

BATTERY ELECTRIC VEHICLE CHARGING AND OPERATING COSTS ANALYSIS

Tomáš Zajac

Bachelor Degree Programme (3.), FEEC BUT

E-mail: xzajac02@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Lukáš Radil

E-mail: radil@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper deals with issues of battery electric vehicle charging. Key mechanisms are defined and the possibilities of charging station designs are presented. Active charging stations, their advantages and impacts on grid are discussed along with option of partial decoupling of the load from the grid, achieved by the application of energy storage elements – buffer accumulation. Furthermore, calculation methodology for operational cost analysis is proposed, programmed and the overall cost of the investment is discussed.

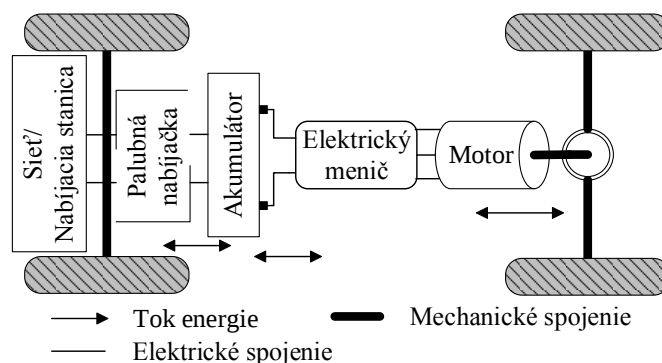
Keywords: electric vehicle, battery, charging, charging station, operating costs, analysis

1. ÚVOD

Elektromobilita je celosvetovo rastúci trend. Kvalitne navrhnutá a rozvinutá nabíjacia infraštruktúra je základnou podmienkou pre úspešné rozšírenie komerčného používania elektrických vozidiel (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. Preto je nutné jasne kategorizovať aspekty nabíjacieho procesu. S kúpou EV je okrem technických aspektov úzko spojená aj otázka výhodnosti investície.

2. ELEKTROMOBILY

Pojmom elektromobil je možné vo všeobecnosti označiť všetky vozidlá, ktoré úplne alebo čiastočne využívajú premenu elektrickej energie na mechanickú, ktorú následne využívajú na svoj pohyb. Medzi takéto vozidlá patria okrem čisto elektrických vozidiel s akumulátorom (BEV – Battery Electric Vehicle) aj hybridy. Tie sa delia na pripojiteľné hybridné (PHEV – Plug-In Hybrid Electric Vehicle) a hybridné (HEV – Hybrid Electric Vehicle) vozidlá. Z pohľadu nabíjania a nabíjacej infraštruktúry sú zaujímavé hlavne BEV, keďže kapacita ich akumulátora je výrazne vyššia ako u hybridných vozidiel. Na Obrázku 1 je znázornené zjednodušené usporiadanie BEV [1].



Obrázok 1: Architektúra BEV [1].

1.1. 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. Základné parametre uvažované pri porovnávaní akumulátorov sú menovitá kapacita, merný výkon a merná energia na jednotku hmotnosti (objemu). Z pohľadu prevádzky je najvýznamnejším parametrom úroveň nabitia (SOC – state of charge). Je definovaná ako percentuálny podiel okamžitej kapacity k menovitej kapacite batérie. Životnosť akumulátora je možné sledovať dvoma parametrami – stredná doba života udáva životnosť pri prevádzke v menovitých podmienkach a SOH (state of health) popisuje degradáciu menovitej kapacity batérie v čase. Prehľad najpoužívanejších akumulátorov v EV je uvedený v Tabuľke 1 [2].

Typ	NiMH	LiCoO ₂	LiMn ₂ O ₄
Anóda	kovové hydridy	amorfný uhlík	
Katóda	Ni(OH) ₂	LiCoO ₂	LiMn ₂ O ₄
Kapacita článku (Ah)	6,5	4,4	
Merná energia (Wh.kg ⁻¹)	63 - 75	90-140	160
Merný výkon (W.kg ⁻¹)	220	760	1300
Počet cyklov (-)	600 - 1200	3000 - 20000	
Samovybíjanie (%.mes ⁻¹)	30	5-10	5-10

Tabuľka 1: Prehľad akumulátorových článkov [2].

3. NABÍJANIE A NABÍJACIE STANICE

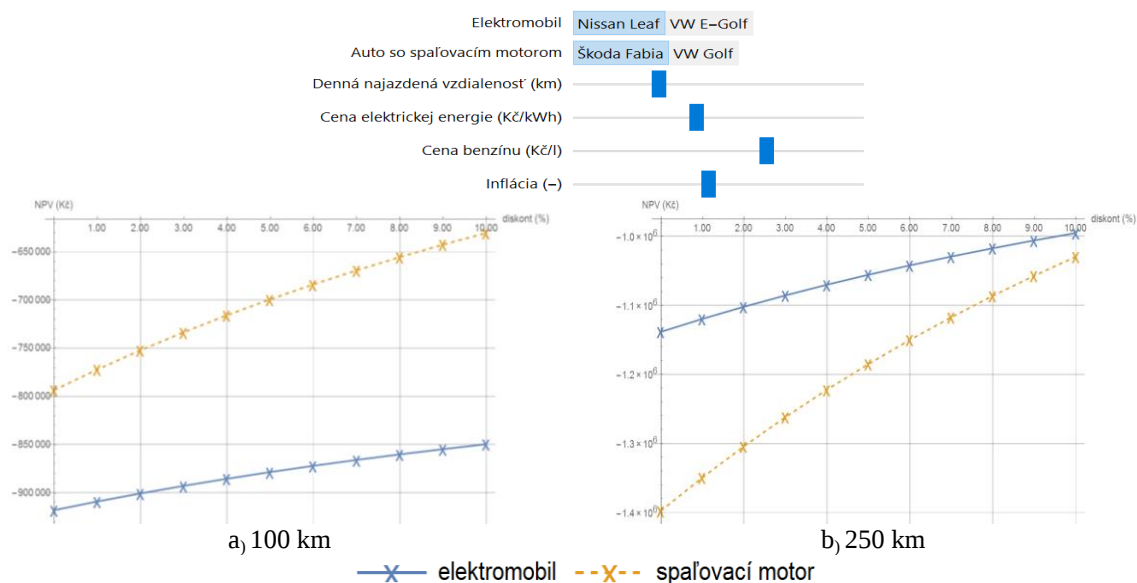
Nabíjanie je možné realizovať v aj domácnostiach na úrovni nízkeho napätia (NN), no z dôvodu zefektívnenia a skrátenia nabíjacieho procesu sú budované nabíjacie stanice (NS). Tie sa dajú kategorizovať na základe nabíjacieho príkonu, času nabíjania (Tabuľka 2), aplikovaných konektorov a štandardov a interakcie vozidlo-stanica-distribučná sústava. Striedavé NS najrozšírenejšie a ponúkajú nabíjanie príkonmi do 22 kW, za použitia konektorov ako Mennekes alebo SAE (USA). Jednosmerné NS sú určené na rýchlonabíjanie poskytujú vďaka AC/DC konverzii priamo v stanici vyššie nabíjacie príkony. Celosvetovo najrozšírenejší štandard pre DC nabíjanie je CHADeMO. Z pohľadu interakcie EV s nadradenou sústavou sa dajú definovať tri prípady – tok energie len do vozidla (V0G), kontrolovaný tok energie do vozidla na základe požiadaviek siete (V1G) a obojsmerný tok energie (V2G) [3].

Ako najpraktickejšie riešenie sa v súčasnosti ponúka koncept aktívnych nabíjacích staníc. Jedná sa o AC a DC, poprípade kombinované nabíjanie z jedného zdroja za súčasnej možnosti odľahčenia siete pomocou vnútornej akumulácie v stanici – tzv. buffer akumulátora, čo umožňuje využitie lacnej elektrickej energie počas nočných hodín a následné odľahčenie siete počas hodín špičkových. Stanice tohto druhu taktiež podporujú V2G systém a efektívnu implementáciu obnoviteľných zdrojov do nabíjacieho procesu [4].

4. POROVNANIE PREVÁDZKOVÝCH NÁKLADOV

Z pohľadu užívateľa je zásadným aspektom kúpy nielen otázka nabíjania, ale tiež výhodnosť investície do elektromobilu. Jednou z metód na jej stanovenie je výpočet čistej súčasnej hodnoty (NPV), ktorá vhodne odzrkadľuje vývoj investície v čase a prezentuje reálnu výšku nákladov v závislosti na diskonte. Za účelom porovnania bol vytvorený program v prostredí Wolfram Mathematica. Výpočet je realizovaný na základe nasledujúcich vstupných parametrov – náklady na pohonné hmoty sú 31,78 Kč.l-1, cena za kWh elektrickej energie je 4,55 Kč (nabíjanie na úrovni NN), medzročná inflácia 2 %, pri uvažovaní nákladov na údržbu auta so spaľovacím motorom 10 000 Kč, elektromobilu 7 000 Kč ročne a 8-ročnej životnosti oboch vozidiel. Program je možné doplniť o ďalšie EV či auto so spaľovacím motorom, všetky vstupné veličiny sú prispôsobiteľné na základe

individuálnych potrieb. Cena elektrickej energie môže predstavovať aj cenu za nabíjanie komerčnou nabíjacou stanicou, čím sú pokryté všetky možnosti prevádzky EV. Príkladom výstupu z programu je Obrázok 2, ktorý predstavuje porovnanie Nissanu Leaf a Škody Fabia 1,2 TSI, a to pre dve možné denné najazdené vzdialenosti – 100 km a 250 km.



Obrázok 2: Ukážka porovnania NPV v závislosti na diskonte.

5. ZÁVER

Pri súčasných požiadavkách distribučnej sústavy a náraste počtu elektrických vozidiel sa ako optimálna možnosť realizácie nabíjacej infraštruktúry ponúka koncept aktívnych nabíjacích staníc. Pomocou buffer akumulátora prispievajú k stabilizácii siete a implementáciou obnoviteľných zdrojov zas ku zníženiu environmentálneho dopadu výroby energie. Z porovnania prevádzkových nákladov (Obrázok 2) vyplýva, že pri 100 km najazdených denne je investícia do EV nevýhodnejšia. So zvyšujúcou sa najazdenou vzdialenosťou rozdiel v investičných nákladoch klesá. Pri vzdialenosti 250 km denne, ktorá presahuje dojazd väčšiny EV na jedno nabitie, je investícia výhodnejšia. Tu sa však do popredia dostáva otázka dostupnosti nabíjacej infraštruktúry. Odhliadnuc od investičných nákladov, EV majú široké využitie, a to najmä v mestách, kde dochádza k silnému lokálnemu znečisteniu.

REFERENCE

- [1] 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.
- [2] LINDEN, David a Thomas B REDDY. 2002. *Handbook of batteries*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, ISBN 00-713-5978-8.
- [3] FALVO, Maria Carmen, Danilo SBORDONE, I. Safak BAYRAM a Michael DEVETSIKIOTIS. 2014. EV charging stations and modes: International standards. *2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion* [online]. IEEE, 1134-1139 [cit. 2016-03-08]. DOI: 10.1109/SPEEDAM.2014.6872107. ISBN 978-1-4799-4749-2.
- [4] 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.