



# 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

## NABÍJECÍ STANICE PRO ELEKTROMOBILY

CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Zajac

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

BRNO 2016



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Tomáš Zajac

**ID:** 164439

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## Nabíjecí stanice pro elektromobily

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Zhodnotit současný stav s elektromobilitou (EV).
2. Vytvořit přehled dobíjecích metod a infrastruktury.
3. Vytvořit základní model dobíjení EV s pomocí vhodného softwarového nástroje.
4. Zhodnocení dosažených výsledků.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 8.2.2016

**Termín odevzdání:** 24.5.2016

**Vedoucí práce:** Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

**Konzultant bakalářské práce:**

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

**UPOZORNĚNÍ:**

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

Bibliografická citácia práce:

ZAJAC, T. *Nabíjecí stanice pro elektromobily*. Bakalárska práca. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2016, 50 strán.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb a som si plne vedomý následkov v prípade porušenia ustanovení § 11 a autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. Díel 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Taktiež chcem poďakovať vedúcemu práce Ing. Lukášovi Radilovi, Ph.D. za všetku odbornú pomoc, konzultácie, postrehy a užitočné informácie ktoré mi pomohli pri tvorbe práce.

.....

**ABSTRAKT**

Predmetom bakalárskej práce sú elektrické vozidlá a ich nabíjanie. V prvej časti je uvedená kategorizácia elektrických vozidiel spolu s popisom akumulátorov využívaných v EV a ich základných vlastností. Následne sú definované kľúčové princípy týkajúce sa noriem o nabíjaní a nabíjacieho vybavenia. Spolu s nimi sú predstavené a popísané možnosti rôzneho usporiadania nabíjacích staníc. Prvú časť uzatvára krátky prehľad súčasných trendov a inovácií. Nasledujúca časť je zameraná na analýzu prevádzkových nákladov elektromobilov a áut so spaľovacím motorom. Posledná časť sa zaoberá výberom konkrétnej nabíjacej stanice, vytvorením a opisom matematického modelu jej nabíjacieho cyklu. Popri vplyvu na distribučnú sústavu je diskutovaná možnosť čiastočného odľahčenia siete, ktorá je dosiahnuteľná aplikáciou systému na skladovanie energie – prídavným akumulátorom. Práca je zakončená návrhom analýzy investičných a prevádzkových nákladov. Tá je následne realizovaná a diskutovaná.

**KLÚČOVÉ SLOVÁ:** elektromobil, nabíjanie, nabíjacia stanica, nabíjací cyklus, akumulácia

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis deals with issues of electric vehicle and EV charging. In its first part, categorization of EV's is listed alongside with description of energy accumulation used in EVs and its key features. Furthermore, key mechanisms regarding EV charging standards and equipment are defined and the possibilities of varying charging station designs are presented and described. First part is closed by short overview of trends and innovations. Next part is focused on operating costs analysis of electric vehicles and vehicles with internal combustion engine. Final part deals with selection of charging station, creation and description of mathematical model of its charging cycle. Impact on grid is discussed along with optional partial decoupling of the load from the grid, achieved by the application of energy storage elements – buffer accumulation. Thesis is closed by proposal for calculation methodology for capital and operating costs analysis. This analysis is programmed and the overall cost of the investment is discussed.

**KEY WORDS:** electric vehicle, charging, charging station, charging cycle, accumulation

**OBSAH**

<b>ZOZNAM OBRÁZKOV.....</b>	<b>8</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK.....</b>	<b>9</b>
<b>ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>10</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>11</b>
<b>2 ELEKTROMOBIL.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 ELEKTROMOBIL S AKUMULÁTOROM.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 HYBRIDNÉ ELEKTRICKÉ VOZIDLO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 PRIPOJITELNÉ HYBRIDNÉ ELEKTRICKÉ VOZIDLO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 AKUMULÁTORY.....</b>	<b>15</b>
<b>3 NABÍJANIE ELEKTRICKÉHO VOZIDLA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 PRIPOJENIE ELEKTROMOBILU.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 NABÍJACIE REŽIMY.....</b>	<b>19</b>
3.2.1 ZÁKLADNÉ ROZDELENIE.....	19
3.2.2 POŽIADAVKY NA NABÍJACIE REŽIMY.....	20
<b>3.3 NABÍJACIE STANICE.....</b>	<b>21</b>
3.3.1 NABÍJACIE STANICE PRE NORMÁLNE NABÍJANIE.....	22
3.3.2 NABÍJACIE STANICE PRE RÝCHLONABÍJANIE.....	22
3.3.3 AKTÍVNE NABÍJACIE STANICE.....	22
<b>3.4 TYPY KONEKTOROV.....</b>	<b>23</b>
3.4.1 TYP 1 - SAE J1772.....	23
3.4.2 TYP 2 - MENNEKES (VDE-AR-E 2623-2-2).....	24
3.4.3 TYP 3 – KONEKTOR ALIANCIE EV.....	25
3.4.4 CHADEMO.....	25
<b>3.5 SÚČASNÉ TRENDY V NABÍJANÍ.....</b>	<b>25</b>
3.5.1 TESLA SUPERCHARGER.....	25
3.5.2 VÝMENA AKUMULÁTORA.....	26
3.5.3 INDUKČNÉ DOBÍJANIE.....	26
<b>4 POROVNANIE PREVÁDZKOVÝCH NÁKLADOV VOZIDIEL.....</b>	<b>27</b>
<b>5 PREVÁDZKA NABÍJACEJ STANICE.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1 VÝBER NABÍJACEJ STANICE.....</b>	<b>28</b>
<b>5.2 MODEL PREVÁDZKY NABÍJACEJ STANICE.....</b>	<b>29</b>
<b>5.3 PRÍDAVNÁ AKUMULÁCIA.....</b>	<b>30</b>
5.3.1 VÝBER AKUMULÁTORA.....	30
5.3.2 MODEL PREVÁDZKY S AKUMULÁCIU.....	31
<b>5.4 PRIPOJENIE NA DISTRIBUČNÚ SÚSTAVU.....</b>	<b>32</b>
5.4.1 KABELÁŽ.....	32
5.4.2 IŠTIACE PRVKY.....	33
<b>5.5 EKONOMIKA NÁVRHU A PREVÁDZKY NABÍJACEJ STANICE.....</b>	<b>33</b>

---

5.5.1 VSTUPNÉ NÁKLADY .....	33
5.5.2 PREVÁDZKOVÉ NÁKLADY .....	34
5.5.3 ZHODNOTENIE INVESTÍCIE.....	35
<b>6 ZÁVER.....</b>	<b>37</b>
<b>POUŽITÁ LITERATÚRA .....</b>	<b>38</b>
<b>PRÍLOHA A – POROVNANIE PREVÁDZKOVÝCH NÁKLADOV VOZIDIEL.....</b>	<b>41</b>
<b>PRÍLOHA B – MODEL PREVÁDZKY NABÍJACEJ STANICE .....</b>	<b>43</b>
<b>PRÍLOHA C – ZHODNOTENIE INVESTÍCIE.....</b>	<b>49</b>

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

<i>Obr. 2.1</i> Architektúra BEV [2].....	12
<i>Obr. 2.2</i> Architektúra sériového HEV [2].....	14
<i>Obr. 2.3</i> Architektúra paralelného HEV [2].....	14
<i>Obr. 2.4</i> Architektúra paralelného PHEV [2].....	15
<i>Obr. 3.1</i> Pripojenie A [8].....	18
<i>Obr. 3.2</i> Pripojenie B [8].....	18
<i>Obr. 3.3</i> Pripojenie C [8].....	18
<i>Obr. 3.4</i> Schéma aktívnej nabijacej stanice [11].....	23
<i>Obr. 3.5</i> Konektor Mennekes (upravené autorom) [16].....	24
<i>Obr. 3.6</i> Schéma nabijacej a výmennej stanice [19].....	26
<i>Obr. 4.1</i> Čistá súčasná hodnota v závislosti na diskonte.....	27
<i>Obr. 5.1</i> Výber vstupných parametrov modelu.....	29
<i>Obr. 5.2</i> Porovnanie priebehov okamžitého výkonu.....	29
<i>Obr. 5.3</i> Usporiadanie nabijacej stanice a akumulácie.....	30
<i>Obr. 5.4</i> Porovnanie priebehov okamžitého výkonu po optimalizácii.....	32
<i>Obr. 5.5</i> Počiatočné zhodnotenie investície.....	35
<i>Obr. 5.6</i> Upravené zhodnotenie investície.....	36



**ZOZNAM TABULIEK**

<i>Tab. 2.1 Prehľad BEV [12]</i> .....	13
<i>Tab. 2.2 Špecifikácie – Nissan Leaf [5]</i> .....	13
<i>Tab. 2.3 Porovnanie batérií [6]</i> .....	16
<i>Tab. 3.1 Príkony nabíjacích staníc [12]</i> .....	21
<i>Tab. 4.1 Prehľad nákladov na pohonné hmoty</i> .....	27
<i>Tab. 5.1 Prehľad nabíjacích staníc [23]</i> .....	28
<i>Tab. 5.2 VRB-based úložiská energie [24]</i> .....	31
<i>Tab. 5.3 Kontrola kabeláže</i> .....	33
<i>Tab. 5.4 Investičné náklady [26][27]</i> .....	34
<i>Tab. 5.5 Prehľad zložiek cien elektrickej energie [27]</i> .....	34
<i>Tab. 5.6 Náklady na PHM – prepočítané (vrátane DPH)</i> .....	36

## ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

- BEV – Elektromobil s akumuláciou (Battery Electric Vehicle)  
 CCF – Kumulatívne peňažné toky (Cumulative Cash Flow)  
 EP – Elektrický pohon  
 EV – Elektrické vozidlo  
 EVSE – Napájacie vybavenie pre elektromobil (Electric Vehicle Supply Equipment)  
 HEV – Hybridný elektromobil (Hybrid Electric Vehicle)  
 NEDC – Nový európsky jazdný cyklus (New European Driving Cycle)  
 NPV – Čistá súčasná hodnota (Net Present Value)  
 PHEV – Pripojiteľný hybridný elektromobil (Plug-In Hybrid Electric Vehicle)  
 PHM – Pohonné hmoty  
 SM – Spaľovací motor

Značka	Veličina	Jednotka
$E_a$	Kapacita akumulátora	kWh
$E_{a1,max}$	Energia z akumulátora v jednom cykle	kWh
$E_r$	Ročný odber nabíjacou stanicou	kWh
$I_n$	Menovitý prúd istiaceho prvku	A
$I_{nk}$	Menovité prúdové zaťaženie vodiča	A
$I_o$	Prúdový odber nabíjacou stanicou	A
$I_{o,m}$	Maximálny prúdový odber nabíjacou stanicou	A
$I_{o,o}$	Obmedzený prúdový odber nabíjacou stanicou	A
$I_z$	Dovolené prúdové zaťaženie vodiča	A
$k$	Koeficient rešpektujúci typ uloženia kabeláže a prostredie	-
$P_a$	Výkon na výstupe akumulácie	kW
$P_{max}$	Maximálny výkon jedného konektora nabíjacej stanice	kW
$P_{p,m}$	Maximálny činný príkon nabíjacej stanice	kW
$P_{p,o}$	Obmedzený činný príkon nabíjacej stanice	kW
$S_{p,m}$	Maximálny zdanlivý príkon nabíjacej stanice	kVA
$U_z$	Združené napätie	V
$\eta$	Účinnosť nabíjacej stanice	-
$\lambda$	Účinník odberu nabíjacej stanice	-

# 1 ÚVOD

Elektromobilita je vízia, ktorú sa ľudstvo pokúšalo realizovať od polovice 19-teho storočia. Toto snaženie bolo v počiatkoch brzdené veľkými nevýhodami, akými boli napríklad vysoké náklady pri porovnateľne nižšom dojazde oproti klasickým autám so spaľovacím motorom. No vďaka pokroku v technológiách, a najmä vďaka rastúcim obavám o životné prostredie a udržateľnosť spoločnosti závislej na fosílnych palivách dostávala vízia elektrického auta v posledných desaťročiach reálne kontúry.

Hľadanie alternatívy ku automobilom so spaľovacím motorom je v posledných rokoch aktívne diskutovaná téma. Medzi vhodných kandidátov patria napríklad vozidlá na elektrický pohon, zemný plyn, vodík alebo bio-palivá. Bakalárska práca sa zameriava práve na problematiku elektromobilov a ich nabíjania. Taktiež vzniká snaha, či už na vnútroštátnej alebo medzištátnej úrovni, o vytvorenie ucelenej siete nabíjacích staníc, s jednotným modelom pripojenia vozidla. Kompatibilita nabíjania a dobre navrhnutá nabíjacia infraštruktúra sú základným predpokladom pre nárast konkurencieschopnosti elektrického auta na automobilovom trhu.

Cieľom bakalárskej práce je teoreticky popísať základné princípy nabíjania elektrických vozidiel, uviesť jeho kategorizáciu v rámci európskych noriem a štandardov a priblížiť súčasne používané nabíjacie stanice. Následne zhodnotiť a porovnať investičné náklady, ktoré sú spojené s kúpou a užívaním elektromobilu v porovnaní s klasickým automobilom. Získané teoretické poznatky spolu s vytvoreným ekonomickým zhodnotením slúžia nadväzujúcej časti, ktorá sa venuje modelovaniu nabíjacieho procesu na konkrétnej nabíjacej stanici. Na základe modelu nabíjania vytvoreného v programe Mathematica sa zaoberá otázkou optimalizácie pripojenia na sieť pomocou prídavnej akumulácie a ponúka komplexné zhodnotenie investície.

## 2 ELEKTROMOBIL

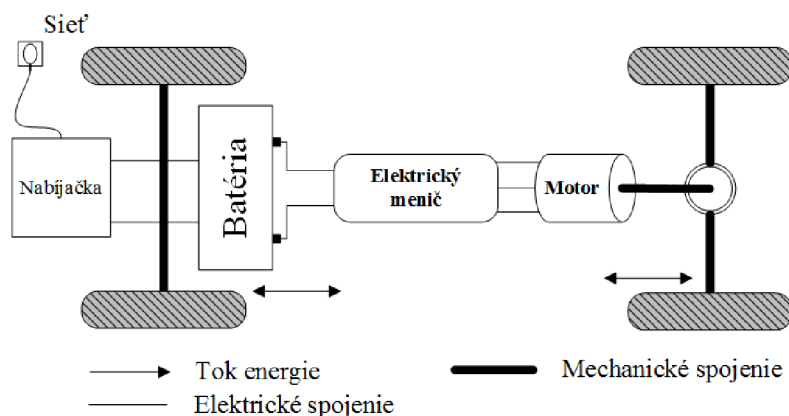
Elektrické vozidlo (EV) je súhrnné označenie automobilov, ktoré čiastočne alebo úplne využívajú energiu uskladnenú v akumulátore na napájanie jedného alebo viacerých elektromotorov. Hlavnou výhodou je pomerne vysoká účinnosť premeny energie z elektrickej na mechanickú na hriadeli (okolo 80-90 %), ktorá síce závisí na použitej technológii, ale dá sa zlepšiť aplikáciou rekuperácie, tzn. znovuzískaním energie, napríklad pri brzdení. Súčasné technológie taktiež umožňujú jednoduchšie konštrukčné varianty, hlavne vďaka veľkosti elektrického pohonu.

Použité technologické riešenie však zároveň predstavuje aj najväčšie nedostatky elektromobilu – relatívne nízka kapacita akumulátora limituje jeho dojazd a v prípade pripojiteľných vozidiel vyžaduje časté nabíjanie, ktoré zaťažuje distribučnú sústavu. V kombinácii s riedkou sieťou nabíjacej infraštruktúry záujem o kúpu elektrického auta rastie len pomaly, pričom tieto dva nedostatky boli označené ako hlavný problém prevádzky EV ich majiteľmi [1][2].

### 2.1 Elektromobil s akumulátorom

Battery Electric Vehicle (BEV), teda pripojiteľný elektromobil s akumulátorom energie, je čisto elektrické vozidlo, ktoré je závislé na dobíjaní akumulátora. Nedochoádza takmer ku žiadnemu priamemu znečisteniu životného prostredia samotným vozidlom. Nepriamo však aj BEV prispievajú k uhlíkovej stope, pretože stále platí, že väčšina elektrickej energie je vyrábaná procesmi, ktoré zaťažujú životné prostredie. Hlavnou nevýhodou čisto elektrických vozidiel je obmedzený dojazd na jeden nabíjací cyklus a následný nabíjací čas akumulátora. Ukážka usporiadania BEV je na obr. 2.1.

Tradične, EV používali sériový DC motor. Súčasné modely využívajú striedavé motory, najmä kvôli jednoduchej konštrukcii a bezkartáčovému prevedeniu (napríklad trojfázový asynchrónny alebo synchronný s permanentnými magnetmi). Takýmito vozidlami sú napríklad Nissan Leaf, Tesla, Mitsubishi i MiEV a Citroën C-Zero. Všetky modely sú vybavené palubnou nabíjačkou (on-board charger, ďalej len nabíjačka), ktorá je zložená z usmerňovača, DC medziobvodu a izolovaného DC/DC meniča, ktorý je pripojený na akumulátor [2].



Obr. 2.1 Architektúra BEV [2]

Keďže primárnym cieľom rozširovania nabíjacej infraštruktúry je podpora predaja BEV, pričom po technickej stránke ich návrh spolu úzko súvisí, nasledujúca tabuľka poskytuje krátky prehľad modelov a ich parametrov.

Tab. 2.1 Prehľad BEV [12]

Značka vozidla	Peugeot	Nissan	Škoda	BMW	VW	Tesla	Kia
Typ vozidla	iON	Leaf	E-Octavia	i3	E-golf	Tesla-S	Soul EV
Cena (tis. Kč vr. DPH)	717	715	-	936	910	2145	845
Kapacita akumulátora (kWh)	16	24	26	19	26	85	27
Hmotnosť vozidla (kg)	1195	1515	1545	1195	1585	2100	1565
Výkon (kW)	47	80	85	125	85	310	81
Dojazd - NEDC (km)	150	199	170	190	190	500	212
Spotreba (kWh/100km)	16	15	18	13	13	24	15

Nissan Leaf je súčasnosti celosvetovo najpredávanejšie BEV, ktoré spĺňa podmienky pre jazdu na diaľnici (tzv. highway capable) [3]. Aj napriek tomu, že samotné BEV nie sú najpočetnejšou kategóriou elektrických vozidiel, pokroky v technológii akumulátorov a predpokladané prísne regulácie emisií vedú k postupnému rastu predaja BEV, preto je z dlhodobého hľadiska možné predpokladať prekonanie počtu ostatných EV v užívaní. To sú hlavné dôvody, prečo bude v tejto práci použité ako modelové vozidlo. Jeho základné parametre sú uvedené v tabuľke 2.2 [4].

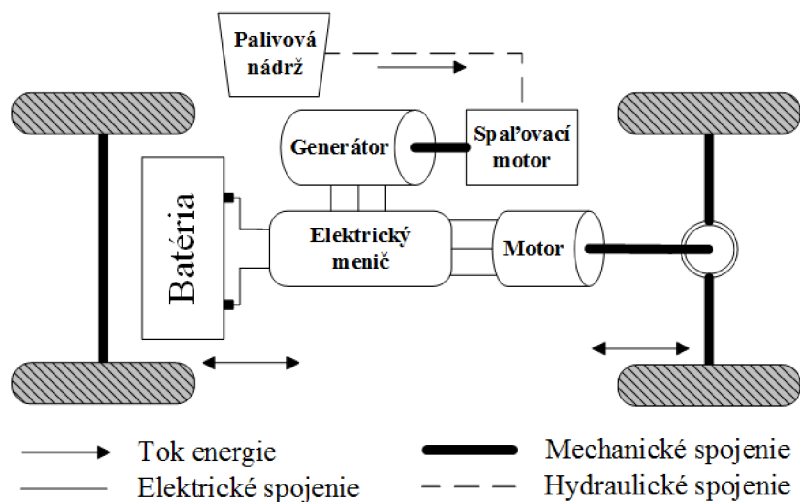
Tab. 2.2 Špecifikácie – Nissan Leaf [5]

Typ motora	synchrónny trojfázový
Výkon motora	80kW
Typ akumulátora	laminovaná Li-Ion
Napätie akumulátora	360 V
Kapacita akumulátora	24 kWh (48 modulov)
Počet článkov	192
Nabíjačka (on-board charger)	3,6 kW (doplňková výbava – 6,6 kW)
Rýchlonabíjanie	50 kW
Nabíjací kábel	6 m; 3,5 kg
Maximálna rýchlosť	144 km.h <sup>-1</sup>

## 2.2 Hybridné elektrické vozidlo

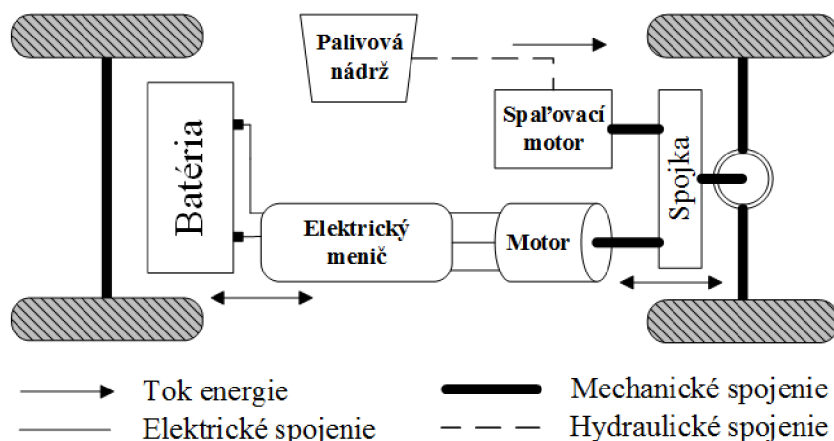
Hybrid Electric Vehicle – hybridný elektromobil, ktorý v sebe kombinuje klasický pohon so spaľovacím motorom s elektrickým pohonom, je v súčasnosti najrozšírenejší typ EV. Na rozdiel od BEV a PHEV sa akumulátor nedá dobíjať pripojením na sieť. Miesto toho využíva primárny motor pri brzdení ako generátor, ktorý dobíja akumulátor - tzv. regeneratívne brzdenie alebo rekuperácia. Automobil potom pri jazde využíva vhodnú kombináciu oboch pohonov. Existuje v štyroch variantách:

- **Sériové HEV** (obr. 2.2) – najjednoduchšie riešenie, pričom neexistuje mechanické spojenie medzi SM a kolesami, ten slúži len ako generátor elektrickej energie a je napojený cez riadiacu elektroniku na akumulátor a EP. Štart/stop SM je v tomto prípade riadený SOC akumulátora.



Obr. 2.2 Architektúra sériového HEV [2]

- **Paralelné HEV** (obr. 2.3) – v tomto prípade sú oba motory, spaľovací aj elektrický, mechanicky spojené s nápravou, pričom môžu automobil poháňať individuálne alebo spolu. Moment na kolesá z oboch pohonov je prenášaný cez spoločnú spojku. V praxi je snaha využívať EP pri nižších rýchlostiach a SM pri vyšších. V tomto prípade sa dosahuje najlepšej účinnosti a spotreby paliva.



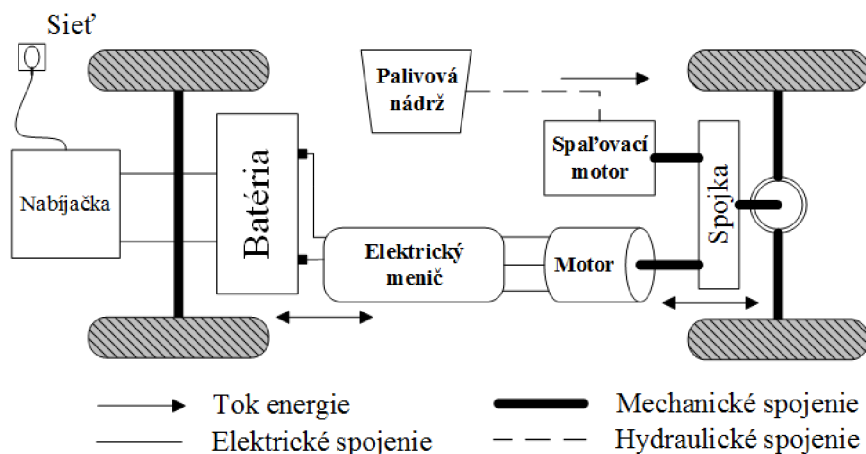
Obr. 2.3 Architektúra paralelného HEV [2]

- **Séριο-paralelné HEV** – jedná sa o kombináciu medzi predchádzajúcimi dvoma možnosťami, so snahou o využitie výhod každého z nich. Primárne sa konštruujú ako SM- alebo EP-dominantné. Prídavné elektrické a mechanické komponenty však zväčšujú a predražujú konštrukciu.
- **Komplexné HEV** - vyššie zmienené varianty sú prevedené ako náhon na predné alebo zadné kolesá. Komplexné HEV však poskytuje pohon všetkých štyroch kolies, pričom predná a zadná náprava sú poháňané samostatne a neexistuje medzi nimi mechanické spojenie. Jedná sa o séριο-paralelné prevedenie aplikované na obe nápravy. Výhodou je väčšia účinnosť regeneratívneho brzdenia.

Medzi najväčšie nevýhody HEV vo všeobecnosti patrí ich cena, veľmi komplexné technologické riešenie a taktiež ich veľkosť [2].

### 2.3 Pripojiteľné hybridné elektrické vozidlo

Plug-in Hybrid Electric Vehicle (pripojiteľné hybridné vozidlo) je vo svojej podstate klasické hybridné EV s rozšírenou kapacitou akumulátora (nad 4kWh) a možnosťou jeho dobíjania z externého zdroja energie, čo výrazne rozširuje čisto elektrický dojazd auta. Na obr. 2.4 je uvedená schéma usporiadania pripojiteľného hybridu. Komisia IEEE definuje PHEV na „základe jeho schopnosti prejsť minimálne 10 míľ (16,1 km) v čisto elektrickom režime, a nespáliť žiaden benzín.“ Výhodou oproti HEV je aj podpora V2G systému, ktorý umožňuje automobilu pracovať do siete ako generátor počas špičkových hodín. Predstaviteľmi HEV a PHEV sú Toyota Prius, Honda (Insight, CR-Z), Ford Fusion Hybrid a Volkswagen Jetta Hybrid [2].



Obr. 2.4 Architektúra paralelného PHEV [2]

### 2.4 Akumulátory

V prípade čisto elektrických vozidiel je technologické riešenie uskladnenia energie definujúcim parametrom ich funkčnosti. Výber akumulátora ovplyvňuje parametre vozidla ako napríklad dojazd, hmotnosť a nabíjací čas. Tab. 2.3 porovnáva typy akumulácie aplikovanej v EV. Základné parametre uvažované pri hodnotení akumulátorov sú menovitá kapacita, merný výkon a merná energia na jednotku hmotnosti, poprípade objemu. Z pohľadu prevádzky je

najvýznamnejším parametrom úroveň nabitia (SOC – state of charge). Je definovaná ako percentuálny podiel okamžitej kapacity k menovitej kapacite batérie. Hĺbka vybitia (DOD – depth of discharge) udáva pokles SOC pri prevádzke a jej maximálna hodnota definuje počet cyklov vybitie – nabitie, ktoré batéria zvládne bez degradácie jej základných parametrov. Životnosť batérie je možné sledovať ďalšími dvoma parametrami – stredná doba života udáva životnosť pri prevádzke v menovitých podmienkach a SOH (state of health), ktoré udáva degradáciu menovitej kapacity batérie v čase.

Akumulátorová batéria EV je zložená z modulov, ktoré sú tvorené vhodnou sérioparalelnou kombináciou akumulátorových článkov. Prehľad najpoužívanejších článkov a ich parametrov je uvedený v tabuľke 2.3. Medzi súčasti batérie je možné zaradiť taktiež dva riadiace a kontrolné systémy – BMS a TMS. Prvý je zložený zo senzorov ktoré kontrolujú jej parametre, druhý zabezpečuje chladenie a ochranu proti prehriatiu.

Tab. 2.3 Porovnanie batérii [6]

Typ	NiMH	LiCoO <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Anóda	vzácne zlúčeniny AB <sub>5</sub>	amorfný uhlík	
Katóda	Ni(OH) <sub>2</sub>	LiCoO <sub>2</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Kapacita článku (Ah)	6,5	4,4	
Napätie článku (V)	1,2	2,5 – 4,2	
Merná energia (Wh.kg <sup>-1</sup> )	63 - 75	90-140	160
Merný výkon (W.kg <sup>-1</sup> )	220	760	1300
Počet cyklov (-)	600 - 1200	DOD = 100% - 3000 DOD = 20 až 40% - 20000	
Životnosť (rok)	10		
Samovybíjanie (%.mes <sup>-1</sup> )	30	5-10	5-10
Prevádzková teplota (°C)	- 30 až 65	- 40 až 65	
Nabíjací režim	-	Konštantné napätie/prúd	

V pripojiteľných EV je snaha o dosiahnutie čo najväčšej možnej kapacity pri zachovaní relatívne malého objemu a hmotnosti, preto sa využívajú články s veľkými hodnotami merných veličín, hlavne Li-Ion (LiCoO<sub>2</sub> a LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). V hybridných vozidlách, kde batérie plnia len podpornú funkciu a nemajú tak značné rozmery sa využívajú NiMH články, ktoré majú menšiu mernú energiu ale splňajú požiadavku na dlhú životnosť a sú lacnejšie [6][9].



## 3 NABÍJANIE ELEKTRICKÉHO VOZIDLA

Nabíjanie je realizované zo zdroja elektrickej energie, ktorým môže byť buď jednoduchá jednofázová domáca zásuvka, priemyselná trojfázová zásuvka, EVSE alebo na nabíjanie určená stanica. Z pohľadu základného členenia je možné definovať dve varianty – striedavé (AC) alebo jednosmerné (DC) nabíjanie. Hoci je do akumulátora vždy privádzaný jednosmerný prúd, rozdiel v AC a DC nabíjaní je, kde prebieha usmernenie nabíjacieho napätia a prúdu. Proces nabíjania EV je špecifickou záležitosťou, ktorá je takmer v každej krajine upravená príslušnými národnými predpismi. Existujú však základné požiadavky, ktoré vychádzajú a sú definované v norme IEC 61851. Tá je v Českej republike prebratá prekladom a platí pod názvom ČSN EN 61851.

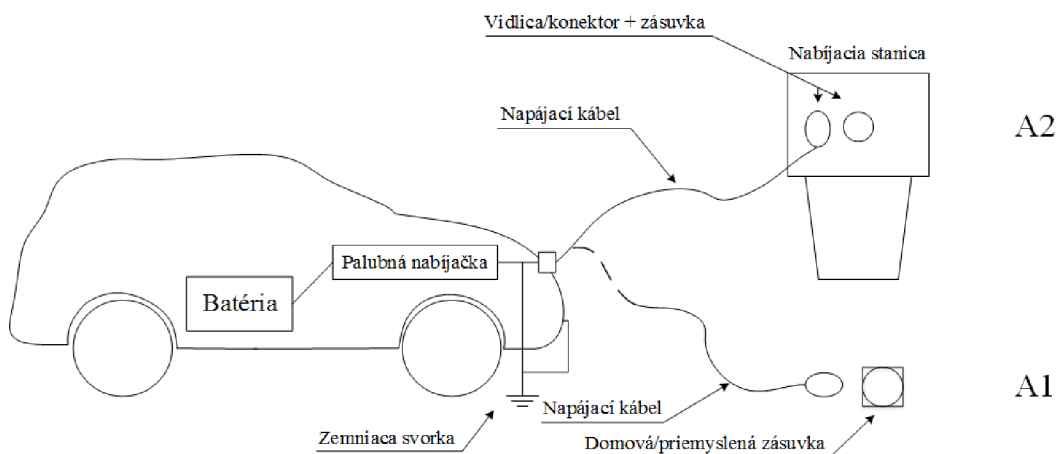
Pri AC nabíjaní je EV pripojené na striedavý zdroj a ku konverzii dochádza v tzv. on-board chargeri, teda palubnej nabíjačke inštalovanej v aute. Jedným zo základných obmedzení je dodávaný výkon, ktorý je definovaný technologickým riešením usmerňovača v nabíjačke. To je však limitované požiadavkami na jej čo najmenší rozmer a cenu. Výstupné nabíjacie napätie je obmedzené na maximálne 690 V a EV musí správne pracovať v normovanom rozsahu frekvencie a napätia.

DC nabíjanie obchádza limit dodávaného výkonu použitím externého meniča v nabíjacej stanici. Ku AC/DC konverzii teda dochádza priamo v nabíjacej stanici, pri ktorej veľkosť silového obvodu nemusí byť tak striktno obmedzená ako v EV. Do neho sa potom privádza jednosmerný prúd ktorý priamo nabíja batériu. Menovité hodnoty napájacieho napätia sú normou obmedzené na 1000 V [6].

### 3.1 Pripojenie elektromobilu

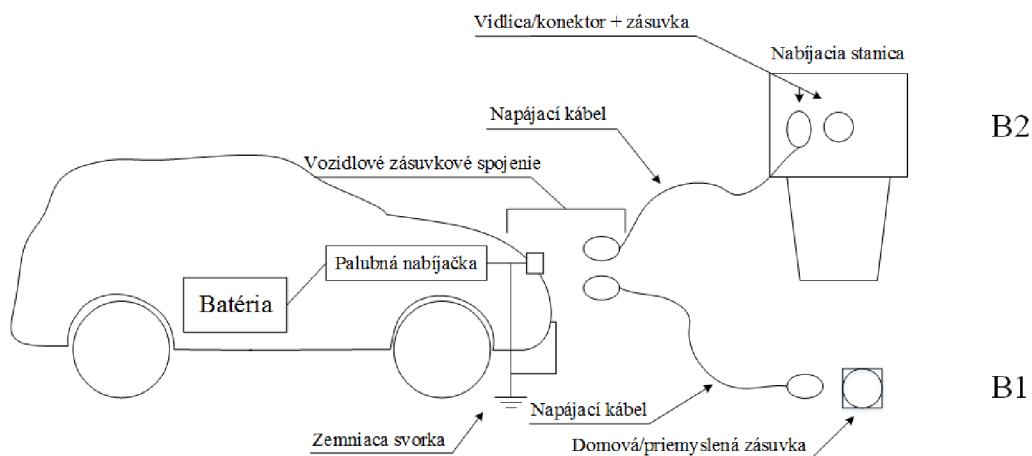
Pripojením rozumieme vodivé spojenie EV s elektrickou sieťou, a to buď pripojením internej nabíjačky v elektromobile na striedavú napájaciu sieť (dochádza k AC/DC konverzii v automobile) alebo napojenie akumulátora EV na externú nabíjačku (AC/DC konverzia v meniči nabíjacej stanice, poprípade v meniči EVSE). To sa realizuje pomocou sústavy kábel-konektor (vidlica). Pripojenie pri AC nabíjaní je povolené v nasledujúcich troch variantoch, pričom norma prikazuje použitie ochranného vodiča (PE):

- **Typ A** – pripojenie EV na striedavú napájaciu sieť pomocou kábla s vidlicou alebo konektorom, ktorý je pevne spojený s EV. V prípade označenia A1 ide o pripojenie k jednoduchej zásuvke, A2 značí pripojenie na nabíjaciu stanicu. Presné usporiadanie pripojenia a jednotlivé prvky sú uvedené na obr. 3.1. Pre vnútorné použitie musia konektory a vidlice spĺňať ochranu krytom minimálne IP21, pre vonkajšie použitie minimálne IP 44.



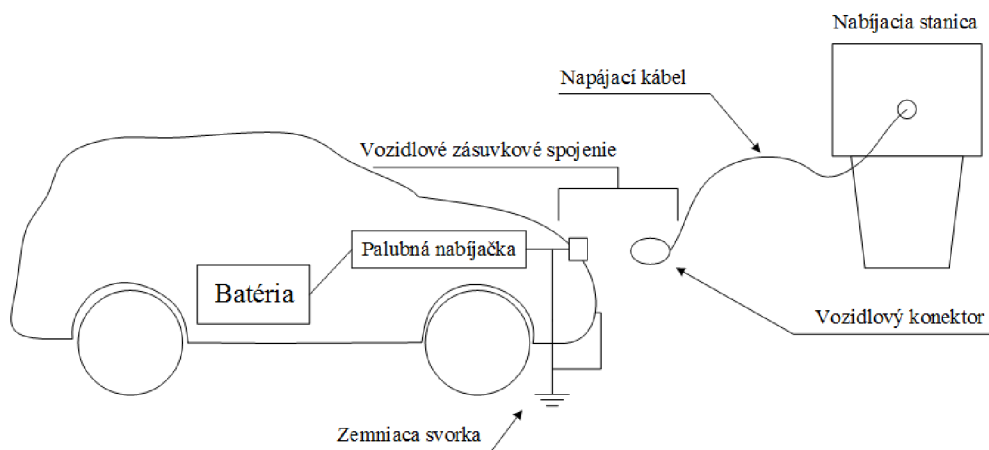
Obr. 3.1 Pripojenie A [8]

- **Typ B** – pripojenie EV na striedavú napájaciu sieť odnímateľnou káblovou zostavou, a to ako na strane vozidla, tak aj na strane siete (uvedené na obr. 3.2). Dodatočné označenie B1 zodpovedá pripojeniu do zásuvky a B2 pripojeniu na nabíjajúcu stanicu. Požiadavky na krytie sú totožné s typom A.



Obr. 3.2 Pripojenie B [8]

- **Typ C** - pripojenie EV na striedavú napájaciu sieť za použitia napájacieho kábla s vozidlovým konektorom, ktorý je pevne spojený s napájacím zariadením (nabíjajúcou stanicou), podľa obr. 3.3. Požiadavky na krytie sú totožné s typom A.



Obr. 3.3 Pripojenie C [8]

Pripojenie pri DC nabíjaní sa realizuje obdobným spôsobom, avšak je špecifické vzhľadom na oveľa vyšší prenášaný výkon. Norma povoľuje iba použitie typu C, buď cez dedikovanú vozidlovú zásuvku, alebo použitím kombinovaného konektora. V oboch variantoch nabíjania však platí zákaz používania predlžovacích prívodov a zameniteľnosti káblových sústav za predlžovací prívod [8].

## 3.2 Nabíjacie režimy

### 3.2.1 Základné rozdelenie

Základným aspektom delenia nabíjacích režimov je ich klasifikácia v rámci noriem:

- **Režim 1** - umožňuje pripojenie EV na striedavú napájaciu sieť za použitia normalizovaných zásuviek, a to maximálne do hodnoty 16 A. Napätie je limitované na úroveň 250 V v prípade jednofázového napájania a na úroveň 480 V u 3fázového nabíjania. Vyžaduje sa použitie silových káblov spolu s vodičmi ochranného uzemnenia. Tento režim je napríklad zakázaný v USA, pretože PE vodiče nie sú bežnou súčasťou domových inštalácií.
- **Režim 2** - upravuje režim 1, a to požiadavkou na zvýšenú ochranu osôb pri nabíjaní, konkrétne prikazuje použitie prúdového chrániča, ktorý je zapojený medzi EV a sieť. Prípadne sa môže použiť prevedenie, kedy je prúdový chránič súčasťou riadiacej skrinky kábla.
- **Režim 3** - využíva takzvaného EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment - napájacie vybavenie pre elektromobil), ktoré je trvale spojené s napájacou sieťou a zahŕňa dátovú komunikáciu s riadiacou časťou. To nielen zjednodušuje a automatizuje nabíjací proces, ale navyše zvyšuje bezpečnosť a komfort nabíjania, napríklad automatickou kontrolou maximálneho príkonu a nastavením dobíjacieho času. Toto prevedenie taktiež umožňuje implementáciu vehicle to grid (V2G) systému.
- **Režim 4** - je definovaný ako pripojenie EV na striedavú napájaciu sieť použitím externej nabíjacej stanice, ktorá zabezpečuje okrem dátovej komunikácie a riadiacej funkcie taktiež konverziu zo striedavého prúdu na jednosmerný. Ďalej sú definované dva podrežimy – level 1 pre napätie do hodnoty 500 V, prúd do hodnoty 80 A a level 2, kde napätie môže presiahnuť úroveň 500 V a prúd je obmedzený na hodnotu 200 A. Tento režim sa používa výlučne pri rýchlonabíjacích staniciach [8].

Nabíjacie režimy sa dajú taktiež rozdeliť podľa spôsobu nabíjania batérie, a to na:

- **Režim konštantného prúdu (CC - constant current)** – do batérie je počas celého dobíjania privádzaný konštantný prúd. V tomto prípade je napätie vhodne riadené za účelom udržania konštantného prúdu. SOC rastie lineárne v čase. Problémom pri použití tejto metódy je určenie momentu kedy  $SOC = 100\%$ . Prerušenie nabíjania môže byť stanovené kombináciou viacerých faktorov – nárast teploty, nárast gradientu teploty, nárast napätia, záporná zmena napätia alebo čas nabíjania.
- **Režim konštantného napätia (CV - constant voltage)** – batéria je počas celého nabíjacieho cyklu pripojená na konštantné napätie. Táto metóda je vhodná pre všetky typy dobíjaných batérií a jedná sa o najjednoduchší spôsob nabíjania. Nabíjací prúd sa v priebehu cyklu mení a typicky dosahuje vysokých hodnôt v počiatočnej fáze, pričom postupne klesá na nulu pri zvyšovaní SOC. Hlavnou nevýhodou je potreba veľkého nabíjacieho príkonu na začiatku nabíjania, ktorý nie je bežne dostupný v obytných zónach a parkovacích priestoroch.
- **Kombinovaný režim CC/CV** – bežne najvyužívanejší, ktorý spája hlavné výhody oboch režimov. V počiatočnej fáze nabíjania dochádza k prednabitíu batérie nízkym konštantným prúdom. Následne je nabíjanie realizované vyšším konštantným prúdom až do bodu zlomu. Ten je definovaný buď napätím batérie alebo SOC a pri prekročení tohto bodu nabíjanie prechádza do režimu CV až pokiaľ je batéria úplne nabitá. Po skončení nabíjacieho cyklu môže režim CV udržiavať napätie batérie a tým kryť straty, pokiaľ je dostupný zdroj energie [9].

### 3.2.2 Požiadavky na nabíjacie režimy

Na základný režim 1 nie sú kladené žiadne dodatočné požiadavky. Pri ostatných troch režimoch sa definujú povinné a voliteľné funkcie. Medzi povinné patria:

- overenie správneho pripojenia vozidla k napájaciemu zariadeniu, pričom musí byť vozidlo zaistené proti pohybu vlastným pohonom počas celého trvania fyzického spojenia s nabíjacou stanicou,
- nepretržitá kontrola zemného spojenia (spojitosti uzemnenia),
- overenie správnosti riadiacej komunikácie medzi napájacím zariadením a vozidlom,
- správne odpojenie systému od napájania, v prípade prerušenia riadiacej funkcie (nabíjania).

Voliteľné funkcie zabezpečujú napríklad meranie a nastavenie nabíjacieho prúdu a dodávaného výkonu; voľbu rýchlosti nabíjania a mechanické zaistenie zásuvkového spojenia. Sériová dátová komunikácia je pri režimoch 1, 2 a 3 voliteľná, v prípade režimu 4 povinná – vozidlo musí byť schopné riadiť externú nabíjaciu stanicu [8].

### 3.3 Nabíjacie stanice

Hoci nabíjanie EV je povolené a realizovateľné priamo cez jednoduchú domácu jednofázovú zásuvku, tento spôsob je vzhľadom na obmedzený príkon časovo náročnou záležitosťou a používa sa najmä počas nočných hodín a počas dlhších časových úsekov, kedy majiteľ vozidlo nevyužíva. V prípade, kedy je potrebné EV nabiť v kratšom čase, a to hlavne pri parkovaní v centrách miest alebo pri cestovaní na dlhších trasách medzi mestami, sa využíva takzvaných nabíjajúcich staníc. Tie svojou konštrukciou umožňujú dodať do EV oveľa väčší výkon, čím zásadne znižujú nabíjací čas (tab. 3.1).

Kvalitne navrhnutá a rozvinutá nabíjacia infraštruktúra je základnou podmienkou pre úspešné rozšírenie komerčného používania EV. Prieskum trhu uskutočnený v roku 2010 medzi iným ukázal, že až 81 % respondentov nie je schopných definovať, kde a ako by svoje EV nabíjali. V kombinácii s faktom, že viac ako polovica oslovených spoločností (56 %) využíva svoje vozidlá najmä na medzimestských trasách, ktoré vyžadujú prekonanie väčšej vzdialenosti (až do približne 300 km). Do návrhu vstupuje aj otázka ekologickosti nabíjacieho systému, čo sa odráža napríklad na implementácii obnoviteľných zdrojov do nabíjacieho procesu, a to napríklad aj priamo v mieste nabíjacej stanice [9].

Tab. 3.1 Príkony nabíjajúcich staníc [12]

Príkon	< 3.5 kW (AC)	6 – 22 kW (AC)	20 kW (DC)	50 kW (DC)	100 kW (DC)
Doba nabíjania	6 – 12 hod.	1 – 4 hod.	40 – 60 min.	20 – 50 min.	10 – 25 min.

Na základe interakcie EV, teda záťaže, s distribučnou sústavou a ich vzájomnej komunikácie sa dajú nabíjacie stanice kategorizovať nasledovne:

- **V0G** – najkonvenčnejší prístup, dochádza len k základnej komunikácii a je zabezpečený len odber zo siete do záťaže.
- **V1G** – tiež nazývané smart charging stations, riadia nabíjanie na základe potrieb a požiadaviek siete, teda nabíjajú len vtedy, keď to sieť povoľuje alebo vyžaduje. Medzi vozidlom a sieťou teda existuje komplexnejšia spätná väzba a uplatňujú sa tu koncepty inteligentných sietí s pokročilou meracou infraštruktúrou.
- **V2G (V2B)** – vozidlo do siete (resp. vozidlo do budovy) je najkomplexnejší spôsob realizácie. Zabezpečuje všetky funkcie ako V1G, a navyše dovoľuje spätný tok energie uskladnenej v akumulátore EV do siete. V prípade masovej aplikácie môže tento systém pomôcť odľahčeniu distribučnej sústavy počas špičkových hodín. Vozidlo do budovy pracuje na rovnakom princípe, s tým rozdielom, že všetka komunikácia a výmena energie prebieha len s jednou konkrétnou budovou a nepokračuje ďalej do siete [9].

Samotná nabíjacia stanica sa okrem silových častí, ktoré zabezpečujú konverziu a rozvod energie skladá aj z riadiaceho automatu, elektromerov, regulátora nabíjacieho procesu, RFID čítačky a istiacich prvkov, ktoré zabezpečujú rozdielovú a nadprúdovú ochranu. Nasledujúce podkapitoly popisujú detailné usporiadanie jednotlivých nabíjacích zariadení, tak ako sú realizované a využívané v Česku a na Slovensku.

### 3.3.1 Nabíjacie stanice pre normálne nabíjanie

Nabíjacia infraštruktúra zabezpečujúca základné AC nabíjanie. Je spravidla vybavená dvoma zásuvkami s príkonmi 22 kW a 3,7 kW – typu Mennekes umožňujúcu trojfázové dobíjanie a klasickou jednofázovou zásuvkou 16A/230V. Jej nevýhodou je pomerne malý nabíjací príkon a teda dlhší čas dobíjania. To je však kompenzované širokým spektrom využitia, keďže podporuje zásuvky, ktoré sa využívajú najbežnejšie. V stanici nedochádza ku konverzii elektrickej energie a akumulátor EV sa tak nabíja pomocou palubnej nabíjačky. Samotný nabíjací proces môže byť realizovaný v režimoch 2 a 3, pri zabezpečení interakcie na úrovni V0G, popri prípade V1G a možnosti pripojenia A2, B2 (potreba vlastného nabíjacieho kábla). Pripojenie C nie je pri tomto type stanice rozšírené [12][15].

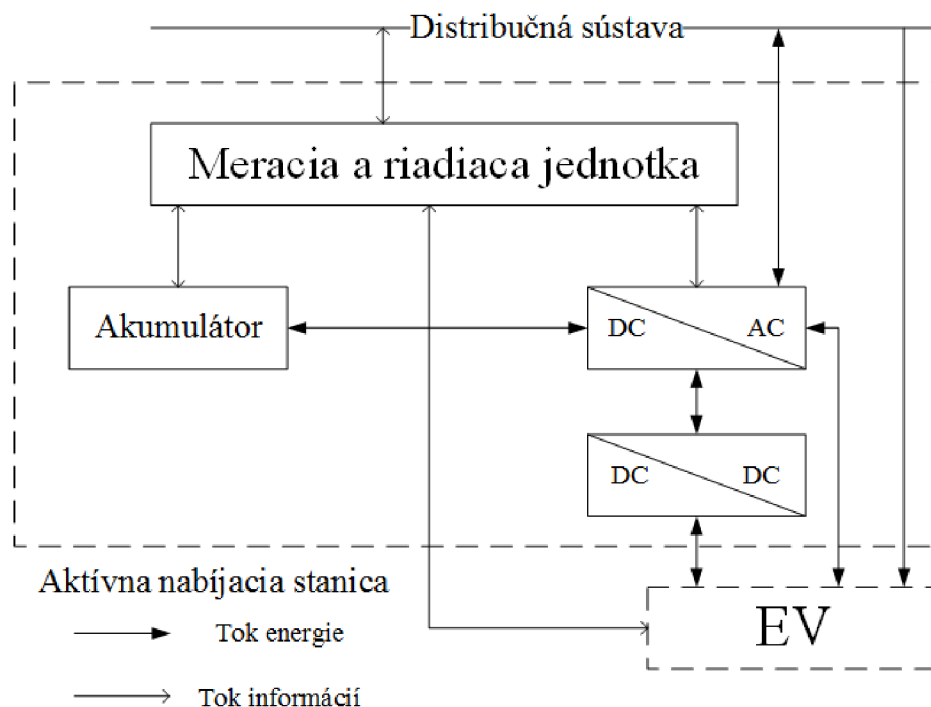
### 3.3.2 Nabíjacie stanice pre rýchlonabíjanie

Postupnou snahou o predĺženie dojazdu EV vznikla požiadavka na nabíjanie akumulátorov s vyššou kapacitou. Na udržanie rozumných nabíjacích časov bolo potrebné nabíjanie realizovať na vyšších napätových úrovniach a pri vyššom nabíjacom prúde. Keďže palubné nabíjačky vo vozidlách nie sú na takúto záťaž stavané, proces AC/DC konverzie musí byť zabezpečený priamo v nabíjacej stanici, kde je vzhľadom na väčší dostupný priestor možné usmerňovať väčšie napätia a zabezpečiť dostatočné chladenie. Pripojenie je realizované pomocou konektorov Mennekes, CHaDeMO, popri prípade Combo2. Pripojenie EV je povolené len typom C. Nabíjanie prebieha v režime 4 a V0G, V1G.

### 3.3.3 Aktívne nabíjacie stanice

Základným princípom aktívnej nabíjacej stanice je zabezpečiť nabíjanie elektrického vozidla bez s ohľadom na možnosti a potreby distribučnej sústavy, teda zabezpečiť nabíjanie tak, aby sieť nebola preťažovaná. Preto je vybavená vlastným akumulátorom energie (viď obr. 3.4) a môže taktiež využívať energiu z lokálne dostupných obnoviteľných zdrojov, čo opäť znižuje požiadavky na napájaciu sústavu a stabilizuje ju. Nabíjanie EV je dostupné v AC, DC aj kombinovanom režime, teda podporuje režimy 1 až 4, pomocou konektorov Mennekes, CHaDeMO a Combo 2.

Úlohou stanice je pred začatím nabíjania vzhľadom na režim nabíjania a stav sústavy rozhodnúť, ako bude nabíjanie prebiehať. Taktiež musí reagovať na požiadavky sústavy a vhodne kombinovať energiu dostupnú z akumulácie a zo siete. To zabezpečuje meracia a kontrolná jednotka, ktorá komunikuje s nadradenými ovládacími prvkami sústavy. Výhodou aktívnej stanice je možnosť implementácie V2G systému [9][11].



Obr. 3.4 Schéma aktívnej nabíjacej stanice [11]

### 3.4 Typy konektorov

Pripojenie EV k zdroju energie zabezpečujú káblové sústavy zakončené konektormi. Tie sú v súčasnosti dostupné vo viacerých variantoch, čo je vyústením vývoja rôznymi priemyselnými skupinami. Všetky sú prevedené v súlade s medzinárodným štandardom IEC 62196, ktorý je špeciálne upravený pre potreby EVSE a stavia na IEC 60309, ktorý definuje všetky priemyselné silové pripojenia. Použitie toho-ktorého konektora závisí na type vozidlovej zásuvky nabíjaného auta. Štyri najvýznamnejšie konektory sú uvedené v nasledujúcich podkapitolách. Na európskej úrovni je podporená snaha o uniformitu v nabíjacom procese, teda aj o využitie jedného typu konektora s odpovedajúcou vozidlovou zásuvkou [13].

#### 3.4.1 Typ 1 - SAE J1772

Konektor postavený na Severoamerickom štandarde, vyvinutom Spoločnosťou automobilových inžinierov (SAE) v spolupráci s japonskou spoločnosťou Yazaki. Poskytuje možnosť jednoduchého (do 16 A) alebo rozdeleného (až do 80 A) jednofázového AC nabíjania na úrovni 120 a 220 V. Prevedenie konektora obsahuje päť kolíkov:

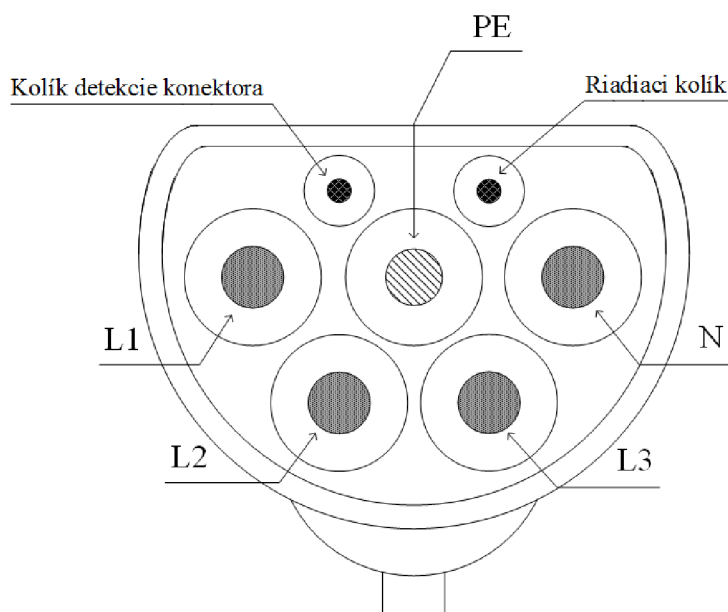
- dva silové (rovnaká fáza),
- PE (protective earth – zemné spojenie),
- kolík detekcie konektora – zabezpečuje zistenie mechanického spojenia a zabraňuje pohybu auta počas nabíjania,
- riadiaci – slúži k dátovej komunikácii medzi EV a nabíjacou stanicou.

Jedná sa o konektor výlučne určený k pripojeniu na strane vozidla, preto sa využíva u nabíjacích staníc s pripojením typu C, poprípade v nabíjacích kábloch, ktoré sú na strane siete

vybavené klasickou vidlicou. V novších návrhoch sa počíta s dodatočnými dvoma kolíkmi, ktoré budú umožňovať taktiež DC nabíjanie (Combo 1). Odpovedajúce vozidlové zásuvky boli využívané najmä výrobcami EV tesne po roku 2000 (staršie modelové rady Nissanu Leaf a Chevroletu Volt). V Spojených štátoch a Japonsku je v používaní dodnes, hlavne z dôvodu existujúcej nabíjacej siete podporujúcej tento štandard [14].

### 3.4.2 Typ 2 - Mennekes (VDE-AR-E 2623-2-2)

Európska časť výrobcov EV sa po prechode z konektora SAE podieľala na vývoji konektora tzv. Mennekes, ktorý bol normalizovaný Nemeckou asociáciou pre automobilový priemysel pod názvom VDE-AR-E 2623-2-2. Oba sú postavené na takmer totožnom základe, no jednoznačnou výhodou oproti americkému prevedeniu je umožnenie trojfázového napájania palubnej nabíjačky v EV, čím sa výrazne zvyšuje príkon a teda znižuje nabíjací čas. Obsahuje 7 kolíkov - detekcie konektora, riadiaci, ochranný a 4 silové (obr. 3.5). Verzia Combo 2 je doplnená kladným a záporným kolíkom pre DC nabíjanie, ktoré sú umiestnené pod časťou určenou na AC nabíjanie.



Obr. 3.5 Konektor Mennekes (upravené autorom) [16]

V roku 2011 ho Európska asociácia automobilových výrobcov vybrala ako preferovaný, v roku 2013 bol tento výber schválený Európskou komisiou. Hlavným dôvodom tohto rozhodnutia je fakt, že jedna geometria konektora dokáže pokryť potreby AC aj DC nabíjania (Combo 2). Od roku 2014 je v platnosti plán zjednotenia EV a nabíjacích staníc za použitia tohto typu. Do roku 2019 by mala celá Európska únia nabíjať práve cez konektor typu 2 [15].



### 3.4.3 Typ 3 – Konektor Aliancie EV

Vyvíjaný spoluprácou troch európskych spoločností – Scame, Schneider Electric a Legrand. Je postavený na sérii konektorov Libera od Scame, ktoré sa už využívali pri dobíjaní ľahkých EV (bicykle, motocykle). Umožňuje obe varianty striedavého dobíjania – režim 3, pripojenie A (jednofázové nabíjanie, do hodnoty 16 A) a režim 3, pripojenie C (trojfázové nabíjanie, do hodnoty 32 A). Konštrukčne je podobný typu 2, s rozdielom prídania ochranných klapiek. Tie sú vyžadované niektorými európskymi krajinami (Švédsko, Fínsko, Taliansko, Veľká Británia). Po uprednostnení Typu 2 bol konektor Scame stiahnutý z výroby [18].

### 3.4.4 CHAdeMO

CHAdeMO je označenie prvého jednosmerného nabíjacieho štandardu a konektora, ktorý sa pri jeho aplikácii používa. Vznikol v Japonsku z dôvodu potreby nabíjania väčšími príkonmi, ktoré však kvôli chýbajúcej trojfázovej sústave nie je realizovateľné striedavou formou. Odpovedajúcou vozidlovou zásuvkou je vybavený napríklad Nissan Leaf a Mitsubishi iMiev. Paradoxne európske inštitúcie ako napríklad IEC nikdy neprevzali tento štandard do normovanej podoby (aj keď spĺňa požiadavky IEC 62196), šíri sa vďaka predaju japonských EV na svetovom trhu a je rozšírený v európskych a amerických rýchlonabíjaciach staniciach. De-facto sa jedná o svetový štandard pre DC nabíjanie. Poskytuje maximálny prúd 125 A pri maximálnom napätí 500 V, teda príkonom až 62,5 kVA. Hlavnú nevýhodu CHAdeMO predstavuje potreba samostatnej nezameniteľnej vozidlovej zásuvky pre DC nabíjanie, ktoré je navyše možné realizovať len pripojením C (Obr. 3.3) Ak má byť vozidlo schopné nabíjania aj v AC režime, vyžaduje ďalšiu samostatnú vozidlovú zásuvku. Z týchto dôvodov európski a americkí výrobcovia EV navrhujú využitie kombinovaných AC+DC konektorov postavených na type 1 alebo 2 [18].

## 3.5 Súčasný trendy v nabíjaní

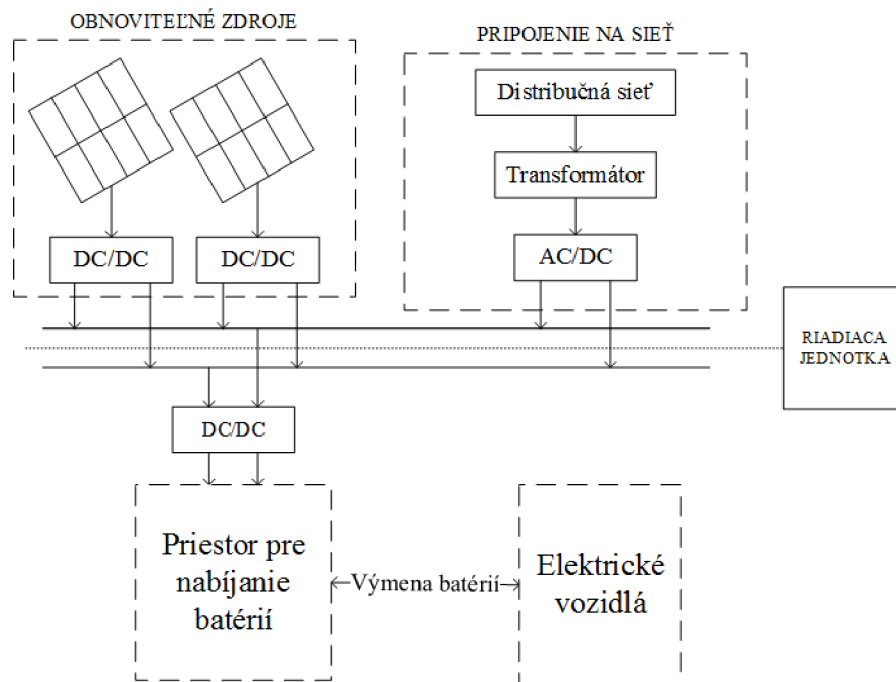
V posledných rokoch sa začína experimentovať s viacerými možnosťami za účelom zefektívnenia nabíjacieho procesu. Niektoré metódy sú priamou nadstavbou, poprípade úpravou vyššie zmienených, ďalšie zakladajú na úplne iných princípoch. Nasledujúce podkapitoly prinášajú skrátený prehľad.

### 3.5.1 Tesla Supercharger

Spoločnosť Tesla, ktorá má trhu s EV viacero svojich modelov je špecifická svojím nekonvenčným prístupom k dizajnu a technologickému riešeniu vozidiel. Podobným spôsobom pristupuje aj návrhu nabíjacej infraštruktúry. Keďže ich modelové rady BEV majú oproti ostatným komerčným elektromobilom oveľa vyššiu kapacitu batérie (85 kWh v Tesle S v porovnaní s 24 kWh v Nissane Leaf), vznikla potreba pre dedikovanú nabíjaciú stanicu, ktorá by zvládla jej nabitie za čas nabitia klasického EV rýchlonabíjaciou stanicou. To je docielené kombináciou dvanástich nabíjacích modulov s výkonom 10kW do jednej stanice, ktorá pracuje v nabíjacom režime 4 (DC level 2) pomocou pripojenia C a na svojom výstupe poskytuje až 120 kW, s plánovaným navýšením na 135, resp. 150 kW [17].

### 3.5.2 Výmena akumulátora

Pri nabíjaní EV klasickou nabíjacou stanicou môže počas dňa dôjsť k nežiadúcim odberovým špičkám, ktoré zaťažujú distribučnú sústavu. Klasické nabíjanie je tiež limitované maximálnym počtom súčasne dobíjaných vozidiel jednou stanicou. Jednou z možností, ako obísť tieto obmedzenia je výmena vybitých batérií EV za plne dobité v takzvanej dobíjacej a výmennej stanici (obr. 3.6).



Obr. 3.6 Schéma nabíjacej a výmennej stanice [19]

Výhodou tohto systému je takmer okamžitá výmena, čo výrazne zvyšuje komfort užívateľov. Ďalej sa dá veľmi prakticky implementovať použitie obnoviteľných zdrojov energie na dobíjanie akumulátorov. Tie potom pracujú spoločne so sieťou, pričom nabíjací proces je riadený centrálnou riadiacou jednotkou. Veľkú nevýhodu predstavuje cena výmennej stanice, ktorá zabezpečuje plne automatizovaný proces výmeny. Tá je približne desaťnásobne vyššia ako cena DC rýchlonabíjacej stanice. O presadenie tejto myšlienky sa v posledných rokoch snažili firmy Better Place a Tesla, ktorá však od tejto myšlienky zatiaľ upustila a venuje sa rozširovaniu siete staníc Supercharger [19].

### 3.5.3 Indukčné dobíjanie

Koncept bezdrôtového nabíjania, ktorý využíva princíp rozdeleného transformátora, pričom primárna strana je uložená vo vozovke a pripojená na distribučnú sústavu, sekundárna tvorí spodnú časť karosérie a je spojená s palubnou nabíjačkou. Nabíjanie je tak kompletne bezkontaktné. V praxi sa tento systém využíva u elektroautobusov, ktoré sa takto nabíjajú počas státia na zastávkach. Na využití v malých osobných EV sa stále pracuje a plánuje sa s možnosťou dobíjania príkonom až 10 kW počas cestovania (neustále dobíjanie predstavuje výhodu v nízkej hodnote DOD), popri prípade vyššími príkonmi v prípade stacionárnej indukčnej stanice [20].

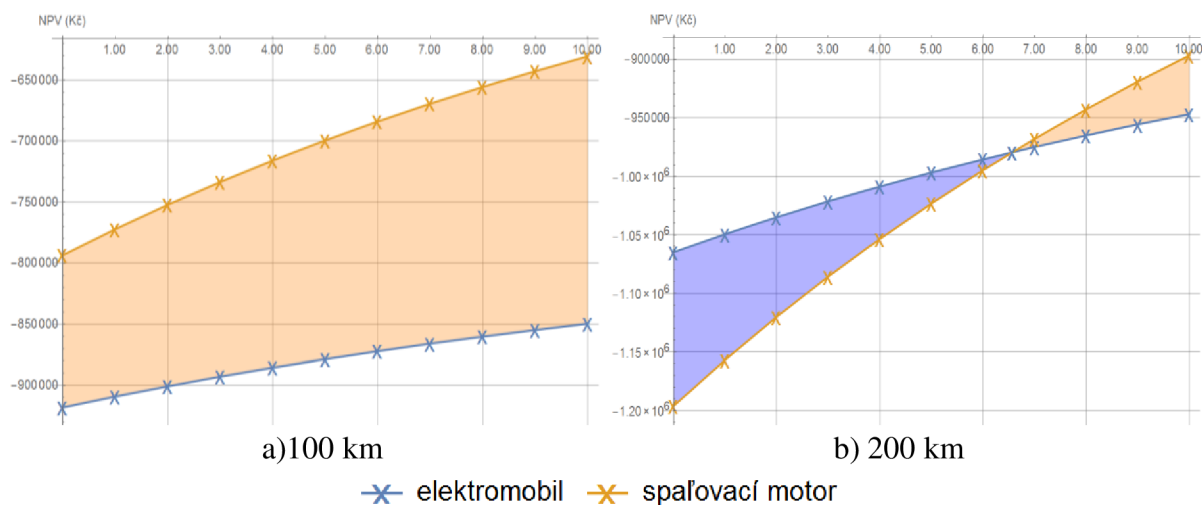
## 4 POROVNANIE PREVÁDZKOVÝCH NÁKLADOV VOZIDIEL

Ak neberieme do úvahy ekologické aspekty, jazdné vlastnosti a zameriame sa čisto na prevádzkové náklady, budeme vychádzať zo spotreby Nissanu Leaf, ktorá činí na 100 km zhruba 15 kWh. Pri nabíjaní spoplatnenom sadzbou D02d (ČEZ) vychádza priemerná cena za jednu kWh 4,55 Kč. To znamená, že náklady na energiu predstavujú 68,25 Kč na 100 km. Podobným spôsobom môžeme prísť ku zhodnoteniu Škody Fabia. Pri testovanej spotrebe 5,89 l na 100 km s ohľadom na aktuálnu priemernú cenu benzínu, ktorá je 31,78 Kč.l<sup>-1</sup>, dostávame cenu 187,18 Kč na 100 km. Všetky uvažované ceny s DPH [12][21][22].

Tab. 4.1 Prehľad nákladov na pohonné hmoty

	Spotreba (100km <sup>-1</sup> )	Cena PHM	Cena (100 km <sup>-1</sup> )
Nissan Leaf	15 kWh	4,55 Kč.kWh <sup>-1</sup>	68,25 Kč
Škoda Fabia	5,89 l	31,78 Kč.l <sup>-1</sup>	187,18 Kč

Pri uvažovaní katalógových údajov o spotrebe, vyššie uvedených cien PHM, medziročnej inflácie 2 %, životnosti vozidiel v dĺžke 8 rokov, nulovej zostatkovej hodnoty po uplynutí životnosti, ročných výdavkov na údržbu vo výške 10 000 Kč pre auto so SM a 7 000 Kč pre EV je predpokladaný vývoj čistej súčasnej hodnoty v závislosti na diskonte nasledujúci:



Obr. 4.1 Čistá súčasná hodnota v závislosti na diskonte

Porovnanie je realizované v programe Mathematica 10 od spoločnosti Wolfram (Príloha A – Porovnanie prevádzkových nákladov vozidiel). Z priebehov je zrejmé, že aj napriek menším prevádzkovým nákladom je nákupná cena EV zásadnou prekážkou v rýchlejšom raste ich predajnosti. Znížiť celkové náklady na prevádzku EV pomáhajú štátne dotácie a bonusy (znížená daň na EV, bezplatný prístup na diaľnice) a bezplatná testovacia prevádzka nových nabíjajúcich staníc. Pri vyšších denných najazdených vzdialenostiach rozdiel v NPV klesá a EV sa stáva výhodnejšou investíciou, čo je však obmedzené maximálnym dojazdom EV a dostupnosťou nabíjajúcej infraštruktúry [12]. Odhliadnuc od investičných nákladov, elektromobily majú široké využitie, a to najmä v mestách, kde dochádza k silnému lokálnemu znečisteniu.

## 5 PREVÁDZKA NABÍJACEJ STANICE

Nasledujúca kapitola sa venuje praktickým otázkam výberu a prevádzky NS, vrátane pripojenia a optimalizácie pripojenia na distribučnú sústavu, výberu istiacich prvkov, kabeláže a zhodnotenia investície. Taktiež uvádza výstupy z matematického modelu prevádzky NS, ktorý je realizovaný v programe Mathematica.

### 5.1 Výber nabíjacej stanice

Výber použitého modelu závisí na uvažovanom umiestnení a využití. Práca predpokladá využitie v rušnej mestskej oblasti, popri prípade vo väčšom priemyselnom parku. Modelové rady Terra 23 a 53 od spoločnosti ABB umožňujú priame pripojenie na sieť nízkeho napätia 400/230 V, 50 Hz, čo výrazne rozširuje možnosti ich aplikácie a zvyhodňuje pripojenie na distribučnú sústavu. Nasledujúca tabuľka ponúka prehľad základných parametrov a cien konkrétnych modelov.

Tab. 5.1 Prehľad nabíjajúcich staníc [23]

Pozn.  $\eta = 0,94$ ;  $\lambda = 0,96$

Rada	Terra 23				Terra 53			
Štandard	C	J	G	T	C	J	G	T
$P_{max}$ (kW)	20	20	22	22	50	50	43	22

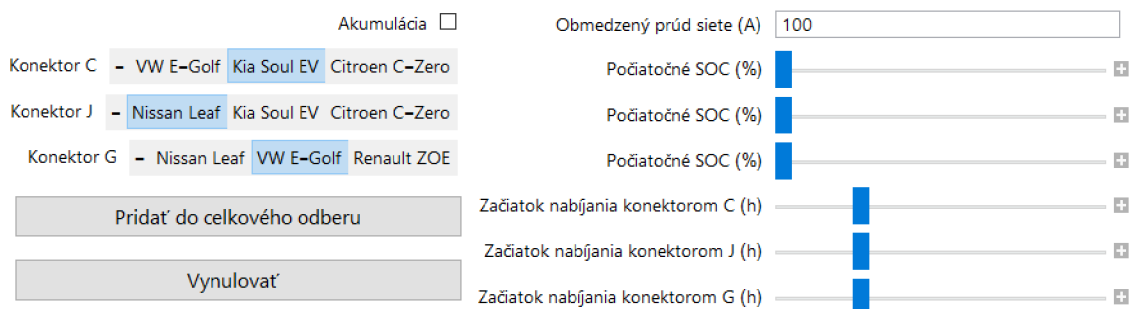
Rada	Terra 23				Terra 53			
Model	C	CJ	CT	CJG	C	CJ	CT	CJG
$S_{p,m}$ (kVA)	23	23	45	45	55	55	77	98
$I_{o,m}$ (A)	32	32	63	63	80	80	112	143
Odhad ceny (tis. Kč)	150	300	300	450	250	500	500	750

Označenie modelu popisuje dostupné možnosti pripojenia EV (nabíjajúcich štandardov). V súlade s normou ČSN-EN 61851-1 označenie C znamená pripojenie typu C konektorom Combo 2, označenie J pripojenie typu C konektorom CHAdeMO, označenie G pripojenie typu C konektorom Typu 2 (Mennekes) a označenie T pripojenie typu B2 pomocou zásuvky Typu 2 [23]. Cena je určená odborným odhadom na základe prieskumu trhu.

V práci sa ďalej uvažuje a modeluje stanica Terra 53 CJG, a to pre vysokú flexibilitu nabíjania, ktorá je možná vďaka vyšším nabíjajúcim výkonom. Z nich vyplývajú kratšie nabíjacie časy, čo vedie k vyššiemu komfortu zo strany užívateľa. Taktiež poskytuje tri konektory pre súčasné dobíjanie troch áut. Vďaka vysokému odberovému prúdu je navyše možné lepšie demonštrovať možnosti prídavnej akumulácie. Stanica bude umiestnená pri troch parkovacích miestach a krytá prístreškom s rozmermi 9 m x 5 m.

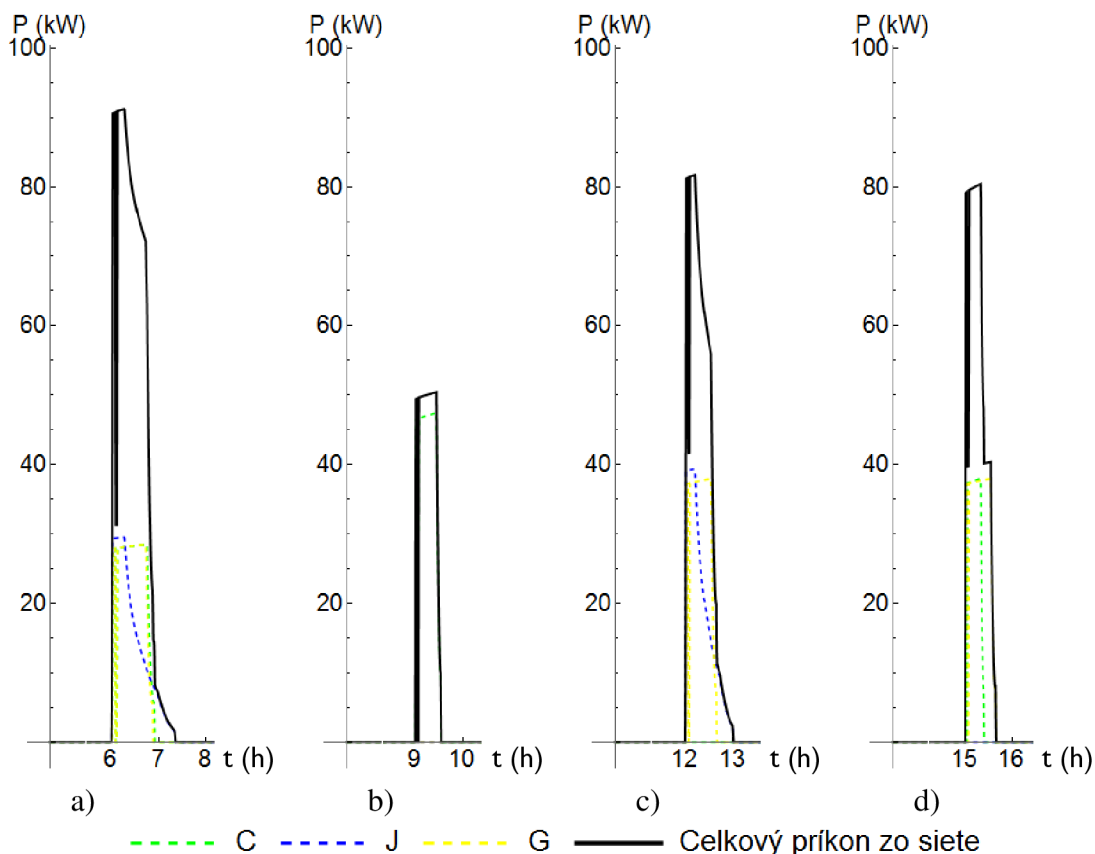
## 5.2 Model prevádzky nabíjacej stanice

Matematický model prevádzky nabíjacej stanice je vytvorený v programe Mathematica (Príloha B – Model prevádzky nabíjacej stanice) a vychádza z reálnych priebehov striedavého a jednosmerného nabíjania, ktoré sú upravené na úroveň výkonov uvažovanej nabíjacej stanice. Popisuje priebeh okamžitého odoberaného výkonu nabíjacou stanicou (Obr. 5.2). Ponúka výber nabíjania viacerých typov elektrických vozidiel, s možnosťou nastavenia počiatku nabíjania a počiatočného SOC akumulátora vozidla. Prehľad možností modelu je uvedený na Obr. 5.1.



Obr. 5.1 Výber vstupných parametrov modelu

Model je schopný pomocou príkazu „Pridať do celkového odberu“ zaznamenať celkovú energiu nastaveného nabíjacieho cyklu a pripočítať ho k celodennému odberu. Týmto spôsobom je možné buď spätne zostaviť a vyčíslit celkový odber zo siete, alebo predikovať počet a charakter jednotlivých nabíjacích cyklov a tým aj denné odbery. V práci je model využívaný na plánovanie prevádzky, teda sa uplatňuje druhá možnosť aplikácie.



Obr. 5.2 Porovnanie priebehov okamžitého výkonu

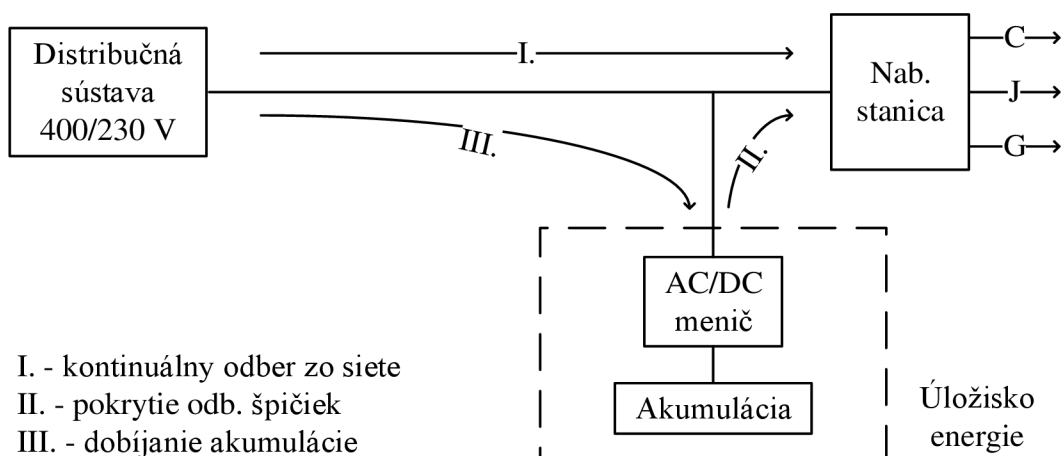
Na Obrázku 5.2 je zobrazené porovnanie nabíjania rôznymi kombináciami konektorov a elektrických vozidiel, ktoré sú nasledovné:

- C – Kia Soul EV, J – Nissan Leaf, G – VW E-Golf,
- C – Kia Soul EV,
- J – Nissan Leaf, G – VW E-Golf,
- C- Citroen C-zero, G – VW E-Golf.

Medzi výstupy modelu okrem samotného priebehu okamžitého výkonu patrí taktiež energia dobitá jednotlivými konektormi, celkový odber energie zo siete počas jedného cyklu a pri plánovaní viacerých odberov aj celkový denný odber. Model poskytuje aj možnosti „Akumulácia“ a „Obmedzený prúd siete“, ktorým sa venuje kapitola 5.3.2.

### 5.3 Prídavná akumulácia

Za účelom zníženia maximálneho odberového prúdu zo siete a teda zníženia poplatku za pripojenie na distribučnú sústavu je možné nabíjajúcu stanicu vybaviť prídavnou akumuláciou (viď obr. 5.3). Toto riešenie neobmedzuje výstupný potenciál nabíjacej stanice a môže byť realizované dvomi spôsobmi. Prvá možnosť limituje maximálny kontinuálny odberový prúd, po ktorého prekročení je rozdiel dorovnávaný z akumulácie. Po skončení nabíjania je akumulátor okamžite dobíjaný zo siete. Druhá možnosť počíta s akumulátorom, ktorý pokryje celkový odber nabíjajúcou stanicou za definované obdobie (deň), a následne je dobíjaný nízkym tarifom počas nočných hodín. Problémom tohto riešenia je nutnosť zabezpečenia dostatočne veľkej akumulácie. Nasledujúce kapitoly budú predpokladať prvú možnosť, teda zabezpečený kontinuálny odber zo siete podporený akumuláciou.



Obr. 5.3 Usporiadanie nabíjacej stanice a akumulácie

#### 5.3.1 Výber akumulátora

Vzhľadom na uvažovanú možnosť realizácie akumulácie sú požiadavky na jej prevedenie nasledujúce – vysoká flexibilita nabíjania/vybíjania a dlhá životnosť. Kapacita akumulátora musí pokryť minimálne jeden nabíjací cyklus, no z ekonomického hľadiska nesmie byť veľmi predimenzovaná. Týmto požiadavkám vyhovuje vanádium-redox akumulátor (VRB), ktorý

dokáže zabezpečiť prechod medzi nabíjaním a vybíjaním v rozsahu 30 až 50 ms. Jeho hlavnou výhodou je schopnosť operovať v rozsahu SOC 0 % až 100 % bez poškodenia modulov a degradácie maximálnej kapacity. Samovybíjanie takéhoto systému je tiež na minimálnej úrovni (menej ako percento ročne). Elektrolyt a vanádiové soli použité v akumulácii navyše nie sú horľavé ani výbušné a ľahko recyklovateľné [24].

Optimalizácia je realizovaná systémom na skladovanie energie Cell Cube FB od spoločnosti GILDEMEISTER energy solutions GmbH. Tento systém je založený na prietokovom VRB a je vybavený obojsmerným meničom, riadením a meraním. Dostupné modely spolu so základnými parametrami relevantnými pre potreby návrhu sú uvedené v tab. 5.2. Cena systému je odhadnutá na základe vstupných nákladov do experimentálneho zariadenia na Ústave elektroenergetiky Fakulty elektrotechniky a komunikačných technológií, VUT Brno. To má parametre 5 kW a 20 kWh, pri cene približne 1 000 000 Kč.

Tab. 5.2 VRB-based úložiská energie [24]

Model	$P_a$ (kW)	$E_a$ (kWh)	Odhad ceny bez DPH (Kč)
FB30-40	30	40	4 600 000
FB30-70	30	70	4 900 000
FB30-100	30	100	5 200 000

Výber konkrétneho modelu je podmienený požadovaným obmedzením odoberaného prúdu zo siete, podľa nasledujúcich rovníc. Maximálny činný príkon nabijacej stanice je:

$$P_{p,m} = S_{p,m} \cdot \lambda = 98 \text{ kVA} \cdot 0,96 = 94,08 \text{ kW} \quad (5.1)$$

Činný príkon po znížení prúdu sa určí nasledovne:

$$P_{p,o} = \sqrt{3} \cdot U_z \cdot I_{o,o} \cdot \lambda = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 100 \text{ A} \cdot 0,96 = 66,51 \text{ kW} \quad (5.2)$$

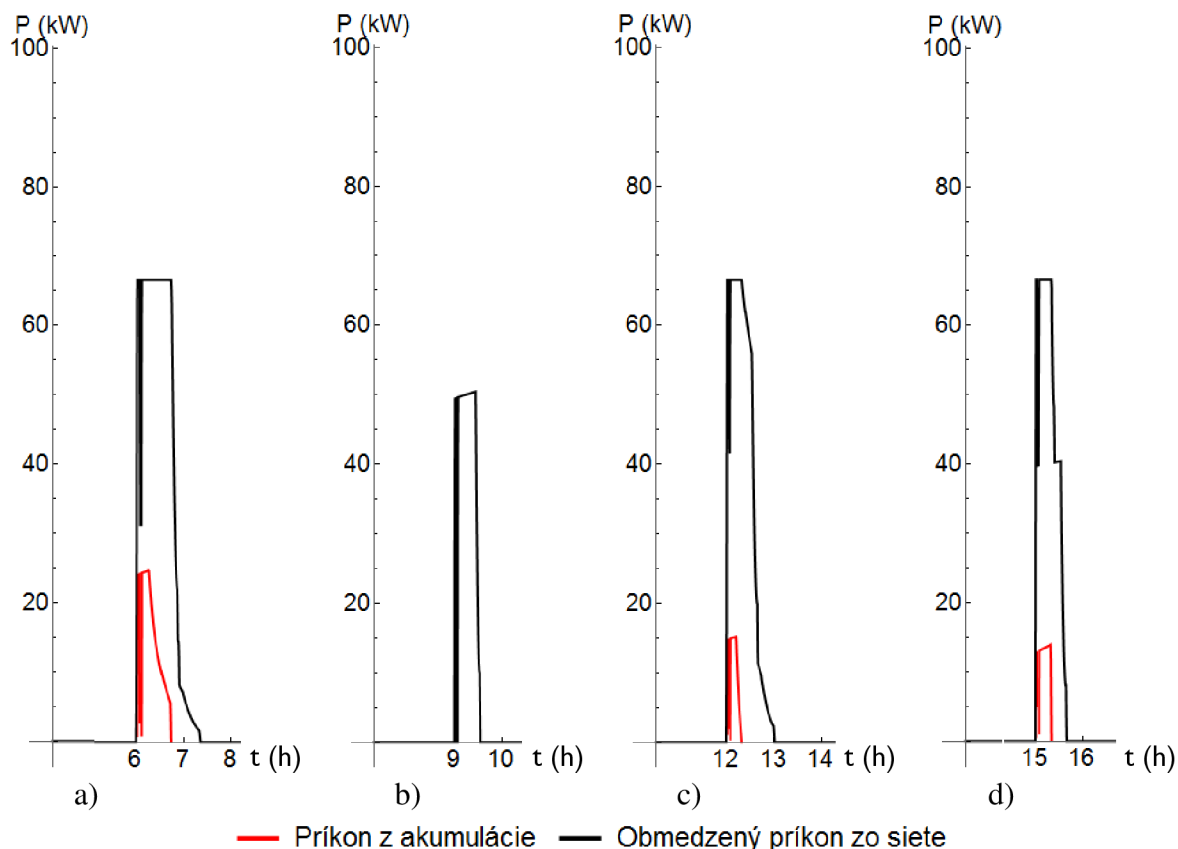
Z toho vyplýva minimálny činný výkon, ktorý musí byť zabezpečený na výstupe z akumulácie:

$$P_a = P_{p,m} - P_{p,o} = 94,08 \text{ kW} - 66,51 \text{ kW} = 27,57 \text{ kW} \quad (5.3)$$

Na základe uvedených výpočtov bol zvolený model FB30-40. Systém má celkový rozmer 4,66 m x 2,20 m a bude umiestnený mimo krytia nabijacej stanice a parkovacích miest. Minimálna kapacita akumulácie potrebná na pokrytie obmedzeného odberu zo siete je určená v nasledujúcej podkapitole a na jej základe bude potvrdený alebo pozmenený výber modelu.

### 5.3.2 Model prevádzky s akumuláciou

Modelovanie prevádzky s akumuláciou vychádza z rovnakých predpokladov ako model samostatnej nabijacej stanice. Keďže výkony konektorov sa pri uvažovaní akumulácie nemenia, nie sú v tomto prípade pre sprehládnenie grafov zobrazené. Navyše pre porovnanie sú skutočne relevantné len príkony z akumulácie a siete. Po uvažovanom obmedzení odberového prúdu na hodnotu 100 A sú vybrané priebehy okamžitého príkonu do stanice uvedené na obr. 5.4.



Obr. 5.4 Porovnanie priebehov okamžitého výkonu po optimalizácii

Kombinácie konektor-vozidlo sú totožné s tými, ktoré sú uvažované v modeli bez akumulácie. Jedným zo sledovaných výstupov modelu je energia, ktorú je nutné dodať z akumulácie po obmedzení odberového prúdu tak, aby bol pokrytý celkový odber stanice. Využitie troch konektorov súčasne je z tohto pohľadu najnepriaznivejšou situáciou, pri ktorej je energia potrebná na pokrytie špičkového odberu jedného cyklu najvyššia -  $E_{al,max} = 9,878$  kWh. Zvolený model FB30-40 s kapacitou  $E_a = 40$  kWh je teda dostačujúci.

Vzhľadom na vysokú flexibilitu akumulácie môže dobíjanie prebiehať s ohľadom na sieťový odber popri nabíjaní EV. To je zobrazené v grafe d), kedy po odpojení jedného vozidla (v čase 15:30) klesne príkon do stanice na hodnotu 40 kW, teda odberový prúd (podľa 5.2) na hodnotu 60,14 A. Celkový možný odber zo siete je však až 100 A, preto je možné rozdielom dobíjať akumuláciu.

## 5.4 Pripojenie na distribučnú sústavu

### 5.4.1 Kabeláž

Požiadavky na pripojenie sú nasledujúce – silový kábel 3P+PE+N o priereze maximálne 70 mm<sup>2</sup> s rezervou jeden meter pre inštaláciu na strane stanice. Stanica bude umiestnená 20 m od trafostanice. Návrh minimálneho prierezu pri rešpektovaní odberového prúdu vychádza z rovnice 5.4.

$$I_{nk} \geq \frac{I_o}{k} \quad (5.4)$$



kde  $I_o$  je zaťaženie vodiča (maximálny odberový prúd),  $k$  prepočítavací koeficient rešpektujúci typ uloženia, prostredie a teplotu okolia a  $I_{nk}$  menovitý prúd kábla. Prúd  $I_o$  bez akumulácie je 143 A, s akumuláciou 100 A. Uvažované je uloženie D pri referenčných podmienkach – teplota okolia 20 °C a merný tepelný odpor pôdy 2,5 K.m.W<sup>-1</sup>, teda koeficient  $k$  je rovný jednej. Na základe (5.4) a tab. 36 [25] sú zvolené dva varianty. Pripojenie bez akumulátora bude realizované káblom CYKY-J 5x70 mm<sup>2</sup> ( $I_{nk} = 151$  A). Pripojenie s akumuláciou - časť káblom CYKY-J 5x35 mm<sup>2</sup> ( $I_{nk} = 103$  A), pričom súbeh kabeláže a vstup do nabíjacej stanice je zabezpečený káblom CYKY-J 5x70 mm<sup>2</sup> s dĺžkou 2 m. Overenie na úbytok napätia a trojfázové straty je prevedený v programe SICHR (tab. 5.3).

Tab. 5.3 Kontrola kabeláže

Kábel	$\Delta u$ (%)	$\Delta P$ (W)
CYKY 5x35 mm <sup>2</sup>	0,557	432
CYKY 5x70 mm <sup>2</sup>	0,352	362

## 5.4.2 Istiace prvky

Pre zabezpečenie správnej funkčnosti istenia musí byť splnená nasledujúca podmienka:

$$I_o \leq I_n \leq I_z \quad (5.6)$$

kde  $I_o$  je maximálny prúd odoberaný nabíjacou stanicou,  $I_n$  je menovitý prúd istiaceho prvku a  $I_z$  dovolené prúdové zaťaženie kabeláže, ktoré je rovné súčinu menovitého prúdu kábla  $I_{nk}$  a koeficientu  $k$ . Výrobca nabíjacej stanice vzhľadom na predpokladanú minimálnu dobu maximálneho prúdového odberu povoľuje použitie ističa s menovitým prúdom 125 A. Konkrétne môže byť použitý napríklad model LVN-125C-4 od spoločnosti OEZ. Toto riešenie je pri dlhšie trvajúcim maximálnom odbere náchylné na nežiaduce vybavovanie. Preto je možné zabezpečiť úplné istenie použitím kompaktného ističa typu Modeion, ktorý pozostáva zo spínacieho bloku BD250NE405 a nadprúdovej spúšte SE-BD-0160-DTV3 [26]. V práci sa ďalej uvažuje druhá možnosť.

Variantu s akumuláciou je možné istiť vyššie uvedeným kompaktným systémom vďaka možnosti nastavenia menovitého prúdu ističa v rozsahu 63 až 160 A. Vzhľadom na jeho cenu a spoplatnenie pripojenia 160 A ističa na distribučnú sústavu je však pri obmedzenom odberovom prúde vhodnejšie použiť lacnejší model od OEZ s označením LVN-100C-4 ( $I_n = 100$  A) [26]. Ten však neponúka nastavenie menovitého prúdu ističa, tepelnú závislosť istenia ani oblasti pôsobenia skratovej spúšte. Prepäťová a blesková ochrana sú integrované v nabíjacej stanici.

## 5.5 Ekonomika návrhu a prevádzky nabíjacej stanice

### 5.5.1 Vstupné náklady

Okrem cien za jednotlivé súčasti, ktoré boli uvedené v predchádzajúcich kapitolách, sa počiatočná investícia skladá aj z poplatkov za inštaláciu a ďalších položiek uvedených v nasledujúcej tabuľke. Cena za pripojenie na sieť NN vychádza z jednorazového poplatku za pripojenie trojfázového ističa vo výške 500 Kč/A.

Tab. 5.4 Investičné náklady [26][27]

	Bez akumulácie	S akumuláciou
Nabíjacia stanica	750 000	
- Dovoz a inštalácia	18 000	
Akumulácia	-	4 600 000
- Dovoz	-	230 000
Pripojenie na sieť NN	80 000	50 000
- Istiace prvky	14 907	3 821
- Kabeláž	16 275	11 525
<b>Celkom</b>	<b>879 182</b>	<b>5 653 346</b>

### 5.5.2 Prevádzkové náklady

Odhad prevádzkových nákladov vychádza z ročného využitia nabijacej stanice, ktoré je uvažované 340 dní do roka, pri dennom odbere zo siete vo výške 650 kWh. To odpovedá nabíjaniu 30 vozidiel denne. Využitie je však možné upraviť priamo v celkovom zhodnotení investície, ktoré je taktiež realizované v programe Mathematica a jeho kód je uvedený v Príloha C – Zhodnotenie investície. Hlavnou zložkou prevádzkových nákladov je platba za odber elektrickej energie. Uvažovaný distribútor je spoločnosť ČEZ Distribuce, a.s. Odber je spoplatnený sadzbou C03d. Dodávateľ elektrickej energie je ČEZ Prodej, s.r.o. V Tabuľke 5.4 je uvedená štruktúra ceny elektrickej energie, prehľad jednotlivých položiek a porovnanie dvoch produktov.

V zhodnotení sa ďalej počíta s produktom Standard – COMFORT, a to z dôvodu nižšej jednotkovej ceny silovej elektrickej energie, ktorá tvorí najväčšiu položku. Odhad taktiež počíta s ročnými platbami za údržbu a servis systému vo výške 40 000 Kč.

Tržby sú definované nastavenou cenou za nabíjanie. Predpokladaný systém platby je na základe dodanej energie do stanice (a akumulácie) počas nabíjacieho cyklu a poplatok je stanovený za jednu dodanú kWh. Vplyv tohto poplatku na návratnosť investície je demonštrovaný v nasledujúcej podkapitole.

Tab. 5.5 Prehľad zložiek cien elektrickej energie [27]

$E_r = 221 \text{ MWh}$	Standard eTARIF FIX (Kč)		Standard COMFORT (Kč)	
	Bez akumulácie	S akumuláciou	Bez akumulácie	S akumuláciou
Platba za istič	84 816,00	53 016,00	84 816,00	53 016,00
Platba za využitie siete	217 002,11	217 002,11	217 002,11	217 002,11
Platba za syst. služby	22 035,91	22 035,91	22 035,91	22 035,91
Platba za činnosť OTE	78,96	78,96	78,96	78,96
Príspevok na podp. zdroje	109 395,00	86 256,00	109 395,00	86 256,00
Platba za činnosť obch.	120,00	120,00	660,00	660,00
Silová elektrina	327 283,32	327 283,32	323 544,00	323 544,00
Daň z elektriny	6 254,30	6 254,30	6 254,30	6 254,30
<b>Celkom</b>	<b>766 985,60</b>	<b>712 046,60</b>	<b>763 786,28</b>	<b>708 847,28</b>
<b>Cena za kWh</b>	<b>3,47</b>	<b>3,22</b>	<b>3,46</b>	<b>3,21</b>

### 5.5.3 Zhodnotenie investície

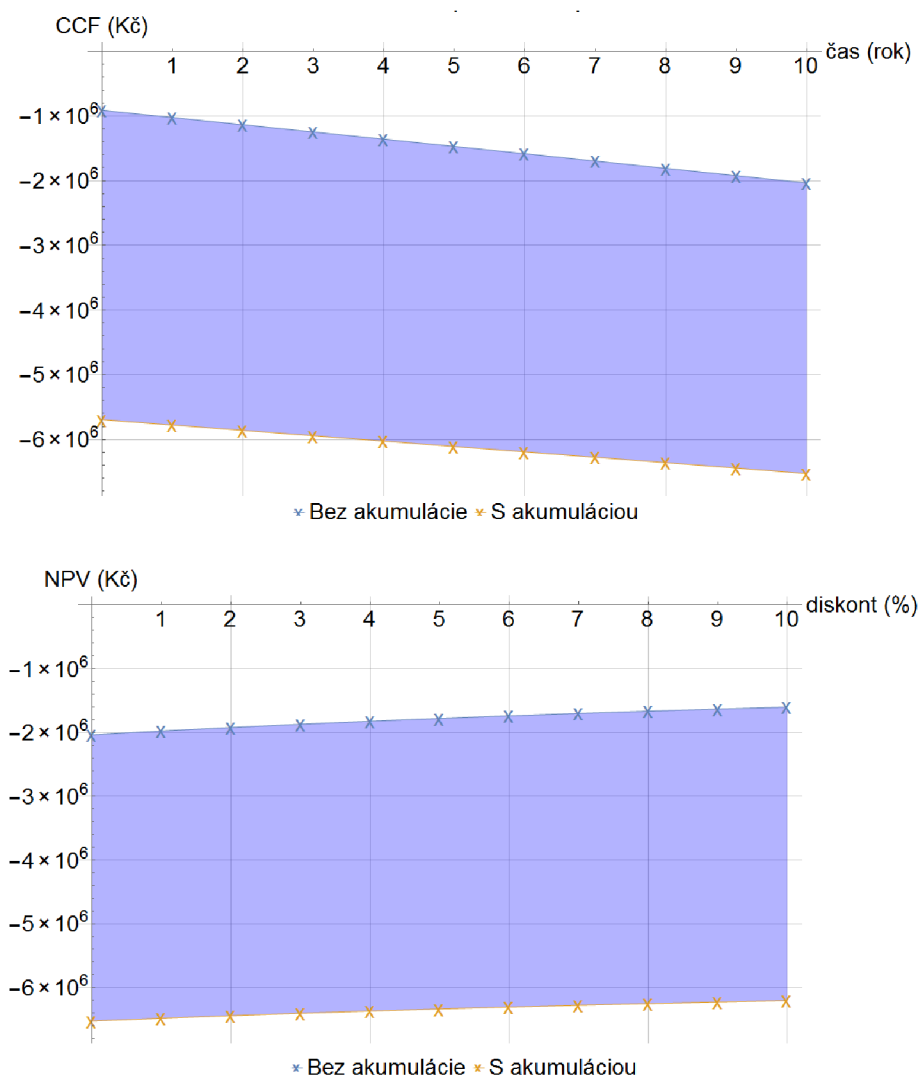
Celkové zhodnotenie investície je realizované porovnaním kumulovaných peňažných tokov a čistej súčasnej hodnoty počas uvažovanej životnosti nabíjacej stanice v dĺžke 10 rokov. Vychádza zo základných vzťahov pre uvedené metódy. Kumulované peňažné toky sa určia nasledovne:

$$CCF = -K_i + \sum_{t=1}^{10} (T_t - N_t) \quad (5.7)$$

kde  $K_i$  sú investičné (vstupné) náklady,  $T_t$  ročné tržby a  $N_t$  ročné prevádzkové náklady. Pre čistú súčasnú hodnotu platí:

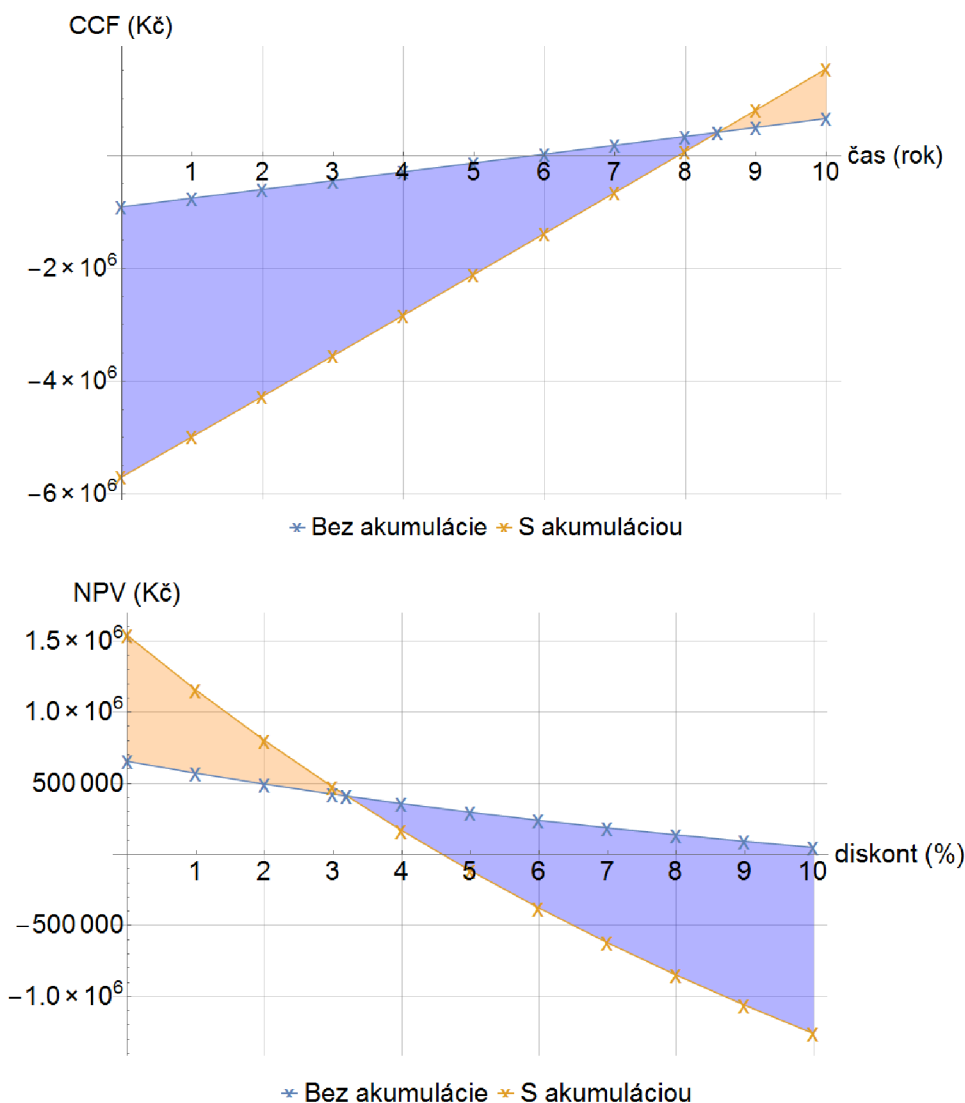
$$NPV = -K_i + \sum_{t=1}^{10} \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (5.8)$$

pričom  $CF_t$  je ročný peňažný tok a  $i$  diskontná sadzba. Vstupné predpoklady (bez DPH) boli z väčšej časti zadefinované v predchádzajúcich dvoch podkapitolách. Uvažované zhodnotenie počíta s komerčným využitím nabíjacej stanice, keďže nekomerčná prevádzka negeneruje žiadne tržby a investícia by bola automaticky nenávratná. Nasledujúce grafy na obr. 5.5 reprezentujú porovnanie realizácie bez akumulácie a s akumuláciou pri poplatku za nabíjanie vo výške 3 Kč/kWh.



Obr. 5.5 Počiatkové zhodnotenie investície

Z priebehov vyplýva, že oba varianty sú pri uvažovanej životnosti 10 rokov nevýhodné a investícia nenávratná. Preto je nutné upraviť poplatok za nabíjanie. Pre variantu bez akumulácie napríklad na sumu 4,20 Kč za kWh a vzhľadom na vyššie investičné náklady do systému s akumuláciou na sumu 6,60 Kč za kWh. Vplyv upravenej ceny je zobrazený na obr. 5.6.



Obr. 5.6 Upravené zhodnotenie investície

Návratnosť investície je bez akumulácie v šiestom roku a s akumuláciou vo ôsmom. Vnútorne výnosové percento je 11,09 % bez akumulácie a 4,56 % s akumuláciou. Zo zhodnotenia vyplýva, že pri prevádzke nabíjacej stanice v snahe o návrat investičných nákladov môže dôjsť k predraženiu nabíjania v porovnaní napríklad s klasickým striedavým nabíjaním v domácnosti. To je však kompenzované oveľa kratšími nabíjacími časmi a teda vyšším komfortom užívania elektrického vozidla. Na základe kapitoly 4 sú v tab. 5.5 uvedené prepočty nákladov na jazdu, na základe vyššie uvedených cien.

Tab. 5.6 Náklady na PHM – prepočítané (vrátane DPH)

	Spotreba (100 km <sup>-1</sup> )	Cena PHM	Cena (100 km <sup>-1</sup> )
Nissan Leaf (bez aku)	15 kWh	5,08 Kč.kWh <sup>-1</sup>	76,20 Kč
Nissan Leaf (s aku)		7,97 Kč.kWh <sup>-1</sup>	119,79 Kč
Škoda Fabia	5,89 l	31,78 Kč.l <sup>-1</sup>	187,18 Kč

## 6 ZÁVER

Bakalárska práca vo svojej úvodnej časti oboznamuje so základnými pojmami a klasifikáciou elektrických vozidiel, pričom popisuje architektúru batériových, hybridných aj pripojiteľných hybridných vozidiel. Taktiež sa venuje podstatnej časti elektrických vozidiel – akumulátorom, a to z pohľadu chemického zloženia, merných veličín a aplikácie. Práca pokračuje kategorizáciou nabíjacieho procesu, uvádza požiadavky na nabíjacie režimy ako z hľadiska noriem (menovite ČSN EN 61 851 a ČSN EN 62 196), tak z hľadiska praktickej aplikácie. Časť venovaná nabíjacím staniciam definuje ich základné parametre podľa funkcie. Záver kapitoly obsahuje prehľad konektorov používaných k pripojeniu EV a krátke zhrnutie nových trendov a technológií.

Nasledujúca časť je venovaná ekonomickému porovnaniu prevádzky auta so spaľovacím motorom a elektroauta. Z neho vyplýva, že prevádzka a údržba EV je výhodnejšia, aj keď vyžaduje vyššie vstupné náklady. Tie sa však dajú znížiť viacerými spôsobmi, ako napríklad štátne dotácie vo forme zníženej dane alebo bezplatného prístupu na diaľnice. Odhliadnuc od investičných nákladov, elektromobily majú široké využitie, a to najmä v mestách, kde dochádza k silnému lokálnemu znečisteniu ovzdušia.

Posledná časť práce stavia na teoretických poznatkoch uvedených v predchádzajúcich kapitolách a venuje sa modelovaniu prevádzkových stavov z pohľadu odberu zvolenou nabíjacou stanicou Terra 53 CJG. To je realizované v programe Mathematica modelom okamžitého odoberaného výkonu stanicou. Celkový odber elektrickej energie je stanovený na 650 kWh denne pri využití stanice 340 dní do roka. Ďalej navrhuje pripojenie na distribučnú sústavu v dvoch variantoch – bez akumulácie káblom CYKY 5x70 mm<sup>2</sup> a s akumuláciou čiastočne káblom 5x35 mm<sup>2</sup>. Optimalizácia nabíjacieho procesu je dosiahnutá obmedzením kontinuálneho odberu nabíjacou stanicou na 100 A a zabezpečením pokrytia špičkových odberov z prietokového akumulátora, konkrétne modelu CellCube FB30-40.

Následne je spracované zhodnotenie investície metódami kumulatívnych peňažných tokov a čistej súčasnej hodnoty. Z nich vyplýva, že investícia je rentabilná bez akumulácie v šiestom roku pri spoplatnení nabíjania sumou 4,20 Kč/kWh bez DPH a s akumuláciou vo ôsmom roku pri cene za nabíjanie 6,60 Kč/kWh bez DPH. Finálne porovnanie ceny (s DPH) za 100 km jazdy je nasledovné – pri nabíjaní Nissanu Leaf v domácnosti užívateľ zaplatí 68,25 Kč, na nabíjacej stanici bez akumulácie 76,20 Kč a na stanici s akumuláciou 119,79 Kč. Vyšší poplatok pri využití nabíjacej stanice je vzhľadom na vstupné náklady očakávaný, kompenzovaný je však vyšším komfortom užívania EV vyplývajúcim z kratších nabíjacích časov.

Hoci možnosť implementácie obnoviteľných zdrojov do nabíjacieho procesu nebola predmetom tejto práce, navrhovaná alternatíva s akumuláciou je pre ňu vhodným základom. Krytá nabíjacia stanica spolu s vlastnou konštrukciou akumulácie poskytuje takmer 55 m<sup>2</sup>, čo pri vhodnom rozmiestnení znamená možnosť osadenia 35 fotovoltaických panelov s celkovým výkonom 8,75 kWp [29]. Tie následne môžu pracovať priamo do akumulácie a v ideálnom prípade pokryť odber z akumulátora, čo vedie ku zníženému sieťovému odberu.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] HAUGNELAND, Petter a KVISLE, Hans Havard. 2013. Norwegian electric car user experiences. In: *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)* [online]. IEEE, [cit. 2015-10-16]. DOI: 10.1109/EVS.2013.6914775. ISBN 978-1-4799-3832-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6914775>
- [2] KUMAR, Lalit; GUPTA, Krishna Kumar a JAIN, Shailendra. 2013. Architecture and configuration of electrified vehicles: A review. In: *2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics* [online]. IEEE, [cit. 2015-10-17]. DOI: 10.1109/ISIE.2013.6563825. ISBN 978-1-4673-5193-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6563825>
- [3] PONTES, Jose. *World All Time Top 10 (Updated to 25th April 2015)* [online]. [cit. 2015-10-17]. Dostupné z: <http://ev-sales.blogspot.cz/2015/04/world-all-time-top-10-updated-to-25th.html>
- [4] AMSTERDAM ROUNDTABLE FOUNDATION a MCKINSEY & COMPANY. 2014. *Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?* [online]. 23-27 [cit. 2015-10-18].
- [5] *Nissan Leaf: Technické údaje* [online]. [cit. 2015-10-18]. Dostupné z: [http://newsroom.nissan-europe.com/sk/sk-sk/NEW\\_LEAF/Product/TechnicalSpecs.aspx](http://newsroom.nissan-europe.com/sk/sk-sk/NEW_LEAF/Product/TechnicalSpecs.aspx)
- [6] LINDEN, David a Thomas B REDDY. 2002. *Handbook of batteries*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1 v. (various pagings). ISBN 00-713-5978-8.
- [7] ČSN EN 61851-21. 2002. *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 21: Požadavky na elektrická vozidla pro vodivé připojení k AC/DC napájení*. Praha: UNMZ. Dostupné z: <https://csnonline.unmz.cz/Detailnormy.aspx?k=65814>
- [8] ČSN EN 61851-1. 2011. *Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením - Část 1: Všeobecné požadavky*. Ed. 2. Praha: UNMZ. Dostupné z: <https://csnonline.unmz.cz/Detailnormy.aspx?k=89690>
- [9] YOUNG, Kwo, Caisheng WANG, Le Yi WANG a Kai STRUNZ. 2013. Electric Vehicle Battery Technologies. *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks* [online]. New York, NY: Springer New York, [cit. 2016-01-11]. DOI: 10.1007/978-1-4614-0134-6\_2. ISBN 978-1-4614-0133-9. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-0134-6\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-0134-6_2)
- [10] VENERI, O., L. FERRARO, C. CAPASSO a D. IANNUZZI. 2012. Charging infrastructures for EV: Overview of technologies and issues. In: *2012 Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion* [online]. IEEE, s. 1-6 [cit. 2016-01-12]. DOI: 10.1109/ESARS.2012.6387434. ISBN 978-1-4673-1372-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?>
- [11] SIMONIK, Petr; HAVEL, Ales; HROMJAK, Michal a CHLEBIS, Petr. 2012. *Active Charging Stations for Electric Vehicles Charging* [online]. [cit. 2015-10-30]. ISSN 1559-9450. Dostupné z: <http://piers.org/piersproceedings/piers2012KualalumpurProc.php?searchname=Active+Charging+Stations+for+Electric+Vehicles+Charging>

- [12] KARAJICA, Mirza. 2014. Elektromobilita z pohledu ČEZ Distribuce. *Energetika: Odborný měsíčník pro elektrárství, teplotářství a použití energie*. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 11/2014. ISSN 0375-8842.
- [13] FALVO, Maria Carmen; SBORDONE, Danilo; BAYRAM, I. Safak a DEVETSIKIOTIS, Michael. 2014. EV charging stations and modes: International standards. In: *2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion* [online]. IEEE, s. 1134-1139 [cit. 2015-10-31]. DOI: 10.1109/SPEEDAM.2014.6872107. ISBN 978-1-4799-4749-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6872107>
- [14] MARCUCCI, Todd. 2013. *How the J1772 charging standard for plug-in vehicles works* [online]. In: . [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: <http://www.edn.com/electronics-blogs/automotive-currents/4421241/How-the-J1772-charging-standard-for-plug-in-vehicles-works>
- [15] *Vehicle inlets and connectors type 2 for AC and DC charging* [online]. In: . [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: [http://www.mennekes.de/uploads/media/MENNEKES\\_Media\\_information\\_-\\_Charging\\_couplers\\_Type\\_2\\_for\\_AC\\_and\\_DC\\_charging.pdf](http://www.mennekes.de/uploads/media/MENNEKES_Media_information_-_Charging_couplers_Type_2_for_AC_and_DC_charging.pdf)
- [16] *MENNEKES\_Steckerschema.jpg* [online]. [cit. 2015-11-02]. Dostupné z: [http://www.mennekes.de/uploads/RTEmagicC\\_MENNEKES\\_Steckerschema.jpg.jpg](http://www.mennekes.de/uploads/RTEmagicC_MENNEKES_Steckerschema.jpg.jpg)
- [17] *Supercharger* [online]. [cit. 2016-01-14]. Dostupné z: <https://www.teslamotors.com/supercharger>
- [18] BAKKER, Sjoerd. 2013. *Standardization of EV Recharging Infrastructures* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: [http://e-mobility-nsr.eu/fileadmin/user\\_upload/downloads/info-pool/4.4\\_E-MobilityNSR\\_Recharging\\_infrastructure\\_standardization.pdf](http://e-mobility-nsr.eu/fileadmin/user_upload/downloads/info-pool/4.4_E-MobilityNSR_Recharging_infrastructure_standardization.pdf)
- [19] ZHENG CHEN, NIAN LIU, XIANGNING XIAO a JIANHUA ZHANG. 2013. Energy exchange model of PV-based battery switch stations based on battery swap service and power distribution. *2013 IEEE Energytech* [online]. IEEE, 1-6 [cit. 2016-01-11]. DOI: 10.1109/EnergyTech.2013.6645314. ISBN 978-1-4673-4444-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm>
- [20] *Wireless charging and discharging for electric vehicles* [online]. [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2015/august/Wireless-charging-and-discharging-for-electric-vehicles.html>
- [21] TOMÍŠEK, Marek. *Škoda Fabia 1,2 TSI 66 kW, skutečná spotřeba* [online]. [cit. 2015-10-15]. Dostupné z: <http://www.usporne.info/651-skoda-fabia-12-tsi-66-kw-skutecna-spotreba/>
- [22] *Ceny PHM* [online]. [cit. 2016-1-13]. Dostupné z: <http://www.cenyphm.sk/>
- [23] *Terra 23/53 Product Leaflet* [online]. [cit. 2016-4-14]. Dostupné z: <http://new.abb.com/ev-charging/multi-standard>
- [24] *Technical Data - CellCube FB* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://energy.gildemeister.com/en/store/cellcube-fb-10-20-30#Technical-data>
- [25] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. 2015. *Rozvodná zařízení*.
- [26] *SHOP Elektro.cz* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.shopelektro.cz/>
- [27] *E-elektromateriál.cz* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.e-elektromaterial.cz/>

- [28] *Kalkulátor nové tarifní struktury v elektroenergetice pro nízké napětí* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.novatarifnistruktura.cz/nn.php?typ=firm>
- [29] *Špecifikácie panelu GreenTriplex PM245P00* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: [http://www.ostrovni-elektrarny.cz/docs/BENQ\\_GT-PM245P00\\_ds\\_en.pdf](http://www.ostrovni-elektrarny.cz/docs/BENQ_GT-PM245P00_ds_en.pdf)



## PRÍLOHA A – POROVNANIE PREVÁDZKOVÝCH NÁKLADOV VOZIDIEL

```

Manipulate[
NumberForm[
palivoe=2.5*km*ce*sptre;
palivob=2.5*km*cb*sptrb;
udrzbae=7000;
udrzbab=10000;

NPVE=Table[TimeValue[Cashflow[{-cae,-(palivoe*(1+infl)+udrzbae),-
(palivoe*((1+infl)^1)+udrzbae),-(palivoe*((1+infl)^2)+udrzbae),-
(palivoe*((1+infl)^3)+udrzbae),-(palivoe*((1+infl)^4)+udrzbae),-
(palivoe*((1+infl)^5)+udrzbae),-(palivoe*((1+infl)^6)+udrzbae),-
(palivoe*((1+infl)^7)+udrzbae)}],(i/100),0],{i,0,10}];

NPVB=Table[TimeValue[Cashflow[{-cab,-(palivob*(1+infl)+udrzbab),-
(palivob*((1+infl)^1)+udrzbab),-(palivob*((1+infl)^2)+udrzbab),-
(palivob*((1+infl)^3)+udrzbab),-(palivob*((1+infl)^4)+udrzbab),-
(palivob*((1+infl)^5)+udrzbab),-(palivob*((1+infl)^6)+udrzbab),-
(palivob*((1+infl)^7)+udrzbab)}],(i/100),0],{i,0,10}];

CFE=Table[If[i==0,flowe=-cae,flowe=flowe-(palivoe*(1+infl)^(i-
1)+udrzbae)],{i,0,8}];

CFB=Table[If[i==0,flowb=-cab,flowb=flowb-(palivob*(1+infl)^(i-
1)+udrzbab)],{i,0,8}];

Grid[{{ListLinePlot[{Tooltip[NPVE],Tooltip[NPVB]},GridLines-
>Automatic,AxesLabel->{"diskont (%)","NPV (Kč)"},Ticks-
>{Range[0,10,1],Automatic},PlotLegends-
>Placed[{"elektromobil","spařovací motor"},Below],PlotMarkers-
>Style["x","x",20]
,Filling->{2-
>{{1},{Opacity[0.3,Blue],Opacity[0.3,Orange]}}},PlotLabel->"NPV v
závislosti na diskonte",ImageSize->{580,330},DataRange->{0,10}],
TableForm[{Range[0,10,1],NPVE,NPVB},TableDirections-
>Row,TableHeadings->{"Diskont (%)","NPV elektromobil (Kč)","NPV
spařovací motor (Kč)"},TableAlignments->Center}],
{ListLinePlot[{Tooltip[CFE],Tooltip[CFB]},GridLines-
>Automatic,AxesLabel->{"čas (rok)","CF (Kč)"},Ticks-
>{Range[0,8,1],Automatic},PlotLegends-
>Placed[{"elektromobil","spařovací motor"},Below],PlotMarkers-
>Style["x","x",20]
,Filling->{2-
>{{1},{Opacity[0.3,Blue],Opacity[0.3,Orange]}}},PlotLabel->"CF v
čase",ImageSize->{580,330},DataRange->{0,8}],
TableForm[{Range[0,8,1],CFE,CFB},TableDirections->Row,TableHeadings-
>{"Roky","CF elektromobil (Kč)","CF spařovací motor
(Kč)"},TableAlignments->Center]}],{7,2},ExponentFunction->(If[-
10<#<10,Null,#]&)],

```

```
Grid[{{
Control[{{sptre,15,"Spotreba EV (kWh/100km)"},InputField]],
Control[{{km,100,"Denná najazdená vzdialenosť (km)"},20,300,10]],
{Control[{{cae,715300,"Cena EV (Kč)"},InputField]],
Control[{{ce,4.55,"Cena elektrickej energie (Kč/kWh)"},2,8,0.1]],
{Control[{{sptrb,5.89,"Spotreba auta so SM (l/100km)"},InputField]],
Control[{{cb,31.78,"Cena benzínu (Kč/l)"},25,35,0.1]],
{Control[{{cab,310900,"Cena auta so SM (Kč)"},InputField]],
Control[{{infl,0.02,"Inflácia (-)"},-0.05,0.10,0.01]]},Alignment-
>Right],
ControlPlacement->{Top},ContentSize->{1120,800}, ContinuousAction-
>False]
```

## PRÍLOHA B – MODEL PREVÁDZKY NABÍJACEJ STANICE

```

Manipulate[
funkciaCCS:=Function[{ACCS,BCCS},
CCS[[All,1]]=ACCS*data[[All,1]]/60;
CCS[[All,2]]=BCCS*data[[All,2]];
f1=LinearModelFit[CCS[{{medze[[1]][[1]],medze[[1]][[2]]}],{1,x},x];
f2=LinearModelFit[CCS[{{medze[[2]][[1]],medze[[2]][[2]]}],{1,x},x];
f3=LinearModelFit[CCS[{{medze[[3]][[1]],medze[[3]][[2]]}],{1,x},x];
f4=LinearModelFit[CCS[{{medze[[4]][[1]],medze[[4]][[2]]}],0,x];
f5=LinearModelFit[CCS[{{medze[[5]][[1]],medze[[5]][[2]]}],{1,x},x];
f6=LinearModelFit[CCS[{{medze[[6]][[1]],medze[[6]][[2]]}],{1,x},x];
f7=LinearModelFit[CCS[[medze[[7]][[1]];medze[[7]][[2]]],{1,x,x^2},x];
f8=LinearModelFit[CCS[{{medze[[8]][[1]],medze[[8]][[2]]}],{1,x},x];
f[x_] :=
Which[
x<=CCS[[medze[[1,1]],1]],0,
CCS[[medze[[1,1]],1]]<x<=CCS[[medze[[1,2]],1]],f1[x],
CCS[[medze[[2,1]],1]]<x<=CCS[[medze[[2,2]],1]],f2[x],
CCS[[medze[[3,1]],1]]<x<=CCS[[medze[[3,2]],1]],f3[x],
CCS[[medze[[4,1]],1]]<x<=CCS[[medze[[4,2]],1]],f4[x],
CCS[[medze[[5,1]],1]]<x<=CCS[[medze[[5,2]],1]],f5[x],
CCS[[medze[[6,1]],1]]<x<=CCS[[medze[[6,2]],1]],f6[x],
CCS[[medze[[7,1]],1]]<x<=CCS[[medze[[7,2]],1]],f7[x],
CCS[[medze[[8,1]],1]]<x<=CCS[[medze[[8,2]],1]],f8[x],
CCS[[medze[[8,1]],1]]<x,0];
funkciaAC:=Function[{AAC,BAC},
AC[[All,1]]=AAC*data[[All,1]]/60;
AC[[All,2]]=BAC*data[[All,2]];
g1=LinearModelFit[AC[{{medze[[1]][[1]],medze[[1]][[2]]}],{1,x},x];
g2=LinearModelFit[AC[{{medze[[2]][[1]],medze[[2]][[2]]}],{1,x},x];
g3=LinearModelFit[AC[{{medze[[3]][[1]],medze[[3]][[2]]}],{1,x},x];
g4=LinearModelFit[AC[{{medze[[4]][[1]],medze[[4]][[2]]}],0,x];
g5=LinearModelFit[AC[{{medze[[5]][[1]],medze[[5]][[2]]}],{1,x},x];
g6=LinearModelFit[AC[{{medze[[6]][[1]],medze[[6]][[2]]}],{1,x},x];
g7=LinearModelFit[AC[[medze[[7]][[1]];medze[[7]][[2]]],{1,x,x^2},x];
g8=LinearModelFit[AC[{{medze[[8]][[1]],medze[[8]][[2]]}],{1,x},x];

```

```

g[x_] :=
Which[
x<=AC[medze[[1,1]],1],0,
AC[medze[[1,1]],1]<x<=AC[medze[[1,2]],1],g1[x],
AC[medze[[2,1]],1]<x<=AC[medze[[2,2]],1],g2[x],
AC[medze[[3,1]],1]<x<=AC[medze[[3,2]],1],g3[x],
AC[medze[[4,1]],1]<x<=AC[medze[[4,2]],1],g4[x],
AC[medze[[5,1]],1]<x<=AC[medze[[5,2]],1],g5[x],
AC[medze[[6,1]],1]<x<=AC[medze[[6,2]],1],g6[x],
AC[medze[[7,1]],1]<x<=AC[medze[[7,2]],1],g7[x],
AC[medze[[8,1]],1]<x<=AC[medze[[8,2]],1],g8[x],
AC[medze[[8,1]],1]<x,0]];

funkciaCH:=Function[{ACH,BCH},
CH[[All,1]]=ACH*CHADeMO[[All,1]]/60;
CH[[All,2]]=BCH*CHADeMO[[All,2]];
h1=LinearModelFit[CH[{{medzeCH[[1]][[1]],medzeCH[[1]][[2]]}],{1,x},x];
h2=LinearModelFit[CH[medzeCH[[2]][[1]];medzeCH[[2]][[2]]],{1,x,x^2},x];
h3=LinearModelFit[CH[medzeCH[[3]][[1]];medzeCH[[3]][[2]]],{1,x,x^-1},x];
h4=LinearModelFit[CH[medzeCH[[4]][[1]];medzeCH[[4]][[2]]],{1,x,x^2},x];
h5=LinearModelFit[CH[medzeCH[[5]][[1]];medzeCH[[5]][[2]]],{1,x,x^2},x];
h6=LinearModelFit[CH[{{medzeCH[[6]][[1]],medzeCH[[6]][[2]]}],{1,x},x];
h[x_] :=
Which[x<=CH[medzeCH[[1,1]],1],0,
CH[medzeCH[[1,1]],1]<x<=CH[medzeCH[[1,2]],1],h1[x],
CH[medzeCH[[2,1]],1]<x<=CH[medzeCH[[2,2]],1],h2[x],
CH[medzeCH[[3,1]],1]<x<=CH[medzeCH[[3,2]],1],h3[x],
CH[medzeCH[[4,1]],1]<x<=CH[medzeCH[[4,2]],1],h4[x],
CH[medzeCH[[5,1]],1]<x<=CH[medzeCH[[5,2]],1],h5[x],
CH[medzeCH[[6,1]],1]<x<=CH[medzeCH[[6,2]],1],h6[x],
CH[medzeCH[[6,2]],1]<x,0]];

Ce=Switch[CCSEV,"-",0,"VW E-Golf",1,"Kia Soul EV",1,"Citroen C-Zero",1];
J=Switch[CHEV,"-",0,"Nissan Leaf",1,"Kia Soul EV",1,"Citroen C-Zero",1];
G=Switch[ACEV,"-",0,"Nissan Leaf",1,"VW E-Golf",1,"Renault ZOE",1];

```

```
AKU=Switch[akumulacia,"Bez akumulácie",0,"S akumuláciou",1];
Psiet=400*sqrt[3]*Isiet*0.96/1000;
Which[
(Ce==1&&J==1&&G==1),
{CCSA=Switch[CCSEV,"-",0,"VW E-Golf",1.6893,"Kia Soul
EV",1.75422,"Citroen C-Zero",1.03954],
CCSB=Switch[CCSEV,"-",0,"VW E-Golf",1,"Kia Soul EV",1,"Citroen C-
Zero",1],
CHA=Switch[CHEV,"-",1,"Nissan Leaf",1.4867,"Kia Soul
EV",1.6072,"Citroen C-Zero",0.99104],
CHB=Switch[CHEV,"-",0,"Nissan Leaf",1,"Kia Soul EV",1,"Citroen C-
Zero",1],
ACA=Switch[ACEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.5594,"VW E-
Golf",1.6893,"Renault ZOE",1.4294],
ACB=Switch[ACEV,"-",0,"Nissan Leaf",1,"VW E-Golf",1,"Renault
ZOE",1]},
(Ce==0&&J==1&&G==1),
{CHA=Switch[CHEV,"-",1,"Nissan Leaf",1.1153,"Kia Soul
EV",1.2057,"Citroen C-Zero",0.7435],
CHB=Switch[CHEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.333,"Kia Soul
EV",1.333,"Citroen C-Zero",1.333],
ACA=Switch[ACEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.1698,"VW E-
Golf",1.2673,"Renault ZOE",1.0723],
ACB=Switch[ACEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.333,"VW E-Golf",1.333,"Renault
ZOE",1.333],CCSA=0,CCSB=0},
(Ce==1&&J==0&&G==1),
{CCSA=Switch[CCSEV,"-",0,"VW E-Golf",1.2673,"Kia Soul
EV",1.3160,"Citroen C-Zero",0.7798],
CCSB=Switch[CCSEV,"-",0,"VW E-Golf",1.333,"Kia Soul
EV",1.333,"Citroen C-Zero",1.333],
ACA=Switch[ACEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.1698,"VW E-
Golf",1.2673,"Renault ZOE",1.0723],
ACB=Switch[ACEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.333,"VW E-Golf",1.333,"Renault
ZOE",1.333],CHA=1,CHB=0},
(Ce==1&&J==1&&G==0),
{CCSA=Switch[CCSEV,"-",0,"VW E-Golf",1.2673,"Kia Soul
EV",1.3160,"Citroen C-Zero",0.7798],
CCSB=Switch[CCSEV,"-",0,"VW E-Golf",1.333,"Kia Soul
EV",1.333,"Citroen C-Zero",1.333],
CHA=Switch[CHEV,"-",1,"Nissan Leaf",1.1153,"Kia Soul
EV",1.2057,"Citroen C-Zero",0.7435],
CHB=Switch[CHEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.333,"Kia Soul
EV",1.333,"Citroen C-Zero",1.333],ACA=0,ACB=0},
(Ce==0&&J==1&&G==0),
```

```

{CHA=Switch[CHEV,"-",1,"Nissan Leaf",0.8924,"Kia Soul
EV",0.9647,"Citroen C-Zero",0.5949],
CHB=Switch[CHEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.666,"Kia Soul
EV",1.666,"Citroen C-Zero",1.666],
CCSA=0,CCSB=0,ACA=0,ACB=0},
(Ce==1&&J==0&&G==0),
{CCSA=Switch[CCSEV,"-",0,"VW E-Golf",1.0140,"Kia Soul
EV",1.0530,"Citroen C-Zero",0.6240],
CCSB=Switch[CCSEV,"-",0,"VW E-Golf",1.666,"Kia Soul
EV",1.666,"Citroen C-Zero",1.666],CHA=1,CHB=0,ACA=0,ACB=0},
(Ce==0&&J==0&&G==1),
{ACA=Switch[ACEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.0882,"VW E-
Golf",1.1789,"Renault ZOE",0.9975],
ACB=Switch[ACEV,"-",0,"Nissan Leaf",1.433,"VW E-Golf",1.433,"Renault
ZOE",1.433],CCSA=0,CCSB=0,CHA=1,CHB=0}};
funkciaCCS[CCSA*(-1.25*SOCSS+125)/100,CCSB];
funkciaAC[ACA*(-1.25*SOCAC+125)/100,ACB];
funkciaCH[CHA*(-1.25*SOCCH+125)/100,CHB];
komplet=(f[x-CCSposun]+g[x-ACposun]+h[x-CHposun])/0.94;
Column[
{Show[
If[AKU==1,
Show[Plot[Evaluate@{If[komplet>Psiet,komplet-
Psiet],If[komplet<Psiet,komplet,Psiet],If[komplet==Psiet,Psiet]},
{x,0,24},PlotStyle-
>Transpose@{{Red,Black,Black},{Thick,Thick,Thick}},PlotLegends-
>Placed[{"Príkon z akumulácie","Obmedzený príkon zo
siete"},Below]],Plot[{f[x-CCSposun],h[x-CHposun],g[x-
ACposun]},{x,0,24},PlotLegends->Placed[{"C","J","G"},Below],
PlotStyle->{{Dashed,Green},{Dashed,Blue},{Dashed,Yellow}}]],
Plot[{f[x-CCSposun],h[x-CHposun],g[x-
ACposun],komplet},{x,0,24},PlotLegends->Placed[{"C","J","G","Celkový
príkon zo siete"},Below],
PlotStyle-
>{{Dashed,Green},{Dashed,Blue},{Dashed,Yellow},{Thick,Black}}]],Image
Size->{1050,670},PlotRange->{{0,24},{0,95}},Ticks-
>{Range[0,24,1],Automatic},TicksStyle->Directive[Black,
20],AxesLabel->{"t (h)","P (kW)",LabelStyle->Directive[Black,20]],
korene=Solve[f[x-CCSposun]+g[x-ACposun]+h[x-CHposun]-Psiet==0,x];
If[(AKU==1&&MatrixQ[korene]==True),
{x1=x/.korene[[1]],
x2=x/.korene[[2]],
x3=x/.korene[[3]],
x4=x/.korene[[4]]},
{x1=0,

```



```
>False,TrackedSymbols:>{akumulacia,Isiet,CCSEV,CCSposun,SOCACS,CHEV,C
Hposun,SOCCH,ACEV,ACposun,SOCAC,korene,m},
Initialization:>{
data=CCS=AC=Import["C:/Users/Tomáš/Desktop/data.csv"],
CHADeMO=CH=Import["C:/Users/Tomáš/Desktop/dataa.csv"],
medze={{2,7},{7,9},{9,15},{15,16},{16,22},{22,30},{30,45},{45,48}}
,
medzeCH={{1,2},{2,21},{21,42},{42,92},{92,151},{151,152}},
m=1,
celkova={0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
celkovaaku={0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
komplet=(f[x-CCSposun]+g[x-ACposun]+h[x-CHposun])/0.94}]
```



## PRÍLOHA C – ZHODNOTENIE INVESTÍCIE

```

Manipulate[
NumberForm[
vcs=(750000+8000+10000); (*vstupná cena stanice = cena stanice +
dovoz + integracia do systemu ABB + cena za technika ABB*)
ckbez=16275+80000; (*cena kabelaze bez akumulacie*)
cks=11525+50000; (*cena kab s aku*)
cipbez=14907; (*istic bez aku*)
cips=3821; (*istic s aku*)
caku=4600000+10000+220000; (*cena akumulacie = cena + dovoz + inst*)
udrzbabez=4500; (*udrzba iba nabijacej stanice ROCNE*)
udrzbas=4500+26560; (*udrzba stanica + akumulacia ROCNE*)
cebez=
((ed*pd)/1000)*(981.91+99.71+1464+28.3)+12*(7068+6.58+55)+109395)/(e
d*pd); (*vypocet ceny za kWh bez akumulacie podla webu Novatarifni*)
ces=
((ed*pd)/1000)*(981.91+99.71+1464+28.3)+12*(4418+6.58+55)+86256)/(ed
*pd); (*cena za kWh s akumulaciou*)
ksys=1350*27.1;
krok=210*27.1;
S=Cashflow[{- (vcs+cks+cips+caku+ksys) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)+udrzbas+krok) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)^1+udrzbas+krok) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)^2+udrzbas+krok) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)^3+udrzbas+krok) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)^4+udrzbas+krok) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)^5+udrzbas+krok) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)^6+udrzbas+krok) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)^7+udrzbas+krok) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)^8+udrzbas+krok) , -(((ces-
cns)*ed*pd)*(1+infl)^9+udrzbas+krok) }];
BEZ=Cashflow[{- (vcs+ckbez+cipbez+ksys) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)+udrzbabez+krok) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)^1+udrzbabez+krok) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)^2+udrzbabez+krok) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)^3+udrzbabez+krok) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)^4+udrzbabez+krok) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)^5+udrzbabez+krok) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)^6+udrzbabez+krok) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)^7+udrzbabez+krok) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)^8+udrzbabez+krok) , -(((cebez-
cn)*ed*pd)*(1+infl)^9+udrzbabez+krok) }];
NPVBEZ=Table[TimeValue[BEZ, (i/100), 0], {i, 0, 10}];
NPVS=Table[TimeValue[S, (i/100), 0], {i, 0, 10}];
CFBEZ=Table[If[t==0, flowb=- (vcs+ckbez+cipbez+ksys), flowb=flowb+((cn-
cebez)*ed*pd)*(1+infl)^(t-1)-udrzbabez-krok], {t, 0, 10}];

```

```

CFS=Table[If[t==0,flows=-(vcs+cks+cips+caku+ksys),flows=flows+((cns-
ces)*ed*pd)*(1+infl)^(t-1)-udrzbas-krok},{t,0,10}];

If[cn>=4,IRRB=100*irr/.FindRoot[TimeValue[BEZ,irr,0],{irr,0.05}],IRRB
="-"];

If[cns>=5,IRRS=100*irr/.FindRoot[TimeValue[S,irr,0],{irr,0.05}],IRRS=
="-"];

Grid[{

{ListLinePlot[{Tooltip[CFBEZ],Tooltip[CFS]},GridLines-
>Automatic,AxesLabel->{"čas (rok)","CF (Kč)"},Ticks-
>{Range[0,10,1],Automatic},PlotLegends->Placed[{"Bez akumulácie","S
akumuláciou"},Below],PlotMarkers->Style["x","x",20],Filling->{2-
>{{1},{Opacity[0.3,Blue],Opacity[0.3,Orange]}}},PlotLabel-
>"Kumulatívne peňažné toky",ImageSize->{580,330},DataRange->{0,10}] ,

TableForm[{Range[0,10,1],CFBEZ,CFS},TableDirections-
>Row,TableHeadings->{"Rok","Bez akumulácie (Kč)","S akumuláciou
(Kč)"},TableAlignments->{Center}}},

{ListLinePlot[{Tooltip[NPVBEZ],Tooltip[NPVS]},GridLines-
>Automatic,AxesLabel->{"čas (rok)","NPV (Kč)"},Ticks-
>{Range[0,10,1],Automatic},PlotLegends->Placed[{"Bez akumulácie","S
akumuláciou"},Below],PlotMarkers->Style["x","x",20],Filling->{2-
>{{1},{Opacity[0.3,Blue],Opacity[0.3,Orange]}}},PlotLabel->"Čistá
súčasná hodnota",ImageSize->{580,330},DataRange->{0,10}] ,

TableForm[{Range[0,10,1],NPVBEZ,NPVS},TableDirections-
>Row,TableHeadings->{"Diskont (%)","Bez akumulácie (Kč)","S
akumuláciou (Kč)"},TableAlignments->{Center}}},

{Text@Row[{"Vútorňé výnosové percento bez akumulácie
",Style["IRR",Italic]," = ",IRRB," %"}]},

{Text@Row[{"Vnútorňé výnosové percento s akumuláciou
",Style["IRR",Italic]," = ",IRRS," %"}]}

}],

ExponentFunction->(If[-10<#<10,Null,#]&)),

Grid[{

{Control[{{ed,650,"Energia dobytá denne (kWh/deň)"},0,1000,5}},

Control[{{cn,3,"Poplatok za nabíjanie bez akumulácie
(Kč/kWh)"},0,10,0.1}},

{Control[{{pd,340,"Využitie stanice (deň)"},0,365,1}},

Control[{{cns,3,"Poplatok za nabíjanie s akumuláciou
(Kč/kWh)"},0,10,0.1}},

{Control[{{infl,0.003,"Inflácia (-)"},-0.05,0.10,0.01}}]

},Alignment->Right],ControlPlacement->{Top},ContentSize-
>{1120,800},TrackedSymbols->{komercna,ed,cn,pd,cns,infl}]

```