

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ELEKTROCHEMICKÉ ZDROJE V SILNIČNÍ DOPRAVĚ

vedoucí práce: Ing. Michal Kubík, Ph.D.

autor: Bc. Karel Dvořák

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel DVOŘÁK**  
Osobní číslo: **E10N0015P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Elektrochemické zdroje v silniční dopravě**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s konstrukcí elektricky poháněných vozidel, s typy elektrochemických zdrojů pro ně vhodné a specifiky provozu těchto vozidel.
2. Popište nové trendy v konstrukci výhradně elektrických vozidel i hybridních elektrických vozidel.
3. Podle doporučení konzultanta proveďte měření vybraných provozních parametrů různých typů vozidel.
4. Diskutujte naměřené výsledky a ekonomické hledisko provozu elektricky poháněného vozidla.



Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Michal Kubík**

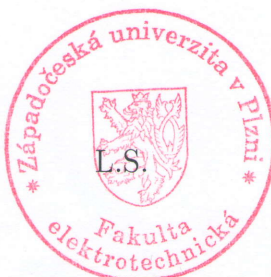
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou elektrochemických zdrojů v oblasti silniční dopravy. Popisuje v současnosti používané zdroje a některé perspektivní nové technologie, ukazuje určitá specifické nároky kladené na osobní a komerční dopravu. Dále se snaží nastínit problematiku provozu těchto vozidel ve městě a mimo aglomerace. V práci lze nalézt některé trendy budoucích konstrukcí elektromobilů a hybridních vozidel. Měření provedené v rámci této práce se snažilo porovnat provozní náklady vozidel s elektrochemickými zdroji a jejich konvenčními ekvivalenty.

## Klíčová slova

Elektrochemický zdroj, Hybridní vozidlo, Elektromobil, Ni-MH, Li-ion, Li-pol, Li-Ti, Zn-vzduch, Li-vzduch, Al-vzduch, Superkondenzátor, Palivový článok, Nabíjecí stanice, Nabíjení, Lehké materiály, Převodovka, Kolomotor, Analýza, Náklady



## Abstract - Electrochemical power supplies in road transportation

This thesis deals with issues of electrochemical power supplies in the road transportation field. It describes today used power supplies and some new perspective technologies with focus to a specific point of view given by personal and commercial transportation demands. It includes traffic operation problems of the electrically propelled vehicles in cities and extra urban areas. Some future design trends of electrical and hybrid vehicles can be also found in this thesis. For proper operation costs comparison between the electrically propelled vehicle and a conventional equivalent vehicle, a measurement of selected values was performed.

### Key words

Electrochemical source, Hybrid car, Electric car, Ni-MH, Li-ion, Li-pol, Li-Ti, Zn-air, Li-air, Al-air, Superkapacitor, Fuel cell, Charge stations, Charging, Light materials, Gearbox, Electric hub motor, Analysis, Costs

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni, dne 11.5.2012

Bc. Karel Dvořák

## Poděkování

V první řadě chci velmi poděkovat Ing. Marku Bogovi, Ph.D. za jeho pomoc a osobní obětavost při realizaci praktické části práce.

Ing. Jiřímu Bartákovi a Ing. Petru Bartákovi za odborné rady, poskytnutí řady odborných podkladů a osobní pomoci při realizaci praktické části diplomové práce.

V neposlední řadě chci poděkovat Ing. Janu Hrubému za jeho odbornou pomoc při hledání řešení návrhu externí měřící aparatury.

# Obsah

ÚVOD.....	1
<b>1 ELEKTROCHEMICKÉ ZDROJE V SILNIČNÍ DOPRAVĚ .....</b>	<b>2</b>
1.1 OSOBNÍ DOPRAVA .....	2
1.1.1 <i>Hybridní vozidla</i> .....	3
Elektrochemické zdroje pro osobní hybridní vozidla .....	6
1.1.2 <i>Elektromobily</i> .....	9
Elektrochemické zdroje pro vozidla s výhradně elektrickým pohonem.....	10
1.2 KOMERČNÍ DOPRAVA .....	12
1.2.1 <i>Přeprava osob</i> .....	13
1.2.2 <i>Přeprava zboží / Ostatní přeprava</i> .....	15
Elektrochemické zdroje vozidel pro komerční dopravu.....	16
1.3 PERSPEKTIVNÍ ZDROJE.....	21
1.3.1 <i>Akumulátory s vylepšenými parametry</i> .....	22
Li-Ti (lithium titanát) akumulátory .....	22
Li-ion akumulátory se zvýšenou kapacitou.....	23
1.3.2 <i>Akumulátory s alternativními materiály</i> .....	24
Li-S akumulátory.....	24
SuperIron akumulátor.....	25
1.3.3 <i>Akumulátory s kyslíkovou elektrodou</i> .....	25
Zinek-vzduch akumulátor .....	25
Hliník-vzduch akumulátor .....	27
Li-vzduch akumulátor.....	28
1.3.4 <i>Superkondenzátory</i> .....	29
1.3.5 <i>Palivové články</i> .....	29
<b>2 PROVOZ VOZIDEL S ELEKTROCHEMICKÝMI ZDROJI.....</b>	<b>31</b>
2.1 MĚSTSKÝ PROVOZ.....	32
2.1.1 <i>Dobíjecí stanice</i> .....	34
2.2 MIMOMĚSTSKÝ PROVOZ .....	45
2.2.1 <i>Dobíjení u benzínových pump</i> .....	45
2.2.2 <i>Výměna baterií</i> .....	46
2.2.3 <i>Extendéry dojezdu</i> .....	47
2.2.4 <i>Tankování vodíku</i> .....	49
2.3 TRENDY V ŘEŠENÍ NABÍJENÍ.....	50
2.3.1 <i>Smart grids</i> .....	50
Smart grids = Inteligentní síť.....	51
Smart metering = Inteligentní odečet.....	51
2.3.2 <i>Autonomní nabíjecí stanice</i> .....	52
2.3.3 <i>Bezkontaktní dobíjení</i> .....	53
2.3.4 <i>Výroba vodíku</i> .....	54



<b>3</b>	<b>NOVÉ TRENDY V KONSTRUKCI VOZIDEL .....</b>	<b>56</b>
3.1	NOVÉ MATERIÁLY .....	57
3.1.1	<i>Lehké materiály .....</i>	<i>57</i>
3.1.2	<i>Spojování materiálů .....</i>	<i>59</i>
3.2	TEPLOTNÍ MANAGMENT .....	60
3.3	PŘEVODOVKA .....	62
3.3.1	<i>Převodovky pro HEV a VEV.....</i>	<i>63</i>
3.4	ELEKTRICKÉ KOLOMOTORY .....	68
<b>4</b>	<b>MĚŘENÍ PROVOZNÍCH PARAMETRŮ .....</b>	<b>72</b>
4.1	METODIKA MĚŘENÍ .....	73
4.1.1	<i>Měření spotřeby v konstantní rychlosti.....</i>	<i>73</i>
4.1.2	<i>Měření spotřeby a dojezdu v reálných podmínkách.....</i>	<i>74</i>
4.1.3	<i>Přístrojové vybavení.....</i>	<i>75</i>
4.1.4	<i>Návrh externí měřící aparatury elektrických parametrů.....</i>	<i>78</i>
4.1.5	<i>Jízdní odpory vozidla .....</i>	<i>79</i>
<b>5</b>	<b>BILANCE PROVOZU .....</b>	<b>82</b>
5.1	AUTOMOBIL SE ZÁŽEHOVÝM MOTOREM .....	82
5.1.1	<i>Hodnoty průměrné spotřeby .....</i>	<i>83</i>
5.2	ELEKTROMOBIL (VEV) .....	85
5.2.1	<i>Dojezdové schopnosti Smart ED.....</i>	<i>86</i>
5.3	POROVNÁNÍ DOJEZDU VOZIDEL .....	88
5.4	ENERGETICKÁ BILANCE PROVOZU VOZIDEL .....	90
<b>6</b>	<b>EKONOMICKÁ BILANCE PROVOZU.....</b>	<b>92</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>94</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>96</b>
	<b>PŘÍLOHA A – DRUHY USPOŘÁDÁNÍ POHONU HEV .....</b>	<b>99</b>
	<b>PŘÍLOHA B – MAPY CELKOVÝCH DENNÍCH TRAS.....</b>	<b>102</b>
	<b>PŘÍLOHA C – NÁVRH OBVODŮ EXTERNÍ APARATURY .....</b>	<b>104</b>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

ICE	angl.: Internal Combustion Engine / Motor s vnitřním spalováním
HEV	angl.: Hybrid Electric Vehicle / Hybridní Elektrické Vozidlo
VEV	Výhradně elektrické vozidlo
EM	Elektrický Motor
VEP	Výhradně Elektrický Pohon
Ni-MH	Nikl Metal Hydrid
Ni-Cd	Nikl Kadmium
Li-ion	Lithium ion
Li-pol	Lithium polymerový
mhd	angl.: Micro Hybrid Drive
EP	Elektrický Pohon
SCiB	angl.: Super Charge Ion Battery / Super Nabíjitelná Iontová Baterie
LFPO	Lithium Ferrum Phosphate Oxide / Lithium Fosfátový článek
PČ	Palivový Článek
ZnO	Článek Zinek-Vzduch
Li-Ti	angl.: Lithium Titanite / Lithium titanát
LiS	angl.: Lithium Sulphur / Lithium síra
AlO	Článek Hliník-Vzduch
LiO	Článek Lithium-Vzduch
PTFE	Polytetrafluoroethylene / teflon
DOD	angl.: Depth Of Discharge / Hloubka vybití
IEC	angl.: International Electric Commission / Mezinárodní elektor. komise
DC	angl.: Direct Current / Stejnoseměrný proud
E-REV	angl.: Extended Range Electric Vehicle
SAE	angl.: Society of Automotive Engineers / Společnost Automobilových Inženýrů
CARB	angl.: California Air Resources Board / Kalifornský Úřad pro Kontrolu Ovzduší
MPa	Mega Pascal – jednotka tlaku
FVE	Fotovoltaická elektrárna
VTE	Větrná elektrárna
OZE	Obnovitelný Zdroj Energie

GM	General Motors
HDO	Hromadný Dálkový Odečet
HEP	Hybridní Elektrický Pohon
CVT/eCVT	angl.: Continuosly Variable Transmission / Převodovka s plynule měnitelným převodem
ABS	angl.: Anti-lock Brake System / Antiblokovací systém brzd
ESP	angl.: Electronic Stability Program / Elektronický stabilizační program
ED	angl.: Electric Drive / Elektrický Pohon
EOBD	angl.: European On-Board Diagnostic / Evropská Palubní Diagnostika
GPS	angl.: Global Position System / Globální Poziční Systém

## Úvod

Výhradně elektrická vozidla a hybridní elektrická vozidla se stávají častějšími účastníky silničního provozu a dostává se jim větší pozornosti jak v médiích tak u uživatelů silničních vozidel.

Přestože se mohou elektrochemické zdroje v silniční dopravě zdát výdobytkem moderní doby a vědeckého pokroku, musíme si uvědomit, že na počátku 20. století výhradně elektrická vozidla výrazně převyšovala svým počtem konvenční vozidla se spalovacím motorem. Současná výhradně elektrická a hybridní elektrická vozidla se stále potýkají s problémy vysoké pořizovací ceny a krátkého dojezdu, které způsobily zastavení jejich vývoj na počátku 20. století.

Impulz pro dnešní vývoj musíme hledat především v ekonomické oblasti a až následně v oblasti ekologie. Při stále se zvedajících cenách pohonných hmot se použití elektrických pohonů jeví jako jedno z nejsnazších a nejdostupnějších řešení alternativního druhu pohonu nezávislého na fosilních palivech.

Obsahem práce je popsání provozu elektricky poháněných vozidel v silniční dopravě. Jednotlivé části dané problematiky jsou shrnuty do následujících bodů:

- Seznámit se s typy použitých elektrochemických zdrojů a specifiky provozu elektricky poháněných vozidel
- Nastínit nové trendy ve vývoji elektrochemických zdrojů a konstrukce elektricky poháněných vozidel
- U poskytnutých vozidel provést měření vybraných provozních parametrů
- Provést porovnání naměřených parametrů a ekonomiky provozu vozidel



## 1 Elektrochemické zdroje v silniční dopravě

Elektrochemické zdroje prožívají v posledních letech zvýšený zájem v aplikacích pohonů silničních vozidel. Tento zájem je způsoben nejen zpřísnujícími se emisními limity pro vozidla se spalovacími motory, které nutí výrobce k vývoji a výrobě vozidel s nízkými či dokonce nulovými emisemi, ale především nestabilním trhem s ropou. Právě nestabilní a stále se zvyšující cena ropy má přímý vliv na cenu jiných produktů a služeb, na základě čehož jsou hledány jiné alternativní druhy paliv a pohonu.

Vzhledem k současnosti uvažovanému rozsahu provozu na městský a příměstský provoz lze díky elektrochemickým zdrojům dosáhnout i dalších ekologických dopadů nejen ve smyslu emisí skleníkových plynů v globálním pohledu, ale i snížení hluku a celkového znečištění měst.

### 1.1 Osobní doprava

Osobní doprava patřila v historii k hlavním oblastem využití elektrochemických zdrojů v dopravě a v současnosti opět pociťuje zvýšení zájmu ze strany renomovaných i malosériových výrobců o opětovnou aplikaci alternativních pohonů využívajících elektrochemické zdroje, protože narozdíl od dopravy nákladů a těžké trakce zde nejsou kladeny tak vysoké nároky na výkon použitých energetických zdrojů a pohonů.

Většina současných řešení pohonů komerčně dostupných vozidel využívajících elektrochemické zdroje je konstruována s omezeným dojezdem při využití těchto zdrojů a předpokládá se tak jejich použití hlavně v oblasti městského a příměstského provozu. Cena aplikovaných elektrochemických zdrojů je důležitým faktorem ovlivňujícím výslednou cenu vozidla, kdy výrobce musí volit mezi přijatelnou tržní cenou a akceptovatelným dojezdem.

Dojezd elektricky poháněných vozidel je v současnosti brán vedle ceny vozidel jako hlavní negativum pro jejich rozšíření, kdy jsou dojezdové vzdálenosti většiny vozidel na trhu v rozsahu 100–200 km brány jako nedostatečné, ačkoliv je v Evropě udávána průměrná denní ujetá vzdálenost 50 km za den. V Americe, kde jsou běžné dlouhé přepravní vzdálenosti, dle průzkumu společnosti Nissan u vlastníků vozidla Nissan Leaf 72% řidičů denně neujede větší vzdálenost než 65 km za den a 95% neujede vzdálenost větší než 160 km.[11]

### 1.1.1 Hybridní vozidla

Hybridní vozidla jsou zjednodušeně definována jako vozidla, která ke svému pohonu využívají dva a více zdrojů energie. Tato definice ale není shodná pro všechnu literaturu, někdy je jako hybrid považováno i vozidlo, které využívá stejný druh energie, ale z různých zdrojů, jako jsou trolejová vozidla, jež jsou krátkodobě schopna provozu na baterie.

První hybridní automobil byl sestrojen v roce 1899, 27 let po prvním prakticky použitelném elektromobilu. Sériový hybridní pohon řešil krátký dojezd výhradně elektrického pohonu a nedostatečného výkonu ICE pro pohon vozidla. V současnosti k různým variantám hybridního pohonu vzhlížejí světové automobilky jako budoucí řešení pohonu nových modelů, u kterých elektrický pohon kompenzuje nevýhodný provoz spalovacího motoru, např. při rozjezdu a prudkém zrychlení. Spalovací motor vykazuje v těchto situacích nejmenší provozní účinnost.

Na současném trhu nabízející vozidla s elektrochemickými zdroji převládají hybridní vozidla co do nabídky, tak i do prodejů. Každá velká automobilka se snaží o uvedení alespoň jednoho hybridního modelu, nejlépe na základě některého stávajícího modelu s konvenčním pohonem, finanční prostředky jsou tedy vynakládány hlavně na vývoj samotného pohonu. Automobilka Toyota je první, která uvedla a sériově vyráběla model automobilu od počátku navrhovaný jako hybrid, konkrétně Toyota Prius 1. generace uvedený na trh v roce 1997.

Hybridní vozidla představují, přes poměrně krátkou dobu na komerčním trhu a stále perspektivní vývoj, mezistupeň vývoje silniční dopravy mezi vozidly se spalovacími motory a vozidly s výhradně elektrickým pohonem. Ačkoliv ve vývoji spalovacích motorů jsou stále velmi široké možnosti v oblasti zvyšování účinnosti a snižování spotřeby, výhradně elektrický pohon představuje výhledově jediný reálně použitelný způsob pro udržitelnou dopravu budoucnosti.

Při nasazení elektrochemických zdrojů v hybridních vozidlech je velice důležité znát uspořádání hybridního pohonu a stupně hybridizace celého systému. Pro jednotlivá řešení jsou kladeny rozdílné nároky na kapacitu a výkonové parametry použitých zdrojů, což má následně i přímý dopad na cenu celého řešení vozidla.

Rozdělení dle uspořádání pohonu:

- Paralelní hybrid: V současnosti nejběžnější uspořádání pohonu HEV u kterého má ICE mechanické spojení s hnanou nápravou. EM může být na společné hřídeli s ICE, připojen přes spojky a převodovku s hnacím řetězcem, nebo může být použit i samostatně k pohonu druhé nápravy. Pokud má být systém schopen výhradně elektrického pohonu, musí být instalovány akumulátory o dostatečné kapacitě, protože k jejich dobíjení dochází výhradně při regenerativním brzdění a pokud ICE běží v optimálních podmínkách s nejvyšší účinností, tedy v případě, že není potřebný vysoký výkon ICE pro vlastní pohon vozidla. Nabíjecí výkon tak není dostupný po celou dobu provozu.
- Sériový hybrid: První typ pohonu použitý v HEV, v dnešních aplikacích se vyskytuje velice sporadicky. Pro pohon samotného vozidla se používá výhradně EM a ICE nemá přímou mechanickou vazbu s hnanou nápravou. V tomto uspořádání slouží ICE spolu s generátorem jako zdroj elektrické energie pro EM a provozuje se v oblasti optimálních provozních podmínek s nejvyšší účinností, která může být až v oblasti maximální účinnosti ICE 35 – 40%. Toto upořádání je nejvýhodnější pro nízké rychlosti. Kapacita trakčních akumulátorů je závislá na převažujícím typu pohonu, zda bude el. energie z akumulátorů použita hlavně pro případ krátkodobého zvýšení výkonu nebo bude ICE sloužit převážně jako tzv. range extender.
- Kombinovaný (Sério-paralelní) hybrid: Představuje kombinaci paralelního a sériového uspořádání. Tento systém pohonu představuje komplikované řešení, které vždy zahrnuje dva elektromotory (generátory), dále několik planetových soukolí a spojek nebo dělič výkonu. ICE slouží opět jako dobíjecí jednotka a v případě pohybu ve vyšších rychlostech je přímo mechanicky připojeno k hnacímu řetězci. Kapacita a výkonové parametry akumulátorů jsou opět závislé na převažující složce pohonu a charakteru vozidla.

Rozdělení podle stupně hybridizace:

- Mikrohybrid: Tento prvotní stupeň hybridizace není považován odborníky za skutečný hybrid, protože dochází pouze k minimálním změnám v oblasti ICE. Velmi často tyto vozy sami výrobci jako hybridní nenazývají. Od běžných automobilů se odlišují pouze funkcí start/stop, kdy je potřebné pomocí silnějšího

startéru roztáčet ICE na vyšší otáčky při opětovném startu. Startér je zde posílen na hodnotu až 4 kW, s ICE je spojen pomocí řemenu a přebírá i funkci alternátoru. K dobíjení startovací baterie dochází, dle možností, zejména při brzdění a nezatěžuje ICE jako klasický alternátor. Kapacita startovací baterie může být oproti konvenčnímu vozidlu bez funkce start/stop zvětšena o 20%.

- Částečný (Mild/Power assist) hybrid: V současnosti velice častý příklad hybridního vozidla, elektromotor, o výkonu 10 – 15 kW, může zastávat činnost startéru/alternátoru nebo pohánět odděleně druhou nápravu, významně se podílí na akceleraci vozu a rekuperaci brzděné energie. Elektrický pohon není dimenzován na trvalou jízdu, může ale v určitých případech pohánět vůz v koloně bez činnosti ICE. Tento stupeň hybridizace již umožňuje omezení velikosti ICE, ale pro svou funkci vyžaduje trakční akumulátory s kapacitou až 5kW.

Mikro- a částečné hybridy představují vývojové stupně vedoucí k plně hybridním pohonům. Částečný hybrid navíc může existovat výhradně v paralelním uspořádání pohonu.

- Plný (Full) hybrid: U tohoto stupně hybridizace je již možný, v omezené míře, čistě elektrický pohon. Elektrické motory mají výkon od 20kW, díky čemuž může být ICE menší než v případě částečného hybridu. Čistě elektrický dojezd je silně limitován kapacitou trakčních baterií, a to od jednotek až po sto kilometrů. Dobíjení akumulátorů probíhá rekuperací brzděné energie a pomocí ICE spolu s generátorem v optimálním režimu.
- Plug-in hybrid: Evoluční stupeň plného (full) hybridu vycházející ze studií o nízké efektivitě generování elektrické energie pomocí palubního ICE a statistice denního provozu vozidel. Na základě těchto údajů bylo zjištěno, že s dostatečnou kapacitou akumulátorů by bylo možno denní provoz vozidla pokrýt výhradně pomocí VEP, tj. s nulovými přímými emisemi a spotřebou paliva při dobíjení výhradně z veřejné elektrické sítě. VEP v tomto stupni hybridizace vyžaduje instalaci akumulátorů s nejvyšší kapacitou.

Plně hybridní vozidla a plug-in hybridy umožňují libovolné uspořádání pohonu. Dostatečný výkon elektromotorů umožňuje i sériové uspořádání. Plug-in hybridy představují přechod mezi hybridními vozidly a výhradně elektrickými vozidly.[2][6][7]



## Elektrochemické zdroje pro osobní hybridní vozidla

Vývojově byly v oblasti HEV používány všechny významné typy akumulátorů. Nejstarším typem byly olověné a Ni-Cd akumulátory, a ačkoliv se jedná o prověřené, spolehlivé, robustní a zvládnuté technologie, z důvodů především malých měrných výkonů, použití ekologicky závadných látek (olovo, kyselina sírová, kadmium) a citlivost na okolní teplotu vedla výrobce vozidel k jejich nahrazení vhodnějšími náhradami. Žádné v současnosti nabízené vozidlo není těmito akumulátory vybaveno, proto nebudou podrobněji popsány.

## Ni-MH akumulátory

Ni-MH, neboli nikl metalhydridové, akumulátory jsou vývojovým nástupcem Ni-Cd článků a v současnosti nejpoužívanější typ u non-plug-in řešení díky relativně nízké ceně a prověřenosti technologie.

Hlavním parametrem oproti Ni-Cd článkům je až dvojnásobná měrná energie 60 – 120 Wh/kg, výkon, objemová kapacita, vyšší odolnost proti působení okolní teploty a o menší citlivost na vliv paměťového efektu.

Nevýhodou tohoto článku je kratší životnost mezi 500 – 1000 nabíjecími cykly, omezena dále výkonovým zatěžováním článku vysokými vybíjecími proudy. Se vzrůstajícím provozním stářím článku navíc dochází nevratně ke snižování jeho kapacity. Navíc trpí velkou hodnotou samovybíjení až 30% za měsíc. Tyto články jsou celkově náchylnější na kvalitu nabíjení a nerovnoměrné zatěžování.[1][2][3]



Obr. č. 1: Trakční Ni-MH akumulátor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Nickel Metal-Hydride (Ni-MH)* [online]. c2007 [cit. 2010-05-01]. Nickel Metal-Hydride (Ni-MH) - NHE. Dostupné z WWW: [http://www.saftbatteries.com/Produit\\_NHE\\_329\\_24/Language/en-US/Default.aspx](http://www.saftbatteries.com/Produit_NHE_329_24/Language/en-US/Default.aspx)

## Li-ion akumulátory

Články Li-ion jsou komerčně nejstarším uvedeným typem akumulátorů na bázi lithia a v současné době díky svým parametrům a klesající ceně začínají nahrazovat Ni-MH články i v aplikaci HEV. Samotný vývoj těchto článků trvá již více než 50 let. [1]

Tyto články se vyznačují ve srovnání s Ni-MH dva- až čtyřikrát vyšší energetickou hustotou od 90 – 200 Wh/kg. Netrpí klasickým paměťovým efektem, vykazují minimální úroveň samovybití 5 – 10% za měsíc a vyžadují jen minimální údržbu. Velkou výhodou je i tvarová flexibilita díky malé velikosti článků, kdy může být „battery pack“ konstruován v různých tvarech. Životnost těchto článků se udává mezi 500 – 2000 nabíjecími cykly. Chemické složení katody je různé, nejčastěji jsou použity  $\text{Li}_2\text{MnO}_2$ ,  $\text{LiCoO}_2$  nebo  $\text{LiNiO}_2$ , anoda je z grafitu a elektrolyt se skládá z vodivé soli a rozpouštědla.

Mezi největší negativa těchto článků patří bezpečnost jejich používání a nestabilní životnost. Bezpečnost použití je ovlivněna samotným používáním lithia, které je ve své kovové formě vysoce reaktivní se vzduchem a vodnými roztoky, v případě mechanického poškození obalu nebo nadměrného zahřátí článku může dojít k hoření a dle povahy až k výbuchu akumulátoru. Kapacita článku je ovlivněna nejen provozními podmínkami, jako je provoz za vysokých teplot a vysokých výkonových zatížení. Vlastností technologie li-ion je, že nezávisle na používání dochází v průběhu stárnutí článku k samovolnému snižování kapacity a přibližně po dvou letech dochází ke skokovému snížení kapacity o přibližně 50%. [1][4]

Při použití li-ion akumulátorů je nutné uvažovat dostatečně výkonné vodní chlazení, které zaručí přijatelné provozní podmínky i při nabíjení. Akumulátory vyžadují zvláštní režim nabíjení, během kterého musí být dodržována velikost nabíjecího napětí. Nominální napětí běžného Li-ion článku je 3,6 V oproti 1,2 V u Ni-MH a Ni-Cd článků, to zabraňuje jejich vzájemné kompatibilitě. V případě používání nesmí u těchto akumulátorů dojít k vybití pod přibližně 5 – 10% kapacity, v této oblasti již rapidně klesá napětí až k 3,0 V a může dojít k nevratnému poškození článku. Většina těchto parametrů je hlídána řídicí elektronikou, která je nedílnou součástí každého akumulátoru. [1][2][3]

Obr. č. 2: Trakční Li-ion akumulátor <sup>2</sup>

### Li-pol akumulátory

Li-pol články jsou vývojovým stupněm Li-ion, kde je tekuté rozpouštědlo nahrazeno gelovým polymerním kompozitem a poskytují jedny z nejlepších elektrických vlastností ze všech současných typů akumulátorů.[2]

Z pohledu elektrických vlastností nabízejí články vyšší energetickou hustotu, objemovou kapacitu a energetickou účinnost nabíjecího a vybíjecího cyklu. Vykazují nižší výrobní náklady, zmenšení velikosti díky obdélníkovému tvaru, tepelnou robustnost a vyšší odolnost proti fyzickému poškození.[2][3] Pokud bychom srovnávali Li-pol a Ni-MH akumulátory zjistíme, že při stejné kapacitě jsou Li-pol o 30% lehčí, zabírají o 40% méně prostoru a jsou o 12% účinnější, ve srovnání s Li-ion jsou o přibližně 20% menší.[1]

Životnost článků je velice závislá na výkonové úrovni, kterou musí články poskytovat. V případě vybíjení maximálním proudem dochází po dosažení 100 cyklů ke snížení kapacity o 15 – 20% V případě nižšího než maximálního vytěžování dochází k poměrně razantnímu navyšování životnosti. Li-pol články jsou vysoce citlivé na způsob nabíjení, protože samotné články jsou citlivé na jakoukoliv odchylku napětí. Stejně jako v případě li-ion akumulátorů při poklesu napětí pod 3,0V dochází k nevratnému poškození nebo zničení článku. Přepětí v řádu desetin voltu může způsobit trvalé poškození nebo dokonce explozi článku, podobně jako mechanické poškození obalu.

Obdobně jako v případě Li-ion je nutno každý článek sledovat pomocí kontrolní elektroniky, která musí vyrovnávat napěťové rozdíly mezi články jednotlivě, to je poměrně komplikované řešení v případě velkých „battery packů“ potřebných právě v dopravě. Malá elektrická robustnost a optimalizace provozu velice komplikuje jejich nasazení.[2]

<sup>2</sup> CETL, Tomáš. *Elektro*[online]. 2005[cit. 2010-02-20]. Lithiové akumulátory velkých výkonů a jejich použití. Dostupné z WWW: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26540](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26540)

Obr. č. 3: Trakční Li-pol akumulátor<sup>3</sup>

### 1.1.2 Elektromobily

Definice elektromobilu je udávána jako automobil poháněný výhradně elektrickými motory napájenými proudem ze zdroje elektrické energie, které si vůz veze sebou.[1]

Vozidla s výhradně elektrickým pohonem představovala od roku 1873 do roku 1920 velice rozšířený a oblíbený typ silničních vozidel, který snadno konkuroval stále ještě nedokonalým spalovacím motorům a spolu s parním strojem patřil k majoritním dopravním prostředkům. V roce 1900 bylo v USA registrováno asi 4000 vozidel, z nich 40% tvořily parní stroje, 38% elektromobily a 22% vozidla s benzínovým motorem. V čase největšího rozmachu byl počet registrovaných elektromobilů v USA na úrovni 50 tisíc vozidel.[1]

Obrat v zájmu zákazníků přišel se stále klesající cenou benzínu a se zavedením elektrického startéru spolu se zlepšováním meziměstským komunikací, kde na dlouhých trasách nemohla VEV z důvodu malých kapacit olověných akumulátorů konkurovat spalovacím motorům. Se zavedením pásové výroby automobilů bylo dosaženo ještě nižší ceny, například vůz Ford T stál 360 USD oproti 1750 – 4000 USD za elektrický ekvivalent, což by dnes znamenalo rozdíl 540 – 1 415 tis. Kč. Úplný konec pro VEV přišel v roce 1929 s dopadem velké hospodářské a finanční krize.[8]

Opětovný zájem o alternativní pohony přišel s vlnami ropných krizí od 70. až do počátku 90. let 20. století, kdy skokové navýšení cen ropy mělo hluboký dopad na světové ekonomiky a zdůraznilo závislost na ropě, která byla v 70. letech nejvíce těžena v oblasti blízkého východu. Výhradně z ekonomických důvodů se v tomto období se začalo znovu experimentovat s alternativními druhy pohonu a paliv, přesto z této doby nepochází žádný celosvětově významnější typ vozidla.

<sup>3</sup> Thunder-sky [online]. 2007 [cit. 2010-05-01]. MODEL NO : TS-LP12V160AH(b). Dostupné z WWW: <http://www.thunder-sky.com/manage/images/2007522194444.jpg>



Na počátku 90. let 20. století přišel i ekologický impulz z důvodu sledování výrazného znečištění ovzduší. Nejradiálnějším řešením snižování emisí pro oblast silniční dopravy představoval zákon „ZERO EMISSION VEHICLE MANDATE“ přijatý v roce 1990 ve státě Kalifornie, USA. Podle tohoto zákona měla být do roku 1998 prodána alespoň 2 % nových vozidel s nulovými emisemi. V tomto období přišly revoluční typy EV jako GM EV1 nebo přestavby v podobě Toyota RAV4 EVENT. Začaly se hledat náhrady za nedostačující olověné akumulátory a vznikala veřejná dobíjecí infrastruktura. V roce 2003 byl zmíněný zákon na nátlak automobilových výrobců uznán jako příliš striktní a přestal ve svém původním znění zcela platit. Zájem většiny výrobců okamžitě opadl a byl ukončen vývoj nástupců stávajících modelů VEV. V případě modelu GM EV1 došlo k likvidaci většiny vyrobených vozů.[1][8]

Výhradně elektrický pohon představuje při současných či brzy dostupných technických a technologických možnostech převážně alternativní řešení v oblastech městské a příměstské dopravy, kde nejsou požadovány dlouhé dojezdové vzdálenosti. Výrazným současným impulzem pro nasazení EV je neustále se zhoršující situace v oblasti hustoty dopravy a snaha o snižování ekologického zatížení ve městech.

Nasazení VEV je výrazně omezeno použitým elektrochemickým zdrojem, který svými vlastnostmi určuje většinu parametrů VEV. Problematika elektrochemických zdrojů provází elektromobily od počátku jejich používání a stále významně omezuje jejich hromadné nasazení v silniční dopravě.

### **Elektrochemické zdroje pro vozidla s výhradně elektrickým pohonem**

VEV byla vývojově první aplikací elektrochemických zdrojů v silniční dopravě. Historický vývoj VEV a HEV byl vždy velice provázán, s čímž souvisí nasazování jednotlivých technologií elektrochemických zdrojů. Prvním používaným typem akumulátorů u VEV olověné akumulátory a to po více než 100 let, v 90. letech byly olověné akumulátory pro své nevyhovující parametry postupně nahrazovány Ni-Cd a posléze Ni-MH akumulátory. V nových VEV aplikacích se výše uvedené technologie již nepoužívají pro své nedostačující elektrické vlastnosti a využívání ekologicky závadných látek. Nejperspektivněji se v současnosti jeví články na bázi lithia.[1][9]

### **Li-ion akumulátory**

Přestože se jedná o nejstarší technologii akumulátorů na bázi lithia, probíhá v této oblasti velice intenzivní vývoj. Li-ion akumulátory vykazují nepatrně nižší elektrické

vlastnosti oproti Li-pol článkům nabízí vyšší životnost při stejném nabíjecím-vybíjecím cyklu, lepší elektrickou robustnost a nižší cenu.

### **Li-pol akumulátory**

Ačkoliv někteří výrobci používají Li-pol články pro aplikaci v oblasti EV a samotná technologie se vyznačuje výbornými elektrickými vlastnostmi, nemožnost plného výkonového zatížení z důvodu snižování životnosti a malá elektrická robustnost vede k určité nejistotě v hromadném nasazení těchto článků v silniční dopravě.[2]

### **LFPO akumulátory**

Lithium-železo-fosfátový (LiFePO<sub>4</sub>) akumulátor (také označovaný „LFP“) je vývojově jedním z nejnovějších a nejperspektivnějších typů Li-Ion akumulátorů v oblasti dopravy.

U tohoto typu je jako katodový materiál použit LiFePO<sub>4</sub>, tyto akumulátory se vyznačují nižší cenou skrze snížení celkového objemu vzácných a těžkých kovů, jako je lithium, za použití běžných a levných prvků, jako např. železo, a snížením toxicity, z důvodu přítomnosti silnější chemické vazby Fe-P-O oproti klasické Co-O. Navíc plně nabitý akumulátor LFP nemá žádné vázané lithium na katodě – LiCoO<sub>2</sub> mají stále vázáno okolo 50% lithia. Akumulátory se vyznačují výbornou tepelnou stabilitou, kdy je akumulátor stabilní ještě při teplotě 500°C a k havarijnímu stavu dochází až při teplotě 800°C či více. Články mají stále dobré elektrické vlastnosti, ve srovnání s Li-Ion a Li-pol můžeme odebrat vyšší špičkové a provozní proudy.

Oproti klasickému LiCoO<sub>2</sub> článku se u LFP projevuje pomalejší snižování provozní kapacity v průběhu stárnutí. Došlo ke zvýšení celkové životnosti článku, běžně udávána mezi 2000 – 3000 cykly nebo 10 let při DOD 80% spolu se zachováním účinnosti nabíjecího a vybíjecího cyklu.

Nevýhodou tohoto materiálu je snížení provozního napětí článku z 3,6 na 3,3 V a nižší energetická hustota. Navíc jsou nové články náchylné na předčasné selhání při vybíjení pod úroveň 33% a poklesu napětí pod 2,8 V. V případě 12 V modulu pod úroveň 10 V.[1]

Konstrukčně se LFP články dodávají ve 12 V modulech ze kterých se následně sestavují celé „battery packy“.[2]

- $\text{LiFeMgPO}_4$  a  $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$

Dalšími variantami změny katodového materiálu jsou  $\text{LiFeMgPO}_4$  a  $\text{Li}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ , které jsou patentovány firmou Valence Technology Inc. Přidání hořčíku či vanadu má za následek zvýšení elektrické a tepelné stability článku, zvýšení celkové životnosti a snižování obsahu vázaného lithia. Systém  $\text{LiFeMgPO}_4$  se dále vyznačuje tím, že nedochází k destrukci článku při DOD 100% a výrobce udává životnost více než 2800 cyklů.[1][5][12]

- $\text{LiFeYPO}_4$

Katodový materiál používaný firmou Winston, dříve Thunder Sky, kde je část železa nahrazována prvkem Ytrium. Výhodou těchto článků je o 10% vyšší kapacita při stejné hmotnosti. Cena tohoto řešení je příznivější než u Li-Ion a životnost při DOD 70 – 80% přibližně 2000 – 3000 cyklů.[2][5]



Obr. č. 4: Trakční  $\text{LiFeMgPO}_4$  akumulátor<sup>4</sup>



Obr. č. 5: Trakční  $\text{LiFeYPO}_4$  akumulátor<sup>5</sup>

## 1.2 Komerční doprava

Nasazení HEV nebo VEV v komerční dopravě získává poměrně velkou pozornost nejen u provozovatelů komerčních vozidel. Výrobci vozidel pro oblast komerční dopravy, jako jsou autobusy, lehká a těžká transportní vozidla, jsou podobně jako výrobci osobních vozidel nuceni hledat cesty k plnění stále přísnějších ekologických norem.

Hybridizace či výměna vozidel za VEV má v určitých oblastech výrazný vliv na celkovou výši provozních nákladů plynoucích z používání komerčních vozidel.

<sup>4</sup> Valence [online]. 2010 [cit. 2010-05-01]. Lithium Iron Magnesium Phosphate ( $\text{LiFeMgPO}_4$ ) Battery Modules. Dostupné z WWW: [http://www.valence.com/?q=products/battery\\_modules](http://www.valence.com/?q=products/battery_modules)

<sup>5</sup> Thunder-sky [online]. 2007 [cit. 2010-05-01]. MODEL NO : TS-LFP160AHA. Dostupné z WWW: <http://www.thunder-sky.com/manage/images/2010227104110.jpg>

Možnost snížení provozních nákladů by mohla být hlavním důvodem k rozšíření HEV a VEV v této oblasti.

Pro aplikaci HEV a VEV v oblasti transportu a zásobování hovoří dále omezení přijatá v některých městech, podle těchto nařízení do centra těchto měst smějí pouze vozidla splňující emisní limity jemného prachu EURO 1 – 4, kdy jsou na diesellové motory, které jsou nejčastěji použity pro pohon autobusů a užitkových vozů, kladeny přísnější nároky. Na základě splněné emisní normy jsou určeny skupiny označené podle splněné emisní normy. Skupina určuje oblast, do které mohou vozidla vjíždět, např. skupina 1 nesmí vjíždět do skupiny 2 a vyšší. Pokud vozidlo nespĺňuje nebo nemá označení emisní skupiny, nesmí vjet do vyšší oblasti pod podmínkou pokut. Dále je plánované zvyšování těchto omezení směrem k nižším limitům emisí, tedy k vyšším EURO. Navíc některá města již mají nebo plánují zcela bezemisní oblasti, např. historická centra atd.

Podobně jako u osobních automobilů jsou přítomny dva aspekty, ekologický, v tomto případě nastavující limity omezující provoz těchto vozidel, a převažující ekonomický, zahrnující výši provozních nákladů a nákladů na palivo. Protože jsou tato vozidla používána především v komerční sféře, je u nich jeden z hlavních ukazatelů ROI, tedy návratnost investic. Tento ukazatel určuje, za jak dlouho od provedené investice se nám tato investice vrátí zpět. Ačkoliv jsou vstupní investice u hybridních a výhradně elektrických vozidel výrazně vyšší než v případě konvenčních vozidel, mají vyšší ROI díky sníženým nákladům na provoz a údržbu.

Aplikace elektrochemických zdrojů je tedy výhradně podmíněna snahou provozovatelů o snížení provozních nákladů a udržení obslužnosti oblastí s emisním omezením.

### **1.2.1 Přeprava osob**

Řešení přepravy osob pomocí VEV a HEV se v posledních několika letech stává velice zajímavé pro svůj praktický dopad na oblast silniční dopravy osob.

Obdobně jako provoz osobních vozidel je provozování vozidel pro přepravu osob spojeno s poměrně vysokými provozními náklady, které nezahrnují jen údržbu, a také náklady na palivo. Vozidla pro přepravu osob podléhají také ekologickým normám regulující množství jimi vypouštěných emisí.

Vozidla sloužící v městském provozu mají specifický trvalý provoz s velmi častým rozjížděním, brzděním a zastavováním, tedy režim kdy ICE nepracuje v optimálním režimu. Energetické ztráty, či spíše úspory, jsou v případě použití hybridních či výhradně elektrických pohonů velice patrné.[2]

### **Autobusy**

Autobusy tvoří ve velké většině měst hlavní či významnou doplňkovou složku MHD a příměstské dopravy. Výrobci těchto vozidel musí dodržovat u pohonných jednotek stejné emisní normy jako ostatní užitková vozidla a mohou být podobně omezeni v provozu zavedením zelených zón. Kromě možnosti nasazování nových ICE splňující nejvyšší normy EURO se začíná uvažovat o použití hybridních autobusů různých konstrukcí či dokonce výhradně elektrických autobusů, tzv. elektrobusů.

Nasazení elektrochemických zdrojů pro pohon autobusů je limitováno omezením EP při provozu ve vysokých rychlostech, kdy EP již přestává být efektivní. Z tohoto důvodu není v dnešní nabídce přítomen žádný hybridní či výhradně elektrický typ autobusů, který by byl určen pro dálkovou přepravu.

### **Trolejbusy**

Trolejová silniční vozidla jsou velice rozšířený typ nasazení EP v městské silniční dopravě a doplňují autobusovou či jinou městskou hromadnou dopravu. Tento typ vozidel potřebuje pro svůj EP stálou dodávku elektrické energie, ta je zajištěna pomocí kontaktních trolejí, které jsou součástí vozidla, a vrchního trolejového vedení.

V případě, že má být trolejbus nasazen v oblastech kde není 100% pokrytí trolejovým vedením, jsou v současnosti nasazovány tzv. duobusy. V nabídce jsou dva typy duobusů, s akumulátory a s dieslovým motorem sloužící jako dieselagregát, které pohání vozidlo, dokud není opět připojeno k trolejovému vedení. Akumulátorový provoz povětšinou zajišťuje srovnatelné provozní parametry jako při připojeném vedení. U dieselagregátu je provozní rychlost omezena právě výkonem agregátu, pro dosažení rychlosti 30 km/h je potřeba přibližně 50 kW, při 100 kW již dosahují 50 km/h, což je zcela dostačující pro městský provoz.[13]

Nahrazení spalovacího motoru elektrochemickým zdrojem je jednou z cest ke zjednodušení konstrukce trolejbusů, snížení provozních nákladů a ekologické zátěže plynoucí z provozu ICE.

## Tramvaje

Tramvaj je zástupcem kolejových vozidel závislé trakce s vrchním trolejovým vedením. Tramvaje se účastní provozu na pozemních komunikacích měst, ale nejedná se o silniční vozidla, protože se pohybují po kolejích uložených v úrovni vozovky nebo ve vyhrazených tramvajových pásech.[14]

Ačkoliv tramvaje nepatří mezi silniční vozidla, jsou v této kapitole uvedeny z důvodu možnosti odstranění jejich závislosti na dodávkách elektrické energie pomocí trolejí. Většina tramvajů je konstruována tak, že se k vrchnímu trolejovému vedení připojuje pomocí sběračů na konci pantografu umístěného na střeše vozu. Pro jejich provoz je nutné mít vytvořenou dostatečnou vrchní trolejovou soustavu, to vyžaduje zavěšení vedení na zvláštní sloupy, či ukotvení do fasád budov stojících podél kolejí.

Samotné trolejové vedení výrazně zasahuje do estetického rázu budov a celé lokality, v případě, že je ve městě navíc přítomna i trolejbusová síť, může v oblastech křížení linek docházet k velkému dopadu do tváře dané oblasti. Ukotvení ve fasádách domů má mimo jiné za následek přenášení vibrací vzniklých průjezdem vozidel do struktury budov a vzniku mechanického chvění budovy, emitování zvuků, či dokonce pozvolné narušování statiky domů.

Aplikací elchem. zdrojů můžeme dosáhnout odstranění trolejového vedení z inkriminovaných míst ve městech a snížit estetický dopad při zachování dopravní obslužnosti pomocí tramvaje. Pro tuto aplikaci můžeme uvažovat s výkonnými akumulátory, nebo s napájením pomocí superkondenzátorů, které by bylo možno rychle nabíjet v jednotlivých zastávkách.

### 1.2.2 Přeprava zboží / Ostatní přeprava

V profilu městské a příměstské dopravy jsou kromě osobních vozidel a vozidel MHD zahrnuta i užitková vozidla sloužící pro přepravu nákladů v různých váhových kategoriích.

Podobně jako pro přepravu osob zmíněna v kapitole 1.2.1, mají užitková vozidla zvláštní provozní režim velice odlišný od provozu osobních automobilů. Provoz těchto vozidel dosahuje denně i několikahodinového úhrnu a to v režimu, který nebývá příliš optimální z pohledu účinnosti standardního ICE, to má za následek vyšší provozní náklady a spotřebu paliva.

Rozdělení užitkových vozidel:

- a) Městské dodávky do 3,5 t: Důležitá oblast městské dopravy, pro provoz těchto vozidel postačuje standardní řidičské oprávnění, jsou velmi rozšířené, představují velkou část trhu s užitkovými vozidly a fleetových vozidel. V této kategorii je převažující myšlenka nasazení VEV s užitnou hmotností až 1160 kg, která je téměř srovnatelná s konvenčním vozidlem stejné konstrukce.[15]
- b) Lehké transporty do 12 t: Skupina užitkových vozidel vyplňující mezeru mezi dodávkami a nákladními tahači, pro jejich provozování je již nutné řidičské oprávnění třídy C. V této skupině se setkáváme s VEV tak s HEV. Užiténá nosnost těchto vozidel se pohybuje od 5 do 8 tun.
- c) Těžké transporty nad 12 t: Poslední skupinu tvoří těžká nákladní vozidla, sloužící v městském a příměstském prostředí výjimečně. Nasazení VEV je omezeno především na tažné traktory v provozech letištních a přístavních terminálů, tato vozidla mají nosnost až 27 t při rychlostech okolo 45 km/h s konstrukčním uspořádáním umožňujícím rychlou výměnu trakčních baterií. To zkracuje dobu nutnou k nabíjení akumulátorů.

Hybridní uspořádání pohonu má výrazně širší možnosti nasazení. Tato vozidla mohou být nasazena i v meziměstském provozu, kde bylo provozními testy potvrzeno až 15% úspora paliva oproti konvenčním tahačům. V případě městského provozu bylo dosaženo až 30% palivové úspory.[16]

### **Elektrochemické zdroje vozidel pro komerční dopravu**

Koncepčně se pohon komerčně využívaných VEV a HEV neodlišuje od pohonů používaných v osobní dopravě. Rozdíl je v vyšších nárocích kladených na výkonové parametry těchto pohonů i energetických zdrojů, které musí výkonově pokrýt nároky pohonu, aniž by váhově výrazně omezily samotné vozidlo.

Experimentálně se v této oblasti nasazovaly olověné, Ni-Cd i Ni-MH akumulátory, ale pro jejich nedostatečné elektrické parametry, především nedostatečné kapacity spojené s nutností osazovat je rozměrnými „battery packy“ s vysokou hmotností, nebyly nikdy výrazně použity u sériových vozidel. Podobně jako u osobních vozidel se uplatňují akumulátory na bázi lithia.

Ni-MH akumulátory jsou stále ještě nasazeny v oblasti projektů hybridních tramvají, příměstských vlakových jednotek, kde spolupracují s dieselelektrickým pohonem, a u některých typů hybridních autobusů. V těchto případech se klade důraz především na cenu akumulátorů a prověřenost použité technologie.

Narozdíl od osobních vozidel je v oblasti komerčních vozidel uvažováno, v některých aplikacích již dokonce aplikováno, nasazení elektrochemických zdrojů jako jsou superkondenzátory a palivové články, které jsou pro nasazení v osobní dopravě v současnosti stále příliš nákladné.

### **Li-ion akumulátory**

Li-ion akumulátory jsou používány převážně v oblasti vozidel do 12 t, kdy jsou tato vozidla často koncepčně vycházející z osobního automobilu, nebo sdílí pohonné ústrojí a tedy i podobné řešení napájení s jiným modelem.

Tyto akumulátory se aplikují především u VEV, novější technologie jako např. Toshiba SCiB, svými parametry nacházejí uplatnění i v oblasti HEV v kategorii nad 26t. Podobně jako v oblasti osobních VEV tak začíná zastiňovat Li-ion technologii Li-pol.[16]

### **LFPO akumulátory**

Podobně jako v oblasti osobních vozidel se začínají aplikovat akumulátory LFPO a jejich podtypy. Nasazení těchto technologií je v široké oblasti vozidel nad 3,5t, kdy slouží k napájení vozidel těsně přesahující hmotnost 3,5t až tažné traktory s hmotností téměř 32tun.[17]

Tyto akumulátory nacházejí své uplatnění z důvodu nižší ceny, elektrické a tepelné robustnosti a především díky vyšší časové a provozní životnosti. Na rozdíl od Li-ion akumulátorů, kde je nutno články chladit proti přehřátí nejlépe vodním chlazením, LFPO články mohou být provozovány se vzduchovým chlazením či mohou být chlazeny pouze sáláním.[18]

### **Superkondenzátory**

Doposud uvedené typy akumulátorů uchovávají energii ve formě elektrochemických reakcí, kdy se většina těchto reakcí vyznačuje v dynamických režimech, jako brzdění a následné zrychlení či rozjíždění, výrazně menší účinností než při konstantních rychlostech. Snížení dynamické účinnosti současných akumulátorů je zapříčiněno



časovou prodlevou pro nutnou elektrochemické transformaci energie, následkem je velký objem brzdě energie bez užítu přeměněný na odpadní teplo. Tento aspekt je velkým problémem v oblasti výhradně elektrických a hybridních pohonných systémů.[1]

Na současném trhu je dostupné, v praxi omezeně používané a do budoucni velice perspektivní řešení tohoto problému ve formě superkondenzátorů, či také superkapacitorů (používají se i názvy ultrakapacitor, dvouvrstvý elektrochemický kondenzátor, MAXWELL používá obchodní název Boostcap).[1]

Superkondenzátor je stejně jako klasický kondenzátor elektrotechnická součástka, která elektrickou energii uchovává přímo v elektrické formě, odpadá zde tedy elektrochemická přeměna elektrické energie jako u klasických akumulátorů. Velikost uchované energie je závislá na kapacitě  $C$  a napětí  $U$  dle vztahu 1.1.

$$W = \frac{1}{2} CU^2 \text{ [J]} \quad (1.1)$$

Klasický elektrolytický kondenzátor má velice malou měrnou energii (0,01 Wh/kg) a není tak vhodný pro akumulaci energie, superkondenzátory mají zvláštní dvouvrstvou strukturu využívající elektrochemické vazby. Díky tomu mohou superkondenzátory dosáhnout kapacity v řádech tisíců faradů. Uložená energie je stále nižší, než v klasickém akumulátoru, je ale dosaženo rychlejšího dobíjení a možnosti dodávání vysokých špičkových proudů a výkonů (běžně jednotky kW/kg) při mnohonásobně vyšší životnosti než u klasických akumulátorů. Elektrické děje se odehrávají bez nadměrných tepelných a energetických ztrát. Efektivita a účinnost samotného superkondenzátoru je velmi vysoká (až 98%), což je důsledkem velice malé hodnoty vnitřního odporu. Vlastní kapacita není teplotně závislá, superkondenzátor může tedy pracovat i za nízkých teplot, ale s klesající teplotou se zvedá hodnota vnitřního odporu a prodlužuje se reakční doba. Z mechanického hlediska jim v podstatě nevádí mechanické vibrace.[1]

Současné superkondenzátory dokáží akumulovat výrazně nižší energii než standardní akumulátory (3 – 5 Wh/kg pro superkondenzátory v porovnání s 30 – 40 Wh/kg). Největším negativem je ale extrémně vysoká cena na jednotku uložené energie. Superkondenzátory vyžadují pro svou správnou funkci řídicí elektroniku, která ale může způsobovat jak přídatné ztráty, tak výkonová omezení.

Řízení činnosti je nutné z důvodu lineárního poklesu napětí při vybíjení a musí být tedy stabilizováno na hodnotu potřebnou pro EP. Negativně na životnost superkondenzátorů působí zvýšená provozní teplota, maximální životnost (udávána až 10 let) je udávána při teplotě okolo 25 °C, každé navýšení o 10 °C snižuje životnost o polovinu.

Současný stav technologií a hlavně extrémní cena nedovolují nasazení superkondenzátorů v širším měřítku v oblasti silniční dopravy jako primárního zdroje pro EP. Jejich ekonomické nasazení je tedy převážně v oblasti komerční dopravy, kde dlouhodobý provoz klade vyšší nároky na elektrochemické zdroje, které díky superkondenzátorům použitých jako vyrovnávacího prvku mezi trakční baterií a EP výrazně prodlužuje životnost baterie, při této koncepci vzniká tzv. hybridní baterie.[1][2]



Obr. č. 6: Trakční superkondenzátorová baterie <sup>6</sup>

### Palivové články

Palivový článek patří do kategorie konvertorů energie, kdy v něm podobně jako v klasických bateriích dochází k přeměně chemické energie paliva na energii elektrickou. Základní rozdíl je v samotné konstrukci, kdy nejsou aktivní látky součástí elektrod, ale jsou přiváděny z vnějšku a články tak mohou teoreticky pracovat při neustálém přívodu paliva, okysličovadla a odvodu spalin po neomezenou dobu. Spalinami je zde rozuměna voda a vodní pára.

Jako palivo slouží vodík, vyrobený průmyslově, nebo chemicky přímo ve vozidle, např. z formaldehydu, amoniaku, oxid uhelnatého, zemního plynu, metanu, etanolu. Jako okysličovadlo může být použit čistý kyslík, atmosférický vzduch, nebo

<sup>6</sup> Elektronika.cz : svět elektroniky [online]. 2005 [cit. 2010-02-17]. SUPERKAPACITORY -ultrakapacitory - Boostcap. Dostupné z WWW: [www.elektronika.cz/EI-skripty/clanek.asp?ItemID=2515](http://www.elektronika.cz/EI-skripty/clanek.asp?ItemID=2515)

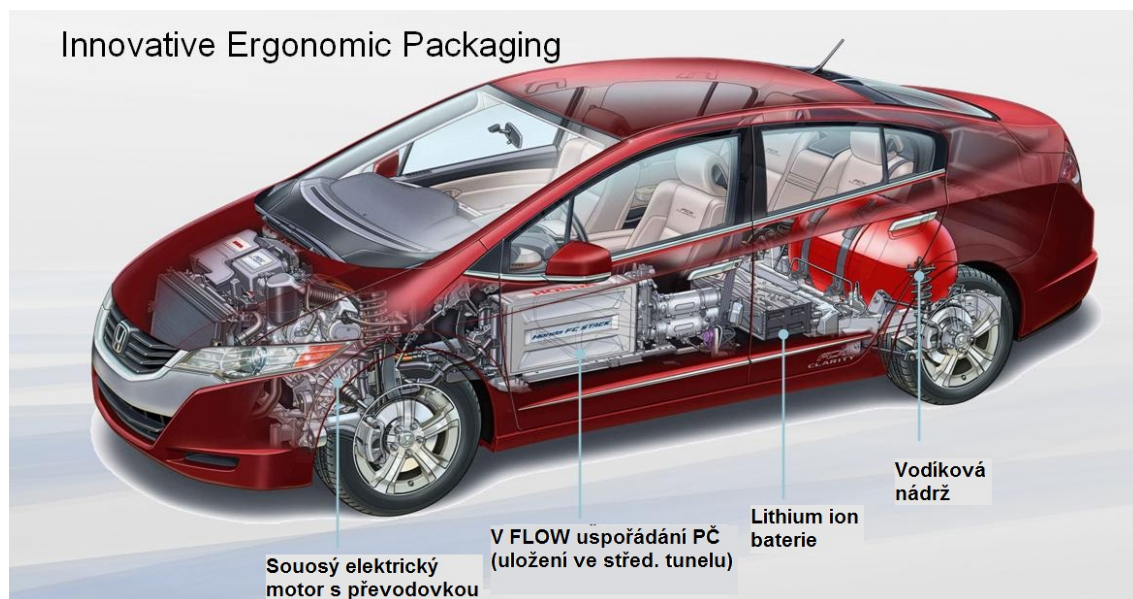
peroxid vodíku. Pro urychlení reakcí v článku se používají katalyzátory jako je např. platina.[1]

Oproti klasickým akumulátorům nabízejí PČ vyšší jízdní dojezd, ekologický provoz, dlouhou životnost a po vyřazení nezatěžují životní prostředí toxickými a těžkými kovy. Další výhodou PČ je samotný vodík, který může být podobně jako elektřina vyroben různými způsoby, ale na rozdíl od elektřiny může být skladován. Problematika použití vodíku bude popsána v kapitole 2.[1]

Pokud se podíváme na výkon PČ použitých v silniční dopravě, je velice důležité brát v úvahu, jakou roli v pohonném řetězci PČ sehrávají. V případě, že se jedná o primární energetický zdroj, dosahují PČ maximálního výkonu 50 a více kW, který jsou schopny, při dostatečné zásobě paliva, dodávat po velice dlouhou dobu. Nevýhodou takovýchto řešení je vysoká váha, která je velice závislá na použité technologii, pohybující se od 50 až po několik set kg. Výkon PČ se udává vztážený k celkové ploše membrán článků a nemají vlastní provozní kapacitu, tou můžeme uvažovat pouze kapacitu nádrže. V parametrech výkonu a kapacity je tedy nelze porovnávat s klasickými akumulátory.[1][19]

PČ dále trpí závislostí provozní účinnosti na provozním zatížení, kdy nejvyšší účinnosti (v praxi 50%) dosahují při malém a konstantním zatížení, to znamená, že při použití pouze PČ v EP je nutný jejich větší počet, z toho plyne větší hmotnost a náklady na pořízení. Dalším negativem PČ je pomalá reakce na změnu zatížení a provoz za nízkých teplot, za kterého vzniklá vodní pára v článku může zamrznout, což zamezí dalšímu startu článku či vzniklý led může poškodit membrány v PČ.

Ve všech současných aplikacích jsou PČ použity ve spolupráci s jiným elektrochemickým zdrojem, v případě osobních vozidel jsou to např. Li-ion akumulátory u automobilu Honda FCX Clarity, či kombinace akumulátorů a superkondenzátorů, jako u projektu TriHyBus. Zde slouží PČ jako primární zdroj energie po celou dobu jízdy a zbývající zdroj či zdroje slouží k vyrovnávání energetických špiček či naopak k akumulaci brzděné energie.[10]

Obr. č. 7: Honda FCX Clarity<sup>7</sup>

### 1.3 Perspektivní zdroje

Perspektivnost budoucích elektrochemických zdrojů použitelných v oblasti VEV a HEV je velice náročné předpovědět. Současné elektrochemické zdroje nedosahují v žádném z níže uvedených primárních elektrických parametrů dostatečné hodnoty důležité pro pohon vozidel srovnatelné např. s benzínem.

- Specifická energie – udává množství energie na jednotku hmotnosti elektrochemického zdroje. Pro oblast dopravy se jedná o nejpodstatnější vlastnost, která ale v současnosti dalece nedosahuje hodnot fosilních paliv.
- Kapacita – velikost náboje, kterou může akumulátor pojmout, udává se v Ah.
- Účinnost nabíjení – při snaze o co největší efektivitu pohonu by měla být rovna 100%, z důvodu vzniku vedlejších reakcí, jako je vývoj vodíku a kyslíku na jednotlivých elektrodách dosahuje vždy nižší hodnoty.
- Napětí článku – vyšší napětí jednotlivých článků znamená, že pro dosažení požadované úrovně provozního napětí bude potřeba menšího množství sériově řazených článků. Následkem je zmenšení celého „battery packu“.
- Vnitřní odpor – jeho velikost ovlivňuje schopnost odebírání vysokých provozních proudů. Vysoké hodnoty proudů způsobují velké úbytky napětí a zahřívání zdroje.
- Životnost – běžně udávána jako časový úsek, během kterého dojde k poklesu provozní kapacity elchem. zdroje na 80%. [20]

<sup>7</sup> Hytep.cz [online]. 2011 [cit. 2012-05-05]. Honda FCX Clarity na vodíkový pohon. Dostupné z WWW: <http://www.hytep.cz/?loc=article&id=32>

Jednou z cest vývoje elektrochemických zdrojů je tedy oblast zlepšování těchto primárních parametrů v současnosti dostupných technologiích, jako příklad lze uvést neustálý vývoj Li-ion akumulátorů.

Elektrochemické zdroje u VEV a HEV jednou z primárních součástí EP a celého vozidla, určujících svými parametry charakter, provozní vlastnosti a výrazně celkovou cenu vozidel. sa sekundárních materiálů elektrod (v současnosti lithium, těžké kovy, celistvé uhlíkové elektrody), které mohou ovlivnit jak technické parametry akumulátorů, tak i výslednou cenu elektrochemického zdroje. V současných zdrojích jsou používány z chemického a technického hlediska téměř nejvýhodnější materiály, které však zapříčiňují jejich vysokou pořizovací cenu. Řešením může být použití méně vzácných či běžných a levných materiálů, jako je železo nebo síra. Příkladem současného řešení mohou být standardní Li-ion akumulátory ve srovnání s  $\text{LiFePO}_4$ , kde je snížen obsah primárního materiálu na anodě.

Bez ohledu na použitý primární materiál se jako velice perspektivní jeví alternativní konstrukce elektrochemických zdrojů se vzduchovou elektrodou. U těchto zdrojů odpadá většina váhy katody a tyto zdroje tak dosahují vysokých hodnot měrné energie.

### 1.3.1 Akumulátory s vylepšenými parametry

Z elektrochemického hlediska jsou akumulátory obsahující lithium nejlepší známou variantou. To je důvodem pro vylepšování technických parametrů těchto akumulátorů, pokud uvažujeme konvenční konstrukci těchto akumulátorů.

#### **Li-Ti (lithium titanát) akumulátory**

Akumulátory na bázi  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  jsou považovány za vývojový směr lithiových akumulátorů s velkou perspektivou v oblasti napájení VEV a HEV.

Tento typ akumulátoru se vyznačuje výrazně vylepšenými elektrickými a technickými parametry. Oproti standardnímu akumulátoru Li-ion je zde použit jiný anodový materiál, přesněji nanokrystaly lithium titanátu  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ . To způsobuje, že 1 gram  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  má oproti standardní uhlíkové elektrodě při stejné hmotnosti více než 30krát větší plochu. Zvětšení plochy elektrody umožňuje výrazně vyšší rychlost výměny iontů, to má za následek rychlejší nabíjení akumulátoru v řádu minut (10 min: 100%, 5 min: 90%) a možnost odebírání řádově vyšších provozních proudů. Další významnou vlastností je výrazné navýšení životnosti těchto akumulátorů,

v budoucnu se předpokládá dosažení až 20 000 cyklů bez výrazného poklesu životnosti a až třikrát vyšší kapacita při stejné velikosti akumulátoru.

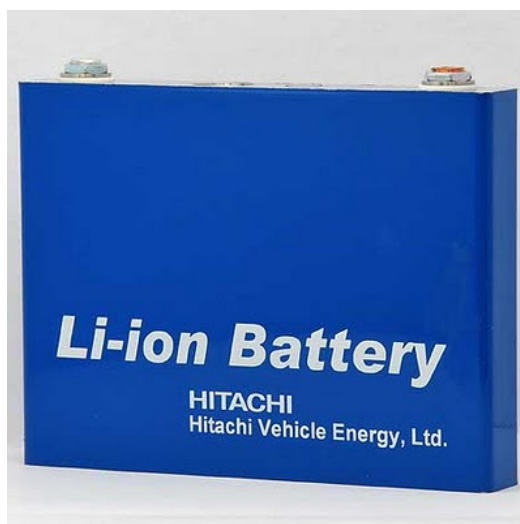
Současné Li-ti akumulátory trpí výrazným nedostatkem ve formě ukládání elektrolytu na anodě, to způsobuje úbytek aktivního materiálu, následkem čehož je po čase rapidní snížení kapacity, řešení je hledáno v jiných elektrolytech a nanomateriálu elektrod.[1][9]



Obr. č. 8: Lithium titanátový akumulátor<sup>8</sup>

### Li-ion akumulátory se zvýšenou kapacitou

Články tohoto typu mají rozdílný materiál obou elektrod. Anoda je tvořena niklovou sloučeninou ( $\text{LiNiO}_2$ ), a pro rozdílnou kapacitu článku je určen jiný materiál katody. Uhlíková katoda je určena pro menší kapacitu článků (3400 mAh), u větších je použita sloučenina křemíku.[1]



Obr. č. 9: Vysokokapacitní Li-ion akumulátor<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Greentechmedia [online]. 2009 [cit. 2010-05-01]. Enerdel.

Dostupné z WWW: <http://www.greentechmedia.com/content/images/articles/enerdel.jpg>

<sup>9</sup> KOŽDOŇ, Jakub. Hybrid.cz [online]. 2010 [cit. 2010-02-18]. Další pokroky na poli li-ion akumulátorů.

Dostupné z WWW: <http://www.hybrid.cz/novinky/dalsi-pokroky-na-poli-li-ion-akumulatoru>

### 1.3.2 Akumulátory s alternativními materiály

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly 1.3, v těchto akumulátorech jsou použity jiné primární či sekundární materiály elektrod oproti klasickým akumulátorům postavených na technologiích Li-ion a podobně. Důvodem je snaha o snížení obsahu vzácných a drahých materiálů ve prospěch materiálů běžných, dostupných a levných. V aplikaci pro silniční dopravu nejsou perspektivní vysokoteplotní akumulátory typu Na-S z důvodu velké spotřeby energie nutné pro vlastní nastartování článku a velké hodnoty samovybíjení, řádově desítky procent za den.

#### Li-S akumulátory

Tento typ článku je jedním ze zástupců lithiových akumulátorů s alternativní konstrukcí katody. V tomto článku je použita uhlíko-sírná katoda. Důvodem pro použití síry je velice nízká cena a nízká hmotnost, která má za následek zvýšení měrné energie článku (v prodeji 170 Wh/kg).

Nevýhodou Li-S článku je samotné použití síry, která má velmi malou vodivost ( $5 \times 10^{-16} \text{ S.cm}^{-1}$  při 25 °C). Řešením nízké vodivosti je použití uhlíkového povlaku a použití uhlíkových nanovláken. Největší negativum při provozu Li-S článku je reakce elektrodových materiálů s elektrolytem, při níž dochází k úbytku aktivního materiálu článku a tím ke snižování životnosti. Další vývoj se soustřeďuje především na řešení zvýšení životnosti.

Pro správnou funkci Li-S článků je nutný nezbytná přítomnost řídicích obvodů spolu s bezpečnostními prvky, protože článek vykazuje nelineární odezvu na nabíjení a vybíjení, v některých aplikacích je potřeba ještě regulátoru napětí, typicky použití u EP.[1][9]



Obr. č. 10: Li-S akumulátor<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Barnardmicrosystems [online]. 2007 [cit. 2010-05-01]. UAV battery technology: LiPo and LiS by BML. Dostupné z WWW: [http://www.barnardmicrosystems.com/L4E\\_batteries.htm](http://www.barnardmicrosystems.com/L4E_batteries.htm)

### SuperIron akumulátor

Článek je založen na katodě obsahující železité soli, které obsahují železné atomy s vyšší mocností. Laboratorně byly již provedeny úspěšné pokusy s katodami obsahující  $\text{Li}_2\text{FeO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{FeO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{FeO}_4$ ,  $\text{Ru}_2\text{FeO}_4$ ,  $\text{Cs}_2\text{FeO}_4$ ,  $\text{BaFeO}_4$ ,  $\text{SrFeO}_4$ . Elektrochemickou úpravou katody došlo k dosažení stavu, kdy SuperIron články dokáží, poskytnou stejně vysoké výstupní proudy jakou současné technologie akumulátorů a prodloužení životnosti takto upraveného SuperIron článku z počátečních hodin až na několik let.

Podobně jako u jiných technologií se i v tomto případě hledí s velkými nadějemi na použití nanotechnologií při zmenšení částic těchto solí, což by mělo za následek dosažení vyšší hustoty energie.

Nebezpečím může být vyšší náchylnost těchto železitých nanočástic na vlastní rozpad z důvodu vysoké reaktivity. Celkově jsou vysokomocné soli náchylné na redukci do železného stavu vlivem teploty a zvýšení vlhkosti.[21]

#### 1.3.3 Akumulátory s kyslíkovou elektrodou

Základem těchto galvanických článků je použití kyslíku jako oxidantu, který s primárním materiálem článku, typicky kovový materiál, reaguje skrze porézní uhlíkovou katodu, která umožňuje průchod kyslíku. V tomto případě tedy odpadá potřeba vázání kyslíku, nebo jiného oxidantu na katodě oproti konvenčním akumulátorům, tím rapidně klesá váha katody a zvyšuje se tak měrná energie celého článku.

Technicky je nutné brát ohled na nutnost řízeného přístupu vzdušného kyslíku ke katodě v dostatečném množství, pro zajištění správně funkce. To sebou nese nutnost dalších přídavných zařízení (ventilátory, řízené vzduchové klapky) a celkové navýšení rozměrů akumulátoru.

#### Zinek-vzduch akumulátor

V tomto typu článku dochází k reakci zinkové anody a kyslíku procházejícího katodou, to má za následek vznik elektrického napětí. Výkonově ZnO akumulátory dosahují přibližně dvojnásobné měrné energie než klasické lithiové články.

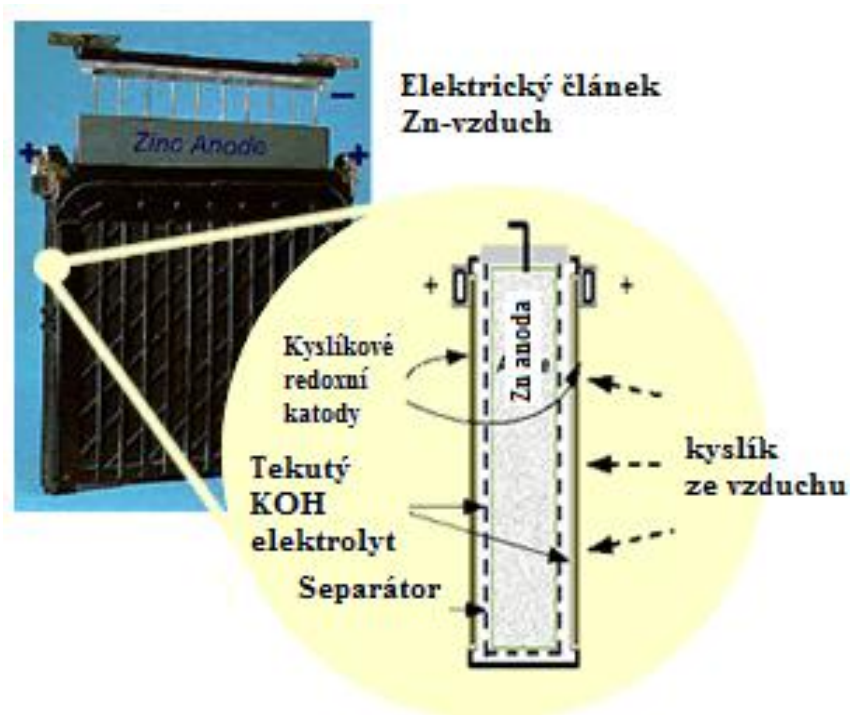
Základem ZnO článků je zinková anoda uložená v porézním pouzdře, ve které je suspenze zinku a hydroxidu draselného. Porézní obálka pouzdra slouží jako separátor oddělující zinkovou suspenzi od obalu tvořeného kyslíkovou (vzdušnou) elektrodou.



Nevýhodou většiny komerčně dostupných ZnO článků je skutečnost, že po vybití je možné jejich nabití pouze chemicko-mechanickou cestou, kdy je použita zinková anoda vyjmuta a recyklována. Při recyklaci dojde ke zpětné redukční přeměně oxidu zinečnatého na čistý zinek, který se použije pro novou anodu.

Toto nevyhovující řešení by bylo možné nahradit zinkovou anodou ve formě pelet nebo pasty, to by umožnilo použitou elektrodu odčerpat přímo z baterie a následně novou náplň doplnit z externího zdroje. Nevýhodou recyklace zinku je ale fakt, že na recyklaci je nutný větší objem energie, než který poskytne nová baterie (účinnost cca. 50%).

Přímé elektrické nabíjení těchto článků je stále ve vývoji, pokusy jsou prováděny s pomocnou nabíjecí elektrodou (kyslíková elektroda je odpojena), nebo dvojčinnou kyslíkovou katodou. Myšlenka zinkové ekonomiky (výroba a distribuce) by mohla konkurovat vodíkové ekonomice, protože zinek lze levně vyrobit, snadno recyklovat, skladovat, dopravovat a pro jeho distribuci by bylo možné využít sítí současných benzínových stanic, kde by probíhala mechanická výměna anody.[1]



Obr. č. 11: Zn-vzduch článek <sup>11</sup>

<sup>11</sup> *Electric-fuel.com* [online]. c2004 [cit. 2009-09-17]. Zinc Air Fuel Cell. Dostupné z WWW: [http://www.electric-fuel.com/evtech/index.shtml&usg=ALkJrhjExSnMXawf2m7nx4gjzifX\\_gDTMA](http://www.electric-fuel.com/evtech/index.shtml&usg=ALkJrhjExSnMXawf2m7nx4gjzifX_gDTMA)

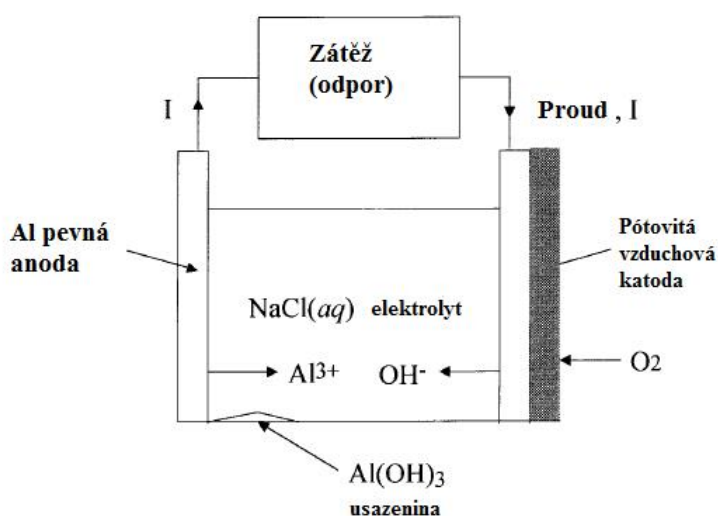
## Hliník-vzduch akumulátor

AlO článek patří mezi další zástupce akumulátorů se vzdušnou elektrodou. U tohoto typu akumulátorů nebyl do dnešního dne proveden významnější pokrok v možnostech přímého elektrického nabíjení, to vede opět k omezení na výhradně chemicko-mechanické nabíjení. Celkově jsou tyto akumulátory na pomyslném okraji zájmu, kvůli stále vysoké ceně, nižší životnosti a pomalé době náběhu do provozního stavu.

Stejně jako v případě zinko-vzdušné baterie je i zde možnost mechanické výměny anody, kterou lze následně chemicky recyklovat a čistý hliník použít v novém článku. Výkonově tyto články závisí na zvoleném elektrolytu, kdy při použití roztoku chloridu sodného je napětí 0,7 V, při použití elektrolytu na bázi hydroxidu draselného činí napětí článku 1,2 V.

Životnost těchto článků je omezena samovolnou vzájemnou reakcí anody s elektrolytem a dochází tak k úbytku aktivního materiálu. Během provozu článku dochází k hydrování povrchového oxidu hlinitého, čímž vzniká gelová vrstva, která vede k omezení velikosti odebíraných výstupních proudů. Legováním hliníkové elektrody je možné řešení zamezení výše zmíněných dějů.

Moderní vzdušné elektrody obsahují vrstvu reaktivního uhlíku s niklem, použitého jako mřížkového kolektoru, dále katalyzátoru a pórovité membrány odpuzující vodu (např. teflonová – PTFE). Takový typ elektrody má vynikající elektrochemickou funkčnost, ale za vyšší cenu.[1]



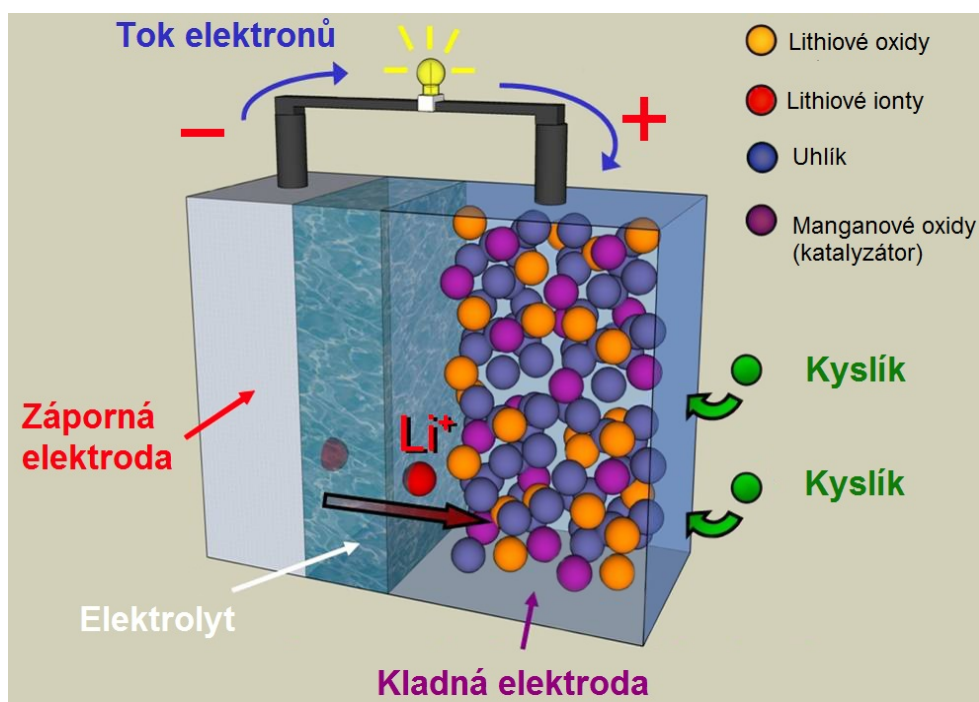
Obr. č. 12: Al-vzduch akumulátor <sup>12</sup>

<sup>12</sup> *Ijee.dit.ie* [online]. 2002 [cit. 2010-05-01]. The Aluminium-Air Cell. Dostupné z WWW: <http://www.ijee.dit.ie/articles/Vol18-3/Ijee1198.pdf>

### Li-vzduch akumulátor

Akumulátor Li-O, neboli lithium vzdušný, je zástupcem akumulátorů se vzdušnou katodou s teoreticky nejvyšší možnou měrnou energií (7,3 – 11 kWh/kg, benzin 12,2 kWh/kg). Reálně očekávaná hodnota měrné energie je okolo 1500 Wh/kg (efektivita měrné energie benzínu přenesená na kola je kolem 2400 Wh/kg). Tento typ akumulátoru by mohl prodloužit dojezd VEV na úroveň srovnatelnou s konvenčním automobilem.

V současné době nejsou LiO akumulátory komerčně dostupné a existují pouze ve stavu laboratorních vývojových prototypů. Akumulátory LiO trpí problémy se stálým výkonem, kvůli možnosti odběru pouze malých proudů a především čelí problémům s bezpečností konstrukce katody, u níž se řeší problém s nebezpečným průnikem vzdušné vlhkosti a její následné exotermické reakci s lithiem.[9][22][23]



Obr. č. 13: Li-vzduch akumulátor<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Joseph Chapman [online]. 2009 [cit. 2012-05-05]. New "air-filled" battery to revolutionise how appliances are powered. Dostupné z WWW: <http://jjchapman.wordpress.com/2009/05/19/93/>

### **1.3.4 Superkondenzátory**

Současné superkondenzátory mohou reálně spolupracovat pouze v kombinaci s jiným zdrojem energie. U nových typů kapacitorů, zahrnujících výrazně vyšší podíl nanotechnologií, by teoreticky mohlo být uvažováno o jejich použití jako primárního energetického zdroje v aplikacích pohybu na krátkou vzdálenost, typicky pohyb tramvaje mezi zastávkami.

Nanomateriály jako jsou uhlíkové nanotrubičky, by mohli nahradit stávající pórovitý uhlí, za účelem rapidního navýšení plochy elektrod a kapacity kapacitorů.[1]

### **1.3.5 Palivové články**

Pro oblast silniční dopravy jsou prakticky použitelné pouze nízkoteplotné palivové články. Ve všech typech PČ je jako nositel energie použit vodík, přímo nebo nepřímo vázaný v uhlíkatých palivech (např. metanol).

Právě vodík je hlavním problémem palivových článků a to z důvodu absence levného průmyslového způsobu výroby vodíku, jeho efektivní distribuce a uskladnění. Tato problematika bude dále nastíněna v samostatné podkapitole 2.2.4.

Tab. 1: Porovnání vybraných elektrochemických zdrojů

	Hm. kap. [Wh/kg]	Objem. kap. [Wh/l]	Napětí [V]	Hm. výkon [W/kg]	Životnost [cyklů/DOD]	Cena [\$/Wh]	Samovybíjení [%/měsíc]
Pb	30 – 40	60 – 75	2,105	180	500 – 600	0,1	3 – 20
Ni-MH	30 – 80	140 – 300	1,2	250 – 1000	500 – 1000 /80%	0,36	30
Li-ion	100 – 160	250 – 360	3,6	250 – 340	1200/80%	0,36	5 – 10
Li-pol	130 – 200	300	3,7	2800	1000+/80%	0,36	5
LFPO	90 – 110	220	3,3	3000	2000+/80%	1,5	N/A
LFYP	100 – 120	330	3,2	720	≥3000/80% ≥5000/70%	1,6	3
Li-Ti	60 – 75	350 – 500	2,4	4000	>10000/80%	2	5
Li-S	170	350	2	400	≥1000/100% ≥2000/70%	*	2
Zn-O	130	180	1,45	200	200/100%	-	2
Al-O	300+	265	1,2	200	*	-	*
Li-O	1500	3400	2,9	30	*	-	*
Supercap	3 – 5	6 – 7	N/A	5000	0,5 – 1 x 10 <sup>6</sup>	40	*

\* hodnota není známa, - není v prodeji

## 2 Provoz vozidel s elektrochemickými zdroji

Provozování vozidel, jejichž pohonný řetězec obsahuje elektrochemický zdroj, se od konvenčního vozu s ICE odlišuje s rostoucí odlišností koncepce pohonu a stupně použití elektrochemických zdrojů. Rámcový popis jednotlivých typů pohonu byla popsána v kapitole 1.1.

### Konvenční HEV

Jako konvenční HEV jsou zde chápána vozidla, která postrádají možnost přímého elektrického dobíjení a dobíjení jejich akumulátorů tak probíhá pouze pomocí ICE a rekuperace kinetické energie během brzdění. Tato vozidla kvůli omezené velikosti elektrochemických zdrojů ve většině případů nedovoluje dlouhý čistě elektrický dojezd a elektrický pohon tak převážně slouží k vylepšení činnosti ICE. Jediným nositelem energie v pohonných systémech HEV jsou tedy opět fosilní paliva (benzín, nafta), která jsou doplňována běžným způsobem u čerpacích stanic.

### Plug-in HEV

Plug-in HEV představují poslední vývojový stupeň mezi HEV a elektromobily. Tato vozidla mohou fungovat ve stejném provozním režimu jako konvenční HEV, rozdílem plug-in řešení je skutečnost, že akumulátory mohou být dobíjeny z elektrické sítě. Dostatečná kapacita akumulátorů umožňuje činnost i v čistě elektrickém režimu. Z pohledu efektivity nabíjení je elektřina z rozvodné sítě vždy výhodnější než následná přeměna fosilního paliva na elektrickou energii ve vozidle. Pokud by tedy měl být plug-in HEV provozován s největší efektivitou použití energie a ekonomikou provozu, měl by být provozován pouze v elektrickém režimu s tím, že ICE by sloužil pouze jako záložní zdroj energie pro případ delší cesty bez možnosti dobíjení akumulátorů z elektrické sítě.

### Výhradně elektrické vozidlo

Provoz VEV je omezen jejich palubními akumulátory, tento dlouhodobý problém byl popsán v kapitole 1. Konvenční VEV má k dispozici pouze energii uloženou v palubních akumulátorech, po jejich vybití je nutné je nabít pro opětovný provoz VEV. Dlouhodobě se hledají způsoby jak zrychlit nabíjení a prodloužit dojezd VEV, a to jak technologiemi elektrochemických zdrojů, na straně dobíjecí infrastruktury a samotnou konstrukcí vozidel. Tato problematika bude popsána v následujících kapitolách.

## Rekuperace kinetické energie

Rekuperace brzděné energie je udávána jako jedna z největších výhod hybridních a elektrických pohonů.

Rekuperace v oblasti pohonů vozidel znamená přeměnu kinetické energie na elektrickou při elektrodynamickém brzdění. K zajištění této přeměny slouží trakční EM v generátorickém režimu, nebo pomocný generátor (alternátor). V oblasti nezávislé elektrické trakce se takto rekuperovaná energie následně akumuluje do jednoho či více zásobníků. Pro akumulaci kinetické energie je možné použít široké spektrum zásobníků, jako jsou mechanické setrvačníky, hydraulické a tlakové akumulátory až po elektrochemické akumulátory.

V případě HEV a VEV je použití trakčních akumulátorů nejvýhodnější, protože pro akumulaci energie není potřeba další přídavné zařízení. Problémem většiny současných akumulátorů je pomalá reakce na změnu polarity napětí, respektive v nich dochází k pomalé změně směru pohybu iontů, tato pohybová setrvačnost má za následek, že akumulátor není schopen okamžitě akumulovat brzdovou energii. V případě elektrodynamického brzdění dochází k velkému a především rychlému nárůstu rekuperované energie na výstupu EM, kterou je velmi složité efektivně uchovat bez velkých ztrát. Ve většině současných řešení EP dochází k energetickým ztrátám právě z důvodu nemožnosti rychlé akumulace rekuperované energie, která se ztrácí ve formě odpadního tepla.

Protože v současnosti není k dispozici ideální akumulátor energie, je velice pravděpodobné, že se budou u nových HEV a VEV uplatňovat aplikace superkondenzátorů spolu s jiným elektrochemickým zdrojem ve formě tzv. hybridních baterií spojující schopnosti rychlé reakce superkondenzátorů a velké kapacity akumulátorů, minimálně do doby než budou k dispozici levné superkondenzátory s dostatečnou provozní kapacitou nebo jiné vhodnější zdroje.[1]

### 2.1 Městský provoz

V první kapitole Elektrochemické zdroje v silniční dopravě bylo zmíněno, že vozidla, u kterých pohonný řetězec využívá elektrochemické zdroje, jsou při současném stavu technologií prezentována pro použití v městském a příměstském provozu. Důvodem není pouze omezený dojezd VEV, ale také to, že v případě dlouhodobé jízdy konstantní nebo vysokou rychlostí přestává být použití EP výhodné.

Městský provoz má oproti mimoměstskému výrazně odlišný jízdní profil, který zahrnuje stání, časté rozjíždění, zpomalování, popojíždění nízkou rychlostí a většinou pouze krátké vzdálenosti ujeté konstantní rychlostí. Právě v tomto dynamickém režimu je provoz EP VEV a HEV vůči konvenčnímu ICE výhodnější.

Oproti konvenčnímu ICE jsou zde rozdíly v jednotlivých fázích jízdy. Pokud jsou jednotlivé pohony srovnávány pouze z hlediska efektivity v jednotlivých režimech, lze získat přibližné srovnávání dle tabulky 2.

Tab. 2: Porovnání jízdních režimů různých druhů pohonu

Režim   pohon	Konvenční ICE	HEV	VEV
Stání	Minimální spotřeba ICE	ICE a EP vypnut	EP vypnut
Popojíždění nízkou rychlostí	Velká spotřeba ICE	VEP či ICE + EP	EP efektivnější oproti ICE
Zrychlování	Největší spotřeba ICE	ICE + výrazně EP	
Zpomalování	malá spotřeba ICE	Téměř nulová spotřeba ICE + rekuperace	Nulová spotřeba EP + rekuperace
Brzdění	minimální spotřeba ICE + tepelné ztráty brzd	nulová spotřeba ICE + rekuperace + malé tepelné ztráty brzd	rekuperace + malé tepelné ztráty brzd
Konstantní rychlost	Optimální režim ICE	Optimální režim ICE	Optimální v nízké a střední rychlosti

Z porovnání je zřejmé, že konvenční ICE je v městském provozu vysoce neefektivní, pohonné hmoty jsou spotřebovávány ve všech jízdních režimech, navíc se tyto režimy cyklicky opakují. Pro příklad lze uvést úseky s vyšší či vysokou spotřebou paliva, typicky rozjíždění na semaforech s následným brzděním, kdy je kinetická energie přeměněna pouze na teplo.

Vozidla používající elektrochemické zdroje neposkytují výhodu pouze z pohledu energetické efektivity využití zdroje energie, ale také zvýšením ekologie provozu ve městech. Vysoká koncentrace dopravních prostředků v městských aglomeracích znamená velkou ekologickou zátěž emisemi skleníkových plynů a pevných částic, které



způsobují čím dál častěji ve spojení s inverzním počasím tzv. smog a zvýšenou prašnost ve městech. Zvýšená koncentrace dopravních prostředků sebou nese dále nárůst hluku.

Jak bylo uvedeno v kapitole 1.2, ve velkých městech se začínají objevovat tzv. zelené zóny, které pomocí emisních limitů upravují, jaký profil vozidel se v nich smí pohybovat. Protože emisní limity se neustále zpřísnují a některá evropská města již zavedla zcela bezemisní zóny, nastává problém s udržení mobility v těchto zónách. Mobilitou nemyslíme pouze pohyb osob, ale například i zásobování, které nelze ve větším objemu realizovat jinak, než pomocí dodávek a nákladních vozidel. Aplikace VEV a HEV se tak jeví jako jedna z nejsnazších a nejrealnějších řešení.

Primární využití VEV a HEV jako městských či příměstských vozidel naráží na povědomí většiny společnosti, ačkoliv která je ochotna přijmout efektivitu a ekologii provozu, staví proti tomu nedostatečný dojezd vozidel, vysokou cenu, neekologičnost výroby baterií a elektřiny. V případě, že jsou akceptovány všechny tyto aspekty, vyvstává další problém s provozem ve městech, a to s nedostatečnou infrastrukturou pro dobíjení VEV a plug-in HEV.

Ačkoliv se může zdát, že dobíjení VEV a plug-in HEV ze standardní jednofázové zásuvky by neměl být výraznější problém, je nutné si uvědomit, že velké množství vozidel ve městech nemá možnost vlastního garážovaného stání a venkovní parkoviště v současné době neposkytují žádnou možnost vyvedení napájecí přípojky. Vyvedení napájecí přípojky z bytu vlastníka vozidla je nereálná v případě většího množství elektromobilů nabíjených z jednoho odběrového místa, protože el. rozvody na takové odběr nejsou většinou navrženy. Problém nabíjení akumulátorů řeší jak výrobci elektromobilů, tak i firmy které se zabývají vývojem a výrobou komponent v oboru silové energetiky.

### **2.1.1 Dobíjecí stanice**

Budování infrastruktury dobíjecích stanic se nabízí jako jedno z možných řešení nabíjení většího množství VEV a HEV v městských aglomeracích. Na trhu se objevuje stále větší množství řešení a návrhů dobíjecích stanic výrobců v oblasti výroby komponent pro silovou energetiku. Tato oblast ale naráží na nejednotnost standardizace napájecích konektorů a napájecích kabelů, která je jednak dána rozdílností napájecí sítě v různých částech světa, tak snahou jednotlivých výrobců přijít s vlastním řešením. Většina velkých evropských automobilek se již shodla na přijetí jednotného standardu

nabíjecích konektorů od roku 2017, ale doposud nebyl zvolen výchozí standard, přestože jsou stanoveny technické parametry, které tento konektor spolu s kabelem musí splňovat. Dobíjecí stanice pro soukromou a veřejnou sféru jsou jedním ze základních předpokladů pro rozvoj elektromobility.



Obr. č. 14: Stojanové nabíjecí stanice <sup>14</sup>

### Standarty a typy nabíjecích konektorů

V případě napájecích konektorů v oblasti VEV a HEV je v současnosti v popředí několik zástupců. Základním standardem na straně zdroje je běžná jednofázová zástrčka rozdílného tvaru dle standardů jednotlivých zemí. Následují standarty průmyslových konektorů jak jedno- tak i vícefázových. Posledními jsou speciální automobilové konektory vyvinuté přímo pro nabíjení VEV a HEV dle normy IEC 62196-1.

Společné pro všechny specializované typy konektorů je standardizace podle normy IEC 61851, která zaručuje, že v případě připojení nabíjecího kabelu je odstaven pohon připojeného vozidla, jako zabezpečení proti jeho rozjetí.

Standardizace nabíjecích konektorů, kabelů a způsobů nabíjení je velice důležité pro rozvoj nabíjecí infrastruktury, usnadnění provozu a zjednodušení při výrobě.

### Jednofázové a vícefázové standardní konektory

Tento způsob nabíjení je prezentován jako nejjednodušších a nejdostupnějších. Toto řešení nabíjení je přesto uvažováno jako minoritní z několika důvodů. Při nabíjení přes standardní evropskou zásuvku 10 A (resp. 16 A) trvá nabíjení řádově až 10 hodin či více, dle kapacity akumulátorů a stavu vybití. Na dané napájecí větvi nemůže být

<sup>14</sup> *Fastcompany.com* [online]. 2010 [cit. 2012-05-05]. Electric vehicle charging stations of the future. Dostupné z <http://www.fastcompany.com/pics/electric-vehicle-charging-stations-future#16>

připojen žádný jiný velký spotřebič. Jistič chrání tento elektrický okruh musí dovolovat dlouhodobý odběr, při kterém dochází k zahřívání jak přírodních kabelů, tak samotného jističe.

Pokud je použita vícefázová zástrčka (tradičně 3x32 A), dochází k rapidnímu zkrácení doby nabíjení (řádově do 4hodin). Předpokladem je přítomnost vícefázového rozvodu a zásuvky s příslušným jističem, to bývá např. v panelové zástavbě a u novostaveb výrazný problém.

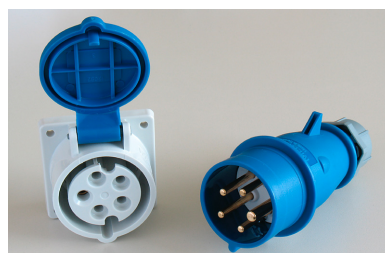
V případě nabíjení sériových VEV a HEV, u nichž je nabíjení prováděno přes speciální konektor a jako zdroj nabíjení slouží jednofázová zásuvka je nabíjecí proud omezen na maximální hodnotu 16 A z důvodu absence řídicího signálu, který je předpokladem pro zajištění nabíjení vyšším proudem. Za daných podmínek se jedná o nabíjení v MODU 1 přes příslušnou redukci. V některých zemích je ale nabíjení z jednofázové zásuvky nechráněným kabelem zakázáno z důvodu absence uzemnění (např. USA), v těchto zemích je umožněno nabíjení pouze přes speciální chráněný kabel v MODU 2.[24][25]



Obr. č. 15: Domácí 1 fázová zástrčka<sup>15</sup>



Obr. č. 16: Průmyslový 1 fázový konektor [24]



Obr. č. 17: Průmyslový 3 fázový konektor [24]

## AVCON

Nabíjecí konektor AVCON byl vyvinut a vyráběn stejnojmennou firmou Avcon od poloviny 90. let 20. století až do současnosti. Tento standard nabíjecího konektoru a zástrčky byl zvolen některými výrobci VEV (Ford, Toyota) a tvořil konkurenční variantu k indukčnímu nabíjení upřednostňovaného u VEV firmy GM.

Existence dvou standardů mělo za následek dvojnásobné náklady na budování veřejné nabíjecí infrastruktury. S ubývajícím počtem vozidel s indukčním nabíjením zůstaly v provozu především stanice s konektory AVCON. Stávající stanice jsou v současné době díky kompatibilitě se standardem SAE J1772-2001. Nová vozidla lze nabíjet pomocí redukcí, nebo jsou stávající kabely upravovány dle SAE J1772-2001.

<sup>15</sup> Yypowercords.com. [online]. 2012 [cit. 2012-01-30]. European CEE. Dostupné z <http://www.yypowercords.com/European-CEE-7-16-EN50075-standards-Y003-BD04-58.html>

Konektor AVCON je díky jeho uspořádání možné používat v jedno- i třífázovém zapojení a lze jej použít pro stejnosměrné nabíjení díky DC kontaktům. Konektor obsahuje také komunikační a bezpečnostní kontakty. Pokud není konektor připojen ve vozidle, jsou kontakty kryty vnitřní posuvnou krytkou, která zajišťuje ochranu proti přístupu ke kontaktům pod napětím. Tento typ konektoru byl použit u sériových vozidel PSA. Využití konektoru je omezeno velikostí dodávaných proudů oproti konektorům dle standardu SAE J1772-2009.[24][26]



Obr. č. 18: AVCON/Marechal

Obr. č. 19: AVCON  
1 – 3 fázovýObr. č. 20: AVCON  
AC/DC varianta<sup>16</sup>

### CEEplus

Konektor CEEplus od firmy Mennekes vznikl úpravou průmyslového konektoru CEE (standard IEC 390). Konektory CEE jsou standardizovány v jedno- i třífázové variantě s provozními proudy od 16 do 32 A. Pro potřeby nabíjení vozidel dle norem IEC 61851 a IEC 62196-1 je klasický konektor doplněn o pomocné kontakty zajišťující komunikaci s nabíjecí stanicí a bezpečnostní funkce.

V této konfiguraci systém zcela vyhovuje současným normám a standardům pro nabíjení VEV a HEV. Pro budoucí použití je nutné stávající konektor upravit kvůli předpokladům využití vozidel jako zdroje pro napájení veřejné sítě v rámci tzv. Smart grids. Konektor CEEplus je v současnosti švýcarským standardem nabíjecích kabelů VEV a HEV.[24][25]

Obr. č. 21: CEEplus  
1 fázový konektor [27]Obr. č. 22: CEEplus  
3 fázový konektor [27]

<sup>16</sup> *Eco/drive.co.uk* [online]. 2012 [cit. 2012-01-30]. Marechal connectors. Dostupné z <http://www.eco-drive.co.uk/marechal>

### SAE J1772 Yazaki/Rema (Typ 1)

V roce 2001 firma SAE International navrhla standard nabíjecího konektoru schválenou CARB (california air resources board). SAE J1772-2001 byl tvarově shodný s dřívějším konektorem AVCON. V roce 2009 SAE přišla s revizí zahrnující změnu tvaru konektoru na oválný designu Yazaki. Tento konektor je zanesen do normy IEC 62196-2 jako typ 1 pro jednofázové AC nabíjení.

Konektor obsahuje 5 kontaktů, 2 silové kontakty a uzemnění, dále 2 signálové kontakty kompatibilní s normami IEC 61851-2001 / SAE J1772-2001 pro zajištění kontroly připojení a vzájemné komunikace.

Standard SAE J1772-2009 zahrnuje pouze mechanickou specifikaci konektoru SAE J1772-2001, nikoliv harmonizaci s napájecími úrovněmi nabíjecích módů dle návrhu CARB. Level 1 je specifikován na napětovou úroveň 120V běžnou pro USA a Japonsko a na 220 – 240V ve většině světa. Norma IEC 62196 nezahrnuje nižší napětí, v USA může být provozován konektor i dvoufázově 208 – 240V. Level 3 určený pro DC nabíjení není použit v normě IEC 62196-2 nebo J1772-2009.

Originální standard SAE J1772-2009 popisuje rozmezí napájení od 120 V 12 A/16 A do 240 V 32 A/80 A, specifikace podle normy IEC 62196 pro typ 1 popisuje pouze úroveň 250V při 32A/80A. Použití 80A u typu 1 je použito pouze v USA.[24][25][27]



Obr. Č. 23: SAE J1772-2009 / Yazaki (Typ 1) konektor <sup>17</sup>

<sup>17</sup> CARSTATIONS.COM [ONLINE]. 2011 [CIT. 2012-05-05]. SAE J1772-2009 ELECTRIC VEHICLE CHARGERS. DOSTUPNÉ Z [HTTP://CARSTATIONS.COM/TYPES/J09](http://CARSTATIONS.COM/TYPES/J09)



### SAE J1772 Yazaki/Rema Combo1

Kombinovaný konektor SAE J1772 Combo1 je úpravou jednofázového AC konektoru umožňující DC nabíjení pomocí přídatných kontaktů v jednom pouzdře. Pro nabíjení jsou použity kontakty pro zabezpečení spojení a komunikaci dle IEC 61851–2001 / SAE J1772-2001 spolu s uzemňovacím kontaktem z AC konektoru. Přídatné kontakty jsou schopny přenášet proud do 200A dle potřeb DC nabíjení Level 2. Tento konektor je stále pouze ve stadiu konceptu a není k dispozici. Konektor by mohl pracovat s napětím až 600V a proudem do 200A.[28]



Obr. č. 24: SAE J1772-2009 Combo1 konektor [49]



Obr. č. 25: SAE J1772-2009 Combo1 konektor [49]

### Mennekes (Typ 2)

Specializovaný konektor Mennekes firmy Mennekes vznikl úpravou konektoru CEEplus výhradně pro nabíjení VEV a HEV. Elektrické zapojení konektoru je shodné s konektorem CEEplus, došlo u něj k výrazným úpravám ergonomie a k přidání nových bezpečnostních prvků. Vlastní konektor je navrhnut tak, aby byly jednotlivé kontakty jak v zástrčce tak i v zásuvce od sebe izolovány z důvodu možného budoucího provozu v rámci Smart grids.

Pouzdro konektoru je přímo uzpůsobeno pro manipulaci jednou rukou, vlastní tvar zástrčky a zásuvky jasně určuje směr zapojení. Z elektrického hlediska nejsou potřebné žádné ochranné krytky, pro venkovní použití je u zásuvek použito krytí krytkami. K zajištění konektoru a navázání komunikace mezi vozidlem a stanicí dochází již automaticky.

Konektor Mennekes je uzpůsoben pro provozní proudy až 63 A při průřezu fázového vodiče 16 mm<sup>2</sup>, které budou použity jako pevné přívodní kabely u veřejných stanic. Palubní nabíjecí kabely jsou uvažovány pro proudy do 32 A s průřezem

vodičů 6 mm<sup>2</sup>. Toto rozdělení dle průřezu je uplatněno z důvodu finanční nákladnosti jednotlivých kabelů. Pro rozlišení možného proudového zatížení připojeného kabelu se uvažuje o elektrické identifikaci pomocí odporu mezi signálními kontakty přímo v konektoru.

Konektor je zabezpečen elektrickým a elektromechanickým zámkem. Elektrický zámek působí v případě, že není konektor připojen do adekvátní zásuvky a není navázán kontakt, konektor se tak jeví jako odpojený. Pokud je konektor připojen k vozidlu a je navázána komunikace dojde k jeho oživení. Elektromechanický zámek slouží k zajištění konektoru proti nedovolenému odpojení v průběhu nabíjení. K aktivaci zámku dochází automaticky v okamžiku, kdy je napájecí konektor pod napětím, a konektor od tohoto okamžiku nelze mechanicky odpojit. Odpojit kabel jde v okamžiku ukončení nabíjení, nebo v případě pokynu od řidiče odpojovacím tlačítkem na v interiéru vozidla.

Konektor Mennekes byl schválen většinou evropských zemí a jeho prosazení je podporováno všemi velkými německými automobilkami. Nedostatkem tohoto konektoru je absence provozních krytů kontaktů, jako má například konektor AVCON či Scame, to v současnosti zabraňuje jeho přijetí např. ve Francii a Itálii, kde jsou provozní kryty nutným prvkem na straně nabíjecí infrastruktury.[24][25][29]

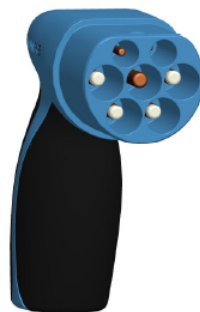
#### Mennekes Combo2

Podobně jako SAE J1772 Combo1 je Mennekes Combo2 úpravou konektoru typ 2 pro DC nabíjení pomocí přídatných kontaktů v jednom pouzdře. Tyto kontakty mají být schopné přenášet proudy až do 200A a napětí 800V.

V rámci harmonizace je snaha o udržení podobnosti mezi SAE a IEC combo konektory, oba jsou v současnosti ve stadiu konceptu a nejsou uvolněny na trh.[28][30]



Obr. č. 26: Mennekes (Typ 2) konektor



Obr. č. 27: Mennekes Combo2 konektor [28]

### Scame (Typ 3)

Konektor Scame byl vyvinut sdružením EV plug Alliance, které bylo založeno velkými výrobci komponent v oblasti elektroenergetiky, kabelů a konektorů a malosériovou automobilkou Ventury. Konektor splňuje normy IEC 61851 a IEC 62196-1 a je plně elektricky kompatibilní s konektory CEEplus a Mennekes. Oproti těmto konektorům má však výrazné mechanické zabezpečení kontaktů proti doteku.

Základem konektoru je ochranný mechanismus kontaktů na bázi konektoru Scame IEC309. Konektor je standardizován v jednofázové variantě pro odběry do 3 kW a v třífázové variantě pro odběry nad 3kW. Jednofázová varianta 3 A dovoluje pomocí redukce nabíjení ze standardní sítě v MODU 1. Třífázová varianta 3C je sdružením EV plug Alliance prosazována jako jediné řešení konektoru na straně zdroje z důvodu jejího vysokého zabezpečení proti vniku nedovolených předmětů. Konektor Scame není zabezpečen proti odpojení během nabíjení, lze jej ale odpojit pod zátěží až do 32 A.

Konektor Scame přináší velmi vysoký stupeň ochrany proti úrazu elektrickým proudem díky sofistikovanému způsobu zabezpečení pomocí posuvných krytek. Stejně jako v případě konektoru Yazaki a Mennekes je v MODU 1 dovoleno nabíjení proudy do 16 A, v MODU 3 ale Scame dovoluje nabíjet pouze 32 A. Omezení proudu bylo zvoleno kvůli snížení nákladů na cenu kabelů a celkovou nabíjecí infrastrukturu.

Přes nezpochybnitelné přednosti v oblasti bezpečnosti konektoru je budoucí použití konektorů Scame ve veřejné infrastruktuře velmi nejisté, protože nabíjení v MODU 3 je podmíněno odpojením silových kontaktů, pokud není připojeno vozidlo a navázána komunikace, v tomto případě odpadá nutnost mechanické ochrany kontaktů. Výhodné je použití v případě jednoduchých nabíjecích stanic v MODU 2.

ACEA doporučuje u nových vozidel vyrobených v Evropě použití konektoru typ 2 v MODU 3 jako jednotného řešení do roku 2017. Celosvětově by vozidla měla být vybavena konektory typu 1 nebo typu 2, stávající infrastruktura s konektory typu 3 může být používána s kabely Typ 2/Typ 3 pro pomalé nabíjení do 3,7 kW. Rychlé nabíjení (od 3,7 do 43 kW) je možné jen pomocí konektoru typ 2 v MODU 3 a DC pomocí COMBO2 konektoru a to i přesto, že AC část byla postavena pro typ 1.[24][25]





Obr. č. 28: Scame 3A (Typ 3) konektor<sup>18</sup> Obr. č. 29: Scame 3C (Typ 3) konektor<sup>19</sup>

### JEVS G105-1993 CHAdeMO

Název tohoto konektoru je přímo převzat ze standardu JEVS G105-1993 pro rychlé dobíjení pomocí DC firmy Tepco. Komerční název je odvozen od anglického slovního spojení „CHArge de MOve“, přeloženo nabití pro pohyb.

Tento způsob nabíjení je v současnosti nejvíce preferován v Japonsku a začíná se prosazovat i v dalších zemích, protože jeho použitím se extrémně zkracuje doba nabíjení akumulátorů.

CHAdeMO konektor je konstrukčně zcela odlišný od všech ostatních speciálních konektorů a používá i zcela odlišné komunikační signály. V Koreji byl převzat standard CHAdeMO, ale je použit odlišný tvar konektoru. Tento standard pracuje na napěťové úrovni 600V s proudem až 200A.[28][25][27]

### China DC

Další standard DC nabíjení, tento konektor je podobě jako CHAdeMO zcela odlišný od ostatních speciálních konektorů. Je u něj použito odlišné konstrukční uspořádání spolu s vlastním komunikačním protokolem. Tento konektor může fungovat na napěťové úrovni 750V a proudem 250A.[28]



Obr. č. 30: JEVS G105-1993 / CHAdeMO Tepco konektor [27]



Obr. č. 31: Korejský CHAdeMO konektor [28]



Obr. č. 32: China DC konektor [28]

<sup>18</sup> Scame.com [online]. 2012 [cit. 2012-01-30].

Dostupné z <http://www.scame.com/DocumentiEsterni/Images/Articoli/zoom/20003243.jpg>

<sup>19</sup> Scame.com [online]. 2012 [cit. 2012-01-30].

Dostupné z <http://www.scame.com/DocumentiEsterni/Images/Articoli/zoom/20033233.jpg>

Tab. 3: Porovnání napájecích konektorů

	Proud [A]	Napětí [V]	Výkon [kW]	AC/DC	MODE	Norma	Dostupnost
AVCON	40	240	6	AC	1, 2, 3	SAE J1772 – 2001	ukončen
Ceeplus	32	230 – 400	22	AC	1, 2, 3	IEC 62196 – 2	V prodeji
Yazaki Typ 1	32	110 – 230	7,2	AC	1, 2, 3	SAE J1772 – 2001/IEC 62196–2	V prodeji
Mennekes Typ 2	63	110 – 500	43,5	AC	1, 2, 3	IEC 62196 – 2	V prodeji
Scame Typ 3	32	110 – 500	22	AC	1, 2, 3	IEC 62196 – 2	V prodeji
CHAdEMO	200	600	120	DC	4	JEVS G105 – 1993	V prodeji
China AC	32	220	7,4	AC	-	vlastní	V prodeji
China DC	250	750	187	DC	-	Vlastní	V prodeji
Yazaki combo1	200	600	120	AC/DC	1, 2, 3, 4	IEC 62196 – 3	Prototyp
Mennekes DC	200	800	160	AC/DC	1, 2, 3, 4	IEC 62196 – 3	Prototyp

**MODE 1 – běžný napájecí konektor**

U tohoto způsobu nabíjení je jako ochranný prvek použito vlastní uzemnění zásuvky, dále jističe a případně proudového chrániče. V současnosti a nejspíše i výhledově se bude jednat o nejrozšířenější způsob dobíjení v soukromé sféře. Protože u tohoto způsobu nabíjení není přítomná žádná komunikace mezi zdrojem (standardní síťová zásuvka) a vozidlem, je nabíjecí proud omezen na 16A při napětí do 250V nebo 480V třífázově.

Problémem může být nedostatečný jistič, nepovolující tak velké proudové zatížení. Kvůli absenci uzemnění v elektrických rozvodech je MODE 1 zakázaný v USA a je zde nutné použít speciální kabel v MODU 2.

**MODE 2 – běžný konektor s kabelovou nebo konektorovou ochranou**

MODE 2 umožňuje nabíjení ze standardní zásuvky, která nemusí zajišťovat uzemnění obvodu (např. v USA), bezpečnostní funkce zde zajišťuje speciální box, který je součástí kabelu. Box smí být umístěn maximálně 0,3m od zásuvky nebo od konektoru vozidla, pokud není přímo součástí některého z konektorů.

Zajištěním verifikace správného připojení konektoru dle IEC 61851-1 do vozidla je umožněno využít pro nabíjení vyšší nabíjecí proudy až do 32A při napětí do 250V jednofázově nebo 480V třífázově.

**MODE 3 – specializovaný konektor**

Vyžaduje již speciální kabel a konektor pro nabíjení VEV s přídatnými komunikačními kontakty. Přídatné kontakty zajišťují komunikaci mezi vozidlem a nabíječkou, ověřuje se správnost připojení kabelu. Napájecí část konektoru je bez ověření připojení bez napětí. Pomocí kabelu je dále provedeno bezpečné uzemnění celého obvodu. Zajištění komunikace mezi zdrojem a vozidlem je předpokladem pro budoucí začlenění do konceptu smart grids.

Protože není zaručeno, že palubní nabíjecí kabel vozidla bude umožňovat nabíjení pomocí proudu 63A jako veřejná nabíjecí stanice, je nutné zajistit rozpoznání typu kabelu a dovolenou úroveň nabíjecího proudu.

Rozlišují se tři výkonové úrovně nabíjení dle použitého proudu. Pomalé nabíjení pomocí 16A, polorychlé nabíjení pomocí 32A a rychlé nabíjení vysokými proudy do 63A.

## MODE 4 – stejnosměrné dobíjení

Nabíjení pomocí stejnosměrného proudu a napětí je možné pouze při použití speciálních externích nabíjecích stanic, které jsou trvale připojeny k AC zdroji. Tato zařízení jsou v současnosti stále velice drahá pro výraznější rozšíření např. pro soukromou sféru. Tento způsob nabíjení umožňuje použití nabíjecích proudů až 400A. Celkový čas nabíjení tak dosahuje řádu minut.[24][25]

## 2.2 Mimoměstský provoz

VEV a HEV jsou výhradně uvažována jako vozidla pro městský a příměstský provoz, přesto je nutné uvažovat i mimoměstský provoz. Jak bylo popsáno výše v kapitole 2.1, provoz VEV a HEV je neekonomičtější a nejefektivnější v nízkých rychlostech a především v dynamickém režimu jízdy. V případě dlouhodobé jízdy konstantní rychlostí je konvenční ICE provozně výhodnější.

Z pohledu mimoměstského provozu není v případě HEV výraznější rozdíl oproti konvenčnímu pohonu s ICE. V případě vybití baterie nebo dosažení určité rychlosti se ICE stává hlavním výkonovým zdrojem pro pohonný řetězec HEV (bereme v úvahu i případ sériových hybridů, kdy motor není mechanicky připojen k hnacímu řetězci) a hlavním energetickým zdrojem se stávají opět fosilní paliva, která lze snadno načerpat u běžné benzínové pumpy.

Mimoměstský provoz je největším problémem v oblasti VEV, kde je jízdní dosah vozidla limitován kapacitou palubních akumulátorů. Řešení tohoto problému je jednou z hlavních oblastí zájmu vývoje v oblasti VEV. V současnosti není dán jednoznačný směr a je tak kromě rapidního vývoje v oblasti samotných trakčních akumulátorů hledáno i technické řešení, které je možné u VEV možné nasadit v nejbližší době.

### 2.2.1 Dobíjení u benzínových pump

Konvenční vozidla a HEV je možné provozovat v mimoměstském provozu díky rozsáhlé síti benzínových stanic bez výrazných omezení. V případě VEV je jednou z variant mimoměstského provozu nabíjení u benzínových pump jakožto analogie k tankování fosilních paliv. Problémem dobíjení akumulátorů na rozdíl od klasického tankování je ale výrazně odlišný časový interval potřebný pro nabití trakčních akumulátorů.

Podle výše popsaných modů nabíjení je pro potřeby dostatečně rychlého nabíjení je nejlepší současnou variantou MODE 3 s proudem do 63A nebo MODE 4. MODE 3 by umožnil vozidla nabít v intervalu nejdéle 1 hodiny, kterou lze považovat za akceptovatelnou z pohledu uživatele. V případě DC nabíjení v MODE 4 se časový interval nabíjení výrazně zkracuje.

Problémem takto rychlých nabíjení je omezená výkonová kapacita elektrického vedení, ke kterému je daná dobíjecí stanice připojena, to nebylo a v současnosti stále není dimenzováno na takto vysoké odběry. Dále počet nabíjecích míst u dané stanice, kde se zvýšeným počtem připojených vozidel dochází ke snížení nabíjecího výkonu po jednotlivá vozidla a dochází k prodlužování doby nabíjení.

Při stávajícím stavu přípojné sítě je nejsnazším řešením omezení nabíjecích míst. V případě posílení napájecí sítě je možné zvýšení počtu nabíjecích pozic nebo zabezpečení dostatečného výkonu pro omezený počet míst.

Uvažované zrychlené a velmi rychlé nabíjení je ale předpokládáno jako minoritní. Nabíjení velmi vysokými proudy představuje poměrně velké zatížení akumulátoru a může se negativně podepsat na jejich celkové životnosti. Navíc rychlé druhy nabíjení budou nejspíše výrazně zpoplatněny oproti standardnímu nabíjení. Z těchto důvodů se nepředpokládá výraznější zatížení přenosové sítě.[8]

### 2.2.2 Výměna baterií

Rychlé nabíjení, při se současném stavu rozvodné sítě a technologií akumulátorů, není ideálním řešením problému časově únosného nabíjení. V případě VEV bylo již na počátku 20. století využíváno mechanické výměny vybitých akumulátorů za nabitě během zastávky. To bylo mnohonásobně rychlejší než nabíjení vybitých akumulátorů.

Výměna baterií by mohla být velice efektivním řešením prodloužení dojezdu VEV. Z vozidla by na specializovaných stanovištích byl mechanicky vyjmut vybitý „battery pack“ a nahrazen novou nabitou sadou během doby kratší, než poskytuje v současnosti zrychlené nebo rychlé nabíjení. Vybité akumulátory by následně byly připojeny k nabíjecí stanici s pomalým režimem nabíjení. To by se mělo projevit nižším elektrickým zatěžováním bloků a snížení zatížení přívodního vedení ke stanicím oproti klasickým nabíjecím stáním.

Problémem tohoto řešení je několik. V případě, že nejsou akumulátory pevnou součástí vozidla, je velice problematická otázka jejich vlastnictví. Nejméně

komplikovaná je možnost pronájmu akumulátorů. V případě, že není uživatel vozidla majitelem akumulátorů, nebude zaručeno, že je nebude nadměrně elektricky zatěžovat či provozovat v nevyhovujícím režimu a prostředí.

Dalším problémem je konstrukce samotného VEV, kde musí být zajištěna snadná přístupnost akumulátorů a jejich jednoduchá demontáž. V současnosti jsou kvůli svým rozměrům akumulátory velice často rozmístěny na více místech ve vozidle kvůli ovlivnění chování vozidla rozložením hmotnosti. Navíc by pro snazší provoz musely být sjednoceny tvary „battery packů“, aby bylo možné zajistit záměnu mezi různými typy vozidel.

Projekt výměny akumulátorů byl zahájen ve městech Tokio a San Francisco, podílejí se na něm výrobci vozidel GM, Renault, Nissan, Tesla a Fiat. Velkou úlohu v projektu má firma Berger Place se svými cíly: nulových emisí (solární a větrné elektrárny), budování nabíjecích a výměnných stanic spolu s rozvojem VEV. Jednou ze zemí, která se zasazuje o výrazný rozvoj elektromobility je Izrael, který se tak snaží snížit závislost na státech vyvážející ropu.[8]



Obr. č. 33: Výměna baterie<sup>20</sup>

### 2.2.3 Extendéry dojezdu

Doposud popsané způsoby prodloužení dojezdu jsou založeny na externím zdroji energie. Dojezdové vzdálenosti lze zvýšit také konstrukčně implementací ICE do pohonného řetězce VEV, které se v této konfiguraci nazývá anglicky E-REV, neboli elektrické vozidlo s rozšířeným dojezdem.

<sup>20</sup> Motortrend.com [online]. 2010 [cit. 2012-01-30]. Chinas-better-place-chery-sign-agreement-to-codevelop-ev-tech. Dostupné z <http://wot.motortrend.com/chinas-better-place-chery-sign-agreement-to-codevelop-ev-tech-7461.html>

E-REV vozidla je již velice komplikované označovat jako VEV, ačkoliv je stále primární EP, a spíše jsou řazena k HEV, uspořádáním se může jednat o paralelní, sériové či kombinované uspořádání. Díky konstrukční jednoduchosti je výhodnější sériové uspořádání, kdy ICE slouží pouze jako generátor a nemá mechanickou vazbu na hnanou nápravu. Při běhu ICE kryje energetické požadavky EP, přebytek výkonu slouží k nabíjení akumulátorů. V tomto režimu je provoz téměř shodný s provozem sériového hybridu. Byly již představeny i konstrukce, kde má ICE mechanickou vazbu na hnanou nápravu a ve vysokých rychlostech může plně převzít pohon vozidla, to je z pohledu účinnosti optimální řešení, ale s vyšší konstrukční složitostí.[31]

ICE používána pro tyto účely bývají tradičně o menším zdvihovém objemu než ICE použita pro samostatný pohon vozidel. Velikostně se jedná o malé a lehké jednotky, které v případě neaktivity hmotnostně příliš nezatěžují vozidlo a nezvedají tak spotřebu elektrického pohonu. Kvůli omezení velikosti a hmotnosti ICE se používají nejčastěji tří- a čtyřválcové jednotky, pro zvýšení účinnosti doplněny o přeplňování pomocí turba. ICE jsou pro potřeby E-REV naladěny na provoz v určitých otáčkách, v nichž dosahují nejvyšší účinnosti při nejmenší spotřebě.[32][31]



Obr. č. 34: Extendér dojezdu Lotus [32]

#### 2.2.4 Tankování vodíku

Doposud popsané způsoby dobíjení či rozšíření dojezdu se týkaly převážně VEV a HEV, kde je EP založen na galvanických akumulátorech. Pokud je výhradním zdrojem elektrické energie palivový článok, je nutno do vozidla tankovat příslušné palivo. V případě silničních vozidel s PČ se jedná převážně o vodík.

V případě VEV s PČ není převážně potřeba dobíjet palubní akumulátory z externího zdroje, tyto akumulátory jsou nabíjeny během jízdy rekuperací a z energetického přebytku samotného článku.

Výhodou tankování vodíku je oproti standardnímu dobíjení akumulátorů výrazně kratší doba, která je pro jeho doplnění nutná. Osobního vozidla jsou natankována okolo 2 minut, velké vozidlo jako je autobus je možno natankovat za 10 minut. Ve spojení s vyšší dojezdovou vzdáleností těchto vozidel se jedná o nespornou provozní výhodu.[33]

Pro současný provoz je omezující malé množství vodíkových stanic. Ačkoliv při jejich provozování není výraznější bezpečnostní riziko v porovnání s ostatními palivy, je velice nákladné budování vodíkových zásobníků. V případě, že nelze stanici připojit k vodíkovému vedení nebo není přímo součástí výrobního závodu, je nutné vodík ke stanici přepravit a uložit.

U uskladnění a tankování stlačeného vodíku se potýkáme s tím, že pro zajištění uskladnění dostatečného množství vodíku potřebujeme relativně velké nadzemní zásobníky. Plynný vodík je v těchto zásobnících nejčastěji skladován při tlacích 25 – 36 MPa, plnicí tlak zásobníku je přibližně 40 MPa. Uskladnění pod takovým tlakem spotřebuje přibližně 30% energetické hodnoty uskladněného paliva.

Výroba, transport a uskladnění zkapalněného vodíku je v současnosti velice energeticky náročné. Pouze zkapalnění vodíku spotřebuje přibližně 40% energie uskladněného paliva, další energie je nutná pro udržení paliva pod bodem varu, tj. – 253 °C. To klade extrémní nároky na materiál a izolační schopnosti nádrží. Přesto, oproti stlačenému vodíku při tlaku 70 MPa a stejném objemu nádrže kapalný vodík poskytuje až o 75% více energie při tlaku 0,2 – 0,5 MPa.[10]



Obr. č. 35: Vodíková stanice<sup>21</sup>

### 2.3 Trendy v řešení nabíjení

Nabíjení elektromobilů je velmi živým tématem. Není stále přesně definováno, zda je elektrická síť dostatečně robustní pro přenášení potřebných nabíjecích výkonů, o kolik se přesně zvedne úroveň požadovaného výkonu a jaké zdroje budou nutné pro pokrytí těchto výkonových odběrů.

Momentální situace nám dovoluje pouze odhadovat chování uživatelů VEV a plug-in HEV s ohledem na nabíjení vozidel. Pro rozvodnou síť představují elektromobily stále pouze spotřebič, který odebírá poměrně velký výkon ze sítě. V jednotkovém počtu vozidel spolu s jejich malou koncentrací v jedné lokalitě, nepředstavují výrazné zatížení přenosové sítě. Problém přenosové sítě je malá a pomalá flexibilita z pohledu velkých odběrů, kterými VEV a plug-in HEV ve velkém počtu v dané lokalitě bezpochyby jsou. Řešení se stále častěji hledá v nové struktuře přenosové sítě, tzv. Smart grids.

#### 2.3.1 Smart grids

Smart grids a smart metering jsou velice často frekventované pojmy v oblasti energetiky a společně jsou velice důležitými předpoklady pro budoucí efektivní rozšíření provozu VEV a plug-in HEV. Slovo smart neboli inteligentní zde znamená schopnost efektivního řízení a vzájemné komunikace mezi zdroji a spotřebičem.

<sup>21</sup> *denik.obce.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-02-25]. První vodíková stanice v ČR otevřena v areálu Veolia Transport v rámci projektu provozu vodíkového autobusu TriHybus. Dostupné z <http://denik.obce.cz/clanek.asp?id=6401293>

### **Smart grids = Inteligentní síť**

„Inteligentní síť jsou silové elektrické a komunikační sítě, které mají umožnit řídit výrobu a spotřebu elektrické energie v reálném čase, a to jak v jednotlivých lokálních centrech, tak i v globálním měřítku. V přeneseném slova smyslu se jedná síť umožňující „interaktivní obousměrnou komunikaci“ výrobních zdrojů a spotřebičů o aktuálních možnostech výroby a velikosti spotřeby el. energie“[34]

Současná struktura energetické sítě je založena na centralizovaných zdrojích, jako jsou především velké tepelné elektrárny, spolu s přenosovou a rozvodnou sítí. Pro inteligentní síť je charakteristické decentralizované rozložení výkonu a řízení, to je základ pro vznik virtuálních elektráren, které budou sloužit k pokrytí energetické potřeby spotřebičů v jejich blízkosti a ke snížení zatížení přenosové sítě. Inteligentní síť mohou dále řídit dle potřeby energetické toky i směrem do rozvodné sítě a flexibilně měnit charakteristiku sítě až po možnost ostrovního režimu.

„Virtuální elektrárny jsou „volná seskupení“ lokálně rozmístěných (tj. decentralizovaných) malých výrobních jednotek využívajících nejrůznější místně dostupné alternativní zdroje energie (tj. diverzifikovaných z hlediska zdrojů). Virtuální elektrárny jsou prostřednictvím inteligentních sítí centrálně řízeny v rámci jednotné elektrické soustavy. Z hlediska el. soustavy se „virtuální elektrárny“ tedy chovají jako „klasické“ výrobní jednotky většího výkonu.“[34]

### **Smart metering = Inteligentní odečet**

Základem smart grids je schopnost vzájemné komunikace mezi zdrojem a spotřebičem, současná komunikace je pouze jednostranná od zdroje směrem ke spotřebiteli, např. signál HDO. Pro zajištění vzájemné komunikace je potřeba na stranu spotřebitele nahradit tradiční elektroměr inteligentní variantou umožňující vzájemnou komunikaci.

Vzájemná komunikace je velice důležitá z důvodu kontroly spotřeby a výroby energie. Současné řízení spotřeby elektřiny je predikováno na základě údajů z předcházejících let pomocí ročních odběrových diagramů. Problémem je tedy malá flexibilita na nárazové změny v odběru, které nelze predikovat.

Aktuálně se tento problém projevuje např. s rapidním růstem instalovaného výkonu FVE a VTE, kde není možno zajistit stabilní výkon v čase. Pokud dojde ke snížení nebo úplnému výpadku dodávaného výkonu, je provozovatel sítě nucen zajistit požadovaný výkon z jiného stabilního zdroje. Na straně spotřeby je z pohledu

odběrových diagramů komplikující velké rozšíření klimatizací, jež představují velký výkonový odběr v letních měsících, v nichž byl v minulosti minimální odběr.

Nabíjení VEV a plug-in HEV představuje z časového hlediska další velké energetické odběry a nezapadá do současného způsobu řízení sítě a mohlo by způsobit nestabilitu sítě i její úplný výpadek elektrické sítě.

Inteligentní elektroměry díky komunikaci s nabíjecí stanicí a s dodavatelem elektrické energie zajistí, že bude elektromobil připojen do sítě v okamžiku, kdy je to pro síť a dodavatele výhodné (regulováno pomocí progresivních tarifů), pro jeho nabíjení může být zvolen místní zdroj energie (pokud je přítomen, např. vlastní FVE).

Jednou z posledních možností je, že energie z akumulátorů vozidla může téct také obráceně, tedy do sítě a pomoci tak s její stabilizací a elektroměr by přesně informoval o množství přenesené energie. Pokud dodavateli stačí energie, kterou má k dispozici

a nemusí zajišťovat záložní zdroje, stává se výroba a řízení mnohem efektivnější a levnější.[35][36]

### 2.3.2 Autonomní nabíjecí stanice

Provoz VEV a plug-in HEV v čistě elektrickém režimu je pro oblasti, kde není dostatečně robustní přenosová síť, poměrně komplikovaný. Jestliže není uvažováno o posílení dané části sítě, které je v mnohých případech i nereálné, je možné použití autonomních nabíjecích stanic, kde jako zdroj energie pro nabíjení slouží jeden či více OZE ve spolupráci se stacionární staniční baterií. OZE v okamžiku svého provozu nabíjí stacionární baterii, která posléze slouží jako zdroj pro nabíjení vozidel a zajišťuje stabilní nabíjecí výkon v čase.

Toto uspořádání je např. vhodné a reálně využitelné u krytých parkovacích míst, kdy střecha parkoviště slouží zároveň jako platforma pro solární články. FVE ve spolupráci s rozvodnou sítí slouží k nabíjení zaparkovaných vozidel, protože není možné zajistit potřebný nabíjecí výkon z omezené plochy článků.

Obr. č. 36: Autonomní nabíjecí stanice<sup>22</sup>

### 2.3.3 Bezkontaktní dobíjení

Bezkontaktní dobíjení je založené na interakci nabíjecích cívek skrze elektromagnetickou indukci.

První použití bezkontaktního dobíjení v oblasti VEV bylo použito již v 90. letech u vozidla GM EV1, kde byla interakce nabíjecích cívek uskutečněna pomocí bezkontaktního konektoru. Nabíjecí cívka zdroje zde byla součástí zástrčky, která se při nabíjení zasouvala do zdířky ve vozidle. Výhodou tohoto uspořádání bylo snadné zajištění bezpečnosti díky absenci vodivých kontaktů a plné funkčnosti i při zaplavení konektoru vodou, například při dešti.

Obr. č. 37: Bezkontaktní konektor Magma<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Metrohippie.com [online]. 2010 [cit. 2012-02-25]. Dostupné z <http://www.metrohippie.com/phv-4-twenty11/>

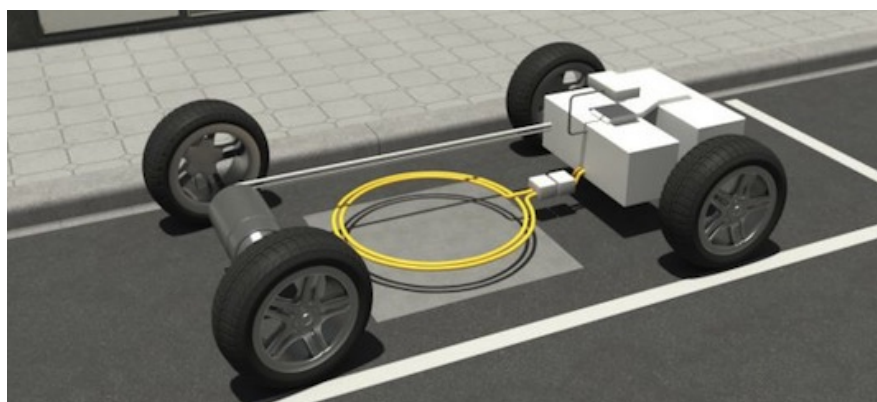
<sup>23</sup> Eanet.com [online]. 2010 [cit. 2012-02-25]. <http://www.eanet.com/ev1-club/evpics/paddles.jpg>

Současné řešení bezdrátového nabíjení je zaměřeno na umístění nabíjecích cívek do podlahy vozidel a parkovacích či garážových stání. Toto uspořádání dovoluje nabíjení bez jakékoliv další manipulace s vozidlem, či externím nabíjením v podobě kabelů, což zvyšuje komfort při provozu VEV a plug-in HEV. Provozními pokusy bylo dosaženo celkové účinnosti nabíjení až 90%. [37]

Při současném stavu technologií mají dnešní řešení bezdrátového nabíjení množství nedostatků a nevyřešených souvisejících podproblémů. Pro správnou funkci nabíjení je nutná správná pozice nabíjecích cívek, ta může způsobovat problémy při parkování vozidla. Technickým řešením může být detekce správné pozice v rámci funkce parkovacího asistenta.

Dalším řešením je úprava pevné nabíjecí cívky. V případě zvětšení velikosti této cívky je zajištěno, že i při nesprávném zaparkování budou cívky dostatečně překryté, ale ovšem za cenu snížené účinnosti nabíjení. Pro zvýšení účinnosti je naopak výhodnější nabíjecí cívku umístit na pohyblivou platformu, která v okamžiku zahájení nabíjení zmenší vzájemnou polohovou odchylku cívek a zmenšení vzduchové mezery zajistí zvýšení účinnosti.

Dále nastává během nabíjení problém s komunikací mezi stanicí a vozidlem, která je normálně zajištěna skrze nabíjecí konektor. S tím souvisí i problematika řešení nabíjení. Z praktického hlediska je tedy stále výhodnější kontaktní nabíjení, dokud nebudou vyřešeny tyto zásadní problémy.



Obr. č. 38: Řešení nabíjecích cívek Mercedes Benz [37]

### 2.3.4 Výroba vodíku

V oblasti použití palivových článků je právě použití vodíků jeden z největších problémů pro jejich nasazení. Vodík je jako palivo prozatím nejekologičtější zdroj energie.

Problém jeho nasazení spočívá především v jeho obtížné výrobě, transportu a uskladnění.

Oblast získávání plynného vodíku je založena na jeho výrobě, protože se v čisté formě vodík na Zemi nevyskytuje. Průmyslová výroba je především založena na reformingu zemního plynu s 48% roční produkce, následuje výroba z ropných frakcí a zplynování uhlí. Výroba pomocí elektrolýzy dosahuje pouze 4% produkce.

Pro budoucí výrobu je velice důležité nalézt nové levnější a efektivnější řešení, jako je využití solární energie ve formě elektřiny a především tepla. V neposlední řadě je velice optimisticky hleděno na způsoby výroby pomocí řas, mikroorganismů a zpracování biomasy. Tyto procesy jsou z energetické hlediska jedny z nejefektivnějších.

Pro provoz vozidel využívajících vodík je velice podstatná samotná čerpací infrastruktura. Mimo výroby a uskladnění vodíku je podstatný i transport plynu, protože průmyslová výroba plynu je a bude vždy koncentrována v určitých oblastech. Jak již bylo popsáno v části věnované tankování vodíku, je možné distribuovat vodík tlakovým potrubím. Pro transport vodíku na delší vzdálenosti se využívají tradiční prostředky přepravy – kamionové soupravy a transportní lodě.

Tlakové potrubí je poměrně vhodné řešení pro distribuci vodíku pro blízké okolí výrobního závodu, problémem jsou vyšší provozní nároky na dané potrubí a otázka bezpečnosti. Transport jakéhokoliv stlačeného plynu je poměrně neekonomické na větší vzdálenosti. Při srovnání se zkapalněným plynem při stejné váze soupravy přepravíme přibližně desetinu objemu plynu. Zkapalněný plyn je tedy z pohledu transportu nejefektivnější, problémem je, že vodík musí být udržen pod bodem varu, tj.  $-253^{\circ}\text{C}$ . Zkapalnění a uchování vodíku na této teplotě je energeticky velice náročné.

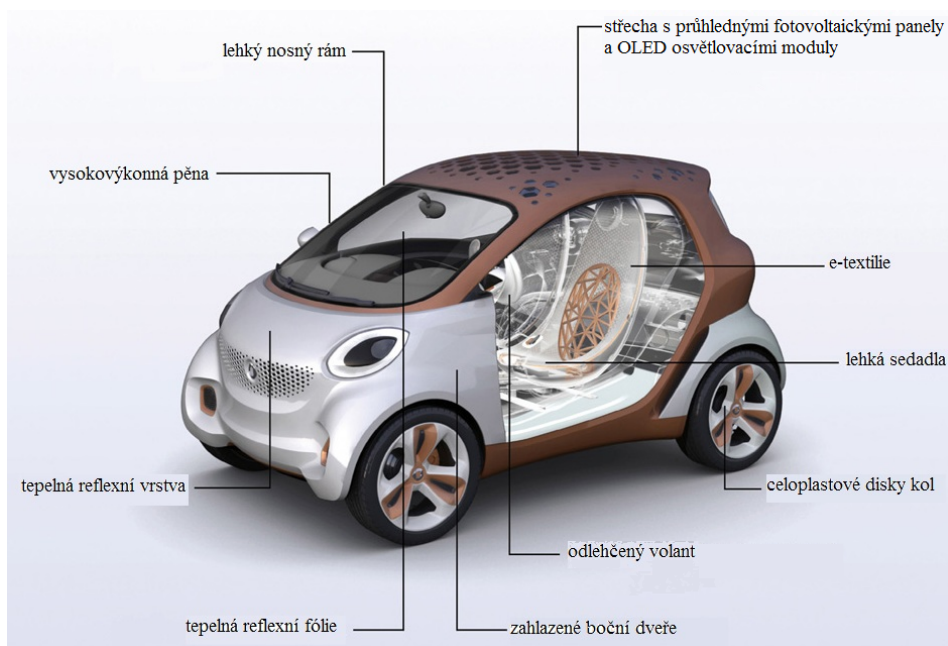
Budoucí nádrže budou nejspíše založeny na alternativních materiálech jako jsou hydridy různých kovů, uhlíkaté struktury a chemické vázání vodíku. Uložení v hybridech kovů nyní dovoluje zadržet 2 – 4 hmotnostní procenta vodíku, problémem je ale disociační teplo, při kterém daný hydrid uvolňuje vodík. S nárůstem dodávaného tepla se snižuje efektivnost uložení vodíku. Uhlíkové struktury by mohly být schopny uskladnit až 70 hmotnostních procent vodíku. Většina těchto nových technologií je ve stavu výzkumu a vývoje sloužící k demonstračním účelům a nekomerčnímu použití.[1][8]

### 3 Nové trendy v konstrukci vozidel

Konstrukce současných sériových VEV a HEV je až na jisté odlišnosti shodná s konvenčními vozidly dané kategorie. U sériových VEV a HEV využívající elektrochemické zdroje je konstrukční upořádání těžší než konvenční ekvivalent. Hmotnostní nárůst klade vyšší nároky na pohonný řetězec a zvyšuje spotřebu energie.

Konstrukce VEV a konvenčních vozů s ICE se na počátku 20. století vyznačovala malou konstrukční hmotností výhodnou pro každý druh pohonu a pouze malou cestovní rychlostí, které musely dosahovat. V této situaci mohl EP konkurovat ICE i přes nedostatečné parametry olovených akumulátorů. S nárůstem cestovních rychlostí a celkové velikosti a hmotnosti vozidel, způsobené zvýšenými nároky na poskytování pasivní bezpečnosti, se stala tato konstrukční řešení nevýhodná pro nasazení EP.

Pro dosažení optimálních podmínek pro daný pohon využívající elektrochemické zdroje je nutné poupravit náhled na konstrukci vozidel. Konstrukce musí být přizpůsobena právě možnostem EP, jež nemůže při současném stavu vývoje akumulátorů plně konkurovat konvenčnímu ICE v oblasti dojezdu a výsledné ceně. Proto se kromě vývoje nových elektrochemických zdrojů se hledají i další alternativní cesty v konstrukci vozidel.



Obr. č. 39: Koncept VEV Smart ForVision<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Gizmag.com [online]. 2011[cit. 2012-02-25]. Smart ForVision investigates new materials. Dostupné z <http://www.gizmag.com/smart-forvision-concept-car/19694/>



### 3.1 Nové materiály

Automobilový průmysl je výrazně ovlivněn vedle vývoje v oblasti pohonu také konstrukcí samotných vozidel a použitých materiálů. V současné době se většina velkých automobilek zaměřuje na alternativních materiály použitelné v konstrukci vozidel s ICE tak s některým stupněm EP.

Vývoj v oblasti alternativních materiálů je směřován především na rozšíření používání plastů, slitin lehkých kovů, tepelných a zvukových izolačních hmot a alternativní způsoby spojování. Výsledkem použití těchto materiálů má být především snížení celkové hmotnosti vozidla a změna energetickou náročnost termomanagementu vozidel. Protože u VEV a HEV představují akumulátory velkou hmotnostní zátěž, přítomnou i po jejich vybití a tvořící tzv. mrtvou zátěž, otevírají nové lehké materiály cestu ke snížení negativního vlivu hmotnosti akumulátorů. Oblast samotného termomanagementu bude popsána v samostatné kapitole.

#### 3.1.1 Lehké materiály

Celková spotřeba vozidla je závislá nejen na jízdních podmínkách a dynamice jízdy, ale také na jeho technických parametrech, kde výrazným parametrem ovlivňujícím jeho spotřebu je právě celková hmotnost vozidel. V oblasti konvenčních vozidel s ICE nebyla provozní hmotnost příliš sledovaným parametrem, protože spotřebu bylo možné ovlivnit vývojem a naladěním motoru a stylem jízdy. V posledních letech ve snaze o výrazné snižování emisních limitů u silničních vozidel jsou hledány cesty, jak snížit spotřebu jiným způsobem, než pro automobilky neustále nákladným vývojem efektivnějších a úspornějších ICE.

Velké automobilky se tuto problematiku snaží částečně řešit procentuálním navýšením použití lehkých slitin a vysokopevnostní oceli, to má za následek udržení, či dokonce zvýšení tuhosti karosérií a tedy i pasivní bezpečnosti při dosažení snížení provozní hmotnosti vozidla. Vedle navýšení těchto kovových materiálů se v budoucnosti uvažuje s výrazným nárůstem použití plastových dílů karosérie a dalších prvků vozidla.

Příkladem může být nárazníková výztuha z materiálu Ultramid firmy Basf, který mající oproti klasickému kovovému řešení třikrát vyšší tuhost a absorpční schopnosti, přesto zajišťuje výrazně vyšší ochranu chodců. Materiál Ultramid TOP je použitelný na výrobu karosářských dílů a lze jej bez problémů lakovat. Varianty materiálu



Ultramid (TOP, Endurance) jsou vhodné pro široké spektrum aplikací, velice zajímavé bylo jeho použití i pro vytvoření celoplastových disků kol, jež byly o 30% lehčí, než srovnatelné disky z lehké slitiny, výsledná úspora hmotnosti činila 12 kg.



Obr. č. 40: Celoplastové disky kol firmy Basf<sup>25</sup>

Důvodem pro zvýšení používání plastů oproti kovovým slitinám u karosářských dílů je jejich malá měrná hmotnost, která činí  $1000 - 2000 \text{ kg/m}^3$  ve srovnání se  $7850 \text{ kg/m}^3$  u běžné oceli či hliníku  $2700 \text{ kg/m}^3$ . V případě ICE znamená každých 100 kg úsporu přibližně 0,4 l/100km.

Navíc pro zpracování plastů postačuje mnohem nižší teplota ( $200 - 400 \text{ }^\circ\text{C}$  dle druhu plastu) oproti tavení oceli  $1350 - 1400 \text{ }^\circ\text{C}$  či hliníku  $658 \text{ }^\circ\text{C}$ . Díky tomu je dosaženo úspory energie již při samotné výrobě. U budoucích koncepcí vozidel se tak bude velice pravděpodobné použití nosné konstrukce z kovových slitin a velkých plastových karosářských panelů. Z pohledu ekologie přinášejí plasty mírné energetické úspory jak při výrobě, tak i při případné likvidaci, protože uvažované termoplasty jsou díky své chemické podstatě plně recyklovatelné a lze je opětovně použít při výrobě nových dílů.[38]

Vedle zvýšení aplikací nových plastových materiálů je viditelný zájem o používání i dalších lehkých nekovových materiálů. Nejvýznamněji se jeví použití kompozitních materiálů na bázi uhlíkových vláken, mezi něž patří i zmiňovaný Ultramid. Doposud proti jejich nasazení byla velmi vysoká cena, a tak byly významněji rozšířeny pouze v oblasti sportovních vozů. S rostoucím zájmem a zvyšováním jejich výroby bude mít cena pravděpodobně klesající tendenci. Tyto materiály se vyznačují

<sup>25</sup> Plasticsportal.net [online]. 2011[cit. 2012-03-12].

Dostupné z [http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en\\_GB/portal/show/common/plasticsportal\\_news/2011/11\\_448](http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/portal/show/common/plasticsportal_news/2011/11_448)

extrémními mechanickými vlastnostmi při velmi nízké vlastní váze, lze je tedy používat jako nosné a konstrukční prvky či výztuhy.

U konvenčních vozidel představují další hmotnostní zátěž odhlučňovací hmoty, které slouží k tlumení zvuku ICE a ostatních zvuků vnikajících do kabiny vozidla. V případě HEV, ale především VEV, je zvuk vlastního pohonu výrazně nižší, či dokonce nezatelný, významně slyšitelný je ve většině případů pouze aerodynamický šum, množství tlumících hmot tak může být výrazně omezeno.

### **3.1.2 Spojování materiálů**

S narůstajícím podílem nekovových materiálů použitých při stavbě vozidel a hlavně jejich karosérie je nutné používat odlišné typy spojování jednotlivých dílů. V současnosti převažují metody odporového svařování spolu s nízkým zastoupením lepených spojů.

#### **Odporové svařování**

U dnešních karosérií jsou nejčastěji používány metody odporového svařování (bodové, švové, výstupkové) pro spojování tenkých plechů.

Nevýhoda odporového svařování je závislost na parametrech spojovaných dílů, kdy velice záleží na síle plechů, jejich jakosti a povrchová úprava. Nejčastěji dochází k povrchové úpravě galvanickým nebo žárovým nanášením vhodného materiálu, např. zinku. Povrchová vrstva je v místě spoje ovlivněna zvýšenou teplotou při svařování, které může narušit její ochrannou funkci a zároveň povrchová vrstva může ovlivnit kvalitu výsledného sváru.

#### **Spojování lepením**

Technologie spojování lepením nachází stále větší uplatnění při stavbě hrubé karosérie, z důvodu neustále se zvyšujících požadavků na snižování hmotnosti výsledné karosérie za účelem zvýšení úspory paliva. Lepení je dále energeticky méně náročné oproti svařování. S rostoucím podílem nekovových materiálů použitých pro stavbu vozidel bude nutno nalézt způsob spojování dílů vhodný pro hromadnou dopravu zajišťující potřebné parametry spoje.

Oproti konvenčnímu spojování svařováním je lepením možno dosáhnout řady výhod:

- Úspora celkové hmotnosti při použití tenkých plechů
- Možnost nových montážních postupů
- Ochrana proti korozi, zachování povrchové úpravy
- Vytvoření tlumící vrstvy (omezení klepání a skřípání v místě spoje)
- Plošné uchycení zvyšuje pevnost a tuhost
- Spojovaná místa nepotřebují další začišťovací operace (vysoká kvalita vzhledu)
- Lepením vzniká zcela utěsněný spoj
- Lepidlo je elektroizolant, nemůže docházet k elektrolytické korozi (hrany dveří)

Vedle přímého použití lepidla je v místě spoje možné použití vyztužení kompozitní fólií v nejvíce exponovaných místech karosérie. Díky tomu jde dosáhnout výrazného zvýšení tuhosti spoje u tenkých materiálů při nízké hmotnosti a úspoře materiálu.[39]

### 3.2 Teplotní management

Největším spotřebičem elektrické energie VEV a HEV je vedle EP jednotka topení, popřípadě jednotka klimatizace. Jednotka klimatizace představuje velký spotřebič také u konvenčních vozidlech s ICE, kde při svém běhu má prokazatelně negativní dopad na spotřebu.

V případě závislého topení má ICE výhodu v možnosti využití vlastního odpadního tepla pro zajištění topení kabiny vozidla. Ačkoliv EM a akumulátory při svém provozu vytváří určité množství odpadního tepla, toto teplo je nedostatečné či velice komplikovaně získatelné pro zajištění topení ve voze a je tedy většinou odváděno chladicím systémem. Existují i konstrukční výjimky, kde je odpadní teplo velkých bateriových bloků použito pro vytápění kabiny vozu. Toto vytápění je ale plně závislé na množství odpadního tepla a není zde jiný tepelný zdroj. VEV mohou pro zajištění topení kabiny využívat elektrického topení napájeného z trakční baterie, které kabinu vytápí přímo, nebo je použito výměníku.[40]

Přímé elektrické topení má typicky velkou vlastní spotřebu (řádově jednotky kW), která ovlivňuje dojezd vozidla. Provoz elektrického topení spolu a působícími teplotami pod bodem mrazu v zimních měsících působící na akumulátory rapidně zkracuje dojezd.[41] Efektivním řešením dřívějších VEV bylo použití nezávislého topení, které spalováním fosilního paliva zajistilo dostatečné vytápění vozidla

bez dopadu na jeho dojezd. Při současném stavu akumulátorů tedy není možné efektivně zajistit funkci elektrického topení bez tohoto negativního dopadu.

Klimatizační jednotka má stejný negativní dopad na dojezd vozidla. Podobně jako topení i klimatizace představuje velký odběr v řádu jednotek kW, její funkce navíc není možné zajistit vedlejší funkcí EP, jako v případě topení. Další nevýhodou je jednotka jako celek, protože představuje komplikovaný systém s velkým množstvím součástí, které ovlivňují hmotnost vozidla a zvyšují i náklady na údržbu vozidla, např. nároky na výměnu oběhových kapalin a filtrů.

Problematika teplotního managementu je tedy při současném stavu technologií elektro-chemických zdrojů velice aktuální, protože bez zajištění těchto funkcí je používání VEV a EREV velice omezeno a nemohou konkurovat konvenčním vozidlům s ICE.

Konstrukčně je snaha o dosažení snížení potřebné energie pro vytápění vozidla, příkladem je efektivní prosklení vozidla a minimalizace tepelných ztrát způsobené výměnou tepla s okolím vozu za použití vysokovýkonných tepelných izolačních hmot.

V případě aplikace přímého elektrického topení by v budoucích aplikacích mělo být uvažováno s faktem, že lidské tělo dokáže přijímat teplo nejlépe díky přímým kontaktním plochám, čehož je dnes využíváno u komplexních sedadel, které zajišťují vyhřívání i klimatizaci. Pro zajištění podobných funkcí spolu se snížením komplexnosti celého sedadla jsou velice perspektivní tzv. e-textilie, nebo-li inteligentní textilie, které zajišťují vyhřívání sedadla s možností přesného řízení rozložení tepelného výkonu. Stejně tak je lze aplikovat také ve výplni dveří a ostatních kontaktních plochách pro zajištění vyhovujícího stupně tepla.

U klimatizačních jednotek je situace obdobná, pro její funkci jsou hledána technická řešení založena na nízkoenergetických prostředcích a na pasivním působení různých částech vozidla. Vlastní sedadlo by mohlo být díky svým vlastnostem pasivním článkem klimatizace, kdy je dovolen dostatečný průchod vzduchu k tělu. Požadované teploty je možné dosáhnout pomocí aktivního proudění vzduchu ve vozidle a odvětráváním teplého vzduchu z jeho kabiny příznivější teploty.

Pro udržení nízké teploty je velice důležité, aby docházelo k pouze k omezené výměně tepla mezi okolím a kabinou vozu. V případě působení slunečního záření skrze okna je důležité zabránit vniku infračervené složky světla mající za následek oteplování

prostoru kabiny. Toho lze dosáhnout aplikací průhledných nekovových fólií, které dokáží absorbovat infračervené záření a nezpůsobují omezení funkce elektronických zařízení jako stínící kovové tónovací fólie. V ostatních částech vozidla přicházejí na řadu výkonné izolační materiály zajišťující omezení přenosu tepla mezi okolím a kabinou vozu.[42]

### 3.3 Převodovka

Při řešení efektivního nasazení VEP či HEP se vedle výše zmíněných změn v samotné konstrukci vozidel či energetického managementu přídatných zařízení vážně uvažuje i o změně v samotném pohonném řetězci vozidel. Pomineme-li EM, v jehož případě dochází k největším energetickým ztrátám v části výkonové elektroniky, je největší šance na zlepšení provozních parametrů vozidel v oblasti převodového ústrojí.

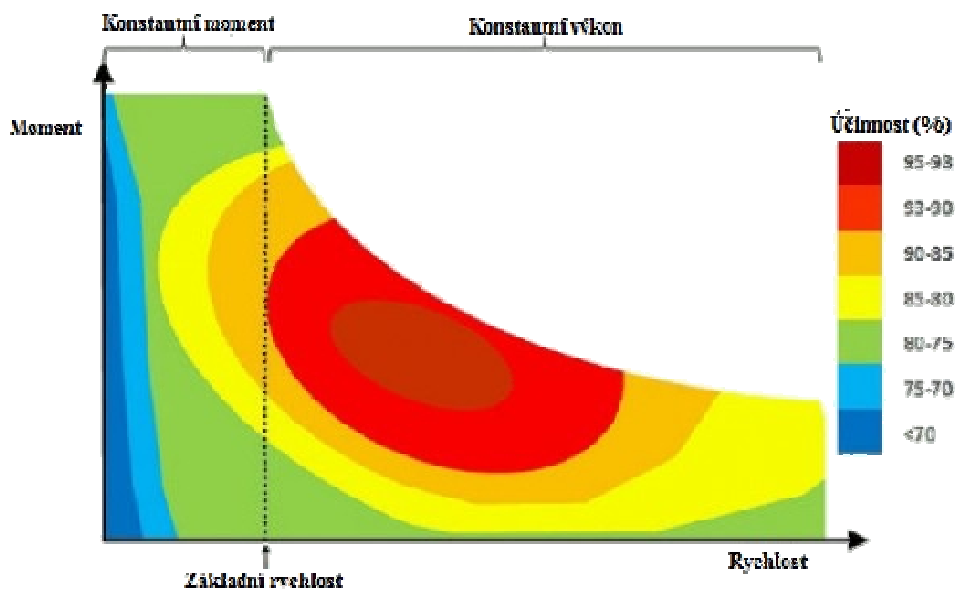
Převodovka u silničních vozidel slouží k zajištění dostatečného jízdního výkonu za všech podmínek, jakou je jízda v malé rychlosti nebo jízda do kopce, kdy je nutný velký kroutící moment. ICE i EM potřebují pro svou činnost dosáhnout určitých provozních otáček pro dosažení dostatečného záběrného momentu. EM dosahuje oproti ICE dostatečného záběrného momentu v mnohonásobně nižších otáčkách, díky čemuž dosahují EM vyšší energetické účinnosti při rozjezdu a v malých rychlostech. Přesto není možné pro praktické použití spojit EM přímo s hnanou nápravou a je nutno použít některý typ převodovky.

HEV jsou díky kombinaci ICE a EM minimálně omezeny v možném jízdním dojezdu, protože ICE funguje při vyčerpání energie z baterií jako záložní zdroj energie pro EP, případně pro přímý pohon vozidla. V každém případě obsahuje pohonný řetězec minimálně jednu převodovku přímo použitou pro pohon vozidla, v případě komplexních řešení je použito větší množství různých typů převodovek, které složí jak k přenosu výkonu na hnaná kola, tak ke spojování výkonu ICE a EM.

V případě VEV v současné době nenalezneme žádného zástupce, jenž by ve svém pohonném řetězci zahrnoval vícestupňovou převodovku, či převodovku s proměnným převodem. Většina konstrukcí je postavena na koncepci EM spojeného přímo s reduktorem, který posléze přes rozvodovku pohání hnaná kola. Právě změna v koncepci převodovky u VEV představuje určitou možnost změny jízdních parametrů.

Je velice důležité si uvědomit, že ačkoliv EM dosahuje oproti ICE výrazně lepších provozních parametrů v širším pásmu provozních otáček, má EM podobné

optimální provozní pásmo, kde dosahuje nejvyšší provozní účinnosti. EP má největší výhodu při provozu v malých až středních rychlostech, kdy je nejvíce využito jeho točivého momentu, ale při malých provozních otáčkách vykazuje EM také sníženou provozní účinnost. Ve vyšších rychlostech vykazuje vysoké energetické nároky a VEV tak vykazuje výrazné zkrácení dojezdu.



Obr. č. 41: Rozložení účinnosti elektrického motoru <sup>26</sup>

Z obrázku č. 41 je patrné, že i EM dosahuje nejvyšší provozní účinnosti po dosažení vyšších provozních otáček nikoliv při provozu od téměř nulových otáček, kdy sice dosahuje vysokého záběrného momentu, ale při nutnosti odebírání velkých rozběhových proudů. Změna převodového poměru v průběhu jízdy by mohla vést k tomu, že EM bude provozován hlavně v oblasti optimálních otáček a energetické spotřeby při provozu v malých rychlostech a častých rozjezdech, tak ve vyšších rychlostech. Tento aspekt by mohl způsobit, že VEV se stejnou kapacitou baterie by byl schopen urazit výrazně delší vzdálenost nebo naopak pro uražení stejné vzdálenosti jako nyní by dostačovala baterie s menší kapacitou. Nasazením převodovky s proměnným převodem tak tedy může být způsobem řešení prodloužení dojezdu VEV nebo snížení jejich ceny.

### 3.3.1 Převodovky pro HEV a VEV

Při výběru vhodné převodovky je nutné si uvědomit, že různé typy převodovek pracují s různou účinností přenosu výkonu a rozdíly v oblasti nutného příslušenství, které převodovka potřebuje ke své funkci, jako jsou např. olejová čerpadla apod.

<sup>26</sup> Aboutalternativecars.com [online]. 2011 [cit. 2012-04-18]. Electric vehicle transmissions coming of age. Dostupné z <http://aboutalternativecars.com/2011/09/electric-vehicle-transmissions-coming-of-age/>

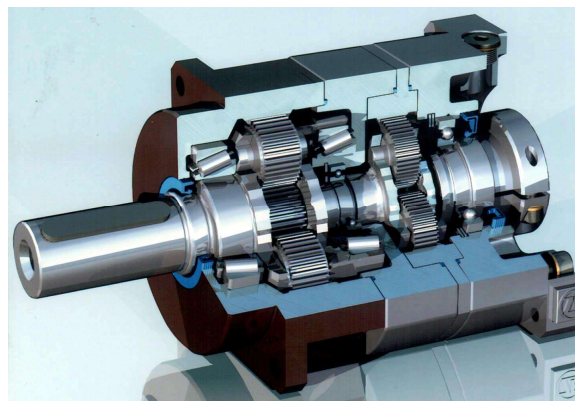
Pro oblast HEV a VEV jsou nejvýhodnější typy převodovek, které vyžadují jen malé množství přídatných zařízení kvůli minimalizaci dalších odběrů, a dále se vyznačujícími se malými nebo srovnatelnými nároky na údržbu jako zbytek pohonného řetězce a obsahujícími malé množství součástí, které se dlouhodobým používáním výrazně opotřebovávají. V případě převodovky se tedy jedná především o třecí spojku, která by byla používána v průběhu změny převodového stupně. Ideálně by daná převodovka měla navíc umožnit nepřetržitý přenos výkonu.

### Reduktor

Reduktor, nebo-li redukční převodovka, slouží ke snížení vstupních otáček motoru a zvýšení výstupního kroutícího momentu. Představuje nejjednodušší typ převodovky, protože obsahuje pouze jeden pevný převodový stupeň a v současnosti je nejběžnějším typem převodovek u VEV. Právě nemožnost změnit převodový stupeň způsobuje, že při nulových a vysokých rychlostech musí EM pracovat mimo optimální otáčky.



Obr. č. 42: Redukční převodovka <sup>27</sup>



Obr. č. 43: Planetová převodovka <sup>28</sup>

Reduktor bývá přítomen i u HEV, kde ve formě planetového soukolí slouží jako mezistupeň mezi hřídelí ICE a vlastní převodovkou. Zastává funkci trvalého výstupního převodu spolu s měničem smyslu otáčení výstupního momentu umožňujícího reverzní chod vozidla, především u CVT převodovky, která neumožňuje změnu smyslu otáčení.

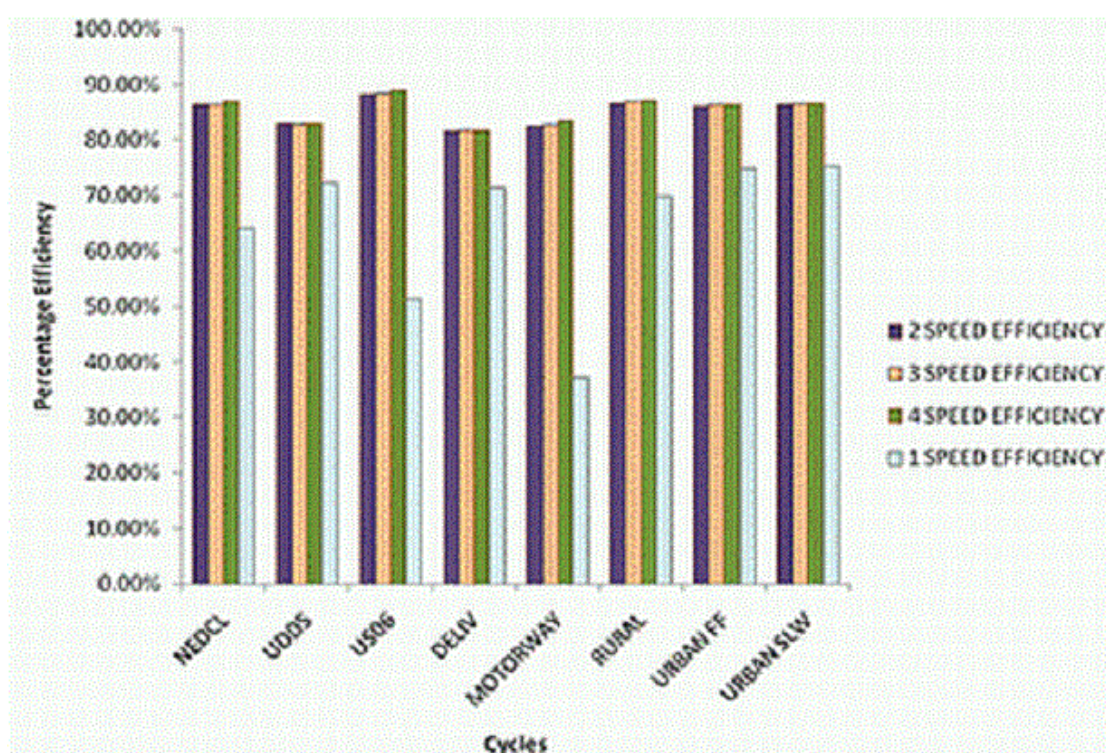
<sup>27</sup> Green.autoblog.com [online]. 2011 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z <http://green.autoblog.com/2009/09/27/borg-warner-announces-new-single-speed-egeardrive-transmission-f/>

<sup>28</sup> Thomasnet.com [online]. 2003 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z <http://news.thomasnet.com/fullstory/Planetary-Gearboxes-mount-to-all-common-servomotors-23636>



### Vícestupňová převodovka se skokovou změnou převodu

Technické řešení změny převodových stupňů nejbližší reduktoru je vícestupňová převodovka se skokovou změnou převodu, která obsahuje další jednotlivé převodové stupně, mezi kterými lze volit za běhu soustrojí. Vhodnou volbou jednotlivých převodových stupňů lze docílit provozu EM v optimálních otáčkách v širším rozsahu cestovních rychlostí a jízdních podmínek. Díky rozdílnosti výkonových charakteristik EM a ICE může takováto převodovka obsahovat nižší množství převodových stupňů, konstrukčně může být tedy jednodušší, menší a lehčí oproti konvenční převodovce použité u ICE.



Obr. č. 44: Graf provozní efektivity v různých cyklech <sup>29</sup>

V oblasti vícestupňových převodovek pro provoz v HEV a VEV lze nalézt typy založené na současných i nových konstrukcích. Ze současných konstrukcí lze jako první aplikovatelný typ považovat sekvenční převodovku, u níž volbu převodového stupně volí řidič, ale elektronika převodovky se stará o ovládání spojky, díky čemuž dochází k plynulejšímu řazení a rovnoměrnějšímu namáhání spojky na rozdíl od manuální převodovky.

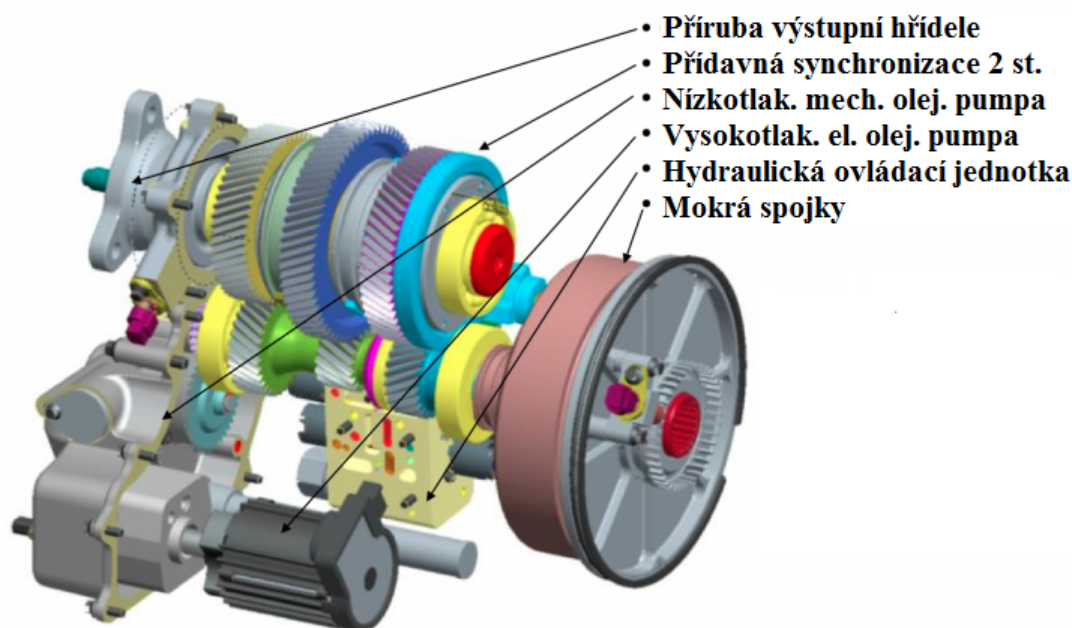
Současné VEV a HEV se až na výjimky, díky charakteristice EM, obsluhují podobně jako konvenční vozy s automatickou převodovkou, kdy řidič volí pouze mezi

<sup>29</sup> Greencarcongress.com [online]. 2011 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z <http://www.greencarcongress.com/2011/09/antonov-20110906.html>



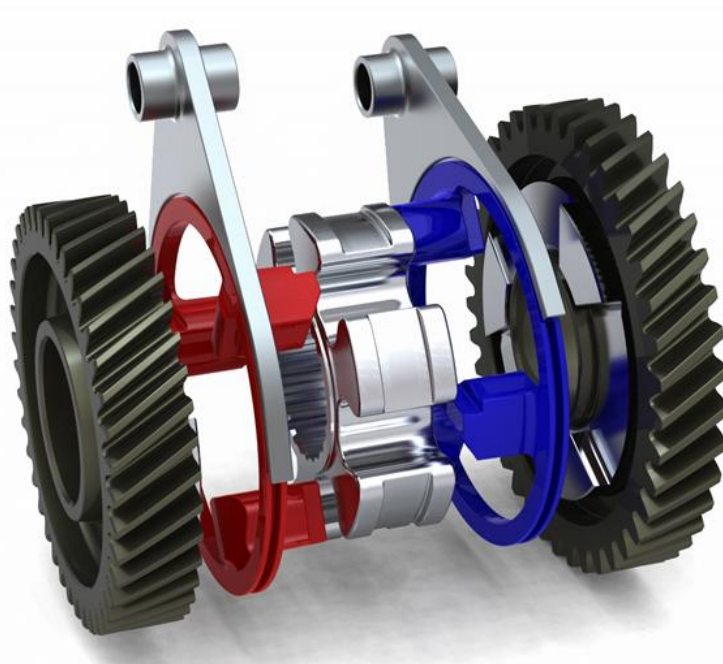
jednotlivými jízdními režimy. U automatické vícešupňové převodovky by bylo použito obdobného ovládání.

Konkrétním zástupcem vícešupňové automatické převodovky určené výhradně pro HEV a VEV je konstrukce firmy Antonov, která intenzivně pracuje na vývoji vlastního tří šupňového řešení, vyznačující se malou hmotností a rozměry, vhodnou pro přímou implementaci u VEV. Prototyp převodovky testovaný ve spolupráci s firmou Smith Electric Vehicles dokázal zvýšit efektivitu EP o 14,7%. Pro zajištění kontinuálního přenosu výkonu je použita dvojitá mokrá spojka. Celková koncepce konstrukce převodovky umožňuje v případě potřeby navýšení převodových stupňů.[43]



Obr. č. 45: Automatická převodovka Antonov [43]

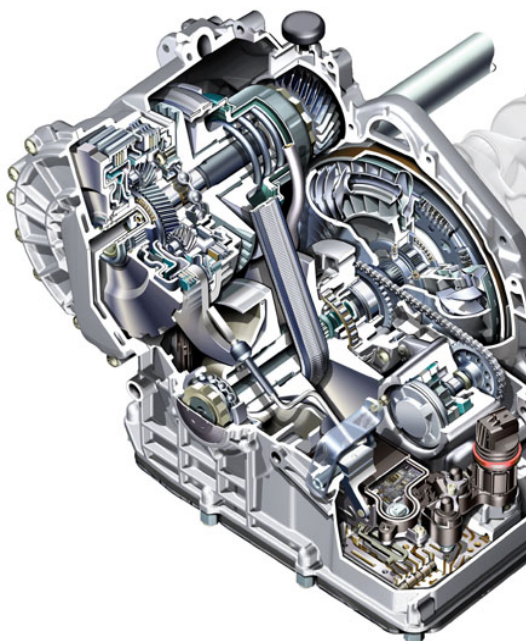
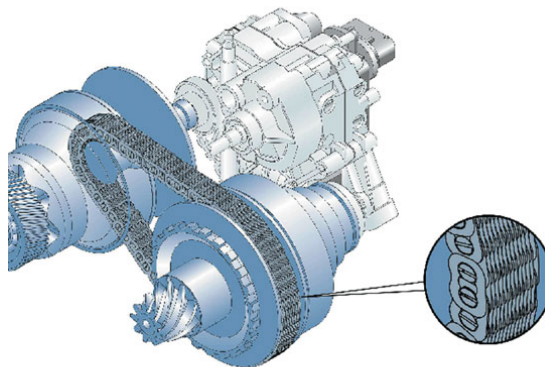
Velice zajímavou vícešupňovou převodovkou je konstrukce nazývaná Zeroshift stejnojmenné firmy Zeroshift Ltd. Předností této převodovky je absence spojky a schopnost přenášet výkon motoru během změny převodového stupně. Převodovky založené na tomto principu byly již použity u závodních motocyklů MotoGP a experimentálně i u konvenčních vozidel s ICE. V obou případech převodovka Zeroshift prokazatelně vylepšila jízdní parametry a celkové ovládání vozidel.[44]



Obr. č. 46: Převodovka Zeroshift [44]

### Bezstupňová převodovka

Posledním typem vícešupňových převodovek jsou bezstupňové převodovky, které díky absenci pevně daných převodových stupňů umožňují plynulou změnu převodu. Tyto převodovky jsou označovány jako variátory či CVT (continuously variable transmission).

Obr. č. 47: Struktura CVT převodovky <sup>30</sup>Obr. č. 48: Převodová část CVT převodovky <sup>31</sup>

<sup>30</sup> Richhelms.ca [online]. 2006 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z <http://www.richhelms.ca/richhelms/?p=30>

<sup>31</sup> Modified.com [online]. 2012 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z [http://www.modified.com/news/0204\\_sccp\\_acura\\_rsx\\_type\\_s/photo\\_22.html](http://www.modified.com/news/0204_sccp_acura_rsx_type_s/photo_22.html)

Převodovky CVT jsou již řadu let používány v oblasti konvenčních vozů a HEV. Základem těchto převodovek jsou kuželové rotační části a kovový řetěz. Kuželové rotační části slouží ke změně převodového stupně a udržení dostatečného přítlaku na kovový řetěz, který mezi nimi přenáší výkon.

Ke změně převodového poměru dochází přiblížením nebo oddálením jednotlivých kuželových rotačních částí, ke kterým dosedá kovový řetěz. Ovládání těchto částí se provádí u konvenčních vozidel hydraulicky, v případě HEV a VEV je nejvhodnější použít elektrické ovládání, nejlépe s ovládacím napětím shodným s jmenovitým napětím baterie, díky čemuž lze omezit množství přídatných zařízení, např. napěťové měniče. Elektricky řízené převodovky se nazývají eCVT.

Převodovky typu CVT jsou schopny měnit plynule převodový poměr v závislosti na provozních podmínkách bez vlivu na otáčky motoru, který tak může trvale běžet v optimálních otáčkách. Vedle plně automatického režimu umožňují tyto převodovky i sekvenční režim, kdy řidič volí z přednastavených převodových poměrů.[45]

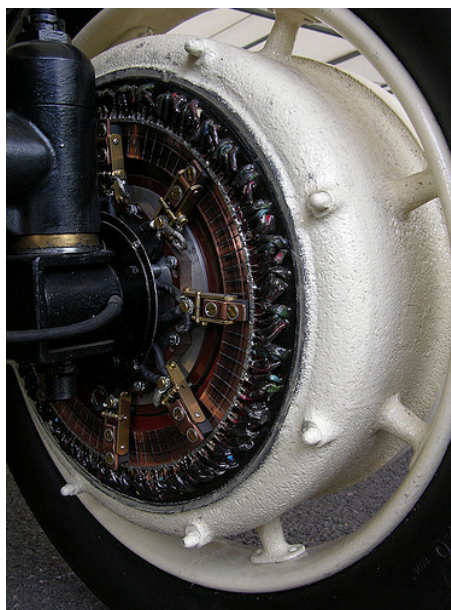
### 3.4 Elektrické kolomotory

Většina současných HEV a VEV je postavena na konvenční konstrukci vozidel s centrálně uloženým motorem, jehož výkon je následně mechanicky přenášen k hnané nápravě pomocí převodovky a rozvodovky s diferenciálem. Pokud bereme v úvahu rozdíl energetické účinnosti ICE a EM, tradiční uspořádání pohonného řetězce sebou nese přídatné mechanické ztráty právě v těch částech, které mají za úkol přenášet výkon k hnaným kolům.

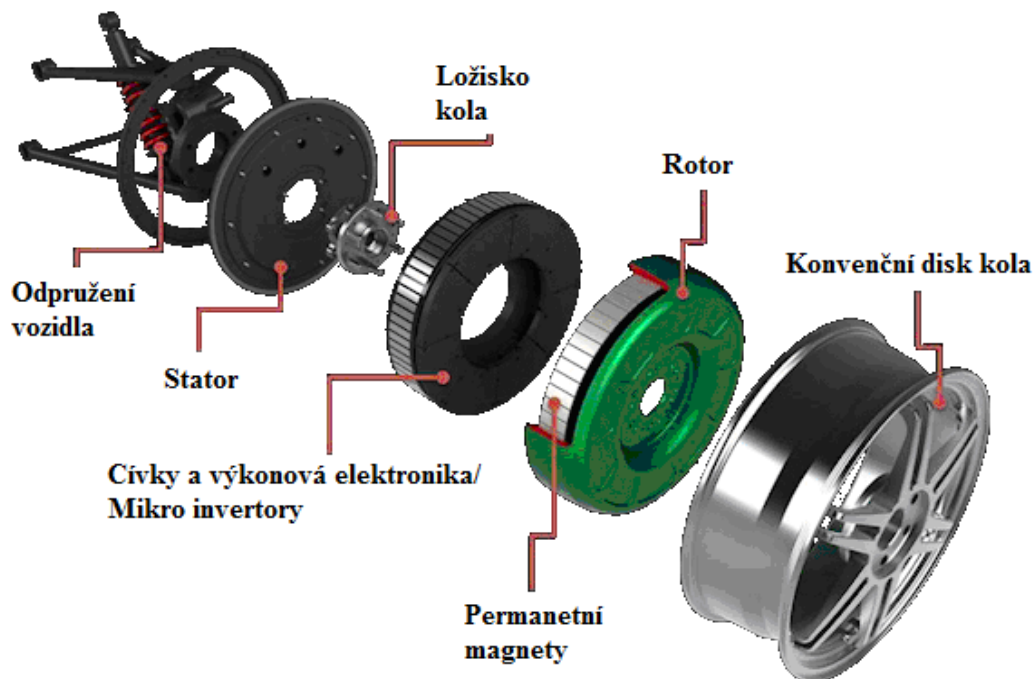
Výhodou EM oproti ICE je jeho velká prostorová flexibilita, díky které lze při konstrukci vozidel použít efektivnější uspořádání pohonného řetězce než při použití pouze ICE. Tvar EM dovoluje umístění blíže k hnaným kolům nápravy.

Pohon kol nápravy může být řešen jednotlivými EM, kdy řídicí elektronika zajistí funkci elektronického diferenciálu. Takto lze konstruovat vozidla s náhonem všech kol bez jakékoliv mechanické vazby mezi koly.

Posledním způsobem umístění EM ve vozidle je jeho integrace přímo do kola, v tomto případě se EM nazývá kolomotor. První elektrický kolomotor byl zkonstruován v roce 1890. Kolomotor byl použit u prvního HEV Lohner-Porsche v roce 1899.

Obr. č. 49: Kolomotor vozu Lohner-Porsche <sup>32</sup>

Elektrický kolomotor se od běžného EM mimo svého umístění liší především konstrukcí. U konvenčního trakčního EM se rotor motoru otáčí uvnitř statoru, v případě kolomotoru představuje stator pevný střed motoru, okolo nějž se otáčí rotor. Toto základní uspořádání je prosto jakýchkoliv dalších zařízení zprostředkovávajících přenos mechanického výkonu. Některé pokročilejší konstrukce jsou doplněny planetovou převodovkou pro pohyb ve vyšších rychlostech.

Obr. č. 50: Struktura kolomotoru <sup>33</sup>

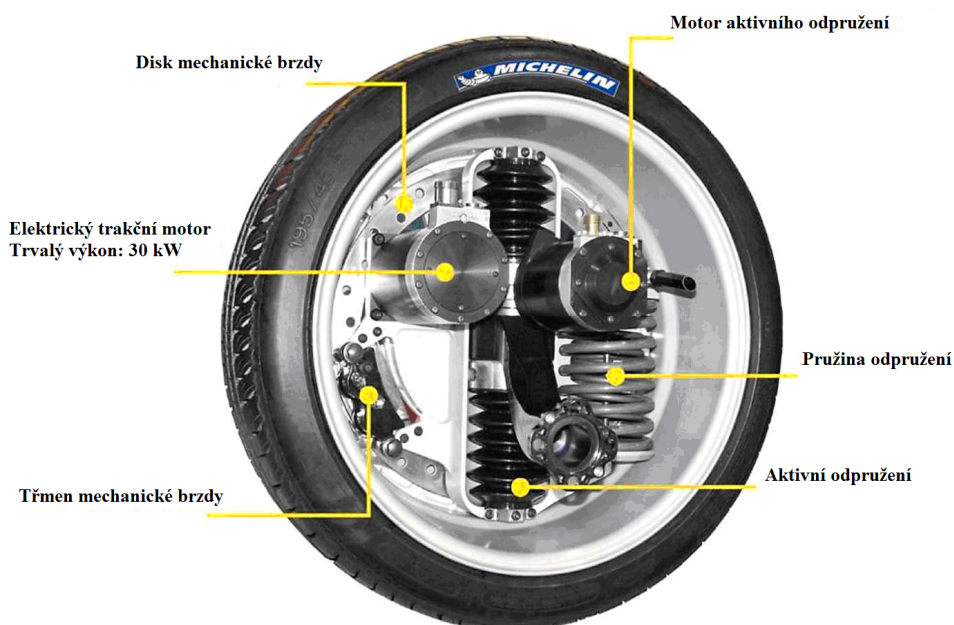
<sup>32</sup> Flickr.com [online]. 2011 [cit. 2012–04–24]. Dostupné z <http://www.flickr.com/photos/44381054@N05/6092334949/>

<sup>33</sup> Smartplanet.com [online]. 2011 [cit. 2012–04–24]. Dostupné z <http://www.smartplanet.com/blog/thinking-tech/innovative-motor-lets-gas-powered-cars-go-electric/6940>



Absence částí pohonného řetězce zajišťujících mechanický přenos výkonu znamená významnou hmotnostní, materiálovou a prostorovou úsporu. Přítomnost EM přímo v kole dovoluje použití nejen elektronicky ovládané mechanické brzdy, ale zároveň funkci brzdy během jízdy zajišťuje i EM. Díky elektronickému řízení jednotlivých kol lze zprostředkovat činnost systémů ABS, ESP aj. pro zajištění aktivní bezpečnosti vozidla.

Mezi nejpokrokovější koncepty kolomotoru pro malá vozidla patří Michelin Active Wheel, kde jsou sloučeny funkce drive-by-wire, brake-by-wire a aktivního odpružení, celá koncepce navíc dosahuje srovnatelné hmotnosti jako obdobné konvenční řešení zavěšení kol.



Obr. č. 51: Kolomotor Active Wheel<sup>34</sup>

Umístění EM přímo do středu hnaného kola přináší řadu negativních vlastností a konstrukčních problémů. Základním problémem kolomotoru je vliv na velikost neodpružených hmot vozidla. Na rozdíl od konvenčního uspořádání, dochází k navýšení neodpružených hmot o váhu vlastního kolomotoru. Tedy k hmotnosti disků kol, pneumatik, brzd a zavěšení přibývá hmotnost kolomotoru, což má za následek zhoršení ovládání a chování vozu. Řešením snížení hmotnosti neodpružených hmot by mohlo být použití nekovových disků kol z kapitoly 3.1.1, otázkou zůstává vzájemná kompatibilita s kolomotorem.

<sup>34</sup> Climatebabes.com [online]. 2008 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z <http://www.climatebabes.com/index.php?archives/42-Lithium-Ion-is-dead.html>

Nejnázším řešením vlivu kolomotoru na neodpružené hmoty je omezení hmotnosti jeho komponent, zde ovšem narážíme na problém s životností EM. Jelikož je kolomotor součástí neodpružených hmot, mají na něj přímý mechanický vliv všechny povrchové nerovnosti. Dále jsou kolomotory vystaveny povětrnostním vlivům a působení chemikálií, jako je např. posypová sůl.

Kromě mechanických a konstrukčních problémů se v případě kolomotorů setkáváme i s nutností řešení vlastního provozu EM. Distribuce elektrického výkonu je v případě kolomotorů složitější než u konvenčního uspořádání, musí se řešit přívod elektrické energie k jednotlivým motorům a jejich samostatné řízení.[46][47][48]

## 4 Měření provozních parametrů

V rámci řešení praktické části práce zabývající se měřením provozních parametrů vybraných vozidel byly poskytnuty vozy značky Smart. Konkrétně se jednalo o verze Smart ForTwo mhd a Smart ForTwo ED. Podrobnější porovnání vozidel dle udávaných parametrů výrobce nalezneme v následující tabulce Tab. 4.

Tab. 4: Parametry vozidel

	Smart ForTwo mhd	Smart ForTwo ED
Motor	Benzínový zážehový tříválec 1.0L 6V	DC motor s permanent. magnety Zytec
Nejvyšší výkon [kW]	52	20 / špičkově 30 (2 min.)
Nejvyšší toč. moment [Nm]	92	120
Převodovka	Robotizovaná sekvenční 5ti stupňová	1 stálý převod vpřed + zpátečka
Zrychlení 0 – 100 km/s [s]	13,3	Udávána <13
Maximální rychlost [km/h]	145	100, el. omezena
Spotřeba [l/100 km];[kW/100km]	4,9/3,9/4,3 (město/mimo/komb)	12
Objem nádrže [l]; Kapacita aku [kWh]	33	16.5
Hmotnost [kg]		
Pohotovostní	750	890
Užitné zatížení	270	230
Cena [Kč]	307 133	780 000

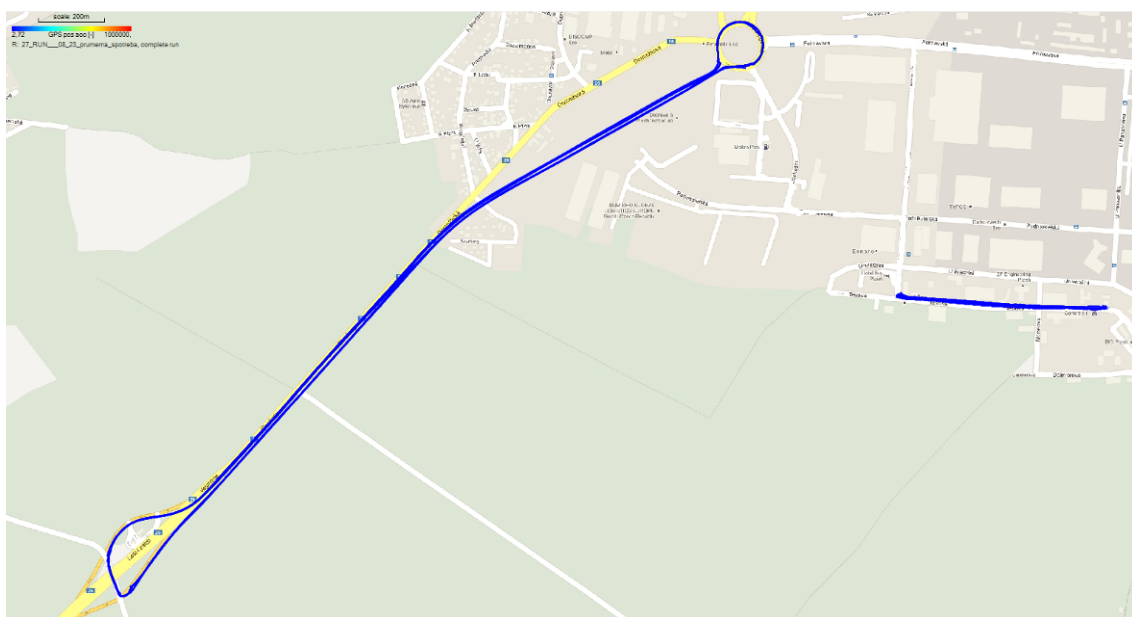
## 4.1 Metodika měření

Měření provozních parametrů vozidel jsem navrhl na dva odlišné režimy. Dle výsledků navržených měření jsem se následně pokusil stanovit spotřeby poskytnutých vozidel v různých konstantních rychlostech a dále zjistit dojezdovou schopnost Smart ED a jeho průměrné spotřeby v reálných podmínkách provozu.

### 4.1.1 Měření spotřeby v konstantní rychlosti

Z důvodu absence normované zkušební dráhy jsem musel první typ měření provádět v přehledných oblastech pozemních komunikací s dostatečnými parametry, kde nevznikal problém s omezováním silničního provozu či nebezpečí dopravní nehody.

Měření průměrné spotřeby v konstantní rychlosti bylo prováděno na dvou úsecích, které dovozovaly pohyb vozidel v určených rychlostech po dostatečně dlouhou dobu nutnou pro potřeby měření.



Obr. č. 52: Trasy měření v konstantní rychlosti

Zdroj: Race Analysis + vlastní zpracování

Na daných úsecích jsem provedl jízdu konstantní rychlostí v obou směrech pro eliminování vlivu rozdílu sklonů dráhy. Během jízdy jsem zaznamenával provozní výkonové parametry vozidel pro potřeby stanovení průměrné spotřeby v dané rychlosti. Měřené rychlosti byly stanoveny v rozmezí 0 – 100 km/h s krokem o 10 km/h mezi jednotlivými měřeními jízdami. Maximální rychlost byla stanovena el. omezením rychlosti Smart ED.



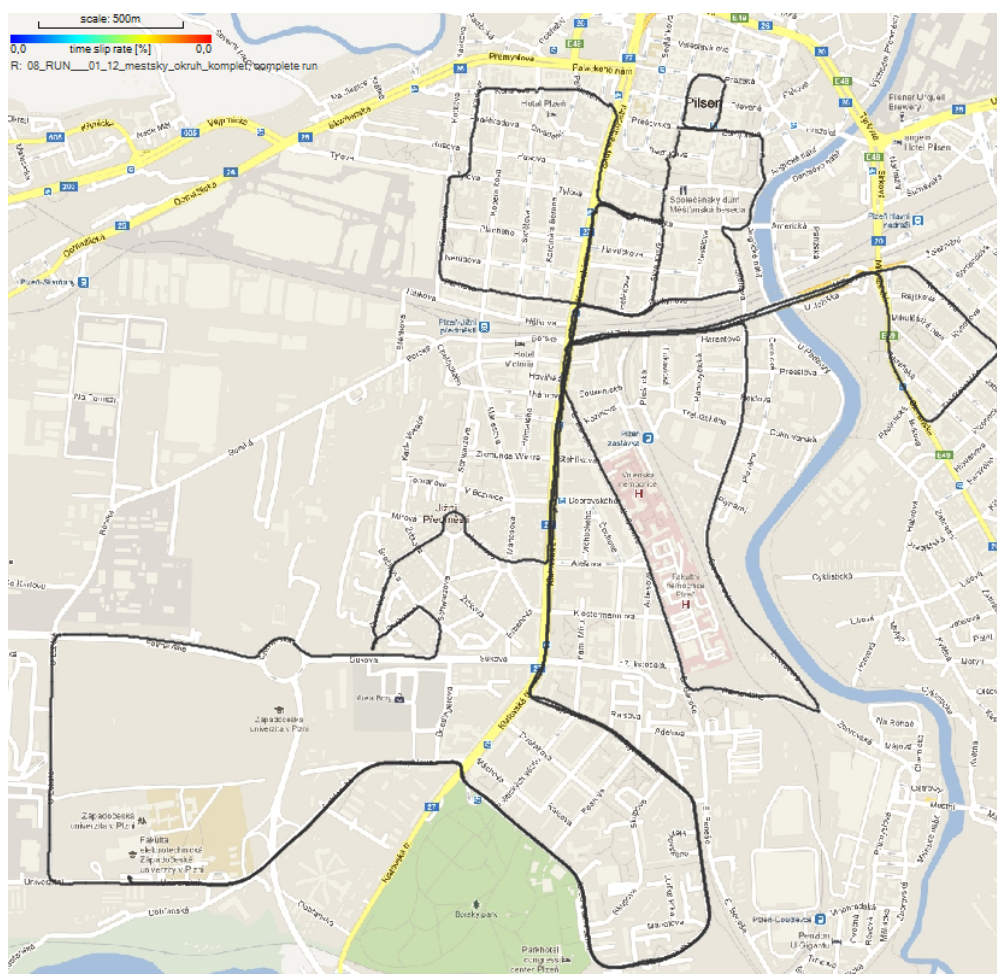
Tab. 5: Tabulka pro záznam spotřeby v konstantní rychlosti

Konstantní rychlost [km/h]	Průměrná spotřeba [l/100km]; Odebíraný výkon [kWh]
10	
:	
100	

#### 4.1.2 Měření spotřeby a dojezdu v reálných podmínkách

Druhým sledem měření bylo stanovení spotřeby a dojezdu v reálných podmínkách silničního provozu na dvou odlišných typech tras pro vozidlo Smart ED.

První zkušební trasa byla navolena na území města Plzně s ohledem na velký objem uražené vzdálenosti v městském provozu a zahrnutím reliéfu města. Trasu jsem pro potřeby měření absolvoval dvakrát pro získání dostatečného množství dat.

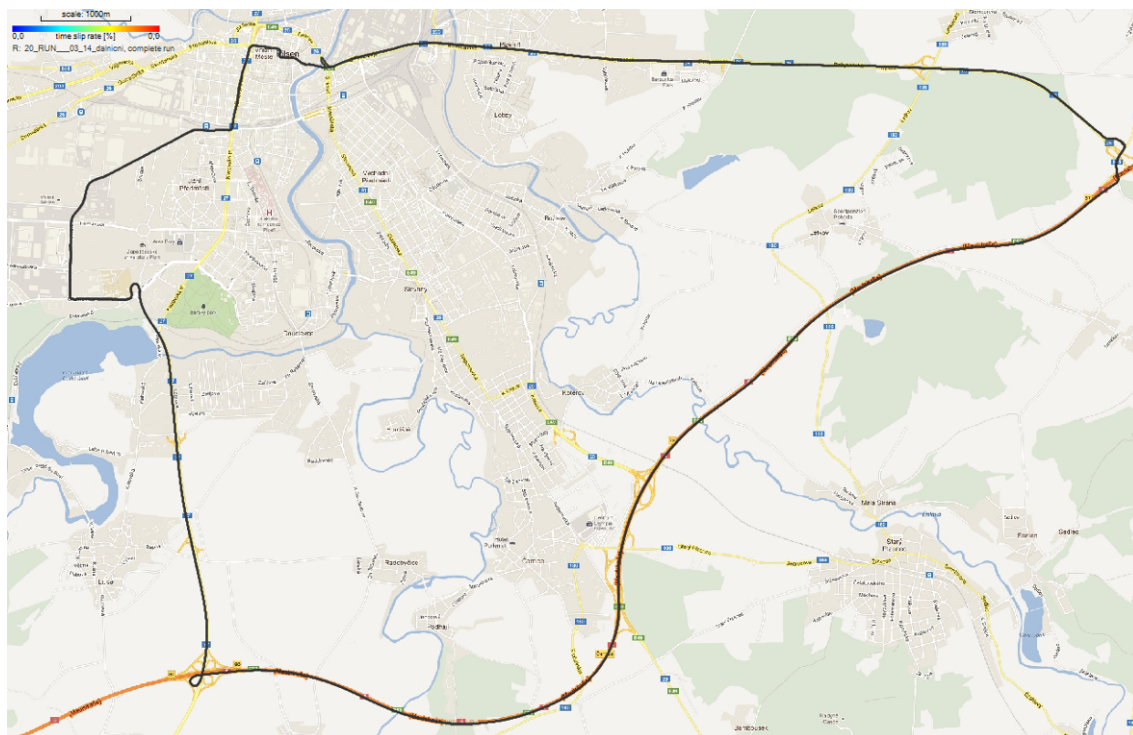


Obr. č. 53: Trasa městského okruhu

Zdroj: Race Analysis + vlastní zpracování

Druhá zkušební trasa byla navolena částečně na území města Plzně a jeho dálničního obchvatu pro nasimulování kombinovaného jízdního režimu. Trasa zahrnuje výrazně vyšší podíl dálniční trasy, která měla ověřit předpoklad nevýhody koncepce pohonu Smart ED ve vysokých rychlostech spolu s vlivem jízdních odporů.

Danou trasu jsem projel dvakrát kvůli zprůměrnování získaných dat a získání směrodatnějších hodnot.



Obr. č. 54: Trasa dálničního okruhu

Zdroj: Race Analysis + vlastní zpracování

Tab. 6: Charakter jednotlivých tras

	Úseky měření v konst. rychlosti		Městský okruh	Dálniční okruh
Délka [m]	400	2148	23400	33643,5
Převýšení [m]	1,7	6,2	48	138

#### 4.1.3 Přístrojové vybavení

Získání provozních parametrů vozidel z CAN sběrnice nebylo možné kvůli absenci klíčovacího dbc.file a tedy absence znalosti adres jednotlivých parametrů potřebných pro vyhodnocení provozu vozidel. Musel jsem tedy hledat alternativní cesty k získání potřebných dat.

Spolu s konzultantem jsme vycházeli z předpokladu, že ačkoliv má Smart hmd a Smart ED diametrálně odlišný druh pohonu, mohli bychom získat potřebné údaje o spotřebě pomocí EOBD protokolu jednotlivých vozidel.

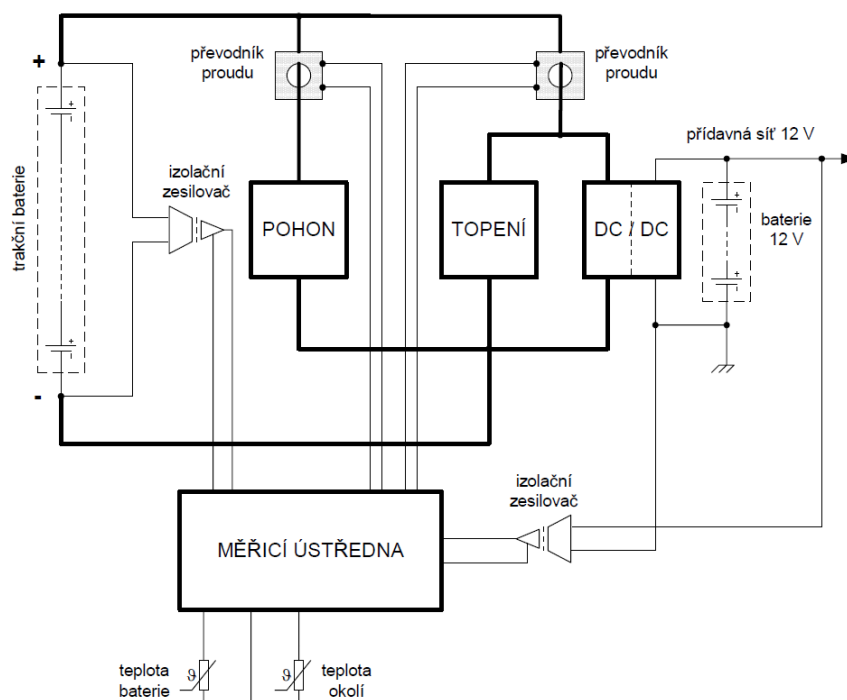
Záznam údajů EOBD protokolu měl být proveden komerčním zařízením Texa obd log, které zaznamenává údaje všechny povinné údaje z EOBD protokolu spolu s dalšími údaji, které uvolnil výrobce vozu. Náš předpoklad správné funkce zařízení Texa se potvrdil u vozu Smart mhd, kdy se mi podařilo získat následující seznam údajů.

Tab. 7: Výpis parametrů z EOBD

Rychlost vozidla	[km/h]	Hodnota napětí lambda sondy (B1-S2)	[V]
Otáčky motoru	[ot/min]	Napětí baterie	[V]
Poloha plynového pedálu	[%]	Krátkodobá úprava paliva – řada válců 1	[%]
Teplota chladiva	[°C]	Absolutní hodnota zátěže	[%]
Zatížení motoru	[%]	Relativní hodnota škrtkící klapky	[%]
Teplota vzduchu	[°C]	Teplota vzduchu kabiny	[°C]
Tlak vzduchu v sacím potrubí	[kPa]	Absolutní poloha škrtkící klapky B	[%]
Hodnota napětí lambda sondy (B1-S1)	[V]	Poloha plynového pedálu D	[%]
Krátkodobá úprava paliva (B1-S1)	[%]	Poloha plynového pedálu E	[%]

V případě vozu Smart ED se nám ale nepodařilo pomocí zařízení Texa získat jakékoliv údaje z EOBD, ačkoliv samotné zařízení má již softwarovou podporu pro načítání dat z HEV a VEV. Pro získání potřebných údajů jsem se tedy musel pokusit provést měření elektrických parametrů pomocí externích měřicí aparatury.

Měření provozních elektrických parametrů v rámci vozidla Smart ED zahrnovalo zaznamenávání provozních proudů a napětí v pohonné a pomocné elektrické větvi dle schématu zapojení na obr. č. 55.

Obr. č. 55: Schéma zapojení pro měření elektrických parametrů<sup>35</sup>

Prvotní nápad na zapůjčení průmyslové měřicí aparatury nebyl realizován z důvodu defektů na přislíbeném zařízení a časové vytíženosti všech ostatních dostupných aparatur v mém okolí.

Pro potřeby měření veličin nebyly k dispozici potřebné průmyslové měřicí sondy s dostatečnými rozsahy provozních veličin. Bylo tedy nutné navrhnout vhodnou alternativní měřicí aparaturu.

Záznam mechanických veličin byl proveden pomocí zařízení Race technology DL1 MK3, které pomocí interních snímačů a externí GPS antény zaznamenávalo příslušné údaje.

Obr. č. 56: Datalogger Race Technology DL1 MK3<sup>36</sup>

<sup>35</sup> PINKER, Jiří a Jiří SKÁLA. *Přehled měřitelných parametrů v experimentálním provozu elektromobilu*. Plzeň, 2010. Výzkumná zpráva. Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, Katedra aplikované elektroniky.

<sup>36</sup> Datalogger Racetechnology DL1 MK2  
Dostupné z: <http://www.race.it/media/catalog/product/cache/3/image/8124bed1164fe7ff58a7bbc6249b5f41/d/1/dl1mk3.jpg>

Pro měření množství odebírané energie ze sítě potřebné pro nabíjení Smart ED a následnému výpočtu účinnosti nabíjení byl použit elektronický Měřič spotřeby energie EMF-1.



Obr. č. 57: Elektronický měřič spotřeby EMF-1 <sup>37</sup>

#### 4.1.4 Návrh externí měřicí aparatury elektrických parametrů

Měřicí aparatura se skládá z měřících sond dle zapojení na obr. č. 55, pro potřeby měření bylo tedy nutno navrhnout a vyrobit měřící sondy proudu a dále impedanční přizpůsobení dovolující připojení osciloskopických sond s BNC konektorem k dostupnému záznamovému zařízení. Výsledkem návrhu vlastní měřicí aparatury jsou schémata zapojení a DPS uvedené v příloze B.

Obvod impedančního byl navržen s přihlédnutím k použití standardních osciloskopické sondy pro měření napětí s BNC konektorem a následnému vyvedení výstupního signálu do analogového vstupu zařízení DL1.

Návrh proudové sondy byl založen na použití bezkontaktního měření proudu pomocí hallové sondy a umístění DPS přímo na přívodní kabel baterie. Výstupní signál by byl vyveden opět od analogového vstupu DL1.

Napájení všech součástí aparatury mělo být řešeno pomocí 12 V externího zdroje, jednotlivé obvody obsahují stabilizátor napětí, který zaručuje potřebné napájecí napětí použitých operačních zesilovačů.

<sup>37</sup> Elektronický měřič spotřeby EMF-1  
Dostupné z: [http://www.elektromar.cz/fotky10699/fotos/\\_vyr\\_1237emf-1.jpg](http://www.elektromar.cz/fotky10699/fotos/_vyr_1237emf-1.jpg)



### Záznam provozních parametrů vozu Smart ED

Při obhlídce vozu Smart ED jsem ale zjistil skutečnost, že v rámci elektrického rozvodu EP není možné galvanické připojení napěťových sond. Z důvodu použití DC motoru navíc možné použití bezkontaktních napěťových sond, protože DC napětí by nebylo možné ani orientačně měřit.

Měření provozních parametrů Smart ED jsem musel degradovat do podoby vizuálního záznamu odebíraného výkonu a stavu kapacity baterie z ukazatelů na palubní desce během jízdy na obrázku. Záznamové zařízení Canon PowerShot A1300 bylo umístěno na stativu v zavazadlovém prostoru vozu a snímalo příslušné ukazatele. Pořízený záznam byl díky stabilizaci obrazu velice kvalitní a nezkrusoval dále odečet z ukazatelů.



Obr. č. 58: Palubní ukazatele toku výkonu a stavu nabití baterie

Protože časový harmonogram umožnil provedení jízd spotřeby a dojezdu v reálných podmínkách až ve večerních hodinách, byly zjišťované údaje zapisovány ručně kvůli snížené viditelnosti ve vozidle.

#### 4.1.5 Jízdní odpory vozidla

Vozidla při svém pohybu překonávají řadu jízdních odporů, jejichž velikost musí být pokryta dodávaným výkonem pohonného řetězce.

Vlastní pohyb vozidla lze popsat pomocí pohybové rovnice 5.1:

$$F_T = F_f + F_i + F_s + F_v \quad [\text{N}] \quad (5.1)$$

$F_T$	[N]	Trakční síla
$F_f$	[N]	Valivý odpor
$F_i$	[N]	Setrvačný odpor
$F_s$	[N]	Odpor do stoupání
$F_v$	[N]	Odpor vzduchu

Z výše vypsanych složek pohybové rovnice budeme dále uvažovat pouze složku valivého odporu  $F_f$  a Odporu vzduchu  $F_v$ , které se uplatňují ve všech jízdních režimech bez ohledu na charakter trasy.

Setrvačný odpor  $F_i$  se neuplatňuje při jízdě konstantní rychlostí a v případě jízd měření spotřeby v konstantních rychlostech jsem danou trasu projížděl v obou směrech kvůli odstranění vlivu odporu stoupání  $F_s$ .

V daném případě jízdy v konstantní rychlosti tedy uvažujeme upravenou pohybovou rovnici 5.2:

$$F_T = F_f + F_v \quad [\text{N}] \quad (5.2)$$

Jednotlivé složky pohybové rovnice vypočteme jako:

Valivý odpor vozidla

$$F_f = f \cdot 9,81 \cdot m_a \quad [\text{N}] \quad (5.3)$$

$f$	[-]	Součinitel odporu valení
$m_a$	[kg]	Hmotnost vozidla
9,81	[ms <sup>-2</sup> ]	Velikost grav. zrychlení

Odpor vzduchu

$$F_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v^2 \quad [\text{N}] \quad (5.4)$$

$\rho$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	Hustota vzduchu
$S_x$	[m <sup>2</sup> ]	Čelní plocha vozidla
$c_x$	[-]	Součinitel odporu vzduchu
$v$	[m.s <sup>-1</sup> ]	Rychlost vozidla

Obě poskytnutá vozidla jsou založena na stejném vozidle. Rozdíl v daných jízdních odporech se tak projeví především kvůli rozdílné hmotnosti vozidel.

Při výpočtu jízdních odporů vycházíme z parametrů vozidel uvedených v tabulce č. 4 a níže uvedených hodnot konstant. Celková hmotnost vozidla je uvažována včetně řidiče o váze 95 kg.

$\rho$	1,184	[kg.m <sup>-3</sup> ]	Při 25°C
$S_x$	2,4024	[m <sup>2</sup> ]	
$c_x$	0,37		
$f$	0,016		
$M_{\text{celk}}$ Smart mhd	845	[kg]	
$M_{\text{celk}}$ Smart ED	985	[kg]	

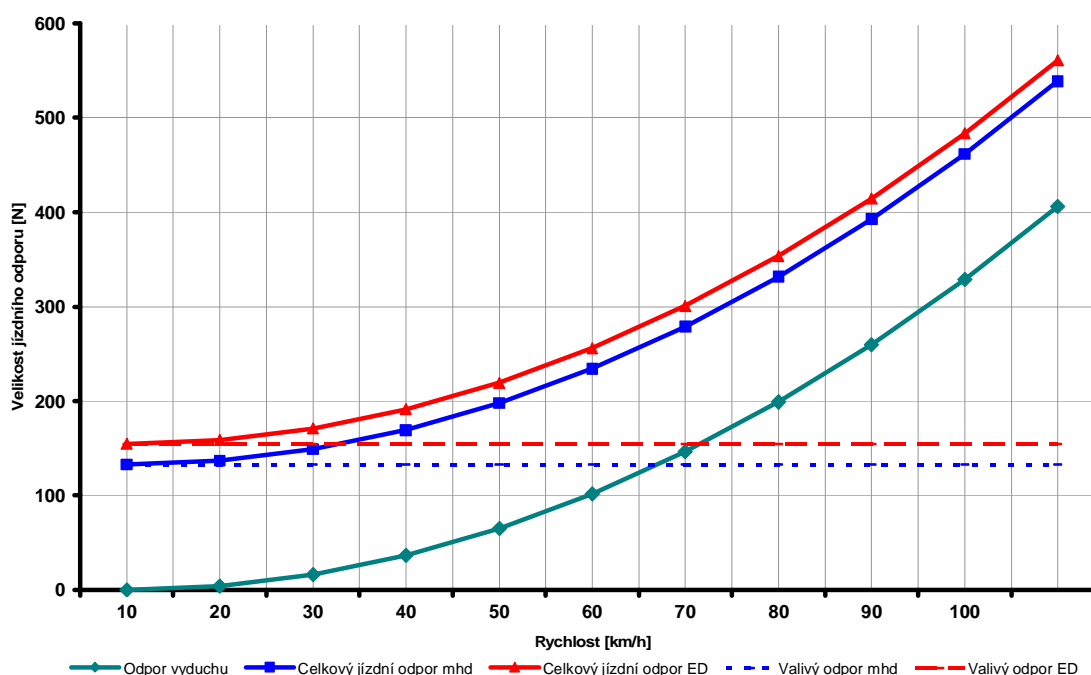
Tab. 8: Valivý odpor vozidel

	Smart mhd	Smart ED
Valivý odpor [N]	132,63	154,6

Tab. 9: Odpor vzduchu a celkový jízdní odpor

Rychlost [km/h]	Odpor vzduchu [N]	Celkový jízdní odpor [N]	
		Smart mhd	Smart ED
10	4,060353	136,6916	158,666
20	16,24141	148,8726	170,847
30	36,54317	169,1744	191,1488
40	64,96564	197,5968	219,5712
50	101,5088	234,14	256,1144
60	146,1727	278,8039	300,7783
70	198,9573	331,5885	353,5629
80	259,8626	392,4938	414,4682
90	328,8886	461,5198	483,4942
100	406,0353	538,6665	560,6409

Hodnoty jízdních odporů jsem spolu s celkovým odporem vynesl do grafu č. 1.



Graf č. 1: Závislost jízdního odporu na rychlosti

Z grafu lze velice dobře vypočítat, že celkový jízdní odpor má výrazně vzrůstající tendenci přibližně od rychlosti 70 km/h, kdy dochází k vyrovnání velikosti valivého odporu a odporu vzduchu. Od tohoto okamžiku již spotřebu výrazně ovlivňují aerodynamické parametry vozidla.



## 5 Bilance provozu

Dle metodiky popsané v kapitole 4, jsem získal určitá provozní data postačující pro rámcové porovnání provozu poskytnutých vozidel.

Z důvodu odlišného výstupu provozních dat vozidel bylo nutné pro každé vozidlo zvolit odlišný způsob zpracování zdrojových dat za účelem jejich sjednocení pro možnost následného porovnání.

### 5.1 Automobil se zážehovým motorem

Hodnocení bilance provozu vozu Smart mhd je založena na získaných provozních datech ze zařízení Texa obd log.

Zaznamenávaná provozní data byla načítána v časových intervalech 2 sekund, který byl zvolen jako kompromis mezi minimálním množstvím směrodatných dat a přehledností výsledných zdrojových souborů csv a lokalizace potřebných dat.

Pro potřeby bilance bylo nutné získat z naměřených dat průměrnou spotřebu pro jednotlivé rychlosti určené v metodice. Hodnota průměrné či okamžité spotřeby však nebyla ve výpisu zaznamenaných hodnot k dispozici.

Hodnoty průměrné spotřeby v jednotlivých rychlostech jsem tedy stanovil početně z údajů, které byly k dispozici v OBD záznamu. Výpočet spotřeby byl dále zkomplikován absencí parametru o množství procházejícího vzduchu do motoru MAF. Tento parametr jsem tedy musel vypočítat přednostně pro stanovení spotřeby.

Celkové množství vzduchu za sekundu vypočítáme dle vztahu 5.5:

$$MAF = \left( \frac{IMAP}{120} \right) \cdot \left( \frac{VE}{100} \right) \cdot ED \cdot \frac{MM}{R} \quad [\text{g} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5.5)$$

$IMAP = RPM \cdot \frac{MAP}{IAT}$	[kPa]	Tl. vstup. vzduchu motoru
$RPM$	[ot/min]	Otáčky motoru
$MAP$	[kPa]	Tl. vzduchu v sacím potrubí
$IAT$	[K]	Teplota vstupního vzduchu
$VE$	[%]	Objemová účinnost motoru
$ED$	[l]	Objem motoru
$MM$	[g/mol]	Molekulární mn. vzduchu
$R$	[J/°K/mol]	Univerzální plyn. konstanta

Na základě znalosti množství vstupujícího vzduchu můžeme vypočítat spotřebu v litrech na kilometr dle vztahu 5.6:

$$LPK = 4,86655 \cdot \frac{MAF}{VSS \cdot CR} \quad [l/km] \quad (5.6)$$

$MAF$  [g.s<sup>-1</sup>] Množství vstupního vzduchu

$VSS$  [km.h<sup>-1</sup>] Rychlost vozidla

$CR$  [-] Kompresní poměr

Protože jsem vycházel ze vztahů, které slouží pro stanovení spotřeby v mílech na galon, je přítomna konstanta 4,86655 která slouží k převodu na litry na kilometr. Výslednou hodnotu spotřeby v litrech na kilometr jsem vynásobil hodnotou 100 pro získání průměrné spotřeby paliva v litrech na 100 kilometrů v dané rychlosti.

### 5.1.1 Hodnoty průměrné spotřeby

Pro potřeby zjištění orientační hodnoty průměrné spotřeby byly potřebné hodnoty záznamu OBD zprůměrnovány. Na základě těchto průměrných hodnot byly následně vypočteny průměrné spotřeby v jednotlivých rychlostech.

Tab. 10.: Tabulka průměrných hodnot z EOBD Smart mhd

PARAMETRY:	Rychlost vozidla	OTÁČKY motoru	Teplota vzduchu	Tlak vzduchu v sacím potrubí
Rychlost [km/h]	[km/h]	[RPM]	[K]	[kPaA]
10	9,83	1373,73	318,29	29,63
20	18,40	1566,42	319,15	29,43
30	27,46	1524,57	318,46	34,37
40	37,83	2092,39	317,85	37,57
50	48,91	2017,03	317,24	50,24
60	56,37	2168,84	316,73	46,32
70	66,50	2054,90	316,65	57,70
80	74,33	2294,56	315,93	61,33
90	85,40	2639,37	316,46	61,16

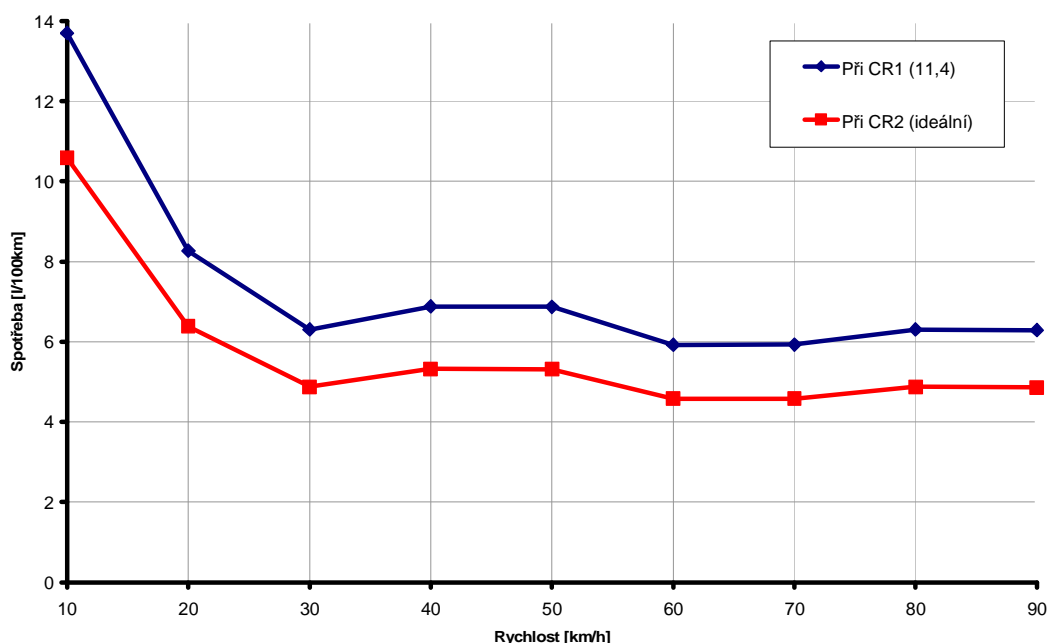
Výpočty průměrné spotřeby jsem provedl s následujícími hodnotami proměnných:

$VE$	85	[%]
$ED$	0,999	[l]
$MM$	28,97	[g/mol]
$R$	8,314	[J/K/mol]
$CR_1$	11,4	[-]
$CR_2$	14,75	[-]

Tab. 11.: Vypočtené hodnoty spotřeby Smart mhd

Rychlost [km/h]	IMAP [kPa]	MAF [g.s <sup>-1</sup> ]	Průměrná spotřeba			
			LPK <sub>1</sub>	l/100km <sub>1</sub>	LPK <sub>2</sub>	l/100km <sub>2</sub>
10	127,882	3,1532	0,13694	13,693501	0,10583	10,58345
20	144,445	3,5616	0,08263	8,2631149	0,06386	6,386407
30	164,54	4,05708	0,06307	6,3070963	0,04875	4,874637
40	247,321	6,09822	0,06882	6,8815022	0,05319	5,318585
50	319,429	7,87618	0,06874	6,8743931	0,05313	5,31309
60	317,181	7,82075	0,05923	5,9226601	0,04578	4,577514
70	374,444	9,2327	0,05927	5,926842	0,04581	4,580746
80	445,432	10,9831	0,06308	6,307763	0,04875	4,875152
90	510,092	12,5774	0,06287	6,2870808	0,04859	4,859168

Vypočítané hodnoty průměrné spotřeby paliva na 100km jsem následně vynesl do grafu. Při výpočtech jsem zahrnul vliv kompresního poměru CR na výslednou spotřebu. V grafu lze porovnat spotřebu dle poměru udávaného výrobcem CR<sub>1</sub> a ideální hodnotou CR<sub>2</sub>. Výsledné charakteristiky jsou vyneseny v grafu č. 2.



Graf č. 2: Závislost průměrné spotřeby na rychlosti

## 5.2 Elektromobil (VEV)

Vyhodnocování bilance provozu Smart ED bylo velice zkomplikováno absencí jakýchkoliv dat získaných přístrojově načtených dat. Protože jsem musel hodnoty zaznamenávat pomocí kamery a následně příslušné hodnoty odečítat z pořízeného záznamu, musela přirozeně vzniknout chyba odečtu, která byla dále ovlivněna samotným analogovým ukazatelem a nemožností přiblížení ukazatelů během natáčení.

Přes nevhodné podmínky záznamu a odečtu dat se mi podařilo získat přibližné hodnoty konstantního odebíraného výkonu v závislosti na rychlosti.

Tab. 12: Odebíraný výkon z baterie Smart ED

Rychlost [km/h]	Odebíraný výkon [kW]
0	0,5
10	1
20	2
30	2,5
40	3
50	4
60	7,5
70	10
80	12
90	16
100	20

Již z údajů v tabulce je zřetelně vidět, že se u vozidla rapidně zvedá spotřeba mezi 50 a 60 km/h, což odpovídá nárůstu velikosti odporu vzduchu při stejné rychlosti a odpovídá teoretickým předpokladům. Další aspekt nárůstu spotřeby mohou být dosažené otáčky motoru, načež má vliv pevný převod převodovky.

Otáčky motoru jsem početně stanovil na základě znalosti převodového poměru převodovky, odvodu kola a rychlosti dle vztahu č. 5.7:

$$RPM = \frac{V_{ss} \cdot 1000}{GR \cdot l * 60} \quad [\text{ot/min}] \quad (5.7)$$

$V_{SS}$  [km.h<sup>-1</sup>]

Rychlost vozidla

GR [-]

Převodový poměr

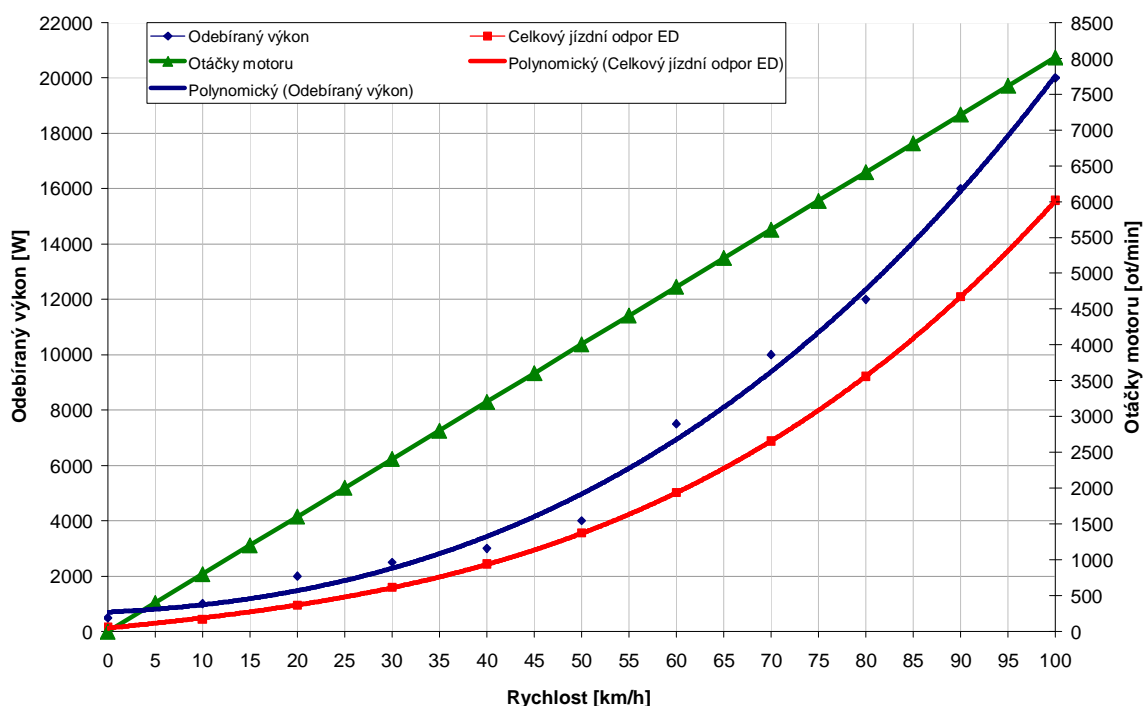
l [m]

Obvod kola

Na základě vztahu 5.7 jsem vypočetl hodnotu otáček motoru při různých rychlostech, obvodu kola 1,8017 m a převodovém poměru 0,1155 jako 8015 ot/min.

Výpočtem jsem dále dospěl k výsledku, že při dané konfiguraci hnacího řetězce by Smart ED měl při jmenovitých otáčkách motoru dosáhnout rychlosti téměř 150 km/h. Kromě důvodu omezení výkonového zatížení baterií při jízdě ve vysokých rychlostech musíme počítat s tím, že již při rychlostech 115 až 120 km/h dosáhne celkový jízdní odpor špičkové hodnoty výkonu motoru 30 kW.

Grafické znázornění odebíraných výkonů v závislosti na rychlosti spolu s celkovým jízdním odporem nalezneme v grafu č. 3.



Graf č. 3: Závislost odebíraného výkonu a otáček motoru na rychlosti

### 5.2.1 Dojezdové schopnosti Smart ED

Dojezdové schopnosti vozu Smart ED jsem ověřoval na dvou reálných okruzích uvedených v kapitole 4.1.2.

Po ujetí jednotlivých okruhů jsem si poznamenal údaje o spotřebě v procentech s ukazatele SOC a z dataloggeru jsem odečetl ujetou vzdálenost spolu s časem potřebným pro ujetí daného okruhu. Pro získání směřodatných dat jsem následně hodnoty z obou okruhů zprůměřňoval.

Tab. 13: Jízdní parametry Smart ED v reálném provozu

	Spotřeba [kWh]	Čas [h]	Ujetá vzdálenost [km]	Průměrná rychlost [km/h]	Výkon [kW]
1. měst. okruh	2,805	0,852	23,4	27,46	3,29
2. měst. okruh	2,31	0,658	23,4	35,56	3,51
Průměr	2,5575	0,755	23,4	31	3,4
1. dáln. okruh	4,3725	0,539	33,54	62,23	8,11
2. dáln. okruh	4,8675	0,579	33,86	58,4	8,41
Průměr	4,62	0,559	33,7	60,28	8,26
Neměřený úsek	0,165	0,45	5	11,11	0,367
Vybíjení	1,5675	0,317	12	37,85	4,94
Celkem	16,0875	3,395	131,2	38,64	4,738

Z průměrných hodnot rychlostí a spotřeby může dle grafu č. 3 vypočítat odchylky od vypočítaných hodnot. V případě prvního městského okruhu se hodnota odebraného výkonu 3,4 kW jen nepatrně liší od teoretického předpokladu. Rozdíl v dálničném okruhu je oproti teoretickému předpokladu liší přibližně o 1 kW. Tento rozdíl lze odůvodnit reálnými podmínkami a proměnným profilem trasy.

Z hodnot vidíme, že po absolvování měřených úseků celková spotřeba elektrické energie dosáhla 14,355 kWh. Po odebrání dalších 0,495 kWh by již začal být omezován výkon motoru.

Měření předcházela transport Smart ED po vlastní ose na začátek měřeného úseku spolu s testem stoupání vozu. Uražený úsek měřil 5 km. Po absolvování daných úseků, jsem dále provedl technický okruh pro úplné vybití baterie. V tomto režimu jsem urazil 12 km průměrnou rychlostí 37,9 km/h a jízdu ukončil v okamžiku odpojení výkonu motoru elektronikou vozu.

Celková vzdálenost na jedno nabití činila 131,2 km a bylo během ní spotřebováno 16,09 kWh elektrické energie.

### Netypizované cestovní trasy

V rámci doby poskytnutí Smart ED byly uskutečněny další dvě zaznamenané trasy, které nebyly předem definovány a byly ujety v závislosti na časových možnostech a potřebě přepravy Smart ED.

V prvním případě se jednalo o městský a příměstský provoz v rámci města Plzně a okolí z důvodu stanovení zbývajících dojezdu po provedení prvního měřicího cyklu. V souhrnné tabulce č. 14 je uvedena celková uražená trasa včetně prvního měřicího cyklu.

Druhou trasou byl meziměstský úsek Plzeň – Praha, která byla uskutečněna v rámci vrácení zapůjčeného vozidla Smart ED. Při této trase bylo dosaženo nejdelší uražené vzdálenosti na jedno nabití v rámci testovacího období.

Tab. 14: Netypizované trasy

	Spotřeba [kWh]	Čas [h]	Ujetá vzdálenost [km]	Průměrná rychlost [km/h]	Výkon [kW]
První dojezdová trasa	16,335	4,517	121	26,79	3,616
Druhá dojezdová trasa	15,675	2,62	140	53,435	5,98

### 5.3 Porovnání dojezdu vozidel

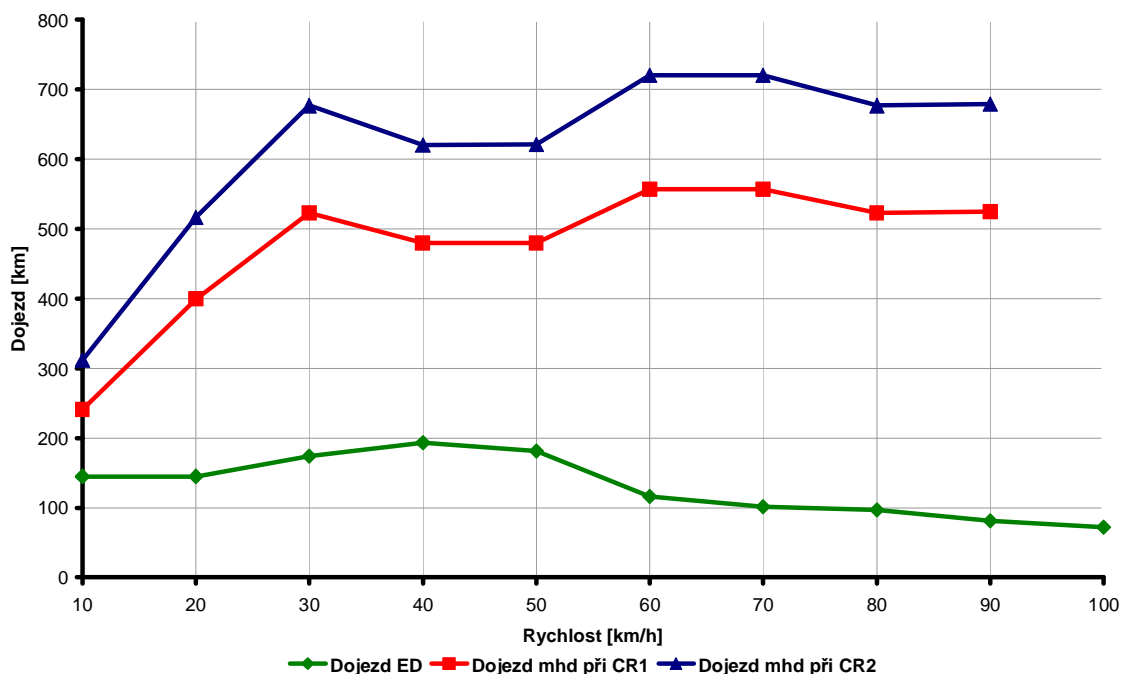
Díky znalosti kapacity akumulátorů a výkonové omezení pohonu při poklesu kapacity baterie pod 10% SOC Smart ED můžeme uvažovat, že pro cestování plnou rychlostí máme k dispozici 14,85 kWh elektrické energie. Dle odebíraných výkonů v jednotlivých rychlostech jsem byl schopen stanovit čas, po který může Smart ED pohybovat danou konstantní rychlostí. Následně jsem z příslušné rychlosti stanovil velikost dojezdové vzdálenosti.

Obdobně jsem postupoval u vozu Smart mhd, kde jsem závislost dojezdu na rychlosti vypočetl na základě znalosti objemu nádrže 33 litrů a průměrné spotřeby na 100 km v příslušných rychlostech.

Přehled závislosti dojezdu na cestovní rychlosti je uveden v tabulce č. 15 a graficky v grafu č. 5.

Tab. 15: Dojezdových vzdáleností D

Rychlost [km/h]	Dojezd [km]		
	Smart ED	Smart mhd	
		CR <sub>1</sub>	CR <sub>2</sub>
10	145	241	311.8
20	145	399.4	516.7
30	174	523.22	677
40	193.33	479.55	620.5
50	181.25	480.04	621.1
60	116	557.18	721
70	101.5	556.79	720.4
80	96.97	523.17	676.9
90	81.56	524.89	679.13
100	72.5	-	-



Graf č. 4: Závislost dojezdu vozidel na rychlosti



#### 5.4 Energetická bilance provozu vozidel

Pro srovnání energetické náročnosti pohonu poskytnutých vozidel je nutné uvádět jejich spotřebu v porovnatelných hodnotách. V rámci názornosti se budu snažit uvádět spotřebu vozidel v obou tvarech, tedy kWh na 100 km a litr na 100km.

Výchozími hodnotami jsou naměřené a vypočítané průměrné spotřeby obou poskytnutých vozidel. Vzájemný převod spotřeb je uskutečněn pomocí hodnoty výhřevnosti benzínu 8,89 kWh/l, která umožní vzájemné porovnání vozidel. Obdobně jako v případě porovnání dojezdu vozidel uvažuji s dostupnou kapacitou baterie 14,85 kWh, která odpovídá 90% SOC.

Tab. 16: Porovnání průměrné spotřeby Smart ED a mhd

Rychlost [km/h]	Smart ED		Smart mhd			
	Spotřeba [kWh/100km]	Spotřeba [l/100km]	Spotřeba při CR <sub>1</sub>		Spotřeba při CR <sub>2</sub>	
			[kWh/100km]	[l/100km]	[kWh/100km]	[l/100km]
0	0,0	0	0	0	0	0
10	10,0	1,1	121,7	13,7	94,1	10,6
20	10,0	1,1	73,5	8,3	56,8	6,4
30	8,3	0,9	56,1	6,3	43,3	4,9
40	7,5	0,8	61,2	6,9	47,3	5,3
50	8,0	0,9	61,1	6,9	47,2	5,3
60	12,5	1,4	52,7	5,9	40,7	4,6
70	14,3	1,6	52,7	5,9	40,7	4,6
80	15,0	1,7	56,1	6,3	43,3	4,9
90	17,8	2,0	55,9	6,3	43,2	4,9
100	20,0	2,2	-	-	-	-

Výsledné hodnoty průměrných spotřeb jsem vynesl do grafů č. 5 a č. 6.

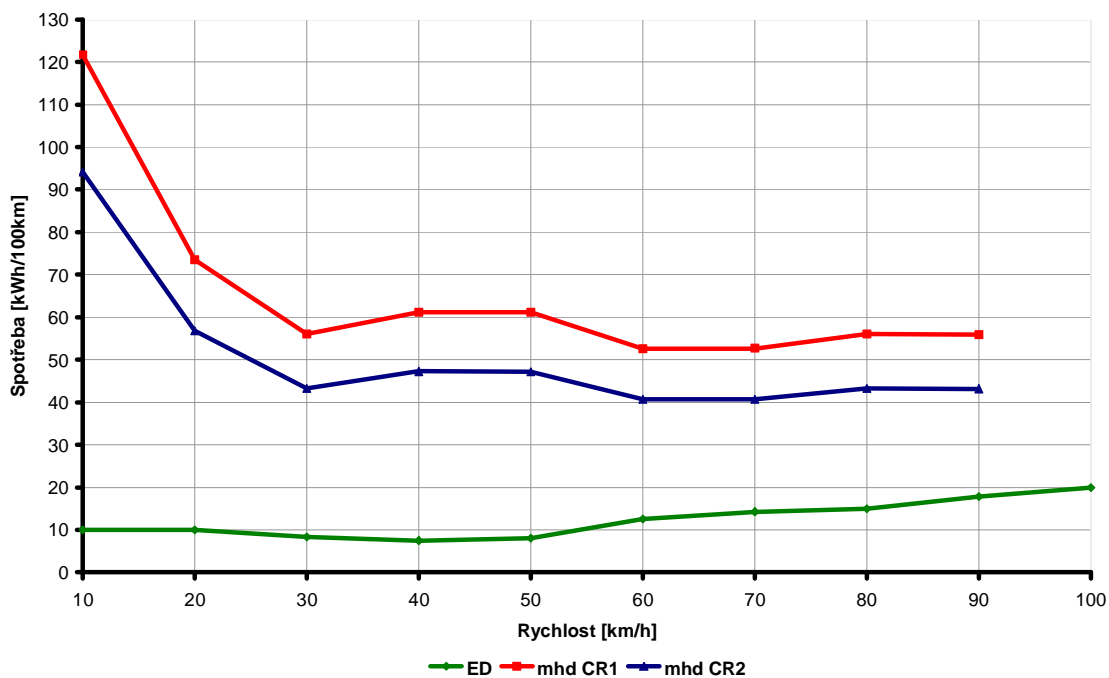
#### Účinnost nabíjení

Po ujetí výše uvedených tras proběhlo dvakrát měřené nabíjení vozidla Smart ED. Z údajů získaných z měřiče spotřeby EMF-1 jsem získal průměrnou hodnoty spotřeby elektrické energie a doby nabíjení. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 17.

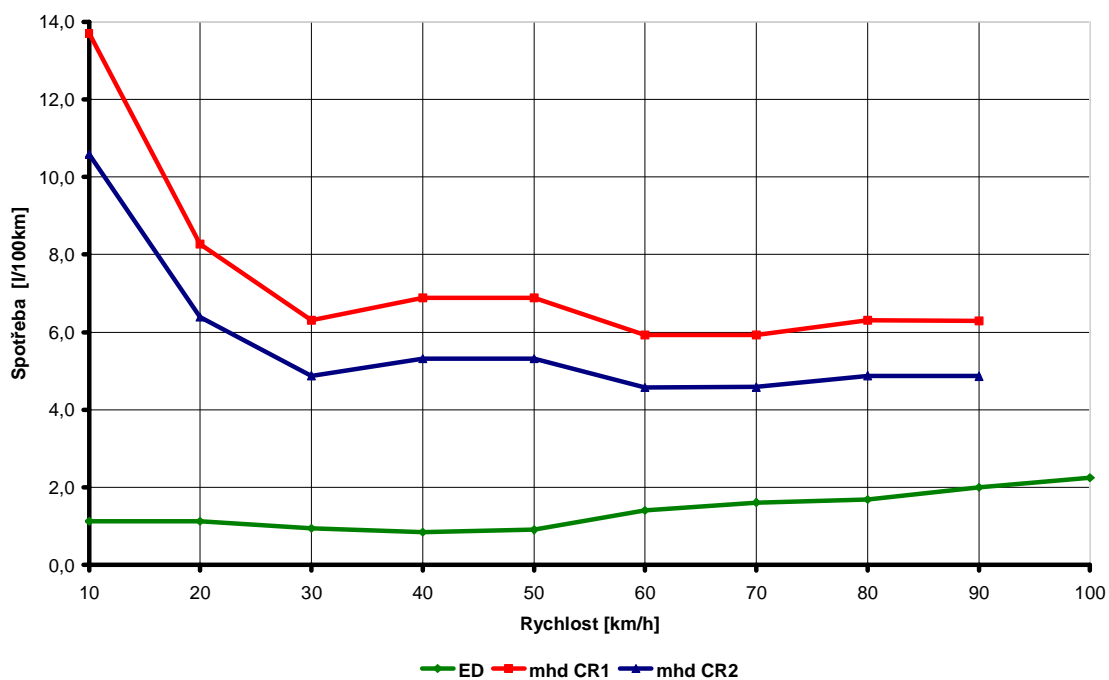
Při porovnání průměrné hodnoty el. energie potřebné pro plné nabití s udávanou hodnotou kapacity akumulátorů 16,5 kWh jsem získal hodnotu účinnost nabíjení 68%.

Tab. 17: Naměřené hodnoty spotřeby elektrické energie při nabíjení

	Spotřeba el. energie [kwh]	Doba dobíjení [h]
První nabíjení	24,8	8,36
Druhé nabíjení	23,7	8,33
Průměrná hodnota	23,85	8,345



Graf č. 5: Srovnání spotřeby Smart ED a mhd v kWh/100km



Graf č. 6: Srovnání spotřeby Smart ED a mhd v l/100km

## 6 Ekonomická bilance provozu

V návaznosti na vypočítané hodnoty průměrných spotřeb na 100 km jsem se pokusil vytvořit model provozu pro ekonomické srovnání provozu poskytnutých vozidel.

Pro potřeby modelu budu vycházet z údajů poskytnutých z propagačních materiálů k vozu Smart ED. V daných materiálech je udávána průměrná spotřeba 12 kWh/100 km a garantovaných 1000 nabíjecích cyklů při 0% DOD.

Dle osobních zkušeností je městský provoz vozidla, tedy jízda rychlostí do 70 km/h, možná až do 5% SOC. Mezi 5 až 2% SOC dochází k postupnému omezení výkonu motoru až na úroveň 10kW. Pro praktické používání je tedy reálně dostupná kapacita 95% SOC, tedy konkrétně 15,675 kWh. Zvýšení dostupné kapacity baterie oproti kapitole 5.3 má za následek, že oproti vypočtené dojezdové vzdálenosti dle tabulky č. 15 budeme schopni urazit vzdálenost přibližně 130 km.

Takto navržený provozní režim je již pod doporučovanou minimální hodnotou 20% SOC a ovlivňuje životnost akumulátorů. Kvůli neznámé závislosti životnosti daných akumulátorů na DOD cyklu, budeme uvažovat vybití na úroveň 5% SOC jako úplný vybíjecí cyklus.

Pokud porovnáme udávanou hodnotu průměrné spotřeby 12 kWh/100 km vozu Smart ED s tabulkou č. 16 z kapitoly 5.4, můžeme odečíst odpovídající průměrnou spotřebu 5,9 (4,6) litru/100 km vozu Smart mhd při průměrné rychlosti 60 km/h.

V modelu dále vycházím z udávané průměrné hodnoty denního úhrnu ujeté vzdálenosti 60 km.[11]

Tab. 18: Vstupní parametry vozidel

	Smart ED	Smart mhd
Průměrná spotřeba	12 kWh/100km	5,9 (4,6) l/100km
Životnost aku	1000 cyklů	-
Účinnost nabíjení [%]	68	-
Maximální dojezd [km]	130	559 (717)
Denní ujetá vzdálenost [km]	60	
Cena vozidla [tis. Kč]	780	307,133

Časové určení modelu jsem našel pomocí maximální uvažované ujeté vzdálenosti dle počtu nabíjecích cyklů a množství kilometrů, které lze během jednoho cyklu ujet spolu s udávaným denním úhrnem ujeté vzdálenosti.

Vozidlo Smart ED by mělo být schopno během 1000 nabíjecích cyklů a uvažovaném maximálním dojezdu 130 km urazit vzdálenost 130000 km garantované životností akumulátorů. Pokud dále uvažujeme denní úhrn ujeté vzdálenosti 60 km, získáme počet dnů, za kterou danou vzdálenost urazíme. V našem případě se jedná o 2166 dnů. Pro zjednodušení budeme uvažovat provoz během celého roku, tedy 365 dnů v roce. Celková doba uvažovaného provozu s danými parametry je tedy 5,936 roku.

Posledními vstupními parametry modelu jsou ceny pohonných hmot a elektrické energie. Problémem je nestabilní cena obou komodit v čase, která se nedá spolehlivě predikovat. Pro potřeby modelu budu uvažovat hodnoty platné pro květen 2012, tedy 37 Kč za 1 litr benzínu Natural 95 a 4,50 Kč za 1 kWh odebranou ve vysokém tarifu.

Tab. 19: Porovnání ekonomických nákladů vozidel

	Smart ED	Smart mhd	
		CR <sub>1</sub>	CR <sub>2</sub>
Kilometrů celkem [km]		130000	
Spotřeba na 1 km [kWh];[l]	0,12	0,059	0,046
Celková spotřeba [kWh];[l]	15600	7670	5980
Účinnost nabíjení [%]	68	-	
Cena paliva a el. energie [Kč]	4,5	37	
Náklady na palivo a el. energii [Kč]	106447	283790	221260
Pořizovací cena vozidla [Kč]	780000	307133	
Celkové náklady [Kč]	886447	590923	528393

Z výsledných hodnot v tabulce č. 18 můžeme vypočítat, že náklady na el. energii Smart ED dosahují sotva poloviny nákladů na palivo Smart mh. V případě uvažování pořizovacích nákladů ovšem celkové náklady Smart ED více než 1,5 překročí náklady vozidla Smart mhd.

## Závěr

V této práci bylo cílem popsat současný stav elektrochemických zdrojů v silniční dopravě, jejich možného vývoje, nastínění problematiky rozdílnosti provozu takto poháněných vozidel a odlišnými nároky na konstrukci a koncepci vozidel. Posledním bodem bylo porovnání vozidla poháněného elektrochemickým zdrojem a jeho konvenčního ekvivalentu.

Při srovnání současného stavu na trhu elektrochemických zdrojů vidíme jasný směr vývoje a nasazení akumulátorů na bázi lithia. Tento směr je velice logický a správný, protože ze všech známých stabilních a neradioaktivních chemických prvků nabízí lithium nejlepší elektrochemické vlastnosti a zastiňuje všechny ostatní typy článků.

Superkondenzátory představují zvláštní typ zdroje, který svými parametry může poměrně výrazně ovlivnit provozní parametry elektrického pohonu. Schopnost pojmu a v krátkém čase vydat velkým objem elektrického výkonu z nich činí ideální řešení energetického kompenzačního prvku pohonného řetězce.

Palivové články jsou spornou oblastí pro pohon silničních vozidel. Vodíková ekonomika, na které je provoz palivových článků postaven, je prezentována jako ekvivalent stávající ekonomiky s fosilními palivy. Problémem je ale hromadná výroba vodíku v potřebné chemické čistotě, ekonomický transport a uskladnění.

Perspektivu nových elektrochemických zdrojů můžeme rozdělit do tří oblastí. Jednou je oblast nabízených provozních parametrů, kde dominují technologie na bázi lithia, od rychlosti nabíjení Li-Ti po měrnou energii Li-vzduch článku. Druhou perspektivní oblastí je použití alternativních materiálů, jejichž úkolem je snížení ceny akumulátoru. Důvodem hledání alternativních materiálů je závislost na současných primárních materiálech, které se kvůli výskytu v určitých oblastech zemské kůry (např. ložiska lithia v Číně), mohou stát strategickou surovinou. Třetí oblastí jsou články kov-vzduch s nejvyšší měrnou energií uložené energie a možnost použití běžných prvků, nasazení ale komplikuje problematika přímého elektrického nabíjení.

Na základě zjištěných skutečností můžeme velice reálně uvažovat, že většina budoucích vozidel s elektrickým pohonem bude postavena právě na některém z typů lithiových akumulátorů.

Rozdíl v provozu elektricky poháněných vozidel je způsoben právě přítomností elektrochemických zdrojů. V případě klasického HEV nenalezneme příliš odlišností od provozu konvenčního vozu s ICE, hlavní rozdíl nastává u plug-in HEV a VEV. Při provozu v čistě elektrickém režimu musíme vozidla nabíjet a kromě zdroje elektrické energie musíme řešit problém jak a čím vozidlo nabíjet.

V oblasti nabíjecí infrastruktury narážíme na nejednotnost výrobců a národních nařízení, díky čemuž na trhu nalezneme několik specializovaných typů nabíjecích konektorů a nejasnost vývoje budoucího standardu.

Mimoměstský provoz v čistě elektrickém režimu sebou nese úskalí relativně krátkého dojezdu vozidel a jejich dlouhé nabíjecí časy. Řešení rychlonabíjecích stanic naráží na vysokou pořizovací cenu těchto zařízení a na nutnost dostatečného dimenzování přírodního elektrického vedení k těmto stanicím. Mechanická výměna akumulátorů se potýká s na problematiku nejen vlastnických práv akumulátorů a samotnou konstrukci vozidla.

Koncepce vozidel s elektrickým pohonem se do budoucna bude nejpravděpodobněji ubírat směrem zvyšování podílu lehkých materiálů a alternativních způsobů jejich spojování, snižování energetické spotřeby palubních spotřebičů (typicky topení a klimatizace) a možnou změnou celého pohonného řetězce. Úkolem je snížení energetické náročnosti jak pohonu, tak výkon odebíraného přídatnými zařízeními z omezeného palubního zdroje energie.

V rámci bilance provozu vozidel jsem získal velice zajímavé srovnání poskytnutých vozidel. Hodnoty průměrných spotřeb obou vozidel jsou vypočteny přibližně na základě dostupných údajů, přesto dávají dostatečný obraz o účinnosti pohonu vozidel. Z číselných výsledků je velice dobře patrný diametrální rozdíl ve spotřebě obou vozidel dále zvýrazněné v ekonomickém srovnání. Samotné náklady na provoz jasně ukazují výhody elektrického pohonu, v případě uvažování nákladů na pořízení a provoz již situace není natolik jednoznačná, velice záleží na množství ujetých kilometrů a vstupující ceně elektrické energie a paliv.

Bilance nám také ukázala, že vozy Smart ForTwo jsou kvůli působícím jízdním odporům opravdu nejvhodnější pro provoz v městském a příměstská vozidla bez ohledu na typ použitého pohonu.

## Použitá literatura

### Monografické publikace

- [1] DVOŘÁK, Karel. *Elektrochemické zdroje pro elektromobily*. Plzeň, 2010. 68 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření.
- [2] BARTÁK, Petr. *HYBRIDNÍ POHON AUTOBUSU/TROLEJBUSU*. Plzeň, 2009. 106 s. Diplomová práce. Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstrukce strojů
- [3] MURPHY, Mike.. *Hybrid-electric light vehicles : Technologies and trends to 2015* [online]. London : Automotive World Ltd, červenec 2011 [cit. 2011–11-28]. Dostupné z WWW: <www.automotiveworld.com>.
- [4] HUDEK, Michal. *Alternativní a hybridní pohony*. Plzeň, 2011. 58 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita, Fakulta strojní, Katedra konstrukce strojů.
- [5] MATELA, Petr. *STUDIE POHONU ELEKTROMOBILU*. Brno, 2011. 49 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v BRNĚ, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.

### Studijní materiály

- [6] BARTÁK, Jiří, BARTÁK, Petr. *Přednášky z předmětu KKS/HDP, Hybridní pohony v automobilových aplikacích 1/2*. 2011 [cit. 2011–11-25].
- [7] BARTÁK, Jiří, BARTÁK, Petr. *Přednášky z předmětu KKS/HDP, Hybridní pohony v automobilových aplikacích 2/2*. 2011 [cit. 2011–11-25].
- [8] BARTÁK, Jiří, BARTÁK, Petr. *Přednášky z předmětu KKS/HDP, Elektropohon v silniční dopravě 1/2*. 2011 [cit. 2011-11-25].
- [9] BARTÁK, Jiří, BARTÁK, Petr. *Přednášky z předmětu KKS/HDP, Elektropohon v silniční dopravě 2/2*. 2011 [cit. 2011-11-25].
- [10] BARTÁK, Jiří. *Přednášky z předmětu KKS/HDP, Vodík v dopravě*. 2011 [cit. 2011-12-17].

### Internetové zdroje

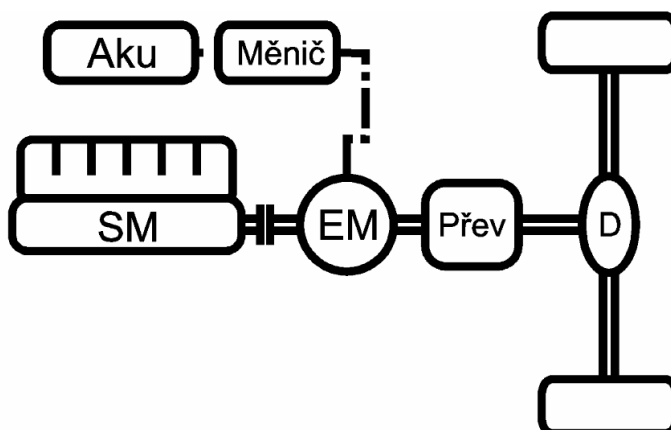
- [11] Nissan tvrdí, že velký dojezd u elektromobilů není nutný. HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-12-06]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nissan-tvrdi-ze-velky-dojezd-u-elektromobilu-neni-nutny>
- [12] *Valence* [online]. 2011 [cit. 2011-12-06]. U-Charge® XP Lithium Iron Magnesium Phosphate Battery Modules. Dostupné z: <http://www.valence.com/energy-storage/xp-12v-19v-lithium-phosphate-battery-module>
- [13] Hybridní trolejbus In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011–12–15]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Hybridn%C3%AD\\_trolejbus](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hybridn%C3%AD_trolejbus)
- [14] Tramvaj In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011–12–15]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tramvaj>.
- [15] Smith Edison. *Smith electric* [online]. [cit. 2011–12-16]. Dostupné z: [http://smithelectric.com/wp-content/themes/barebones/pdfs/SmithEdisonSpecSheet\\_OUS\\_2011.pdf](http://smithelectric.com/wp-content/themes/barebones/pdfs/SmithEdisonSpecSheet_OUS_2011.pdf)
- [16] Hybridní nákladňák Volvo FE jde do výroby. SOUKUP, Petr. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2012–01-03]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/hybridni-nakladak-volvo-fe-jde-do-vyroby>
- [17] Nautilus XE30. BALQON CORPORATION. *Balqon.com* [online]. [cit. 2012–01-03]. Dostupné z: [http://www.balqon.com/product\\_details.php?pid=2](http://www.balqon.com/product_details.php?pid=2)
- [18] HybriDrive® energy storage system. BAE SYSTEMS. [online]. [cit. 2012–01-03]. Dostupné z: [http://www.hybridrive.com/pdfs/hybridrive\\_ess.pdf](http://www.hybridrive.com/pdfs/hybridrive_ess.pdf)
- [19] FCvelocity®-HD6. BALLARD. *Ballard.com* [online]. [cit. 2012–01-03]. Dostupné z: <http://www.ballard.com/fuel-cell-products/fc-velocity-hd6.aspx>
- [20] Čím nahradíme ropu? Palivové články, akumulátory a další. MURTINGER, Karel. *Nazeleno.cz*:

- chytrá řešení pro každého* [online]. [cit. 2012-01-03]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/cim-nahradime-ropu-palivove-clanky-akumulatory-a-dalsi.aspx>
- [21] SUPER-IRON NANOPARTICLE BASED BATTERY. LICHT, Stuart. *Flintbox.com* [online]. [cit. 2012-01-03]. Dostupné z: <http://www.flintbox.com/public/project/7247/>
- [22] Lithium: Nejdůležitější součást elektromobilů?. MURTINGER, Karel. *Nazeleno.cz: chytrá řešení pro každého* [online]. [cit. 2012-01-03]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/lithium-nejdulezitejsi-soucast-elektromobilu.aspx>
- [23] Li-ion baterie na vzduch s 10x větší kapacitou. HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2012-01-03]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/novinky/li-ion-bateri-na-vzduch-s-10x-vetsi-kapacitou>
- [24] VAN DEN BOSSCHE, Peter. Defining and Developing Standards [online]. [cit. 2012-1-16]. Dostupné z: [http://evtnsportal.org/P\\_Van\\_den\\_Bossche1.pdf](http://evtnsportal.org/P_Van_den_Bossche1.pdf)
- [25] IEC 62196 In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2012–1–17]. Dostupné z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/IEC\\_62196](http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196)
- [26] AVCON In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2012–1–17]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Avcon>
- [27] NIEMINSKI C., Gregory. IEC Electric road vehicles [online]. [cit. 2012–1-16]. Dostupné z: <http://publicaa.ansi.org/sites/apdl/Documents/Meetings%20and%20Events/EDV%20Workshop/Presentations/Nieminski-ANSI-EDV-0411.pdf>
- [28] MORROW, Kevin. The EV project update [online]. [cit. 2012–1-16]. Dostupné z: [http://mydocs.epri.com/docs/publicmeetingmaterials/1103/4HNMA3A5B2T/E236053\\_Day\\_1\\_PH\\_EV.pdf](http://mydocs.epri.com/docs/publicmeetingmaterials/1103/4HNMA3A5B2T/E236053_Day_1_PH_EV.pdf)
- [29] Mennekes and electric vehicle [online]. [cit. 2012–1-16]. Dostupné z: <http://elbil.pbworks.com/f/MENNEKES%2Band%2BEV.pdf>
- [30] Media information [online]. [cit. 2012–1-16]. 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)
- [31] Hybrid Mercedes-Benz E-Cell Plus na trhu příští rok. HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2012–01-20]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/seriovy-hybrid-mercedes-benz-e-cell-plus-na-trhu-pristi-rok>
- [32] Lotus nabídne extensor čili rozšiřovač dojezdu. HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2012-01-20]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/novinky/lotus-nabidne-extender-cili-rozsirovac-dojezdu>
- [33] KÁRPÍŠKOVÁ, Dana. *Nazeleno.cz* [online]. 2009 [cit. 2012–01-28]. První vodíková čerpací stanice v ČR: Zatím ji využije jen jeden autobus. Dostupné z WWW: <http://www.nazeleno.cz/prvni-vodikova-cerpaci-stance-v-cr-zatim-ji-vyuzije-jen-jeden-autobus.aspx>
- [34] Energie budoucnosti – virtuální elektrárny a inteligentní sítě? NEJEDLÝ, Petr. *Nazeleno.cz* [online]. 2009 [cit. 2010–05–03]. Dostupné z WWW: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/energiebudoucnosti-virtualni-elektrarny-a-inteligentni-site.aspx>
- [35] MIKULA, Aleš. Elektromobilita jako součást smart grids. [online]. [cit. 2012–1-22]. Dostupné z: [http://www.futureage.eu/download/prezentace\\_Mikula.pdf](http://www.futureage.eu/download/prezentace_Mikula.pdf)
- [36] MACHEK, Martin, ŠPATENKA, Milan. Probíhající aktivity z oblasti vědy, výzkumu a inovací ve skupině ČEZ. [online]. [cit. 2012–1-25]. Dostupné z: [http://japtech.zelenausporam.cz/gallery/0/106-08\\_cez\\_probihajici\\_aktivity\\_v\\_oblasti\\_r\\_d\\_a\\_inovaci\\_ve\\_skupine\\_cez\\_milan\\_spatenka\\_a\\_martin\\_machek.pdf](http://japtech.zelenausporam.cz/gallery/0/106-08_cez_probihajici_aktivity_v_oblasti_r_d_a_inovaci_ve_skupine_cez_milan_spatenka_a_martin_machek.pdf)
- [37] Daimler zkouší bčko plug-in hybrid s indukčním nabíjením. HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2012-01-20]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/daimler-zkousi-bcko-plug-hybrid-s-indukcnim-nabijenim>
- [38]auta budoucnosti budou z plastů. HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-01-03]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/auta-budoucnosti-budou-z-plastu>

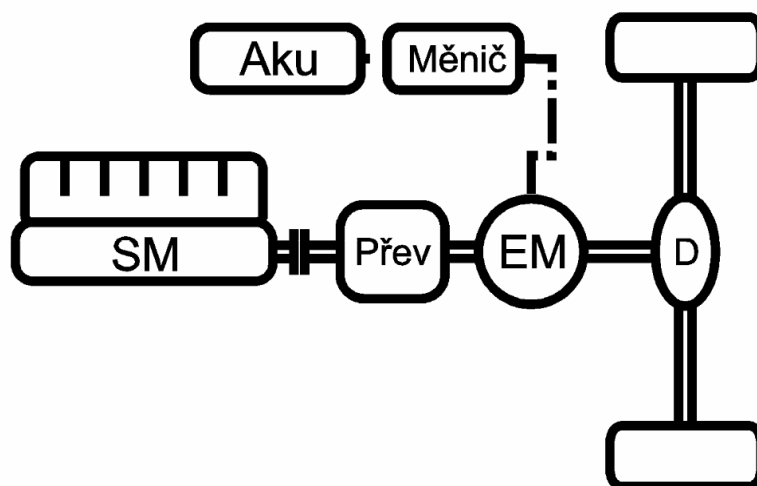


- [39] Technologie lepení v automobilovém průmyslu. Lepeni.pdf [online]. 2008 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/lepeni.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf)
- [40] Test elektromobilu Nissan Leaf. KUBIŠ, František. Hybrid.cz [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/test-elektromobilu-nissan-leaf>
- [41] Jezdit, nebo topit. U elektrického auta si musíte vybrat. STEHLÍK, Jakub. Auto.idnes.cz [online]. 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: [http://auto.idnes.cz/jezdit-nebo-topit-u-elektrickeho-auta-si-musite-vybrat-pgc-/auto\\_testy.aspx?c=A120217\\_214919\\_auto\\_testy\\_fdv](http://auto.idnes.cz/jezdit-nebo-topit-u-elektrickeho-auta-si-musite-vybrat-pgc-/auto_testy.aspx?c=A120217_214919_auto_testy_fdv)
- [42] Smart Forvision - elektromobil budoucnosti. HORČÍK, Jan. Hybrid.cz [online]. 2011 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/smart-forvision-elektromobil-budoucnosti>
- [43] Antonov's 3-speed transmission for electric vehicles boosts efficiency by 15 percent. MCKEEGAN, Noel. Gizmag.com [online]. 2011 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/antonov-3-speed-transmission-ev/19088/>
- [44] Převodovka Zeroshift. Kaps.cz: automatic [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: [http://www.kaps.cz/news/prevodovka\\_zeroshift-1152.html](http://www.kaps.cz/news/prevodovka_zeroshift-1152.html)
- [45] How To Decide Whether To Use A Gearbox Or Not In Your Electric Car Conversion [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://electriccarconversionblog.com/electric-car-conversion-gearbox-vs-no-gearbox>
- [46] Wheel hub motor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2012 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wheel\\_hub\\_motor](http://en.wikipedia.org/wiki/Wheel_hub_motor)
- [47] Wheel motor. In: Ekopedia [online]. 2002-2010 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: [http://en.ekopedia.org/Wheel\\_motor](http://en.ekopedia.org/Wheel_motor)
- [48] Stephen. Hub Motors for All-Electric Vehicles Still Have Some Technological Challenges to Overcome. J. MRAZ. Machinedesign.com [online]. 2010 [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://machinedesign.com/article/hub-motors-for-all-electric-vehicles-still-have-some-technological-challenges-to-overcome-08>

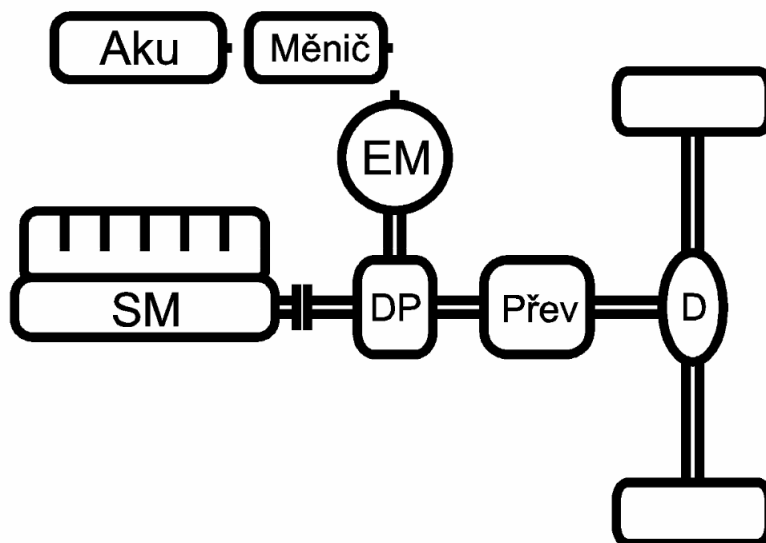
## Příloha A – Druhy uspořádání pohonu HEV



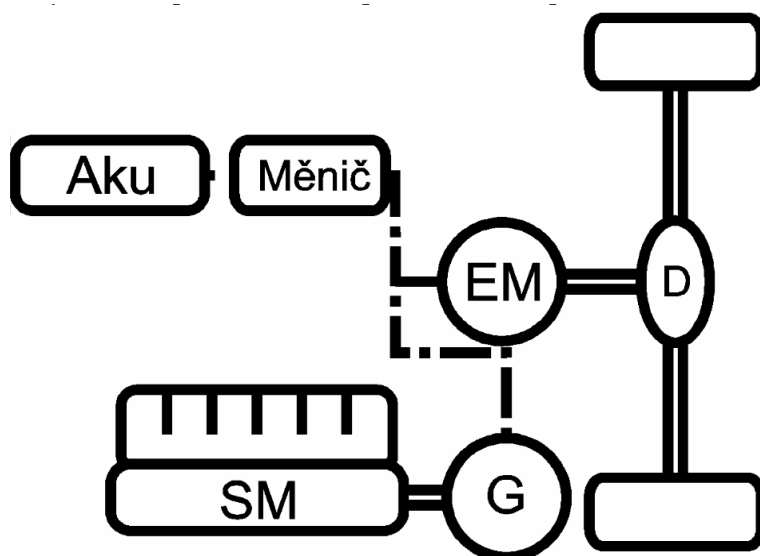
Obr. č. 59: Základní schéma paralelního uspořádání [2]



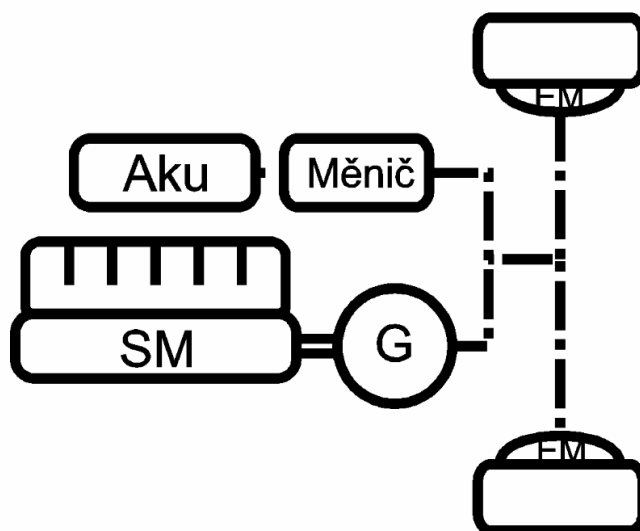
Obr. č. 60: Schéma paralelního uspořádání s EM za převodovkou v



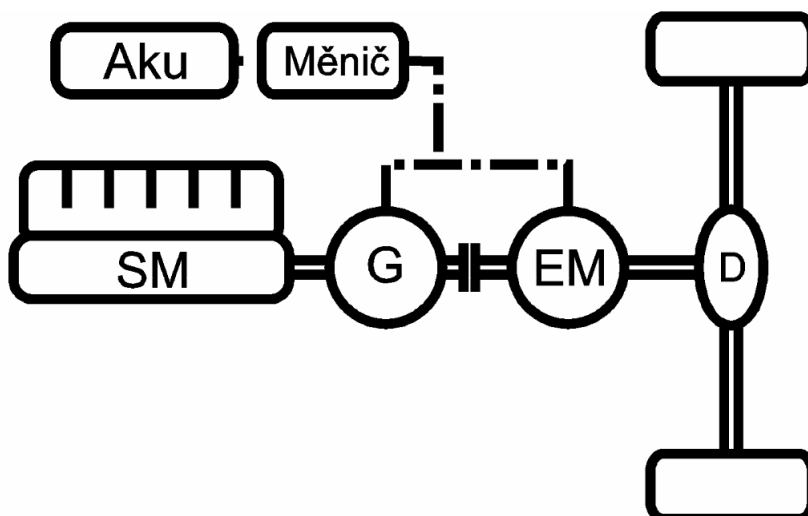
Obr. č. 61: Schéma paralelního uspořádání s dělicí převodovkou [2]



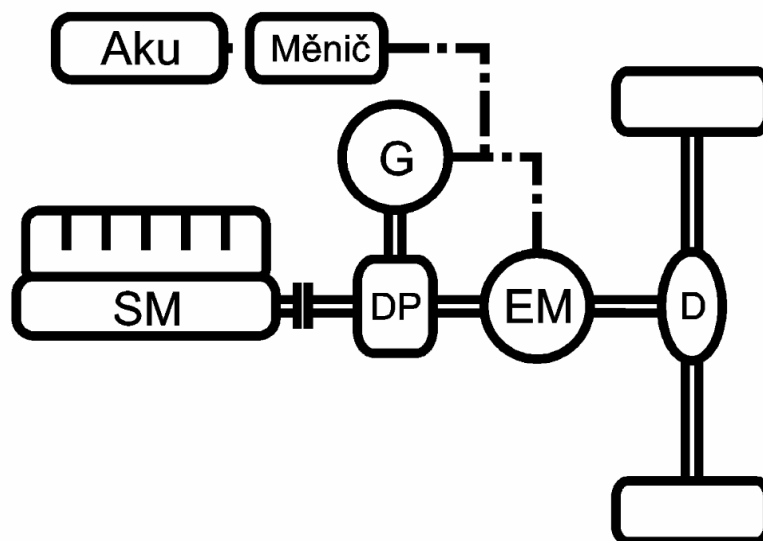
Obr. č. 62: Základní schéma sériového uspořádání [2]



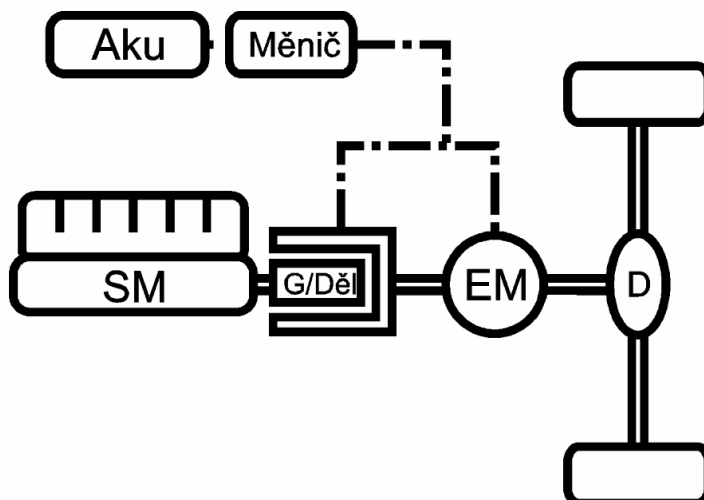
Obr. č. 63: Schéma sériového uspořádání s kolomotory [2]



Obr. č. 64: Schéma kombinovaného přepínatelného uspořádání [2]

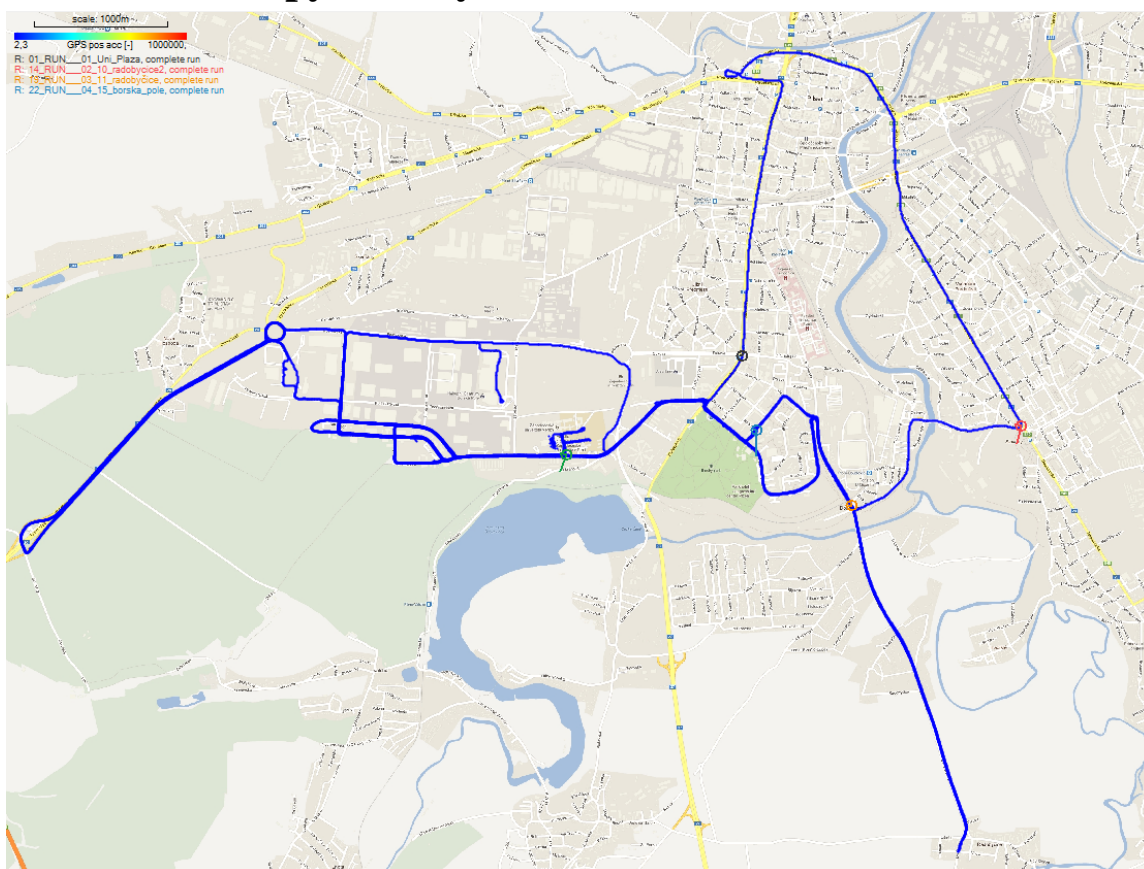


Obr. č. 65: Schéma kombinovaného uspořádání s mechanickým dělením výkonu [2]

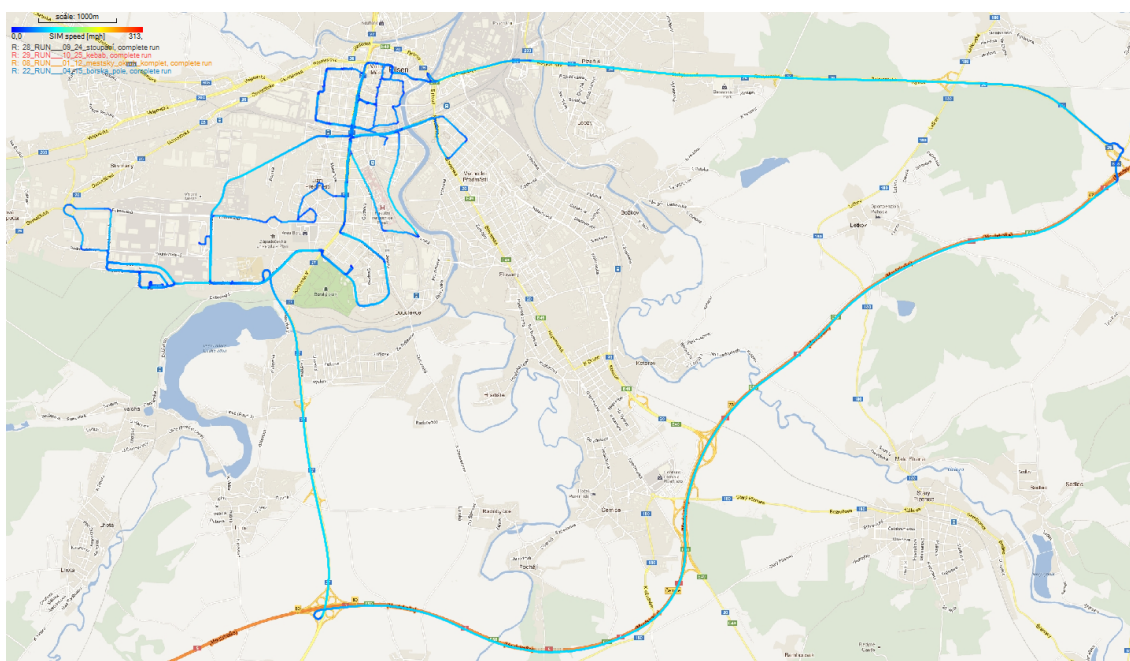


Obr. č. 66: Schéma kombinovaného uspořádání s elektrickým dělením výkonu [2]

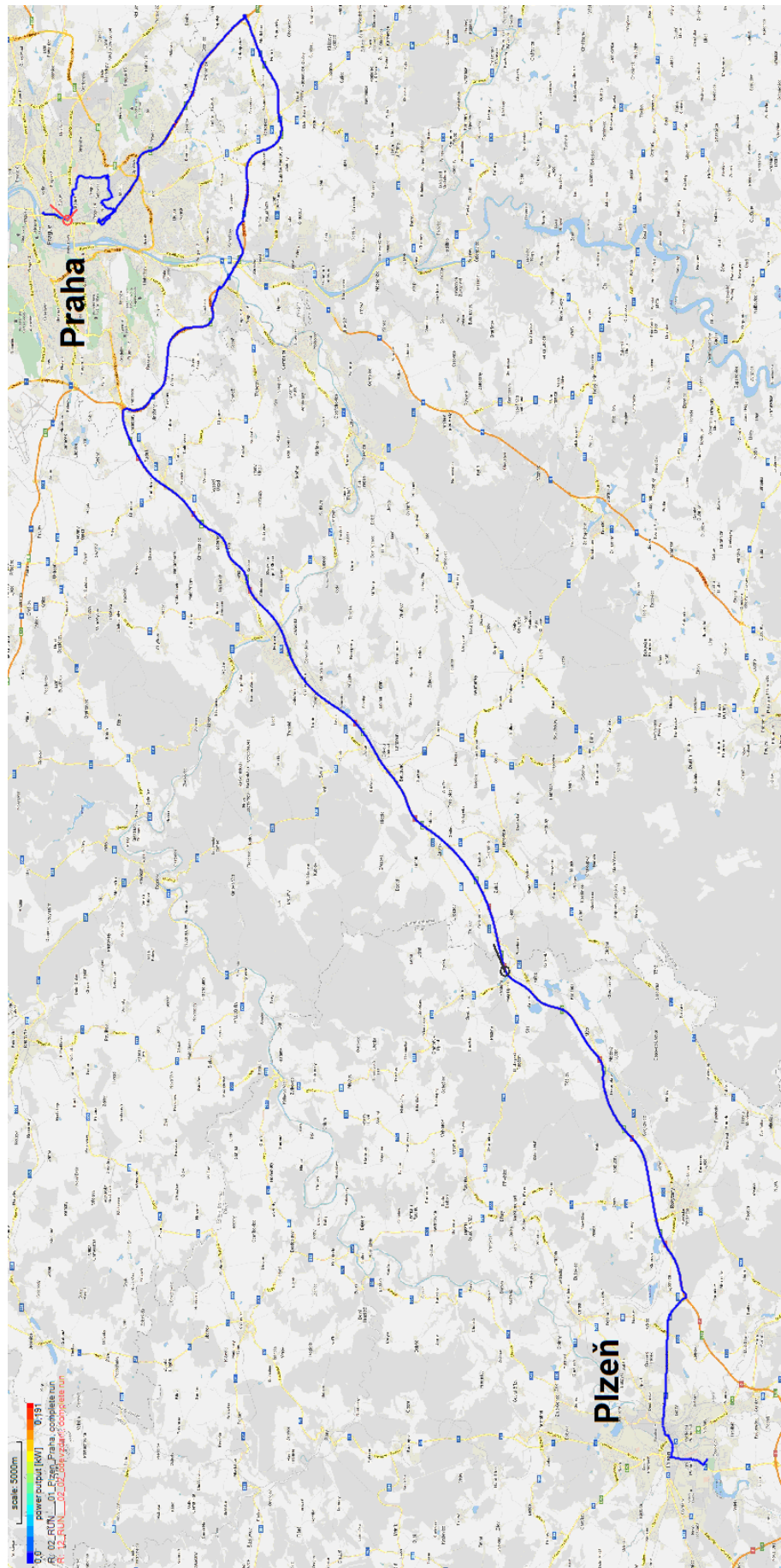
## Příloha B – Mapy celkových denních tras



Obr. č. 67: Celková jízdní trasa prvního dne

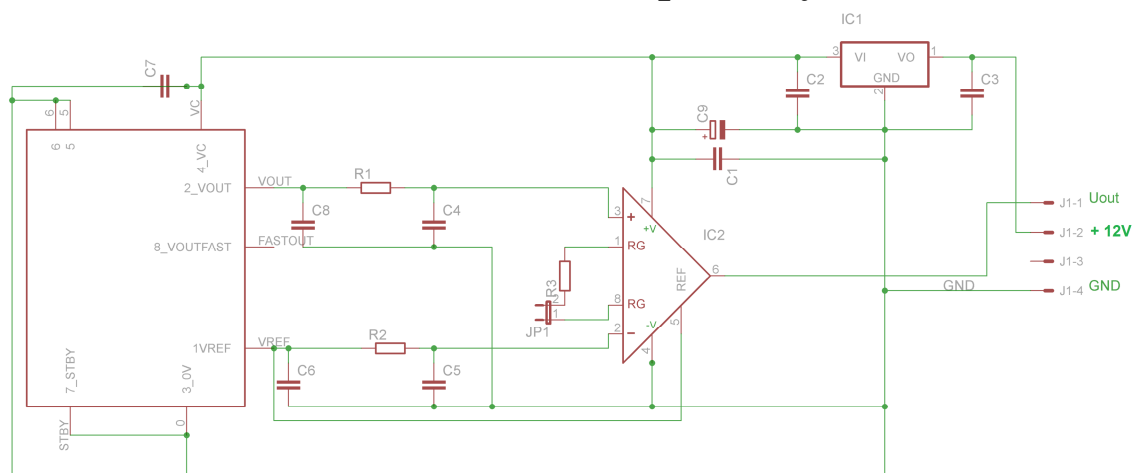


Obr. č. 68: Celková jízdní trasa druhého dne

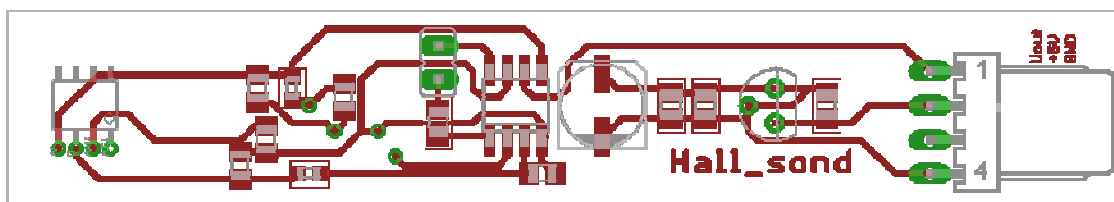


Obr. č. 69: Ujetá trasa Pízeň – Praha

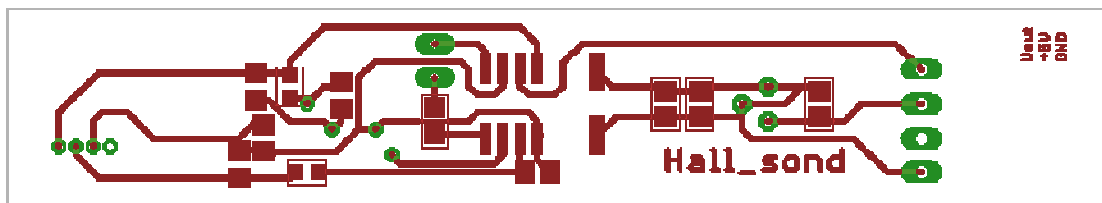
## Příloha C – Návrh obvodů externí aparatury



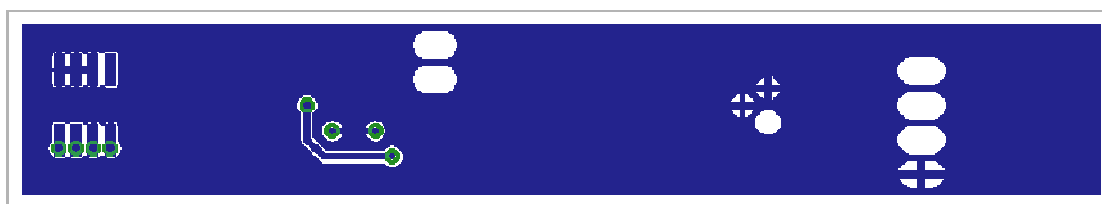
Obr. č. 70: Schéma zapojení proudové sondy



Obr. č. 71: Rozložení součástek proudové sondy

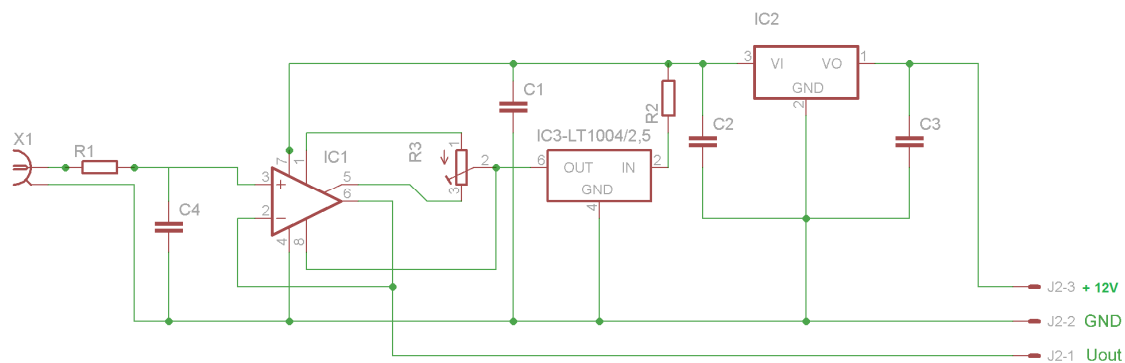


Obr. č. 72: Vodivé cesty strany součástek proudové sondy

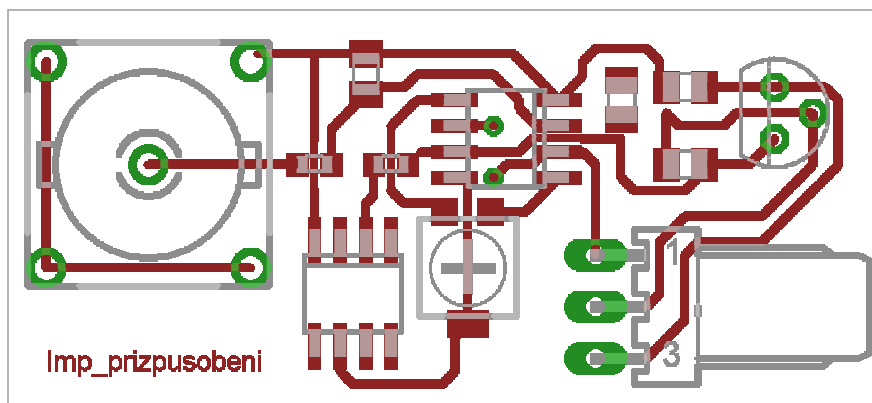


Obr. č. 73: Stínění spodní strany proudové sondy přiléhající ke kabelu

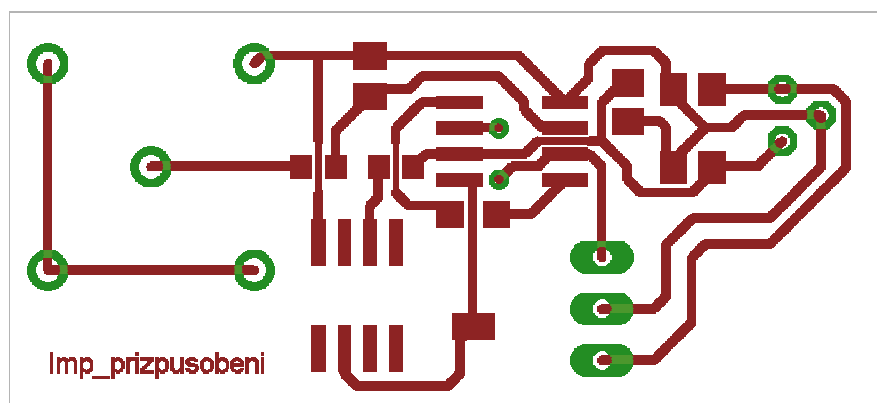




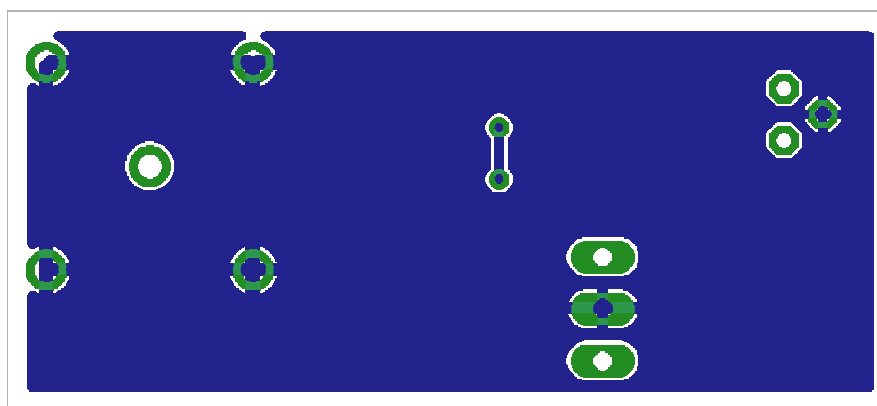
Obr. č. 74: Schéma zapojení impedančního přizpůsobení



Obr. č. 75: Rozložení součástek impedančního přizpůsobení



Obr. č. 76: Vodivé cesty strany součástek impedančního přizpůsobení



Obr. č. 77: Stínění spodní strany desky impedančního přizpůsobení