 12 článkov	1	1 522	1 522	21	1 841,62
Cell Logger 8cells / 1 battery (USB port)	2	599	1 198	21	1 449,58
SE180AHA - Lithium Cell LifePO4 (3,2V/180Ah)	12	4 337	52 044	21	62 973,24
Konektorové prepojky pre SE180AHA	10	80	800	21	968,00
Kryt konektorovej prepojky (červený)	12	14	168	21	203,28
Kryt konektorovej prepojky (čierný)	12	14	168	21	203,28
Solárny MPPT regulátor 12/24/36/48V, eTracer 60A, vstup 150 V	1	7 781	7 781	21	9 415,01
Fotovoltaický solárny panel Axitec 250 Wp	4	3719	14 876	21	18 000,00
Vodič z FV panelov	10	41,32	413	21	500,00
MC4 konektor	2	61,99	124	21	150,00
Hlavné relé 12 VDC	1	3305,79	3 306	21	4 000,00
Pomocné relé 18V (Cell loggery)	2	70,25	141	21	170,01
Pomocné relé 24V (Kontaktor)	1	50,41	50	21	61,00
Cycle Analyst	1	2066,12	2 066	21	2 500,00
Gumený vodič (linka) KV H01N2-D 1x35mm ²	5	103,42	517	21	625,69
Kontaktor DC 182	1	3604,97	3 605	21	4 362,01
Sledovač stavu batérie Victron Energy BMV 700	1	3305,79	3 306	21	4 000,00
Multi-Contact pripojenie na batérie + svorkovnice	-	-	1 751	21	2 119,12
Otáčkomer	1	371,9	372	21	450,00
Univerzálny plošný spoj 160 x 100	1	136,36	136	21	165,00
Regulátor Curtis	1	7438,02	7 438	21	9 000,00
Rezistor 470R 2W	1	3,22	3	21	3,90
Autožiarovky 10 W, 12 V	2	8	16	21	19,36
Dióda 1N4148	4	0,99	4	21	4,80
Rezistor RD 15R 5W	1	4,38	4	21	5,30
Spolu			101 810	21	123 190,15