



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

VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE PRO ELEKTROMOBILITU

USE OF SOLAR ENERGY FOR ELECTROMOBILITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miroslav Harant

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Miroslav Harant

ID: 164803

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Využití solární energie pro elektromobilitu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Potenciál současného trhu s elektromobily
2. Měření spotřeby elektromobilu a vyhodnocení výsledků z měření
3. Auta poháněná solární energií a jiné mobilní aplikace na solární pohon
4. Srovnání konvenčního automobilu a elektromobilu z hlediska účinnosti využití slunečního záření
5. Návrh komplexního dobíjecího a přečerpávacího systému solární nabíjecí stanice

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 1.6.2020

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

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 citace práce:

HARANT, M. Využití solární energie pro elektromobilitu. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2020, 72 stran.

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Využití solární energie pro elektromobilitu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 1. 6. 2020

.....

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o využití solární energie pro elektromobilitu. Nejdříve je teoreticky rozebrán potenciál elektromobility na současném trhu. Do této problematiky patří zejména výrobci elektricky poháněných vozidel, problematika akumulace elektrické energie a jsou zde popsány reálné aplikace rychlonabíjecích a fotovoltaických nabíjecích stanic. Druhá část diplomové práce se zabývá měřením spotřeby elektromobilu a vyhodnocením výsledků z měření. V další části jsou rozebrány elektromobily, které pro svou funkci využívají sluneční energii a jsou porovnány vzhledem k účinnosti s automobily se spalovacími motory. Hlavní částí této práce je návrh fotovoltaické nabíjecí stanice pro elektromobily. Závěrečná část pojednává o ekonomickém zhodnocení navržené nabíjecí stanice.

KLÍČOVÁ SLOVA: elektromobil; solární elektromobil; akumulace elektrické energie; elektromotor; nabíjecí systémy pro elektromobily; ostrovní fotovoltaický nabíjecí systém

ABSTRACT

The thesis deals with the use of solar energy for electromobility. First, the potential of electromobility on the current market is theoretically discussed. This issue includes mainly the producers of electrically powered vehicles, the issue of electric energy storage and the real applications of fast charging and photovoltaic charging stations. The second part of the diploma thesis deals with the measurement of electric car consumption and the evaluation of measurement results. In the next part, electric cars are analyzed, which use solar energy for their function and their efficiency is compared with the efficiency of combustion engines. The main part of this thesis is the design of photovoltaic charging station for electric vehicles. The final part deals with the economic evaluation of the proposed charging station.

KEY WORDS: electric vehicle; solar electric vehicle; electric energy storage; electric engine; charging systems for electric cars; off-grid photovoltaic charging system

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	11
1 ÚVOD.....	14
2 ELEKTROMOBILITA A JEJÍ POTENCIÁL NA SOUČASNÉM TRHU.....	15
2.1 VÝROBCI ELEKTROMOBILŮ	15
2.1.1 TESLA.....	15
2.1.2 NISSAN.....	16
2.1.3 BMW	17
2.1.4 VOLKSWAGEN.....	17
2.1.5 ŠKODA AUTO	17
2.1.6 PROTERRA.....	18
2.1.7 SOR	19
2.2 VÝVOJ ELEKTROMOBILŮ V ČR.....	19
2.3 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE	20
2.4 NABÍJECÍ STANICE A INFRASTRUKTURA.....	21
2.5 ZÁSUVKY PRO NAPÁJENÍ ELEKTROMOBILU	24
2.6 INDUKČNÍ NABÍJENÍ	24
2.6.1 DYNAMICKÉ INDUKČNÍ NABÍJENÍ	25
3 MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTROMOBILU.....	26
3.1 NABÍJECÍ STANICE ABB TERRA 53.....	27
3.2 VÝSLEDKY A PRŮBĚH NABÍJENÍ	27
4 ELEKTROMOBILY A NABÍJECÍ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÍCÍ SOLÁRNÍ ENERGII	33
4.1 ELEKTROMOBILY NA SOLÁRNÍ ENERGII	33
4.1.1 LIGHTYEAR	35
4.1.2 SONO MOTORS	35
4.2 WORLD SOLAR CHALLENGE.....	37
4.2.1 SOLÁRNÍ ELEKTROMOBILY ZÁVODU.....	38
4.3 SOLÁRNÍ NABÍJECÍ STANICE	39
4.3.1 FOTOVOLTAICKÝ ČLÁNEK	40
4.3.2 TYPY FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ	40
4.3.3 VOLTAMPÉROVÁ CHARAKTERISTIKA FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU	41
4.3.4 STRÍDAČ.....	42
4.3.5 REGULÁTOR.....	43
4.3.6 TYPY SOLÁRNÍCH NABÍJECÍCH STANIC PRO ELEKTROMOBILY.....	44
5 SROVNÁNÍ AUTOMOBILU A ELEKTROMOBILU Z POHLEDU SOLÁRNÍ ÚČINNOSTI	48
5.1 ÚČINNOST SPALOVACÍHO MOTORU	48
5.2 ELEKTROMOTORY	49
5.2.1 ZTRÁTY ELEKTROMOTORU	50
5.2.2 ÚČINNOST ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU	50

5.3 ÚČINNOST SOLÁRNÍHO ELEKTROMOBILU	51
5.4 SHRnutí.....	52
6 NÁVRH SOLÁRNÍ NABÍJECÍ STANICE	53
6.1 FOTOVOLTAICKÉ PANEly	53
6.2 REGULÁTOR SMARTSOLAR MPPT 150/35.....	54
6.3 VYROVNÁVAČ NAPĚTÍ A MONITORING BATERIE.....	55
6.4 STRÍDAČ.....	56
6.5 NÁVRH ELEKTROINSTALACE	57
6.5.1 DIMENZOvÁNÍ VODIČŮ	58
6.5.2 VOLBA JISTÍCÍCH PRVKŮ.....	59
6.6 NÁVRATNOST INVESTICE.....	61
7 ZÁVĚR.....	65
POUŽITÁ LITERATURA	66
PŘÍLOHY	72

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Tesla model 3 [7].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2 Koncept Vision E od Škoda Auto [12]</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 3 Počet nově registrovaných elektromobilů v České republice [19].....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 4 Vývoj ceny na metrickou tunu lithia. [23]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 5 Princip činnosti Li-ion baterie [25].....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 6 Mapa dobíjecích stanic v ČR [27]</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 7 Evropská mapa Superchargerů [30]</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 8 Základní typy konektorů [28].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 9 Vizualizace dynamického indukčního nabíjení [34]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 10 Trasa pro měření spotřeby elektromobilu Tesla Model S P85 a Volkswagen e-Golf.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 11 Schéma nabíjecí stanice ABB TERRA 53[36]</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 12 Průběh nabíjení elektromobilu Tesla Model S P85</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 13 Průběh nabíjení elektromobilu Volkswagen e-Golf.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 14 Velikost fázových proudů při DC nabíjení elektromobilu Tesla Model S P85</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 15 Velikost fázových proudů při DC nabíjení elektromobilu Volkswagen e-Golf.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 16 Energetický mix České republiky v roce 2019 [37].....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 17 Jednoduché schéma solárního automobilu [38].....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 18 Rozmístění fotovoltaických článků na elektromobilu Sion [42]</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 19 Dodatečný dojezd v kilometrech za den [42].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 20 Typy podporovaných zástrček pro elektromobil Sion [42].....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 21 Solární elektromobil Nuna9 od Nuon Solar Team[47].....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 22 Solární elektromobil Stella Vie[48]</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 23 Solární elektromobil Tokai Challenger[52]</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 24 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku [57]</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 25 Vliv teploty na napětí naprázdno fotovoltaického článku [57].....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 26 Vliv intenzity slunečního záření na výkon FV článku [25]</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 27 Princip funkce regulátorů PWM a MPPT [61]</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 28 Solární nabíječka od společnosti Elektromobil s.r.o. [62]</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 29 Solární nabíječka od BMW [63]</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 30 Solární nabíječka od Envision Solar [64]</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 31 Parkoviště společnosti Kyocera [65].....</i>	<i>47</i>

<i>Obr. 32 Nabíjecí stanice PRE v Praze. [66]</i>	47
<i>Obr. 33 Účinnost asynchronních elektromotorů podle IEC 60034-30-1[73]</i>	51
<i>Obr. 34 Dvouvodičové zjednodušené schéma zapojení regulátoru SmartSolar MPPT 150/35 [77]</i>	55
<i>Obr. 35 Dvouvodičové schéma zapojení dvou vyrovnávačů napětí a měřiče BMV 700 od firmy Victron Energy pro tři baterie Narada zapojené do série</i>	56
<i>Obr. 36 Střídač Pure Sine Wave Inverter [80]</i>	57
<i>Obr. 37 Návratnost navrhovaného FV systému</i>	63

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Technické parametry článku NCA [26]</i>	21
<i>Tab. 2 Doby nabíjení elektromobilů s kapacitou baterie kolem 20 kW [28]</i>	23
<i>Tab. 3 Rozdělení nabíjecích výkonů podle standardu IEC 61851-1 [31]</i>	23
<i>Tab. 4 Naměřené hodnoty elektromobilu Tesla Model S P85 a Volkswagen e-Golf</i>	26
<i>Tab. 5 Výsledek DC nabíjení baterie elektromobilu Tesla Model S P85</i>	31
<i>Tab. 6 Výsledek AC nabíjení baterie elektromobilu Tesla Model S P85</i>	31
<i>Tab. 7 Výsledek DC nabíjení baterie elektromobilu Volkswagen e-Golf</i>	31
<i>Tab. 8 Výsledek AC nabíjení baterie elektromobilu Volkswagen e-Golf</i>	31
<i>Tab. 9 Srovnání aerodynamických odporů na Tesla Model S a Volkswagen Golf [38]</i>	34
<i>Tab. 10 Parametry použitého fotovoltaického panelu Axitec [76]</i>	53
<i>Tab. 11 Technická specifikace regulátoru SmartSolar MPPT 150/35[77]</i>	54
<i>Tab. 12 Technická specifikace vyrovnávače napětí od Victron Energy[78]</i>	55
<i>Tab. 13 Technické parametry měřiče BMV 700 [79]</i>	56
<i>Tab. 14 Technická specifikace střídače Pure Sine Wave Inverter [80]</i>	57
<i>Tab. 15 Cenová kalkulace fotovoltaického systému</i>	62

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

AC	střídavý proud
AM	vzduchová hmota
B1	referenční způsob uložení vodičů
CCS	kombinovaná zástrčka pro napájení elektromobilu typu CCS
ČR	Česká republika
ČSAD	Československá státní autobusová doprava
DC	stejnoseměrný proud
DCF	diskontované cash flow
EU	Evropská unie
FV	fotovoltaika
FVE	fotovoltaická elektrárna
CHAdeMO	zástrčka pro napájení elektromobilu typu CHAdeMO
LFP	akumulátor na bázi lithia a železného fosfátu
Mennekes	zástrčka pro napájení elektromobilu typu Mennekes
MHD	městská hromadná doprava
MPPT	system hledání maximálního výkonu
N	polovodič typu N
NCA	akumulátor na bázi lithia a hliníkovo kobaltového oxidu
NPV	čistá současná hodnota - net present value
NT	nízký tarif
OLEV	on-line electric vehicle systém
P	polovodič typu P
PWM	pulsně šířková modulace
SCAME	zástrčka pro napájení elektromobilu typu SCAME
SchuKo	německý název pro jednofázové zásuvky s ochrannými kontakty
STC	standardní testovací podmínky fotovoltaického panelu
SUV	sportovně užitkové vozidlo
TS	transformační stanice
V2X	system vehicle to everything
VT	vysoký tarif
Yazaki	zástrčka pro napájení elektromobilu typu Yazaki

A	[m ²]	plocha
CdA	[-]	aerodynamický odpor
Cd	[-]	koeficient odporu
Crr	[-]	valivý odpor
DCF	[Kč]	metoda diskontované cash flow
FF	[-]	činitel plnění
f	[Hz]	frekvence
H _u	[J/kg]	dolní výhřevnost paliva
I	[A]	elektrický proud
I _B	[A]	proudové zatížení vodiče
I _{B1}	[A]	proudové zatížení vodiče na vstupní straně regulátoru
I _{B2}	[A]	proudové zatížení vodiče na výstupní straně regulátoru
I _{B3}	[A]	proudové zatížení vodiče na straně baterií
I _{mp}	[A]	proud v maximálním bodě výkonu
I _N	[A]	jmenovitý proud pojistky

I_{N1}	[A]	jmenovitý proud pojistky na vstupní straně regulátoru
I_{N2}	[A]	jmenovitý proud pojistky na výstupní straně regulátoru
I_{N2}	[A]	jmenovitý proud pojistky na straně baterií
I_{Nk1}	[A]	maximální dovolený proud vodiče na vstupní straně regulátoru
I_{Nk2}	[A]	maximální dovolený proud vodiče na straně baterií
I_{p1}	[A]	vypínací proud pojistky na vstupní straně regulátoru
I_{p2}	[A]	vypínací proud pojistky na výstupní straně regulátoru
I_{p3}	[A]	vypínací proud pojistky na straně baterií
I_{sc}	[A]	zkratový proud fotovoltaického panelu
I_Z	[A]	dovolený proud vodiče
I_{Z1}	[A]	dovolený proud vodiče na vstupní straně regulátoru
I_{Z2}	[A]	dovolený proud vodiče na výstupní straně regulátoru
I_{Z3}	[A]	dovolený proud vodiče na straně baterií
I_{1k}	[A]	proudové přetížení na vstupní straně regulátoru přepočítané na okolní teplotu
I_{3k}	[A]	proudové přetížení na straně baterií přepočítané na okolní teplotu
k	[-]	přepočítávací součinitel okolní teploty
l_{FV}	[m]	délka vodiče na vývodech z fotovoltaických panelů
$l_{vodič1}$	[m]	délka navrženého vodiče na vstupní straně regulátoru
$l_{vodič2}$	[m]	délka navrženého vodiče na straně baterií
m	[kg]	hmotnost
M_p	[kg]	hmotnost paliva
m_{pe}	[g/kWh]	měrná spotřeba paliva
N_{bat}	[Kč]	náklady na výměnu baterií
N_{FV}	[Kč]	návratnost fotovoltaického systému
N_c	[Kč]	celkové náklady fotovoltaického systému
N_{rev}	[Kč]	náklady na revizi elektrické instalace
NPV	[Kč]	čistá současná hodnota investice
η	[-]	účinnost
η_{ef}	[-]	celková efektivní účinnost spalovacího motoru
$\eta_{el.mot}$	[-]	účinnost elektromotoru
η_i	[-]	indikovaná účinnost
η_m	[-]	mechanická účinnost
P	[W]	elektrický výkon
P_{bat}	[W]	výkon baterie
P_e	[W]	efektivní užitečný výkon
P_{FV}	[Wp]	celkový generující výkon fotovoltaiky
P_{FVrok}	[MWh]	výroba elektrické energie fotovoltaického systému za jeden rok
P_i	[W]	indikovaný užitečný výkon
P_{inv}	[W]	jmenovitý výkon střídače
P_{mech}	[W]	mechanický výkon
P_{mot}	[W]	výkon motoru
P_{mpp}	[Wp]	výkon fotovoltaických panelů v bodě maximálního výkonu
P_{sun}	[W]	výkon dodávaný pomocí fotovoltaické elektrárny
P_1	[W]	elektrický příkon satorového vinutí
ΔP	[W]	celkové ztráty elektromotoru
ΔP_{fe}	[W]	výkonové ztráty v železe
ΔP_{mech}	[W]	mechanické ztráty elektromotoru
$\Delta P_{přid}$	[W]	přídavné ztráty elektromotoru
ΔP_{rotor}	[W]	výkonové ztráty ve vinutí rotoru elektromotoru

ΔP_{stator}	[W]	výkonové ztráty ve vinutí statoru elektromotoru
ΔP_{VS}	[W]	vlastní spotřeba nabíjecí stanice ABB TERRA 53
ρ_{Cu}	[$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]	rezistivita měděného vodiče
r	[%]	úrokové procento
s	[m]	přeskoková vzdálenost
S_{NT}	[Kč/MWh]	cena elektrické energie v nízkém tarifu
S_{FV}	[mm^2]	průřez vodiče na vývodech z fotovoltaických panelů
$S_{\text{vodič1}}$	[mm^2]	průřez navrženého vodiče na vstupní straně regulátoru
$S_{\text{vodič2}}$	[mm^2]	průřez navrženého vodiče na výstupní straně regulátoru
t	[min]	minutový nabíjecí interval
t_v	[s]	doba přetavení pojistky
τ	[s]	časová oteplovací konstanta
τ_4	[s]	časová oteplovací konstanta vodiče na vstupní straně regulátoru
τ_6	[s]	časová oteplovací konstanta vodiče na výstupní straně regulátoru
u	[%]	inflační procento
U	[V]	elektrické napětí
U_{cPV}	[A]	maximální provozní napětí svodiče přepětí
U_f	[V]	fázové napětí
U_{mp}	[V]	napětí v maximálním bodě výkonu
U_{oc}	[V]	napětí naprázdno fotovoltaického panelu
U_2	[V]	napětí na výstupní straně regulátoru
ΔU_1	[V]	úbytek napětí na vstupní straně regulátoru
ΔU_2	[V]	úbytek napětí na výstupní straně regulátoru
ΔU_{FVE}	[V]	úbytek napětí na vývodech z fotovoltaických panelů
$\Delta U_{\text{vodič1}}$	[V]	úbytek napětí navrhovaného vodiče na vstupní straně regulátoru
$\Delta U_{\text{vodič2}}$	[V]	úbytek napětí navrhovaného vodiče na výstupní straně regulátoru
ΔU_{svorky}	[V]	úbytek napětí na svorkách
ϑ_z	[°C]	nejvyšší provozní teplota vodiče s PVC izolací
$\vartheta_{\text{okolí}}$	[°C]	okolní teplota
ϑ_{dov}	[A]	maximální dovolené oteplení PVC izolace při proudovém přetížení
W	[kWh]	elektrická energie

1 ÚVOD

Ve světě je otázka budoucnosti a udržitelnosti stále aktuálnější téma. Vliv na to mají i současné diskuze za zlepšení klimatické a ekologické situace. S tím souvisí i téma dopravy, jako například paliva, efektivita spalování, emise a další. Proto se nabízí velmi diskutované téma – elektromobilita.

Cílem této práce je nastínit problematiku elektromobility. Rozebrat v teoretické rovině možnosti solárního elektromobilu. Zjistit v teoretické rovině výhody a nevýhody solárního elektromobilu oproti konvenčnímu automobilu. A rovněž navrhnout fotovoltaický systém pro účely nabíjení elektromobilu.

První část této diplomové práce se zabývá potenciálem a rozvojem elektromobility. Jsou zde představeny elektromobily a současné modely jednotlivých výrobců. Dále je v této kapitole rozebrána problematika lithiových baterií, nabíjecí infrastruktura, typy konektorů pro připojení elektromobilu k nabíjecím stanicím a indukční nabíjení během jízdy.

Ve druhé části je zpracováno měření spotřeby elektromobilu a průběhy nabíjení na nabíjecí stanici. K dispozici byly elektromobily Tesla Model S P85 a Volkswagen e-Golf.

Třetí kapitola pojednává o elektromobilech na solární pohon a o nově vznikajících automobilových společnostech, které mají své pilotní projekty solárních elektromobilů. Tato část se dále zabývá solárními elektromobily v závodu World Solar Challenge a možnostmi solárních nabíjecích stanic.

V následující čtvrté kapitole je okruh týkající se srovnání účinnosti elektromobilu a konvenčního elektromobilu z pohledu solární účinnosti.

V závěrečné části je uveden návrh a ekonomická návratnost ostrovního fotovoltaického systému pro účely nabíjení elektromobilů City-El a Citroen Berlingo Electric.

2 ELEKTROMOBILITA A JEJÍ POTENCIÁL NA SOUČASNÉM TRHU

Tato kapitola pojednává o tom, jak se zvedá trend využití elektromobilů, co je jeho příčinou, jaké bylo využití elektrické energie na počátku v dopravě a proč se vývoj v minulosti zastavil. Dále zde jsou uvedeny firmy, které svou činností přispívají rozvoji elektromobility. Práce rozebírá také problematiku lithiových baterií a nabíjecí infrastrukturu.

V současné době se začíná od konvenčních automobilů na spalovací motory ustupovat k elektricky poháněným vozidlům. Přispívá k tomu zejména velká kapacita a přijatelná hmotnost současných vyráběných lithiových baterií. Přesto se stále hledají lepší materiály, které by byly ekonomicky výhodnější s lepšími technickými parametry. Dále pak největším přínosem je vliv na životní prostředí, protože elektricky poháněné vozidlo neprodukuje během jízdy žádné emise. Emise mohou vzniknout při výrobě elektrické energie např. v uhelných elektrárnách. Tato práce se však bude zaměřovat na využití elektrické energie pro nabíjení vozidla z fotovoltaických panelů. Díky tomu bude elektromobil šetrný k životnímu prostředí a emise při využití elektromobilu mohou vznikat pouze při samotné výrobě vozidla v továrnách.

2.1 Výrobci elektromobilů

V celosvětovém měřítku přibývá firem, které k elektromobilitě směřují. Vidí v ní obrovský potenciál. Z důvodů ekologických, příchodu nových technologií a také díky vývoji a inovacím jednotlivých elektronických prvků. Příkladem mohou být lithiové baterie, které umožní větší dojezdovou vzdálenost, regulátory, měniče apod. Naopak co může být přítěží, je nedostatek elektrické energie pro nabití elektromobilu. Konkrétním příkladem může být Dánsko, kde se podporoval prodej elektromobilů, a v současné době nemají dostatečnou nabíjecí síť. Dalším nepříznivým prvkem je dlouhá doba nabíjení. Pomocí palubní nabíječky zabudované v elektromobilu se nabíjí baterie střídavým proudem. Dříve měly elektromobily menší nabíjecí výkony palubních nabíječek v řádech jednotek kW. Novější typy elektromobilů však mají už výkony palubních nabíječek v řádech desítek kW. V případě potřeby lze využít během přestávek rychlé nabíjecí stanice využívající stejnosměrný proud.

2.1.1 Tesla

Největší podíl na startu elektromobilového průmyslu v současnosti se přiklání k Elonu Muskovi a jeho firmě Tesla Motors. Jeho obchodní strategický plán je založen na výrobě drahých vozidel. Prodej prvních modelů by částečně pokrylo náklady na výzkum a inovace do nových modelů, které by měli cenu jako vozidla střední cenové kategorie. Tesla Motors soustředí svou výrobu na tři modely a to: Tesla model S, Tesla model X a Tesla model 3. Poslední zmíněný model elektromobilu, který byl v roce 2017 představen, je už v této střední cenové kategorii a byla spuštěna jeho sériová výroba. Palubní nabíječky novějších modelů elektromobilů zvládnou maximální výkon 22 kW. Všechny modely jsou přizpůsobeny tak, aby mohly být nabíjeny z nabíjecích sítí Superchargerů, které také buduje tato firma. Tyto nabíjecí stanice dokáží nabít například Tesla model 3 na 80 % během 20 minut. Největší rozdíl v ceně a výkonu vozidla závisí ve velikosti baterie. Ta se pohybuje od 60 kWh do 100 kWh.

Tesla Model S s baterií o akumulární kapacitě 75 kWh urazí na jedno nabití až 417 km. Verze s baterií o akumulární kapacitě 100 kWh urazí 540 km. Tento model disponuje indukčním

třífázovým elektromotorem o výkonu 310 kW. Maximální rychlost je 250 km/h a zrychlení z 0 na 100 km/h zvládne za 4,2 sekundy[1][2].

Tesla Model X je elektricky poháněné SUV, s možností výběru velikosti baterie od 75 kWh do 100 kWh. Přičemž s menší baterií urazí 381 km a s větší baterií až 474 km. Náhon má na všechny čtyři kola. Pohon je obstarán indukčním třífázovým elektromotorem o výkonu 193 kW na zadní a na přední nápravu. Maximální rychlost tohoto modelu je 250 km/h a z 0 na 100 km/h zvládne za 4,8 sekundy[3][4].

Výroba elektromobilu Tesla Model 3 začala v létě v roce 2017. Produkce výroby se odhaduje ke konci roku na pět tisíc vyrobených elektromobilů v časovém horizontu jednoho týdne. I tento vůz bude vyráběn ve dvou variantách a to ve verzi Standard a Long Range. Výroba Long Range verze začala v roce 2017, jeho základní cena je 44 000 dolarů. Nabízí dojezd až 500 km, maximální rychlost 225 km/h a zrychlení z 0 na 100 km/h za 5,1 sekund. Verze Standard se začne vyrábět v první polovině roku 2018. Prodejní cena začíná na 35 000 dolarech. Dojezdovou vzdálenost má stanovenou na 352 km, dokáže jet maximální rychlostí až 210 km/h a zrychlí z 0 na 100 km/h za 5,6 sekundy[5][6].



Obr. 1 Tesla model 3 [7]

2.1.2 Nissan

Mezi přední výrobce elektromobilů se řadí Japonská automobilka Nissan. V roce 2010 poprvé představila elektromobil s označením Nissan Leaf a v současnosti má tento typ již 5 verzí. Jednotlivé verze nesou název Acenta, N-Connecta, Tekna, e+ N-Connecta a e+ Tekna. Jedná se o řadu elektromobilu pro běžné domácí využití s přepravní kapacitou 5 osob. V období kdy byl představen první Nissan Leaf šlo o téměř první elektromobil na trhu. Sklidil velký úspěch a jedná se o nejprodávanější elektromobil, kterého se prodalo k lednu 2020 přes 450 000 kusů[8].

Dle technické specifikace typu Acenta, N-Connecta a Tekna jsou velmi podobné. Všechny zmíněné typy mají maximální výkon motoru 110 kW s točivým momentem 320 Nm. Maximální rychlost u těchto vozů je stanovena na 144 km/h. Jsou vybaveny laminovanou lithium-iontovou baterií o napětí 350V a celkovou kapacitou 40 kWh. Výrobce uvádí spotřebu elektrické energie 171 Wh/km. V městském provozu zvládnou ujet až 389 km[9].

Označení typu elektromobilů e+ N-Connecta a e+ Tekna mají opět podobné technické parametry. Maximální výkon motoru je 160 kW s točivým momentem 340 Nm a maximální rychlost je až 157 km/h. Jejich baterie se liší pouze kapacitou, která je stanovena na 62 kWh. Spotřeba elektrické energie je 185 Wh/km a v městském provozu dokáže ujet na jedno nabití až 528 km[9].

Hodnoty získané pro stanovení dojezdu a spotřeby elektromobilu byly výrobcem stanoveny v laboratorních podmínkách dle platné evropské legislativy. Tyto hodnoty slouží pro porovnání různých typů a mají pouze informační charakter. Hodnoty spotřeby a dojezdu budou v reálném světě výrazně odlišné. Jízdní vlastnosti mohou být dále ovlivněny volbou výbavy, nedostatečnou údržbou, jízdním stylem anebo například povětrnostními podmínkami[9].

2.1.3 BMW

Tato automobilka vyvinula elektromobil řady BMW i3. Jde o osobní elektromobil pro běžné domácí využití. Akumulace elektrické energie je zaopatřena li-ion baterií o celkové kapacitě 33,2kWh. Tento model má výkon motoru 125 kW s točivým momentem 250 Nm a dosahuje maximální rychlosti 150 km/h. BMW i3 má dle výrobce průměrnou spotřebu elektrické energie 136 Wh/km. Automobilka uvádí dojezd v běžném provozu až 200 km[10].

Tento základní čistě elektrický model lze pořídit s doplňujícím zážehovým dvouválcovým motorem o výkonu 27 kW a to ve verzi BMW i3 REX. Doplňující motor slouží jako externí zdroj elektrické energie, který pouze slouží k nabíjení akumulátoru a tím se zvýší dojezd samotného elektromobilu. Výrobce uvádí dle technické specifikace dojezd v běžném provozu až 330 km. To je o 130 km více, než v základní verzi BMW i3. Díky externímu motoru pak klesá spotřeba elektriny na 119 Wh/km, ale za cenu tvorby emisí. BMW řady i3 REX vyprodukuje 13-14 g/km oxidu uhličitého a současně spotřebuje 0,6 l/100 km paliva[10].

Obě dvě výše zmíněné verze BMW i3 se dále rozšiřují na sportovní verze s označením BMW i3s a BMW i3s REX. Tyto sportovní verze se odlišují pouze ve výkonu použitého elektromotoru ve vozidle. Elektromotor nabývá 135 kW výkonu o točivém momentu 270 Nm. Maximální rychlost se tak zvýší na 160 km/h. Pro BMW i3s automobilka uvádí spotřebu 143Wh/km a pro verzi BMW i3s REX 125 Wh/km. Doplňující motor sloužící jako externí generátor produkuje 14 g/km oxidu uhličitého a spotřebuje 0,7 l/km paliva[10].

2.1.4 Volkswagen

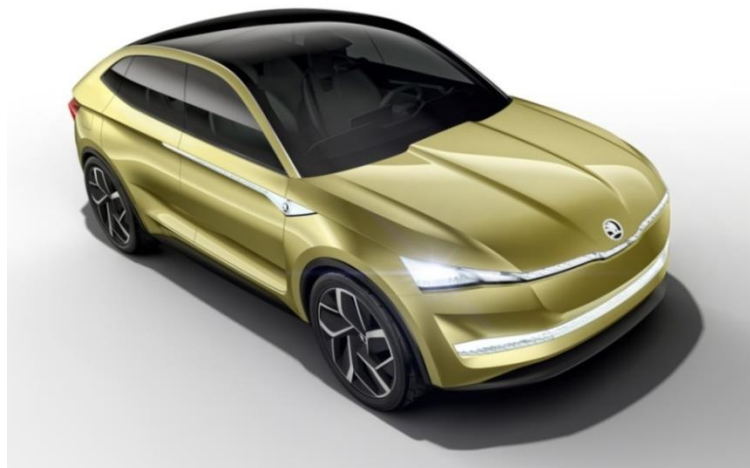
Německá automobilka přispěla do světa elektromobility hlavně svým vozem e-Golf. Jde o čistě elektrický rodinný elektromobil pro účely každodenního dojíždění na krátké vzdálenosti. Elektrická energie je akumulována v li-ion baterii o celkové kapacitě 35,8 kWh. Motor má dle technické dokumentace výkon 100 kW s točivým momentem 290 Nm a maximální rychlostí 150km/h. Palubní nabíječka během připojení k třífázové síti zvládne přenést maximální výkon 7,2 kW. E-golf umožňuje zvolit si ze tří jízdních módů, které ovlivní styl jízdy a zejména maximální dojezd. Při jízdním stylu Normal není omezen výkon motoru a nejsou tak ovlivněny jízdní vlastnosti elektromobilu. Uživatel pak může zvolit jízdní styl ECO, který omezuje výkon motoru na 70 kW a zároveň maximální rychlost na 115 km/h. Jízdní mód ECO+ ještě více omezuje výkon motoru až na 40 kW se kterým je možno jet maximální rychlostí 90 km/h. Při volbě jízdních stylů ECO a ECO+ by měla být menší spotřeba energie a elektromobil by měl urazit větší vzdálenost. V katalogu je uvedena spotřeba elektrické energie 132 až 141 Wh/km. Maximální dojezd 231 km byl výrobcem určen z měření v kombinovaném provozu. Při běžném způsobu jízdy však Volkswagen uvádí v ročním průměru maximální dojezd přibližně 200km[11].

2.1.5 Škoda Auto

Automobilka Škoda Auto již na jaře roku 2017 na autosalonu v Šanghaji představila svoji studii Vision E a díky vzhledu vozu sklídila plno pozitivních ohlasů. Jde o prvotní koncept čistě

elektricky poháněného vozidla této firmy a ani tato automobilka nezaostává za světovým směrem v oblasti elektromobility. Vision E by měl mít k dispozici dojezd přibližně 500 km na jedno nabití. Součástí by měly být čtyři elektromotory o celkovém výkonu 225 kW, možnost indukčního nabíjení, maximální rychlost kolem 180 km/h, vynikající hospodárnost provozu. Zároveň má konkurovat i novému připravovanému SUV Tesla Model Y. Velkým lákadlem by měl být také systém autonomní jízdy. V roce 2021 by chtěla mít společnost Škoda ve své nabídce první elektromobil, který by měl vycházet ze studie Vision E. Do roku 2025 je plánované (vedle dosavadních plug-in hybridních automobilů) umístit do nabídky až pět plně elektricky poháněných vozů[12][13].

Mezi důvody, proč se automobilka nehlásila k výrobě elektromobilů je hned několik. Mezi hlavní problémy patří vysoké výrobní náklady, omezený dojezd vozů nebo také slabě rozvinutá infrastruktura nabíjecích stanic v klíčových zemích, kde Škoda své vozy prodává. Zlom by měl nastat právě v roce 2020, kdy má přijít zprůsnění emisních norem v Evropě a Asii. A také díky stále se rozšiřující se síti nabíjecích stanic po celé Evropě. V České republice je dle dohody mezi automobilkami a dodavateli elektrické energie plánovaná výstavba více než 1300 nabíjecích stanic[13].



Obr. 2 Koncept Vision E od Škoda Auto [12]

V současné době má Škoda Auto ve svém výrobním portfoliu elektromobil CITIGO iV. Jedná se o osobní elektromobil pro každodenní dojíždění s kapacitou 4 osob. Tento model má výkon motoru 61 kW s točivým momentem 212 Nm a maximální rychlostí 130 km/h. Elektrická energie se dobíjí do li-ion baterie o celkové akumulaci kapacitě 36,8 kWh. Spotřeba elektrické energie je v kombinovaném provozu stanovena výrobcem na 148 Wh/km a maximální dojezd modelu CITIGO iV je 252 km[14].

2.1.6 Proterra

Firma Proterra se se svým vývojem zaměřila směrem k dopravnímu prostředku, který by sloužil v oblasti hromadné dopravy. V roce 2017 představila tato společnost elektrobuses Catalyst E2, který je připraven pro sériovou výrobu standardního modelu. V jeho útrokách spočívá velké množství akumulátorů o celkové akumulaci energii 660 kWh. Běžné akumulátory pro tento typ vozu by byly velké jako celý autobus a proto tato firma začala spolupracovat s druhým největším výrobcem akumulátorů na světě LG Chem. Společně vyvinuly akumulátory, jejichž hustota akumulaci energie je 160 Wh/kg a 260 Wh/l. Těmito akumulátory se zaručuje v reálném

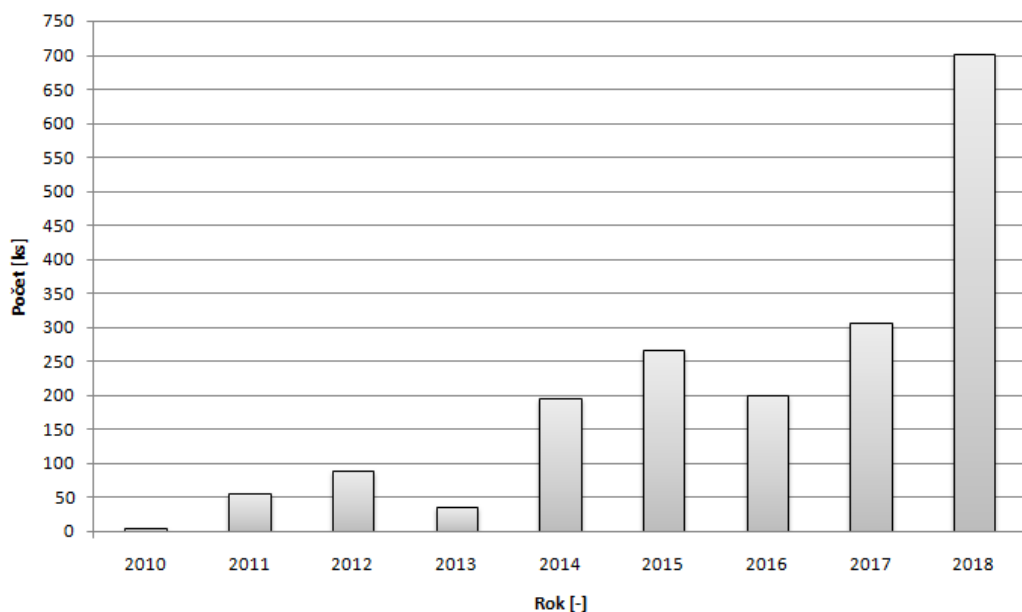
provozu dojezd na jedno nabití až 563 km. Má nízké provozní náklady a Proterra tvrdí, že je ekonomicky výhodnější než běžné autobusy[15][16].

2.1.7 SOR

V tuzemsku se město Hranice rozhodlo, že zdejší MHD bude přepravovat od začátku roku 2018 cestující pouze pomocí elektrobusů. Stali se prvním městem na území České republiky, jehož celá MHD přešla na elektropohon. Autobusy města Hranice celkově najezdí ročně 250 000km. Přechodem na elektrobusy se předpokládá snížení roční produkce oxidu uhličitého o 200 tisíc tun. Elektrobusy jsou tak tiché, že bylo nutné je uměle nějakým způsobem ozvučnit kvůli bezpečí – zejména chodců. Plánovaný dojezd se pohybuje kolem 250 km, což je pro potřeby města Hranice dostatečné. Umístění centra pro dobíjení elektrobusů je v areálu výrobního závodu CETRIS. Provozovatelem autobusů a od roku 2019 i elektrobusů je společnost ČSAD Frýdek-Místek a.s., která zakoupila nové elektrobusy od společnosti SOR verze vozu EBN 9,5. Z názvu vyplývá že se jedná o elektrobusy délky 9,5 metru. Technická dokumentace [17] říká, že verze EBN 9,5 má asynchronní šestipólový motor s výkonem 120 kW a kroutícím momentem 968 Nm. Dále uvádí, že konstrukční rychlost vozu je 80 km/h, výrobce li-ion akumulátorů je Winston Battery jejichž akumulční energie činí 172 kWh a vůz celkově pojme 70 cestujících[18].

2.2 Vývoj elektromobilů v ČR

Počet registrovaných osobních elektromobilů na území České republiky je uveden na základě výročních zpráv ze Svazu dozorců automobilů. Registrace elektromobilů se začala sledovat od roku 2010 a od roku 2018 se začal evidovat výrobce zakoupených elektromobilů. Z obrázku 3 je patrné, že nejprve byl trh s elektromobily vlažnější, ale ke konci desetiletí dochází ke strmému nárůstu prodeje. K tomuto nárůstu zájmu o elektromobily pro osobní účely mohla přispět propagace firem, které je v posledních letech vyvíjely a vystavovaly na autosalonech.



Obr. 3 Počet nově registrovaných elektromobilů v České republice [19]

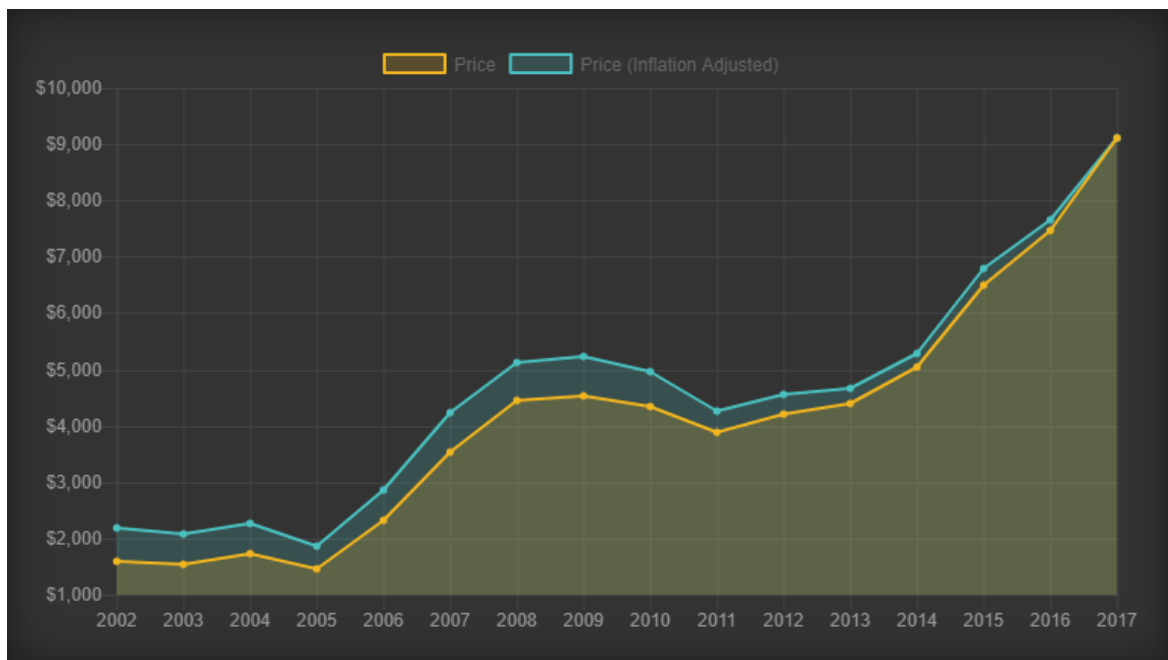
Dle informací z výroční zprávy z roku 2018 si nejvíce lidí v tuzemsku objednalo elektromobily od automobilky Volkswagen v celkovém počtu 308 kusů. Druhou nejvíce oblíbenou automobilkou v tuzemsku se stala firma Nissan s celkovým počtem 139 prodaných

kusů. Jako další následovaly automobilky BMW s počtem 89 kusů a Tesla s 85 prodanými elektromobily. Na silnicích České republiky ke konci roku 2018 se pohybuje celkem 1863 elektromobilů. Ve výroční zprávě není možné dohledat, které konkrétní typy si lidé od jednotlivých automobilek zakoupili[19].

Podle distributora elektrické energie E.ON zpřístupní vlastníkům elektromobilu výhodnou distribuční sazbu. Například pro domácnosti jde o sazbu D27d a díky ní klesá průměrná cena elektřiny. Tuto sazbu získá uživatel elektromobilu tím, že doloží věrohodné vlastnické právo elektromobilu a to například technickým průkazem. Další podmínkou je, že nabíjecí zařízení musí mít samostatný přívod, který je měřen samostatným měřicím zařízením. Časové vymezení nízkého tarifu je v celkové délce minimálně 8 hodin denně v době od 18:00 hodin do 8:00 hodin, přičemž v průběhu dne distributor může dobu platnosti nízkého tarifu měnit dle potřeby. Toto osmi hodinové časové pásmo může být rozděleno během stanovené doby maximálně do dvou časových intervalů[20][21][22].

2.3 Akumulace elektrické energie

Pojem akumulace elektrické energie má za cíl nahromadit a uchovat určité množství elektrické energie pro pozdější využití v požadované kvalitě. V dnešní době jsou pro mobilní aplikace vhodné lithiové baterie z provozně technicky ekonomického hlediska. Avšak s potenciálem, který lithium nese, roste i jeho cena. Na počátku 21. století se cena lithia pohybovala na nízké úrovni, protože v té době po této nerostné surovině nebyla velká poptávka na trhu. V průběhu následujících let cena lithia rostla z důvodu jeho využití v elektrotechnickém průmyslu a také díky vyšší poptávce na trhu.

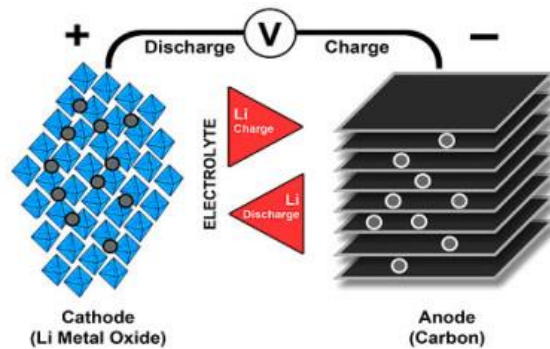


Obr. 4 Vývoj ceny na metrickou tunu lithia. [23]

Díky tomu, že je lithium lehký kov, mají baterie poměrně malou hmotnost na instalovanou kWh. Mezi přednosti lithiových baterií lze zařadit jejich větší akumulaci schopnost a bezúdržbový provoz. Z velké míry je odstraněno jejich samovybívání a je možné je úplně vybit bez ztráty elektrické energie. Dále mají dobrou reakční rychlost nabíjení a vybíjení. Jsou tedy dobré pro dynamický provoz. Jejich životnost se pohybuje kolem 3000 nabíjecích cyklů a jsou

více šetrné k životnímu prostředí od jejich výroby a následné recyklace oproti ostatním článkům[24].

Lithium-ion využívá katodu (kladnou elektrodu), anodu (zápornou elektrodu) a elektrolytu jako vodiče. Katoda je složena z oxidu kovu a anoda se skládá z porézního uhlíku. Během vybíjení proudí ionty od anody ke katodě přes elektrolyt a separát. Nabíjení reverzuje směr toku iontů od katody k anodě[25].



Obr. 5 Princip činnosti Li-ion baterie [25]

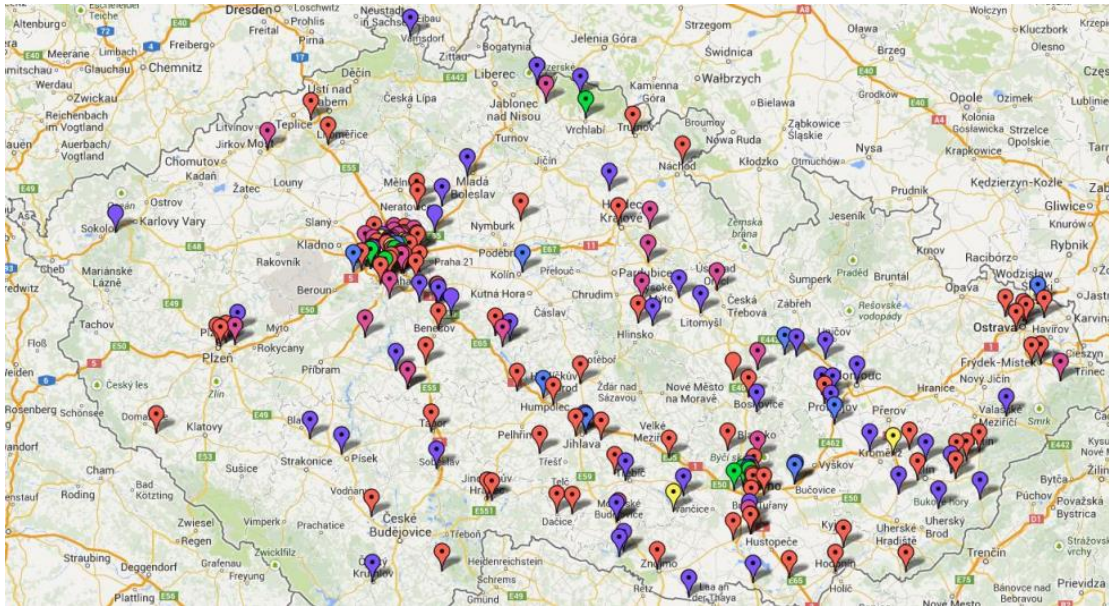
Existuje celá řada lithiových článků. Anoda lithiových článků je vždy tvořena z uhlíku a tak se ostatní typy liší pouze chemickým složením katody. Pro automobilový průmysl se používají články NCA, protože mají ze všech lithiových článků nejlepší akumulaci schopnost. Katoda článků NCA je složena kombinací lithia, niklu, kobaltu a oxidu hlinitého. Přidáním zmíněného oxidu hlinitého se dosáhne lepší chemické stability. Článek nabízí vysokou kapacitu, přiměřeně dobrý výkon, dlouhou životnost. Jediné negativum tohoto článku je jeho vysoká cena[26].

Tab. 1 Technické parametry článku NCA [26]

Napětí	nominální 3,6 V; typický provozní rozsah (3-4,2) V
Hustota energie	(200-260) Wh/kg; předvídatelně mohou mít až 300 Wh/kg
Maximální teplota	150 °C
Životnost	500 cyklů
Aplikace	Průmysl, zdravotnictví, elektromobily
Poznámka	Jsou podobné LCO článkům. Uchovají velké množství energie.

2.4 Nabíjecí stanice a infrastruktura

Aby bylo možné běžně využívat elektromobily, tak je nezbytné vybudovat komplexní dobíjecí síť podobně, jako existují čerpací stanice pro konvenční automobily. Je to nezbytné k rozšíření poptávky a tím i k produkci elektromobilů. V České republice aktuálně existuje přibližně 250 dobíjecích stanic. Z toho většina z nich jsou jednoduché stanice na AC nabíjení a mají malé nabíjecí výkony v řádech několika kW. Nabíjecí stanice jsou hlavně vybudovány tuzemskými distributory elektrické energie.



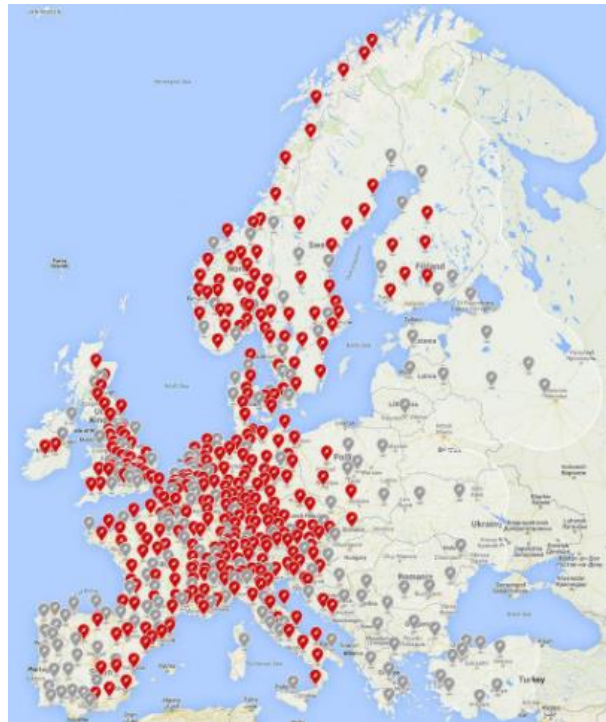
Obr. 6 Mapa dobíjecích stanic v ČR [27]

Je potřebné vybudovat různé typy nabíjecí infrastruktury, aby se našla optimální rovnováha mezi plným nabitím elektromobilu a zvykem uživatelů k danému místu:

- Kompletní nabití baterie elektromobilu během nočních hodin (dlouhé zastávky) v domovní, nebo ve vyhrazené síti se může uskutečnit v rozmezí 6 až 8 hodin.
- Naopak v časovém intervalu 1 až 2 hodin (krátké zastávky). Je potřeba rychlejšího nabíjení s přesně nastaveným ukončením.
- V případě dlouhých cest baterie zpravidla nevystačí a je nutné rychlé dobítí, aby řidič mohl pokračovat v cestě. Spolehlivé nabití ve velmi krátkém čase například obstarají Superchargery nebo DC nabíječky[28].

Na území celé západní Evropy je situace kolem dobíjecích stanic přívětivější. Zasloužil se o to výrobce Tesla, který mimo elektromobilů staví i výkonné dobíjecí stanice s názvem Supercharger. Tyto dobíjecí stanice jsou kompatibilní pouze s elektromobily stejné značky. Pro odlišné typy elektromobilů je potřeba redukce na potřebný typ konektoru. Stanice nabíjí při DC proudu s výkonem 120 kW, přičemž může nabíjet dvě auta současně. V případě nabíjení dvou vozů se výkon rovnoměrně rozdělí na obě vozidla a každé bude nabíjeno 60 kW. Indikátor stupně nabití umožní, že když je jedno vozidlo téměř nabitě, tak se výkon rozdělí v poměru 1:4. Během 30 minut je schopen nabít až 80 % baterie, což vystačí přibližně na 250 km. Je-li požadavek nabití baterie na 100 %, tak se nabíjecí doba výrazně zvýší až na 90 minut. Tesla plánuje navýšit v budoucnu nabíjecí výkon na 150 kW[29].

V České republice je tato nabíjecí stanice postavena u dálnice D1 u sjezdu na Humpolec a dále se nachází v Praze, v Brně a v Olomouci. Další nabíjecí stanice Superchargerů na území ČR jsou v řešení na místech dle [30]. Na obrázku 7 je vidět, jak dominantní je zastoupení Superchargerů na území Evropy. Červené body na mapě jsou již vybudované dobíjecí stanice a šedě vyznačené body jsou stanice plánované.



Obr. 7 Evropská mapa Superchargerů [30]

Domácí nabíjení je při výkonu 3 kW. Tento výkon charakterizuje jedno fázové připojení v síti nízkého napětí. Nabíjecí zařízení, které s tímto výkonem pracuje, je přímo implementováno v elektromobilech výrobcem. Po připojení napájecího kabelu k síti, se elektromobil začne nabíjet. V případě požadavku rychlého nabíjení o výkonu 22 kW až 43 kW a více si uživatelé u výrobce mohou vybrat ze dvou řešení. První je, že elektromobil má vestavěnou nabíječku navrženou pro nabíjení od 3 kW do 43 kW na jednofázové napětí 230 V, nebo třífázové napětí 400 V. Druhý způsob je založen na využití externí nabíječky, která má zabudovaný usměrňovač, a tak převádí střídavou složku proudu na stejnosměrnou. Tím se docílí nabíjení vyššími výkony. Doby nabíjení při určitých výkonech pro celkovou kapacitu baterie kolem 20 kW charakterizuje tabulka 2[28].

Tab. 2 Doby nabíjení elektromobilů s kapacitou baterie kolem 20 kW [28]

Doba nabíjení	Nabíjecí výkon	Napětí	Max. proud
6-8 hod	1fáz - 3,3 kW	230V AC	16 A
2-3 hod	3fáz - 10 kW	400V AC	16 A
3-4 hod	1fáz - 7 kW	230V AC	32 A
20-30 min	3fáz - 43 kW	400V AC	63 A
20-30 min	Trvale - 50 kW	400-500V DC	100-125 A
1-2 hod	3fáz - 24 kW	400V AC	32 A

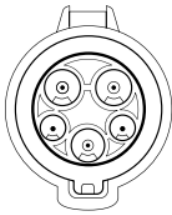
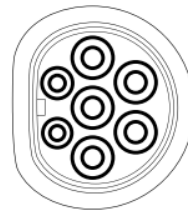
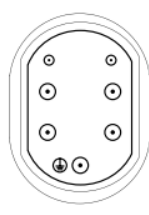
Na území Evropské unie platí norma IEC 61851-1, která normalizuje parametry nabíjecích systémů. Tabulka 3 z této normy přímo definuje metodu nabíjení, druh proudu, nabíjecí výkon, maximální nabíjecí proud a zda se dá použít pro domácí anebo pro veřejné nabíjení[31].

Tab. 3 Rozdělení nabíjecích výkonů podle standardu IEC 61851-1 [31]

Metoda nabíjení	Druh připojení	Nabíjecí výkon [kW]	Max. proud [A]	Použití
normální výkon	1fáz, AC	3,7	10-16	domácí
střední výkon	1fáz/3fáz, AC	3,7-22	16-32	domácí/veřejné
vysoký výkon	3fáz, AC	>22	>32	veřejné
vysoký výkon	DC	>22	>3,225	veřejné

2.5 Zásuvky pro napájení elektromobilu

Jelikož se vyráběly elektromobily s různými typy konektorů, zavedla se v rámci EU norma IEC 62196-2. Tato norma definuje tři typy konektorů, kterými lze na nabíjecích stanicích dobíjet elektromobily. Zásuvky na obrázku 8 se postupně nazývají Yazaki, Mennekes a SCAME. Touto normou se eliminoval problematický stav dobíjení elektromobilů tak, že na každé nabíjecí stanici na území EU lze dobíjet elektromobil aspoň s jedním ze jmenovaných konektorů[28].

Parametry	Type 1	Type 2	Type 3
Fáze	1-fáz.	1-fáz. / 3-fáz.	1-fáz. / 3-fáz.
Proud	32 A	70 A (1-fáz.) 63 A	32 A
Napětí	250 V	500 V	500 V
No. of prongs	5	7	5 or 7
Zaslepovací zařízení	Ne	Ne	Ano
Schéma			

Obr. 8 Základní typy konektorů [28]

Schneider Electric doporučuje zásuvku typu 3 s názvem SCAME. Prvním důvodem je, že pouze tento typ má posuvné ochranné krytky. Tyto krytky jsou povinné v některých Evropských zemích například ve Francii. Chrání před nedovoleným vložením jiných předmětů do zásuvek, než těch, pro které jsou určeny. Jejich druhým důvodem je, že zásuvka i vidlice jsou na straně elektrické instalace vybaveny zásepky, které chrání před úrazem elektrickým proudem a navíc umožňuje příchod k Vehicles to Grid. Jde o pojem, kdy elektromobil by mohl být používán jako generátor. Podporoval by distribuční síť v období denních špiček, nebo v případě nouzových situací. Například porušení vedení vlivem vnějších klimatických podmínek, nebo energie akumulovaná v elektromobilu by mohla být využita pro napájení domovních instalací. Celkově se jedná o technologii, která vychází z toho, že palubní nabíječka má obousměrné rozhraní mezi elektrickou sítí a elektromobilem[28].

Je-li elektromobil připojen přímo k distribuční síti pomocí zásuvky SCAME pomocí jednoúčelového obvodu, tak jsou v nabíjecím zařízení zabudovány veškeré ovládací a ochranné funkce. Režim nabíjení elektromobilu řídí kontrolní funkce, která komunikuje mezi elektromobilem a nabíjecí stanicí. Tím se dospěje k optimálnímu nabíjení baterií a zároveň se tak zachovává jejich životnost. Díky použití samostatného elektrického obvodu je dosaženo větší bezpečnosti, díky snížení riziku proti neúmyslným připojením. Zaručí se tak větší bezpečnost majetku i osob. Toto připojení splňuje platné standardy pro elektrické instalace a navíc umožňuje provozování elektrických spotřebičů v domácnosti, zatímco se elektromobil nabíjí[28].

2.6 Indukční nabíjení

Jedná se v podstatě o bezdrátové nabíjení pomocí elektrické indukce, která využívá princip vysokofrekvenční elektromagnetické rezonance. Nabíječka je složena ze dvou modulů. Jeden z nich je umístěn na parkovacím místě a druhý je zabudován v podvozku elektromobilu. Proto, aby bylo možné elektromobil dobíjet, musí zastavit nad nabíjecí podložkou. Pomocí cívky, která je situovaná na straně distribuční sítě, generuje elektromagnetické pole v řádu desítek kHz a tím

se indukuje proud v cínce na straně elektromobilu. Proces nabíjení se v případě plného nabití baterie automaticky odpojí[32][33].

Tento systém má hlavní výhodu v tom, že nepotřebuje žádné napájecí kabely. V některých státech se vyskytuje pozemní komunikace se zabudovanou nabíječkou na indukční bázi. Příkladem mohou být státy jako Jižní Korea nebo Velká Británie. Naopak mezi nevýhody tohoto systému patří menší účinnost, která se pohybuje kolem 90 %. Důvodem jsou přenosové ztráty energie přes vzduchovou mezeru a ztrátám energie v měničích, které proud usměrňují. Aby se zamezilo vzniklým ztrátám, musí být co nejmenší délka vzduchové mezery. Zároveň by se musel vytvořit standard, který by specifikoval a optimalizoval požadavky této technologie[33].

2.6.1 Dynamické indukční nabíjení

Jestliže je vozidlo během nabíjení pomocí indukce v pohybu, jedná se o dynamické indukční nabíjení. Jde o nabíjecí systém, který by umožnil elektromobilům bezpečně cestovat na pozemní komunikaci na velké vzdálenosti. Prodloužila by se tím doba dojezdu, a to až natolik, že by vůz byl schopný teoreticky neomezeného provozu za předpokladu, že by se řidič držel v „zeleném“ pruhu s indukčním nabíjením[33].



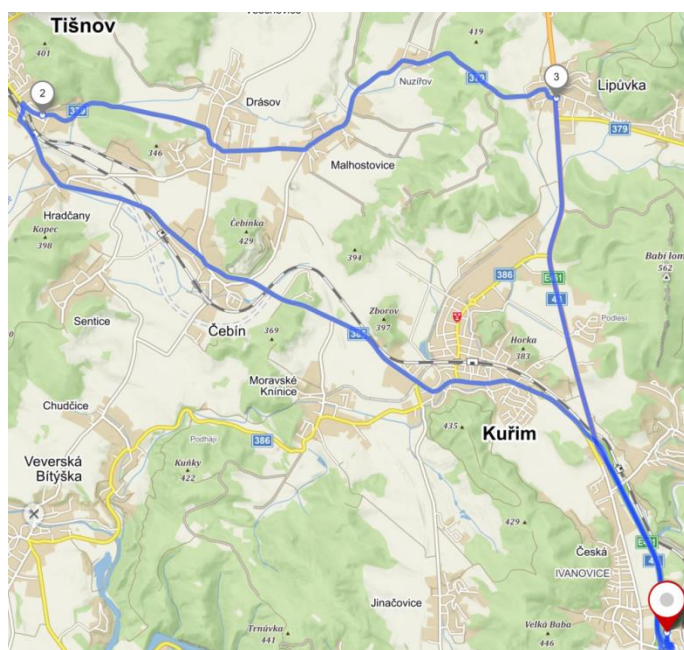
Obr. 9 Vizualizace dynamického indukčního nabíjení [34]

V roce 2013 testovala Jižní Korea svůj vlastní indukční dobíjecí systém OLEV pro městskou hromadnou dopravu ve městě Gumi. Tato technologie měla v pozemní komunikaci zabudovanou řadu dobíjecích cívek ve tvaru desek. Tyto desky mohly být navrženy po celé délce elektrobusevé linky anebo jen ve vybraných lokalitách, jako jsou třeba autobusové zastávky či depa. Hlavní výhodou tohoto systému je skutečnost, že elektrobusey nemusí mít drahé a těžké baterie. Zkušební jízda byla provedena na 24 km úseku. Velikost vzduchové mezery byla 17 centimetrů a účinnost přenosu se pohyboval kolem 85 %. Podle jihokorejských vývojářů má systém OLEV maximální dobíjecí výkon 100 kW[35].

Jedním z dalších představitelných řešení této problematiky může být "Elektrické nabíjení pozemních komunikací". Toho by chtěla dosáhnout Velká Británie, proto provádí analýzy a testují dobíjecí pruh pro běžné pozemní komunikační sítě. Test bude probíhat na uzavřených úsecích, přičemž se snaží nalézt optimální řešení z pohledu povolené rychlosti na dálnici, napětí indukčního systému a kompatibilitou mezi elektromobily. Vyžadovalo by to komunikační systém, který by dokázal zjistit, zda vozidlo přijíždí na dobíjecí pruh a cívky mohly zahájit proces nabíjení. Vývoj těchto pozemních komunikací zahrnuje spolupráci Velké Británie a států Evropské unie[34].

3 MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTROMOBILU

V této kapitole jsou vyhodnoceny testovací jízdy, během nichž se provedlo měření spotřeby a dobíjení elektromobilů. Na test byly k dispozici elektromobily Tesla Model S P85 a Volkswagen e-Golf se kterými se byly provedeny jízdy po trase na obrázku 10. Okružní trasa délky 38,4 km vedla od nabíjecí stanice ABB TERRA 53 u obchodního centra Globus Ivanovice do Tišnova a přes obec Lipůvka zpět k nabíjecí stanici. Každým elektromobilem byly provedeny dvě jízdy. První jízda byla svižnější a druhá pozvolnější. Volba těchto dvou jízdních stylů byla založena na následující otázce a to, zda je výhodnější jet rychleji a dobít více, či jet pozvolna a dobít v cíli méně elektrické energie.



Obr. 10 Trasa pro měření spotřeby elektromobilu Tesla Model S P85 a Volkswagen e-Golf

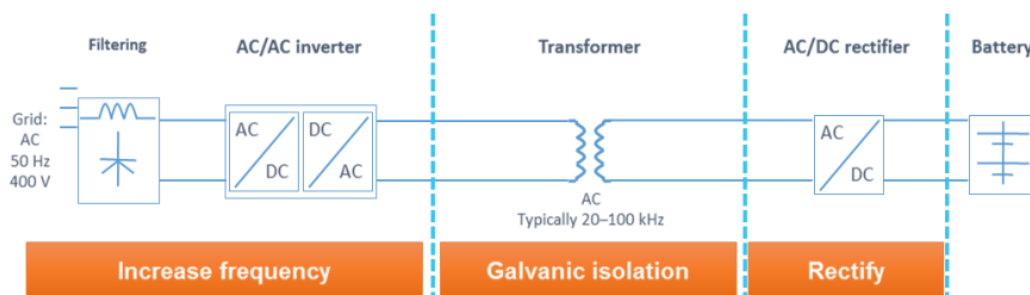
Naměřené hodnoty spotřeby elektrické energie elektromobilu Tesla Model S P85 a Volkswagen e-Golf jsou zachyceny v tabulce 4. Z naměřených hodnot vyplývá, že více dynamickou a rychlejší jízdou se spotřebuje více elektrické energie než během volnější a méně dynamické jízdy. V případě elektromobilu Tesla Model S P85 je rozdíl v průměrné spotřebě 4Wh/km a to odpovídá rozdílu ve spotřebované energii 0,15 kWh. V případě naměřených hodnot elektromobilem Volkswagen e-Golf jsou hodnoty rozdílu ve spotřebovaném výkonu vyšší. Rozdíl průměrné spotřeby elektrické energie činí 16 Wh/km a tak se rychlejší jízdou spotřebuje o 0,62 kWh více energie. Důvodem většího rozdílu naměřených hodnot u elektromobilu Volkswagen e-Golf, může být menší hustota provozu na pozemní komunikaci v době měření.

Tab. 4 Naměřené hodnoty elektromobilu Tesla Model S P85 a Volkswagen e-Golf

Typ elektromobilu	Jízda	Průměrná spotřeba	Spotřeba energie	Čas
		[Wh/km]	[kWh]	[min]
Tesla model S P85	Rychlá	175	6,72	44
	Pomalá	171	6,57	50
Volkswagen e-Golf	Rychlá	138	5,30	42
	Pomalá	122	4,68	47

3.1 Nabíjecí stanice ABB TERRA 53

Nabíjecí stanice ABB TERRA 53 má možnost dobíjet elektromobil s AC výkonem 43 kW, nebo s DC výkonem 50 kW. Konektor pro AC nabíjení je Type 2 a pro DC nabíjení jsou k dispozici konektory CCS a CHAdeMO. Konektory pro DC nabíjení se navzájem blokují, takže lze nabíjecí stanicí nabíjet souběžně pouze dva elektromobily. Velikost nabíjení pomocí AC výkonu je závislé na palubní nabíječce elektromobilu a DC nabíjení využívá měniče v nabíječce v podobě 5x10 kW modulů. Nabíjecí stanice splňuje normu IEC 62196-2, protože lze nabíjet elektromobil alespoň s jedním typem konektorů, které tato norma definuje. TERRA 53 je připojena přímo do distribuční sítě na všechny tři fáze. Na obrázku 11 je schéma nabíjecí stanice. První člen je třífázový filtr. V nabíjecí stanici je umístěn proto, aby docházelo k co nejmenšímu ovlivnění distribuční sítě použitými měniči a střídači. Druhý člen je AC/AC střídač, který usměrní vstupní napětí o frekvenci 50 Hz na výstupní napětí o frekvenci od 20 do 100 kHz. Aby nebyl transformátor sloužící pro galvanické oddělení velký a těžký, využívá se velké frekvence. Posledním členem je AC/DC usměrňovač, který napětí usměrňuje na hodnoty dle požadavku baterie připojeného elektromobilu[36].



Obr. 11 Schéma nabíjecí stanice ABB TERRA 53[36]

Měření se uskutečnilo na transformační stanici TS 705060 Hradecká u Glóbusu v městské části Brno Ivanovice, kde se měřil odebíraný výkon a fázové proudy jednotlivých fází třífázového vedení v minutových intervalech. Tato transformační stanice přímo napájí nabíjecí stanici ABB TERRA 53. Měření proběhlo na straně distribuční sítě, a tudíž je měření DC výkonu zkruseno vlastní spotřebou nabíjecí stanice, která má při plném výkonu vlastní spotřebu ΔP_{VS} přibližně 3kW. Velikost skutečného nabíjecího výkonu při DC nabíjení se určil za předpokladu konstantní velikosti vlastní spotřeby 3 kW. Při AC nabíjení se vlastní spotřeba nabíjecí stanice neuplatní a je možné jí zanedbat. Neběží ventilátory a další podpurné systémy, protože se stanice nezahřívá. Jedná se pouze o přímé připojení elektromobilu na distribuční síť, které se provede sepnutím spínače. Nabíjecí stanice je téměř v pohotovostním režimu, kdy pouze probíhá měření odebírané energie a komunikace s elektromobilem. V průběhu nabíjení má dodávaný výkon další proměnné, které zkrusují naměřené hodnoty. Je to například okolní teplota, velikost nabíjené baterie, napětí baterie nebo také druh nabíjecí stanice. Naměřené hodnoty nabíjení pomocí DC a AC výkonu jsou znázorněny na obrázku 12 a 13.

3.2 Výsledky a průběh nabíjení

Při AC nabíjení je nabíjecí výkon omezen velikostí palubní nabíječky elektromobilu. Palubní nabíječka elektromobilu Tesla Model S P85 je v provedení dvou 11 kW modulů a součtový nabíjecí výkon má hodnotu 22 kW. Volkswagen e-Golf má velikost palubní nabíječky 7,4 kW. Těmto hodnotám zhruba odpovídá i velikost naměřeného nabíjecího AC výkonu. Podle naměřených hodnot AC nabíjení, se během dvou minut dostane na téměř maximální výkon

palubní nabíječky, který se v průběhu nabíjení výrazně nemění a nabývá takřka konstantní hodnoty.

V případě DC nabíjení je průběh a velikost nabíjecího výkonu velice dynamický. Nabíjecí stanice využívá 5x10 kW moduly, ale výkon je řízený proudem. Tudíž je nabíjecí výkon plynule říditelný a nebude mít pilovitý průběh. Při připojení elektromobilu k nabíjecí stanici proběhne komunikace, během níž si elektromobil určí průběh nabíjení a velikost nabíjecího výkonu.

Na začátku DC nabíjení u elektromobilu Tesla Model S P85 dosáhl nabíjecí výkon během dvou minut na hodnotu 48 kW, kde 3 kW výkonu tvoří vlastní spotřeba nabíjecí stanice. Na počátku nabíjení má baterie menší napětí a není tolik zahřátá. Postupem času, jak se baterie nabíjí, roste i její napětí. Jelikož nabíjecí stanice řídí proud, tak byť při malém nárůstu napětí baterie, roste i celkový nabíjecí výkon. Počáteční hodnoty fázových proudů dle obrázku 14 se pohybují na hodnotě 65 A a vlivem zvýšení napětí baterie elektromobilu v průběhu nabíjení, roste velikost fázových proudů k hodnotě blízké 70 A. Nabíjecí výkon se po časovém intervalu 30 minut omezí na hodnotě 52 kW, kde 49 kW tvoří nabíjení elektromobilu a 3 kW zmiňovaná vlastní spotřeba nabíjecí stanice. V další fázi je baterie elektromobilu částečně nabitá a dochází k poklesu nabíjecího DC výkonu. Proč k poklesu velikosti nabíjecího výkonu dochází, není jednoznačné. Možné je, že za to může samotný způsob DC nabíjení, kdy při větším rozdílu napětí zdroje a baterie se baterie nabíjí rychleji. Postupem času se rozdíl napětí zdroje a baterie zmenšuje, kdy dochází k poklesu nabíjecího proudu. Menší nabíjecí výkon může také přispívat k delší životnosti baterie elektromobilu.

V případě elektromobilu Volkswagen e-Golf byl počátek DC nabíjení již při sníženém nabíjecím výkonu 33,5 kW, protože baterie byla již dostatečně nabitá. Dle obrázku 15 se hodnota nabíjecího proudu na jednotlivých fázích pohybuje kolem 49 A a nabíjecí proud klesá v průběhu nabíjení na velikost 38 A. Velikost nabíjecího výkonu v intervalu 7 minut klesá o 8 kW na hodnotu 25,5 kW.

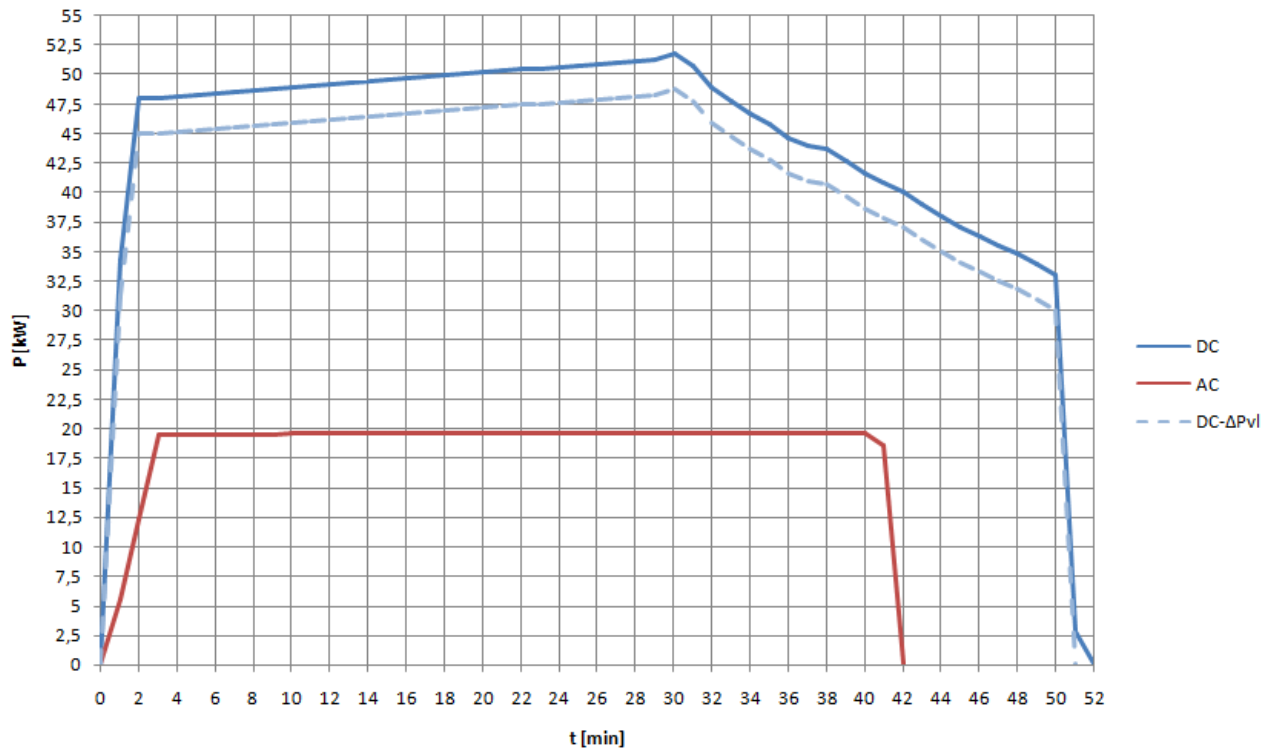
Průběh nabíjení na obrázku 12 a 13 se rozděluje na několik vhodně zvolených časových úseků a jejich pomocí se výpočtem určí celková dobíjená energie. Výsledky dobíjené energie elektromobilů Tesla Model S P85 a Volkswagen e-Golf při DC a AC nabíjení, jsou zachyceny v tabulkách 5-8.

Příklad výpočtu dobíjené energie pro druhý a třetí řádek v tabulce 5:

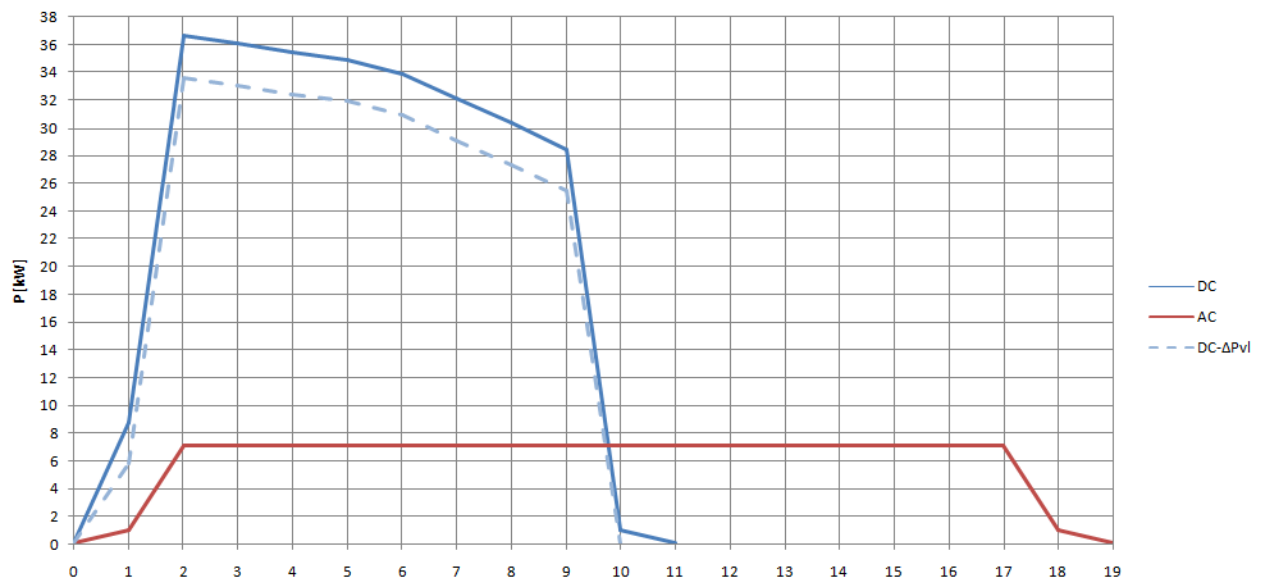
$$W_{2ř} = P \cdot t = 45 \cdot 0,467 = 21 \text{ kWh}$$

$$W_{3ř} = \frac{P \cdot t}{2} = \frac{4 \cdot 0,467}{2} = 0,93 \text{ kWh}$$

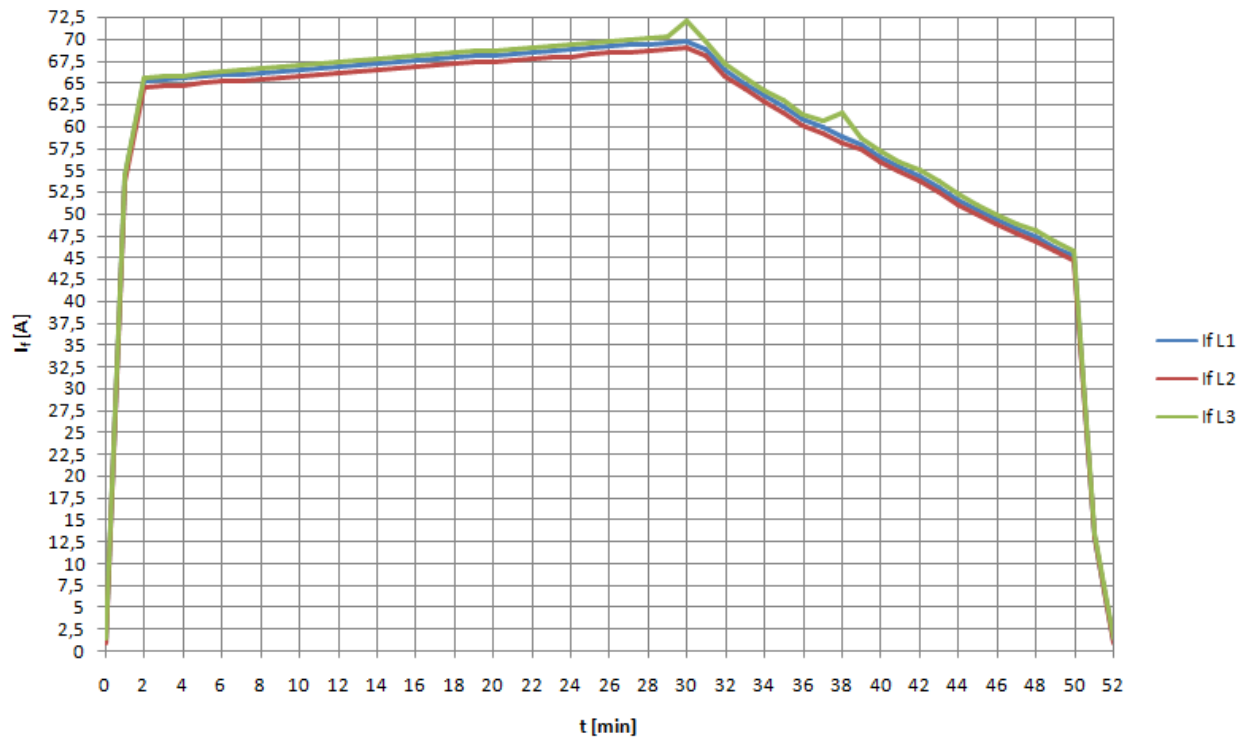
Elektromobil Tesla Model S P85 má velikost baterie 85 kWh a na počátku DC nabíjení se baterie nacházela na úrovni nabití 34 %. Tomu odpovídá velikost akumulované energie 28,9 kWh. Nabíjecí stanice po dobu 30 minut při maximálním DC výkonu dodala elektromobilu 22,68 kWh energie. V této době měla baterie akumulovanou energii 51,58 kWh a stav nabití baterie 60,7 %. V tomto stavu nabití baterie vyžaduje elektromobil menší nabíjecí výkon a na konci nabíjení se baterie pohybuje na akumulované energii 64,93 kWh. Konečný stav nabití baterie na konci DC nabíjení je 76,4 %. Poté byly provedeny obě jízdy, které spotřebovaly 13,29 kWh energie. Nabíjení AC výkonem začalo při akumulované energii 51,64 kWh a během časového úseku 42 minut se elektromobil dobil na 64,64 kWh. Elektromobil Volkswagen e-Golf ukazoval na palubní desce pouze maximální dojezd a tudíž nebylo možné určit přesné výsledky stavu nabití baterie před a na konci nabíjení.



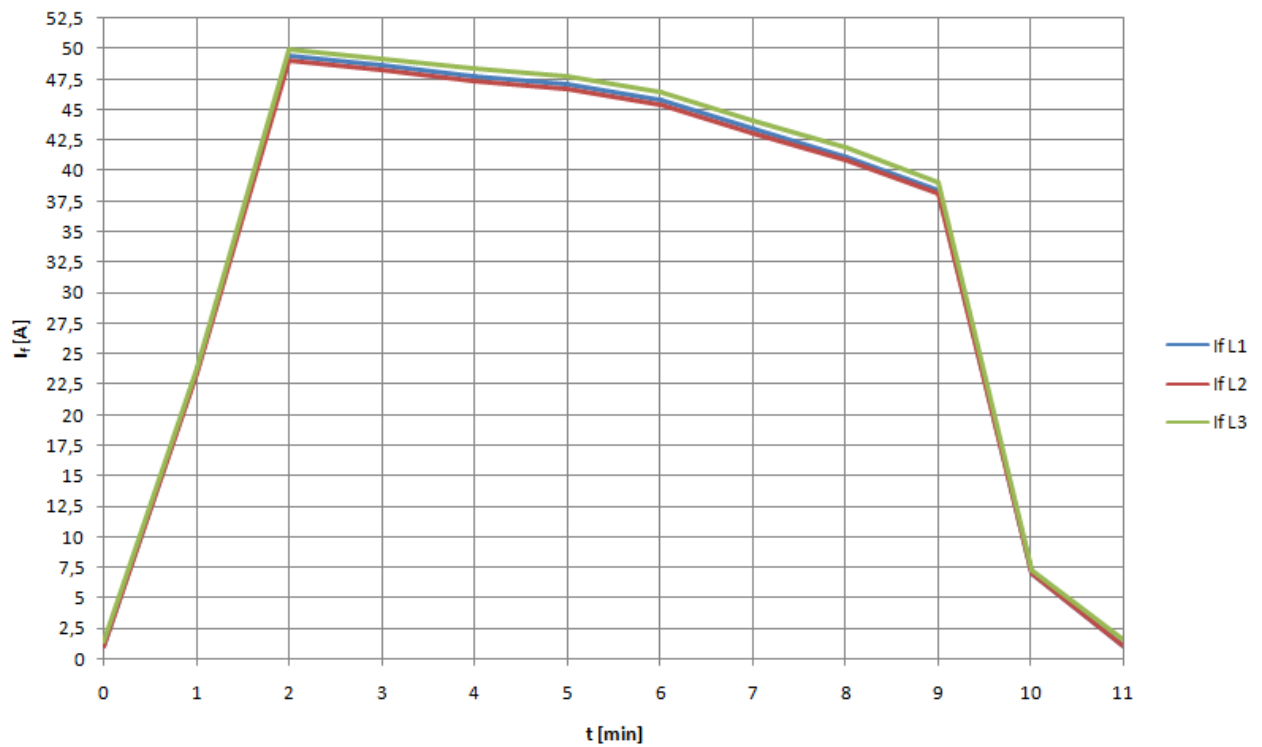
Obr. 12 Průběh nabíjení elektromobilu Tesla Model S P85



Obr. 13 Průběh nabíjení elektromobilu Volkswagen e-Golf



Obr. 14 Velikost fázových proudů při DC nabíjení elektromobilu Tesla Model S P85



Obr. 15 Velikost fázových proudů při DC nabíjení elektromobilu Volkswagen e-Golf

Tab. 5 Výsledek DC nabíjení baterie elektromobilu Tesla Model S P85

Tesla Model S P85 - DC nabíjení				
Časový interval [min]	P [kW]	t [min]	t [hod]	W [kWh]
0-2	45	2	0,033	0,75
2-30	45	28	0,467	21,00
2-30	4	28	0,467	0,93
30-38	41	8	0,133	5,47
30-38	8	8	0,133	0,53
38-50	30	12	0,200	6,00
38-50	11	12	0,200	1,10
50-51	30	1	0,017	0,25
Celkem Energie				36,03

Tab. 6 Výsledek AC nabíjení baterie elektromobilu Tesla Model S P85

Tesla Model S P85 - AC nabíjení				
Časový interval [min]	P [kW]	t [min]	t [hod]	W [kWh]
0-3	19,50	3	0,050	0,49
3-40	19,50	37	0,617	12,03
40-41	18,80	1	0,017	0,31
40-41	0,70	1	0,017	0,01
41-42	18,80	1	0,017	0,16
Celkem Energie				13,00

Tab. 7 Výsledek DC nabíjení baterie elektromobilu Volkswagen e-Golf

Volkswagen e-golf - DC nabíjení				
Časový interval [min]	P [kW]	t [min]	t [hod]	W [kWh]
0-1	6,00	1	0,017	0,05
1-2	6,00	1	0,017	0,10
1-2	27,5	1	0,017	0,23
2-6	31,00	4	0,067	2,07
2-6	2,50	4	0,067	0,08
6-9	25,5	3	0,050	1,28
6-9	5,50	3	0,050	0,14
9-10	25,50	1	0,017	0,21
Celkem Energie				4,16

Tab. 8 Výsledek AC nabíjení baterie elektromobilu Volkswagen e-Golf

Volkswagen e-Golf - AC nabíjení				
Časový interval [min]	P [kW]	t [min]	t [hod]	W [kWh]
0-1	1,00	1	0,017	0,01
1-2	1,00	1	0,017	0,02
1-2	6,20	1	0,017	0,05
2-17	7,20	15	0,250	1,80
17-18	1,00	1	0,017	0,02
17-18	6,20	1	0,017	0,05
18-19	1,00	1	0,017	0,01
Celkem Energie				1,96

Po ujetí zvoleného testovaného úseku na obrázku 10, elektromobil Tesla Model S P85 spotřeboval během pomalé jízdy 6,57 kWh a během rychlé jízdy 6,72 kWh elektrické energie. Naměřená velikost průměrné spotřeby je při pomalé jízdě 171 Wh/km a při dynamické rychlé jízdě 175 Wh/km. Výsledek rozdílu ve spotřebě elektrické energie je 0,15 kWh. Rychlou jízdou se ušetří 6 minut času a ztrátu 0,15 kWh energie lze dobít z naměřených výsledků do 1 minuty v režimu AC nebo DC nabíjení. Tím pádem je volba rychlé jízdy v takto měřeném úseku časově rentabilnější, byť s takřka zanedbatelnou ztrátou elektrické energie.

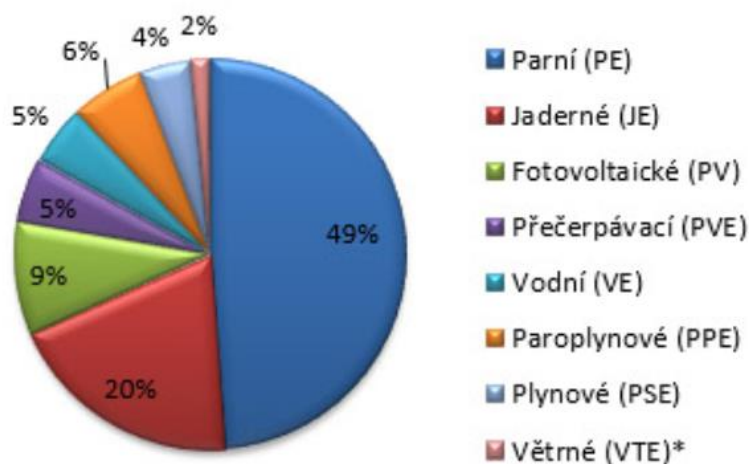
Elektromobil Volkswagen e-Golf po ujetí stejné trasy během pomalé jízdy spotřebuje 4,68 kWh a během rychlé jízdy 5,3 kWh elektrické energie. Velikost průměrné spotřeby je při pomalé jízdě 122 Wh/km a při dynamické rychlé jízdě 138 Wh/km. V době měření je menší hustota provozu na pozemní komunikaci a tak rozdíl ve spotřebě energie je výraznější oproti naměřeným výsledkům u elektromobilu Tesla Model S P85. Rychlou jízdou se ujede daný úsek o 5 minut rychleji a ztráta elektrické energie tvoří 0,62 kWh. Pokud by se elektromobil nabíjel pomocí AC nabíjení, tak by se čas strávený nabíjením, vykompenzuje uspořeným časem. Může za to velikost palubní nabíječky, která má maximální nabíjecí výkon 7,4 kW. Naopak z naměřených výsledků DC nabíjení dle obrázku 13, je možné dobít danou ztrátu elektrické energie za 3 minutový časový úsek. Pomocí DC nabíjení se uspoří 2 minuty času za cenu zvýšené spotřeby elektrické energie 0,62 kWh.

Za značné rozdíly průměrné spotřeby elektromobilů může velikost elektromotorů. Testovaný elektromobil Tesla Model S P85 má elektromotor velikosti 310 kW a tak spotřebuje více elektrické energie než Volkswagen e-Golf, který má výkon elektromotoru 100 kW.

Je nutné říci, že velikosti výkonů elektromotorů, jsou určeny výrobcem nesprávně. Jde o velikost výkonu motoru, kterou by měl mít spalovací motor, aby se vyrovnal elektromotoru v elektromobilu. Tudíž elektromotory použité v elektromobilech mají daleko menší výkon, než uvádí výrobci. Důvodem je větší účinnost elektromotorů.

4 ELEKTROMOBILY A NABÍJECÍ SYSTÉMY VYUŽÍVAJÍCÍ SOLÁRNÍ ENERGII

V otázce elektromobilů je důležité si uvědomit, odkud pochází zdroj energie, které je pohání. Na první pohled se může elektromobil jevit jako „zelená“ alternativa. Původ energie v jakékoliv nabíjecí stanici není možné určit, a tedy nevíme, zda se jedná o obnovitelný, nebo neobnovitelný zdroj. Lze ale s vysokou pravděpodobností předpokládat, že půjde o neobnovitelný zdroj elektrické energie. Toto tvrzení může doložit energetický mix České republiky na obrázku 16, ze kterého je patrné, že většina energie v tuzemsku je vyrobena z uhelných a jaderných elektráren. V jiných státech může být situace naopak zcela jiná. Například v sousedním Německu se v poslední době usiluje o větší zařazení obnovitelných zdrojů. Na jednu stranu se zdá, že jde o rozumný krok k udržitelnému rozvoji energetiky. Nicméně na druhou stranu se zde vyskytují problémy, které vedou spíše k destabilizaci elektrické sítě.

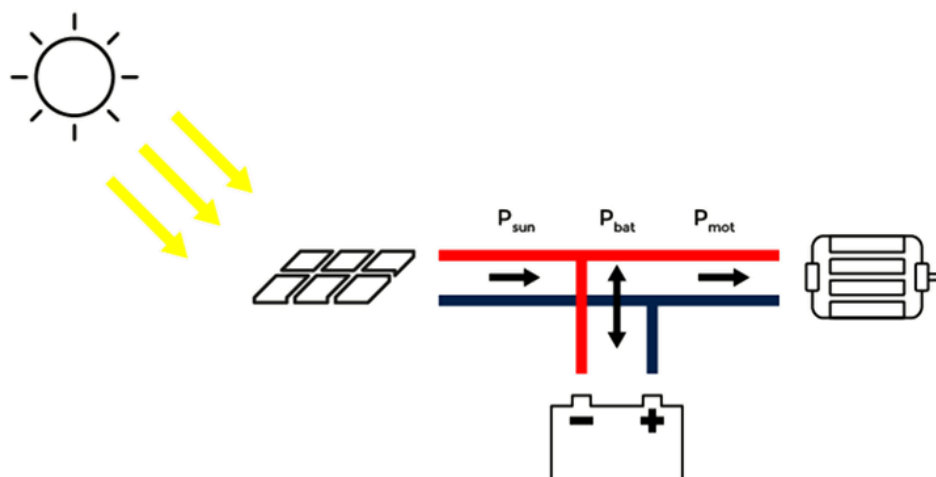


Obr. 16 Energetický mix České republiky v roce 2019 [37]

4.1 Elektromobily na solární energii

V rámci obnovitelných zdrojů elektrické energie se nabízí jako vhodná varianta pro účely nabíjení elektromobilu právě sluneční záření. Je všude dostupné, nevyčerpatelné a jedná se o největší zdroj energie. Využití solární energie je naprosto zdarma a do jisté míry není nutná takřka žádná nabíjecí infrastruktura. V teoretické rovině to znamená, že by bylo možné řídit elektrická vozidla kdekoli na světě. Odpadlo by čekání na strategické rozmístění a zdlouhavá stavební povolení k vybudování nabíjecích stanic. Nově vzniklé automobilky se z toho důvodu upínají k využití energie ze slunce. Reprezentanti těchto nových podniků jsou Lightyear z Nizozemska anebo Sono motors z Německa. Ještě předtím, než dojde na představení těchto nových společností, jsou níže rozebrány blíže elektromobily využívající solární články z obecného hlediska.

Jádrem solárního vozu je elektrický vůz s neomezeným, bezplatným a bezdrátovým zdrojem energie. V podstatě se solární automobil skládá ze solárního panelu, baterie a jednoho nebo více elektrických motorů. Všechny tyto části jsou zapojeny paralelně, a to podle obrázku 17[38].



Obr. 17 Jednoduché schéma solárního automobilu [38]

V určitém okamžiku určuje množství slunečního záření výkon solárních panelů P_{sun} . Dále se definuje výkon baterie P_{bat} a výkon motoru P_{mot} . Funkční proces baterie je dán rozdílem mezi výkonem dodávaným ze slunce a výkonem motoru: $P_{bat} = P_{sun} - P_{mot}$. V situaci, ve které je dodávaný výkon ze solárních panelů větší, než je požadovaný výkon motoru, se baterie nabíjí přebytečným výkonem. To nastává například při zaparkovaném elektromobilu[38].

Výkon motoru P_{mot} je určen dvěma faktory a to aerodynamickým odporem $C_d A$ a valivým odporem vozidla C_{rr} . Aerodynamický odpor je určen plochou čelní části vozu A a koeficientem odporu C_d . Čelní plocha je oblast předního obrysu vozidla, proti které se částice vzduchu srazí. Koeficient odporu popisuje proudění vzduchu kolem vozidla. Při vyšších rychlostech je aerodynamická ztráta výkonu motoru vyšší než při nízkých rychlostech, protože výkon potřebný k překonání aerodynamického odporu se zvyšuje kubicky s rychlostí. Tabulka 9 popisuje srovnání vozu Tesla Model S a Volkswagenu Golf z pohledu aerodynamického odporu. Z tabulky vyplývá, že díky menšímu aerodynamickému odporu $C_d A$ spotřebuje Tesla Model S až o 2700 W méně výkonu než Volkswagen Golf při rychlosti 120 km/h[38].

Tab. 9 Srovnání aerodynamických odporů na Tesla Model S a

Volkswagen Golf [38]

Typ	A [m ²]	C_d [-]	$C_d A$ [m ²]	Aerodynamická ztráta při 20 km/h [W]	Aerodynamická ztráta při 120 km/h [W]
Tesla Model S	2,34	0,24	0,56	64	13800
Volkswagen Golf	2,22	0,31	0,69	76	16500

Valivý odpor je určen koeficientem valivého odporu pneumatik C_{rr} a hmotností vozidla m . Typické hodnoty pro C_{rr} jsou kolem 0,01. Výkon, který je potřebný k překonání valivého odporu, se zvyšuje lineárně s rychlostí. Z předchozích tvrzení vyplývá, že při nízké rychlosti je valivý odpor důležitější, zatímco při vyšších rychlostech je důležitější velikost aerodynamického odporu[38].

Aby se docílilo optimálního návrhu solárního automobilu, je nutné splnit několik podmínek. Maximalizovat množství energie přicházející ze slunce pomocí mnoha účinných solárních článků a minimalizovat ztrátový výkon motoru. Snížení velikosti ztrát motoru se docílí tak, že vozidlo bude mít co nejvíce aerodynamický tvar a bude vyrobeno z lehkých materiálů k dosažení nízké hmotnosti. Vhodným lehkým materiálem je například plast vyztužen uhlíkovými vlákny. Snížení

aerodynamického tahu může být dosaženo snížením čelní plochy anebo tím, že zrcátka se nahradí nahrazena kamerami. Zlepšení součinitele odporu může být dosaženo vytvořením hladkého tvaru a odstraněním okrajů a švů. Například přidáním uzavřené spodní desky k vozidlu. Obecně lze říci, že zlepšením aerodynamiky stačí k dosažení stejných jízdních vlastností méně výkonné motory a menší baterie[38].

4.1.1 Lightyear

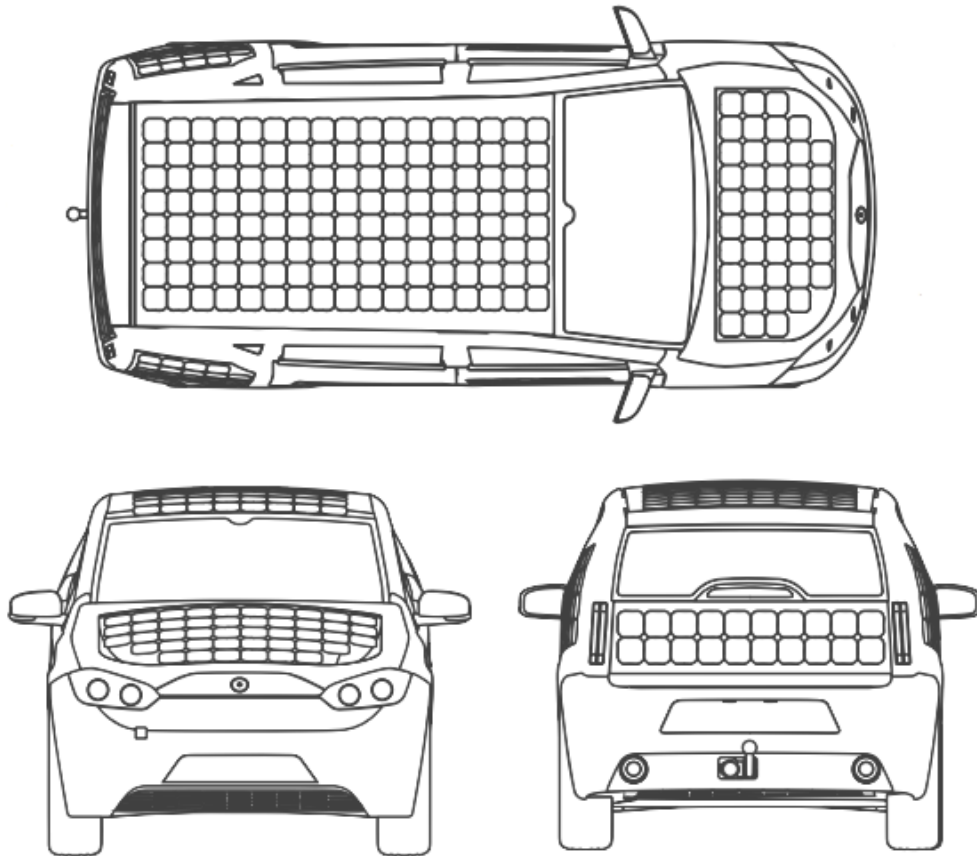
Tato automobilka vyvíjí elektromobil s názvem Lightyear One, jenž bude během jízdy dobíjen pomocí solárních článků. Touto snahou o vytvoření solárního elektromobilu chce urychlit zavedení elektromobilů mezi širokou veřejnost, protože se domnívá, že pokrytí nabíjecích stanic i přes neustálý růst není dostatečně rychlý k tomu, aby se elektromobily staly běžnou součástí domácností. Lightyear One je schopný odstranit základní problémy elektromobilů. Jednak nebude vyžadovat vybudování robustní nabíjecí infrastruktury a navíc eliminuje krátké dojezdové vzdálenosti vzhledem k čerpání sluneční energie během cestování.

Lightyear One bude vyroben z ultralehkých uhlíkových materiálů. Konstrukce modelu One bude uzpůsobena tak, aby při jízdě vykazovala co nejmenší odpor proudění vzduchu. Jeho povrch bude pokrytý solárními panely a díky tomu bude tento elektromobil schopen ujet na jedno nabití až 725 km. Akumulace bude zaopatřena li-ion baterií o celkové kapacitě 60 kWh. Spotřeba elektrické energie bude 83 Wh/km a pomocí panelů každou hodinu navýší dojezdovou vzdálenost o 12 km. Při předpokladu, že se bude vůz pohybovat v lokalitě, kde je dostatek slunečních dní v roce, odpadne potřeba dobíjet elektromobil ze sítě. V případě nouze lze přebytečnou energii zásobovat obytný objekt nebo využít v elektromobilu implementovanou zásuvku pro napájení běžných elektrických spotřebičů[39][40].

4.1.2 Sono motors

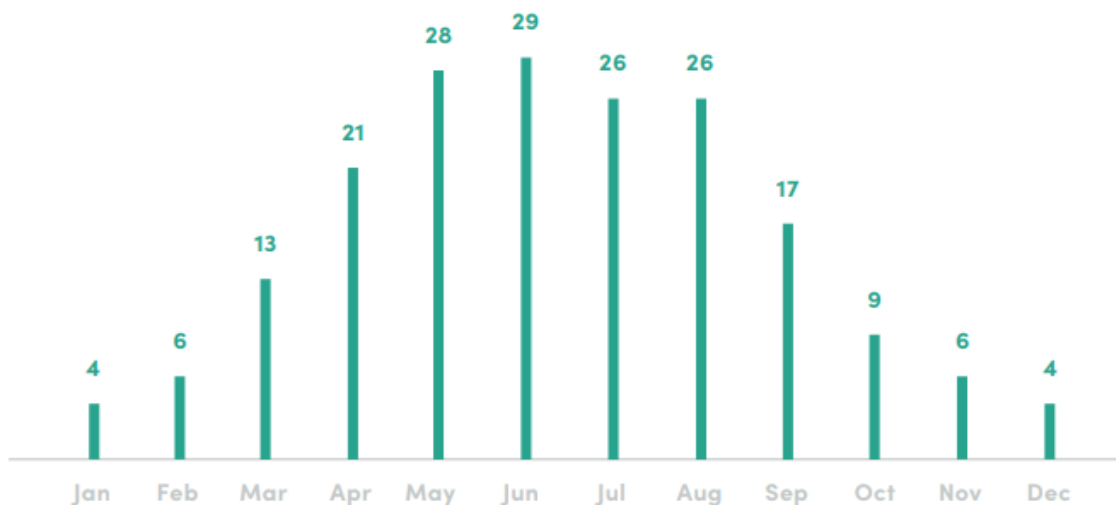
Sono motors je nová, rozvíjející se firma sídlící v německém Mnichově. Tato automobilka vyvíjí solární elektromobil Sion. Jedná se o rodinný vůz s kapacitou přepravy pěti osob. Je navržen především pro každodenní městské cestování. Sono motors klade důraz na to, aby jejich vůz měl velkou životnost, výkonnost a byl vyroben z lehkých komponentů. Vozidlo Sion má výkon motoru 120 kW. Velikost baterie je 35 kWh a Sion dokáže ujet až 255 km[41].

Solární články budou umístěny po stranách, na střeše, na čelní a zadní části vozidla. Rozmístění fotovoltaických modulů popisuje obrázek 18. Integrované fotovoltaické články umožňují jednoduše nabíjet baterii po celý den pomocí slunečního záření. Pro představu je na obrázku 19 znázorněn graf roční výtěžnosti fotovoltaického systému v oblasti Mnichova. Z grafu lze vyvodit, že nejvyšší výtěžnost elektrické energie se předpokládá dle predikce průměrných meteorologických údajů v létě a lze dodatečně zvýšit dojezd v jediném dni o 30 km pomocí fotovoltaických článků[42].



Obr. 18 Rozmístění fotovoltaických článků na elektromobilu Sion [42]

Lithium-iontová baterie s kapacitou 35 kWh, obsahuje vodní chlazení. Pro solární moduly jsou použity monokrystalické křemíkové články. Celkově je použito 330 článků. Dohromady dokáží generovat maximální výkon 1 204 W s 24 % účinností. Fotovoltaické moduly jsou připojeny ke spodní konstrukci, podobně jako normální čelní sklo. To znamená, že fotovoltaické moduly lze snadno a bez problémů vyměňovat[42].



Obr. 19 Dodatečný dojezd v kilometrech za den [42]

Autoři projektu kladou důraz na kvalitu materiálu. Komponenty musí splňovat následující požadavky: minimální životnost 8 let, odolnost vůči vlivům prostředí, jako je ultrafialové záření a voda, robustnost a nízká hmotnost. Obvyklé fotovoltaické články jsou laminovány ve skle 2 až

5mm silné. To je však v dané situaci nevyhovující, protože sklo je poměrně těžké a není příliš odolné vůči rozbití. Řešením je polykarbonát, který je lehký, výrazně odolnější a má lepší průhledný koeficient než sklo[41].

Pro procesy nabíjení je Sion vybaven zástrčkami CCS, Mennekes a běžnou zástrčkou pro domácnost. Zástrčku pro CSS lze nalézt v rychlonabíjecích stanicích a zástrčku Mennekes lze využít u všech běžných nabíjecích stanic. Díky vybavenosti těmito konektory, bude zaručena možnost nabíjení téměř ve všech nabíjecích stanicích v Evropě[41][42].



Obr. 20 Typy podporovaných zástrček pro elektromobil Sion [42]

Díky obousměrné nabíjecí technologii bude moci Sion čerpat a ukládat energii, a navíc ji využít i pro napájení elektrických spotřebičů a zařízení až do 3,7 kW. Pro napájení spotřebičů vyšších výkonů bude možné použít zástrčku Mennekes, která umožní napájení elektrických spotřebičů až do výkonu 11 kW. V kombinaci se zabudovaným fotovoltaickým systémem lze Sion připodobnit k mobilní elektrárně[42].

Navržen byl takový systém údržby, aby náklady byly co nejmenší. Rovněž se plánuje zřídit online obchod pro zakoupení téměř všech součástí a komponentů pro vůz Sion. Většinu součástí a náhradních dílů bude schopný majitel vozu instalovat. Vzhledem k tomu, že příručka pro dílny je volně přístupná, umožňuje vytvoření sítě servisů[42].

Požizovací cena vozu Sion bude v přepočtu kolem 400 000 korun bez baterie. Důvodem pro vyloučení baterie z ceny je to, že firma chce vždy nabídnout nejaktuálnější cenu. Konečná cena baterie bude vypočítaná na základě tržních sazeb bateriových článků v době produkce vozidla a až poté bude přiřazena k ceně Sionu[41].

4.2 World solar challenge

Schopnost vývoje technologií v každém odvětví tkví v konkurenceschopnosti. Zavedením různých soutěží k tomu nemálo prospívá. V této podkapitole budou představeny solární elektromobily Australské soutěže World Solar Challenge, která podporuje rozvoj alternativních dopravních prostředků vůči konvenčním motorovým vozidlům. Tento závod se pořádá každé dva roky a svou aktivitou pomáhá posouvat limity technologických inovací solárních elektromobilů. Z Darwinu se závodníci vydávají na trasu dlouhou 3000 km do města Adelaide. Týmy jsou tvořeny převážně studenty z více než 30 zemí světa[43][44].

Solární elektromobily testují hranice energetické účinnosti a také poskytují neuvěřitelný náhled do konstrukčních řešení vozidel pro každodenní využití. Tyto inovace jsou jádrem všech elektromobilů, ať už energie pro pohon pochází z vodíkových palivových článků, hybridních motorů nebo z plně elektrických osobních vozů. Celý závod je v podstatě o rozumném hospodaření s energií[43][44].

4.2.1 Solární elektromobily závodu

Elektromobily, které soutěží ve třídě Challenger jsou navrženy a konstruovány tak, aby byly rychlé, vytrvalé a celkově energeticky účinné. Elektromobil Nuna9, která spadá do této kategorie je navržena týmem Nuon Solar. Nuna9 je vyrobena z inovativních syntetických materiálů pryskyřice a uhlíkových vláken, díky čemuž je elektromobil rychlejší, bezpečnější a energeticky účinnější. Hmotnost solárního elektromobilu je 135 kg a jen samotná baterie použitá ve vozidle váží 20 kg. Uložená energie v baterii se využívá pro pohon motoru pouze tehdy, když solární panel nemůže generovat energii. To znamená, že i při zhoršeném počasí je možno s Nuna9 po určitou dobu nadále jet. Solární panel o rozměru 2,64 m² je vyrobený přímo týmem Nuon Solar. Použité fotovoltaické články ve vozidle Nuna9 jsou stejného typu jako v satelitních družicích. Tento solární elektromobil dosahuje také extrémně malé hodnoty vzduchového odporu. Tato hodnota odpovídá vzduchovému odporu pouze jednoho postranního zrcátka Tesla Model S. Na obrázku 21 je vozidlo Nuna9, která dosahovala v závodech průměrné rychlosti 81,2 km/h[45][46].



Obr. 21 Solární elektromobil Nuna9 od Nuon Solar Team[47]

Ve třídě Cruiser závodí elektromobily pro praktické využití se dvěma nebo více sedadly. Tým Eidhoven zkonstruoval solární elektromobil Stella Vie. Uvádí, že se jedná o nejefektivnější rodinný elektromobil na světě, který ujede až 1000 km pomocí slunečné energie vyrobené v průměrném letním dni v Holandsku. Nadbytečnou vyrobenou energií, může Stella Vie například zásobovat dům[48].

Při návrhu karoserie se snažili dosáhnout co nejnižšího aerodynamického odporu. Toto futuristické vozidlo má plochu solárního pole 5 m² a nabízí až 5 míst k sezení. Je 5 m dlouhý, 1,65 m široký a současně váží pouze 375 kg. Nejvyšší dosažená rychlost je 125 km/h. Stella Vie má zabudovanou solární navigaci, která díky vyhodnocování předpovědi počasí určí nejefektivnější trasu cesty do zvoleného cíle. Pomocí navigace lze vyhledat i nejvýhodnější místo pro zaparkování na slunném místě, aby bylo vozidlo nabitě i pro nadcházející jízdu. Vybrané parkovací místo je v přiměřeném dosahu místa určení. Zahrnuje nejnovější technologii V2X, která během jízdy varuje řidiče, pokud zbytečně brzdí, nebo dochází k rychlé akceleraci vozidla. Také upozorňuje řidiče, aby předvídal nadcházející dopravní situace, což umožňuje bezpečnější jízdu[48][49].



Obr. 22 Solární elektromobil Stella Vie[48]

Tým z Tokijské university závodil se svým Tokai Challengerem. Na rozdíl od ostatních má jiný tvar, což ho činí v soutěži unikátem. Stejně jako ostatní týmy se i oni soustředily při návrhu konstrukce na maximální aerodynamiku pro dosažení nízkého odporu vzduchu. Aby měl malou hmotnost a současně velkou pevnost, využily pro jeho stavbu uhlíkové vlákno Torayca, které tyto vlastnosti splňuje. Celková odhadovaná hmotnost je přibližně 140 kg a o celkové délce 4,98 m, šířce 1,2 m a výšce 1 m. Použité solární články jsou od společnosti Panasonic s účinností 24,1 % a celkovým výkonem 962 W. Toto vozidlo je dále vybaveno vysokokapacitní cylindrickou lithium-iontovou baterií od společnosti Panasonic o hmotnosti 20 kg. Pro pohon jejich vozidla Tokai Challenger použili bezkartáčový motor od společnosti Mitsuba s přímým pohonem na stejnosměrný proud. Jeho maximální rychlost dosahuje 120 km/h[50][51][52].



Obr. 23 Solární elektromobil Tokai Challenger[52]

4.3 Solární nabíjecí stanice

Nyní se v této kapitole přejde k solárním nabíjecím stanicím. Bude zde vysvětlen princip získávání elektrické energie z fotovoltaických článků, charakteristika fotovoltaických článků, problematika fotovoltaického systému a jeho využití pro energetické účely.

4.3.1 Fotovoltaický článek

Přeměna elektromagnetického záření na energii elektrickou je založena na principu fotovoltaického jevu, který probíhá v polovodičových fotovoltaických článcích. Jedná se o jev, při kterém se z krystalové mřížky uvolňují elektrony vlivem absorpce elektromagnetického záření. Nejspolehlivějšími jsou fotovoltaické články na bázi krystalického křemíku.

Fotony, které dopadají na fotovoltaický článek, jsou částice záření, jejichž energie závisí na vlnové délce. Čím větší je vlnová délka záření, tím menší energii mají jeho fotony. Fotony elektromagnetického záření musí mít pro vyvolání fotovoltaického jevu alespoň energii 1,12 eV. Této energii odpovídá mezní vlnová délka 1105 nm. Fotony s větší vlnovou délkou fotovoltaický jev nevyvolají[53].

Polovodiče se dělí podle typu nosiče náboje na vlastní a příměsové. Příměsové mohou být typu N a typu P. Polovodiče typu N jsou majoritními nosiči náboje elektrony a typu P jsou majoritními nosiči díry, které se chovají jako částice s kladným nábojem[54].

Mikroskopickým spojením polovodiče typu P a polovodiče typu N vznikne PN přechod, při kterém dochází k difúzi děr z polovodiče typu P do polovodiče typu N. Následně se díry slučují s elektrony v polovodiči typu N a u přechodu v polovodiči typu P vznikají elektricky nevykompenzované nepohyblivé záporné ionty akceptorů (příjemci elektronu). V momentě, kdy díry z okolí přechodu zčásti přešly do polovodiče typu N a neutralizovaly se s elektrony, dochází k difúzi elektronů z polovodiče typu N do polovodiče typu P. V blízkosti přechodu mezi polovodiči vznikají v polovodiči typu N nepohyblivé nevykompenzované kladné ionty donorů (dárci elektronů)[55].

U křemíkových článků na přechodu PN se vytvoří elektrické napětí o velikosti zhruba 0,5 V. Je-li třeba větší napětí, zapojují se jednotlivé články sériově a sestavují se z nich fotovoltaické panely. Tyto FV panely musí být odolné proti vnějším klimatickým podmínkám, jako je například krupobití, silný vítr, teplotním změnám od 40 °C do 85 °C, ale také technickým vlivům jako je například přepětí. Fotovoltaický systém je sestaven z panelů tak, aby poskytoval dostatečný elektrický výkon pro požadovanou aplikaci[56][57].

4.3.2 Typy fotovoltaických článků

Podle výroby dělíme články na krystalické nebo tenkovrstvé. Mezi krystalické patří články, které jsou vytvořeny na deskách polovodičového materiálu. Jsou vyrobeny z křemíku v podobě monokrystalu nebo polykrystalu[58]

Monokrystalické články jsou vyrobeny z jednoho kusu krystalu křemíku a jejich výroba je založena na pomalém tažení roztaveného křemíku. Jejich účinnost za normálních podmínek je 12-16 % a tím, že se jedná o monokrystal, dochází k přeměně kolem 80 % přímého záření a 20 % difúzního záření na elektrickou energii[57][58].

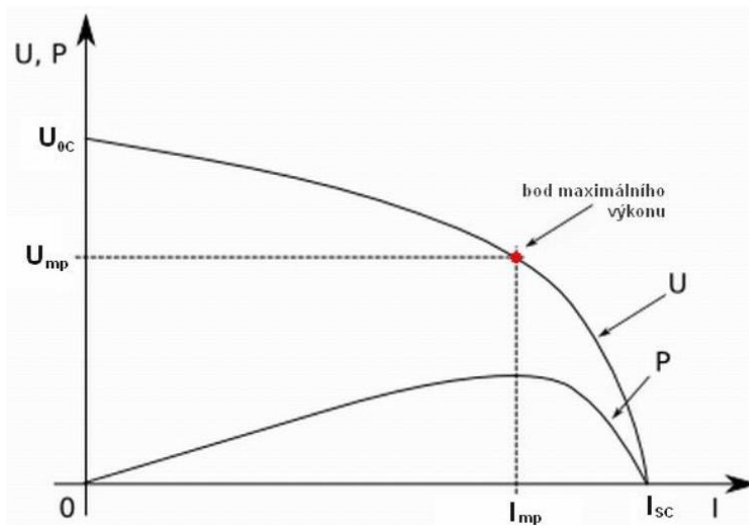
Polykrystalické články jsou složeny z většího množství menších krystalů. Jsou vyráběny odléváním čistého křemíku do forem, v nichž vznikne ingot, který se následně nařeže na tenké plátky. Typická účinnost těchto článků za normálních podmínek je 11-14 %. Mají menší účinnost z důvodu většího odporu na spojích krystalických zrn a na elektrickou energii přeměni kolem 20% přímého záření a 80 % difúzního záření[57][58].

Tenkovrstvé články oproti krystalickým vznikají nanášením tenkých vrstev polovodičů na nosný materiál. Podkladovým materiálem může být například sklo, plastová fólie nebo kov.

Výhodou těchto článků je vysoká úspora materiálů. Zástupcem tenkovrstvých článků a zároveň jeden z nejpoužívanějších je článek amorfni. Tento článek má účinnost za běžných podmínek 5 - 7 % a na elektrickou energii přemění kolem 50 % přímého a 50 % difúzního slunečního záření[57].

4.3.3 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku

Voltampérová charakteristika vyjadřuje chování FV článku a zároveň je to nástroj pro nalezení bodu maximálního výkonu. Na obrázku 24 jsou vidět hraniční hodnoty napětí naprázdno U_{0c} a proud nakrátko I_{sc} . Napětí naprázdno představuje maximální napětí, kdy k FV článku není připojena žádná zátěž a proud nakrátko představuje maximální (zkratový) proud, který lze dodat článkem při dané intenzitě záření[57].



Obr. 24 Voltampérová charakteristika fotovoltaického článku [57]

Součinem hodnot maximálního pracovního proudu I_{MP} a maximálního pracovního napětí U_{MP} se dostane na charakteristice bod nazývaný MPP (Maximum Power Point). Fotovoltaické články závisí z hlediska výkonu na intenzitě slunečního záření, spektru světla a na teplotě článku[57].

$$P = U_{mp} \cdot I_{mp} \quad (\text{W,V,A}) \quad (4.1)$$

Činitel plnění FF (Fill Factor) udává kvalitu fotovoltaického článku a nabývá hodnoty v intervalu 0 až 1. Je přímo ovlivněn hlavně sériovým a příčným odporem článků, ztrátami na diodách, na teplotě a zastíněním. Například pro fotovoltaický článek, na jehož povrch nedopadá žádné osvětlení, bude činitel plnění roven 0. Je dán podílem maximálního výkonu MPP a součinem hodnot maximálního napětí (naprázdno) a maximálního proudu (nakrátko)[57].

$$FF = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{U_{0c} \cdot I_{sc}} \quad (-, \text{V,A,V,A}) \quad (4.2)$$

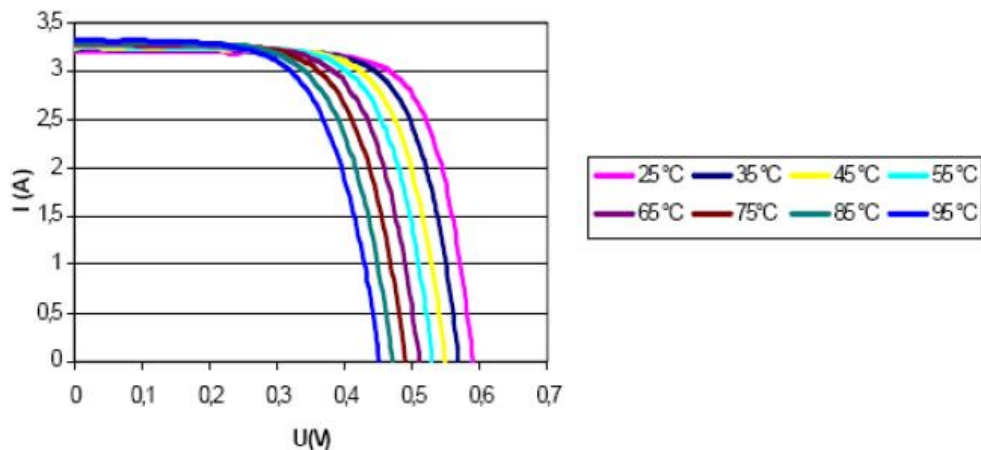
Účinnost článku je vyjádřena podílem výkonu odebíraným, jehož hodnota charakterizuje na voltampérové charakteristice bod maximálního výkonu a výkonem dodávaným P_{in} , který charakterizuje sluneční záření dopadající na plochu článku[58].

$$\eta = \frac{U_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} \quad (-, \text{V,A,W}) \quad (4.3)$$

Výše zmíněné charakteristické ukazatele jsou vždy určovány při standardních testovacích podmínkách STC. Hodnoty STC jsou teplota 25 °C, intenzita slunečního záření 1000 W/m² a

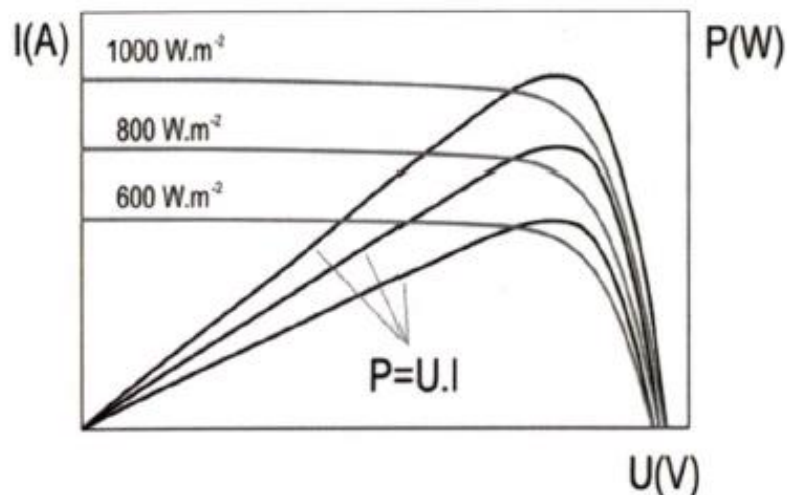
definovaná vzduchová hmota (Air Mass) $AM = 1,5$. Největší vliv na průběh voltampérové charakteristiky mají hodnoty teploty a intenzity slunečního záření[58].

Významný pokles napětí naprázdno nastává při zvýšené teplotě. Při zhoršených podmínkách chlazení článku např. bezvětrí, kdy se teplota vzduchu zvětšuje, dochází ke zvýšení povrchové teploty až na $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. V důsledku takto vysoké teploty dochází ke změnám elektrických vlastností článku, které vedou ke snížení zatěžovací charakteristiky směrem k nižšímu napětí a tím i k menšímu dodávanému výkonu[57].



Obr. 25 Vliv teploty na napětí naprázdno fotovoltaického článku [57]

Na intenzitě slunečního záření a velikosti sériového a paralelního odporu závisí účinnost fotovoltaického článku. Kdy s rostoucí intenzitou v případě malého sériového odporu účinnost roste, dosáhne maxima a začíná klesat až při velkých intenzitách záření. S rostoucí intenzitou v případě velkého sériového odporu účinnost fotovoltaických článků klesá[57].



Obr. 26 Vliv intenzity slunečního záření na výkon FV článku [25]

4.3.4 Střídač

Fotovoltaické panely vyrábí stejnosměrný proud pomocí fotovoltaického jevu. Aby mohly FV panely napájet distribuční soustavu, musí procházet vyrobený proud zařízením, který tento proud konvertuje na střídavý proud. K tomu slouží právě střídač, který zároveň dokáže poskytovat informace o stavu vlastní výroby energie. Během přeměny elektrické energie musí střídač dodávat co největší výkon s minimální ztrátou[57].

Vliv na jejich životnost má mimo jiné konstrukční řešení. Například horší životnost bude mít ten měnič, který bude chlazen přirozenou cirkulací vzduchu, než ten, který bude ochlazován ventilátorem[57].

Zahrnují jeden nebo více MPPT (Maximum Power Point Tracker). Jedná se o zařízení, které aktivně hledá bod maximálního výkonu MPP vlivem změny vstupního odporu střídače. Tím se dosáhne nejlepšího výkonu FV panelů při určitém slunečním záření a platí, že čím lepší a propracovanější je vnitřní algoritmus MPPT, tím bude efektivnější výroba z FVE. Pro nízkonapěťové systémy jsou vhodné beztransformátorové střídače, které dosahují lepší účinnosti. Naopak horší účinnost mají střídače s transformátorem, ale mají kvalitnější výstup přeměněné elektrické energie. Další výhodou může být galvanické oddělení, které zvyšuje bezpečnost instalovaného systému a umožňuje aplikovat tenkovrstvé technologie. Účinnost střídačů se pohybuje kolem 90-98 % [57][59].

Fázování měniče k distribuční síti je plně automatizováno a jsou vyráběny jako měniče ostrovní nebo síťové. Ostrovní měniče generují vlastní frekvenci, která je rovna frekvenci běžné distribuční sítě 50 Hz, a tím lze připojit k této síti běžné elektrické spotřebiče na střídavý proud. Kdežto síťové měniče ztotožní svoji frekvenci a velikost napětí s parametry vnější distribuční sítě[56].

U malých fotovoltaických elektráren FVE zajišťuje střídač funkci ochrany. Tím, že střídač monitoruje parametry distribuční soustavy. Při nedodržení kvality parametrů distribuční sítě z hlediska velikosti napětí a frekvence, odpojí střídač FVE od vnější sítě. Požadovaná kvalita elektrické energie by neměla překročit hodnoty uvedené rovnicemi (4.4) a (4.5)[57][59].

Dovolené meze fázového napětí

$$196 V \leq U_f \leq 253 V \quad (4.4)$$

Dovolené meze frekvence

$$49,8 Hz \leq f \leq 50,2 Hz \quad (4.5)$$

Z hlediska zapojení se střídače dělí na:

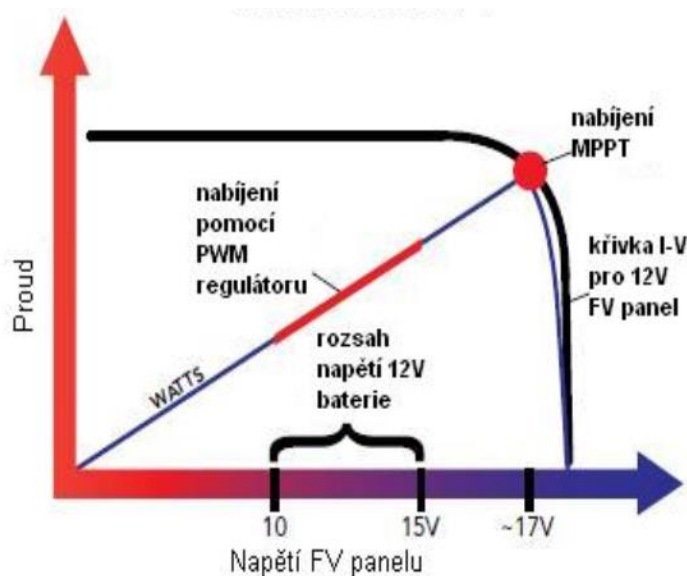
- a) Modulové - Střídač je připojen samostatně k jednotlivým FV panelům, a tudíž má každý panel svůj optimální MPPT. Velké množství střídačů podstatně zvýší náklady. Jedná se zejména o laboratorní nebo demonstrační systémy. Výkon střídače je kolem 50 W až 180 W.
- b) Řetězcové - Střídač je připojen k několika FV panelům, které jsou spojeny sériově nebo případně paralelně. Výkon střídače je od 1 kW do 12 kW.
- c) Centrální - Jedná se o připojení střídače k velkému množství FV panelů. Výkon střídače je od 20 kW do 1000 kW a toto zapojení odpovídá velké FVE. Centrální varianta střídače má nižší spolehlivost, kvůli rozdílným proudům v jednotlivých větvích. Výstupní napětí se přizpůsobí nejhorší větvi a je hůře regulovatelný bod maximálního výkonu[57].

4.3.5 Regulátor

Regulátory jsou zapojeny hned za FV panely a slouží pro optimalizaci výstupních napětí ze skupiny FV panelů, pro nabíjení akumulátorové baterie a zároveň je chrání proti přepětí. Lze vybírat mezi PWM a MPPT regulátorem[60].

PWM (Pulse Width Modulation) regulátor sníží napětí z FV panelů na takovou hodnotu, která je optimální pro nabíjení určitého akumulátoru. V okamžiku kdy jsou akumulátory nabitě, přeruší regulátor nabíjení a nesnižuje jejich životnost tím, že je přebíjí. V další fázi akumulátory kontroluje a udržuje jejich optimální nabitý stav. Jestliže dojde k poklesu napětí na FV panelech na hodnotu, která není přijatelná pro nabíjení akumulátorů, tak se proces nabíjení přeruší[60].

MPPT (Maximum Power Point Tracker) regulátor má v sobě implementovaný vysokofrekvenční DC/DC měnič. Princip uplatnění vysokofrekvenčního měniče spočívá v tom, že vstupní stejnosměrné napětí změní na střídavé vysokofrekvenční napětí. Střídavé napětí se opět změní na napětí stejnosměrné o jiné výstupní velikosti napětí, než vstupní. Zjednodušeně řečeno, mění výstupní hodnoty napětí FV panelů na takovou hodnotu napětí, která je optimální pro nabíjení akumulátorů. Lze říci, že se jedná o „transformátor“ stejnosměrného elektrického napětí a proudu. Jestliže MPPT regulátor zmenší výstupní napětí, tak automaticky zvýší výstupní proud. Díky tomuto faktu bude mít výstupní proud vyšší hodnotu, než kterou je FV panel schopný dodat. Dochází k optimalizaci napětí a proudu takovým způsobem, aby na voltampérové charakteristice byl dosažen bod maximálního výkonu[60].



Obr. 27 Princip funkce regulátorů PWM a MPPT [61]

4.3.6 Typy solárních nabíjecích stanic pro elektromobily

Elektromobily jsou vystaveny kritice vzhledem k jejich zdroji elektrické energie. Negativní signály jsou hlavně z tepelných elektráren, které znečišťují životní prostředí prostřednictvím spalín, které vypouštějí do ovzduší. Tento problém by se mohl vyřešit nabíjením elektromobilu pomocí nabíjecích stanic s obnovitelnými zdroji elektrické energie. Prostor, kde jsou vybudovány parkoviště, by se mnohonásobně využil, díky implementaci fotovoltaických panelů na střešní konstrukce. Zároveň by se předešlo tomu, aby na jiném pozemku došlo k zabránění půdy pro výstavbu fotovoltaických elektráren.

K nabíjení je možné využít energii získanou ze slunce a tak se stane nabíjení elektromobilů finančně výhodné a ekologicky šetrné. Provedení spočívá v napájení běžné zásuvky fotovoltaickými panely s připojeným střídačem. S ohledem pro efektivní nabíjení je většinou nutná řídicí jednotka, která nabíjení ovládá podle požadavků elektroniky v elektromobilu a aktuální výroby fotovoltaických panelů.

Solární nabíječka od společnosti Elektromobil s.r.o. na obrázku 28 slouží jako parkovací místo. Elektromobil vjede pod fotovoltaický přístřešek a uživatel zapojí nabíjecí kabel do zásuvky 230 V a následně připojí k elektromobilu. Je složena z 10ti kusů solárních panelů a během roku vyrobí v průměru elektřinu pro ujetí 15 000 km. Z důvodu kontinuálního nabíjení je připojena na distribuční soustavu a tak se vyvaruje toho, že se elektromobily budou nabíjet i v případě nedostatečného slunečního záření. Díky připojení fotovoltaických panelů s vnější soustavou nekolísá nabíjecí proud, který je dorovnáván ze sítě na 16 A. Výrobce poskytuje i pro širší veřejnost garážovou verzi. Ta má předpokládaný výkon 2,4 kWp a může být provozována, jako běžná dobíjecí stanice na 230 V. Je možné ji připojit do sítě anebo provozovat jako ostrovní síť[62].



Obr. 28 Solární nabíječka od společnosti Elektromobil s.r.o. [62]

Solární nabíječka od Německé automobilky BMW byla představena v roce 2014. Má podobu krytého parkovacího místa s využitím nabíjecího systému Wallbox. Na střeše objektu jsou položeny fotovoltaické panely s výkonem 3,6 kWp, které pak nabíjejí baterii elektromobilu. I v tomto případě je nabíjecí stanice připojena k distribuční soustavě pro dorovnání nabíjecího proudu, protože nedokáže vyrobit dostatek elektrické energie k nabíjení akumulátorů. Na displeji, který je součástí nabíjecí stanice se může sledovat aktuální bilance vyrobené elektřiny ze slunce a toky energie z distribuční soustavy. Je-li přebytek výroby z fotovoltaických panelů, lze ho využít pro napájení domácnosti. Solární panely jsou vyrobeny z vysoce odolného skla, a tak odolají s přehledem vnějším klimatickým podmínkám[63].



Obr. 29 Solární nabíječka od BMW [63]

V San Francisku v roce 2015 byly uvedeny do provozu tři solární nabíjecí stanice firmou Envision Solar. Ty však nejsou připojeny k elektrickým rozvodům distribuční soustavy. Výhodou je, že se pouze dopraví na místo určení, kde se následně využívají. Každá z těchto nabíjecích stanic má výkon 3,3 kWp a jejich součástí je navíc li-ion baterie o akumulární kapacitě 22,5 kWh. Když není připojen elektromobil k této solární stanici, uchovává vyrobenou elektrickou energii do baterie pro pozdější využití[64].



Obr. 30 Solární nabíječka od Envision Solar [64]

V Kalifornii v San Diegu na parkovací ploše společnosti Kyocera bylo vybudováno 25 solárních přístřešků. Cílem tohoto parkoviště je zvýšit užitkovou hodnotu a poskytovat výrobu elektrické energie bez přídavných emisí. Fotovoltaické panely jsou připevněny na speciálních rámech z pozinkované oceli s integrovaným osvětlením na betonovém podkladu a biomokřinou. Do biomokřiny odtéká dešťová voda, která se shromažďuje pomocí žlábků, které jsou po obvodu panelu. Tam pak voda prochází organickým a anorganickým filtračním materiálem. Díky tomuto systému je vystupující voda čistá a vhodná pro další využití. Osvětlení zabudované v panelech prosvětluje prostory pod panely parkoviště během noci pro větší bezpečnost[65].

Toto parkoviště čítá dohromady 1400 fotovoltaických panelů od firmy Kyocera a 200 průhledných panelů, které propouštějí denní světlo pro lepší viditelnost. Na tomto parkovišti je

vyhrazeno 186 parkovacích míst a nabíjecí výkon systému je 235 kW na střídavý proud a 279 kW na stejnosměrný proud. Roční výroba energie tohoto parkoviště je 431 MWh[65].



Obr. 31 Parkoviště společnosti Kyocera [65]

Distributor elektrické energie PRE se spoluprací hlavního města postavil v pražských Holešovicích rychlonabíjecí stanici pro elektromobily. Pozemek pro výstavbu poskytl magistrát města a v případě poptávky bude PRE plánovat vybudování dalších stanic[66].

PRE provozuje 63 dobíjecích stanic a uvádí, že každým rokem se množství prodané energie zvyšuje. Například v roce 2017 se růst spotřeby elektrické energie pro dobíjení pohyboval o 10 000 kWh výše, než v roce 2016 kdy byla spotřeba zhruba 40 000 kWh[66].

Pro výrobu elektrické energie stanice využívá fotovoltaické panely. Součástí stanice k uchování energie jsou akumulátory, které v případě překročení limitů napětí ve vnější síti mohou z baterií do sítě energii buď odebrat, anebo naopak dodat. Zaparkovat a nabíjet zde mohou současně dva elektromobily. Jeden se může nabíjet v režimu rychlonabíjení, který elektromobil dobije v řádech desítek minut a druhý může být připojen ke standardní nabíječce, která elektromobil dobije během pár hodin[66].



Obr. 32 Nabíjecí stanice PRE v Praze. [66]

5 SROVNÁNÍ AUTOMOBILU A ELEKTROMOBILU Z POHLEDU SOLÁRNÍ ÚČINNOSTI

V této kapitole proběhne srovnání mezi konvenčními automobily a elektromobily se solárním pohonem z pohledu účinnosti. Bude zde popsána teorie účinnosti spalovacího motoru, elektromotoru a náležité prvky, které mají vliv na jejich účinnost. O účinnosti solárních článků je pojednáno v předchozích kapitolách.

5.1 Účinnost spalovacího motoru

Obecně je snaha dosahovat co nejvyšší účinnosti. Ideálního případu přeměny energie nelze v reálném systému docílit vlivem ztrát a dalších doprovodných jevů. V případě spalovacího motoru se jedná o přeměnu chemické energie v podobě paliva na energii kinetickou, kde velká část ztrátové energie přechází do tepla[67].

Čtyřdobý spalovací motor je založen na čtyřech po sobě navazujících dobách, probíhajících během dvou otáček klikového hřídele. Veškerá práce se odehrává nad pístem a výměna náplně ve válci je prováděna pomocí ventilů[68].

Definice účinnosti spalovacího motoru se vyjadřuje jako poměr mezi efektivním užitečným výkonem P_e motoru a množstvím energie přivedené palivem za jednotku času. Součinem dolní výhřevnosti paliva H_u a hmotnosti paliva M_p přivedený za jednotku času se určí energie paliva[68].

$$\eta_{ef} = \frac{P_e}{H_u \cdot M_p} \quad (-, W, J \cdot kg^{-1}, kg) \quad (5.1)$$

Rovnice 4.1 však znázorňuje celkovou efektivní účinnost a pro hlubší pochopení je dále rozepsaná na indikovanou účinnost a mechanickou účinnost. Indikovaná účinnost η_i popisuje, kolik tepla obsažené v palivu se přemění na mechanickou práci v pístu. Mechanická účinnost η_m vyjadřuje efektivitu přenosu výkonu nebo práce z pístu na klikovou hřídel[67].

$$\eta_i = \frac{P_i}{H_u \cdot M_p} \quad (-, W, J/kg, kg) \quad (5.2)$$

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad (-, W, W) \quad (5.3)$$

$$\eta_{ef} = \eta_i \cdot \eta_m = \frac{3600}{m_{pe} \cdot H_u} \quad (-, -, -, kJ, kg/kWh, J/kg) \quad (5.4)$$

Kde je P_i - indikovaný užitečný výkon, P_e - efektivní užitečný výkon, m_{pe} - měrná spotřeba paliva a 3600 - tepelný kvocient jedné kWh[67].

Kvalitním ukazatelem přeměny tepelné energie paliva do mechanické práce motoru je měrná spotřeba paliva m_{pe} . Bude-li hodnota m_{pe} nižší, bude tím vyšší celková účinnost motoru. Dolní výhřevnost paliva H_u pro uhlovodíková paliva jako je nafta či benzín se pohybuje na hodnotě $H_u \approx 43$ MJ/kg. Pro osobní automobily se zážehovými motory je hodnota měrné spotřeby paliva m_{pe} v rozsahu 250-370 g/kWh a pro automobily se vznětovým motorem 195-270 g/kWh. Tyto hodnoty jsou nejnižší měrné spotřeby paliva pro daný typ motoru v režimu jmenovitého výkonu[69].

Dosazením hodnoty do vzorce celkové efektivní účinnosti spalovacího motoru a později tyto vypočítané teoretické hodnoty účinnosti motoru jsou vyhodnoceny v závěrečném shrnutí.

Výpočet teoretické celkové efektivní účinnosti zážehového motoru:

a) $m_{pe}=250$ g/kWh

$$\eta_{ef} = \frac{3600}{0,25 \cdot 43 \cdot 10^6} \cdot 1000 = 0,334$$

b) $m_{pe}=370$ g/kWh

$$\eta_{ef} = \frac{3600}{0,37 \cdot 43 \cdot 10^6} \cdot 1000 = 0,226$$

Výpočet teoretické celkové efektivní účinnosti vznětového motoru:

a) $m_{pe}=195$ g/kWh

$$\eta_{ef} = \frac{3600}{0,195 \cdot 43 \cdot 10^6} \cdot 1000 = 0,429$$

b) $m_{pe}=270$ g/kWh

$$\eta_{ef} = \frac{3600}{0,27 \cdot 43 \cdot 10^6} \cdot 1000 = 0,310$$

5.2 Elektromotory

Elektromotory mají všeobecně výhodu v tom, že si vystačí pouze s rotačním pohybem. Z tohoto tvrzení odpadá složitý mechanický ztrátový mechanismus a i z tohoto důvodu dosahují elektromotory vyšší účinnosti než spalovací motory. Další předností elektromotoru je, že součástí elektromobilu nemusí být alternátor, který slouží pro výrobu elektřiny u konvenčních automobilů. Další výhodou, kterou elektromobil disponuje je rekuperace elektrické energie při zpomalování a brzdění. Další vlastností elektromotorů je jejich maximální točivý moment v oblasti nulových otáček. Se zvyšujícími otáčkami klesá točivý moment motoru. Spalovací motor má naopak s rostoucími otáčkami zvyšující se točivý moment. Elektromotor má tedy nejvyšší sílu v nejnižších otáčkách a tím je zajištěn předpoklad svižného rozjezdu. Na rozdíl od spalovacího motoru má velký rozsah pracovních otáček a tudíž nepotřebuje vícestupňovou převodovku. Vlivem jednostupňové převodovky je pohon efektivnější a hlavně jak už bylo řečeno jednodušší. Výhody elektromotorů jsou také v menších nárocích na údržbu, jelikož nepotřebují pravidelné výměny oleje, neskládá se ze stovek komponentů, které se musí obměňovat jako výfuky, svíčky, katalyzátory, filtry, brzdové destičky. Kdysi docházelo k opotřebení kartáčů, ale v současné době jsou již elektromotory bezkartáčové. Životnost závisí také na vyvážení a kvalitě ložisek rotoru. Vlivem těchto předpokladů lze považovat životnost elektromotorů za poměrně dlouhou[70].

Společnost Tesla Motors pro své elektromobily Model S a Model X používá třífázové asynchronní indukční elektromotory pracující se střídavým proudem. Elektromobil Tesla Model 3 má střídavý synchronní elektromotor s permanentními magnety. Synchronní elektromotory mají dvě hlavní výhody. Jednak mají menší hmotnost a jsou účinnější než asynchronní elektromotory. Jedinou nevýhodou motorů s permanentními magnety je, že se musí vyrábět ze vzácných kovů a tudíž jsou dražší[71].

5.2.1 Ztráty elektromotoru

Účinnost elektromotoru se stanoví jako poměr mezi mechanickým výkonem na hřídeli P_{mech} a elektrickým příkonem na svorkách statorového vinutí P_1 . Vyšší účinnost znamená, že elektromotor přeměňuje efektivněji elektrický příkon P_1 na mechanický výkon P_{mech} s menšími ztrátami.

Ztráty v elektromotoru lze rozdělit do čtyř skupin:

1. Mechanické ztráty ΔP_{mech}

Mechanické ztráty jsou tvořeny vlivem tření v ložiscích, ventilačními ztrátami vlivem tření rotujících částí o vzduch a jiné. První zmiňované jsou u zaběhaného motoru a při konstantní teplotě lineárně závislé na otáčkách.

2. Ztráty v železe ΔP_{Fe}

Výpočet ztrát v železe je méně přesný, protože magnetický obvod motoru tvoří nelineární magnetizační charakteristiky materiálů. Lze je rozdělit na ztráty hysterezní a na ztráty vířivými proudy.

3. Ztráty ve vinutí statoru a rotoru $\Delta P_{\text{stator,vin}}$, $\Delta P_{\text{rotor,vin}}$

Ztráty ve vinutí závisí na odporu vinutí a druhé mocnině proudu.

4. Přídavné ztráty $\Delta P_{\text{příd}}$

Přídavné ztráty jsou tvořeny rozptylovými toky vyšších harmonických, nerovnoměrnostmi ve vzduchové mezeře, vířivými proudy v hmotách blízko vinutí a jiné[72].

Celkové ztráty elektromotoru jsou vyjádřeny rovnicí 4.5:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{Fe}} + \Delta P_{\text{mech}} + \Delta P_{\text{stator,vin}} + \Delta P_{\text{rotor,vin}} + \Delta P_{\text{příd}} \quad (\text{W,W,W,W,W,W}) \quad (5.5)$$

Účinnost elektromotoru je definována vztahem:[72]

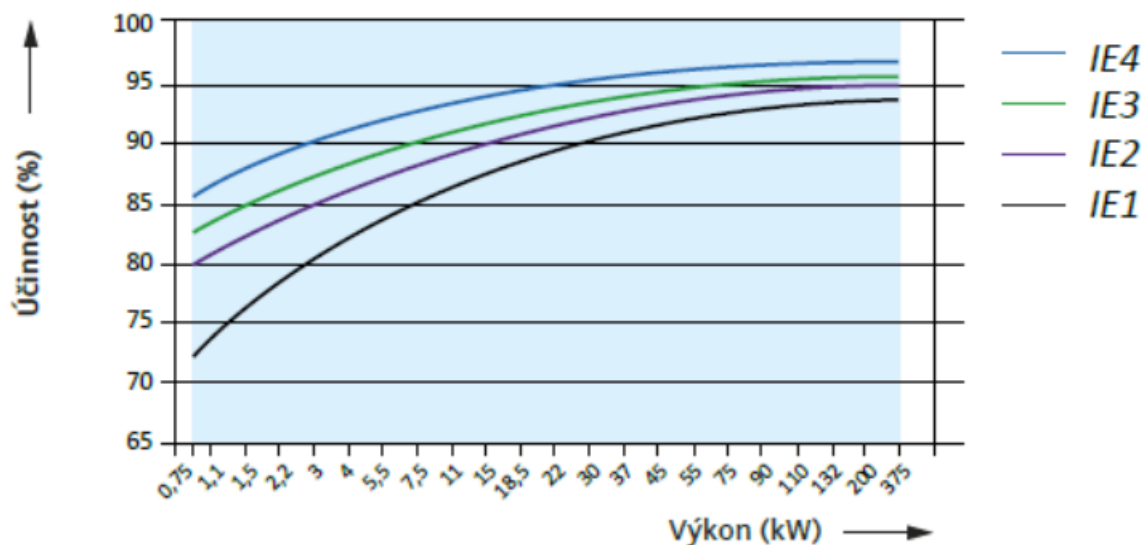
$$\eta_{el,mot} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \quad (-, \text{W,W,W,W,W,W}) \quad (5.6)$$

5.2.2 Účinnost asynchronního elektromotoru

Účinnost pro asynchronní elektromotory je definovaná v rámci států Evropské unie podle normy IEC 60034-30-1, která specifikuje čtyři třídy účinnosti pro frekvenci 50 Hz a 60 Hz[73].

1. IE1 - standardní účinnost elektromotoru
2. IE2 - elektromotory se zvýšenou účinností
3. IE3 - elektromotory s vysokou účinností
4. IE4 - elektromotory s velmi vysokou účinností

Z této normy vychází nařízení 640/2009 a dodatek 04/2014. Tyto dva dokumenty pojednávají o spotřebě energie a energetické účinnosti asynchronních motorů v průmyslovém prostředí. Mají za cíl snížit spotřebu energie a emise oxidu uhličitého. Rozdíl účinností výše zmíněných tříd je zachycen na obrázku 33. Obecně lze říci, že pro elektromotor s vyšším výkonem stanovuje norma IEC 60034-30-1 vyšší nároky na účinnost[73].



Obr. 33 Účinnost asynchronních elektromotorů podle IEC 60034-30-1[73]

V případě elektromobilu Tesla Model S je výkon použitého asynchronního elektromotoru 310 kW. Pokud by elektromotor splňoval normu IEC 60034-30-1 třídy účinnosti IE3, dosahoval by podle obrázku 33 v oblasti jmenovitého výkonu minimální účinnost 95 %.

5.3 Účinnost solárního elektromobilu

Účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii je v dnešní době u běžně dostupných fotovoltaických článků kolem 15 - 18 %. Pro následující předpoklad účinnosti solárního elektromobilu se bude uvažovat s účinností fotovoltaických panelů 24,1 %, tedy stejnou účinností jako má tým z Tokijské university u solárního elektromobilu Tokai Challenger. Elektromotor o výkonu 60 kW bude mít dle IEC 60036-30-1 jmenovitou účinnost 92 %.

Největší ztráty elektromobilu vznikají již při nabíjení akumulátorové baterie. Na nabíjecí cyklus má vliv účinnost regulátoru, okolní teplota, vnitřní odpor baterie a ztráty na vedení. Celkem při procesu nabíjení se ztrácí přibližně 16 % energie. Další ztráta energie je tvořena samovybíjením akumulátorové baterie. Jedná se o chemickou reakci probíhající bez připojeného spotřebiče, která u lithiových baterií tvoří měsíčně do 5 % ztráty energie. Celková ztráta akumulací energie vlivem nabíjení a samovybíjení, by měla za měsíc během jednoho nabíjecího cyklu lithiových baterií být přibližně 21 %. Další ztráty mohou vzniknout při chodu rádia, topení, klimatizace, vyhřívání sedadel, nebo zapnutých světlometech. Chod příslušenství tvoří ztráty kolem 5 %. Na účinnosti se podílí dále parazitické ztráty, které tvoří ztrátu energie 2,5 %. Naopak díky rekuperaci se ušetří podle studie amerického úřadu pro energetickou účinnost a obnovitelné zdroje až 17 %. Jedná se o zpětné dobíjení akumulátoru přeměnou části kinetické energie při brzdění elektromobilu[74].

Teoretická účinnost elektromobilu během jednoho nabíjecího cyklu lithiových baterií v intervalu jednoho měsíce bude 80,5 %. Při předpokladu, že si elektromobil bude samostatně dobíjet akumulátory zvolenými solárními panely, bude teoretická účinnost solárního elektromobilu nabývat hodnoty 19,4 %.

5.4 Shrnutí

Teoretická účinnost zážehového motoru je v rozsahu 22 - 33 % a v případě vznětového motoru je v rozmezí 31 - 42 %. Účinnost asynchronních elektromotorů je v EU vázána normou IEC 60034-30-1, která stanovuje velké nároky na účinnost v oblasti velkých výkonů. Pro asynchronní elektromotory s výkony nad 30 kW nařizuje, aby měly účinnost nad 90 %. Z uvedených informací plyne, že spalovací a vznětové motory jsou oproti elektromobilům velmi neúčinné vlivem samotného pohonného ústrojí. Více než 70 % energie, která je potenciálně obsažená v palivu, se přemění na tepelné ztráty. Na vlastní mechanickou práci motorového vozidla se využije v průměru 30 % palivové energie. Zkrátka se vytopí do atmosféry přes chladicí a výfukový systém.

Elektromobil má oproti konvenčním automobilům několik výhod. Elektromotory samy o sobě mají vysokou účinnost. Elektromobil netvoří během jízdy emise, je možné ho dobíjet elektřinou pocházející z obnovitelného zdroje elektrické energie, má snadnou údržbu a především splňuje ideální požadavky na městský a příměstský provoz, protože naprostá většina jízd autem je v rozsahu 50 km denně. Emise však mohou vznikat při výrobě elektrické energie, proto je žádoucí elektromobily nabíjet z obnovitelných zdrojů.

U solárního elektromobilu, který si elektrickou energii vyrobí a následně zužitkuje, je stanovena teoretická účinnost 19,4 %. Oproti konvenčnímu automobilu odpadá náročné zpracování ropy na pohonné látky. S přihlédnutím na účinnost těžby a rafinaci ropy na paliva, bude solární elektromobil z pohledu účinnosti dominovat nad konvenčními motorovými vozidly.

I přes všechny zde uvedené informace se konvenční automobily drží na vrcholu. Hlavním důvodem je, že nepotřebují těžkou baterii s omezenou vzdáleností dojezdu a stačí je pouze dotankovat na jedné ze sítě tankovacích stanic. Solární elektromobily mohou však tuto skutečnost změnit tím, že mají tu možnost být energeticky soběstačné a nepotřebují tak drahá paliva.

6 NÁVRH SOLÁRNÍ NABÍJECÍ STANICE

Solární nabíjecí stanice bude tvořena fotovoltaickými panely, regulátorem, vyrovnávačem napětí a střídačem pro umožnění nabíjení elektromobilu střídavým proudem. Tento systém bude sloužit pro nabíjení elektromobilu vyrobeného dánskou firmou El Trans A/S pod názvem City-El a Citroenu Berlingo electric.

Jedná se o ostrovní systém pro nabíjení elektromobilů situovaný v městské části Brno-Medlánky. Návrh stacionárního přečerpávacího systému zahrnuje čtyři fotovoltaické panely zapojené do série o celkovém výkonu 1 kWp. V oblasti maximálního výkonu budou fotovoltaické panely generovat proud o velikosti 8,18 A. Vývody fotovoltaických panelů budou připojeny na regulátor. Ten bude mít na výstupu 36 V, aby mohl napájet tři sériově spojené olověné uhlíkové akumulátory Narada 12REXC-200 12V[75], ve kterých bude elektrická energie skladována. Celkově se do akumulátorů uchová při plném nabití 7,2 kWh energie. Na tyto tři bateriové akumulátory budou zapojeny dva vyrovnávače napětí, které budou prodlužovat životnost a funkci baterií tím, že vyváží proces nabíjení baterií. Na akumulátory bude zapojen měřič BMV 700, který bude neustále monitorovat stav akumulačního systému. Fotovoltaický systém bude chráněn přepětovou ochranou a pojistkovými odpojovači s válcovými pojistkami.

Elektromobil City-El má baterii složenou z 12 sériově spojených LFP akumulátorů, které tvoří celkové napětí v rozmezí 30 - 44,4 V a velikost baterie dosahuje 6,9 kWh při uvažovaném napětí na článku 3,2 V. City-El zahrnuje v sobě solární MPPT regulátor eTracer, který umožňuje připojit fotovoltaické panely přímo na elektromobil, protože regulátor eTracer je dimenzovaný na navrhované fotovoltaické pole a má vlastní funkci MPPT. Svorky pro připojení elektromobilu City-El jsou umístěné mezi fotovoltaickými panely a regulátorem mezi dvěma pojistkovými odpojovači v podobě svorek MC4.

Pro napájení elektromobilu Citroenu Berlingo electric musí být připojen střídač. Tento elektromobil lze nabíjet pomocí jednofázové 230 V zásuvky. Tudíž je potřeba modulovat stejnosměrné napětí akumulačního systému na tuto hodnotu střídavého napětí.

6.1 Fotovoltaické panely

Zvolené fotovoltaické panely AC-250P/156-60S mají polykrystalickou strukturu článků a jsou vyrobeny německou firmou Axitec. Panely mají účinnost 15,35 % o jednotkovém výkonu 250 Wp. Jsou umístěny na dřevěném přístřešku. Střecha má rozměry 3,5 x 5 metrů a je situována na východní stranu. Na střeše jsou čtyři sériově zapojené fotovoltaické panely a celkově fotovoltaický systém poskytuje dodávku 1 kWp výkonu.

Tab. 10 Parametry použitého fotovoltaického panelu Axitec [76]

Parametr	Hodnota	Jednotka
P_{MPP}	250	Wp
U_{MPP}	30,7	V
I_{MPP}	8,18	A
U_{OC}	37,8	V
I_{SC}	8,71	A
Účinnost	15,35	%
Rozměr	1645x990x38	mm
Hmotnost	19	kg

6.2 Regulátor SmartSolar MPPT 150/35

Jako další komponenta systému, je vybrán regulátor SmartSolar MPPT 150/35 od společnosti Victron Energy. Regulátor pracuje se vstupním napětím 150 V a umožňuje nabíjení baterií proudem až 35 A. Regulátor automaticky rozpozná napětí nabíjeného bateriového uspořádání. Tím se systém automaticky nastaví na 12 V, 24 V, nebo na 48 V. Pokud je později požadováno jiné napětí, musí se změnit ručně pomocí manuálu. V tabulce 11 je uvedena technická specifikace regulátoru[77].

Regulátor zahrnuje prvky ochranné jako je:

- ochrana proti přehřátí
- ochrana proti snížení výkonu vlivem vysokých teplot
- ochrana proti FV zkratu včetně ochrany proti zpětnému proudu
- ochrana proti přepólování[77]

Tab. 11 Technická specifikace regulátoru SmartSolar MPPT 150/35[77]

Regulátor nabíjení BlueSolar	MPPT 150/35
Napětí baterie	12/24/48 V automatický výběr (36 V: manuální)
Max. proud baterie	35 A
Max. FV příkon, 12 V 1a,b)	500 W (MPPT rozsah 15 V až 130 V)
Max. FV příkon, 24 V 1a,b)	1000 W (MPPT rozsah 30 V až 130 V)
Max. FV příkon, 48 V 1a,b)	2000 W (MPPT rozsah 60 V až 130 V)
Max. zkratovací proud FV 2)	40 A
Max. napětí FV naprázdno	150 V
Účinnost při plné zátěži	98 %
Vlastní spotřeba	12 V: 20 mA 24 V: 15 mA 48 V: 10mA
Nabíjecí napětí při „absorpci“	Výchozí nastavení: 14,4 V / 28,8 V / 57,6 V (nastavitelné)
Nabíjecí napětí při „vyrovnávání“ 3)	Výchozí nastavení: 16,2 V / 32,4 V / 64,8 V (nastavitelné)
Nabíjecí napětí při „udržování“	Výchozí nastavení: 13,8 V / 27,6 V / 55,2 V (nastavitelné)
Algoritmus nabíjení	Několikofázové adaptabilní (osm programovatelných algoritmů) nebo uživatelsky definovaný algoritmus
Teplotní kompenzace	-16mV / -32mV / -64mV / °C
Ochrana	Proti přepólování baterií (pojistka není přístupná uživateli) Proti zkratu na výstupu / přehřátí
Provozní teplota	-30 až +60 °C (plný jmenovitý výkon při teplotě až 40 °C)
Vlhkost	95%, nekondenzující
Max. nadmořská výška	5000m (plný výkon do 2000m)
Podmínky prostředí	Vnitřní typ 1, neklimatizované
Stupeň znečištění	PD3
Port pro datovou komunikaci a dálkové zapínání / vypínání	VE.Direct (viz dokument o datové komunikaci na naší webové stránce)

Regulátor SmartSolar je vybaven velmi rychlým sledováním MPPT. Výrobce Victron Energy uvádí, že pokud bude zataženo a bude velmi měnící se intenzita slunečního záření, dodá o 30 % více příkonu energie ve srovnání s PWM regulátory a až o 10 % více ve srovnání s pomalejšími MPPT regulátory. Není vybaven chladícím ventilátorem a celkově jeho maximální účinnost přesahuje 98 %. Nabíjení maximálním proudem 35 A je umožněno do teploty 40 °C. U regulátoru lze plně nabíjecí algoritmus naprogramovat podle požadavků uživatele, nebo zvolit jeden z osmi předprogramovaných algoritmů. Na obrázku 34 je zjednodušené schéma zapojení regulátoru.[77].



Obr. 34 Dvou vodičové zjednodušené schéma zapojení regulátoru SmartSolar MPPT 150/35 [77]

6.3 Vyrovnávač napětí a monitoring baterie

Důvodem zahrnutí bateriových vyrovnávačů napětí do tohoto projektu spočívá v prodloužení životnosti nabíjených baterií tím, že se vyváží nabíjecí proces baterií. Velké rozdíly úrovně nabití vedou k poškození baterií vlivem nadměrného nabíjení. Nebo naopak by se baterie mohly znehodnotit z důvodu sulfatace, která je způsobená nenabitím baterie do plného stavu. V tomto návrhu se tři sériově zapojené baterie nebudou nadbytečně přebíjet a měly by mít stejnou úroveň nabití. Jsou použity dva bateriové vyrovnávače napětí od společnosti Victron Energy, jejichž technická specifikace je uvedena v tabulce 12[78].

Tab. 12 Technická specifikace vyrovnávače napětí od Victron Energy[78]

Vnitřní část	
Vstupní rozsah napětí	Do 18 V na baterii, 36 V celkem
Úroveň zapnutí	27,3 V +/- 1 %
Úroveň vypnutí	26,6 V +/- 1 %
Spotřeba proudu ve vypnutém stavu	0,7m A
Max. vyrovnávací proud	0,7 A (jestliže je odchylka > 100 mV)
Úroveň spuštění alarmu	210 mV
Úroveň resetování alarmu	140 mV
Ochrana proti přehřátí	Ano
Provozní teplota	-30 °C až +50 °C
Vnější část	
Připojovací terminály	Šroubové svorky 6 mm ²
Třída ochrany	IP22
Hmotnost	0,4 kg
Rozměry (výška x šířka x hloubka)	100 x 113 x 47mm

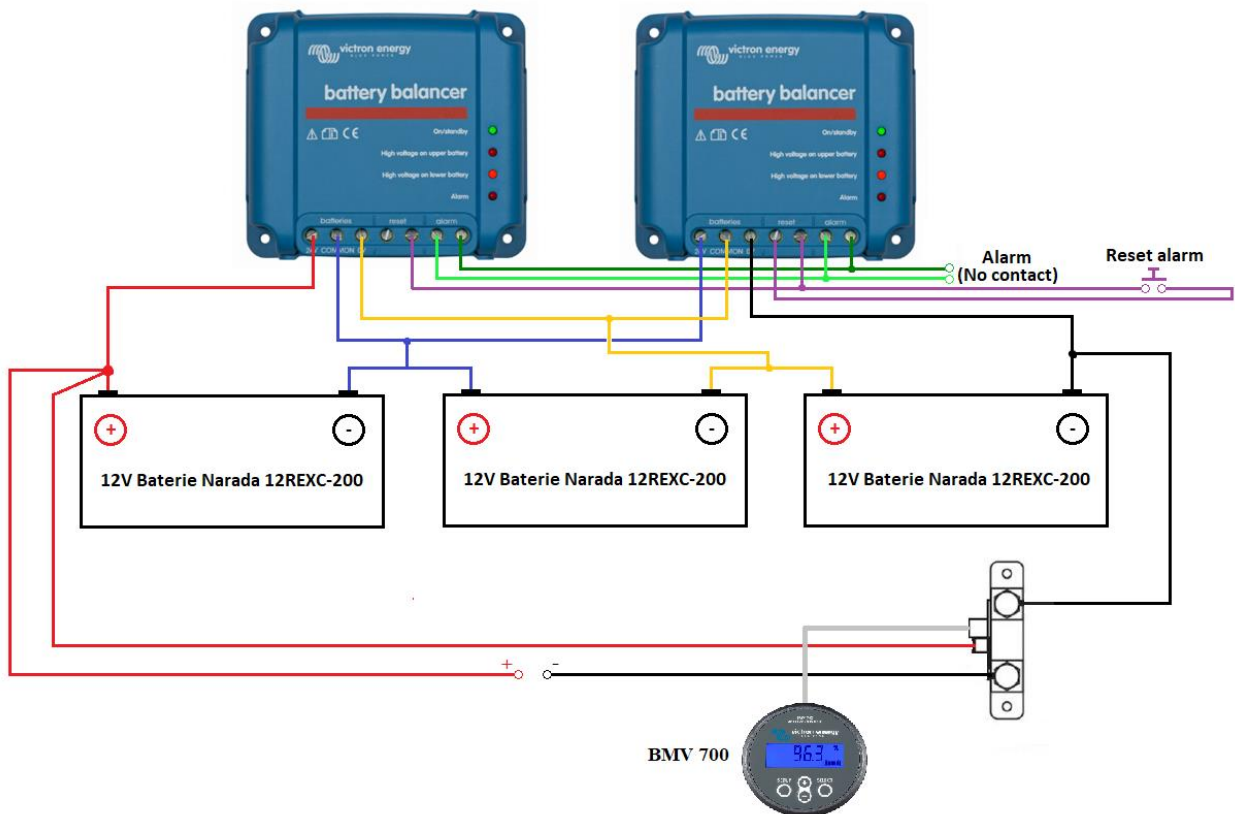
Bateriový vyrovnávač napětí vyrovnává nabíjecí napětí dvou 12 V akumulátorů zapojených do série. Jestliže by se nabíjecí napětí 24 V systému zvýšilo na hodnotu vyšší než 27 V, bateriový vyrovnávač napětí se aktivuje a porovná napětí obou připojených baterií. Výsledkem rozdělení nabíjecích proudů jsou baterie, které mají stejnou úroveň nabití.

K bateriím bude zapojen měřič BMV 700. Bude poskytovat pro uživatele zpětnou vazbu o tom, v jakém stavu se právě baterie nachází. Neustále bude měřit tok výkonu mezi zátěží a bateriovým systémem[79].

Tab. 13 Technické parametry měřiče BMV 700 [79]

Měřič BMV 700	
Napájecí napětí	6,5 - 95 VDC
Provozní teplota	-40 °C až +50 °C
Přesnost měření proudu	+/- 0,4 %
Přesnost měření napětí	+/- 0,3 %
Bezpečnostní norma	EN 60335-1

Uživatele bude BMV 700 informovat o stavu napětí baterie, toku proudu, toku výkonu, stavu nabití a odhad zbývajících času, po kterou může zátěž odebírat elektrickou energii[79]. Na obrázku 35 je dvou vodičové schéma připojení vyrovnávače napětí k bateriím spolu s měřičem BMV700.



Obr. 35 Dvou vodičové schéma zapojení dvou vyrovnávačů napětí a měřiče BMV 700 od firmy Victron Energy pro tři baterie Narada zapojené do série.

6.4 Střídač

Vybraný DC/AC měnič napětí na obrázku 36 má název Pure Sine Wave Inverter s jmenovitým výkonem 2 kW od firmy Reliable Electric. Tento střídač je vhodný pro zapojení do energetických systémů solárních a větrných elektráren. Jmenovitý výkon střídače 2 kW je odvozený z doporučení výrobce Reliable Electric. Ten na svých stránkách uvádí, že při chodu

střídače v aplikacích inдукtivní zátěže, by měl mít střídač 3 krát až 7 krát vyšší jmenovitý výkon než samotná aplikace.

Střídač v návrhu bude optimalizován na vstupní napětí 36 V, který bude stejnosměrné napětí měnit na hodnotu 230 V střídavého napětí. V tabulce 14 je uvedena technická specifikace vybraného střídače[80].



Obr. 36 Střídač Pure Sine Wave Inverter [80]

Tab. 14 Technická specifikace střídače Pure Sine Wave Inverter [80]

Typ střídače	Off Grid
Vstupní napětí	12 V/ 24 V/ 36 V/ 48 V/ 110 V
Výstupní napětí	100/ 110/ 120 V AC nebo 220/ 230/ 240 V AC
Jmenovitý výkon	2000 W
Špičkový výkon	4000 W
Frekvence	50/60 Hz
Zkreslení výstupu - THD	< 5 %
Možnost přizpůsobení	Ano
Pracovní teplota	10 °C až 50 °C
Účinnost	> 90%

6.5 Návrh elektroinstalace

V této části je proveden výpočet dimenzování vodičů a volba jistících prvků. Schéma zapojení FV systému je přiloženo v příloze A. Při práci a obsluze elektrických zařízení je nutné dodržet stanovené normy.

ČSN EN 50110-1 ed.3, ČSN EN 50110-2 ed.2 - Obsluha a práce na elektrických zařízeních

ČSN 33 2000-1-ed.2 - Elektrická instalace nízkého napětí

ČSN 33 2000-4-41 ed.2 - Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti před elektrickým proudem

ČSN 33 2000-5-52 ed.2 - Výběr a stavba elektrických vedení

ČSN 33 2000-6 ed.2 - Revize

ČSN 33 2000-7-712 ed.2 - Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Fotovoltaické systémy.

Před uvedením zařízení do provozu musí být provedena řádná revize elektrické instalace a následně prováděna v časových intervalech podle normy ČSN 33 2000-6 ed.2. Navrhovaný materiál musí splňovat technické požadavky podle zákona č. 22/97 Sb. §12 a 13.

6.5.1 Dimenzování vodičů

Připojovací kabely fotovoltaiky budou připojeny přes MC4 kontakty do rozvodné skříně, kde se připojí na instalační vodiče směřující do regulátoru. Dimenzované vodiče budou s PVC izolací a uvažovaná okolní teplota bude 20 °C. Tato izolace má nejvyšší provozní teplotu do 70 °C. To plně vyhovuje požadavku vodiče pro napájení regulátoru, jehož maximální provozní teplota je 60°C. Referenční způsob uložení vodičů je B1 – izolované vodiče v elektroinstalační trubce na dřevěné stěně. Z tabulky 37 z [81] se odečte přepočítávací součinitel pro okolní teplotu vzduchu. V tomto případě je přepočítávací součinitel $k=1,12$ vzhledem k okolní teplotě 20 °C. Rezistivita měděného vodiče je $\rho_{Cu}=0,01786 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ [81].

Celkově proběhnou dva výpočty průřezu vodiče. První bude pro vstupní u a druhý pro výstupní stranu regulátoru.

1) Výpočet průřezu vodiče pro vstupní stranu regulátoru

Proudové zatížení vodiče se určí z proudu nakrátko:

$$I_{sc} = I_{B1} = 8,71 \text{ A}$$

Proudové zatížení vodiče s ohledem na okolní teplotu 20 °C:

$$I_{1k} = \frac{I_{B1}}{k} = \frac{8,71}{1,12} = 7,78 \text{ A}$$

Z tabulky 34 z [81] podle referenčního uložení B1 a vypočítaného proudového zatížení vodiče na teplotu 20 °C, by se zvolil průřez měděného vodiče 1,5 mm². To však neodpovídá standardům průřezu pro fotovoltaické systémy a tak pro určitou rezervu zvýšíme průřez měděného vodiče alespoň na 4 mm². Délka vodiče v rozvodné skříně je 3 metry. Připojovací kabel fotovoltaiky k rozvodné skříně je délky 5 m s průřezem měděného vodiče 6 mm². Výpočet úbytku napětí se skládá z úbytku napětí připojovacího kabelu fotovoltaiky, úbytku napětí navrženého průřezu vodiče a předpokládá se určitý úbytek napětí na svorkách 0,1 V.

Úbytek napětí:

$$\Delta U_1 = \Delta U_{FVE} + \Delta U_{vodič1} + \Delta U_{svorky}$$

$$\Delta U_1 = 2 \cdot \rho_{Cu} \cdot \frac{l_{FV}}{S_{FV}} \cdot I_{B1} + 2 \cdot \rho_{Cu} \cdot \frac{l_{vodič1}}{S_{vodič1}} \cdot I_{B1} + 0,1$$

$$\Delta U_1 = 2 \cdot 0,01786 \cdot \frac{5}{6} \cdot 8,71 + 2 \cdot 0,01786 \cdot \frac{3}{4} \cdot 8,71 + 0,1$$

$$\Delta U_1 = 0,593 \text{ V}$$

2) Výpočet průřezu vodiče pro výstupní stranu regulátoru

Pro výpočet proudového zatížení vodiče

$$I_{B2} = \frac{P_{FV}}{U_2} = \frac{1000}{36} = 27,78 \text{ A}$$

Dimenzování průřezu vodiče bude však při maximálním proudu na straně baterií. To nastane při nabíjení elektromobilu pomocí střídače

$$I_{B3} = \frac{P_{inv}}{U_2} = \frac{2000}{36} = 55,55 \text{ A}$$

Proudové zatížení při nabíjení elektromobilu s ohledem na okolní teplotu 20 °C:

$$I_{3k} = \frac{I_{B3}}{k} = \frac{55,55}{1,12} = 49,6 \text{ A}$$

Z tabulky 34 z [81] podle referenčního uložení B1 a přepočítaného proudového zatížení vodiče na teplotu 20 °C, je zvolen průřez měděného vodiče 10 mm². Pro určitou rezervu zvýšíme průřez vodiče na 16 mm². Délka tohoto vodiče v rozvodné skříni je 4 metry. Výpočet úbytku napětí se skládá z úbytku napětí navrženého průřezu vodiče a úbytku napětí na svorkách.

Úbytek napětí:

$$\begin{aligned} \Delta U_2 &= \Delta U_{vodič2} + \Delta U_{svorky} \\ \Delta U_2 &= 2 \cdot \rho_{Cu} \cdot \frac{l_{vodič2}}{S_{vodič2}} \cdot I_{B3} + 0,1 \\ \Delta U_2 &= 2 \cdot 0,01786 \cdot \frac{4}{16} \cdot 55,55 + 0,1 \\ \Delta U_2 &= 0,596 \text{ V} \end{aligned}$$

Do rozvodné skříně jsou zvoleny vodiče 2 x 4 mm² CYKY-O a 2 x 16 mm² CYKY-O od společnosti PRAKAB[82]. Ty slouží na propojení FV systému s regulátorem, střídačem a bateriemi. Pro propojení vyrovnávačů napětí s bateriemi jsou využity měděné vodiče průřezu 6mm².

6.5.2 Volba jistících prvků

1. Pojistky

Pro správnou volbu jmenovitého proudu jistícího prvku I_N , je nutné vypočítat podmínku $I_B \leq I_N \leq I_Z$. Kde I_B je skutečné proudové zatížení a I_Z je dovolený proud, který může zařízením protékat. Tento dovolený proud nezpůsobí vyšší oteplení vodiče než maximální povolené oteplení daného vodiče při proudovém přetížení. Vodič s PVC izolací nesmí překročit při proudovém přetížení hodnotu 120 °C. Maximální dovolený proud pro měděný vodič s průřezem 4 mm² je 31A a pro vodič 16 mm² je dovolený proud 73 A. Tento dovolený proud se přepočítá na předpokládanou okolní teplotu 20 °C pomocí koeficientu k .

Výpočet dovoleného proudu na vstupní straně regulátoru:

$$I_{Z1} = I_{Nk1} \cdot k = 31 \cdot 1,12 = 34,72 \text{ A}$$

Podmínka přiřazení jmenovitého proudu pojistky:

$$\begin{aligned} I_{B1} &\leq I_{N1} \leq I_{Z1} \\ 8,71 &\leq I_{N1} \leq 34,72 \end{aligned}$$

Je vybrána válcová pojistka PC10 gPV od firmy OEZ [83] se jmenovitým proudem I_{N1} 20 A. Výpočtem se ověří, zda vyhoví dovolenému oteplení vodiče při přetížení. Pro výpočet je určující hodnota časové oteplovací konstanty τ vodiče. Je to doba, za kterou vodič, nebo kabel dosáhne

maximální ustálené teploty, během které se veškerá tepelná energie využívá na ohřev vodiče. Časovou oteplovací konstantu pro zvolené průřezy vodičů uvádí výrobce kabelů a vodičů PRAKAB $\tau_4=139$ s a $\tau_{16}=312$ s. Pro ověření je vybrán bod doby přetavení pojistky $t_v=1000$ s a z tavné vypínací charakteristiky [83] se odečte hodnota vypínacího proudu pojistky I_{p1} .

$$\vartheta_1 = (\vartheta_z - \vartheta_{okolí}) \cdot \left(\frac{I_{p1}}{I_{Z1}}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_v}{\tau_4}}\right) + \vartheta_{okolí} < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_1 = (70 - 20) \cdot \left(\frac{28}{34,72}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1000}{139}}\right) + 20 < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_1 = 49,3 \text{ } ^\circ\text{C} < 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Výpočet dovoleného proudu na výstupní straně regulátoru:

$$I_{Z2} = I_{Nk2} \cdot k = 73 \cdot 1,12 = 81,76 \text{ A}$$

Podmínka přiřazení jmenovitého proudu pojistky:

$$I_{B2} \leq I_{N2} \leq I_{Z2}$$

$$27,78 \leq I_{N2} \leq 81,76$$

Je vybrána válcová pojistka PV10 gG od firmy O EZ [84] se jmenovitým proudem I_{N2} 32 A. Ověří se, zda vyhoví dovolenému oteplení vodiče při přetížení. Pro ověření je vybrána doba přetavení pojistky $t_v=1000$ s a z tavné vypínací charakteristiky [84] se odečte hodnota vypínacího proudu pojistky I_{p2} .

$$\vartheta_2 = (\vartheta_z - \vartheta_{okolí}) \cdot \left(\frac{I_{p2}}{I_{Z2}}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_v}{\tau_{16}}}\right) + \vartheta_{okolí} < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_2 = (70 - 20) \cdot \left(\frac{55}{81,76}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1000}{312}}\right) + 20 < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_2 = 37,86 \text{ } ^\circ\text{C} < 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dovolený proud při nabíjení elektromobilu se rovná dovolenému proudu na výstupní straně regulátoru.

$$I_{Z3} = I_{Z2} = 81,76 \text{ A}$$

Podmínka přiřazení pojistky před střídač:

$$I_{B3} \leq I_{N3} \leq I_{Z3}$$

$$55,55 \leq I_{N3} \leq 81,76 \text{ A}$$

Je vybrána válcová pojistka PV22 gG od firmy O EZ [84] se jmenovitým proudem I_{N3} 63 A. Ověří se, zda vyhoví dovolenému oteplení vodiče při přetížení. Pro ověření je vybrána doba přetavení pojistky $t_v=1000$ s a z tavné vypínací charakteristiky [84] se odečte hodnota vypínacího proudu pojistky I_{p3} .

$$\vartheta_3 = (\vartheta_z - \vartheta_{okolí}) \cdot \left(\frac{I_{p3}}{I_{Z3}}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_v}{\tau_{16}}}\right) + \vartheta_{okolí} < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_3 = (70 - 20) \cdot \left(\frac{100}{81,76}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{1000}{312}}\right) + 20 < \vartheta_{dov}$$

$$\vartheta_3 = 99,24 \text{ } ^\circ\text{C} < 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Válcové pojistky PC10 gPV jsou vloženy do pojistkového odpínače OPVF10-2[85]. Pojistky PV10 gG budou vloženy do odpínače OPV10S-2 a pojistky PV22 gG budou vloženy do odpínače OPV22S-2[84].

Pro lepší manipulaci se zapojením baterií, bude na přívodu vedení k bateriím vložen odpojovač od firmy Schrack technik se jmenovitým proudem 400 A[86].

2. Přepětová ochrana

Svodiče přepětí musí být navrženy pro maximální možné napětí FV panelů naprázdno. Napětí naprázdno FV panelu je dáno intenzitou slunečního záření dopadajícího na články panelu a na teplotě. S rostoucí intenzitou slunečního záření roste a s rostoucí teplotou naopak klesá. Největší napětí naprázdno panelů vzniká během mrazivého slunečního dne. Spojováním FV panelů do série se zvětšuje celkové stejnosměrné napětí. Konkrétní velikost napětí svodiče se volí vždy podle maximálního napětí naprázdno udávaného výrobcem při STC v závislosti na daném uspořádání FV panelů a podle normy ČSN EN 50539-11 s rezervou 20 %[87]. V tomto případě je volba maximálního provozního napětí svodiče.

$$U_{CPV} \geq 1,2 \cdot 4 \cdot U_{oc} = 1,2 \cdot 4 \cdot 37,8 = 181,44 \text{ V}$$

V tomto návrhu není dodržena dostatečná přeskoková vzdálenost (s) mezi jímací soustavou a fotovoltaickým systémem, kterou určuje norma ČSN EN 62305-3 ed.2. V praxi se hodnota přeskokové vzdálenosti (s) pohybuje od 0,5 m do 1 m. Proto musí být zajištěno galvanické spojení rámu fotovoltaických panelů s hromosvodem o minimálním průřezu měděného vodiče 50 mm²[88] z důvodu možného úniku bleskových proudů do stejnosměrných obvodů. Uzemňovací doplňující pospojování musí být tvořeno měděným vodičem s průřezem alespoň 16 mm²[88]. Pro tento případ musí být instalován svodič přepětí typu 1, nebo kombinované svodiče přepětí typu 1+2 [87]. Délka vedení je menší než 10 m, a proto lze umístit svodiče přepětí na jednu stranu vedení. Je vybrána přepětová ochrana FLP-PV550 V/U typu 1+2 od firmy SALTEK[89].

6.6 Návrh návratnosti investice

Pro výpočet návratnosti FV systému je nutné určit celkovou výši investice komponentů FV systému a generující roční zisk vyrobené elektrické energie. Cenová kalkulace komponentů je zachycena v tabulce 15 a zvolená konfigurace čtyř fotovoltaických panelů dodává 1 kWp výkonu. Z dlouhodobých měření fotovoltaických panelů v našich zeměpisných šířkách je známo, že z 1kWp instalovaného výkonu se získá ročně 1 MWh vyrobené elektrické energie[90].

Každé 4 roky se má podle normy ČSN 33 2000-6 ed.2 provést revize elektrické instalace. Firma SPEKTRUM Svitavy nabízí revizi FV elektrárny do 5 kWp za 2300 Kč[91].

Celkovou jednotkovou cenu za odebrané množství elektrické energie lze určit z E.ON ceníku dle tarifu D27d[22]. Tento tarif je platný pro domácnosti, které vlastní elektromobil. Cena za odebranou kWh se skládá z neregulované ceny za dodávku elektrické energie ve VT 2834 Kč/MWh a v NT 1643 Kč/MWh. Z regulované ceny energie za distribuované množství ve VT 2209,63 Kč/MWh a v NT 170,43 Kč/MWh. Z daně za elektrickou energii 34,24 Kč/MWh a za systémové služby 93,32 Kč/MWh. Jednotková cena elektrické energie je ve VT 5171,19Kč/MWh a v NT 1941 Kč/MWh. K této hodnotě se připočítává cena na podporu z podporovaných zdrojů energie 598,95 Kč/MWh. Celková cena elektrické energie je ve VT 5770 Kč/MWh a v NT 2540Kč/MWh.

Cena měsíčních plateb je složena ze součtu stálého měsíčního platu 90 Kč/měsíc, měsíčního platu za příkon dle proudové hodnoty hlavního jističe do 3x10 A 63 Kč/měsíc a z ceny za činnost operátora trhu 6,15 Kč/měsíc. Hodnota měsíčních plateb je 159,15 Kč/měsíc a roční fixní platby tak nabývají hodnoty 1909,8 Kč/rok. Paušální náklady ve výpočtu nebudou zahrnuty, protože bychom je platili, i kdybychom neměli elektromobil.

Uvažovaná roční spotřeba elektrické energie pro nabíjení elektromobilu je roční výroba FV elektrárny 1 MWh. Dále se zavede teoretický předpoklad, že všechna vyrobená energie bude využita k dobití elektromobilu. Ve výpočtu se bude uvažovat nabíjení elektromobilu během noci, kdy je levná elektrická energie a tedy se bude pracovat s cenou v NT 2540 Kč/MWh.

Tab. 15 Cenová kalkulace fotovoltaického systému

Položka	Cena
4x FV panel Axitec AC-250P/156-60S	17 625 Kč
Regulátor SmartSolar MPPT 150/35	8 820 Kč
Střídač Pure Sine Wave Inverter	5 500 Kč
2x Vyrovnávač napětí	3 636 Kč
Měřič BMV 700	3 905 Kč
3x Baterie Narada 12REXC-200	41 970 Kč
Přepěťová ochrana FLP-PV550 V/U	5 071 Kč
Elektroinstalační materiál	1 500 Kč
Rozvaděč	5 200 Kč
Celkem	93 227 Kč

Prostá návratnost fotovoltaického systému bez započítání externích nákladů a inflace.

$$N_{FV} = \frac{N_c}{P_{FVrok} \cdot S_{NT}} = \frac{93227}{1 \cdot 2540} = 36,7 \text{ let}$$

V případě plně využití vyrobené elektrické energie pro účely nabíjení elektromobilů, je zisk v prvním roce v částce 2540 Kč. V následujících letech se tento roční zisk zvýší inflací o 2 %. Každé čtyři roky se zaplatí cena za revizi elektrické instalace. Ve výpočtu se dále zavede náklad spojený se životností baterií, tedy s nejdražší komponentou fotovoltaické elektrárny. Baterie mají životnost 5000 cyklů. Nabíjecí a vybíjecí cyklus neproběhne každý den v roce a zavede se předpoklad, že během roku proběhne 275 cyklů. Za tohoto předpokladu by bylo nutné tento typ baterie měnit každých 18 let.

Návratnost fotovoltaického systému za 48 let

$$N_{FV} = \sum_{i=1}^n [P_{FVrok} \cdot S_{NT} \cdot (1 + u)^{i-1} - N_{rev} - N_{bat}]$$

$$N_{rev} = \begin{cases} 2300, & 4|i \\ 0, & \text{jinak} \end{cases}$$

$$N_{bat} = \begin{cases} 41970, & 18|i \\ 0, & \text{jinak} \end{cases}$$

$$N_{FV} = \sum_{i=1}^{48} [1 \cdot 2540 \cdot (1 + 0,02)^{i-1}] - 27600 - 83940$$

$$N_{FV} = 201558 - 27600 - 83940 = 90\,018 \text{ Kč}$$

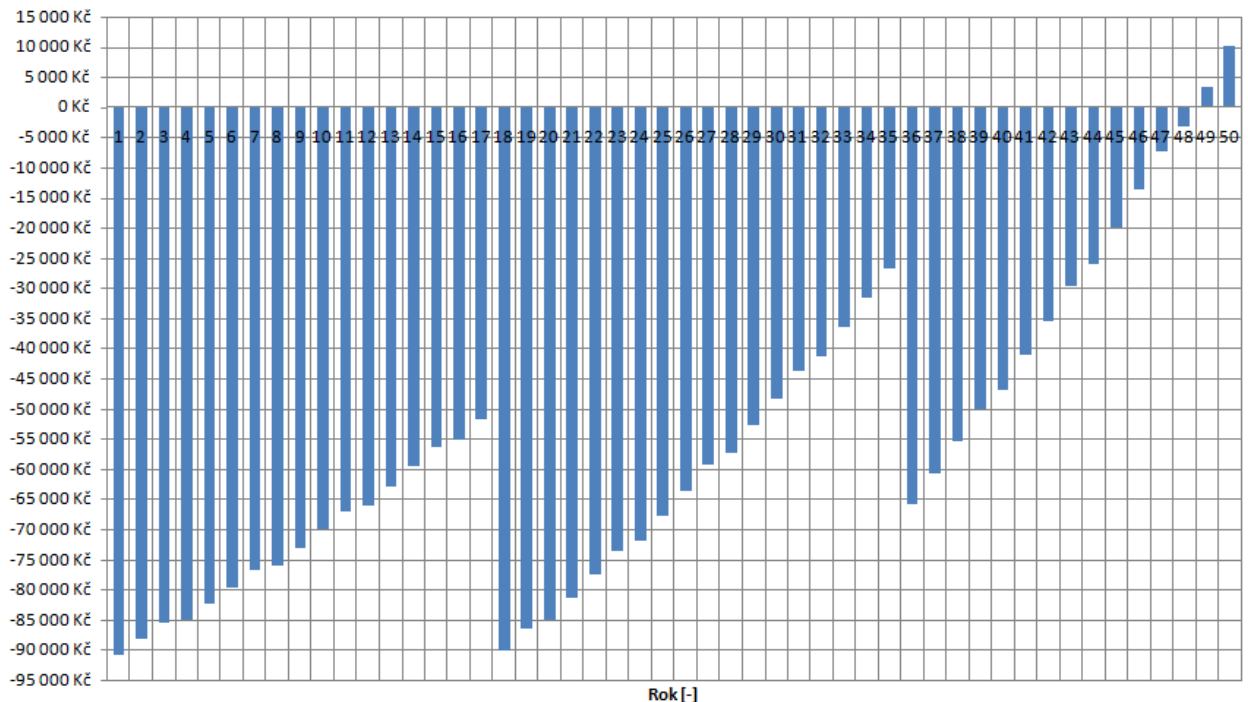
Návratnost fotovoltaického systému za 49 let

$$N_{FV} = \sum_{i=1}^n [P_{FVrok} \cdot S_{NT} \cdot (1 + u)^{i-1} - N_{rev} - N_{bat}]$$

$$N_{FV} = \sum_{i=1}^{49} [1 \cdot 2540 \cdot (1 + 0,02)^{i-1}] - 27600 - 83940$$

$$N_{FV} = 208129 - 27600 - 83940 = 96\,589 \text{ Kč}$$

V takto definovaných podmínkách bude navrhovaná instalace FV systému splacena v 49. roce od uvedení do provozu.



Obr. 37 Návratnost navrhovaného FV systému

Z pohledu jako na možnou investici se pro fotovoltaický systém využije metoda diskontované cash flow. Pro výpočet bylo zvoleno roční úrokové procento 3 % pro období 60 let.

Výpočet diskontované cash flow za 60 let

$$DCF = \frac{P_{FVrok} \cdot S_{NT}}{(1 + r)^1} + \sum_{n=2}^n \left(\frac{P_{FVrok} \cdot S_{NT} \cdot (1 + u)^{n-1}}{(1 + r)^n} \right)$$

$$DCF = \frac{1 \cdot 2540}{(1 + 0,03)^1} + \sum_{n=2}^{60} \left(\frac{1 \cdot 2540 \cdot (1 + 0,02)^{n-1}}{(1 + 0,03)^n} \right)$$

$$DCF = 112\,548 \text{ Kč}$$

Metoda diskontované cash flow popisuje hotovostní toky očekávaných výnosů plynoucí z projektu v daném časovém období. Projekt při daném úrokovém procentu vynesou za stanovené období 112548 Kč.

Čistá současná hodnota investice NPV (Net Present Value) se stanoví rozdílem očekávaných výnosů a velikostí investičních výdajů.

$$NPV = DCF - N_c$$

$$NPV = 112\,548 - 93\,227 = 19\,321 \text{ Kč}$$

Čistý výnos investice bez uvažování oprav, revizí a výměny komponentů při ročním úrokovém procentu 3 % za období 60 let je vyčíslena na 19 321 Kč. Investice do fotovoltaického systému po zahrnutí provozních a dalších externích nákladů bude ztrátová, protože se dají očekávat náklady spojené s údržbou fotovoltaické instalace, které ve výpočtu nebyly zahrnuty.

7 ZÁVĚR

Elektromobilita je poměrně nový obor, který se neustále vyvíjí. Při shromažďování dat a podkladů pro teoretickou část bylo zajímavé sledovat, jak se fakta z roku na rok mění. Diplomová práce na téma Využití solární energie pro elektromobilitu se zabývá v jednotlivých kapitolách základními vlastnostmi elektromobility a jejím možným rozvojem v rámci obnovitelného zdroje energie pocházejícího ze slunce.

V rámci práce jsou cíle diplomové práce patřičně vypracovány. První kapitola pojednává o potenciálu elektromobility na současném trhu. Ve druhé kapitole jsou zpracované data z měření spotřeby a průběhy nabíjení elektromobilů Tesla Model S P85 a Volkswagen e-Golf. V následující kapitole jsou popsány elektromobily na solární energii a zpracován přehled solárních stanic. Ve čtvrté kapitole této práce je uvedeno srovnání konvenčního automobilu se spalovacím motorem a solárního elektromobilu z hlediska účinnosti využití slunečního záření. V závěrečné kapitole je samotný návrh a ekonomická návratnost investice do fotovoltaické nabíjecí stanice pro nabíjení elektromobilů City-El a Citroen Berlingo Electric.

Návrh fotovoltaického nabíjecího systému je tvořen z několika komponentů. Elektrická energie je vyráběna fotovoltaickými panely AC-250P/156-60S od firmy Axitec s výkonem 1kWp. Vývody fotovoltaických panelů jsou v podobě měděných vodičů průřezu 6 mm². Pomocí kontaktu MC4 se spojí s kabelem 2 x 4 mm² CYKY-O, který je připojen na vstupní stranu regulátoru SmartSolar MPPT 150/35 od firmy Victron Energy. Na výstupní straně regulátoru jsou navrženy vodiče 2 x 16 mm² CYKY-O, které jsou připojeny na 36 V akumulací systém baterií Narada. Pro měření toku výkonu a sledování stavu baterií je ve fotovoltaickém systému připojen měřič BMV 700 od firmy Victron Energy. V návrhu jsou zahrnuty vyrovnávače napětí, které vyváží nabíjecí proces a zamezí nadbytečné znehodnocení baterií. Elektromobil City-El je nabíjen na DC straně a jelikož se elektromobil Citroen Berlingo Electric nabíjí střídavým proudem, bylo nutné doplnit do FV systému střídač Pure Sine Wave Inverter 2000 W od firmy Reliable Electric. Schéma fotovoltaického systému je uvedeno v příloze A.

Jištění fotovoltaického systému je obstaráno přepěťovou ochranou a pojistkovými odpínači. Svodič přepětí musí mít maximální hodnotu provozního napětí vyšší než 181,44 V a jelikož není dodržena přeskoková vzdálenost alespoň 0,5 metru FV od hromosvodu, musí být instalován svodič přepětí typu 1+2. Přepěťová ochrana je zvolena s nejbližší vyšší hodnotou maximálního provozního napětí FLP-PV550 V/U od firmy SALTEK. Jištění proti nadproudu je obstaráno pojistkovými odpojovači OPVF10-2, OPV10S-2 a OPV22S-2 od firmy OEZ. Pojistkové vložky válcových pojistek jsou napočítány na jmenovité proudy 20 A, 32 A a 63 A tak, aby vyhovovaly dovolenému oteplení PVC izolace při proudovém přetížení navrhovaných vodičů.

Náklady fotovoltaického systému činí 93 227 Kč. Z dlouhodobého měření fotovoltaických panelů v našich zeměpisných šířkách je známo, že z 1 kWp instalovaného výkonu se ročně vyrobí 1 MWh energie. Návratnost fotovoltaického systému je kalkulována s cenou elektrické energie v NT 2540 Kč/MWh. Nejdříve je vyčíslena prostá návratnost, která činí 36,7 let. V dalším kroku se uvažuje návratnost fotovoltaického systému při konstantní inflaci 2 % a do výpočtu vstupují náklady na výměnu baterií a náklady za revizi fotovoltaického systému. Z těchto hodnot je vypočítána návratnost fotovoltaického systému, která by byla splacena v 49. roce od uvedení do provozu. V posledním kroku je nahlíženo na návratnost fotovoltaického systému jako na investici, která by každý rok měla vydělat 3 %. V tomto, ale i v ostatních případech bude investice do fotovoltaického systému ztrátová.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Tesla model S: cena, dojezd, specifikace* [online]. Hybrid.cz, 2014 [cit. 2017-11-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-model-s-cena-dojezd-specifikace>
- [2] *Model S* [online]. United States: Tesla, 2017 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/models/design>
- [3] *Tesla Model X: cena, dojezd, specifikace* [online]. Hybrid.cz, 2015 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-model-x-cena-dojezd-specifikace>
- [4] *Model X* [online]. United States: Tesla, 2017 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/modelx/design>
- [5] *Tesla Model 3: dvě verze, dojezd až 500 km!* [online]. Hybrid, 2017 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-model-3-dve-verze-dojezd-az-500-km>
- [6] *Model 3* [online]. United States: Tesla, 2017 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/model3>
- [7] *Tesla představila Model 3: dojezd 344 km, Supercharger a Autopilot* [online]. Hybrid, 2016 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-predstavila-model-3-dojezd-344-km-supercharger-autopilot>
- [8] *Nissan Leaf nejprodávanějším elektromobilem na světě, krátce předstihl Tesla Model 3* [online]. Hybrid [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nissan-leaf-nejprodavanejsim-elektromobilem-na-svete-kratce-predstihl-tesla-model-3>
- [9] *NISSAN LEAF: TECHNICKÁ DATA* [online]. Nissan [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: https://www-europe.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/cz/brochures/Techdata/Nissan_LEAF_Tech_data_CZ.pdf
- [10] *BMW i3: Technické údaje* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2017/technicke-udaje.html#tab-0>
- [11] *E-Golf* [online]. Volkswagen [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/modely/e-golf>
- [12] *Škoda Vision E - první mladoboleslavský elektromobil se představuje v Číně* [online]. Hybrid, 2017 [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/skoda-vision-e-prvni-mladoboleslavsky-elektromobil-se-predstavuje-v-cine>
- [13] *Jak bude vypadat produkce elektromobilů Škoda Auto v roce 2025?* [online]. ecoFuture, 2017 [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/jak-bude-vypadat-produkce-elektromobilu-skoda-auto-v-roce-2025>
- [14] *CITIGO iV* [online]. Škoda Auto [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/modely/nove-citigo/nove-citigoe-iv>
- [15] *Proterra And LG Chem announce co-development of new battery cell* [online]. Proterra, 2017 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <https://www.proterra.com/press-release/proterra-and-lg-chem-announce-co-development-of-new-battery-cell/>
- [16] *Nový rekord: elektrický autobus ujel na jedno nabití 1772 km* [online]. Obnovitelně, 2017 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/180/novy-rekord-elektricky-autobus-ujel-na-jedno-nabiti-1772-km/>

- [17] *Elektrobus SOR EBN 8 / 9,5 / 11 městský/meziměstský* [online]. SOR, 2014 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.sor.cz/site/download/SOR-listy-CZ-1427718666.pdf>
- [18] *Autobusy s výfukem končí. V Hranicích bude MHD jezdit jen na baterky* [online]. Obnovitelně, 2017 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/186/autobusy-s-vyfukem-konci-v-hranicich-bude-mhd-jezdit-jen-na-baterky/>
- [19] *Výroční zprávy* [online]. Svaz dozorců automobilů [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/clanek.php?id=243>
- [20] *Je možné elektromobil nabíjet pomocí solárních panelů?* [online]. E.ON [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/alternativni-doprava/elektromobily-a-jejich-vyhody/jde-nabit-elektromobil-pomoci-solarnich-panelu>
- [21] *E.ON přináší na trh novinku – distribuční tarif pro elektromobily* [online]. E.ON [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a862--ZqScVpaC/e-on-prinasi-na-trh-novinku-distribucni-tarif-pro-elektromobily>
- [22] *Ceník Komplet elektřina 36 Září 2019* [online]. E.ON [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a188875---yJYQ6zD2/cenik-komplet-elektrina-36-zari-2019-distribucni-uzemi-e-on-pdf>
- [23] *Lithium price* [online]. Metalary, 2017 [cit. 2017-10-25]. Dostupné z: <https://www.metalary.com/lithium-price/>
- [24] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [25] *How do Lithium Batteries Work?* [online]. Cadex, 2017 [cit. 2017-10-30]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
- [26] *Types of Lithium-ion* [online]. Cadex, 2017 [cit. 2017-10-30]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
- [27] *Nabíjení elektromobilu* [online]. Asociace elektromobilového průmyslu, 2014 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/d/viewer?msa=0&mid=1KYfZCqxw3Yei4TUz7gKFKowAlsc&ll=49.87676974508567%2C15.994869712196305&z=7>
- [28] *Connection system on the recharging spot – a key element for electric vehicles* [online]. Praha: Schneider Electric, 2010 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=White+Paper&p_File_Name=998-2095-06-22-12AR0_EN.PDF&p_Doc_Ref=998-2095-06-22-12AR0_EN
- [29] *'How it works' - SuperCharger Station* [online]. Tesla, 2013 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <https://forums.tesla.com/forum/forums/updated-how-it-works-supercharger-station>
- [30] *Supercharger* [online]. Tesla, 2017 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/findus#/bounds/65,55,34,-11,d?search=supercharger&name=Evropa>
- [31] FALVO, Maria Carmen, Danilo SBORDONE, Safak BAYRAM a Michael DEVETSIKIOTIS. *EV Charging Stations and Modes: International Standards* [online]. Itálie [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.728.1023&rep=rep1&type=pdf>

- [32] *Elektromobilita v ČR* [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <http://www.fel.cvut.cz/education/prace/00025.pdf>. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Miroslav Vítek, CSc.
- [33] HRBÁČ, Lukáš. *Využití akumulčních kapacit elektromobilu pro další aplikace*. Brno, 2017. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D
- [34] *The Dynamic Road Ahead: England To Conduct Trials Of Dynamic Wireless Charging For Electric Cars*[online]. Altenergymag, 2016 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.altenergymag.com/article/2016/02/the-dynamic-road-ahead-england-to-conduct-trials-of-dynamic-wireless-charging-for-electric-cars/22820/>
- [35] *Jihokorejské elektrobuses získávají energii ze silnice* [online]. Hybrid, 2017 [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/jihokorejske-elektrobuses-ziskavaji-energii-ze-silnice>
- [36] KURFIŘT, M.; HLAVNIČKA J.; KAŠPÍREK M.; KOUBA D. Rozvoj elektromobility a připojovací podmínky pro nabíjecí stanice. In: *ČK CIRED*. České Budějovice: E.ON České Budějovice, 2019, p. 1-18. ISBN 978-80-905014-8-5.
- [37] *Energetický mix ČR* [online]. ČSVE, 2018 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/clanky/energeticky-mix-cr/485>
- [38] *FAQ: How does a solar car work?* [online]. Lightyear, 2017 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://lightyear.one/faq-how-solar-car-works/>
- [39] *Lightyear One Designed for performance* [online]. Lightyear [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://lightyear.one/lightyear-one/>
- [40] *The Value of Solar Cars* [online]. Lightyear [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://lightyear.one/news/the-value-of-solar-cars/>
- [41] *FAQ* [online]. Sono Motors [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: <https://sonomotors.com/frequently-asked-questions.html/>
- [42] *Information Sheet Sion* [online]. Sono Motors, 2018 [cit. 2019-01-07]. Dostupné z: https://sonomotors.com/wp-content/uploads/Information_Sheet_Sion_EN.pdf
- [43] *History* [online]. World Solar Challenge [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: https://www.worldsolarchallenge.org/about_wsc/history
- [44] *Overview* [online]. World Solar Challenge [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: https://www.worldsolarchallenge.org/about_wsc/overview
- [45] *Nuna9 solar car revealed* [online]. TUDelft, 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://www.tudelft.nl/en/2017/tu-delft/nuna9-solar-car-revealed/>
- [46] *Nuna9, a very powerful solar racing car* [online]. Vattenfall, 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z:
- [47] *Futuristic solar-powered Dutch family car hailed 'the future'* [online]. The Straits Times, 2017 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <https://www.straitstimes.com/asia/australianz/futuristic-solar-powered-dutch-family-car-hailed-the-future>
- [48] *Stella Vie: Nejefektivnější rodinné auto na světě* [online]. AUTOECO, 2017 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://www.autoeco.cz/elektromobily/2017/11/12/stella-vie-nejefektivnejsi-rodinne-auto-na-svete/>

- [49] *Dutch students target solar-powered three-peat with five-seat Stella Vie* [online]. NEW ATLAS, 2017 [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <https://newatlas.com/university-eindhoven-stella-vie-world-solar-challenge/50159/>
- [50] *World Solar Challenge 2017 Team List* [online]. Scientific Gems, 2017 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://scientificgems.wordpress.com/2017/01/19/world-solar-challenge-2017-team-list/>
- [51] *N 海大学, 2017 ブリヂストン・ワールド・ソーラー・チャレンジ」に参戦する新型車両「17 Tokai Challenger」初公開* [online]. Car Watch, 2017 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1078031.html>
- [52] *N 海大学, 「17 Tokai Challenger」と「ワールド・ソーラー・チャレンジ」参戦体制を発表* [online]. Motor Fan, 2017 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: <https://motor-fan.jp/tech/10000855>
- [53] *Fotovoltaický jev* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>
- [54] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vyd. Praha: ILSA, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [55] *Fyzikální podstata přechodu PN*. [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/265-fyzikalni-podstata-prechodupn#>
- [56] *Princip fotovoltaického článku* [online]. elektrika.cz, 2009 [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku/view>
- [57] MASTNÝ, Petr, Jan MORÁVEK a Jiří PITRON. *Malé zdroje elektrické energie*. Brno, 2015. Skripta. FEKT VUT.
- [58] *Fotovoltaika* [online]. TZB-ENERG [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: <http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>
- [59] *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. CNE [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/seniori/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [60] *Který je nejlepší solární regulátor pro můj systém? MPPT nebo PWM?* [online]. Solarway, 2017 [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: <http://cz.solvowei.com/info/which-is-the-best-solar-controller-for-my-syst-23150087.html>
- [61] *Jaký je rozdíl mezi levným PWM a dražším MPPT regulátorem* [online]. Ostrovní elektrárny, 2012 [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://ostrovni-elektrarny.tumblr.com/post/24832727622/jak%C3%BD-je-rozd%C3%ADl-mezi-levn%C3%BDm-pwm-a-dra%C5%BE%C5%A1%C3%ADm-mppt>
- [62] *Solární nabíječka pro elektromobily* [online]. Hybrid, 2012 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/solarni-nabijecka-dostupna-take-v-cr>
- [63] *Jak snadno dobít elektromobil? Stačí solární přístřešek* [online]. Logio, 2014 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://blog.logio.cz/2014/06/16/snadno-dobit-elektromobil-staci-solarni-pristresek/>
- [64] *San Francisco zavádí dobíjení elektromobilů zdarma* [online]. Hybrid, 2015 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/san-francisko-zavadi-dobijeni-elektromobilu-zdarma>

- [65] *Solární parkoviště - více užítku z jedné instalace* [online]. ASB-portal, 2010 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/fotovoltaika/solarni-parkoviste-vice-uzitku-zjedne-instalace>
- [66] *PRE v Praze spustila solární nabíjecí stanici pro elektromobily* [online]. Praha: Ekolist, 2018 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/pre-v-praze-spustila-solarni-nabijeci-stanici-pro-elektromobily>
- [67] FIRST, Jiří. *Energetická analýza pozemní dopravy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05664-6
- [68] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. Vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství, 2003. ISBN 80-238-8356-4
- [69] BEROUN, Stanislav. *Vozidlové motory*. Liberec. Skripta. TUL.
- [70] *Výhody a nevýhody elektromobilů: Proč třeba nepotřebují převodovku? A jak je to s jejich účinností?* [online]. 2018 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/elektromobil-jake-jsou-vyhody-a-nevyhody-121938>
- [71] *Tesla Model 3 využívá šetrnější, levnější elektromotory* [online]. Hybrid, 2017 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tesla-model-3-vyuziva-setrnejsi-levnejsi-elektromotory>
- [72] *Elektrické stroje*. Brno. Skripta. VUT.
- [73] *Motory s velmi vysokou účinností – budoucnost elektropohonů* [online]. 2015 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IADT/tia_na_dosah/Documents/2016 leden/Nové%20tridy%20ucinnosti%20motoru_Postup%20pri%20vyberu%20motoru_2015-10_4str.pdf
- [74] *Srovnání energetické ztráty elektromobilů a běžných aut* [online]. 2018 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/srovnani-energeticke-ztraty-elektromobilu-a-beznych-aut-21000070>
- [75] *Baterie Narada 12REXC-200 12V 200Ah* [online]. Ostrovní elektrárny [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?category=baterie-olovene-trakcni&detail=MzEwMDUz&detail_name=baterie-narada-12rexc-200-12v-200ah
- [76] *Datasheet pre Axitec AC-250P/156-60S* [online]. AXIworldpower [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: http://solarni-panely.cz/content/download/4987/37578/file/Axitec_250Wp.pdf
- [77] *Regulátor nabíjení BlueSolar MPPT 150/35* [online]. Victron Energy, 2018 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/upload/documents/Manual-BlueSolar-charge-controller-MPPT-150-35-CZ-ul.pdf>
- [78] *VictronBatériový balancér* [online]. Victron Energy [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.ecoprodukt.cz/i/gallery/056/137/manual-battery-balancer-sk.pdf>
- [79] *Monitor baterie: BMV-700* [online]. Victron Energy B.V., 2018 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.victronenergy.cz/upload/documents/Manual-BMV-700-700H-702-712-CZ.pdf>
- [80] *2000W Off Grid DC to AC Pure Sine Wave Solar Power Inverter* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: http://www.powerreliable.com/index.php/product/2000W_Off_Grid_DC_to_AC_Pure_Sine_Wave_Solar_Power_Inverter-1
- [81] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno, 2015. VUT Brno.

-
- [82] *Katalog produktů: PRAKAB* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.prakab.cz/upload/PRAKAB_katalog.pdf
- [83] *Varius: Pojistkové vložky pro jištění polovodičů* [online]. OEZ, 2012 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/0113-z01-16_cz_sk.pdf
- [84] *Varius: Pojistkové systémy* [online]. OEZ, 2012 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: https://www.elima.cz/storage/OEZ-navod_PNA.pdf
- [85] *Varius: Odpínače, odpojovače a držáky válcových pojistkových vložek* [online]. OEZ, 2012 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/5028-z01-16_cz_sk.pdf
- [86] *DC-vypínač 400 A* [online]. Schrack technik [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.schrack.cz/eshop/solarni-energie/fotovoltaiicky-ostrovni-system/ostrovni-systemy-drzaky-pojistek/dc-vypinac-400-a-pvbp1003.html>
- [87] *Volba svodičů přepětí pro fotovoltaické aplikace* [online]. Hakel [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://www.repostechnik.cz/wp-content/uploads/2016/11/photovoltaic_CZ.pdf
- [88] *Přepětové ochrany pro fotovoltaické systémy - zapojování, značení* [online]. Saltek [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43313.pdf>
- [89] *FLP-PV550 V/U* [online]. Saltek [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.saltek.eu/vyrobky/flp-pv550-vu>
- [90] *Návratnost a výnosy* [online]. ISOFEN ENERGY [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Navratnost-fotovoltaiicke-elektrarny.aspx>
- [91] *Ceník revizí a servisních kontrol* [online]. SPEKTRUM Svitavy [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.spektrum-svitavy.cz/sluzby/cenik-revizi-a-praci/>

PŘÍLOHY

Příloha A - Schéma zapojení fotovoltaického systému

