

Vendula Mužíková – Jaroslav Sadešský – Zdeněk Peroutka – Pavel Drábek

Rešerše energetické bilance a energetického řízení napájení elektrických vozidel ve spojitosti s inteligentními sítěmi SMART GRID

Rešeršní výzkumná zpráva

Pracovní balíček:

8 – Rekuperace

Rok řešení:

2013

Pracoviště: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Výzkumná zpráva č.: **22190-033-2013**

Rešerše energetické bilance a energetického řízení napájení elektrických vozidel ve spojitosti s inteligentními sítěmi SMART GRID

Druh úkolu:	Rešeršní výzkumná zpráva
Řešitelé:	Ing. Vendula Mužíková, Ing. Jaroslav Sadský, prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D., doc. Ing. Pavel Drábek, Ph.D.
Vedoucí úkolu:	prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
Počet stran:	18
Datum vydání:	září 2013
Revize:	1

Tento příspěvek vznikl s podporou Evropského fondu pro regionální rozvoj a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci projektu Regionální inovační centrum elektrotechniky (RICE), číslo projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0094, s podporou projektu SGS-2012-071 a s podporou projektu TE01020038.

Anotace

Tato rešeršní práce se zabývá správou a řízením napájení elektrických vozidel, jak pro osobní automobily, tak i pro elektrická vozidla veřejné hromadné dopravy. Rešerše se snaží vyzvednout aktuálně řešené problémy, které jsou vztažené k energetické bilanci elektrických vozidel, jejich reálnému využití a dopady související se zapojením do inteligentní a sofistikované elektrizační sítě tzv. „Smart Grid“.

Seznam symbolů a zkratk

EV	Elektrické vozidlo
HEV	Hybridní elektrické vozidlo
PHEV	Plug-in hybridní elektrické vozidlo
BEV	Bateriové elektrické vozidlo
PEV	Plug-in elektrická vozidla
LCA	Life-cycle assessment (life-cycle analysis, ecobalance)
HESS	Hybridní systém pro uchování energie
NN	Nízké napětí
ESS	Systém pro uchovávání energie (Energy Storage System)
WESS	Wayside úložný systém energie
SES	Statické skladování energie (Static Energy Storage)

Obsah

1	SPRÁVA A ŘÍZENÍ NAPÁJENÍ (POWER MANAGEMENT CONTROL).....	4
1.1	Osobní vozidla.....	4
1.1.1	Hybridní vozidla.....	4
1.1.2	Elektrická vozidla.....	5
1.1.3	Plug-in hybridní vozidla.....	6
1.1.4	Nabíjení elektrických vozidel.....	8
1.2	Trakční elektrická vozidla	10

1 Správa a řízení napájení (Power management control)

Účinnost paliva a snížení emisí jsou dva nejdůležitější faktory u všech spalovacích zařízení, včetně diesel motorů. Pro splnění těchto požadavků jsou vyvíjeny nové alternativní koncepce hnacího zařízení využívající elektrické, hybridní a palivové články. Koncept hybridního zařízení spočívá v uložení jinak nevyužité mechanické energie při brzdění do zařízení pro skladování energie a využití této energie později v pracovním cyklu vozidla. Příležitost uložení energie existuje v každém okamžiku, kdy rychlost pohybu vozidla je v opačném směru působící síly nebo krouticího momentu. Rekuperace elektrické energie do sítě je méně častá pro vozidla lehké trakce, kde je ukázáno malé procento znovuvyužití energie vrácené do sítě. Pro tento druh aplikací je tedy vhodné použití superkapacitorů. Jejich nízký vnitřní odpor dovoluje vysokou efektivitu nabíjecích a vybíjecích cyklů. Jejich elektrostatický charakter dovoluje dlouhou životnost těchto zařízení. Superkapacity představují jednu z posledních inovací v poli skladování elektrické energie. V porovnání s běžnými kondenzátory, nové komponenty dovolují mnohem větší koncentraci energie společně s vysokou koncentrací výkonu. Koncentrace energie není porovnatelná s tou, kterou umožňují elektrochemické akumulátory, přesto je možné množství uložené energie a čas ukládání kompatibilní v mnoha průmyslových požadavcích [1]. Superkondenzátory mají nižší hustotu energie než baterie (6Wh/kg), mají však vyšší hustotu výkonu (6kW/kg). Čas vybití superkondenzátoru se pohybuje od desítek sekund do několika minut. Tento fakt vede k závěru, že superkondenzátory se využívají na kompenzování výkonových špiček.

1.1 Osobní vozidla

1.1.1 Hybridní vozidla

HEV reprezentují krátkodobý přístup ke zlepšení účinnosti paliva a redukci znečišťujících emisí. Ve vozidlech se spalovacím motorem je mechanická síla nutná k pohybu vozidla získávána spalovacím motorem. V HEV motor a další zdroj energie (obvykle elektrický motor poháněný elektrochemickou baterií) společně dodávají výstupní výkon. Rozložení výkonu mezi motor a další zdroj energie je předmětem správy a řízení energie. Potenciál hybridního vozidla může být využit pouze v případě sofistikovaného řídicího systému, který optimalizuje tok energie ve vozidle [2].

V následující tabulce jsou představeny trendy v poměru elektrické části u používaných hybridních vozidel [3].

Vozidlo	Pohotovostní hmotnost	Výkon motoru (kW)	Výkon M/G (kW)	Elektrická část (%)	Specifický špičkový výkon (kW/125kg)
Civic	1,242	63	10	14	7,35
Prius	1,254	53	33/10	38	8,6
Escape	2,053	80	65/28	45	8,8
HSD	1,295	57	50/10	47	10,3

Tabulka 1 Trendy v poměru elektrické části u používaných hybridních vozidel [3]

Tabulka uvedená níže zobrazuje média pro uchování energie a jejich energetickou hustotu [3].

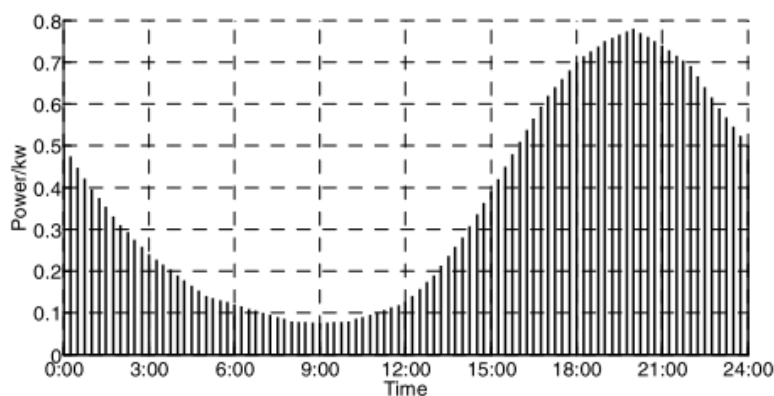
Technologie pro uchování energie	Energetická hustota – hmotnostní (J/kg)	Energetická hustota – objemová (J/m ³)
Jaderná fúze	$3,4 \times 10^{14}$	$2,37 \times 10^{16}$
Jaderné štěpení	$2,89 \times 10^{12}$	$1,0 \times 10^{17}$
Reformulovaný benzín	$4,4 \times 10^7$	$3,3 \times 10^{10}$
Ideální baterie (Li-F)	$2,19 \times 10^7$	1.89×10^{10}
Palivový článek (Li-hydrid)	$9,2 \times 10^6$	$8,6 \times 10^9$
Olověné baterie	$1,6 \times 10^5$	$4,6 \times 10^8$
Setrvačnick	$5,3 \times 10^4$	$8,1 \times 10^8$
Stlačený plyn při 35 kpsi	10×10^4	$3,0 \times 10^8$
Elektrické pole v mylarovém kondenzátoru při $E=E_{bd}=16,5$ kV/mi	$4,3 \times 10^3$	$6,0 \times 10^6$

Tabulka 2 Média pro uchování energie a jejich energetickou hustotu [3]

V článku [4] je představen nový návrh HESS (Hybrid Energy Storage System), který plně využívá výkonovou kapacitu superkapacitoru. Navrhovaný systém pro uložení energie vyžaduje menší DC/DC měnič a zároveň využívá více než 75% energie superkondenzátoru. Navíc je dosaženo relativně konstantního profilu zatížení baterie, což je velmi dobré pro její životnost. Pro navržený systém je zvolena jednoduchá, ale efektivní metoda řízení (dvouhodnotové řízení).

1.1.2 Elektrická vozidla

Denní dojezdová vzdálenost a čas cesty elektrického vozidla závisí na vlastnostech jeho uživatele, ceně nabití, umístění nabíjecích stanic a ostatních faktorech. Za předpokladu, že kapacita osobního automobilu se pohybuje v rozmezí od 20-30 kWh, nabíjecí požadavky elektrického vozidla je možné získat pomocí Monte Carlo simulační metody. Obrázek 1 představuje průměrnou hodnotu výkonu požadovaného elektrickým vozidlem během jednoho dne [5].



Obrázek 1 Průměrná hodnota výkonu požadovaného elektrickým vozidlem [5]

1.1.3 Plug-in hybridní vozidla

Výhodou hybridního vozidla na principu diesel/elektrický motor je to, že baterie je nabíjena při pohybu vozidla. Dalším všeobecným požadavkem je přidání větší baterie k dosažení vyšší rychlosti. Větší baterie stojí u zrodu hybridních plug-in vozidel (PHEV), které vyžadují elektrickou zásuvku pro své dobítí. Bez dobítí pomocí externího zdroje energie není možné dosáhnout slibované vyšší rychlosti. Jako příklad je možné jmenovat GM EV-1, které bylo provozováno s baterií o energii 16,2kWh. S touto baterií je možné pokrýt vzdálenost 145 km. Z těchto čísel je možné vypočítat energii potřebnou na jeden kilometr: $16\,200\text{ Wh}/145\text{ km} \approx 112\text{ Wh/km}$. Je uvažováno, že povolená změna SOC je 25%, energie baterie $EB=10\text{ kWh}$. Z toho vyplývá pro vozidlo o stejných rozměrech a hmotnosti jako GM EV-1 pouze elektrický dojezd $R=(10\text{ kWh}) \cdot (0,25)/(112\text{ Wh/km}) \approx 22\text{ km}$. Pokud je SOC 100%, $R=89\text{ km}$ [2].

PHVE - Plug-in hybridní vozidla jsou podobné běžným hybridním elektrickým vozidlům, ale mají větší baterii a zásuvný modul nabíječky, který jim umožňuje čerpat energii ze sítě k tomu, aby nahradili dieselový pohon. Použití PHEV by mohlo znamenat značný posuv v užívání elektřiny a k funkci elektrických energetických systémů [6]. PHEVs jsou tedy jedním z nejvíce slibných způsobů ke zlepšení krátkodobé udržitelnosti dopravy.

Komerční plug-in elektrická vozidla (PEV) jsou vyráběny několika automobilkami, jako jsou například: Cooper, Nissan a Tesla. První generace plug-in hybridních vozidel (PHEV) se objevila na trhu v roce 2010 a 2011. Jejich neřízený denní nabíjecí provoz způsobil namáhání elektrizační soustavy v době špičky, což může mít za následek rozsáhlé výpadky sítě. Tato

skutečnost je navíc posílena faktem, že PEV a PHEV se chovají jako časově a místně proměnná zátěž na síti. Dalším zhoršujícím faktorem je absence historických dat o chování těchto vozidel.

V následujícím odstavci čerpající informace z [7] jsou analyzovány různé druhy vozidel, které mají potenciál vstoupit na evropský trh v blízké době. Není předpokládána možnost dostatečné pokročilosti vozidel založených na technologii hydrogen, palivové články.

K porovnání byly použity následující technologie:

- pokročilé vozidlo se spalovacím motorem s přímým vstřikováním o velikosti 70 kW a startér založený na principu stop-start
- pokročilé vozidlo se spalovacím motorem s přímým vstřikováním o velikosti 74 kW a startér založený na principu stop-start
- hybridní vozidlo se spalovacím motorem o velikosti 62 kW a elektrický motor o velikosti 14 kW a lithium-ion baterie o velikosti 2 kWh (limitované elektrické řízení – pouze několik stovek metrů do rychlosti 50 km/h)
- hybridní vozidlo se spalovacím motorem o velikosti 63 kW a elektrický motor o velikosti 14 kW a lithium-ion baterie o velikosti 2kWh
- Plug-in hybridní vozidlo s 11,5 kWh lithium-ion baterií, 95 kW elektrický motor, 56 kW spalovací motor – hybridní sériová sestava
- Bateriové elektrické vozidlo s 24 kWh lithium-ion baterií a 80 kW elektrický motor.

	1,3 GDI turbo	1,6 CRD turbo	1,3 GDI turbo hybrid	1,6 CRD turbo hybrid	PHEV	BEV
Technologie						
Zdvihový objem motoru (l)	1,3	1,6	1,3	1,6	1,4	-
Výkon spalovacího motoru (kW)	70	74	62	63	56	-
Výkon elektrického motoru (kW)	-	-	14	14	95	80
Kapacita baterie (kWh)	-	-	2	2	11.5	24
Objem nádrže (l)	42,3	42,3	42,3	42,3	25	-
Zdroj energie	benzín	nafta	benzín	nafta	Elektřina/benzín	elektřina
Výkon						
Váha (kg) – zahrnuje řidiče a 90% paliva	1256	1308	1316	1388	1515	1442
Zrychlení 0-100 km/h (s)	11,3	11,2	11,5	11,5	~11	~11
Maximální rychlost (km/h)	193	190	180	180	161	140
Celkový dojezd (km)	717	914	890	1140	560	125
Spotřeba energie (MJ/100 km)	190	166	153	133	86	49
CO₂ emise z výfuku (g/km)	139	121	112	97	40	-
Cena						

Základ vozidla (€)	160165	16455	15865	16155	15865	15865
PT cena (€/kW)	50,9	67,3	50,3	74,3	47,5	-
Cena PT (€)	3563	4980	3119	4681	2660	0
Cena elektrického motoru (€/kW)	-	-	42,9	42,9	27	27
Cena elektrického motoru (€)	0	0	601	601	2565	2160
Cena baterie (€/kW)	-	-	600	600	600	600
Cena baterie (€)	0	0	1200	1200	6900	14400
Cena nádrže (€)	125	125	125	125	125	0
Náklady na inovaci vozidla (€)	0	0	2630	2630	2630	2630
Celková cena (€)	19835	21560	23539	25392	30745	35055

Tabulka 3 Technologie HEV a PHEV [7]

Další tabulka ukazuje srovnání spotřeby elektřiny a paliva pro různé jízdní cykly a různé typy vozidel (LCA) [8].

Vozidlo	Město	Mimoměsto	Rychlostní silnice
Městské vozidlo	70%	20%	10%
Použití průměrné	29%	39%	32%
Benzinové vozidlo	7,5 l/100km	5,2 l/100km	6,7 l/100km
Dieselové vozidlo	5,6 l/100km	4,0 l/100km	5,3 l/100km
Bateriové elektrické vozidlo	20,4 kWh/100km	20,8 kWh/100km	24,9 kWh/100km
E-drive PHEV	90%	50%	10%
PHEV (elektřina)	17,8 kWh/100km	10,6 kWh/100km	3,3 kWh/100km
PHEV (palivo)	0,6 l/100km	2,6 l/100km	6,0 l/100km

Tabulka 4 Spotřeba elektrické energie a paliva pro různé jízdní cykly [8]

1.1.4 Nabíjení elektrických vozidel

V blízké budoucnosti je očekáváno, že osobní auta, která jsou především nabíjena doma nebo vozové parky budou dominantní oblastí elektrických vozidel. Domácí nabíjecí výkon je limitován jistími prvky. Nepřekročí tedy 3,7 kW (1 fáze, 16 A) nebo 11 kW (3 fáze, max. 16 A). Normální nabíjení v práci nebo ve vozových parcích s odpovídající nabíjecí infrastrukturou by do budoucna mělo být limitováno na 22 kW.

Studie chování řidičů prováděna v Německu v roce 2002 nás blíže informuje o profilech používání vozidel. Průměrná vzdálenost je 57 km (PO-PÁ) nebo 62 km (PO-NE). Čas na cestě je přibližně 75 minut (PO-PÁ). Přibližně 13% všech soukromých vozidel se pohybuje na silnicích v průběhu pracovního dne, 11% v průběhu celého týdne. Z daných údajů vyplývá, že 89% elektrických vozidel se nepohybuje a jejich baterie může být použita jako záloha pro potřeby sítě.

Zde jsou studována pouze bateriová elektrická vozidla. Průměrná spotřeba BEV se pohybuje mezi 10-30 kWh/100km v závislosti na velikosti vozidla. Jsou uvažovány ztráty přibližně 20 % pro nabíjení a vybíjení, průměrná spotřeba bude tedy uvažována 25 kWh/100 km. Kapacita baterie se pohybuje mezi 10 a 60 kWh.

V závislosti na chování řidičů v Německu je uvažována průměrná denní spotřeba 15 kWh (průměrná vzdálenost 60 km, průměrná spotřeba 25 kWh/100 km). Obecně je možné dobít vozidla:

- 1) s nejvyšším možným výkonem, v co nejkratším čase,
- 2) s co nejnižším výkonem, v co nejdelším možném čase nebo situaci mezi těmito dvěma možnostmi,
- 3) dle energie generované z obnovitelných zdrojů energie.

Mezi hlavní dopady na síť patří především zvýšená spotřeba energie – roční průměrná spotřeba elektrických vozidel je 3500 kWh (14000 km*25 kWh/100 km). V porovnání s roční spotřebou energie a energie generované z obnovitelných zdrojů energie. Dopad dalšího spotřebiče elektrické energie je velmi významný. Další nevýhodou EV je závislost čerpání energie na rozložení vozidel. Problémy mohou nastat především v sítích NN v případě připojení více EV najednou.

Požadovaná doba nabíjení v závislosti na požadavku na nabití a dojezdové vzdálenosti jsou uvedeny v [9]

Dojezdová vzdálenost [km] /požadovaná energie [kWh]	Průměrný výkon nabíjení [kW]			
	3,7	11	22	200
30/7,5	2,0 h	42 min	34 min	2,3 min
60/15	4,1 h	1,4 h	0,7 h	4,5 min
100/25	6,8 h	2,3 h	1,1 h	7,5 min
150/37,5	10,1 h	3,4 h	1,8 h	11,3 min

Tabulka 5 Požadovaná doba nabíjení v závislosti na nabití a dojezdové vzdálenosti [9]

Elektrická vozidla mohou sloužit také jako rychlá a krátkodobá rezerva elektrické energie. Dalším možným využitím je také regulace napětí energetické sítě. Spolehlivost dodávky energie vozidla připojeného k síti závisí na dvou faktorech: na řidiči elektrického vozidla a na síťovém operátorovi. Řidič požaduje dostatek energie na palubě svého vozidla, zatímco síťový

operátor vyžaduje vypnutí a zapnutí čerpání elektrické energie v přesně dané časové okamžiky. Pro řešení daných konfliktů jsou navrženy 3 strategie řešení:

- 1) přidání dalšího zařízení pro ukládání energie na vozidlo,
- 2) čerpání energie z vozového parku v předem danou dobu,
- 3) použití inteligentního řízení pro doplňkové potřeby.

V2G je možné použít pro regulaci špičkového výkonu a skladování energie z obnovitelných zdrojů energie. Z dlouhodobého hlediska by mohli vozidla připojená na síť (V2G) sloužit jako záložní generátor a zařízení pro ukládání energie z obnovitelných zdrojů energie [10].

Interval skladování	Časový rozsah	Příčina kolísání	Navrhovaná strategie
1	Minuty až hodina	Poryvy, počasí	Regulace, seřizování, rychlá rezerva
2	Hodiny až den	Počasí a denní termální cykly	Operační rezervy
3	1-4 dny	Pohyb front	Rozptyl větrných zdrojů s přenosem, operační rezervy, řízení zátěže
4	Sezónní	Sezónní počasí a termální cykly	Dlouhodobá shoda se zátěží

Tabulka 6 Možnosti regulace špičkového výkonu a ukládání energie z obnovitelných zdrojů [10]

1.2 Trakční elektrická vozidla

Elektrická trakce je jednou z nejvíce slibných technologií, která by mohla vést k významnému pokroku ve výkonu vozidla, jeho energetické bilanci a snížení emisí. Hybridní technologie se vyznačuje vysokým výkonem, vysokou účinností využití paliva, nízkými emisemi a dlouhou dobou provozu. Navíc komponenty využívané v těchto vozidlech jsou na trhu dostupné.

Těžká hybridní vozidla používají svůj malý spalovací motor v sérii s elektrickým pohonem, hybridní osobní automobily používají zapojení paralelní a seriově-paralelní [11].

Jedním z nejznámějších případů použití baterií v lehké trakci je tramvaj jezdící v městě na azurovém pobřeží, Nice. Tramvaj jezdí v zóně historického centra na vzdálenost menší než 1 km s maximální rychlostí 30km/h. Na tramvaji od výrobce Alstom byla použita baterie od firmy Saft (Ni-MH).

Vozidla hromadné dopravy umožňují snížení emisí, jejich účinnost by mohla být navýšena pomocí hybridizace jejich pohonného systému. Moderní vozidla mohou vrátit zpátky do sítě až 40% energie, která jim byla ze sítě dodána. Pro rekuperaci brzdové energie na lince metra je

velmi vhodný superkapacitor vzhledem k vysokému proudu. Jejich hustota energie je však nízká vzhledem k bateriím, mají však optimální výkonovou charakteristiku a jsou schopny vstřebávat výkonové špičky při brzdění.

V článku [12] jsou provedeny simulace pro různé případy na lince metra. Z uvedených simulací vyplývá, že úspory energie s použitím ESS se pohybují mezi 11% (ve špičce) a 26% (v noci a o víkendech).

První řešení s použitím superkapacitorů bylo použito firmou Bombardier na prototypu vozidel v Mannheimu. Zařízení pro uložení energie se skládá ze superkondenzátorů o energii 1kWh a hmotnosti 450 kg [13]. Toto zařízení bylo nainstalováno na střechu vozidla. Zařízení představuje výhody, jakými jsou zvýšení účinnosti celého systému, redukce výkonových špiček během fází zrychlení, redukce ztrát, a stabilizace napětí sítě. Hlavní nevýhodou je však zvýšení hmotnosti vozidla přibližně o 2%. Dalšími nevýhodami jsou nutnost dalšího místa na vozidle, nutnost zvyšovacího měniče a cena superkapacitoru.

Výsledky simulace provedené v [14] dokazují, že superkapacitory představují technický efektivní řešení pro rekuperaci energie na palubě vozidla a snížení výkonových špiček během úseků zrychlení. Použití superkapacitoru na palubě vede ke snížení proudu sítě nejméně o 50%, tento fakt vede ke snížení poklesu napětí sítě. Je zřejmé, že superkapacitory na palubě vozidla mají vliv na stabilizaci napětí trolejového vedení. Tato zlepšení mohou vést ke snížení ztrát, zvýšení vzdálenosti mezi zastávkami pro nové plánované linky, snížení časových intervalů mezi po sobě jedoucími vlaky, přijetí delších vlaků na existujících linkách.

Nárůst požadavků na výkon dnešních kolejových vozidel vede k hledání nových spolehlivých řešení k redukci spotřeby energie. Typická trasa vozidel lehké trakce se skládá z úseků zrychlení, volného běhu a brzdění. Největší část energie je čerpána v periodách zrychlení kvůli snížené vzdálenosti mezi dvěma po sobě jdoucími stanicemi. Moderní elektrické pohony se vyznačují možností rekuperace energie při brzdění. Výhody plynoucí z úspor energie při zpětné vracení energie do sítě již byly dokázány [15].

Výměna energie mezi vozidlem a trolejovým vedením není vždy povolena. Záleží na tom, zda vedení je schopné uložit dané množství energie, které přichází z několika vozidel ve stejný čas. Rekuperovanou energii je možné použít pouze v případě, že se v okolí nachází další vozidla, která mohou být danou energií napájena. K předejití přepětí jsou využity brzděné odpory na

palubě vozidla. Z daných informací vyplývá, že využití kinetické energie vozidel je podrobeno stavu dopravy a danou situaci není lehké předvídat. Rekuperovaná energie je tedy nižší než 10% energie použité pro zrychlení.

Jsou navrženy tři možnosti zařízení pro skladování energie ESS:

- 1) mobilní ukládání
- 2) Wayside ukládání
- 3) stacionární "zpět do sítě"

Mobilní ukládání se skládá ze zařízení, které je uloženo většinou na střeše vozidla. Každý systém pracuje nezávisle a rekuperovaná energie je poslána rovnou do úložného zařízení na střeše vozidla. Pokud vozidlo zrychlí, energie pro zrychlení je získávána přednostně z ESS. Zařízení pro ukládání energie je umístěno na střeše vozidla, a proto je vysoká i účinnost tohoto uspořádání zapříčiněná snížením ztrát nadzemního vedení. Dále je možné vozidlo provozovat bez trolejového vedení pro některé úseky trati, další výhodou je stabilizace napětí zmírněním poklesů napětí nebo snížení špičkového výkonu pomocí zprůměrování zátěže po určitou periodu a možnost zmenšení brzdových odporů. Naopak dovybavení starých vozidel (dostupnost prostoru, hmotnostní omezení), umístění jedné ESS na vozidlo (zvýšení nákladů), údržba a opravy jsou hlavní nevýhody.

Wayside úložný systém (WESS) se skládá z jednoho nebo více ESS umístěných podél kolejí. Tato zařízení rekuperují přebytečnou energii v případě, kdy ji žádné jiné vozidlo v okolí nepřijímá. Toto řešení je možné použít u všech vozidel závislých na vedení. Mezi výhody patří stabilizace napětí pomocí snížení poklesů napětí, snížení špičkového výkonu, snížení počtu rozvodů nebo možnost zahrnutí vozidel do provozu bez nutnosti úpravy elektrické sítě. Hlavní nevýhody jsou spojeny s dimenzováním zařízení a výběrem jeho správného umístění.

V současné době jsou obě řešení provozována firmami Bombardier a Siemens. Bombardier vyvinul 1kWh MITRAC spořič energie (maximální výkon 300kW) na střeše veřejné dopravy v Mannheimu v roce 2005, ekvivalentní produktem je 1kWh WESS. Siemens nabízí využitelný 1,7 2,5 kWh SITRAS statické skladování energie (SES), v závislosti na zvolené konfiguraci s maximálním výkonem 1 MW. Systém je plně využíván v mnoha městech, včetně Bochum, Kolína nad Rýnem a Drážďany (Německo), Madrid (Španělsko), Peking (Čína) [16].

Závěr

Z výše uvedených faktů je patrné, že zapojení elektrických vozidel má své opodstatnění a je velmi důležité nadefinovat správné podmínky pro využití a na základě takovéto specifikace nadimenzovat vozidlo tak, aby splňovalo svou funkci v možná co nejvíce využívaných případech. Problematika toků energií ze sítě do elektrických vozidel a opačně nezasahuje pouze do technických oblastí, ale také do ekonomiky a legislativy ve vztahu k fakturaci za tyto přenosy.

Literatura

- [1] FAGGIOLI, Eugenio, et al. Supercapacitors for the energy management of electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 1999, 84.2: 261-269.
- [2] KARDEN, Eckhard, et al. Requirements for future automotive batteries—a snapshot. *Journal of power sources*, 2005, 144.2: 505-512.
- [3] FUHS, Allen. *Hybrid Vehicles: and the Future of Personal Transportation*. CRC Press, 2008.
- [4] CAO, Jian; EMADI, Ali. A new battery/ultracapacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid, and plug-in hybrid electric vehicles. *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 2012, 27.1: 122-132.
- [5] FENG, Liang; GE, Shaoyun; LIU, Hong. Electric Vehicle Charging Station Planning Based on Weighted Voronoi Diagram. In: *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2012 Asia-Pacific. IEEE, 2012. p. 1-5.*
- [6] BRADLEY, Thomas H.; FRANK, Andrew A. Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13.1: 115-128.
- [7] THIEL, Christian; PERUJO, Adolfo; MERCIER, Arnaud. Cost and CO2 aspects of future vehicle options in Europe under new energy policy scenarios. *Energy Policy*, 2010, 38.11: 7142-7151.
- [8] HELMS, H., et al. Electric vehicle and plug-in hybrid energy efficiency and life cycle emissions. In: *Proceedings of the 18th International Symposium Transport and Environment, Zurich. 2010.*
- [9] HABLE, Mattias, et al. Requirements on electrical power infrastructure by electric vehicles. In: *Emobility-Electrical Power Train, 2010. IEEE, 2010. p. 1-6.*
- [10] KEMPTON, Willett; TOMIĆ, Jasna. Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, 2005, 144.1: 280-294.

- [11] EHSANI, Mehrdad; GAO, Yimin; MILLER, John M. Hybrid electric vehicles: architecture and motor drives. *Proceedings of the IEEE*, 2007, 95.4: 719-728.
- [12] BARRERO, Ricardo; TACKOEN, Xavier; VAN MIERLO, Joeri. Improving energy efficiency in public transport: Stationary supercapacitor based Energy Storage Systems for a metro network. In: *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2008. VPPC'08. IEEE. IEEE, 2008. p. 1-8.
- [13] STEINER, Michael; KLOHR, Markus; PAGIELA, Stanislaus. Energy storage system with ultracaps on board of railway vehicles. In: *Power Electronics and Applications*, 2007 European Conference on. IEEE, 2007. p. 1-10.
- [14] IANNUZZI, Diego. Improvement of the energy recovery of traction electrical drives using supercapacitors. In: *Power Electronics and Motion Control Conference*, 2008. EPE-PEMC 2008. 13th. IEEE, 2008. p. 1469-1474.
- [15] BOCHARNIKOV, Y. V., et al. Optimal driving strategy for traction energy saving on DC suburban railways. *Electric Power Applications*, IET, 2007, 1.5: 675-682.
- [16] CICCARELLI, Flavio; DEL PIZZO, Andrea; IANNUZZI, Diego. Improvement of Energy Efficiency in Light Railway Vehicles Based on Power Management Control of Wayside Lithium-Ion Capacitor Storage. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, 2014, 29.1: 275.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Průměrná hodnota výkonu požadovaného elektrickým vozidlem	6
---	---

Seznam tabulek

Tabulka 1 Trendy v poměru elektrické části u používaných hybridních vozidel.....	5
Tabulka 2 Média pro uchování energie a jejich energetickou hustotu.....	5
Tabulka 3 Technologie HEV a PHEV	8
Tabulka 4 Spotřeba elektrické energie a paliva pro různé jízdní cykly	8
Tabulka 5 Požadovaná doba nabíjení v závislosti na nabití a dojezdové vzdálenosti.....	9
Tabulka 6 Možnosti regulace špičkového výkonu a ukládání energie z obnovitelných zdrojů	10

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Odd.
1		Publikování dokumentu	7.10.2013 Vendula Mužíková (KEV), Jaroslav Sadský (KEV/RICE), Zdeněk Peroutka (KEV/RICE), Pavel Drábek (KEV/RICE)