

# 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

## KONCEPT RYCHLONABÍJECÍ STANICE PRO ELEKTROMOBILY S AKUMULACÍ

CONCEPT OF FAST CHARGING STATION WITH ACCUMULATION FOR ELECTRIC VEHICLES

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ján Miškovský

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

BRNO 2017

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. Ján Miškovský

**ID:** 154808

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2016/17

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Koncept rychlonabíjecí stanice pro elektromobily s akumulací**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Popis principu funkce nabíjecích stanic – základní charakteristiky, srovnání různých výrobců
2. Návrh koncepce nabíjecí stanice ve spojení s OZE a akumulací – pro jednotlivé části bude vytvořen/optimalizován matematický model v prostředí Matlab s následným propojením jednotlivých částí.
3. Vyhodnocení sestavených simulací a verifikace na fyzikálním laboratorním modelu OZE a posouzení vlivu na ES v místě připojení
4. Energetická a ekonomická analýza navrženého řešení – zhodnocení a doporučení

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 6.2.2017

**Termín odevzdání:** 22.5.2017

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.

**Konzultant:**

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

**UPOZORNĚNÍ:**

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

Bibliografická citácia práce:

MIŠKOVSKÝ, J. *Koncept rychlonabíjecí stanice pro elektromobily s akumulací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 74 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D..

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.

.....

## **ABSTRAKT**

Predmetom tejto práce je vytvorenie konceptu rýchlonabíjacej stanice s akumuláciou a využitím obnoviteľných zdrojov. V úvodnej časti diplomovej práce je popísaná normou stanovená špecifikácia nabíjania elektromobilu za použitia technológie striedavého alebo jednosmerného prúdu a vytvorený prehľad možností použitia nabíjacích konektorov. Prvá časť taktiež obsahuje prehľad technológie obnoviteľných zdrojov energie s využitím akumulácie pre nabíjajúcu stanicu. V druhej časti práce na základe teoretických podkladov je vytvorený matematický model nabíjacej stanice v prostredí Matlab/Simulink. Funkčnosť modelu stanice je verifikovaná s fyzikálnym laboratórnym modelom. Pre overenie možnosti pripojenia stanice k distribučnej sieti je vytvorená simulácia úbytkov napätí v prostredí Matlab/Simulink. Následne v práci sú nasimulované štyri 24 hodinové scenáre. Podľa predpokladov simulácie je navrhnutá technológia stanice a pripojenie jednotlivých komponentov. Následne je vypracovaná energetická a finančná analýza projektu nabíjacej stanice do roku 2030.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ** : nabíjacia stanica, nabíjací konektor, elektromobil, fotovoltická elektrárň, systém batérovej akumulácie, model nabíjacej stanice, verifikácia, lokalita, pripojenie, riešenie, energetická a finančná analýza.

## **ABSTRACT**

Main purpose of the thesis is the creation of a concept a fast-charging station associated with accumulation that uses renewable source. The introduction of the thesis describes a standard that specifies the charge of electric vehicles using direct and alternating current as well. It depicts an overview of using charging connectors. The first part also deals with overview of the technology of renewable sources and exploitation energy storage system for charging station. The second part introduces the theoretical basement for mathematical model of the charging station in Matlab/Simulink. The function of model station is verified by a physical laboratory model. For options verification of the connection station to the distribution net is created simulation of voltage losses in Matlab/Simulink. The thesis shows four 24 hours' scenarios that have been simulated. According to the assumptions of simulation, the technology of station and connecting component is suggested. Next is the designed energy and financial analysis of the project charging station until 2030.

### **KEY WORDS:**

charging station, charging connector, electric vehicle, photovoltaic power plant, battery storage system, model of charging station, verification, locality, connection, solution, energy and financial analysis.

**OBSAH**

<b>ZOZNAM OBRÁZKOV.....</b>	<b>8</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK.....</b>	<b>10</b>
<b>ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>13</b>
<b>2 CIELE DIPLOMOVEJ PRÁCE.....</b>	<b>14</b>
<b>3 NABÍJANIE ELEKTROMOBILU.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 REŽIMY NABÍJANIA.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 SPÔSOB PRIPOJENIA EV POMOCOU KÁBLOV A VIDLÍČ.....</b>	<b>16</b>
3.2.1 TYP PRIPOJENIA A.....	16
3.2.2 TYP PRIPOJENIA B.....	16
3.2.3 TYP PRIPOJENIA C.....	17
<b>3.3 FUNKCIE ZABEZPEČENÉ POČAS NABÍJANIA.....</b>	<b>17</b>
3.3.1 POVINNÉ FUNKCIE V REŽIMOCH 2 A 3.....	17
3.3.2 VOLITEĽNÉ FUNKCIE V REŽIMOCH 2 A 3.....	18
3.3.3 POVINNÉ FUNKCIE V REŽIME 4.....	18
3.3.4 VOLITEĽNÉ FUNKCIE V REŽIME 4.....	18
<b>3.4 NABÍJANIE V REŽIMOCH 2 A 3.....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 NABÍJANIE V REŽIME 4.....</b>	<b>22</b>
<b>3.6 NABÍJACIE KONEKTORY.....</b>	<b>26</b>
3.6.1 CHADEMO.....	26
3.6.2 KOMBINOVANÝ NABÍJACÍ SYSTÉM (COMBINED CHARGING SYSTEM -CCS).....	28
3.6.3 TESLA SUPERCHARGER.....	30
<b>3.7 NABÍJACIE CHARAKTERISTIKY EV.....</b>	<b>30</b>
<b>4 ANALÝZA VYUŽITIA OZE A USKLADŇOVANIA ENERGIE PRE NABÍJANIE EV.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 FOTOVOLTICKÝ SYSTÉM PRE NABÍJANIE EV.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 AKUMULÁCIA ENERGIE PRE NABÍJACIU STANICU.....</b>	<b>35</b>
<b>4.3 ŠTRUKTÚRA SPOJENIA JEDNOTLIVÝCH PRVKOV NABÍJACEJ STANICE.....</b>	<b>37</b>
<b>5 NÁVRH KONCEPCIE NABÍJACEJ STANICE V SPOJENÍ FVE A AKUMULÁCIU.....</b>	<b>39</b>
<b>5.1 NÁVRH RIEŠENIA NABÍJACEJ STANICE.....</b>	<b>39</b>
<b>5.2 MATEMATICKÝ MODEL SYSTÉMU V PROSTREDÍ SIMULINK.....</b>	<b>40</b>
5.2.1 FOTOVOLTICKÝ SYSTÉM.....	41
5.2.2 AKUMULÁCIA.....	43
5.2.3 PRIPOJENIE NA DISTRIBUČNÚ SIEŤ.....	43
5.2.4 NABÍJANIE ELEKTROMOBILU.....	44
<b>5.3 VERIFIKÁCIA MATEMATICKÉHO MODELU S LABORATÓRNÝM FYZIKÁLNÝM MODELOM OZE.....</b>	<b>44</b>
<b>5.4 ANALÝZA PRIPOJENIA NABÍJACEJ STANICE K DISTRIBUČNEJ SIETI.....</b>	<b>47</b>
5.4.1 VÝBER LOKALITY UMIESTNENIA NABÍJACEJ STANICE.....	47
5.4.2 KONTROLA ÚBYTKOV NAPÄTÍ PO PRIPOJENÍ NABÍJACEJ STANICE K DS.....	48

---

<b>5.5 SIMULÁCIA PREVÁDZKOVÝCH STAVOV NAVRHNUTEJ NABÍJACEJ STANICE.....</b>	<b>49</b>
5.5.1 SCENÁR 1: 21.6.2016 S MAXIMÁLNYM POČTOM NABÍJANÍ EV.....	49
5.5.2 SCENÁR 2: 21.6.2016 S PRIEMERNÝM POČTOM NABÍJANÍ EV.....	51
5.5.3 SCENÁR 3: 21.2.2016 S MAXIMÁLNYM POČTOM NABÍJANÍ EV.....	52
5.5.4 SCENÁR 4: 21.2.2017 S PRIEMERNÝM POČTOM NABÍJANÍ EV.....	54
<b>6 ENERGETICKÁ A EKONOMICKÁ ANALÝZA NAVRHNUTÉHO RIEŠENIA .....</b>	<b>56</b>
<b>6.1 NAVRHOVANÉ RIEŠENIE NABÍJACEJ STANICE.....</b>	<b>56</b>
<b>6.2 PROGNOZA VÝVOJA ELEKTROMOBILITY DO BUDÚCNOSTI.....</b>	<b>57</b>
<b>6.3 ENERGETICKÁ ANALÝZA NABÍJACEJ STANICE.....</b>	<b>58</b>
6.3.1 HISTORICKÁ SPOTREBA OBJEKTU REŠTAURÁCIE S KANCELÁRIAMI .....	58
6.3.2 ENERGETICKÁ ANALÝZA NABÍJACEJ STANICE .....	58
<b>6.4 FINANČNÁ ANALÝZA PROJEKTU .....</b>	<b>60</b>
<b>7 ZÁVER.....</b>	<b>61</b>
<b>POUŽITÁ LITERATÚRA .....</b>	<b>63</b>
<b>PRÍLOHY .....</b>	<b>65</b>
PRÍLOHA A .....	65
PRÍLOHA B.....	67
PRÍLOHA C .....	69
PRÍLOHA D .....	71

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 3.1 „A“ spôsob pripojenia EV na striedavé napätie[3] zdroj: google.sk .....	16
Obr. 3.2 „B“ spôsob pripojenia EV na striedavé napätie[3] zdroj: google.sk .....	17
Obr. 3.3 „C“ spôsob pripojenia EV na rozvodnú sústavu [3] zdroj: google.sk.....	17
Obr. 3.4 Obvod riadiaceho vodiča [3] .....	19
Obr. 3.5 Priebeh riadiaceho signálu počas procesu nabíjania [3] .....	19
Obr. 3.6 Grafické znázornenie maximálneho prúdu odoberaného vozidlom.....	20
Obr. 3.7 CHAdeMO nabíjačky [8], [9].....	26
Obr. 3.8 Rozmiestnenie kolíkov CHAdeMO[8] .....	27
Obr. 3.9 Konektory COMBO európska a americká verzia zdroj: <a href="http://insideevs.com/">http://insideevs.com/</a> .....	28
Obr. 3.10 Zásuvky konektorov COMBO .....	29
Obr. 3.11 Konektory Tesla .....	30
Obr. 3.12 Nabíjacia charakteristika EV- AC nabíjanie .....	31
Obr. 3.13 Nabíjacia charakteristika EV - DC nabíjanie (CHAdeMo a COMBO 2).....	31
Obr. 3.14 Nabíjacia charakteristika Tesla model S - DC nabíjanie (Supercharger a CHAdeMO) .....	32
Obr. 4.1 Mapa osvitu Slovenskej republiky zdroj: <a href="http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/">http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/</a> .....	33
Obr. 4.2 Množstvo ročnej vyrobenej el. energie 1 kWp pri statickom a horizontálne natáčanom systéme FVE zdroj: <a href="http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/">http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/</a> .....	34
Obr. 4.3 Priebeh výroby 1 kWp fotovoltaickej elektrárne.....	35
Obr. 4.4 Voltampreová charakteristika nabíjania/vybíjania LiFePo4 článku [15].....	36
Obr. 4.5 Výkonová charakteristika nabíjania LiFePo4 článku.....	36
Obr. 4.6 Nabíjacia stanica s využitím OZE a akumuláciou - AC zbernica.....	37
Obr. 4.7 Nabíjacia stanica s využitím OZE a akumuláciou - DC zbernica .....	38
Obr. 5.1 Riešenie nabíjacej stanice pre EV.....	39
Obr. 5.2 Vizuál navrhnutého matematického modulu NS v prostredí Simulink.....	41
Obr. 5.3 Schéma Simulink „Extremum-seeking control“ .....	43
Obr. 5.4 Laboratórny fyzikálny model OZE[19].....	44
Obr. 5.5 Namerané výkony laboratórneho modelu z dňa 15.4.2016 .....	45
Obr. 5.6 Namerané údaje na batérii laboratórneho modelu z dňa 15.4.2016.....	45
Obr. 5.7 Výsledky simulácie výkonovej bilancie matematického modelu z dňa 15.4.2016.....	46
Obr. 5.8 Výsledky simulácie batérie z dňa 15.4.2016 .....	46
Obr. 5.9 Geografické umiestnenie nabíjacej stanice zdroj: google.sk.....	47



---

<i>Obr. 5.10 Vizuál simulácie distribučnej sústavy SSE-D .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 5.11 Výkonová bilancia v priebehu 21.6.2016 s maximálnym využitím .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 5.12 Osvit a teplota panelu v priebehu 21.6.2016 .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 5.13 Priebeh napätia, prúdu a výkonu FVE počas 21.6.2016 .....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 5.14 Priebehy napätia, prúdu a SOC akumulácie 21.6.2016 s maximálnym využitím .....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 5.15 Výkonová bilancia v priebehu 21.6.2016 s priemerným počtom nabíjaní.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 5.16 Priebehy napätia, prúdu a SOC počas 21.6.2016 s priemerným využitím .....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 5.17 Výkonová bilancia v priebehu 21.2.2017 s maximálnym využitím .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 5.18 Osvit a teplota panelu v priebehu 21.2.1017 .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 5.19 Priebeh napätia, prúdu a výkonu FVE počas 21.2.2017 .....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 5.20 Priebehy napätia, prúdu a SOC akumulácie 21.2.2017 s maximálnym využitím .....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 5.21 Výkonová bilancia v priebehu 21.2.2017 s priemerným počtom nabíjaní.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 5.22 Priebehy napätia, prúdu a SOC počas 21.2.2017 s priemerným využitím .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 6.1 Technologické riešenie nabíjacej stanice .....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 6.2 Priemerná spotreba objektu reštaurácie s kancelárkami za roky 2010-2016.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 6.3 energetická analýza NS v priebehu roku .....</i>	<i>59</i>

**ZOZNAM TABULIEK**

<i>Tab. 3.1 Stavby riadiacej funkcie [3]</i> .....	19
<i>Tab. 3.2 Opis nabíjacieho cyklu za normálnych prevádzkových podmienok [3]</i> .....	20
<i>Tab. 3.3 Stavby nabíjania EV[6]</i> .....	23
<i>Tab. 3.4 Proces nabíjania za normálnych okolnosti[6]</i> .....	25
<i>Tab. 3.5 Parametre CHAdeMO[10]</i> .....	27
<i>Tab. 3.6 Popis jednotlivých kolíkov CHAdeMO konektora[10]</i> .....	28
<i>Tab. 3.7 Konfigurácia zdierok COMBO</i> .....	29
<i>Tab. 4.1 Prehľad účinností jednotlivých typov fotovoltaických článkov [12]</i> .....	34
<i>Tab. 5.1 Stavby toku výkonu v NS</i> .....	40
<i>Tab. 5.2 Parametre pre výpočet fotovoltaického panelu</i> .....	42
<i>Tab. 5.3 Porovnanie výsledkov energetickej bilancie pre verifikáciu</i> .....	47
<i>Tab. 5.4 Výsledky analýzy úbytku napätia po pripojení NS</i> .....	48
<i>Tab. 6.1 Prehľad navrhutej technológie</i> .....	57
<i>Tab. 6.2 Vývoj počtu EV a PHV do roku 2030 [21]</i> .....	57
<i>Tab. 6.3 Vývoj počtu nabíjacích stojanov do roku 2030</i> .....	58
<i>Tab. 6.4 Energetická analýza do roku 2030</i> .....	59

**ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK**

Značka:	Význam:	Jednotka:
AC	(alternating current) striedavý prúd	
ACEA	European Automobile Manufactures Association	
CAN	(control area network) zbernica miestnej siete	
CZ	Česko	
DC	(direct current) jednosmerný prúd	
DCCCF	(DC charging control funkcion) riadiaca funkcia DC nabíjania	
DS	distribučná sieť	
EV	elektrické vozidlo	
EVSE	(EV supply equipment) napájacie zariadenie elektrického vozidla	
FVE	fotovoltická elektrárňa	
MPPT	(maximum power point tracking) hľadanie maximálneho bodu výkonu	
NN	nízke napätie	
NS	nabíjacia stanica	
NT	nízka tarifa	
OZ	obnoviteľné zdroje	
OZE	obnoviteľné zdroje energie	
PHV	plug-in hybridné vozidlo	
PID	(proportional-integral-derivate) proporcionálny-integračný-derivačný	
PLC	(power line communication) komunikácia po silovom vedení	
PWM	(pulse width modulation) modulácia šírky impulzov	
SAE	Standard American Equivalent	
SK	Slovensko	
SSE-D	Stredoslovenská energetika-distribúcia	
USA	Spojené štáty americké	
VCCF	(vehicle charging control funkcion) riadiaca funkcia vozidla	
VT	vysoká tarifa	
<i>A</i>	faktor ideálnosti	1
<i>E</i>	energia	eV
<i>E</i>	elektrická energia	kWh
<i>I</i>	prúd	A

---

Značka:	Význam:	Jednotka:
$k$	Boltzmanova konštanta	J/K
$K$	tepelný koeficient	mA/C
$N$	počet	1
$P$	výkon	W
$q$	elektrónový náboj	C
$R$	odpor	$\Omega$
$SOC$	(state of charge) stav nabitia	%
$T$	termodynamická teplota	K
$t$	teplota	$^{\circ}\text{C}$
$t$	čas	s
$U$	napätie	V
$V$	napätie	V
$\lambda$	osvit	$\text{kW/m}^2$

# 1 ÚVOD

Už od dávnych čias si ľudstvo pre svoj pohyb hľadalo prostriedky na prekonávanie vzdialeností za účelom rýchlejšej prepravy, manipulácie s bremenami a šetrenia vlastnou energiou. Ako prvé začali byť využívané zvieratá, ktoré si človek svojím pôsobením dokázal domestikovať. Neskôr ani sila a rýchlosť živých organizmov mu nestačila. To spôsobilo, že začal vymýšľať prvé vozidlá s mechanickým pohonom, medzi ktorými sa nachádza aj koncept prvého elektromobilu.

Prvé elektromobily boli charakteristické malým výkonom a veľmi ťažkými batériami, čo malo za následok krátky dojazd a nízku rýchlosť. Vývoj a masovejšie rozšírenie elektromobilov zastavil Henry Ford, keď v roku 1904 prišiel s automobilom využívajúcim benzínový motor. Jednalo sa o Ford Model T, ktorý jednoznačne svojimi vlastnosťami pochoval elektromobily [1].

Dnešná doprava ako ju poznáme, je hlavne tvorená vozidlami, ktoré využívajú spaľovacie motory, ale tlak na zmiernenie klimatických zmien, ochrany ovzdušia a ekologickosti dopravy dostáva elektromobily v poslednej dekáde do popredia. Aby sa elektromobily stali naším bežným dopravným prostriedkom, musia v mnohých aspektoch dosiahnuť vlastnosti konvenčných automobilov. Hlavne z pohľadu ceny, dojazdu, rýchlosti, času nabíjania, počtu nabíjajúcich staníc a komfortu.

Téma elektromobilov je veľmi komplexná a zasahuje do takmer všetkých technických odborov. Z tohto širokého spektra ma zaujala téma z odboru elektroenergetiky, ktorá sa zaoberá nabíjaním elektromobilov. Konkrétne sa jedná o návrh nabíjacej stanice s využívaním akumulácie a obnoviteľných zdrojov energie.

## **2 CIELE DIPLOMOVEJ PRÁCE**

Cieľom tejto diplomovej práce je vytvoriť prehľad o možnostiach nabíjania, typoch nabíjacích staníc, vybrať vhodný typ akumulátorov, možnosti využitia energie obnoviteľných zdrojov a zhrnúť všetky teoretické podklady pre nabíjacie stanice. Na základe teoretických podkladov bude vytvorený model nabíjacej stanice v prostredí Matlab/Simulink. Nahrnutý model bude verifikovaný s laboratórnym fyzikálnym modelom. Pre nasimulovanú nabíjaciu stanicu bude vybratá vhodná lokalita, kde bude realizovaná analýza prepojitelnosti k distribučnej sieti. Vo vytvorenej nabíjacej stanici budú realizované simulácie, ktoré budú znázorňovať činnosť v priebehu 24 hodín a budú preverené hranice využitia stanice. V záverečnej časti diplomovej práce bude navrhnuté konkrétne technologické riešenie na základe predpokladov simulácie a dostupnej technológie na trhu. Pre riešenie navrhutej nabíjacej stanice bude vytvorená energetická a finančná analýza projektu.

## 3 NABÍJANIE ELEKTROMOBILU

Nabíjačky pre elektromobily sú dôležité z pohľadu ich vývoja, integrácie do dopravnej siete a denného používania. Nabíjacie stanice všeobecne obsahujú: stojan, privedenie výkonu, nabíjací kábel, konektor pre EV a systém ochrán. Konfigurácia NS sa môže líšiť v jednotlivých štátoch v závislosti na parametroch siete: frekvencia, napätie, spôsobe usporiadania a možnosti pripojenia. Čas nabitia a životnosť batérie sú ovplyvnené spôsobom nabíjania. Preto by mala byť dobrá nabíjačka účinná a spoľahlivá s dostatočnou výkonnosťou, za nízke náklady, s malými rozmermi a malou hmotnosťou.

Úroveň nabíjacieho výkonu je hlavný parameter, ktorý vplyva na rýchlosť nabíjania, ceny a fluktuácie v sieti. Z týchto dôvodov sa vytvoril medzinárodný štandard IEC 61851, ktorý definuje parametre nabíjania EV. Preto je možné kategorizovať spôsob nabíjania EV na palubné (on-board) alebo vonkajšie (off-board) s jednosmerným alebo obojsmerným tokom výkonu:

- jednosmerný tok výkonu (nabíjanie) zjednodušuje požiadavky na hardvérové vybavenie nabíjačky a prepojenie EV s NS,
- obojsmerný tok výkonu umožňuje prechod energie z NS do EV a naopak.

Nabíjačky umiestnené vo vnútri vozidla (on-board) umožňujú majiteľom vozidla nabíjať na každom mieste kde je dostupná elektrická energia. Avšak palubné nabíjačky majú zvyčajne obmedzený výkon vzhľadom k hmotnosti, rozmerom a nákladom. Vonkajšie (off-board) nabíjačky môžu byť navrhnuté pre vysoké rýchlosti nabíjania a nie sú obmedzené rozmermi alebo hmotnosťou [2].

### 3.1 Režimy nabíjania

Podľa normy STN EN 61851-1 je možné vykonávať nabíjanie EV v štyroch režimoch. Pre každý režim je vyžadovaný prúdový chránič aspoň ekvivalent typu A v kombinácii s nadprúdovým istiacim prvkom.

- **Režim nabíjania 1:** pripojenie elektrického vozidla na sieť striedavého napätia s využitím normalizovaných zásuviek s menovitým prúdom neprevyšujúcim 16 A a s jednofázovým striedavým napätím do 250V alebo do 480 V pri trojfázovom striedavom napätí. Prepojenie je realizované pomocou pracovných vodičov a vodiča ochranného uzemnenia. Pre doplnkové chránenie pripojenia na napájaciu sieť je možné použiť v kábli integrovaný prúdový chránič. V krajine ako USA je národnými právnymi predpismi tento režim nabíjania zakázaný. Krajiny Japonsko a Švédsko umožňujú pre vozidlá nabíjané v tomto režime pripojenie prúdového chrániča typu AC na existujúce domové inštalácie.
- **Režim nabíjania 2:** pripojenie elektrického vozidla na sieť striedavého napätia s využitím normalizovaných jednofázových alebo trojfázových zásuviek s menovitým prúdom do 32 A a s jednofázovým striedavým napätím do 250 V alebo do 480 V pri trojfázovom striedavom napätí. Prepojenie je realizované pomocou pracovných vodičov a vodiča ochranného uzemnenia. Povinnosť umiestniť medzi EV a vidlicou alebo integrovanou riadiacou skrinkou do kábla prúdový chránič definovaný v IEC 61540 a IEC 62335 spolu s riadiacou funkciou. Umiestnenie integrovanej riadiacej skrinky musí byť do 0,3 m od vidlice alebo EVSE, prípadne vo vidlici. V krajine ako USA sú doplnujúce požiadavky týkajúce sa pripojenia šnúry a vidlice

na striedavú sieť s menovitými údajmi od 20 A a 125 V (striedavá hodnota) a taktiež nutnosťou doplnenia zariadenia, ktoré meria unikajúci prúd a v stanovených úrovniach ho vypína v závislosti od vyžadovanej frekvencie. V Nemecku musí byť integrovaná riadiaca skrinka umiestnená maximálne 2 m od vidlice alebo vo vidlici.

- **Režim nabíjania 3:** pripojenie EV na rozvodnú sieť s využitím napájacieho zariadenia, pri ktorom je riadiaca funkcia rozšírená aj pre zariadenie EVSE, ktoré je trvalo pripojené k sieti.
- **Režim nabíjania 4:** pripojenie EV je realizované na rozvodnú sieť pomocou mimopalubnej (off-board) nabíjačky, pri ktorom je riadiaca funkcia rozšírená k zariadeniu trvalo pripojenému k sieti[3].

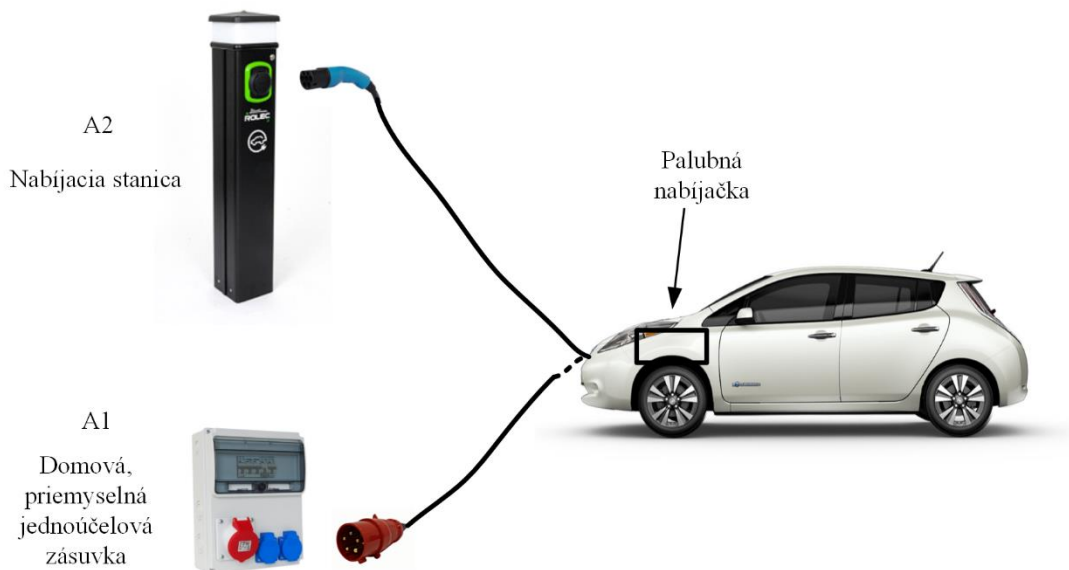
### 3.2 Spôsob pripojenia EV pomocou káblov a vidlíc

Pripájanie EV za účelom nabíjania k elektrickej striedavej sieti je možné podľa STN EN 61851-1 vykonať troma rôznymi metódami:

#### 3.2.1 Typ pripojenia A

Tento typ prepojenia na rozvodnú sieť je realizovaný pomocou vidlice a kábla trvalo pripojených k elektrickému vozidlu (Obr. 3.2). Pri tomto spôsobe nabíjania je možné vidlicu na konci nabíjacieho kábla pripojiť na:

- domovú alebo priemyselnú zásuvku (A1),
- osobitnú nabíjaciu stanicu (A2)[3].



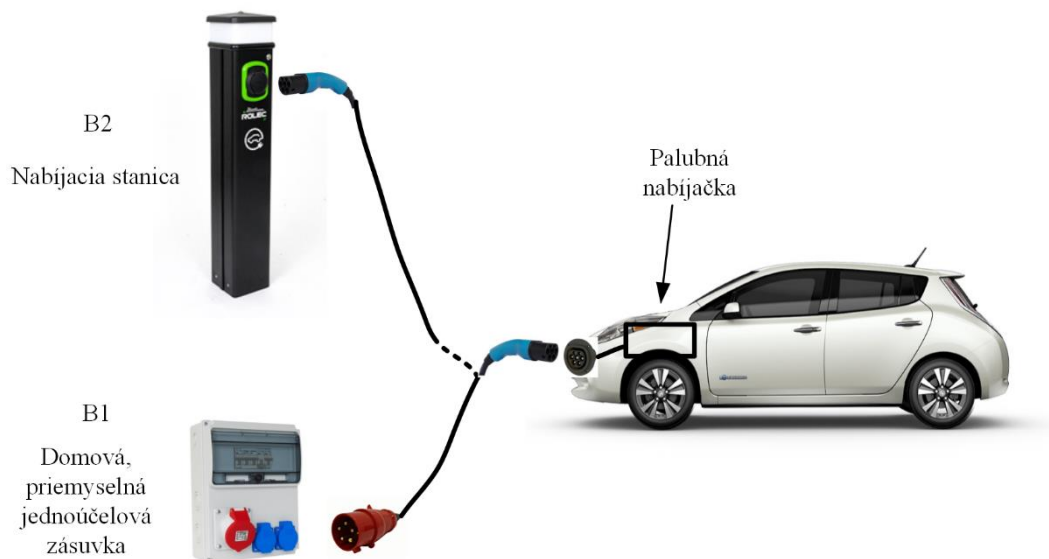
Obr. 3.1 „A“ spôsob pripojenia EV na striedavé napätie[3] zdroj: google.sk

#### 3.2.2 Typ pripojenia B

V tomto prípade prepojenie EV s rozvodnou sieťou je realizované káblou sústavou (Obr. 3.2), ktorú je možné odpojiť od vozidla aj od zdroja striedavého napätia. Na jednej strane nabíjacieho kábla sa nachádza vozový konektor a na druhej pripojenie zodpovedá:



- domovej alebo priemyselnej zásuvke inštalovanej na stene (B1),
- špecifickej nabíjacej stanici (B2)[3].



Obr. 3.2 „B“ spôsob pripojenia EV na striedavé napätie[3] zdroj: google.sk

### 3.2.3 Typ pripojenia C

Tento typ pripojenia EV na rozvodnú sústavu je charakteristický tým, že nabíjací kábel s vozidlovým konektorom je trvalo inštalovaný k NS. Iba pri tomto type pripojenia je možné používať pre nabíjanie EV režim nabíjania 4. Spôsob pripojenia je ilustrovaný na Obr. 3.3 [3].



Obr. 3.3 „C“ spôsob pripojenia EV na rozvodnú sústavu [3] zdroj: google.sk

## 3.3 Funkcie zabezpečené počas nabíjania

### 3.3.1 Povinné funkcie v režimoch 2 a 3

Nutnosť zabezpečenia EVSE alebo EVSE so systémom vozidla, tieto funkcie:

- kontrola správnosti pripojenia EV,
- stála kontrola spojenia vodiča ochranného uzemnenia,
- napájanie systému,

- prerušenie dodávky energie do káblovej sústavy[3].

### 3.3.2 Voliteľné funkcie v režimoch 2 a 3

Uvedené funkcie môže zabezpečovať EVSE alebo EVSE so systémom vozidla:

- voľba rýchlosti nabíjania,
- určenie požiadaviek na ventiláciu nabíjacieho priestoru,
- nastavovanie dostupného nabíjacie prúdu v reálnom čase,
- mechanické zaistenie/uvoľnenie prepojenia,
- riadenie obojsmerného toku výkonu do EV a z neho[3].

### 3.3.3 Povinné funkcie v režime 4

Povinné funkcie pri DC nabíjaní:

- overenie spojenia EVSE s EV,
- stála kontrola spojenia,
- nabudenie celého systému,
- odbudenie celého systému,
- zdroj DC pre EV,
- meranie napätia a prúdu,
- zachytenie/uvoľnenie konektoru,
- uzamknutie konektoru,
- posúdenie kompatibility EVSE s EV,
- testovanie izolácie voči zemi pred nabíjaním,
- ochrana pred vznikom prepätia na batérii,
- overenie konektora vozidla na napätie,
- kontrola integrity napájacieho obvodu,
- skratový test pred nabíjaním,
- prerušenie nabíjania užívateľom,
- ochrana pred preťažením vodičov,
- ochrana pred trvalým prepätím[6].

### 3.3.4 Voliteľné funkcie v režime 4

Tieto funkcie sú odporúčané pre DC nabíjanie v režime 4:

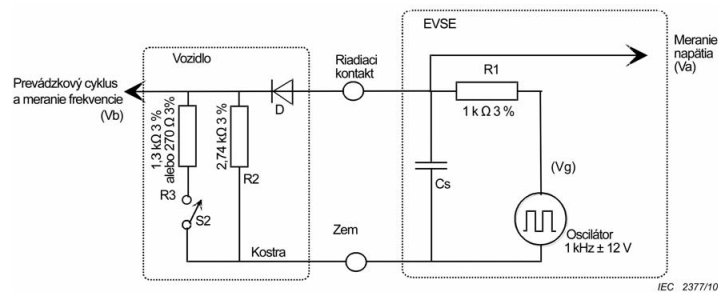
- ventilácia priestoru nabíjačky,
- meranie/úprava v reálnom čase odoberaného prúdu napájacieho zariadenia,
- výber nabíjacieho prúdu,
- prebudenie DC nabíjačky pomocou EV,
- indikačné prostriedky na informovanie užívateľa o uzamknutí konektora[6].

### 3.4 Nabíjanie v režimoch 2 a 3

V tejto časti je opísaný princíp činnosti nabíjajúcich systémov, ktoré pre riadiacu funkciu nabíjania používajú obvod riadiaceho vodiča s moduláciou PWM s cieľom nastavenia dostupnej úrovne prúdu v režimoch nabíjania 2 a 3. Na Obr. 3.4 je znázornená schéma riadiaceho vodiča, pre ktorý sú typické tieto stavy uvedené v Tab. 3.1:

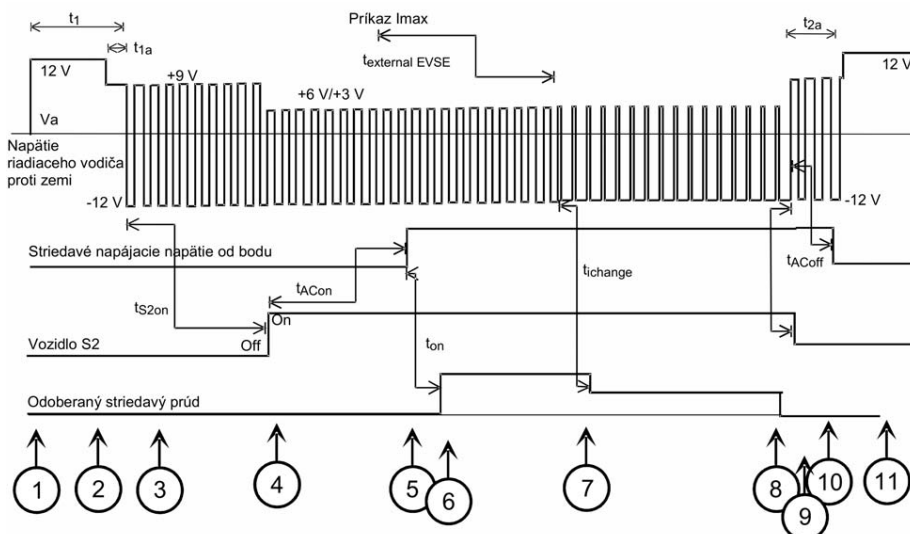
Tab. 3.1 Stavy riadiacej funkcie [3]

Stav	Pripojenie	S2	Nabíjanie	Va	Poznámka
A	nie	zopnutý	nie	12 V	Vb=0 V
B	áno	zopnutý	nie	9 V	R2 je detegovaný
C	áno	zopnutý	pripravené	6 V	Nevyžaduje sa ventilácia
D	áno	zopnutý	pripravené	3 V	Vyžaduje sa ventilácia
E	áno	rozpojený	nie	0 V	Vb = 0 V, problém so sieťou alebo nie dostupné napätie EVSE
F	áno	rozpojený	Nie	-12 V	EVSE nie je k dispozícii



Obr. 3.4 Obvod riadiaceho vodiča [3]

Na Obr. 3.5 je znázornený proces typického nabíjacieho cyklu v rozhraní EV a EVSE, kde sú číselne označené jednotlivé udalosti. Prehľad udalostí je uvedený v Tab. 3.2.

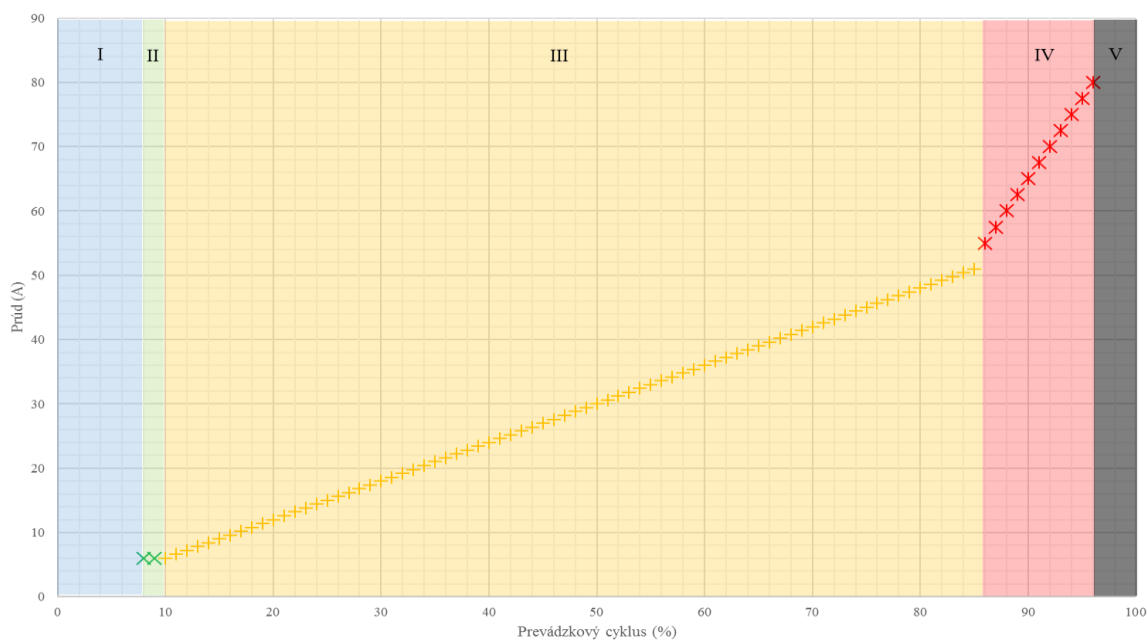


Obr. 3.5 Priebeh riadiaceho signálu počas procesu nabíjania [3]

Tab. 3.2 Opis nabíjacieho cyklu za normálnych prevádzkových podmienok [3]

Číslo	Stav	Podmienky
1	A	EV je odpojené od EVSE.
2	B	EV je pripojené káblovou zostavou k EVSE.
3	B	EVSE je schopné dodávať energiu do vozidla prostredníctvom prevádzkového cyklu.
4	B→, C, D	Vozidlo indikuje EVSE pomocou zopnutého kontaktu S2, že je schopné prijímať energiu.
5	C, D	EVSE uvádza obvod do spojeného stavu.
6	C, D	Odoberaný prúd EV. Časovanie a priebeh prúdu sú určované vozidlom. Prúd by nemal prevyšovať parametre definované v prevádzkovom cykle.
7	C, D	Vonkajšia požiadavka na redukcii výkonu. Môže byť ovládaná zo siete alebo EVSE. Vozidlo reguluje výkon podľa prevádzkového cyklu.
8	C, D	Koniec nabíjania EV, o ktorom rozhoduje vozidlo.
9	C, D, →B	Požiadavka na odpojenie vozidla od EVSE, rozpojenie kontaktu na vzdialenosť oddialenia.
10	B	EVSE deteguje rozpojenie S2, čo zodpovedá stavu B.
11	A	Úplné odstránenie káblvej zostavy z EV alebo EVSE, detegované 12 V signálom.

Riadiacim obvodom sa nastavuje prevádzkový cyklus zodpovedajúci limitu prúdu, ktorý je EVSE schopný dodávať do vozidla. Obmedzujúce sú elektromechanické prvky v EVSE ako napríklad vodiče, relé, stýkače a miestne podmienky pripojenia na sieť[4].



Obr. 3.6 Grafické znázornenie maximálneho prúdu odoberaného vozidlom

Vzťah medzi dostupným prúdom a prevádzkovým cyklom je definovaný dvoma rovnicami. Pre prúd od 6-51 A platí (3.1):

$$\text{Dostupný prúd} = \text{Prevádzkový cyklus} \cdot 0,6 \text{ (A; \%)} \quad (3.1)$$

Pre prúd od 51 A do 80 A platí rovnica (3.2) [3]:

$$\text{Dostupný prúd} = (\text{Prevádzkový cyklus} - 64) \cdot 2,5 \text{ (A; \%)} \quad (3.2)$$

Maximálny prúd odoberaný vozidlom je stanovený normou STN EN 61851-1 podľa prevádzkového cyklu. Na Obr. 3.1 je vykreslený priebeh odoberaného prúdu v závislosti na prevádzkovom cykle pre nabíjacie režimy 2 a 3. Prevádzkový cyklus je farebne rozdelený na 5 častí:

- I. Prevádzkový cyklus < 3%, nabíjanie v tejto oblasti nie je povolené. Od 3 – 7 % indikuje, že digitálna komunikácia sa použije na ovládanie jednosmernej mimopalubnej (off-board) nabíjačky alebo palubnej (on-board) nabíjačky na striedavý prúd. Taktiež nabíjanie nie je povolené v 7- 8 % prevádzkového cyklu.
- II. V oblasti 8 – 10 % je možné nabíjať prúdom 6 A.
- III. Oblasť 10 – 85 % prevádzkového cyklu je definovaná rovnicou dostupného prúdu (3.1).
- IV. Oblasť 85 – 96 % prevádzkového cyklu je definovaná rovnicou dostupného prúdu (3.2).
- V. Pre 97 % prevádzkového cyklu je maximálny prúd 80 A. Pri väčších hodnotách prevádzkového cyklu ako 97 % nabíjanie nie je dovolené [3].

### 3.5 Nabíjanie v režime 4

DC nabíjanie je navrhnuté v prípade potreby na vysoký výkon nabíjania (50 kW a viac). Hlavná časť nabíjacích komponentov je umiestnená mimo vozidla v nabíjacej stanici. Energia do vozidla sa prenáša ako jednosmerný prúd alebo napätie z mimopalubnej nabíjačky. Proces nabíjania je riadený vozidlom, ktoré nastavuje parametre prúdu a napätia v mimopalubnej nabíjačke. S cieľom zabezpečiť dostatočnú úroveň bezpečnosti pri týchto vysokých úrovniach nabíjania si musí nabíjačka a vozidlo vymieňať informácie v milisekundách s vysokou spoľahlivosťou. IEC TC 69 má dve časti pre jednosmerné nabíjanie. V oboch sa riešia technické aspekty nabíjania, ako napríklad status vozidla a nabíjacie požiadavky. V IEC 61851-23 sú stanovené všeobecné požiadavky na DC mimopalubné nabíjačky [5]. Bližšie špecifikované podmienky a požiadavky na komunikáciu DC nabíjačiek sú stanovené v IEC 61851-24.

Kľúčové kroky pri riadení nabíjacieho procesu je štart nabíjania a normálne alebo núdzové ukončenie nabíjania. Tieto kroky musia byť riadené základnou komunikáciou s výmenou signálu cez riadiacu linku jednosmerného nabíjacieho systému. Okrem základnej komunikácie nabíjacia stanica musí byť vybavená digitálnymi komunikačnými prostriedkami za účelom výmeny riadiacich parametrov medzi NS a EV a to prostredníctvom komunikácie na vyššej úrovni:

- CAN (control area network), špecifikované v ISO 11898-1,
- PLC (power line communication) [6].

Prehľad stavov nabíjania EV je v Tab. 3.3 Tab. 3.1, kde sú uvedené podmienky, za ktorých daný stav prebieha a čo sa deje na úrovni komunikácie. Následne v Tab. 3.4 sú použité jednotlivé stavy znázorňujúce priebeh nabíjania EV jednosmernou NS za normálnych okolností bez neočakávaného prerušenia alebo vyskytnutia poruchy.

Tab. 3.3 Stavy nabíjania EV[6]

Stav		Pripojenie	Zopnutý stýkač EV	Nabíjanie	Popis
DC-A	Nepripojené	Nie	Nie	Nie	Vozidlo nepripojené
DC-B1	Inicializácia	Áno	Nie	Nie	Vozidlo pripojené/ nemožné prijať energiu/ komunikácia neplatná/ konektor odomknutý
DC-B2		Áno	Nie	Nie	Vozidlo pripojené/ nemožné prijať energiu/ komunikácia platná/ konektor odomknutý
DC-B3		Áno	Nie	Nie	Vozidlo pripojené/ nemožné prijať energiu/ komunikácia platná/ konektor uzamknutý/ podporné procesy nedokončené
DC-C	Prenos energie	Áno	Áno	Áno	Vozidlo pripojené/ možné prijať energiu/ komunikácia platná/ vnútorná ventilácia EVSE nepožadovaná/ konektor uzamknutý/ podporné procesy hotové
DC-D		Áno	Áno	Áno	Vozidlo pripojené/ možné prijať energiu/ komunikácia platná/ vnútorná ventilácia EVSE požadovaná/ konektor uzamknutý/ podporné procesy hotové
DC-B'1	Ukončenie	Áno	Áno	Áno	Vozidlo pripojené/ nabíjanie ukončené/ komunikácia udržiavaná/ konektor uzamknutý
DC-B'2		Áno	Nie	Nie	Vozidlo pripojené/ nabíjanie ukončené/ komunikácia udržiavaná/ konektor uzamknutý/ podporné procesy hotové
DC-B'3		Áno	Nie	Nie	Vozidlo pripojené/ nabíjanie ukončené/ komunikácia udržiavaná/ konektor odomknutý

Stav		Pripojenie	Zopnutý stýkač EV	Nabíjanie	Popis
DC-B'4		Áno	Nie	Nie	Vozidlo pripojené/ nabíjanie ukončené/ komunikácia ukončená/ konektor odomknutý
DC-E	Chyba	Áno	Nie	Nie	DC nabíjačka odpojená od vozidla/ DC nabíjačka odpojená od siete/ DC nabíjačka stratila napätie siete
DC-F	Porucha	Áno	Nie	Nie	Ostatné problémy DC nabíjačky



Tab. 3.4 Proces nabíjania za normálnych okolností[6]

Proces	Stav	Popis
Inicializácia	DC-A	Vozidlo odpojené
	DC-B1	Konektor pripojený k vozidlu
	DC-B1	Prebudenie DCCCF a VCCF
	DC-B1	Inicializácia komunikácie
	DC-B1→DC-B2	Komunikácia umožnená, parametre vymenené a overená kompatibilita
	DC-B2→DC-B3	Konektor uzamknutý
	DC-B3	Test izolácie DC výkonových vodičov
	DC-B3	Obmedzenie nábehovej špičky prúdu „pre-charge“
Prenos energie	DC-C alebo DC-D	Stýkač vozidla zopnutý
	DC-C alebo DC-D	Odber prúdu (režim konštantného prúdu)
	DC-C alebo DC-D	Odber napätia (režim konštantného napätia)
	DC-C alebo DC-D→DC-B'1	Obmedzovanie prúdu
	DC-C alebo DC-D	Opätovná kontrola parametrov
Ukončenie	DC-B'1	Potvrdenie nulového prúdu
	DC-B'1→DC-B'2	Overenie, či nedošlo k zvaru kontaktov
	DC-B'2	Rozopnutie stýkača vozidla
	DC-B'2	Overenie napätia na DC výkonových vodičoch
	DC-B'3	Odomknutie konektora
	DC-B'4	Ukončenie komunikácie
	DC-A	Odpojenie konektora

### 3.6 Nabíjacie konektory

Prepojenie medzi nabíjacou stanicou a elektromobilom je realizované pomocou nabíjacích káblov vybavených špeciálnymi konektormi, ktoré podliehajú štandardizácii tak ako na strane nabíjačky, tak aj na strane EV. Svetoví výrobcovia elektromobilov presadzujú rôzne typy nabíjacích konektorov podľa krajiny, kde pôsobia. Takto je možné rozlišovať konektory americké, európske a japonské, ktoré nie sú vždy medzi sebou kompatibilné [7].

#### 3.6.1 CHAdeMO

CHAdeMO bola prvá metóda DC rýchlonabíjania vyvinutá v roku 2010 spoločnosťami Tokyo Electric Power Company (TEPCO) a Fuji Heavy Industries a taktiež automobilkami Nissan a Mitsubishi. Neskôr sa k týmto spoločnostiam pripojila automobilka Toyota. Napriek tomu, že CHAdeMO má japonský pôvod na tento štandard nadviazali spoločnosti z celého sveta. Dôkazom je rozmiestnenie CHAdeMO DC rýchlonabíjačiek po celom svete. Viac ako 430 organizácií z 26 krajín celého sveta sú zastúpené v CHAdeMO združení. Podľa zdroja [8] je aktuálne vo svete inštalovaných 13 295 týchto DC rýchlonabíjačiek [10].

V skutočnosti nie len japonský výrobcovia automobilov (Nissan Leaf alebo Mitsubishi iMiEV) používajú CHAdeMO štandard nabíjania, ale aj výrobcovia z iných regiónov sveta ako napríklad Peugeot (Peugeot ion) alebo Citroën (Citroën v-Zero). Okrem toho nabíjačky japonského štandardu CHAdeMO vyrábajú výrobcovia z krajín celého sveta. Tento typ nabíjania sa stal v roku 2010 ako prvý certifikovaný systém na svete pre rýchle nabíjanie, aby sa zabezpečila kompatibilita nabíjačiek s vozidlami rôznych výrobcov. Certifikačný proces pozostáva z piatich krokov a zahŕňa základné požiadavky na elektrický obvod, sekvenčné riadenia a komunikačný protokol. V súčasnej dobe existuje len päť subjektov akreditovaných podľa CHAdeMO, aby vykonávali certifikačné testy: IDIADA (Španielsko), UL JAPAN (Japonsko), TÜV Rheinland Japan (Japonsko) a TERTEC (Tajvan)[10].

Zopár príkladov výrobkov nabíjačiek od výrobcov Enel, Blink a ABB je uvedený na Obr. 3.7.



Obr. 3.7 CHAdeMO nabíjačky [8], [9]

CHAdeMO využíva komunikačný protokol medzi nabíjačkou a EV pomocou zbernice CAN. Prostredníctvom tohto komunikačného protokolu je zabezpečená komunikácia medzi EV a mimopalubnou (off-board) nabíjačkou, počas ktorej EV požaduje potrebné množstvo energie na

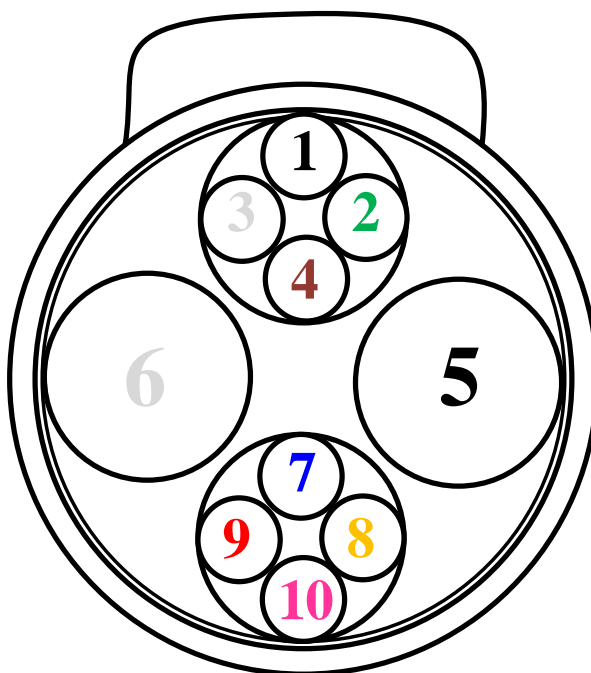
dobitie s uvedením konkrétnych hodnôt napätia a prúdu pre čo najrýchlejšie nabitie založené na výkonnosti a kondícii batérie[10].

Špecifikácia CHAdeMO konektora je stanovená medzinárodným štandardom IEC 62196-3. Hlavné parametre sú uvedené Tab. 3.5.

Tab. 3.5 Parametre CHAdeMO[10]

CHAdeMO konektor	
Maximálny prúd	120 A (DC)
Maximálne napätie	500 V (DC)
Maximálny výkon	50 kW
Maximálny prúd (riadiaci systém)	7 A (DC)
Maximálne napätie (riadiaci systém)	12 V (DC)
Komunikačný protokol	CHAdeMO
Trieda IP	44 (pripojené s EV)

Konektor CHAdeMO bol navrhnutý tak, aby sa zabezpečil pomer prenášaného výkonu k ergonómii, spoľahlivosti a jednoduchosti riešenia. Rozhranie konektora je kruhového tvaru o priemere 70 mm. Špecializovaná zástrčka umožňuje pohodlné spojenie s konektorom a je určená na dennodenné používanie. Pokiaľ ide o bežné AC nabíjanie, kompatibilné vozidlá CHAdeMO využívajú konektory TYP 1 a TYP 2 (EIC 62196-2). AC a DC prírody môžu byť nezávisle umiestnené na stranách alebo na prednej časti EV. Jedná sa o bežnú prax v odbore elektrických zariadení rozlíšiť geometrickú konštrukciu spojovacieho rozhrania. Rôzne typy konektorov pre rôzne typy elektrickej energie (DC, AC, napäťové úrovne, atď.) sa aplikujú ako ochrana pred ľudským faktorom. Konštrukcia a usporiadanie kolíkov CHAdeMO konektora je vyobrazené na Obr. 3.8 s presnejšou špecifikáciou uvedenou v Tab. 3.6 [10].



Obr. 3.8 Rozmiestnenie kolíkov CHAdeMO[8]

Tab. 3.6 Popis jednotlivých kolíkov CHAdeMO konektora[10]

Kolík	Farba	Prierez (mm <sup>2</sup> )	Popis
1	Čierna	0,75	Uzemnenie
2	Zelená	0,75	Štart/Stop nabíjania
3	Biela		Prázdne
4	Hnedá	0,75	Povolenie/Zákaz nabíjania
5	Čierna	22-40	Silový vodič – záporný potenciál (-)
6	Biela	22-40	Silový vodič – kladný potenciál (+)
7	Modrá	0,75	Overenie spojenia konektoru s EV
8	Oranžová	0,75	CAN-H
9	Červená	0,75	CAN-L
10	Ružová	0,75	Štart/Stop nabíjania 2

### 3.6.2 Kombinovaný nabíjací systém (Combined Charging System -CCS)

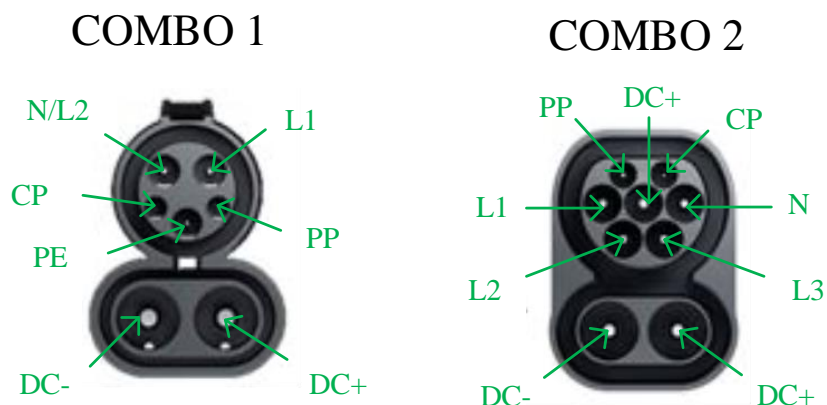
Súbežne s CHAdeMO niekoľko amerických a najmä európskych spoločností ako Audi, BMW, Daimler, Ford, General Motors, Porsche či Volkswagen, začali vyvíjať nový systém pre rýchle nabíjanie, takzvaný kombinovaný systém nabíjania alebo COMBO. Hlavným cieľom tejto iniciatívy podporovanej SAE (Standard American Equivalent) a ACEA (European Automobile Manufacturers Association) bolo vytvoriť jeden štandardizovaný globálny systém nabíjania AC (pomalé/rýchle nabíjanie) aj DC (rýchle nabíjanie) za použitia dvoch typov konektorov, ale iba za použitia jedného nabíjacieho kábla[10]. Modely konektorov a zásuviek sú vyobrazené v Obr. 3.9.

Obr. 3.9 Konektory COMBO európska a americká verzia zdroj: <http://insideevs.com/>

Dva modely COMBO boli vyvinuté na základe AC časti konektora:

- Combo 1 je riešenie pre americký trh a obsahuje konektor TYP 1 (SAE J1772 /EN 62196-2), ktorý je umiestnený v hornej časti.
- Combo 2 je riešenie pre európsky trh a obsahuje konektor TYP 2 (EN 62196-2), ktorý je tiež umiestnený v hornej časti.

Kolíky jednotlivých zásuviek sú zakreslené v Obr. 3.10 presná špecifikácia zdierok je v Tab. 3.7.



Obr. 3.10 Zásuvky konektorov COMBO

Tab. 3.7 Konfigurácia zdierok COMBO

Zdierka	Funkcia	Popis
<b>COMBO 1</b>		
PP	Komunikácia/ riadenie nabíjania	Kontakt priblíženia
CP		Riadiaci vodič
PE	Uzemnenie	Uzemnenie EV
N/L2	AC 1-fázové nabíjanie	Neutrál/ L2 fáza
L1		L1 fáza
DC-	DC nabíjanie	DC záporný potenciál
DC+		DC kladný potenciál
<b>COMBO 2</b>		
PP	Komunikácia/ riadenie nabíjania	Kontakt priblíženia
CP		Riadiaci vodič
PE	Uzemnenie	Uzemnenie EV
N	AC 3-fázové nabíjanie	Neutrál
L1		L1 fáza
L2		-
L3		L3 fáza
DC-	DC nabíjanie	DC záporný potenciál
DC+		DC kladný potenciál

V skutočnosti na začiatku roka 2013 štandard COMBO ešte nebol úplne vyvinutý a neboli žiadni výrobcovia nabíjačiek COMBO. Až na konci roka 2013 BMW a Volkswagen úspešne nainštalovali v Nemecku prvú COMBO rýchlonabíjačku a ešte v ten rok uviedli na trh prvé vozidlá s týmto typom zásuvky. Odvtedy počet nabíjacích miest rýchlo rastie a v súčasnosti ich existuje viac ako 2600 a to len v krajinách EU<sup>1</sup>. Výrobcovia podporujúci tento štandard vyrobili EV ako BMW i3, Chevrolet Spark EV alebo Volkswagen e-Golf. Automobilky spadajúce pod ACEA potvrdili, že od roku 2017 všetky nové typy vozidiel budú vybavené zásuvkami COMBO 2. ACEA podporuje tento typ zásuvky ako dlhodobý štandard EU pre nabíjanie AC/DC.

### 3.6.3 Tesla supercharger

Vozidlá od spoločnosti Tesla môžu používať mimopalubné (off-board) nabíjačky Tesla supercharger, ktorými je možné nabíjať EV až 120 kW. Tento výkon auto znižuje podľa stavu batérie. Čím je EV viac nabité, tým menší prúd je schopná batéria auta prijať. Tesla odporúča Supercharger-om nabíjať svoje autá Model S a Model X najviac do 80 % kapacity batérie. Pri takomto výkone je možné auto v priebehu 30 minút nabiť až na 270 km dojazdu[11]. Na Obr. 3.11 sú zobrazené konektory používané spoločnosťou Tesla. Na ľavej strane je zobrazený konektor používaný v Európe, jedná sa o upravený konektor Typ 2 a na pravej strane je typ konektora používaný Amerike.



Obr. 3.11 Konektory Tesla<sup>2 3</sup>

## 3.7 Nabíjacie charakteristiky EV

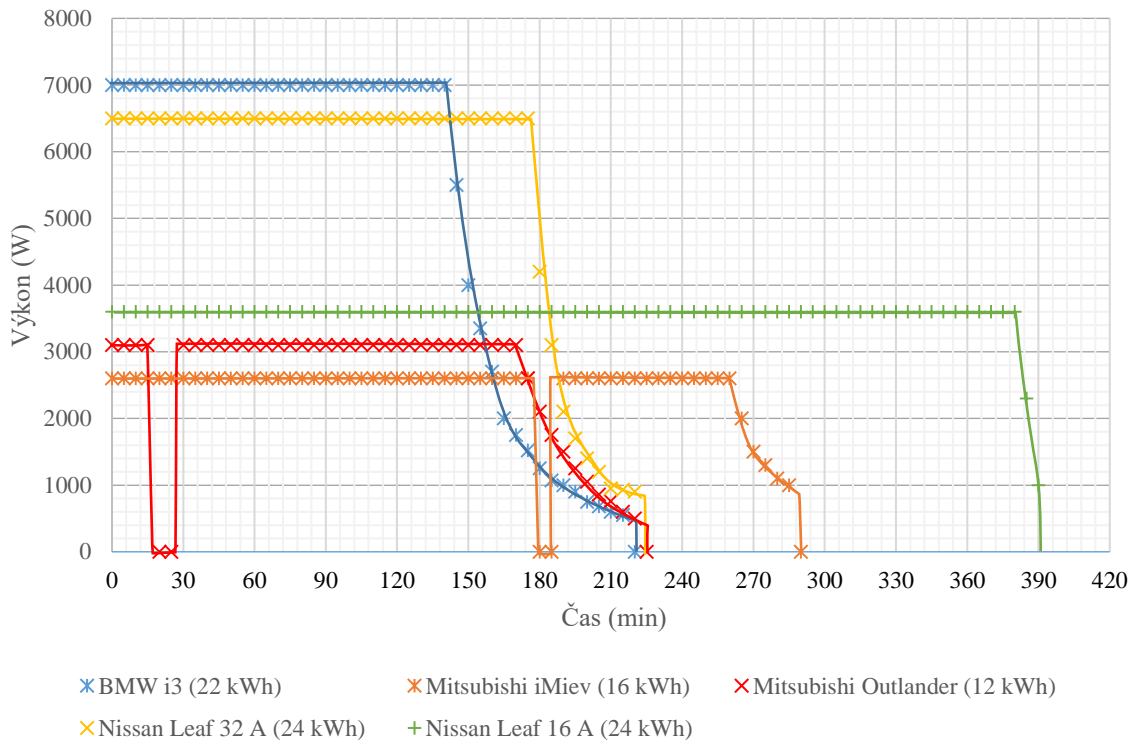
Na Obr. 3.12 sú znázornené charakteristiky nabíjania EV striedavým prúdom. Podľa uvedenej charakteristiky boli EV nabíjané z domových zásuviek pomocou nabíjacieho kábla dodávaného výrobcom vozidiel. Nabíjanie je uskutočňované jednofázovo napätím o menovitej hodnote 230 V. Čas nabíjania EV pri tomto spôsobe dosahuje rádovo až niekoľko hodín. Pre porovnanie na Obr. 3.13 sú znázornené charakteristiky nabíjania EV jednosmerným prúdom. Nabíjanie je realizované v prípade Nissan Leaf nabíjačkou CHaDeMO a štandard COMBO 2 je použitý pri nabíjaní vozidiel BMW i3 a Volkswagen e-Golf. Čas nabíjania pri použití DC nabíjačiek v porovnaní s AC nabíjačkami je výrazne kratší. V prípade elektromobilu Nissan Leaf nabíjanie AC prúdom

<sup>1</sup> <http://ccs-map.eu/>

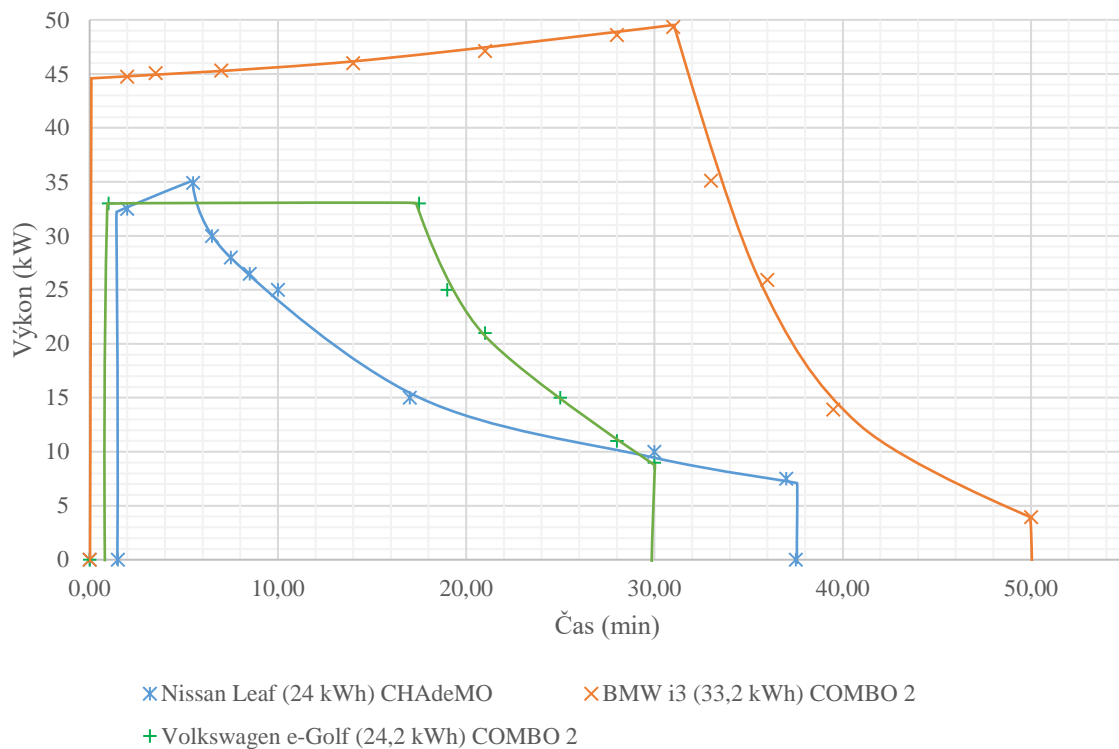
<sup>2</sup> [www.everipedia.com](http://www.everipedia.com)

<sup>3</sup> [www.silverstonegreenenergy.co.uk](http://www.silverstonegreenenergy.co.uk)

o veľkosti 16 A trvá približne 6,5 hodiny. Pri použití dvojnásobnej hodnoty AC prúdu 32 A sa nabíjací čas skráti približne na 3,5 hodiny. V prípade nabíjania technológiou CHAdeMo čas nabitia do 80% stavu batérie je okolo 40 minút.



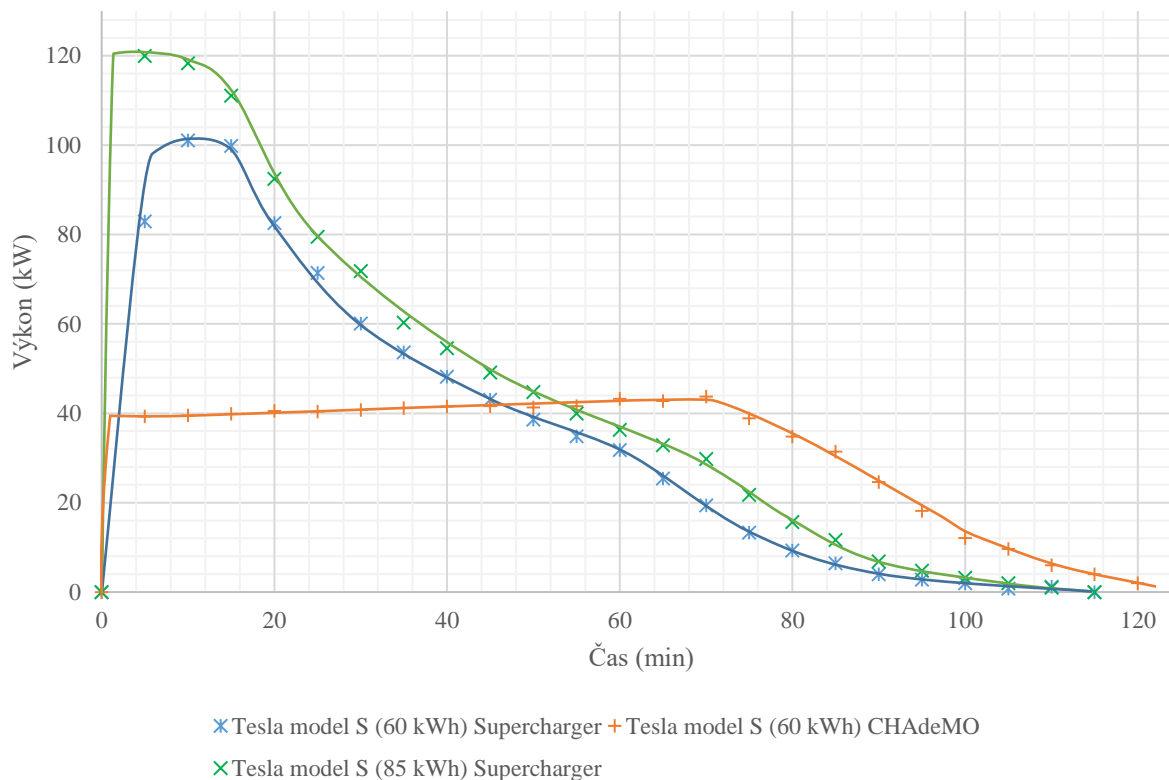
Obr. 3.12 Nabíjacia charakteristika EV- AC nabíjanie



Obr. 3.13 Nabíjacia charakteristika EV - DC nabíjanie (CHAdeMo a COMBO 2)



V porovnaní s elektromobilmi európskych a ázijských výrobcov Tesla EV majú výrazne väčšiu kapacitu batérie (60 – 100 kWh), čo im zabezpečuje väčší dojazd v závislosti od kapacity batérie 300 – 600 km. Do batérie s väčšou kapacitou treba dodať pre jej nabitie aj viac energie. V prípade Tesla Model S (85 kWh) nabíjanie AC 3x16 A (11 000 kW) trvá viac než 8 hodín. Z dôvodu skrátenia času nabíjania spoločnosť Tesla Motors vyvinula Supercharger, ktorý dokáže nabíjať výkonom až 120 kW. Technológiu Supercharger na princípe DC nabíjania od spoločnosti Tesla Motors môžu využívať iba elektromobily Tesla (Model S, Model X a pripravovaný Model 3). Na Obr. 3.14 je znázornená charakteristika nabíjania Tesla Model S s kapacitou batérie 60 kWh a 85 kWh. Pre lepší prehľad o veľkosti nabíjacieho výkonu elektromobilu Tesla Model S 60 kWh je nabíjanie realizované Supercharger-om a CHAdeMO-m.



Obr. 3.14 Nabíjacia charakteristika Tesla model S - DC nabíjanie (Supercharger a CHAdeMO)

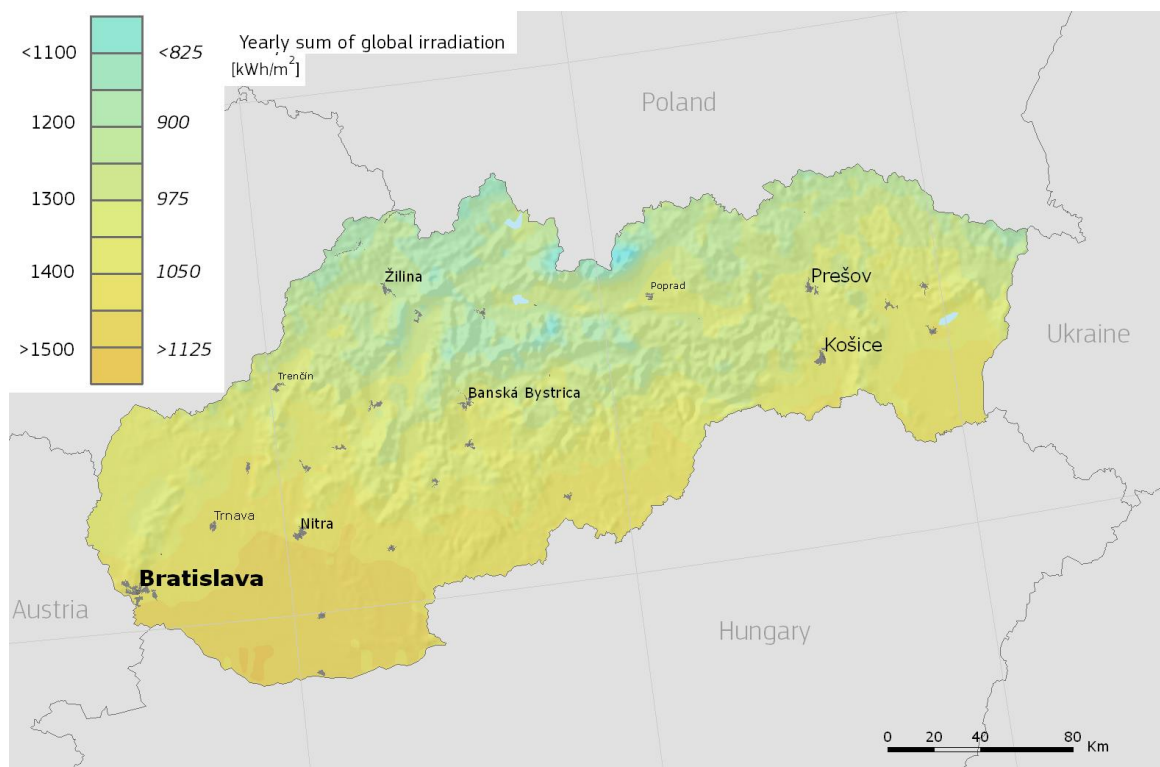


## 4 ANALÝZA VYUŽITIA OZE A USKLADŇOVANIA ENERGIE PRE NABÍJANIE EV

Aktuálnym trendom pri nabíjaní EV je využívanie obnoviteľných zdrojov energie, ktoré napomáhajú optimalizovať a zlepšovať energetickú účinnosť celého systému. Obnoviteľné zdroje sú charakteristické nestabilnou výrobou elektrickej energie, ktorá sú veľmi závislé na aktuálnych klimatických podmienkach. Taktiež nabíjanie vozidiel je charakteristické nestabilným odberom výkonu zo siete v priebehu dňa. Tento náhodný charakter správania sa obnoviteľného zdroja a nabíjania EV je potrebné stabilizovať vhodným riadením a akumuláciou elektrickej energie.

### 4.1 Fotovoltický systém pre nabíjanie EV

Z pohľadu rozšírenia obnoviteľných zdrojov v strede Európy, kde leží Slovensko a Česká republika sa využíva hlavne energia zo slnečného žiarenia. Priama premena energie slnečného žiarenia na elektrickú funguje na princípe fotoelektrického javu, ktorý prebieha vo vnútri fotovoltického článku. Teoretické množstvo energie dopadajúce za jednotku času na jednotkovú plochu sa nazýva *slnečná konštanta* a jej hodnota je približne  $\lambda_0 = 1360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Mierou zmenšenia intenzity tohto žiarenia je *súčiniteľ znečistenia Z*, ktorý závisí na obsahu prímies a atmosférickom tlaku vzduchu. Teoretické množstvo energie dopadajúcej na oslnenú plochu za deň je závislé na sklone panelu a súčiniteli znečistenia. Na Obr. 4.1 je uvedená slnečná mapa Slovenskej republiky, ktorá znázorňuje podľa geografickej polohy ročný súhrn osvit v  $\text{kWh}/\text{m}^2$ . Z mapy je možné zistiť, že najlepšie podmienky sú v oblasti Podunajskej nížiny[12].



Obr. 4.1 Mapa osvitú Slovenskej republiky zdroj: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

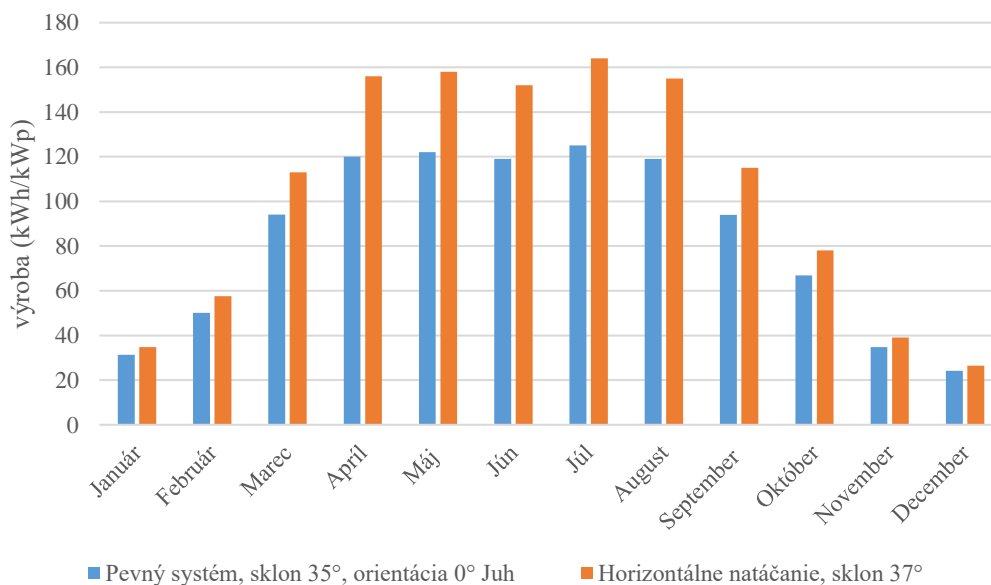
Hlavným materiálom pre výrobu fotovoltických článkov z kryštallického kremíka sú kremíkové doštičky (obvykle typu P) štvorcového tvaru o rozmeroch 200x200 mm. Začiatky výroby FV článkov boli spojené s monokryštallickým kremíkom. Potreba zníženia ceny vstupného

materiálu viedla k výrobe multikryštalického kremíka. Prehľad účinností jednotlivých typov fotovoltaických článkov je uvedený v Tab. 4.1 [12].

Tab. 4.1 Prehľad účinností jednotlivých typov fotovoltaických článkov [12]

Typ solárneho článku	Typická efektivita článkov za bežných podmienok	Maximálna nameraná efektivita článkov za bežných podmienok	Maximálna hodnota v ideálnom prípade
	(%)	(%)	(%)
Monokryštalický kremík	12-16	22	25
Multikryštalický kremík	11-14	16	20
Amorfny kremík	5-7	10	13
Telurid kademnatý	10	12	16

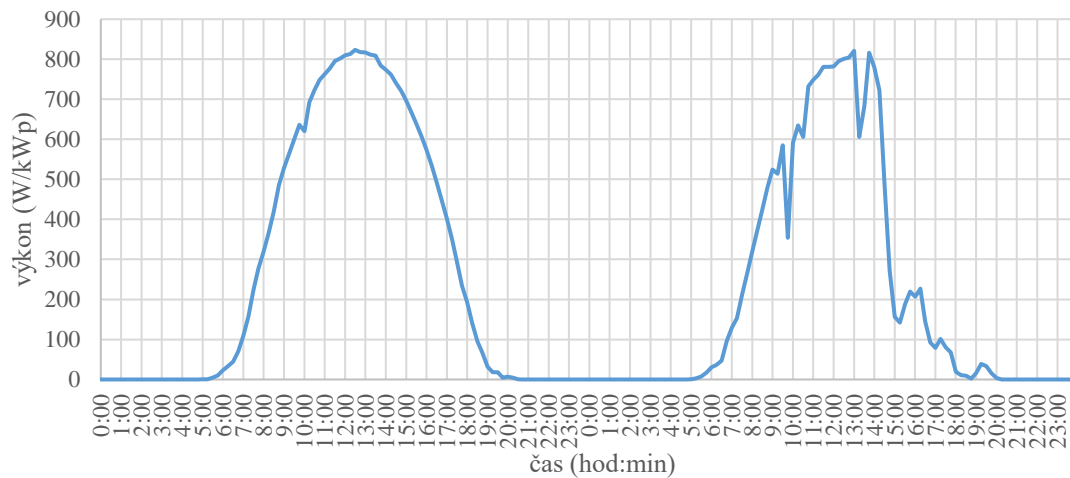
Na Obr. 4.2 je znázornené množstvo vyrobenej elektrickej energie z 1 kWp fotovoltaickej elektrárne s použitím technológie kryštalického kremíku v lokalite Brno pri zohľadnení strát celého FV systému 23,4 %. Obrázok znázorňuje stĺpcový graf, ktorý zahŕňa množstvo vyrobenej elektrickej energie fixného (modrý stĺpec) a horizontálne natáčaného (oranžový stĺpec) FV systému. Ako je z grafu zrejmé, výroba elektrickej energie zo slnečného žiarenia veľmi závisí od aktuálneho ročného obdobia.



Obr. 4.2 Množstvo ročnej vyrobenej el. energie 1 kWp pri statickom a horizontálne natáčanom systéme FVE zdroj: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Výroba elektrickej energie zo slnka nie je ovplyvnená len aktuálnym postavením zeme voči slnku, ale značnú úlohu zohráva aj počasie v danej lokalite. Na Obr. 4.3 je znázornený priebeh výroby FVE prepočítaný na 1 kWp. Získané dáta sú z lokality Dolné Plachtince (Slovensko) z dní

18.-19.06.2016. Z uvedeného obrázka vyplýva, že krivka na ľavej strane (18.06.2016) znázorňuje priebeh výroby FVE za slnečného bezoblačného počasia. Naopak krivka výroby na pravej strane (19.06.2016) je značne deformovaná v dôsledku zvýšenej oblačnosti v lokalite FVE.



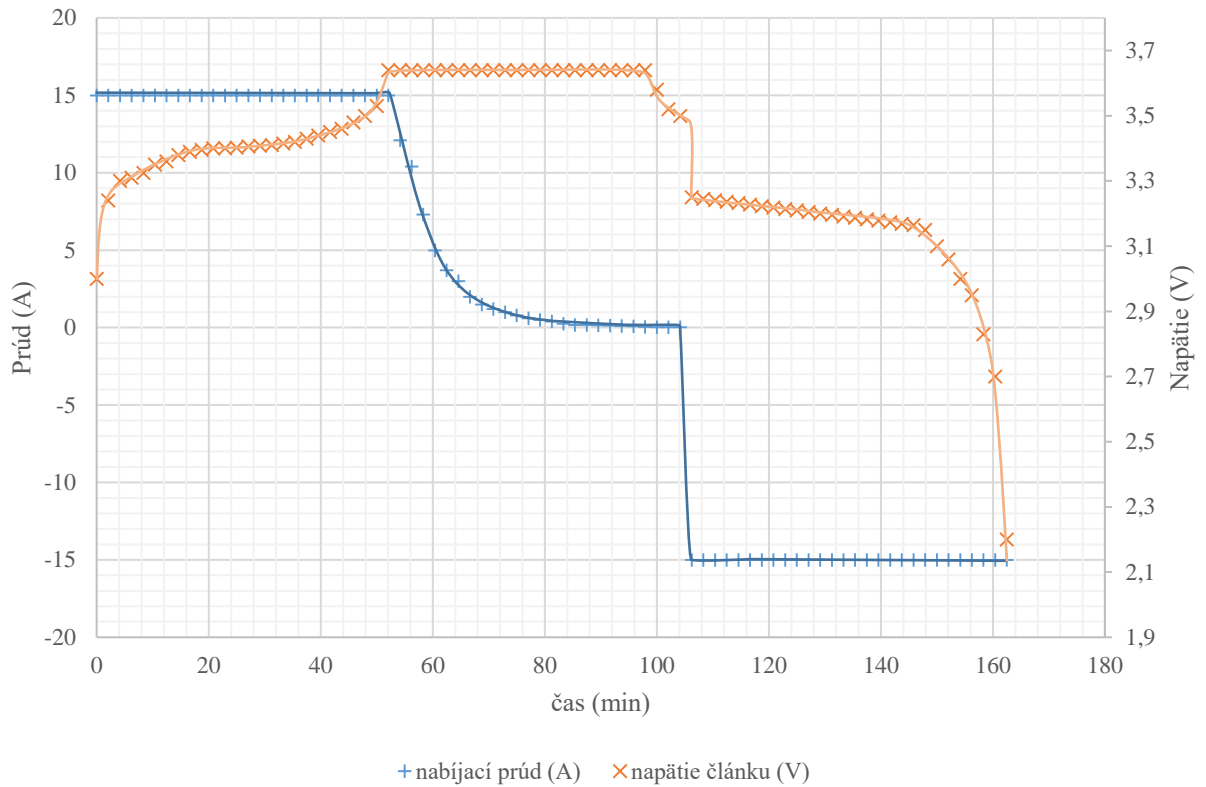
Obr. 4.3 Priebeh výroby 1 kWp fotovoltaickej elektrárne

## 4.2 Akumulácia energie pre nabíjaciu stanicu

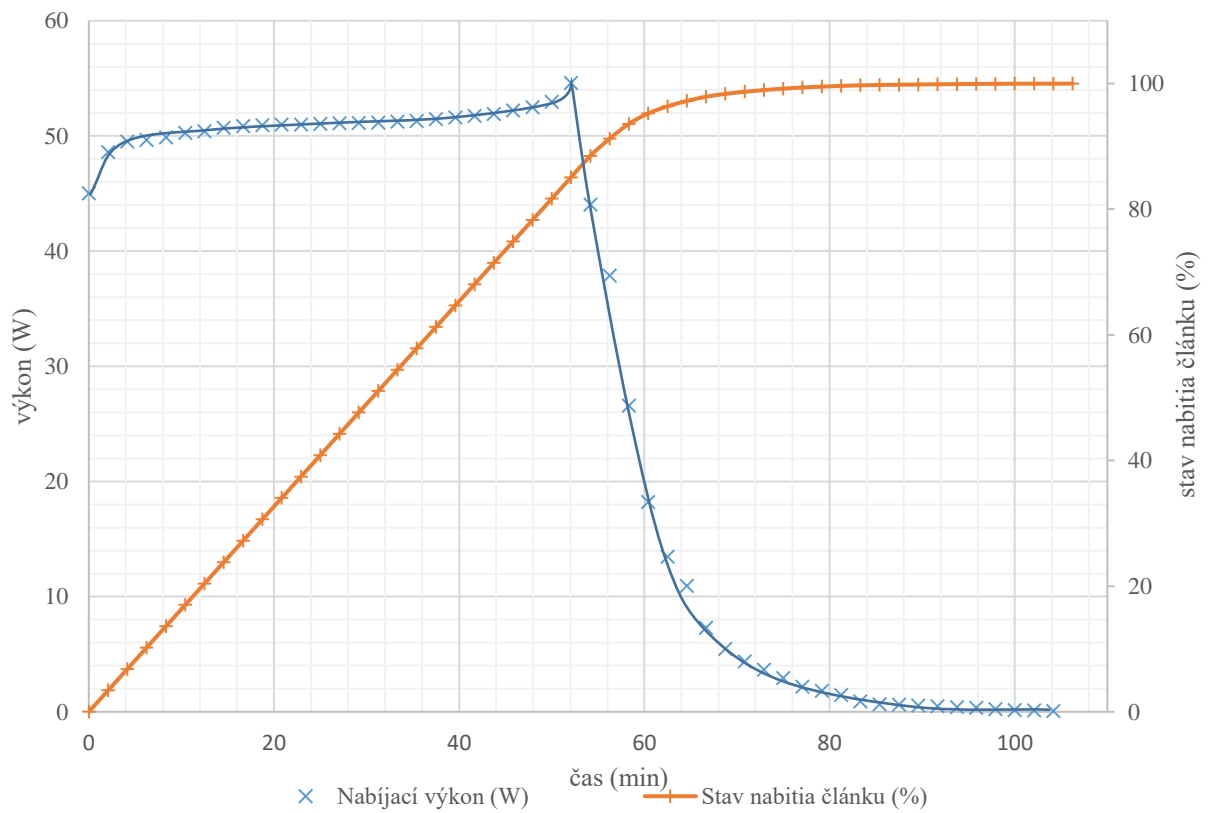
V prípade využívania fotovoltaického systému na napájanie nabíjacej stanice je veľmi výhodné použiť akumulčný zdroj elektrickej energie. To z dôvodu nesúdobného využívania nabíjacej stanice a výroby FVE. V takomto prípade dokáže akumulčný systém vyrovnávať prerušovanú výrobu FVE, prípadne prebytky energie uskladňovať na obdobie, kedy bude potrebná pre ďalšie nabíjanie. Možnosťou je ekonomicky optimalizovať celý nabíjací systém a to tak, že energia uskladnená v batériách sa bude používať pre nabíjanie v čase vysokého tarifu alebo v prípade nedostatočnej kapacity napájacej siete [13].

Pre požiadavky uskladňovania elektrickej energie z FVE sa hodia batérie LiFePo<sub>4</sub> vďaka vlastnostiam ako sú dlhá životnosť, vysoké prúdové zaťaženie, dobrá tepelná stabilita a bezpečnosť používania. Tento typ batérie vznikol v roku 1996 (Texas) objavom, že fosfát je vhodný materiál pre katódu nabíjateľnej lítiovej batérie. Li-fosfátová batéria ponúka vysoký elektrochemický výkon s malým odporom. Li-fosfátová batéria lepšie znáša podmienky plného nabitia. Na druhej strane má LiFePo<sub>4</sub> článok menšie menovité napätie 3,2 V porovnaním s lítium-iónovými článkami obsahujúcimi kobalt. Vplyv teploty na Li-fosfátové batérie je taký istý ako pri ostatných typoch batérií. Nízka teplota znižuje výkon a vysoká teplota skraca životnosť. V porovnaní s ostatnými lítiovými batériami (LiCoO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, NMC atď.) má Li-fosfátová batéria vyššie samovybíjanie [14].

Na Obr. 4.4 je vyobrazená voltampérová charakteristika LiFePo<sub>4</sub> článku 40152SE s menovitou kapacitou 15 000 mAh a výkonovou hustotou 100 Wh/kg, ktorá znázorňuje priebeh nabíjania a vybíjania v čase pri prúde 1 C (15 A). Článok je možné nabíjať konštantným prúdom do hodnoty 3,65 V alebo v prípade konštantného napätia prúdom 0,1-0,2 A. Maximálny nabíjací prúd výrobca uvádza 3 C (45 A), ale z dôvodu zachovania životnosti je odporúčaný prúd 0,5 C. Vybíjanie článku je možné do hodnoty napätia 2 V. Odporúčaný prúd vybíjania článku výrobca stanovuje na hodnotu 1 C. Maximálny kontinuálny vybíjací prúd je uvádzaný 5 C a krátkodobý pulzný vybíjací prúd netrvajúcí viac ako 30 sekúnd je 10 C (150 A). Samovybíjanie tvorí 2-3 % kapacity článku za mesiac [15].



Obr. 4.4 Voltampereová charakteristika nabíjania/vybíjania LiFePo4 článku [15]



Obr. 4.5 Výkonová charakteristika nabíjania LiFePo4 článku

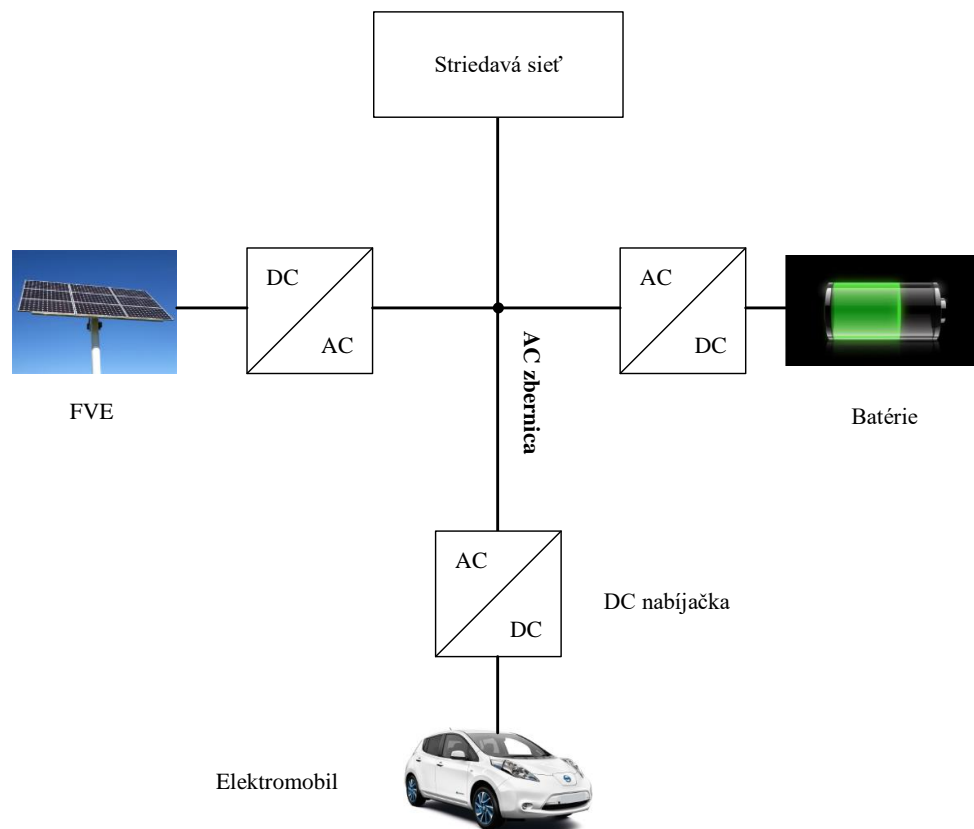
Na Obr. 4.5 je znázornená výkonová charakteristika nabíjacieho procesu LiFePo<sub>4</sub> článku. Nabíjanie článku na 100% kapacity trvá pri prúde 1 C približne 105 minút. V charakteristike je taktiež

vyobrazená percentuálna hodnota nabitia batérie v čase. Z percentuálnej krivky vyplýva, že nabíjanie konštantným prúdom je možné do hodnoty približne 85 % stavu nabitia batérie pri rýchlosti nabíjania 1,57 %/min. Od 85-100 % nabitia článku nabíjací prúd exponenciálne klesá a rýchlosť nabíjania sa spomaľuje. Proces nabitia v prípade uvedeného článku od 85% do úplného nabitia trvá približne 51 minút.

Uvedený článok  $\text{LiFePo}_4$  má kapacitu iba 15 000 mAh, avšak správnym sériovo-paralelným radením článkov vieme dosiahnuť batériu o požadovanej kapacite, menovitom napätí a prúdovom zaťažení.

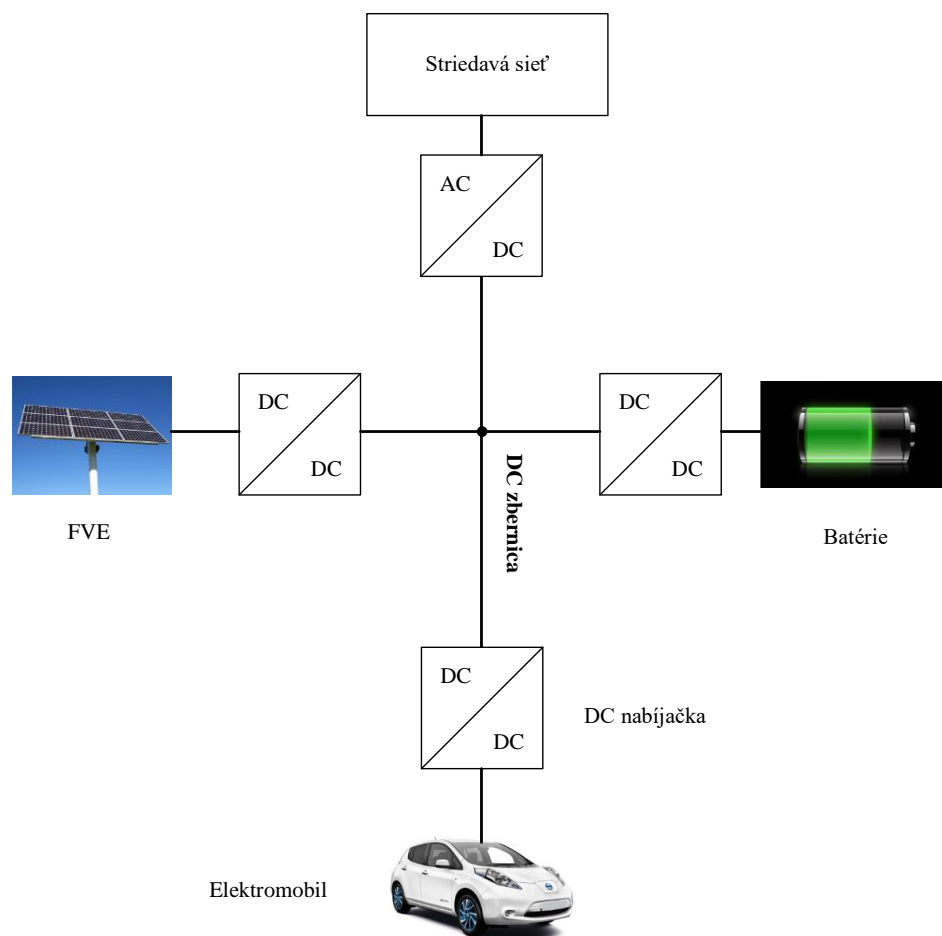
### 4.3 Štruktúra spojenia jednotlivých prvkov nabíjacej stanice

Pre prepojenie jednotlivých komponentov nabíjacej stanice s využitím obnoviteľných zdrojov energie a akumuláciou je možné použiť dva typy zbernic a to DC a AC. Už dlhé roky AC siete sú štandardným riešením energetických distribučných systémov pre domácnosti a premyslené aplikácie. Hlavné dôvody rozšíreného používania AC sietí sú vďaka jednoduchosti transformácie napätia na rôzne napäťové úrovne, výborným vlastnostiam prenosu výkonu na dlhé vzdialenosti a kompatibilita pripojenia s rotačnými strojmi elektrární. Dôsledkom toho je väčšina elektrických zariadení ako sú svietidlá, elektrické motory, domáce spotrebiče navrhnuté tak, aby boli kompatibilné s týmto štandardom. Štruktúra siete pre nabíjaciu stanicu s využitím OZE a akumuláciou je navrhnutá s AC zbernicou s priamym prepojením na distribučnú sieť tak, ako je znázornené v blokovej schéme na Obr. 4.6 [16].



Obr. 4.6 Nabíjacia stanica s využitím OZE a akumuláciou - AC zbernica

Jednosmerné rozvody sa využívajú v rôznych aplikáciách, ako sú priemyselné rozvody, telekomunikačné infraštruktúry, prenosy na dlhé vzdialenosti prostredníctvom podmorských káblov alebo ako prepojenie AC sietí s rôznymi frekvenciami. Dnešné zariadenia, napr. počítače, LED osvetlenie, frekvenčné meniče, domáce spotrebiče, kancelárska technika a pod., potrebujú pre svoju funkciu DC prúd. Všetky tieto zariadenia využívajú konverziu AC prúdu na DC, pričom vznikajú straty elektrickej energie. Vyrobená elektrická energia z fotovoltických systémov má charakter DC prúdu a pre pripojenie na distribučnú sieť je potrebné ju transformovať na AC, čo má za následok ďalšie straty. Konceptia inteligentných sietí v budúcnosti počíta s využitím DC zbernice ako alternatívnym spôsobom distribúcie elektriny z decentrálnych zdrojov, a to vďaka optimálnemu riadeniu a nižším stratám celého systému. Štruktúra prepojenia jednotlivých komponentov nabíjacej stanice s využitím OZE a akumuláciou fungujúca s DC zbernicou je znázornená na Obr. 4.7[16].

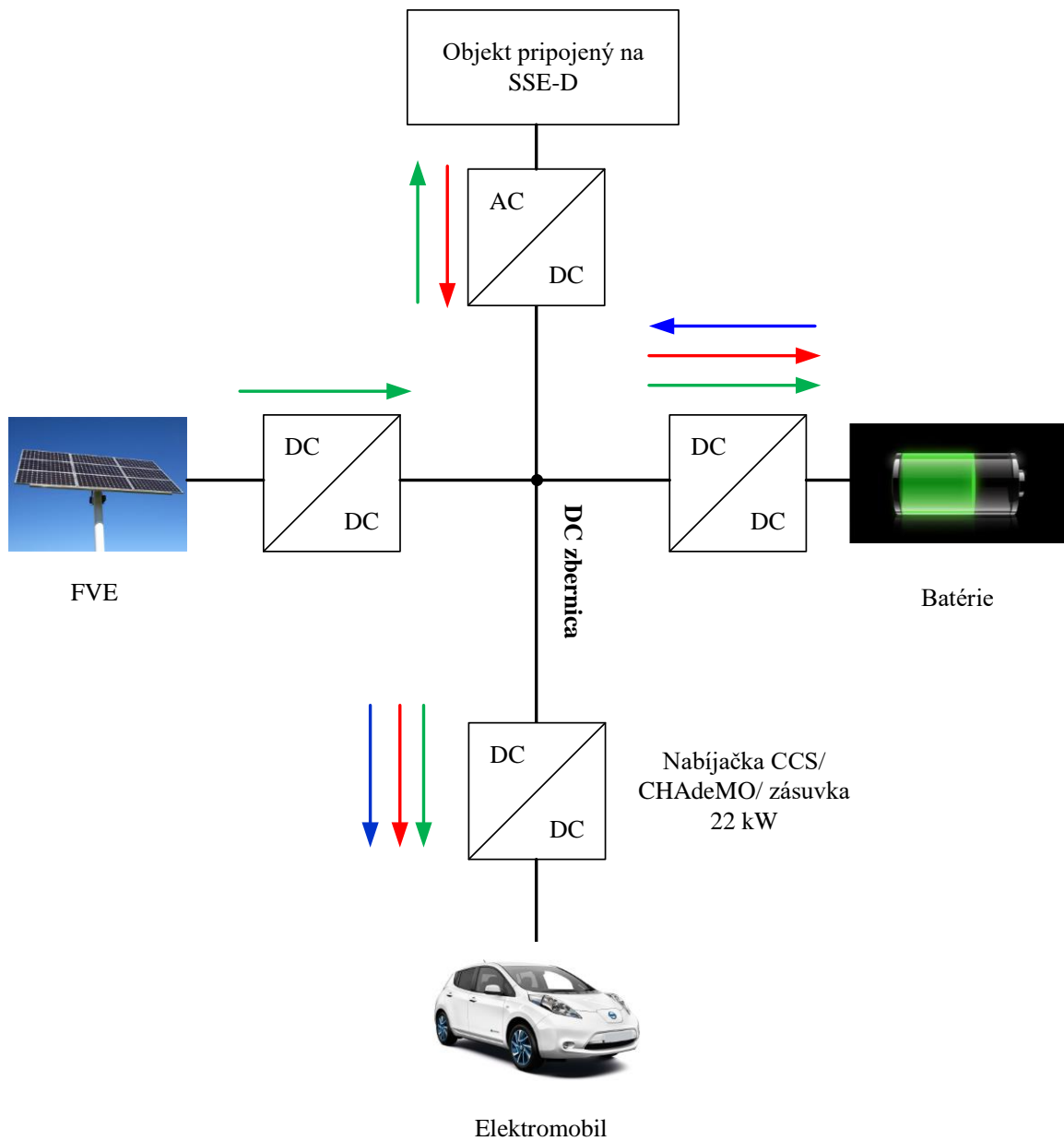


Obr. 4.7 Nabíjacia stanica s využitím OZE a akumuláciou - DC zbernica

## 5 NÁVRH KONCEPCIE NABÍJACEJ STANICE V SPOJENÍ FVE A AKUMULÁCIU

### 5.1 Návrh riešenia nabíjacej stanice

Na základe teoretického rozboru problematiky nabíjania elektromobilov a možností využitia obnoviteľných zdrojov v spojení s akumuláciou bola navrhnutá bloková schéma znázornená na Obr. 5.1. Ako reprezentuje schéma jedná sa o prepojenie distribučnej sústavy cez spoločnú prípojku objektu, akumulácie LiFePo<sub>4</sub>, fotovoltaického systému a nabíjačky pre EV. Prepoj medzi jednotlivými funkčnými blokmi je zabezpečený cez DC zbernicu.



Obr. 5.1 Riešenie nabíjacej stanice pre EV

Na Obr. 5.1 je farebne šípkami vyznačený predpokladaný tok výkonu medzi jednotlivými časťami NS. Tok výkonu z funkčných blokov schémy bude usmerňovaný podľa logiky za účelom maximálneho využitia FVE a elektrickej energie z distribučnej siete počas nízkeho tarifu. V prípade úplného nabitia akumuláčnej batérie a bez využitia nabíjačky je možné energiu z FVE využiť v objekte pripojeného na SSE-D ako podporný zdroj elektriny. Technické podmienky pripojenia podporného zdroja elektriny definuje prevádzkovateľ distribučnej sústavy. Podmienkou pripojenia podporného zdroja je, že v žiadnom prípade nemôže dôjsť k pretokom energie do distribučnej sústavy, čo je odberateľ povinný zabezpečiť príslušnými technickými podmienkami. Za týchto podmienok je výhodné celý systém NS pripojiť k objektu s dostatočnou spotrebou energie, kde sa dá vyrobená energia z FVE využiť [17].

Predpokladané stavy toku výkonu, ktoré môžu nastať v NS sú znázornené v Tab. 5.1. V tabuľke sú v stĺpcoch uvedené jednotlivé funkčné bloky NS s logickou hodnotou toku výkonu pričom:

- 1 tok výkonu z funkčného bloku,
- 0 nečinnosť funkčného bloku,
- -1 tok výkonu do funkčného bloku.

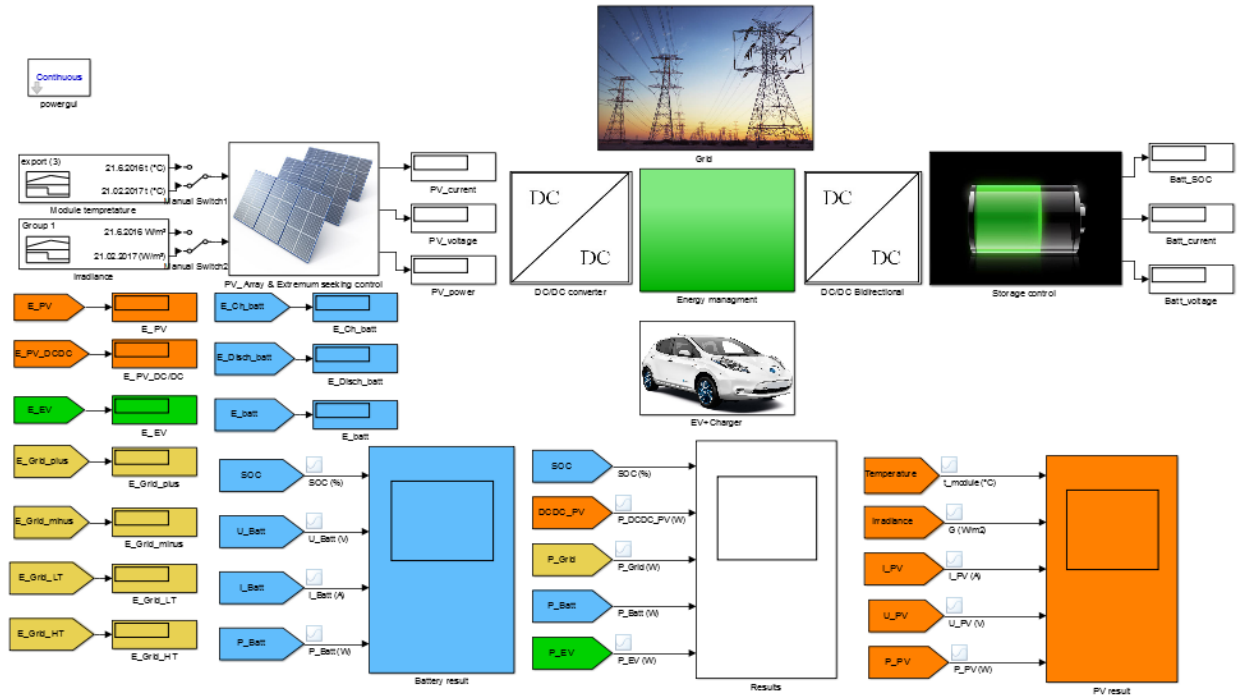
Tab. 5.1 Stavby toku výkonu v NS

EV	FVE	Objekt – SSE-D	Batéria LiFePo <sub>4</sub>
-1	0	0	1
-1	0	1	1
-1	1	0	1
-1	1	1	1
0	1	0	-1
0	0	1	-1
0	1	1	-1
0	1	-1	0

## 5.2 Matematický model systému v prostredí Simulink

Matematický model systému nabíjacej stanice s využitím FVE a akumuláciou bol vytvorený v prostredí Matlab/Simulink. Vizual matematického modelu je znázornený na Obr. 5.2. Vytvorený model umožňuje sledovať energetické bilancie a správanie sa výkonových tokov medzi jednotlivými funkčnými blokmi nabíjacej stanice v priebehu 24 hodín. Jednotlivé časti matematického modelu je možné modifikovať podľa potrieb využitia stanice, veľkosti inštalovaného výkonu fotovoltického systému, kapacity akumulácie a podmienok pripojenia na sieť. Prílohou tohto dokumentu je vytvorený matematický model nabíjacej stanice „*model.slx*“.





Obr. 5.2 Vizuál navrhnutého matematického modulu NS v prostredí Simulink

### 5.2.1 Fotovoltický systém

Fotovoltický systém simulovaný v prostredí Simulink vychádza z rovnice (5.1) popisujúcej volt-ampérovú charakteristiku panelu AC-250M/156-60S od spoločnosti AXITEC.

$$I_0 = N_p \cdot I_{PV} - N_p \cdot I_d \left( e^{\frac{q \left( \frac{U_0 - I_0 R_s}{N_s} - \frac{I_0 R_s}{N_p} \right)}{kTA}} - 1 \right) - \frac{q \left( \frac{N_p U_0}{N_s} - I_0 R_s \right)}{R_{SH}} \quad (5.1)$$

- Kde:
- $I_0$  prúd fotovoltického panelu (A),
  - $N_p$  paralelne články panelu (-),
  - $N_s$  sériové články panelu (-),
  - $I_{PV}$  svetlom generovaný prúd (A),
  - $I_d$  saturačný prúd (A),
  - $q$  elektrónový náboj (C),
  - $U_0$  napätie fotovoltického panelu (V),
  - $R_s$  sériový odpor ( $\Omega$ ),
  - $k$  Boltzmannova konštanta (J/K),
  - $T$  termodynamická teplota panelu (K),
  - $A$  faktor ideálnosti (-),
  - $R_{SH}$  paralelný odpor ( $\Omega$ ).

$$I_{rr} = \frac{I_{SC}}{e^{\left(\frac{qU_{OC}}{kAT}\right)-1}} \quad (5.2)$$

Kde:  $I_{rr}$  záverný saturačný prúd (A),  
 $I_{SC}$  prúd nakrátko (A),  
 $U_{OC}$  napätie naprázdno (V).

$$I_d = I_{rr} \left(\frac{T}{T_r}\right)^3 e^{\left(qE_g \frac{\left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T}\right)}{kA}\right)} \quad (5.3)$$

Kde:  $T_r$  referenčná termodynamická teplota (K),  
 $E_g$  energia zakázaného pásu polovodiča (eV).

$$I_{pv} = \lambda(I_{SC} + K_I(T - T_r)) \quad (5.4)$$

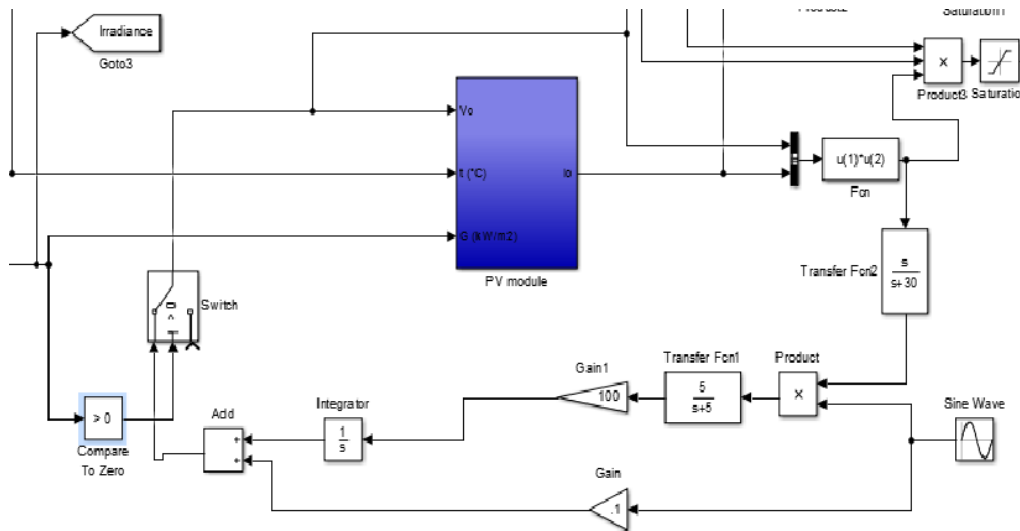
Kde:  $\lambda$  hodnota referenčnej intenzity žiarenia (kW/m<sup>2</sup>),  
 $K_I$  teplotný koeficient článku nakrátko (mA/C) [18].

Matematický model je založený na výpočte rovníc (5.1), (5.2), (5.3) a (5.4). Ako vstupné parametre pre výpočet napätia a prúdu fotovoltického panelu slúžia namerané priebehy osvitú a teploty panelu v priebehu 24 hodín v 15 minútových intervaloch. Konštanty definujúce samotný panel sa nachádzajú v Tab. 5.2.

Tab. 5.2 Parametre pre výpočet fotovoltického panelu

Označenie	Číselná hodnota
$N_p$	1
$N_s$	60
$Q$	$1,6 \cdot 10^{-19}$ C
$R_s$	0,22 $\Omega$
$K$	$1,38 \cdot 10^{-19}$ J/K
$A$	1,5
$R_{SH}$	0 $\Omega$
$I_{SC}$	8,8 A
$U_{OC}$	37,98 V
$E_g$	1,12 eV
$\lambda$	1 kW/m <sup>2</sup>
$K_I$	0,00352 mA/C

Hľadanie maximálneho bodu výkonu (MPPT) fotovoltaického panelu je realizované spätnoväzobným regulačným obvodom na princípe „Extremum-seeking control“. Schéma regulačného obvodu je znázornená na Obr. 5.3.



Obr. 5.3 Schéma Simulink „Extremum-seeking control“

Požadovanú hodnotu inštalovaného výkonu celého fotovoltaického systému je možné meniť voľbou počtu panelov zapojených v sérii „Module in series“ a počtom stringov zmenou číselnej hodnoty v bloku „Parallel string“. Tieto nastavenia sa vykonávajú v subsysteme „PV\_Array&Extremum seeking control“. Výstupom tohto subsystemu je priebeh napätia, prúdu a výkonu za 24 hodín. Výstup FVE je prepojený s blokom „DC/DC converter“, ktorý zohľadňuje účinnosť prevodu DC/DC podľa pomeru zaťaženia k menovitej hodnote výkonu. Pri menovitej hodnote výkonu je účinnosť prevodu DC/DC 98,2 %.

## 5.2.2 Akumulácia

Pre účely simulácie akumulácie nabíjacej stanice pre EV bol zvolený blok „Battery“ z knižnice Simscape. Tento funkčný blok umožňuje voliť typ batérie, menovitú hodnotu napätia a kapacitu akumulácie. Nabíjanie akumulátora je realizované konštantným prúdom alebo konštantným napätím. Algoritmus nabíjania sleduje hodnotu napätia batérie a pokiaľ je hodnota napätia menšia ako maximálna hodnota  $U_{max} = 291$  V je spustený režim konštantného prúdu. Po dosiahnutí hodnoty  $U_{max} = 291$  V algoritmus prepína do režimu konštantného napätia. Nabíjanie konštantným napätím je realizované PID regulátorom, ktorý nastavuje optimálnu hodnotu prúdu pri rovnakom napätí. Tok výkonu akumulácie prechádza cez obojsmerný DC/DC prevodník, ktorý reprezentuje účinnosť pri menovitej hodnote výkonu 98,2 % označený ako „DC/DC Bidirectional“. Systém akumulácie s riadením nabíjania sa nachádza v subsysteme „Storage control“.

## 5.2.3 Pripojenie na distribučnú sieť

Pripojenie na sieť distribučnej sústavy je prezentované subsystemom „Grid“. V tomto bloku je možné nastaviť maximálnu hodnotu odoberaného výkonu zo siete, časy nízkeho tarifu a logické podmienky odberu zo siete na základe stavu nabitia akumulácie. V bloku je vytvorená funkcionálna, ktorá za určitých podmienok umožňuje pretoku elektrickej energie z nabíjacej stanice do iného objektu. Toto opatrenie je realizované z dôvodu maximálneho využitia energie

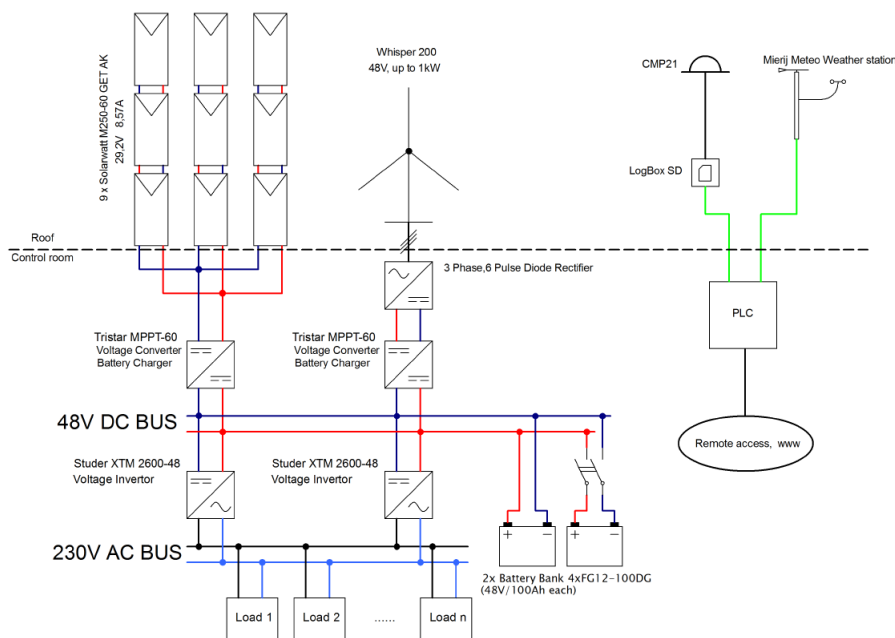
z obnoviteľných zdrojov. Prepojenie DC zbernice s AC prívodom je prezentované obojsmerným strieďačom AC/DC o účinnosti pri menovitej hodnote výkonu 98,2 %.

### 5.2.4 Nabíjanie elektromobilu

Nabíjanie elektromobilu je prezentované predpokladaným priebehom pripojenia elektromobilov v priebehu dňa pomocou bloku „Look up“. V danom bloku je možné navoliť priebeh potrebného výkonu, dĺžky a početnosti nabíjania. Podľa topológie NS Obr. 5.1 predpokladáme so smerom toku výkonu iba do EV. Výkon pre nabíjanie EV z DC zbernice je sprostredkovaný cez DC/DC rýchlonabíjačku. Blok rýchlonabíjačky v matematickom modeli predstavuje účinnosť pri menovitom výkone 92,3 %.

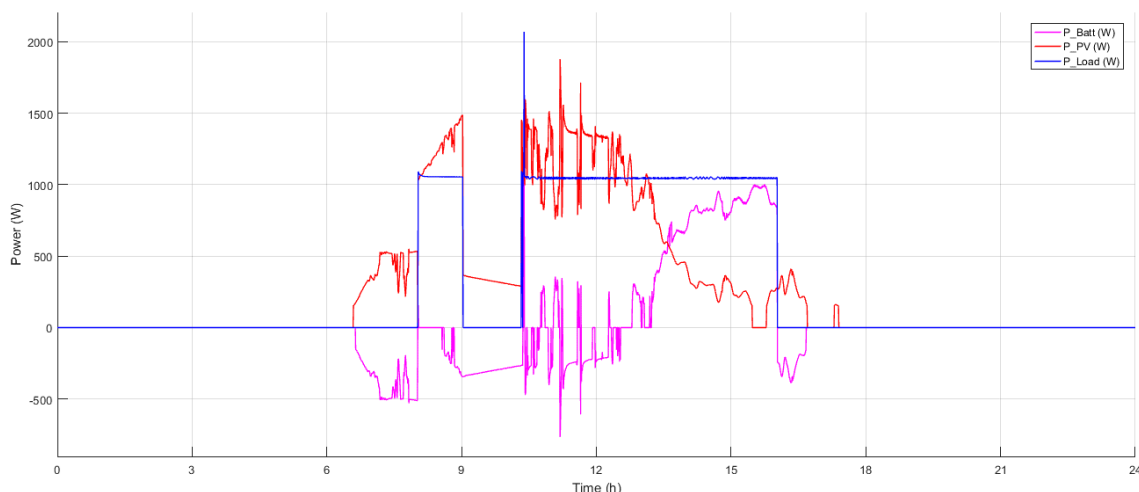
## 5.3 Verifikácia matematického modelu s laboratórnym fyzikálnym modelom OZE

Pre verifikáciu vytvoreného matematického modelu bol použitý laboratórny fyzikálny model OZE. Laboratórny model obsahuje 9 monokrystalických panelov M250-60 GET AK o celkom výkone FVE 2,25 kW<sub>p</sub>. Panely sú pripojené na MPPT typu TS-MPPT-60 s maximálnym výkonom 3200 W. Po DC zbernici je realizované prepojenie s olovenými gélovými akumulátormi FG12-100DG 48 V o celkovej kapacite 400 Ah. Závaž model je pripojená na AC zbernici 230 V. Konverzia prúdov z DC na AC je zabezpečená strieďačom Studer XTM2600-48. Pre účely verifikácie bola veterná turbína z modelu odpojená. Celý fyzikálny model OZE je znázornený na Obr. 5.4 [19].



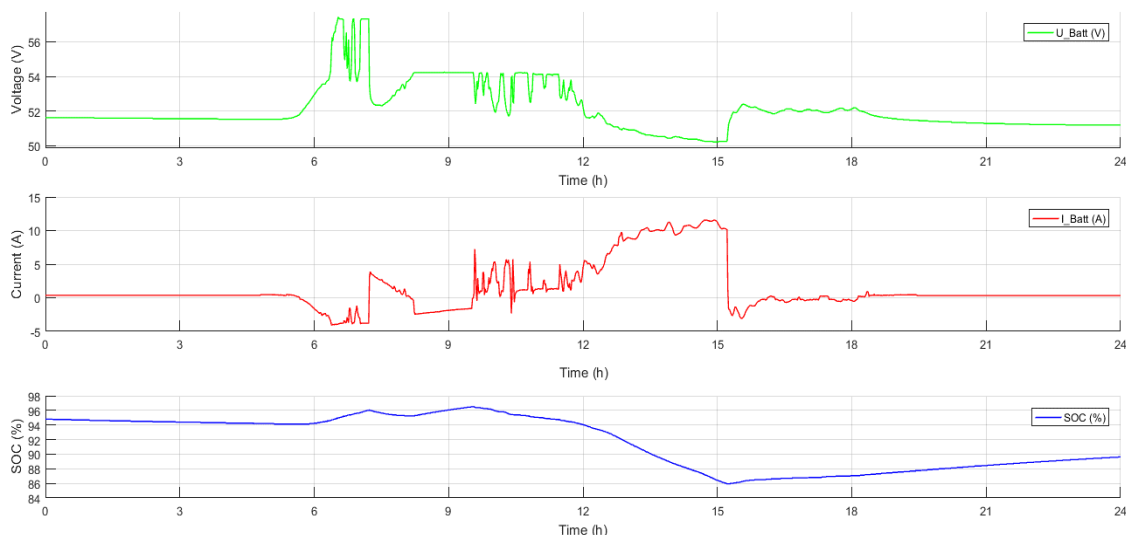
Obr. 5.4 Laboratórny fyzikálny model OZE[19]

Meranie bolo vykonané pomocou výkonového analyzátoru HIOKI 3390. Pričom prúdové kliešte boli umiestnené na jednotlivých častiach systému. Pre účely verifikácie bol vybraný deň 15.4.2016. Výkonová bilancia systému v priebehu dňa je znázornená na Obr. 5.5.



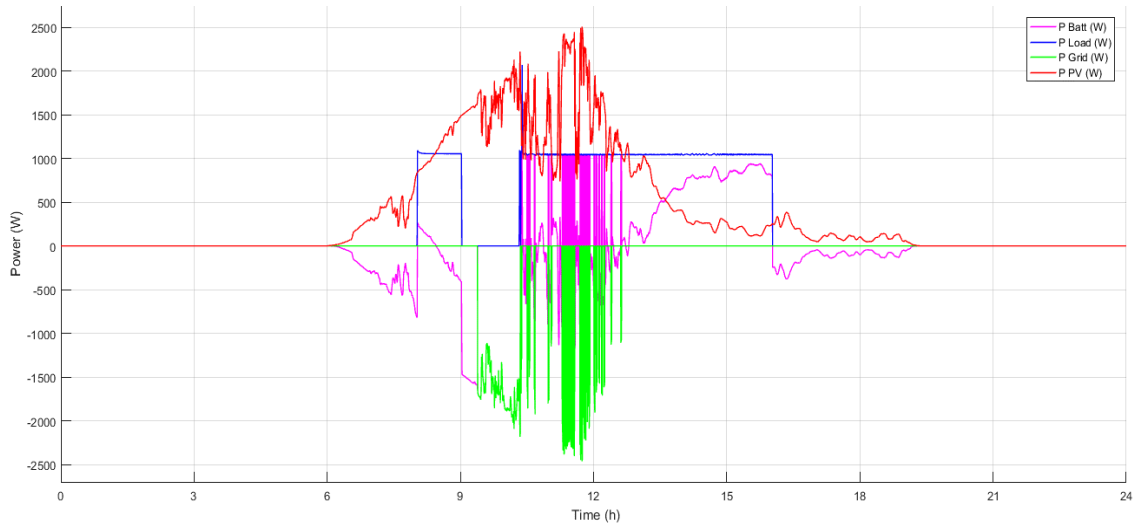
Obr. 5.5 Namerané výkony laboratorneho modelu z dňa 15.4.2016

Na Obr. 5.6 sú znázornené namerané údaje olovenej gélovej batérie v priebehu dňa 15.4.2016



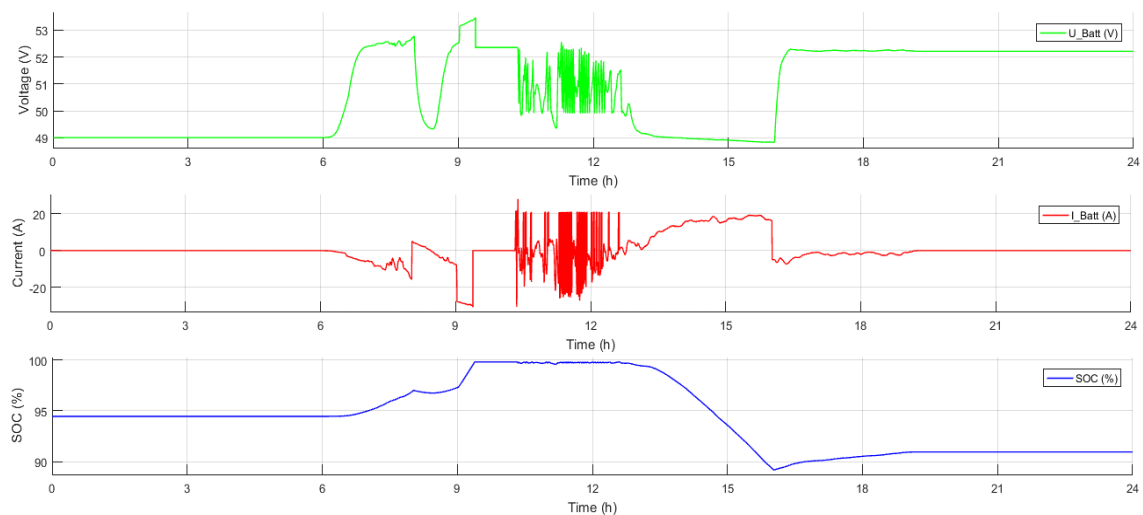
Obr. 5.6 Namerané údaje na batérii laboratorneho modelu z dňa 15.4.2016

Pre účely verifikácie matematického modelu s laboratorným modelom, ktorý je popísaný vyššie, bolo nutné vykonať úpravy pôvodne navrhnutého matematického modelu. Keďže matematický model má odlišnú topológiu ako laboratorný muselo dôjsť k zanedbaniu účinnosti bloku „DC/DC Bidirectional“ a v subsysteme „EV+Charger“ bola zanedbaná účinnosť rýchlonabíjačky. Pôvodne navrhnutý model počítal s lítiovou akumuláciou o hodnote menovitého napätia 250V a kapacite 600 Ah z dôvodu verifikácie došlo k úprave na olovenú gélovú batériu 48 V s 400 Ah. Taktiež pôvodný model fotovoltického systému bol navrhnutý pre vstupné údaje osvetlenia a teploty panelu v 15 minútových intervaloch. Namerané dáta osvetlenia a teploty panelu sú v 30 sekundových intervaloch čo spôsobovalo navrhnutému MPPT značné problémy. Z tohto dôvodu bolo napätie fotovoltického panelu nastavené na 75 % hodnoty napätia naprázdno. Výkonová bilancia navrhnutého matematického modelu je znázornená na Obr. 5.7.



Obr. 5.7 Výsledky simulácie výkonovej bilancie matematického modelu z dňa 15.4.2016

Na Obr. 5.8 sú znázornené výsledky simulácie batérie v priebehu dňa 15.4.2016.



Obr. 5.8 Výsledky simulácie batérie z dňa 15.4.2016

Porovnaním nameraných a simulovaných bilancii výkonov Obr. 5.5 a Obr. 5.7 môžeme pozorovať značný rozdiel vo výrobe elektriny fotovoltaického systému, ktorý je zapríčinený odlišnou logikou laboratórneho a simulovaného modelu. Laboratórny model zabráňuje pretokom prebytočnej energie do siete obmedzovaním výkonu FVE pomocou MPPT. Navrhnutý matematický model predpokladá s využitím prebytočnej energie z FVE mimo nabijacej stanice (napr. objekt s významnou spotrebou) za účelom maximálneho využitia OZ. Porovnaním výroby fotovoltaického matematického modelu s reálne fungujúcou FVE pripojenou na sieť z dňa 21.6.2016 s reálnou dennou produkciou 6,4 kWh/kWp sa model dopustil odchýlky 2 %. Ako prezentuje Tab. 5.3 a je znázornené na Obr. 5.6 a Obr. 5.8 matematický model sa dopustil značnej odchýlky v množstve energie dodanej a odoberanej z batérie. Tento jav je spôsobený nedokonalosťou navrhnutého algoritmu nabíjania konštantným napätím v oblasti plného stavu nabitia a zanedbaním teplotného efektu batérie. Veľkosť chyby sa dá redukovať optimalizovaním výkonu FVE vzhľadom k záťaži systému a voľbou vhodnej kapacity akumulácie.

Tab. 5.3 Porovnanie výsledkov energetickej bilancie pre verifikáciu

Názov	Namerané (kWh)	Simulované (kWh)	Odchýlka (%)
E_Batt_Ch	1,545	2,270	46,93
E_Batt_D	2,330	2,861	22,79
E_PV	6,823	9,022	-5,75*
E_Load	7,021	7,021	0
E_Grid	0	2,592	-

\*Od energie E\_PV bola odpočítaná energia E\_Grid a až potom bol realizovaný výpočet odchýlky

## 5.4 Analýza pripojenia nabíjacej stanice k distribučnej sieti

V rámci analýzy pripojenia rýchlonabíjačky pre EV s akumuláciou a FVE sú zohľadňované technické, legislatívne, prevádzkové a ekonomické aspekty prístupu k distribučnej sústave na úroveň nízkeho napätia.

### 5.4.1 Výber lokality umiestnenia nabíjacej stanice

Ako vhodná lokalita umiestnenia rýchlonabíjacej stanice pre elektromobily bola zvolená obec Dohňany. Obec leží medzi Púchovom (SK) a Horným Lidčom (CZ) na ceste č. 49, ktorá slúži ako frekventovaný dopravný prepoj Slovenskej a Českej republiky. V Dohňanoch sa taktiež nachádza reštaurácia Pri lipe, kde by si užívatelia elektromobilov počas nabíjania mohli spríjemniť čakanie občerstvením. Strategické umiestnenie nabíjacej stanice je znázornené na Obr. 5.9.

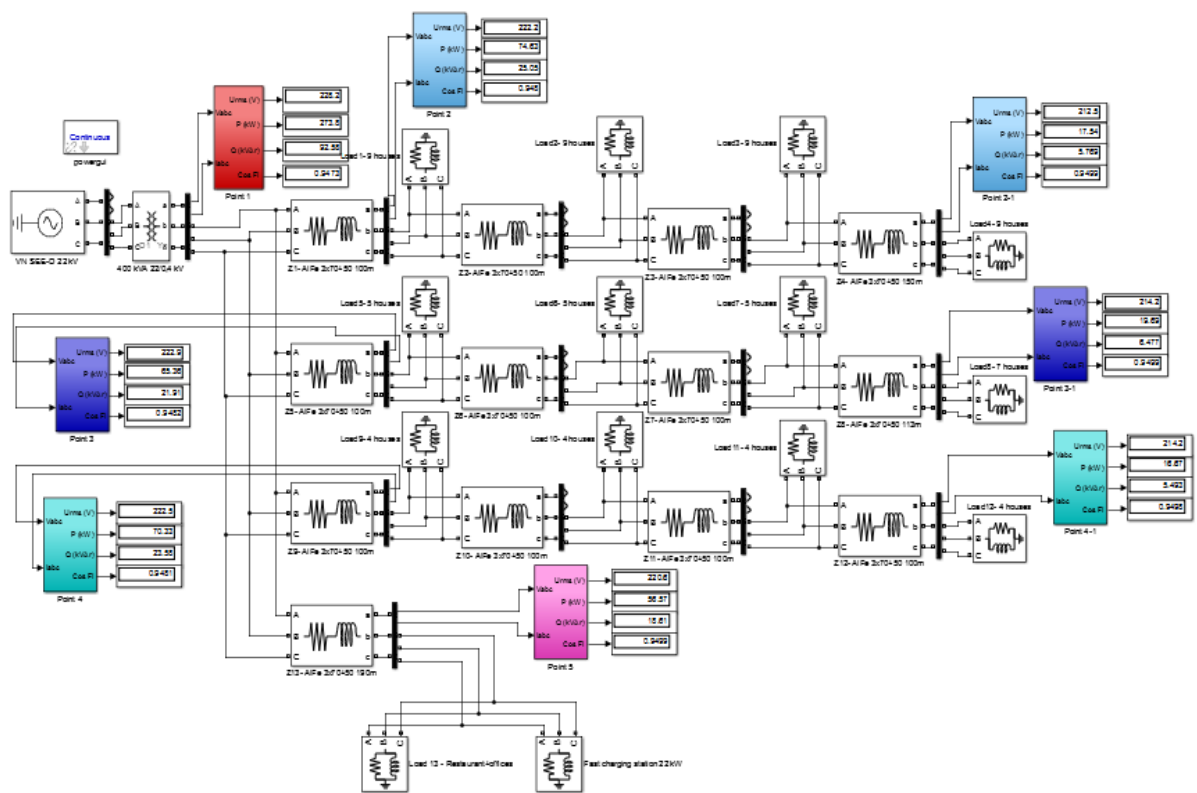


Obr. 5.9 Geografické umiestnenie nabíjacej stanice zdroj: google.sk



### 5.4.2 Kontrola úbytkov napätí po pripojení nabíjacej stanice k DS

Pre vybranú lokalitu boli získané informácie o počte odberov a topológii distribučnej sústavy, ktoré sú znázornené na Obr. 5.10. Analýza úbytkov napätí po pripojení nabíjacej stanice k sieti cez prípojku objektu reštaurácie s kanceláriami bola realizovaná v prostredí Matlab/Simulink. Spôsob pripojenia nabíjacej stanice cez prípojku objektu bol vybraný z dôvodu maximálneho využitia energie OZE a minimalizovania prevádzkových nákladov stanice. Po pripojení nabíjacej stanice k objektu stačí zvýšiť hodnotu z 80 A na 100 A, čím sa zabezpečí dostatočná prúdová kapacita pre objekt aj NS a nedôjde k zmene paušálnych poplatkov za distribúciu elektrickej energie. Pre realizovateľnosť riešenia je potrebné príkon stanice obmedziť na 22 kW. Na základe výsledkov analýzy úbytkov napätí po pripojení NS k sieti (Tab. 5.4) je možné konštatovať, že nedošlo k prekročeniu limitu  $\pm 10\%$  menovitého napätia podľa normy STN EN 50 160 [20]. Prílohou tohto dokumentu je súbor s vytvoreným modelom „grid\_connect.slx“.



Obr. 5.10 Vizuál simulácie distribučnej sústavy SSE-D

Tab. 5.4 Výsledky analýzy úbytku napätia po pripojení NS

Bod	U (V)	$\Delta U$ (%)	P (kW)	Q (kVAr)	cos $\varphi$ (-)
1	228,2	-0,78	273,8	92,58	0,9473
2	222,2	-3,39	74,63	25,05	0,948
2-1	212,5	-7,61	17,54	5,769	0,9499
3	222,9	-3,09	65,36	21,91	0,9482
3-1	214,2	-6,87	19,69	6,477	0,9489
4	222,5	-3,26	70,33	23,58	0,9481
4-1	214,2	-6,87	16,67	5,493	0,9488
5	220,6	-4,09	56,57	18,61	0,9499



## 5.5 Simulácia prevádzkových stavov navrhnutej nabíjacej stanice

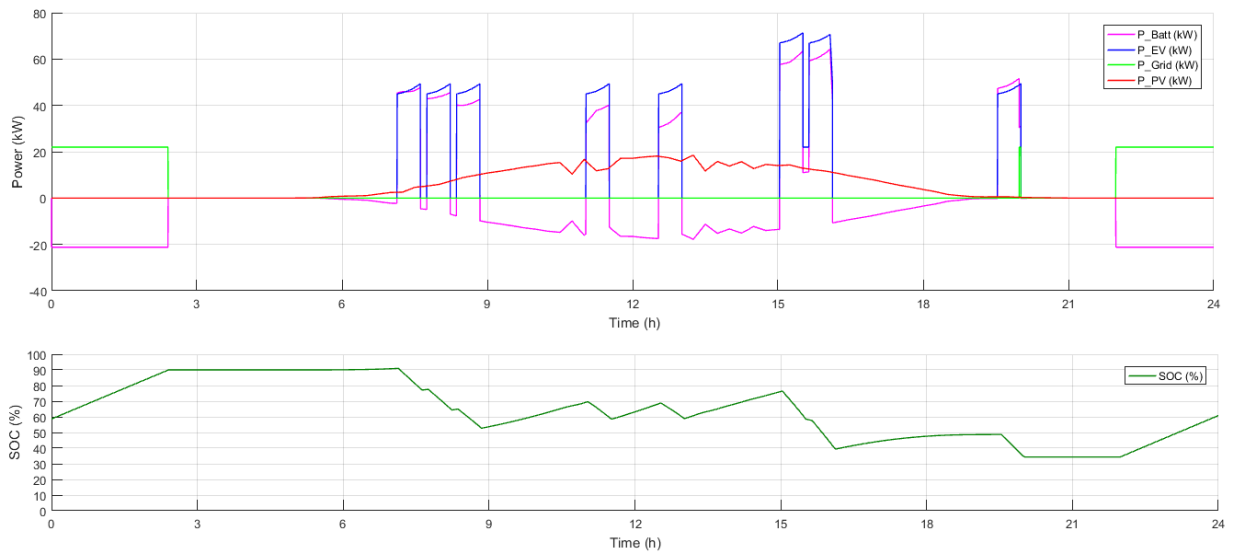
Simulácia prevádzkových stavov bola uskutočnená pre štyri rôzne scénare s cieľom nasimulovať funkčnosť nabíjacej stanice s ohľadom na množstvo energie potrebnej pre nabíjanie EV a energie vyrobenej fotovoltickým systémom.

Základné predpoklady spoločné pre všetky simulované varianty:

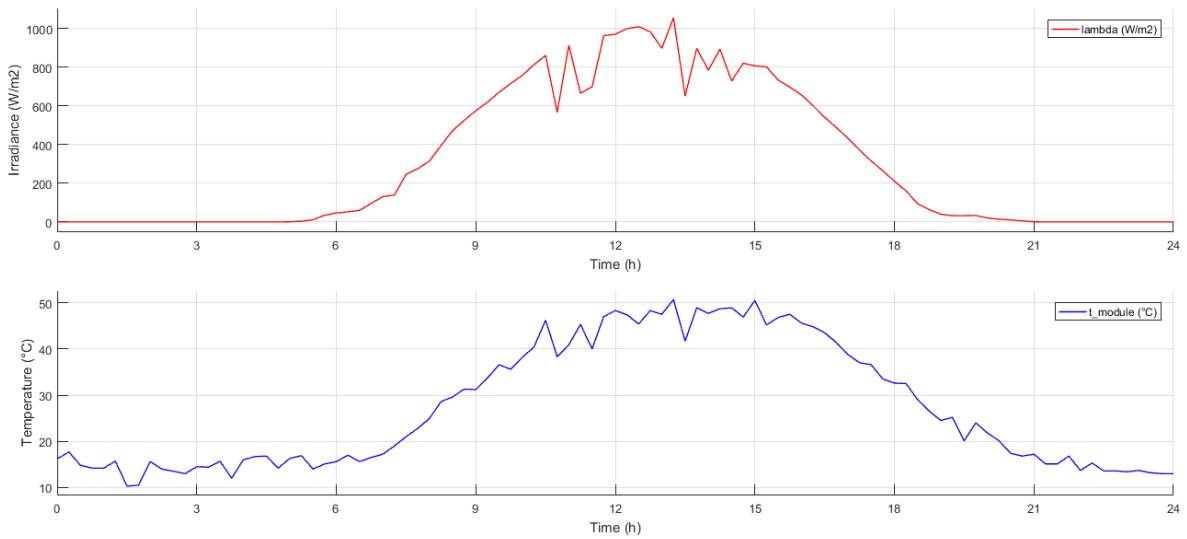
- rýchlonabíjačka umožňuje nabíjať EV CCS/CHAdeMO do 50 kW s možnosťou paralelného nabíjania Typ 2 zásuvka 22 kW,
- nabíjanie jedného elektromobilu BMW i3 je realizované od 10 % do 80 % SOC, čo predstavuje energiu 22,6 kWh,
- fotovoltický systém má inštalovaný výkon 20 kWp so sériovým spojením 20 panelov v 4 stringoch s jednotkovým výkonom 250 Wp (celkom 80 ks),
- osvit a teplota panelu vychádza z reálnych dát FVE z dní 21.6.2016 a 21.2.2017,
- akumulácia je typu LiFePo<sub>4</sub> o menovitom napätí 250 V a kapacite 600 Ah,
- príkon zo siete pre NS je obmedzený na 22 kW,
- akumuláciu je možné nabíjať počas nízkeho tarifu medzi 22:00 a 6:00 do 90 % SOC,
- za podmienky pripojeného EV a hodnoty menšej 35 % SOC je použitý ako doplnkový zdroj energie sieť (22 kW) v platnosti vysokého tarifu,
- v prípade poklesu pod 30 % SOC je spustené nabíjanie akumulátora do 45 % SOC v dobe platnosti vysokého tarifu,
- v prípade 100 % SOC akumulácie je energia vyrobená fotovoltickým systémom využitá v objekte reštaurácie s kancelármi.

### 5.5.1 Scenár 1: 21.6.2016 s maximálnym počtom nabíjaní EV

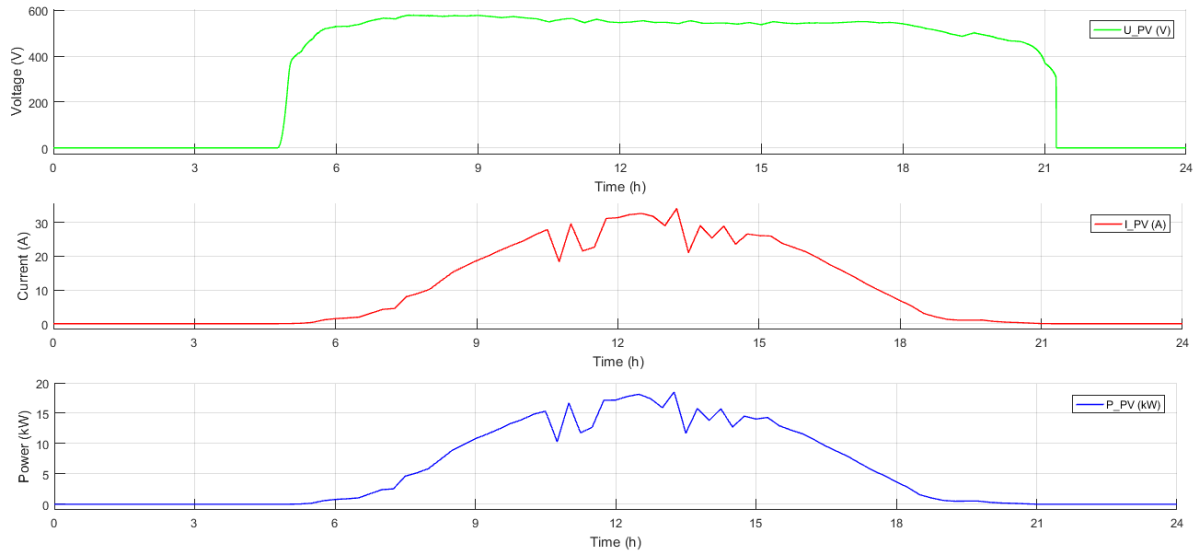
Scenár 1(Obr. 5.11) predstavuje simuláciu prevádzkového stavu nabíjacej stanice počas dňa 21.6.2016, kedy boli zaznamenané výborné podmienky osvitú s dennou výrobou 130,6 kWh. Priebeh osvitú a teploty fotovoltického panelu je znázornený na Obr. 5.12. Funkčnosť MPPT je znázornená na Obr. 5.13. Simulácia prevádzky NS začína 00:00 hod. so 60% SOC akumulácie v tomto čase je realizované dobitie zo siete na 90% SOC s platnosťou nízkeho tarifu do 6:00 hod.. Podľa scenáru prvý elektromobil realizuje nabíjanie od 7:00 hod. V priebehu dňa je nabitých 9 EV s celkovou spotrebou energie 204,1 kWh. NS stanica umožňuje paralelne nabíjanie 2 elektromobilov, ako je znázornené od 15:00. Počas platnosti vysokého tarifu celý systém potreboval 0,8 kWh a to pri poslednom nabíjaní, keď SOC kleslo pod 35 %. Následne o 22:00 v platnosti nízkeho tarifu sa začalo nabíjanie akumulácie zo siete do 00:00 nasledujúceho dňa po 60 % SOC. Celková využitá energia zo siete je 98,2 kWh a z toho 97,42 kWh počas platnosti NT. Akumulácia stanice v priebehu simulovaného dňa prijala 184,9 kWh a 179,7 kWh bolo využitých na nabíjanie EV. Priebehy napätia, prúdu a SOC sú znázornené na Obr. 5.14. Scenár môžeme považovať za úspešný z dôvodu maximálneho využitia OZE v kombinácii s akumuláciou a bola minimalizovaná potreba energie zo siete počas VT.



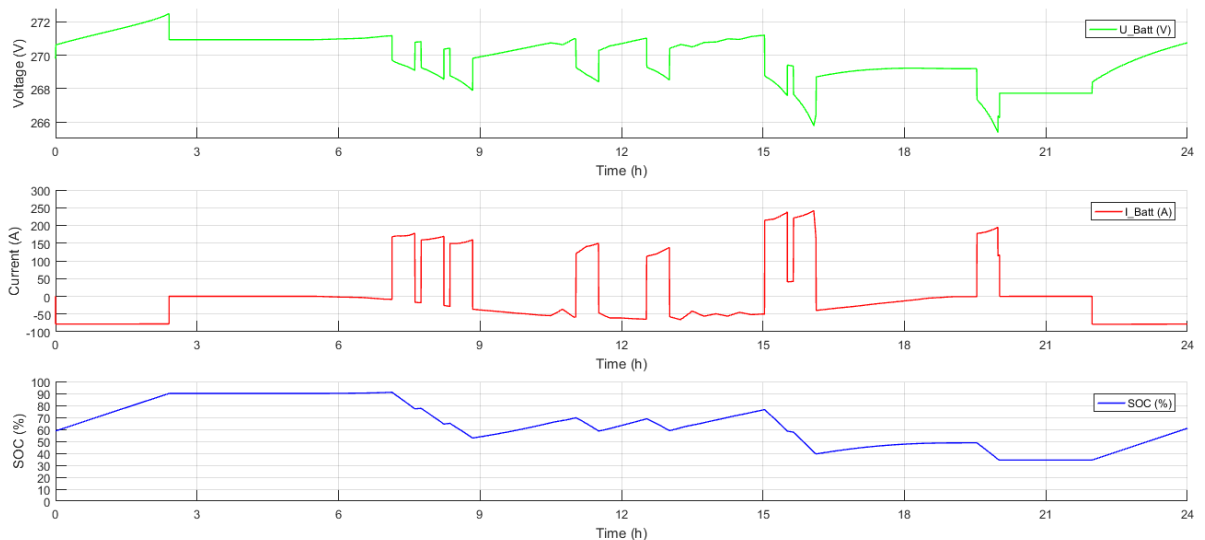
Obr. 5.11 Výkonová bilancia v priebehu 21.6.2016 s maximálnym využitím



Obr. 5.12 Osvit a teplota panelu v priebehu 21.6.2016



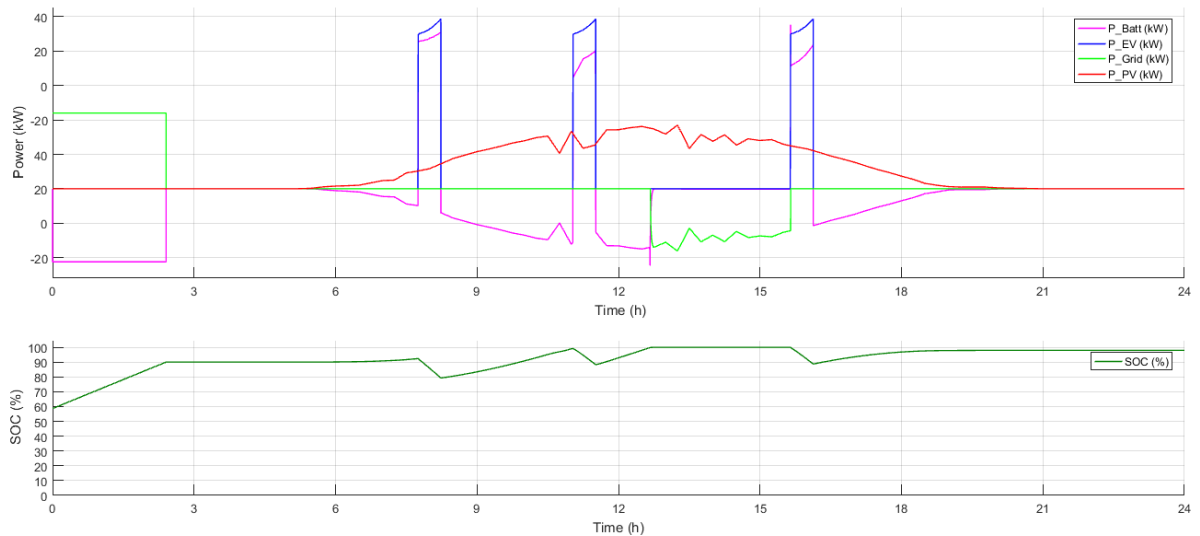
Obr. 5.13 Priebeh napätia, prúdu a výkonu FVE počas 21.6.2016



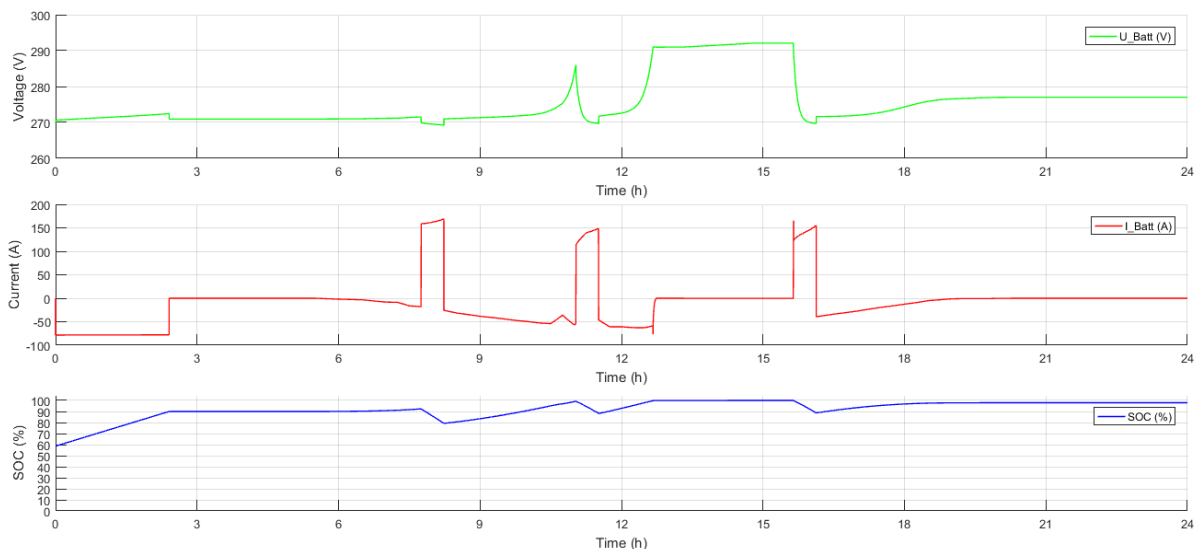
Obr. 5.14 Priebehy napätia, prúdu a SOC akumulácie 21.6.2016 s maximálnym využitím

### 5.5.2 Scenár 2: 21.6.2016 s priemerným počtom nabíjaní EV

V simulovanom scenári 2 (Obr. 5.15) sú použité hodnoty osvetlenia a teploty panelu z dňa 21.6.2016 (vid. 5.5.1) a produkciou FVE 130,6 kWh. Vytáženie nabíjacej stanice je simulované s priemerným predpokladaným množstvom nabíjaní počas dňa, čo predstavuje spotrebu energie 67,7 kWh. Simulácia scenáru začína o 00:00 hod. s dobíjaním akumulácie zo 60 % SOC na 90 % SOC (52,97 kWh) v platnosti NT. Fotovoltický systém začína s produkciou energie a následným ukladaním do akumulácie. Nabíjanie elektromobilu o 8:00 a 11:00 je plne hradené z fotovoltického systému a akumulácie. Približne v 12:40 je akumulácia nabitá pomocou FVE na 100 % SOC a prebytočná energia o množstve 42,49 kWh, ktorú nemožno využiť, je sprostredkovaná pre objekt pripojený na spoločnú prípojku. V čase 15:50 je realizované posledné nabíjanie hradené z FVE a akumulácie. Scenár 2 končí s dobíjaním akumulácie fotovoltickým systémom na 98 % SOC. Priebehy napätia, prúdu a SOC na akumulácii sú znázornené na Obr. 5.16. V priebehu dňa bolo do akumulácie dodané 122,3 kWh energie a na nabíjanie bolo využité 57,7 kWh.



Obr. 5.15 Výkonová bilancia v priebehu 21.6.2016 s priemerným počtom nabíjání

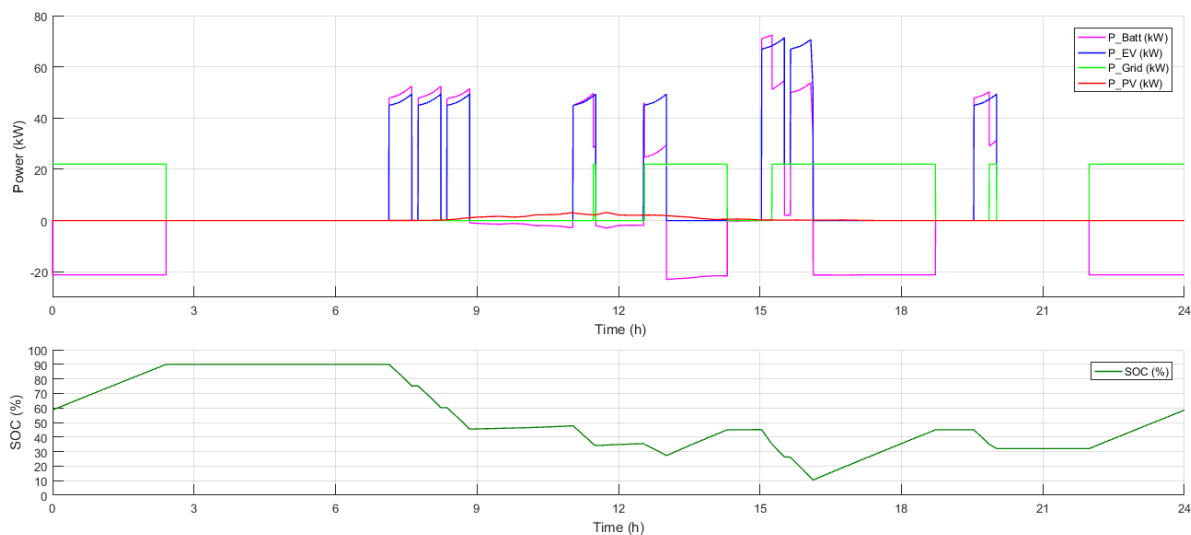


Obr. 5.16 Priebehy napätia, prúdu a SOC počas 21.6.2016 s priemerným využitím

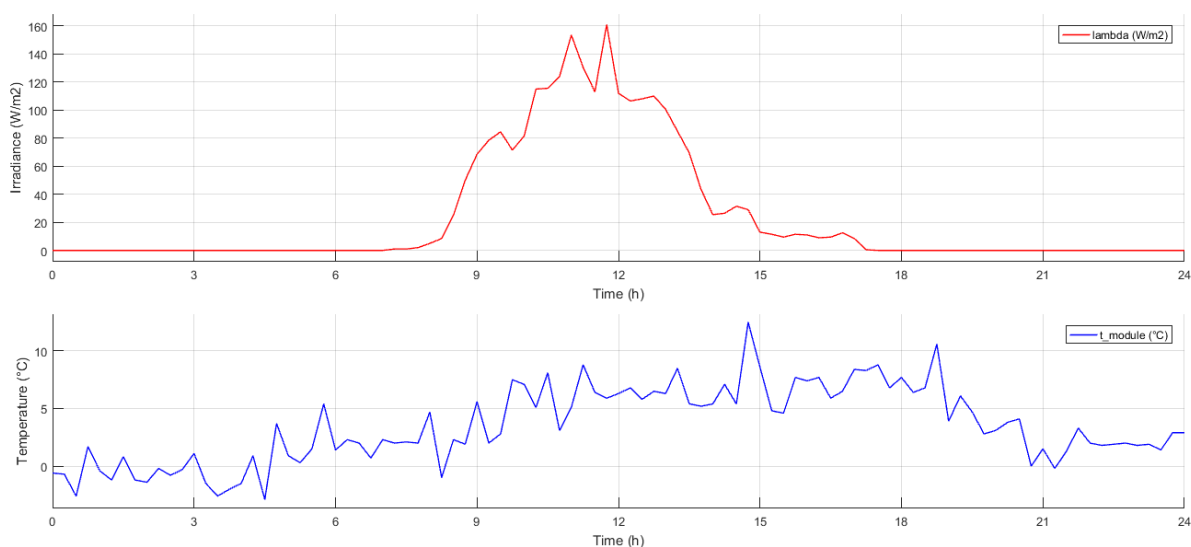
### 5.5.3 Scenár 3: 21.2.2016 s maximálnym počtom nabíjání EV

Scenár 3 (Obr. 5.17) predstavuje simuláciu prevádzkového stavu nabíjacej stanice počas dňa 21.2.2017, kedy boli zaznamenané nepriaznivé podmienky pre výrobu FVE s celkovým množstvom produkcie energie 10,52 kWh. Priebeh osvetlenia a teploty fotovoltaického panelu je znázornený na Obr. 5.13. Funkčnosť MPPT je znázornená na Obr. 5.19. Simulovaný scenár nabíjacej stanice má ten istý priebeh využitia ako v prípade scenáru 1, ale za veľmi malej produkcie FVE. Simulácia prevádzky NS začína 00:00 hod. so 60 % SOC akumulácie a v tomto čase je realizované dobíjanie zo siete na 90 % SOC v platnosti NT do 6:00 hod.. Nabíjanie elektromobilov začína od 7:00. Energia pre prvé 3 elektromobily je hradená z akumulácie a FVE, čo má za následok vybitie akumulácie na približne 45 % SOC. Počas nabíjania 4. elektromobilu dôjde k vybitiu batérie pod 35 % SOC a v tom okamihu je umožnené čerpať energiu zo siete v platnosti VT o príkone 22 kW. Nabíjáním 5. elektromobilu o 11:00 hod. dôjde k vybitiu akumulácie pod 30 % SOC a je zahájené dobíjanie akumulácie na 45 % SOC v platnosti VT. S podobnou logikou je realizované nabíjanie ostatných EV. Celková spotreba EV v simulovanom scenári predstavuje

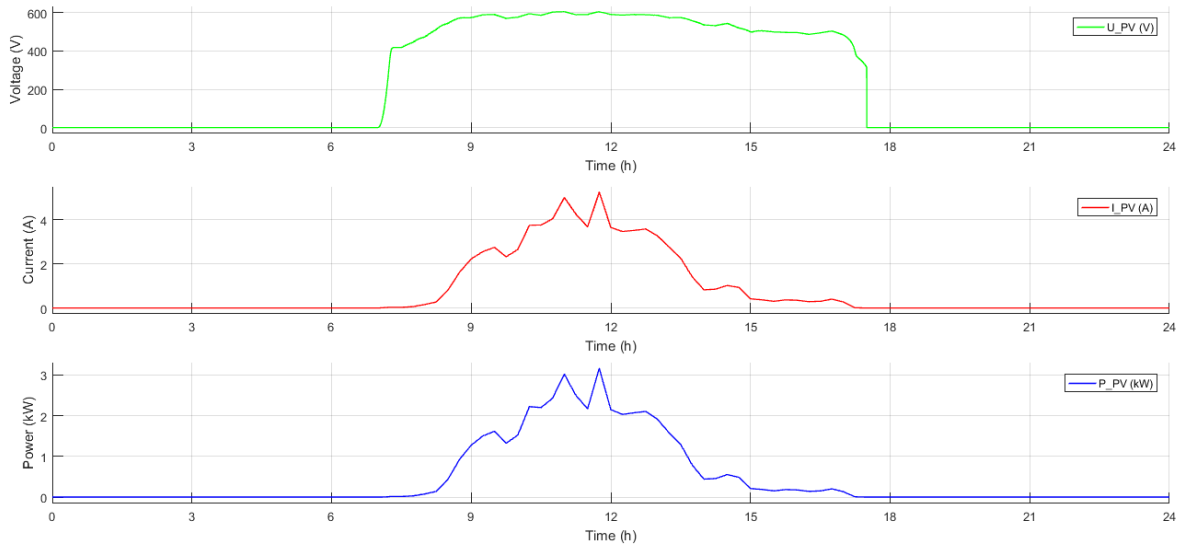
204,1 kWh. Energia potrebná zo siete na prevádzku stanice je 216,9 kWh, z čoho 97,42 kWh predstavuje NT a 119,5 kWh energiu v platnosti VT. Akumulácia NS počas simulovaného dňa prijala 183,7 kWh a 181,8 kWh bolo využitých na nabíjanie EV. Priebehy napätia, prúdu a SOC sú znázornené na Obr. 5.20. Simulovaný scenár môžeme považovať za úspešný, keďže SOC akumulácie nekleslo pod 10 %. Z tohto dôvodu môžeme konštatovať, že simulovaný scenár ukázal hranice využitia navrhnutého systému pri podmienkach výroby FVE z dňa 21.2.2017.



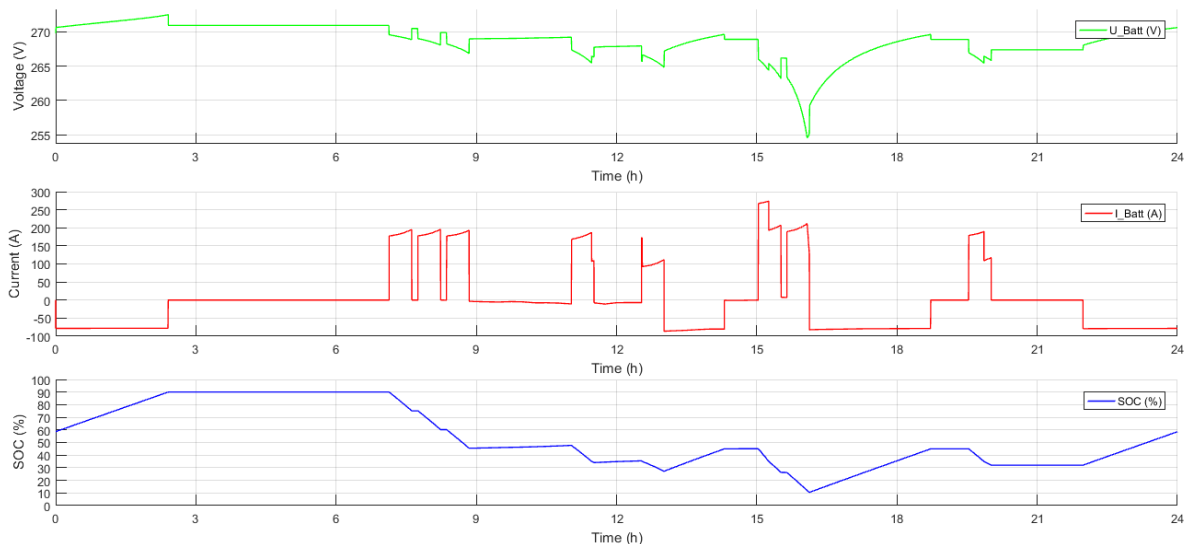
Obr. 5.17 Výkonová bilancia v priebehu 21.2.2017 s maximálnym využitím



Obr. 5.18 Osvit a teplota panelu v priebehu 21.2.1017



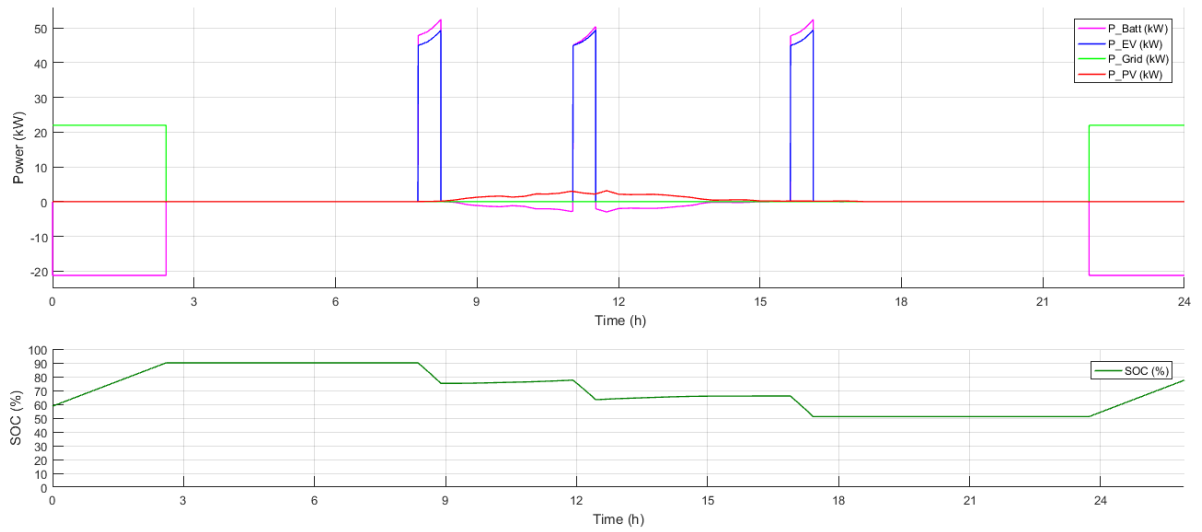
Obr. 5.19 Priebeh napätia, prúdu a výkonu FVE počas 21.2.2017



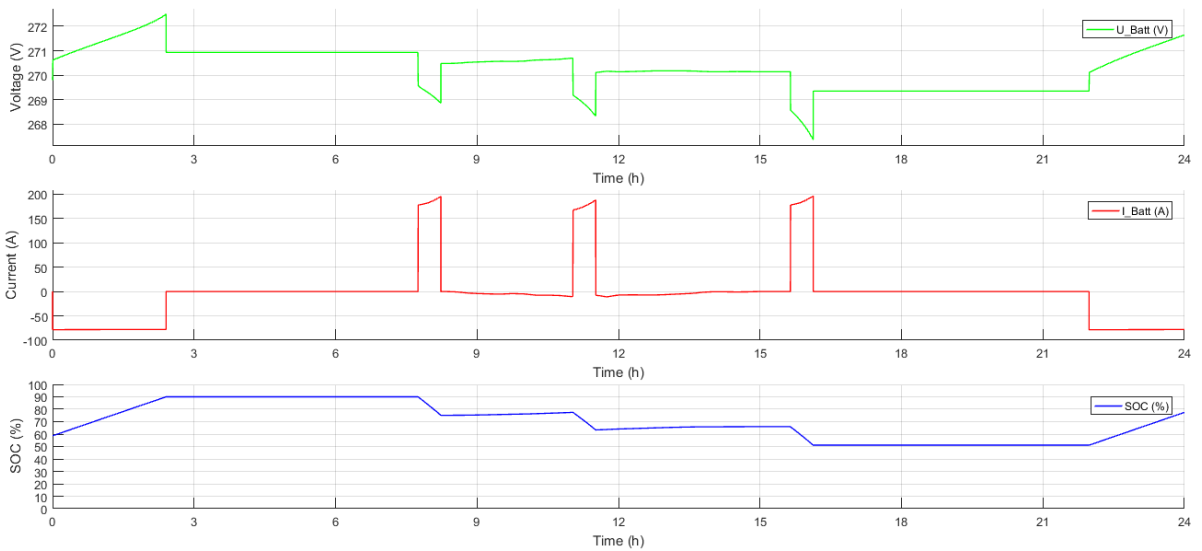
Obr. 5.20 Priebehy napätia, prúdu a SOC akumulácie 21.2.2017 s maximálnym využitím

#### 5.5.4 Scenár 4: 21.2.2017 s priemerným počtom nabíjaní EV

V simulovanom scenári 4 (Obr. 5.21) sú použité hodnoty osvetlenia a teploty panelu z dňa 21.2.2017 (Obr. 5.18) a produkciou FVE 10,52 kWh. Vytáženie nabíjacej stanice je simulované s priemerným predpokladaným množstvom nabíjaní počas dňa, čo predstavuje spotrebu energie 67,7 kWh. Scenár využitia stanice je podobný ako scenár 2 s rozdielom nízkej výroby energie z OZ. Nabíjanie 3 elektromobilov je hraďené z FVE a akumulácie, bez nutnosti využitia energie zo siete počas platnosti VT. Po poslednom nabíjaní je SOC akumulácie 50 %. Priebehy napätia, prúdu a SOC akumulácie sú znázornené na Obr. 5.22. V priebehu dňa bolo do akumulácie 102,1 kWh energie dodanej a pre nabíjanie EV bolo využitej 70,79 kWh.



Obr. 5.21 Výkonová bilancia v priebehu 21.2.2017 s priemerným počtom nabíjanií

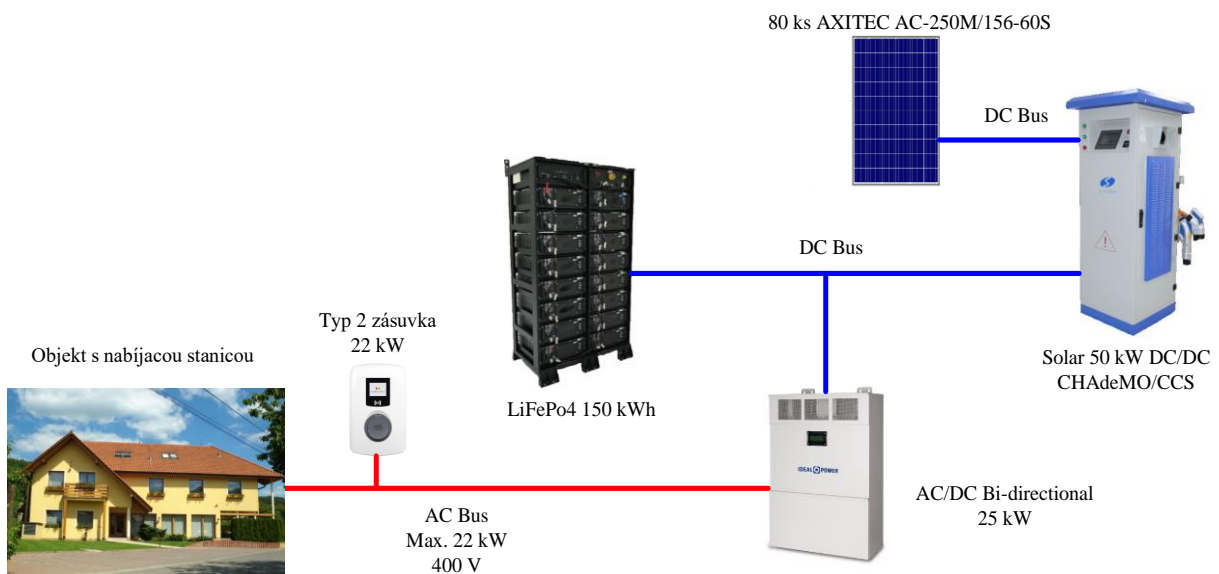


Obr. 5.22 Priebehy napätia, prúdu a SOC počas 21.2.2017 s priemerným využitím

## 6 ENERGETICKÁ A EKONOMICKÁ ANALÝZA NAVRHNUTÉHO RIEŠENIA

### 6.1 Navrhované riešenie nabíjacej stanice

Pri návrhu riešenia nabíjacej stanice boli zohľadnené podmienky stanovené matematickým modelom, dostupnosť technológie na trhu, jednoduchosť a celkové investičné náklady. Technologické vybavenie nabíjacej stanice je znázornené na Obr. 6.1. Nabíjacia stanica umožňuje nabíjanie výkonom 50 kW DC CHAdeMO/CCS, ktoré je sprostredkované rýchlonabíjačkou s integrovaným MPPT pre fotovoltaickú elektrárňu a vstupom pre DC zbernicu. Fotovoltaická elektrárňu obsahuje 80 panelov AXITEC AC-250M/156-60S zapojených v štyroch stringoch po 20 panelov. Na DC zbernicu rýchlonabíjačky sú pripojené LiFePo<sub>4</sub> batérie o celkovej kapacite 150 kWh. Pre možnosť využitia energie zo siete je na DC zbernicu batérie pripojený obojsmerný striedač (AC/DC) o výkone 25 kW. Energia z distribučnej siete je sprostredkovaná cez elektrickú prípojku objektu reštaurácie s vyhradeným výkonom pre nabíjajúcu stanicu 22 kW (400 V, 32 A). V prípade vyťaženia rýchlonabíjačky je možnosť paralelného AC nabíjania pomocou zásuvky Typ 2 o maximálnom výkone 22 kW. Riadenie nabíjacej stanice a výkonových tokov vychádza z predpokladov uvedených v kapitole 5.5. Predmetom tejto práce nie je konkrétny návrh riadiacej jednotky nabíjacej stanice. Prehľad použitej technológie s predpokladanými investičnými nákladmi je uvedený v Tab. 6.1.



Obr. 6.1 Technologické riešenie nabíjacej stanice



Tab. 6.1 Prehľad navrhnutej technológie

Zariadenie	Výrobca	Typ	Cena	DPH	Cena s DPH	Tech. List
Fotovoltický panel	AXITEC	AC 250M/156-60S	16000	3200	19200	Príloha A
DC nabíjačka	Shenzen SETEC Power	50 kW Solar Charger CHAdeMo/CCS	17012	3402,4	20414,4	Príloha B
AC/DC Prevodník (obojsmerný)	Ideal Power	30B3-4xF	13719	2743,8	16462,8	Príloha C
Type 2 zásuvka 22 kW	The mobility house	Eve Mini 904460034	1199	239,8	1438,8	Príloha D
Batéria	Shenzen Polinovel Tech. Co.	LiFePo4 150 kWh	71880	14376	86256	[23]
Konštrukcia, kabeľáž, istenie, montáž			11981	2396,2	14377,2	
			131791	26358,2	158149,2	

## 6.2 Prognóza vývoja elektromobility do budúcnosti

Pre energetickú a finančnú analýzu bolo nutné zmapovať rozvíjajúci sa automobilový priemysel v oblasti elektromobility na Slovensku. Prognózy a vývoj v tejto oblasti stanovila vláda Slovenskej republiky spracované v podobe dokumentu „Stratégie rozvoja elektromobility v Slovenskej republike a jej vplyv na národné hospodárstvo Slovenskej republiky“. Na základe tohto dokumentu Ministerstvo hospodárstva vypracovalo návrh „Národného politického rámca pre rozvoj trhu s alternatívnymi palivami“, kde sú presnejšie namodelované predpoklady vývoja v tejto oblasti do roku 2030. Predpoklady rozvoja v oblasti sa zakladajú na úvahách o podpore budovania infraštruktúry a stimulácie trhu s vozidlami na elektrickú energiu. V tejto oblasti závisí od množstva rôznych faktorov a situácií na trhu, preto uvedené prognózy sú len orientačným vývojom na základe medzinárodných dohôd. V Tab. 6.2 je uvedený vývoj počtu registrovaných EV a PHV do roku 2016 a od roku 2017 až do 2030 je uvedená prognóza nárastu tohto typu vozidiel vo vozovom parku SR [21].

Tab. 6.2 Vývoj počtu EV a PHV do roku 2030 [21]

Rok		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030
EV-PHV	(ks)	42	46	76	198	370	568	1200	2500	5500	10000	20000	35000
Rast	(%)	---	10	65	161	87	54	111	108	120	82	100	75

S rastúcim počtom EV a PHV ja zvyšuje aj požiadavka na možnosti nabíjania z tohto dôvodu je nutné rozširovať infraštruktúru nabíjajúcich staníc. Predpokladaný scenár budovania infraštruktúry nabíjajúcich stojanov je uvedený v Tab. 6.3. Dnes je na Slovensku nainštalovaných 80 nabíjajúcich stojanov a do roku 2030 by sa táto hodnota mala zvýšiť na 2625 stojanov. Štatisticky dnes môžeme uvažovať o 7,1 vozidla na jeden stojan. Dosiahnutiu hodnoty 13,3 EV alebo PHV na jeden stojan dôjde v roku 2020. Do roku 2030 je predpokladaný rast počtu stojanov a vozidiel rovnomerný, čo nespôsobí zvyšovanie vyťaženia viac ako 13,3 auta na stojan.

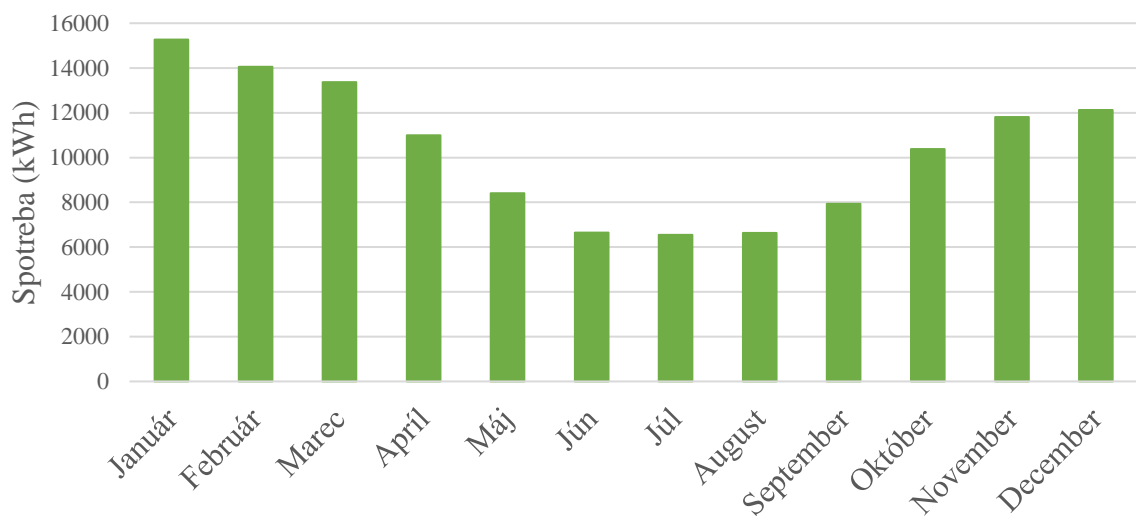
Tab. 6.3 Vývoj počtu nabíjacích stojanov do roku 2030

Rok	AC stojany		DC stojany		Spolu		Počet áut na 1 stojan	
	Plán (ks)	Rast (%)	Plán (ks)	Rast (%)	Plán (ks)	Rast (%)	Auto/stojan (ks)	Rast (%)
2016	50	---	30	---	80	---	7,1	---
2017	100	100	40	33	140	75	8,6	21
2018	200	100	80	100	280	100	8,9	4
2019	400	100	120	50	520	86	10,6	18
2020	600	50	150	25	750	44	13,3	26
2025	1200	100	300	100	1500	100	13,3	0
2030	2100	75	525	75	2625	75	13,3	0

## 6.3 Energetická analýza nabíjacej stanice

### 6.3.1 Historická spotreba objektu reštaurácie s kanceláriami

Na Obr. 6.2 je znázornená priemerná spotreba objektu reštaurácie s kanceláriami, ku ktorému má byť pripojená nabíjacia stanica cez spoločnú prípojku k distribučnej sieti. Priemerná ročná spotreba objektu za roky 2010-2016 je 124 192 kWh. Cena za ročnú spotrebu elektrickej energie za sledované obdobie bola v priemere 15 883 €. Premennivosť spotreby elektriny objektu je daná vývinom vonkajšej teploty, keďže sú použité v objekte tepelné čerpadlá a klimatizačné jednotky.

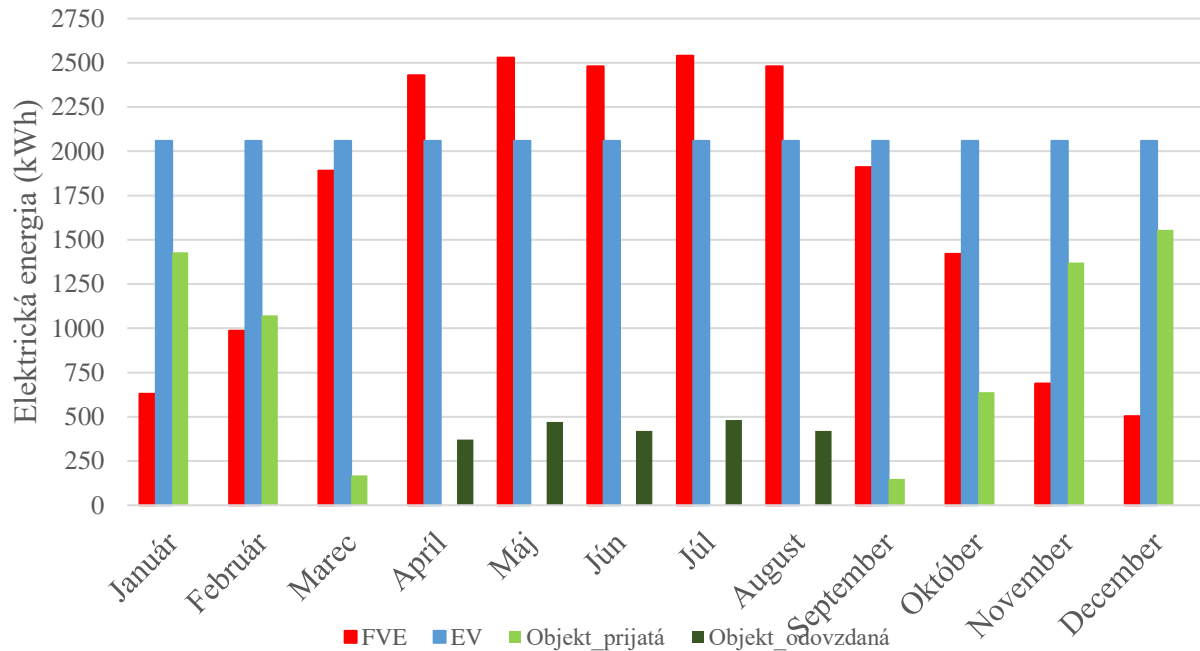


Obr. 6.2 Priemerná spotreba objektu reštaurácie s kanceláriami za roky 2010-2016

### 6.3.2 Energetická analýza nabíjacej stanice

Medzi hlavné vstupy pre energetickú analýzu patrí využitie nabíjacej stanice, ktoré predstavuje priemernú dennú hodnotu energie 67,7 kWh (mesačne 2059,2 kWh). Taktiež mesačná výroba 20 kWp fotovoltickej elektrárne v oblasti obce Dohňany, ktorá bola získaná z [22]. Mesačná energetická bilancia je znázornená na Obr. 6.3, kde modrý stĺpec predstavuje energiu využitú pre nabíjanie EV (ročne 24 710,4 kWh). Červený stĺpec znázorňuje mesačnú výrobu navrhnutého fotovoltického systému (ročne 20 487 kWh). Závislosť nabíjacej stanice od elektrickej energie získanej zo siete v priebehu roka je znázornená bledo zelenou farbou (ročne 4 223,4 kWh). Tmavo zelený stĺpec predstavuje prebytočnú energiu fotovoltického systému, ktorú je možné využiť v objekte. Táto energia má pozitívny vplyv na konečnú faktúru za elektrickú energiu z dôvodu

výroby FVE v čase platnosti VT. Pre komplexnú energetickú analýzu do roku 2030 je potrebné zobrať do úvahy nárast počtu EV a degradáciu fotovoltaických panelov.



Obr. 6.3 energetická analýza NS v priebehu roku

Energetická analýza uvedená v Tab. 6.4 zohľadňuje nárast vyťaženia NS podľa prognóz stanovených Slovenskou republikou z pôvodných 67,7 kWh na 126,6 kWh v roku 2020 (nárast o 87 %). Ďalší rast vyťaženia sa neuvažuje z dôvodu predpokladu vyrovnania nárastu počtu EV a nabíjacích staníc (13,3 EV na 1 nabíjací stojan). Postupná degradácia fotovoltaických panelov spôsobuje každým rokom znižovanie produkcie elektriny. V roku 2030 je predpokladaná produkcia elektrickej energie na úrovni 90 % novej FVE. V energetickú analýze je stanovená cena elektrickej energie 0,1280 €/kWh, ktorá vychádza z faktúr elektrickej energie za obdobie 2010-2016 objektu reštaurácie s kancelármi.

Tab. 6.4 Energetická analýza do roku 2030

Rok	EV	FVE	NS	Objekt	NS+Objekt	Cena El.	Cena_E	Cena_E NS	
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(€/kWh)	(€)	(€)	
2017	0	24710	20487	4223	124192	128415	0,1280	16436,53	540,57
2018	1	25699	19872	5826	124192	130018	0,1280	16641,69	745,74
2019	2	30325	19753	10572	124192	134764	0,1280	17249,07	1353,11
2020	3	38209	19633	18576	124192	142768	0,1280	18273,53	2377,57
2021	4	38209	19514	18695	124192	142887	0,1280	18288,83	2392,87
2022	5	38209	19394	18815	124192	143007	0,1280	18304,12	2408,17
2023	6	38209	19275	18934	124192	143126	0,1280	18319,42	2423,47
2024	7	38209	19155	19054	124192	143246	0,1280	18334,72	2438,76
2025	8	38209	19036	19173	124192	143365	0,1280	18350,01	2454,06
2026	9	38209	18916	19293	124192	143485	0,1280	18365,31	2469,36
2027	10	38209	18797	19412	124192	143604	0,1280	18380,61	2484,65
2028	11	38209	18677	19532	124192	143724	0,1280	18395,90	2499,95
2029	12	38209	18558	19651	124192	143843	0,1280	18411,20	2515,25
2030	13	38209	18438	19771	124192	143963	0,1280	18426,50	2530,54

## 6.4 Finančná analýza projektu

Na základe vyššie uvedených skutočností bol vytvorený finančný model projektu s názvom „*Finančný model NS.xlsx*“, ktorý je elektronickou prílohou tohto dokumentu. Finančný model počíta so životnosťou projektu do roku 2030 a dobou odpisovania 12 rokov. Obsahom súboru je vypracovaný hospodársky výnos projektu za sledované obdobie, kde vstupom pre výpočet boli výsledky energetickej analýzy nabíjacej stanice. Zisk nabíjacej stanice je vytváraný predpokladaným spoplatnením nabíjania sumou 0,5 €/minútu. Finančný model zahŕňa prognózu vývoja elektromobility na Slovensku, čo sa odzrkadľuje v budúcnosti na väčšom využití stanice a väčšej energetickej závislosti od objektu. Cash flow projektu uvažuje so vstupnou investíciou 131 791 € hradenou z vlastných zdrojov bez dotácie, prípadne bankového úveru. Na konci sledovaného obdobia je predpokladaný kumulatívny cash flow 134 170 €. Pri diskontnej sadzbe 1,3 % je výsledná súčasná čistá hodnota 112 281 €. Finančná miera výnosnosti projektu je na úrovni 12,75 % a doba návratnosti projektu je 6,94 roku. Zhodnotením jednotlivých finančných ukazovateľov sa odporúča realizácia projektu nabíjacej stanice.

## 7 ZÁVER

V prvej časti diplomovej práce sú uvedené teoretické podklady pre návrh konceptu rýchlonabíjacej stanice s využitím akumulácie. Obsahom tejto časti je rozobratá problematika nabíjania elektromobilu striedavým alebo jednosmerným prúdom podľa noriem STN EN 61851-1 a STN EN 61851-23. Podľa normy sú uvedené jednotlivé nabíjacie režimy elektromobilu. Vytvorený prehľad normou stanovených spôsobov pripojenia elektromobilu k nabíjacej stanici, prípadne elektrickej zásuvke. Taktiež sú uvedené podmienky funkcionality nabíjajúcich staníc pre jednotlivé nabíjacie režimy. Pre nabíjacie režimy 2, 3 a 4 je vypísaný priebeh nabíjacieho procesu z pohľadu komunikácie. V práci sú uvedené nabíjacie konektory používané v Amerike a Európe. Pre jednotlivé konektory je zostavený prehľad parametrov s popisom kolíkov. Pre vytvorenie obrazu o energetickej a časovej náročnosti nabíjania je vytvorený prehľad nabíjajúcich charakteristík rôznych typov komerčne predávaných elektromobilov za použitia AC alebo DC nabíjania.

Taktiež v prvej časti je obsiahnutá problematika využitia obnoviteľných zdrojov s akumuláciou pre nabíjacie stanice. Ako najvhodnejší zdroj OZE v zemepisných a klimatických podmienkach Slovenska bol zvolený fotovoltaický systém. Pre lepšiu ilustráciu výroby FV bola pridaná charakteristiku dennej výroby už existujúcej elektrárne. Keďže fotovoltaická elektráreň a nabíjacia stanica EV nemajú súdobú prevádzku, je vhodné tento systém stabilizovať batériovým akumuláčnym systémom. Z pohľadu aktuálneho technologického vývoja batérií je najvýhodnejšie použiť typ LiFePo<sub>4</sub> a to vďaka vlastnostiam, ktoré ponúka. Pre lepšiu prehľad je na základe katalógového listu vytvorená charakteristika nabíjania a vybíjania LiFePo<sub>4</sub> článku. V poslednej kapitole je rozobratá možná štruktúra prepojenia nabíjacej stanice, fotovoltaického systému, akumulácie a siete dohromady. Pre riešenie prepojenia je možné použiť zbernicu jednosmernú alebo striedavú.

V druhej časti diplomovej práce bol vytvorený matematický model nabíjacej stanice s akumuláciou a využitím obnoviteľných zdrojov energie. Matematický model nabíjacej stanice je elektronickou prílohou tohto dokumentu pod názvom „*model.slx*“. Súbor obsahuje matematické bloky reprezentujúce fotovoltaický systém, batériovú akumuláciu, pripojenie k sieti a nabíjanie elektromobilu. Pre účely verifikácie bloky matematického modelu boli modifikované podľa fyzikálneho laboratórneho modelu, ktorý sa nachádza na ústave elektroenergetiky Vysokého učení technického v Brne. Verifikácia matematického a fyzikálneho modelu bola realizovaná podľa dát získaných z dňa 15.4.2016. Porovnaním výsledkov uvedených v Tab. 5.3 boli zistené nedostatky matematického modelu. Konkrétne najväčšej odchýlky sa model dopúšťal v množstve energie dodanej do batérie (odchýlka 46,93 %). Táto odchýlka je spôsobená nedokonalosťou navrhnutého algoritmu nabíjania konštantným napätím. Odchýlku je možné minimalizovať optimálnym dimenzovaním jednotlivých blokov stanice.

Ako vhodná lokalita pre umiestnenie nabíjacej stanice bola vybraná obec Dohňany, ktorá slúži ako frekventovaný prepoj Slovenskej a Českej republiky. Pre konkrétne umiestnenie stanice bolo vybraté parkovisko reštaurácie Pri lipe, kde by si užívateľ elektromobilov mohli krátiť chvíle občerstvením. Pre miesto pripojenia nabíjacej stanice boli preverené legislatívne podmienky pripojenia k sieti a získané reálne elektrické parametre distribučnej siete. Z pohľadu jednoduchosti, prevádzkových nákladov a legislatívy bolo zvolené pripojenie nabíjacej stanice k spoločnej elektrickej prípojke objektu reštaurácie s podmienkou navýšenia prúdovej hodnoty ističa na 100 A a obmedzením príkonu stanice na 22 kW. Týmto opatrením sa obmedzia paušálne poplatky a nie je potrebné budovanie novej prípojky. Po pripojení nabíjacej stanice k objektu bola vytvorená

simulácia úbytkov napätí v distribučnej sieti. Podľa uvedeného môžeme konštatovať, že nedošlo k prekročeniu limitu  $\pm 10\%$  menovitého napätia. Vypracovaná simulácia siete je elektronickou prílohou tohto dokumentu pod názvom „*grid\_connect.slx*“.

Pre účely simulácie prevádzkových stavov boli bloky nabíjacej stanice konfigurované na inštalovaný výkon FVE 20 kWp, akumulácia LiFePo<sub>4</sub> o kapacite 150 kWh, príkon zo siete bol obmedzený na 22 kW a nabíjačka umožňuje nabíjanie DC 50 kW s paralelnou možnosťou AC 22 kW. Pre účely simulácie bola stanovená maximálna hodnota vyťaženia stanice na množstvo využitej energie pre EV 204,1 kWh a predpokladané priemerné využitie je 67,7 kWh. Za účelom stanovenia hraníc využitia a simulácie všetkých možných stavov, ktoré môžu nastať v stanici boli simulované štyri 24 hodinové scenáre.

Podľa predpokladov vytvorených matematickým modelom, dostupnosti technológie na trhu, jednoduchosti riešenia a celkových investičných nákladov bol vytvorený návrh technologického vybavenia nabíjacej stanice (Tab. 6.1). Pre konkrétny návrh bola vypracovaná energetická a finančná analýza zohľadňujúca prognózu vývoja elektromobility do roku 2030. Výsledkom celkovej analýzy je finančná miera výnosnosti projektu na úrovni 12,75 % s dobou návratnosti 6,94 rokov. Podrobné výsledky sú uvedené v elektronickej prílohe tohto dokumentu pod názvom „*Finančný model NS.xlsx*“. Zhodnotením jednotlivých finančných ukazovateľov sa odporúča realizácia projektu nabíjacej stanice.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] ŠULOVSÝ, L. História elektromobilov II. časť. *ELEKTROMOBILY.SK* [online]. 2009 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://elektromobily.sk/historia-elektromobilov-ii-cast>
- [2] FALVO, V., D. SBORDONE, I. BAYRAM a M. DEVETSIKIOTIS. *EV charging stations and modes: International standards* [online]. 2014, , 6 [cit. 2016-11-20]. DOI: 10.1109/SPEEDAM.2014.6872107. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6872107&isnumber=6871901>
- [3] STN EN 61851-1. Systém nabíjania elektrických vozidiel vodivým prepojením. Časť 1: Všeobecné požiadavky. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 2012.
- [4] TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. Level 1 and Level 2 Electric Vehicle Service Equipment (EVSE) Reference Design. Texas, 2016, 35 s. Dostupné také z: <http://www.ti.com/lit/ug/tidub87/tidub87.pdf>
- [5] Standardization for road vehicles and associated infrastructure: Report in response to Commission Mandate M/468 concerning the charging of electric vehicles [online]. In: . 2. ed. 2011, s. 155 [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: <http://www.rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2013/04/CENELEC-REport-on-Standardization-of-EV-Oct-2011.pdf>
- [6] Electric vehicle conductive charging system - Part 23: DC electric vehicle charging station. Brussels: CENELEC, 2014.
- [7] STAŇÁK, V. Vybrané aspekty v perspektíve rozvoja elektromobility. Posterus.sk [online]. 2013 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=15889>
- [8] CHAdeMO [online]. Tokyo: CHAdeMO Association, 2016 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.chademo.com/>
- [9] Blink [online]. Miami Beach: Car Charging Group, 2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.blinknetwork.com/privacy.html>
- [10] JIMÉNEZ, I. M., C. A. CARRERAS, G. F. AZNAR a J. F. SANZ OSORIO. IA-HEV Task 20 “Quick Charging Technology”. In: Final report [online]. 2015, s. 70 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: [http://www.ieahev.org/assets/1/7/IEA\\_Final\\_Report\\_Task\\_20.pdf](http://www.ieahev.org/assets/1/7/IEA_Final_Report_Task_20.pdf)
- [11] Tesla [online]. Palo Alto: Tesla motors, 2016 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: [https://www.tesla.com/en\\_EU/](https://www.tesla.com/en_EU/)
- [12] MASTNÝ, P., J. DRÁPELA, S. MIŠÁK, J. MACHÁČEK, M. PTÁČEK, L. RADIL, T. BARTOŠÍK a T. PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [13] CAIRO, J.-I. a A. SUMPER. Requirements for EV charge stations with photovoltaic generation and storage. IEEE [online]. 2012, , 6 [cit. 2016-12-30]. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2012.6465799. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6465799/>
- [14] *Battery university: Types of Lithium-ion* [online]. Isidor Buchmann, 2017 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://batteryuniversity.com/>
- [15] *Battery space* [online]. Richmond: AA Portable Power, 2017 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.batteryspace.com/LiFePO4-40152SE-Cell-3.2V-15-Ah-150ASurge-Rate-48Wh-with-6M-screw-Termin.aspx>
- [16] Performance analysis on a power architecture for EV ultra-fast charging stations. *Clean Electrical Power (ICCEP), 2013 International Conference on* [online]. IEEE, 2013, , 183-188 [cit. 2017-01-02]. DOI: 10.1109/ICCEP.2013.6586987. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6586987>

- [17] Technické podmienky prevádzkovateľa distribučnej sústavy Stredoslovenská energetika – Distribúcia, a.s. In: . 2015, 1.7.2015. Dostupné také z: [https://www.sse-d.sk/buxus/docs/dokumenty/o\\_nas/legislativa/Technicke%20podmienky%20platne%20od%2001072015.pdf](https://www.sse-d.sk/buxus/docs/dokumenty/o_nas/legislativa/Technicke%20podmienky%20platne%20od%2001072015.pdf)
- [18] BELÁŇ, A. Model fotovoltaického článku. *Posterus* [online]. 2013, 6(10) [cit. 2017-04-08]. ISSN 1338-0087. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=16396>
- [19] MORÁVEK, J. Experimental Hybrid Energy System. In Proceedings of the 20th Conference Student EEICT 2014 – Papers written by doctoral students 2014. Brno: Litera, 2014. s. 93-97. ISBN: 978-80-214-4922-0. Dostupné z: <http://eeict.feec.vutbr.cz/2014/sbornik/03doktorskeprojekty/04silnoproudaelektrotechnikaaelektroenergetika/04-xmorav16@stud.feec.vutbr.cz.pdf>
- [20] EN STN 50 160 Charakteristiky napätia elektrickej energie dodávanej z verejnej elektrickej siete. Oprava C1 V 05/11, Oprava \*1 V 06/14, Zmena A1 V 07/15. 2011.
- [21] *Návrh - Národného politického rámca pre rozvoj trhu s alternatívnymi palivami*. Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky, 2016. Dostupné také z: <http://www.economy.gov.sk/narodny-politicky-ramec-pre-rozvoj-trhu-s-alternativnymi-palivami-/148489s>
- [22] *Joint Research Centre* [online]. European Commission, 2012 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [23] CWPOWER BATTERY TECH CO., LTD. *CS POWER* [online]. Čína, 2017 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.csagmbattery.com/index.php/lithiumbattery/343.html>



# PRÍLOHY

## Príloha A



### AXIpremium

60 cell monocrystalline  
High performance photovoltaic module

German engineered – made for America

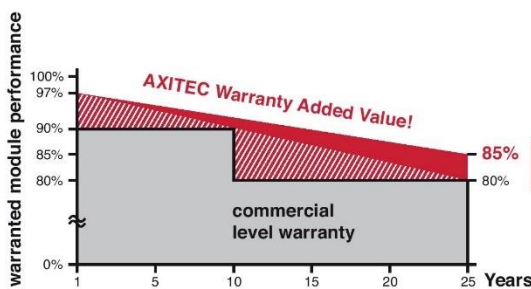
- 12 years manufacturer's warranty  
Two more years than industry standard
- Highest performance due to specifically selected technologies and materials
- Positive power tolerance from 0-5 Wp  
Higher guaranteed yield
- Snow load of up to 113 psf  
Stable module for a long life in extreme conditions
- 100 % electroluminescence inspection  
Micro crack and hotspot free modules
- Axitec-Soft-Grip-Seam aluminum frame  
Higher stability and easier handling
- High quality junction box and connector system for a longer life time



Fig. similar 60M156USA170329A

#### Exclusive linear AXITEC high performance guarantee!

- 15 years manufacturer's guarantee on 90 % of the nominal performance
- 25 years manufacturer's guarantee on 85 % of the nominal performance



1 - 8 % more power after 25 years



Module Fire Performance:  
TYPE 1 (UL 1703)  
CLASS C (IEC61730)

**AXIpremium**

AC-270M/156-60S  
 AC-275M/156-60S  
 AC-280M/156-60S  
 AC-285M/156-60S  
 AC-290M/156-60S

www.axitecsolar.us



Distributed by:

**Electrical data** (at standard conditions (STC) irradiance 1000 watt/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 at a cell temperature of 25°C)

Type	Nominal output P <sub>mpp</sub>	Nominal voltage U <sub>mpp</sub>	Nominal current I <sub>mpp</sub>	Short circuit current I <sub>sc</sub>	Open circuit voltage U <sub>oc</sub>	Module conversion efficiency
AC-270M/156-60S	270 Wp	30.94 V	8.80 A	9.41 A	39.26 V	16.60 %
AC-275M/156-60S	275 Wp	31.20 V	8.86 A	9.50 A	39.32 V	16.90 %
AC-280M/156-60S	280 Wp	31.50 V	8.95 A	9.55 A	39.45 V	17.21 %
AC-285M/156-60S	285 Wp	31.59 V	9.09 A	9.68 A	39.56 V	17.52 %
AC-290M/156-60S	290 Wp	31.71 V	9.16 A	9.70 A	39.70 V	17.83 %

**Design**

Frontside 0.13 inch (3.2 mm) hardened, low-reflection white glass  
 Cells 60 monocrystalline high efficiency cells 6 inch (156 x 156 mm)  
 Backside Composite film  
 Frame 1.38 inch (35 mm) silver anodized aluminium frame

**Mechanical data**

L x W x H 64.57 x 39.06 x 1.38 inch (1640 x 992 x 35 mm)  
 Weight 39.68 lbs (18.0 kg) with frame

**Power connection**

Socket Protection Class IP67 (3 bypass diodes)  
 Wire 43.3 inch, AWG 11  
 Plug-in system Plug/socket IP67

**Limit values**

System voltage 1000 VDC (UL) 1000 VDC (IEC)  
 NOCT (nominal operating cell temperature)\* 45°C +/-2K  
 Max. load-carrying capacity 113 PSF  
 Reverse current feed IR 15.0 A  
 Permissible operating temperature -40°C to 85°C / -40F to 185F

(No external voltages greater than V<sub>o</sub> may be applied to the module)

\* NOCT, irradiance 800 W/m<sup>2</sup>; AM 1.5; wind speed 1 m/s; Temperature 20°C

**Temperature coefficients**

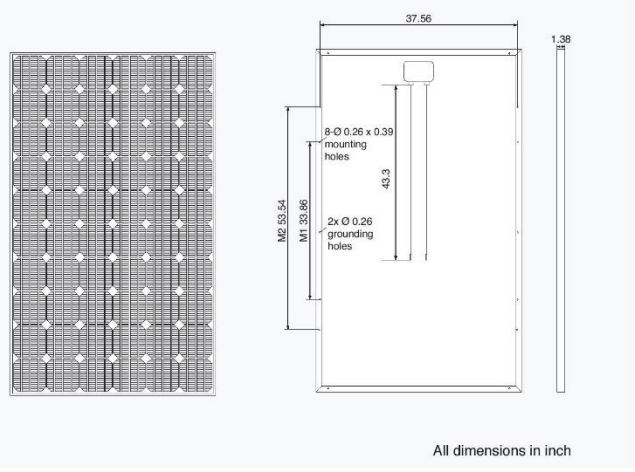
Voltage U<sub>oc</sub> -0.30 %/K  
 Current I<sub>sc</sub> 0.04 %/K  
 Output P<sub>mpp</sub> -0.40 %/K

**Low-light performance** (Example for AC-260M/156-60S)

I-U characteristic curve	Current I <sub>pp</sub>	Voltage U <sub>pp</sub>
200 W/m <sup>2</sup>	1.71 A	30.00 V
400 W/m <sup>2</sup>	3.41 A	30.10 V
600 W/m <sup>2</sup>	5.18 A	30.18 V
800 W/m <sup>2</sup>	6.89 A	30.36 V
1000 W/m <sup>2</sup>	8.60 A	30.42 V

**Packaging**

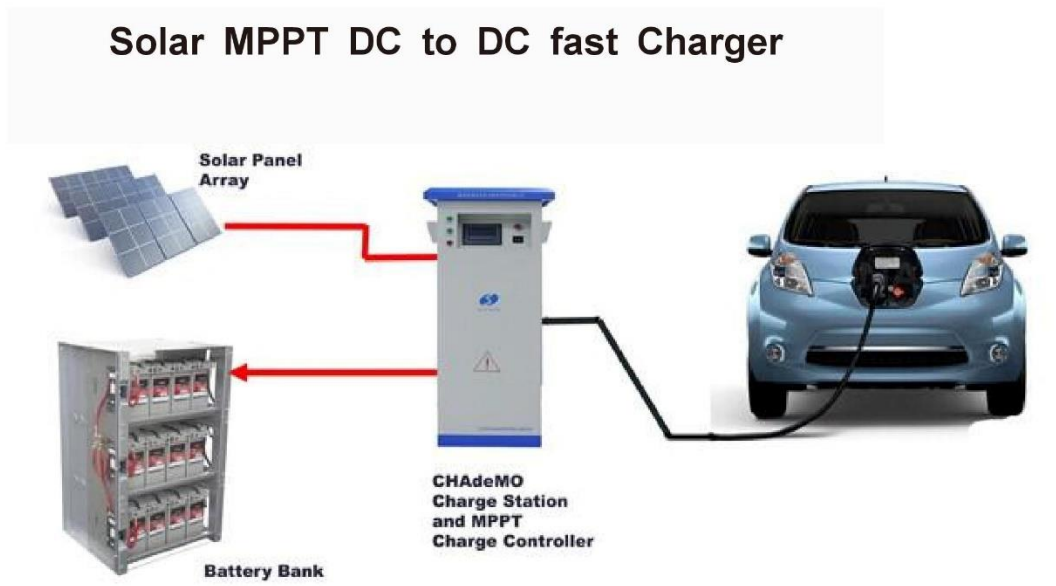
Module pieces per pallet 30  
 Module pieces per HC-container 840



Technical data are subject to change without prior notice, errors excepted.

The measurement tolerances are +/-3%

## Príloha B



Solar MPPT DC To DC Fast Charger solution includes Solar MPPT Fast Charger, Battery Bank, Solar Panel.

The solution is aimed at solving unavailable 3 Phase AC power and high cost of building 3 Phase AC power, which is good for remote site.

Solar MPPT DC quick charger consists of charging modules, monitor, smart meter, HMI, communication module, charging connector, management, cabinet, and Solar MPPT Charger Controller.

DC Quick charging station offers Electric Vehicle owners an opportunity to charge their car safely and quickly. A typical electric car with 24kWh battery pack may be charged as quickly as 20 minutes to get up to 80% of its capacity.

The Charger combines industry standardization with advanced charging technology to support next-generation electric vehicles. Seamless integration with several payment & billing platform solutions enable easy and secure payments via station payment terminals and RFID card.

- ◆ Built-in safety measures
- ◆ User friendly interface
- ◆ soft-switching technology, efficiency up to 95%
- ◆ Data management and metering option
- ◆ Wireless communication remote monitoring and assistance
- ◆ Available in several models for different applications

<b>BMS Communication</b>		CAN2.0A/B	PLC
<b>Protocol</b>		CHAdeMO protocol Ver0.9	SAE J1772(IEC 15118)
<b>Cooling</b>		Cooling Fans	
<b>Compliance and Safety</b>		CE, CHAdeMO, KS, cMETus(MET Listed to UL Standards)	
<b>Display</b>	<b>LCD</b>	7 or 10 inch Touch Screen	
	<b>LED</b>	3 Color LED lights- status indicator	
<b>User Recognition</b>		RFID card	
<b>Option</b>	<b>Billing</b>	Credit card billing system	
	<b>Communication</b>	Data collection, Monitoring and Control	
		(using CDMA or TCP/IP – depends on region)	
		Compliant with Open Charge Point Protocol	
<b>DC input</b>	<b>DC Source</b>	Solar PV/ Battery	
	<b>Voltage of Solar PV</b>	500V or Up	
	<b>Voltage of Battery</b>	300-400V or Up	
<b>DC Output</b>	<b>Voltage</b>	400V/700V/900V	
	<b>Current</b>	0-1000 A	
	<b>Power</b>	0KW-1000KW	
<b>Operating Temperature</b>		-25°C to +65°C	
<b>Protective Fuction</b>		Reserve polarity protection	
		Short circuit protection	
		Over temperature protection	
		Over-voltage / Under-voltage protection	
		Ground fault detection	

**SET1410 Monitor introduction:**

SET1410 monitoring module is designed for DC charger with protocol CAN2.0. The number of modules can be set from 1 to 13. SET1410 module uses 6.4-inch LCD display with a keyboard and a touch screen. System monitoring module functional, with RS232 / RS485 serial interface; also optional TCP / IP interface.

**Features:**

- CANBUS communication
- Ethernet Interface
- Display operating parameter
- Record and display alarm information
- Record the amount of battery charge and discharge Ann
- Background monitoring network interface or remote four remote
- Parameter setting operation either by remote control

## Priloha C

**IDEAL POWER**

idealpower.com

Ordering Part Number: 30B3-4xF

# 30 kW



## Grid-Resilient 30 kW AC/DC Power Conversion System (PCS)

- *Transformerless Isolation*
- *Lightest Weight and Smallest Footprint on the Market*
- *Supports Global Standards*
  - 60 Hz
  - 50 Hz
  - On-Grid/Grid Following
  - Off-Grid/Grid Forming
- *Designed and Manufactured in the USA*



### TRANSFORMERLESS ISOLATION

The Ideal Power 30B3-4xF PCS utilizes our proprietary Power Packet Switching Architecture (PPSA) to efficiently transfer energy between its AC and DC power ports. PPSA provides port-to-port electrical isolation, eliminating the need for an external isolation transformer.

### GRID-RESILIENT

Beyond the grid-tied functionality described above, the PCS is easily re-configured to support a wide variety of microgrid applications, making it ideal for free-standing off-grid power systems as well as grid-resilient applications in regions where grid quality or grid availability is often compromised.

### LAUNCH PRODUCTS FASTER!

Our robust command/control interface is shared across our second generation PCS family, improving product flexibility while simplifying systems integration and code maintenance.

### LIGHTEST WEIGHT AND SMALLEST FOOTPRINT ON THE MARKET

Our PCS wall-mounted enclosure weighs 125 pounds and is NEMA 3R rated.

### WORKS GLOBALLY

The converter's nameplate rating of 30 kW supports 480 V<sub>AC</sub>/60 Hz 3-phase North American grid standards, and both AC output voltage and AC output frequency are user programmable via the unit's Modbus interface.

For 400 V<sub>AC</sub>/50 Hz 3-phase applications found outside of North America, the nominal nameplate rating is 25 kW.



# Grid-Resilient 30 kW AC/DC Power Conversion System (PCS) Specifications

# 30 kW

<b>Bidirectional AC Power Port</b>	
Maximum AC Power	30 kW at 480 V <sub>AC</sub> 25 kW at 400 V <sub>AC</sub>
Maximum AC Current	39 Amps
Voltage Range	Supports 480 V <sub>AC</sub> , 400 V <sub>AC</sub> and 380 V <sub>AC</sub> grid standards
Frequency Range	Supports 60 Hz, 50 Hz, and 57.5 Hz (HECO) grid standards
Power Factor	> 0.97 at rated output power
Typical Efficiency	> 96%
Peak Efficiency	97%
Tare Losses	< 25 W
Current Harmonics	IEEE 1547 Compliant, < 4% THD at full power
Available Control Methods	Constant Power, Net Power
Off-Grid Mode	Voltage Forming / Load Following
<b>Bidirectional DC Power Port</b>	
Maximum DC Power	30 kW
Maximum DC Current	50 Amps
Absolute Max Voltage (V <sub>DC</sub> )	± 600 V <sub>DC</sub> (1200 V <sub>DC</sub> )
Operating Voltage Range	±100 to ± 500 V <sub>DC</sub> (200 to 1000 V <sub>DC</sub> )
Full Power Voltage Range	± 300 to ± 500 V <sub>DC</sub> (600 to 1000 V <sub>DC</sub> )
Available Control Methods	Constant Power, Constant Current, MPPT (PV), Net Power
Wiring Configuration	4 Wire Bipolar with Integral GFDI Circuit
Maximum GFDI Current	1A: fused; trip point is programmable
Transient Overvoltage	Yes, MOV voltage clamps
<b>Environmental</b>	
Ambient Operating Temp	-25 to 40°C full power, reduced power > 40°C
Ambient Storage Temp	-40 to 70°C (non-operating)
Humidity	0 to 100% relative humidity
Cooling	Forced convection with redundant variable speed fans
Enclosure / Rating / Material	NEMA-3R / Powder-coated aluminum
Certifications	UL1741, IEEE1547
<b>General</b>	
Enclosure Size	23.5" W x 36.5" H x 10.75" D
Weight	125 lbs
Mounting	Wall Mount
Isolation Transformer	Not Required
Control Interface	RS-485 / Modbus RTU
Warranty	10 years



[idealspower.com](http://idealspower.com)  
Ordering Part Number: 30B3-4xF



DAT-00004 Rev D  
February 2016

## Príloha D



## ICU Eve Mini

## Allgemeines

Modellbezeichnung	ICU Eve Mini
1 x Typ 2 Ladebuchse, 1-phasig, 16 A, RFID	Art.-Nr.: 904460004
1 x Typ 1 Ladekabel 4 m, 1-phasig, 16 A, RFID	Art.-Nr.: 904460002A
1 x Typ 2 Ladekabel 4 m, 1-phasig, 16 A, RFID	Art.-Nr.: 904460002B
1 x Typ 1 Ladekabel 8 m, 1-phasig, 16 A, RFID	Art.-Nr.: 904460002C
1 x Typ 2 Ladekabel 8 m, 1-phasig, 16 A, RFID	Art.-Nr.: 904460002D
1 x Typ 1 Ladekabel 4 m, 1-phasig, 16 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460001A
1 x Typ 2 Ladekabel 4 m, 1-phasig, 16 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460001B
1 x Typ 1 Ladekabel 8 m, 1-phasig, 16 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460001C
1 x Typ 2 Ladekabel 8 m, 1-phasig, 16 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460001D
1 x Typ 2 Ladebuchse, 1-phasig, 16 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460003
1 x Typ 2 Ladebuchse, 3-phasig, 16 A, RFID	Art.-Nr.: 904460024
1 x Typ 2 Ladekabel 4 m, 3-phasig, 16 A, RFID	Art.-Nr.: 904460022B
1 x Typ 2 Ladekabel 8 m, 3-phasig, 16 A, RFID	Art.-Nr.: 904460022D
1 x Typ 2 Ladekabel 4 m, 3-phasig, 16 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460021B
1 x Typ 2 Ladekabel 8 m, 3-phasig, 16 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460021D
1 x Typ 2 Ladebuchse, 3-phasig, 16 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460023
1 x Typ 2 Ladebuchse, 3-phasig, 32 A, RFID	Art.-Nr.: 904460034
1 x Typ 2 Ladekabel 4 m, 3-phasig, 32 A, RFID	Art.-Nr.: 904460032B
1 x Typ 2 Ladekabel 8 m, 3-phasig, 32 A, RFID	Art.-Nr.: 904460032D
1 x Typ 2 Ladekabel 4 m, 3-phasig, 32 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460031B
1 x Typ 2 Ladekabel 8 m, 3-phasig, 32 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460031D
1 x Typ 2 Ladebuchse, 3-phasig, 32 A, Plug & Charge	Art.-Nr.: 904460033
Verpackungseinheit (VPE)	1 Stück
Lieferumfang Ladestation	ICU Eve Mini, Installationsanleitung, Ladekabel (optional), RFID-Karten (optional), Montagezubehör



## ICU Eve Mini

### Eingang / Stromanschluss

Netzanschluss	min. 3 x 6 mm <sup>2</sup> (1-Phase, 16 A); max. 5 x 10 mm <sup>2</sup> (3-Phasen, 32 A)
Nennspannung	230 V od. 400 V
Nennstrom	25 A 1-Phasen 230 V 50 Hz (3,7 kW Ausführung) od. 25 A 3-Phasen 400 V 50 Hz (11 kW Ausführung) od. 40 A 3-Phasen 400 V 50 Hz (22 kW Ausführung)
Nennfrequenz	50 Hz
Vorsicherung	20 A - 40 A (bauseitig erforderlich)
Anschlussklemmen	Kabelschelle geeignet für Klemmbereich von 9,5 mm – 25,5 mm, Anschlussklemmen für max. 10 mm <sup>2</sup>
Erdung	TN-S System, PE-Leiter
Hauptschalter	-

### Ausgang / Fahrzeuganschluss

Anschluss technik	Typ 1 od. 2 Ladekabel od. Typ 2 Ladebuchse, mit Verriegelung, gem. IEC62196-2
Ausgangsspannung	230 V od. 400 V
Maximaler Ladestrom	16 A, 1-phasig od. 16 A, 3-phasig od. 32 A, 3-phasig
Maximale Ladeleistung	3,7 kW od. 11 kW od. 22 kW
Abschaltung (standby)	Jeweils allpolig
Dynamisches Lastmanagement	-

### Absicherung / Einbauten

Fehlerstromschutzschalter	FI-Schutzschalter (RCCB) - extern bauseitig erforderlich
Elektrizitätszähler	kWh-Zähler, integriert, MID zertifiziert - Modbus Integriert in Firmware; Abschaltung bei: 105% nach 1000 s; 110% nach 100 s; 120% nach 10 s; 150% nach 2 s
Überstromschutz	

### Normen / Richtlinien

IEC 61851-1 (2010), IEC 61851-22 (2010), Renault Z.E. Ready Guidelines





## ICU Eve Mini

### Ladeüberwachung / Funktionsanzeige

Ladecontroller	1 x NG910
Kommunikation mit Fahrzeug	Mode 3
Anzeige Status	1x RGB LED (bei Ladekabel) oder 3,5 Zoll Display ( bei Ladebuchse)
Display	TFT Farbdisplay mit 320 x 240 pixel Auflösung (optional), individualisierbar (auf Anfrage)
Kartenleser	integrierter RFID Leser (NFC) Mifare 13,56 Mhz, DESFire (optional)
Internet / Netzwerkfähigkeit	GPRS, TCP/IP
Kommunikationsprotokoll	OCPP 1.5 (JSON)
Kommunikation mit Smart Meter	UTP Kabel mit RJ11-Stecker

### Arbeitsbedingungen

Umgebungstemperatur	-25°C bis 40°C
Relative Luftfeuchtigkeit	5% bis 95%
Schutzklasse	I
Schutzart Gehäuse	IP54
IK-Stoßfestigkeitsgrad	IK10
Stand-By Verbrauch	Ca. 20 W

### Gehäuse

Bauart	Wandgehäuse
Befestigungsart	Wandbefestigung oder Verschraubung mit Standfuß (optional)
Material Blende und Gehäuse	Polycarbonat, UV-beständig und schwer entflammbar
Farbe Blende	RAL 9016 (Verkehrsweiß)
Farbe Gehäuse	RAL 7043 (Verkehrsgrau)
Verriegelung	-
Abmessungen (H x B x T)	370 x 240 x 130 mm
Gewicht	Ca. 4 kg



## ICU Eve Mini

### Zubehör

Standfuß	Art.-Nr.: 803873023
Abmessungen Standfuß (H x B x T)	1800 x 200 x 160 mm
Material Standfuß	Stahl, pulverbeschichtet
Farbe Standfuß	RAL 7043 (Verkehrsgrau)
Wandhalterung Kabel Typ 1	Art.-Nr.: 803857251
Wandhalterung Kabel Typ 2	Art.-Nr.: 803857252
Zusätzliche RFID Karte	Art.-Nr.: 203120010
Ersatz-Ladekabel Typ 1, 1-phasig, 16 A, 4m	Art.-Nr.: 203100281
Ersatz-Ladekabel Typ 2, 1-phasig, 16 A, 4m	Art.-Nr.: 203100284
Ersatz-Ladekabel Typ 2, 3-phasig, 16 A, 4m	Art.-Nr.: 203100290
Ersatz-Ladekabel Typ 2, 3-phasig, 32 A, 4m	Art.-Nr.: 203100287
Ersatz-Ladekabel Typ 1, 1-phasig, 16 A, 8m	Art.-Nr.: 203100283
Ersatz-Ladekabel Typ 2, 1-phasig, 16 A, 8m	Art.-Nr.: 203100286
Ersatz-Ladekabel Typ 2, 3-phasig, 16 A, 8m	Art.-Nr.: 203100292
Ersatz-Ladekabel Typ 2, 3-phasig, 32 A, 8m	Art.-Nr.: 203100289
Ladekabel Typ 1 auf Typ 2, 1-phasig, 16 A, 6m	Art.-Nr.: 203100262
Ladekabel Typ 2 auf Typ 2, 3-phasig, 32 A, 6m	Art.-Nr.: 203100274

### Verpackung

Abmessungen Ladestation verpackt (H x B x T)	400 x 400 x 270 mm
Gewicht Ladestation verpackt	Ca. 6 kg
Abmessungen Standfuß verpackt (H x B x T)	1820 x 260 x 180 mm
Gewicht Standfuß verpackt	Ca. 11 kg