



E-mobilita v MHD

Situace a vývojové trendy v elektrických autobusech
pro městskou dopravu

Studie

Srpen 2013

Ing. Jakub Slavík, MBA
Consulting Services


proelektrotechniky.cz
elektrotechnika pro odborníky

E-mobilita v MHD

Situace a vývojové trendy v elektrických autobusech pro městskou dopravu

Zpracovatel studie: © Ing. Jakub Slavík, MBA – Consulting Services
provozovatel portálu www.proelektrotechniky.cz

Hlavní příjemce studie: Sdružení dopravních podniků ČR

Partneři studie:



ABB s.r.o.



Cegelec Praha a.s.



EVC Group s.r.o.



SOLARIS

SOLARIS CZECH
spol. s r.o.



Siemens, s.r.o.



SOR Libchavy spol. s r.o.



ŠKODA ELECTRIC a.s.



VOLVO Truck
Czech s.r.o.

Další spolupracující organizace:

Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR

Sdružení dopravních podniků ČR

Fakulta dopravní ČVUT

Národní spolek pro elektromobilitu a podporu moderních technologií

Dopravní podnik Ostrava a.s.

EKOVA ELECTRIC a.s.

ÚJV Řež a.s.

Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost

Dopravní podnik města Brna, a.s.

SunLine Transit Agency (USA)

Transport for London (V. Británie)

Mediální partner: TOP-EXPO CZ s.r.o.

Prohlášení zpracovatele:

Tato studie vychází z informačních zdrojů uvedených souhrnně v seznamu literatury a vyvozuje z nich závěry podle nejlepších zkušeností a poznatků zpracovatele v době zpracování. Součástí studie jsou produktové informace, za jejichž pravdivost a úplnost odpovídá příslušný výrobce.

Studie je bezplatně k dispozici v elektronické podobě široké odborné i laické veřejnosti prostřednictvím informačního portálu www.proelektrotechniky.cz nebo mediálního partnera studie. Duševní vlastnictví v ní obsažené zůstává majetkem zpracovatele. Studii lze volně používat k odborným, propagačním nebo redakčním účelům s tím, že je nutno se na ni odkázat jako na zdroj informací podle platných norem nebo zavedených zvyklostí, pokud není ve studii výslovně uveden jiný informační zdroj.

Resumé

Předmětem studie „E-mobilita v MHD – Situace a vývojové trendy v elektrických autobusech pro městskou dopravu“ jsou vývojové trendy a provozní zkušenosti z ČR a ze zahraničí týkající se elektrických autobusů pro MHD, tedy autobusů poháněných elektromotorem a využívajících jako zdroj elektrické energie trakční baterie, superkapacitory nebo vodíkový palivový článek, včetně kombinací těchto zdrojů nebo hybridních sestav se spalovacím motorem. Studie je orientována na české dopravce provozující MHD, zastřešené Sdružením dopravních podniků ČR, a na další organizace, které se problematikou MHD zabývají. Studie vychází z aktuálních souhrnných zpráv zpracovaných na úrovni EU a USA a doplňuje je údaji z průzkumu u výrobců a dopravců. Studie došla k následujícím hlavním závěrům:

V současné době se do budoucna jako nejperspektivnější jeví elektrobusy dobíjené přes den na trase a z dlouhodobého pohledu také palivočláňkové autobusy. Z krátkodobého pohledu jsou přijatelnou variantou i diesel-hybridní autobusy. Trolejbusy jsou výhodné tam, kde již existuje potřebná infrastruktura, podle potřeby doplněné zařízením pro přejíždění bez troleje. Existuje přitom velká variabilita nabízených technických řešení, která se neustále vyvíjejí. Při jejich volbě je žádoucí uzpůsobovat zvolené technické řešení požadavkům konkrétního přepravního trhu, ne naopak.

Elektrický pohon je energeticky nejehospodárnější i nejekologičtější, a to jak v místě, tak se zohledněním výroby energie. Platí to pro všechny druhy elektrických autobusů včetně diesel-hybridního. Konkrétní hodnoty se různí podle zdrojů informací, relace mezi nimi se řádově příliš neliší. Naproti tomu použití CNG představuje v městském provozu zdravotní rizika srovnatelná se standardním dieselem, což nevylučuje jeho přínosy mimo MHD.

Z pohledu celoživotních nákladů jsou elektrické pohony prozatím dražší než spalovací motory, elektrobusy a palivočláňkové autobusy však zároveň mají vysoký potenciál postupného zlevňování díky možnostem sériové výroby. Konkrétní nabízené produkty a technologie se přitom mohou svými parametry lišit od průměru.

Spolehlivost elektrických autobusů má velké rozmezí zjištěných hodnot a velmi závisí na konkrétním zvoleném produktu. Obecně však platí, že hlavní příčinou poruchovosti bývají mechanické závady a elektrický pohon sám je nejméně zranitelnou součástí vozidla.

Rychlý vývoj technologií v e-mobilitě představuje potenciál pro životní prostředí i trh, a to jak v rámci samotné elektromobility, tak v synergích mezi elektromobilitou a energetikou při rozvíjení konceptu „smart grid“. Jako takový by měl být podporován z veřejných zdrojů včetně potřebné motivace dopravců k využívání elektrických pohonů v MHD a zapojování se do rozvojových projektů.

The Abstract

The study called “E-mobilita v MHD” (the Urban Transport E-mobility) has been prepared by the Czech private consultancy Ing. Jakub Slavík, MBA – Consulting Services, to inform Czech public transport operators about the technologies and operational experience to date and to stimulate the e-bus utilization as well as their involvement in e-bus research and development projects. The study covers trolley-buses, diesel hybrids and e-buses, both with battery and/or capacitor energy storage and with fuel cell as the primary energy source. These electric urban buses have been compared with combustion engine vehicles represented by diesel and CNG buses, in terms of energy consumption and cost, greenhouse gas emissions, noise and life cycle cost. Relations between urban transport e-mobility and the “smart grid” concept have been presented as well. Comprehensive reports prepared on the EU and the USA levels have been the basis for the Study, completed by information from the field research among manufacturers, transport operators and dedicated project web sites, focused especially on the bus operational reliability and other parameters important for a transport operator.

The comparison among all these sources has shown that although different sources present different values, the relations among various powertrain indicators and trends in their developments are the same: Opportunity e-buses (charged on the route) and fuel cell buses are the most promising technologies that, however, need much investment to the development with close participation of transport operators, to obtain reliable field data. Diesel hybrid buses are a developed product competing to CNG in terms of costs and showing better environmental parameters. Trolley-buses can use new energy storage and charging technologies, to outweigh their disadvantage in dependence on the catenary as well as high infrastructure cost. On the other hand, the comparison shows that general rules and stereotypes about the powertrains under research may not apply for each particular product or its use. Finally, it shows that electric powertrain technology develops very fast and it offers a big variety of opportunities for particular transport market conditions and requirements. It also reaches also beyond the transport sector, especially through the smart grid concept.

Obsah

1	Cíle, metodika a vstupní informace	1
1.1	Cíle Studie a hlavní cílová skupina	1
1.2	Základní pojmy	1
1.3	Metodika	2
1.4	Zdroje informací	3
1.5	Aktualizace Studie	4
2	Trhy pro elektrické autobusy MHD	5
2.1	Trh městské linkové dopravy	5
2.2	Jiné trhy	5
3	Zdroje energie pro elektrické autobusy	6
3.1	Trakční baterie	6
3.2	Superkapacitory	8
3.3	Dobíjecí infrastruktura	8
3.4	Palivové články	9
3.5	Další zdroje energie	10
3.6	Přínosy hybridních sestav	11
4	Souhrnné zprávy z EU a USA – hlavní závěry	12
4.1	Studie EU	12
4.2	Zpráva NREL	12
5	Příklady konkrétních produktů pro e-mobilitu v MHD	15
5.1	Trakční výzbroj a dobíjecí infrastruktura	15
5.1.1	TOSA DC nabíjecí systém a trakční výzbroj	15
5.1.2	Trakční elektrovýzbroje Cegelec do tramvají, trolejbusů a elektrobusů	16
5.2	Elektrobusy	17
5.2.1	Elektrobus Elektro Midibus EVC First Electric	17
5.2.2	Elektrobus Siemens/Rampini	18
5.2.3	Elektrobus Solaris Urbino 12 electric	19
5.2.4	Elektrobus SOR EBN 10,5	20
5.3	Hybridní autobusy	21
5.3.1	Hybridní autobus ŠKODA H12	21
5.3.2	Hybridní autobus Volvo 7700	23
6	Zkušenosti z provozu elektrických autobusů – případové studie	24
6.1	Elektrobusy (e-busy)	24
6.1.1	Provoz elektrobusů MHD v rámci projektu „100 Bus Electriques“	24
6.1.2	Provoz elektrobusů MHD v Dopravním podniku Ostrava	25
6.1.3	Provoz průběžně dobíjeného elektrobusu Siemens/Rampini u Wiener Linien	26

6.1.4	Zkušební provoz elektrobusu Solaris Urbino electric	27
6.1.5	Provoz elektrobusů MHD v Turíně.....	28
6.1.6	Srovnávací zkušební provoz elektrobusů v Dopravním podniku Ostrava.....	29
6.2	Palivočlánkové autobusy (fc-busy)	30
6.2.1	Projekt HyFleet:CUTE a návazný provoz fc-busů v Londýně.....	30
6.2.2	Provoz fc-busů společnosti SunLine Transit Agency, USA.....	32
6.2.3	Provoz parku fc-busů dopravců AC Transit a CTT Transit, USA	33
6.2.4	Projekt TriHyBus	34
6.3	Diesel-hybridní autobusy	36
6.3.1	Provoz hybridních autobusů v Londýně.....	36
6.3.2	Zkušební provoz hybridního autobusu Volvo 7700 v Praze a Chomutově	37
7	Analýza získaných poznatků	38
7.1	Spotřeba energie.....	38
7.2	Emise a hlučnost.....	38
7.3	Nákladovost	40
7.4	Provozní spolehlivost	42
7.5	Elektromobilita MHD a koncept „smart grid“	43
8	Zavádění a rozvíjení elektrických autobusů jako projekt	45
9	Závěry a doporučení	47
9.1	Souhrnné závěry Studie	47
9.1.1	Perspektivy elektrických autobusů.....	47
9.1.2	Energetická hospodárnost a vlivy na životní prostředí	47
9.1.3	Náklady.....	47
9.1.4	Provozní spolehlivost	47
9.1.5	Další závěry	47
9.2	Závěry a doporučení pro dopravce a municipality	48
9.2.1	Elektrobusy	48
9.2.2	Palivočlánkové autobusy.....	48
9.2.3	Diesel-hybridní autobusy versus CNG.....	48
9.2.4	Efektivnost provozu a financování	48
9.3	Závěry a doporučení pro veřejné finance	49
9.3.1	Hlavní oblasti podpory.....	49
9.3.2	Vícezdrojové financování	49
9.3.3	Motivace dopravců	50
	Seznam literatury	51

1 Cíle, metodika a vstupní informace

1.1 Cíle Studie a hlavní cílová skupina

Předmětem studie „E-mobilita v MHD – Situace a vývojové trendy v elektrických autobusech pro městskou dopravu“ (dále „Studie“) jsou vývojové trendy a provozní zkušenosti z ČR a ze zahraničí týkající se elektrických autobusů pro MHD, tedy autobusů poháněných elektromotorem a využívajících jako zdroj elektrické energie trakční baterie, superkapacitory nebo vodíkový palivový článek, včetně kombinací těchto zdrojů nebo hybridních sestav se spalovacím motorem.

Studie je orientována na české dopravce provozující MHD, zastřešené Sdružením dopravních podniků ČR, a na další organizace, které se problematikou MHD zabývají.

Primárním cílem Studie je seznámit srozumitelnou formou čtenáře s výhodami, nevýhodami a perspektivami různých řešení pro pohon elektrických autobusů z hlediska provozních vlastností a nákladů.

Elektromobilita v MHD má oporu mimo jiné v tzv. Bílé knize dopravy EU [7] a ve státní energetické koncepci ČR. Studie je zpracována v situaci, kdy se na úrovni odvětvových ministerstev připravují operační programy využívající spolufinancování z EU, zaměřené na oblast elektromobility. Dlouhodobým problémem využívání uvedených zdrojů je přitom nedostatek kvalitních projektů. Ukazuje se navíc, že elektromobilita v MHD může díky svému charakteru významnou měrou přispívat k vytváření tzv. inteligentních přenosových a distribučních sítí (koncept tzv. „smart grids“). Dalším důležitým cílem Studie je proto motivovat k vytváření projektových týmů složených z výrobců, výzkumných organizací a dopravců, které by v rámci konkrétních projektů elektromobilitu MHD dále rozvíjely, tak jak je to běžné v zahraničí, ať již samostatně nebo v kontextu vyšších systémů typu „smart grids“.

1.2 Základní pojmy

Není-li uvedeno jinak, mají pojmy uváděné dále v této Studii následující význam:

Elektrický autobus: souhrnné označení pro autobusy, k jejichž pohonu slouží elektromotor včetně hybridních kombinací se spalovacím motorem, tj. elektrobusy, palivočláňkové autobusy, trolejbusy a hybridní autobusy

Elektrobus (též „**e-bus**“): elektrický autobus, jehož zdrojem trakční energie jsou akumulátory, kapacitory nebo jiný akumulovatelný zdroj; elektrobusy zahrnují

- **noční elektrobusy**, s kapacitou zdrojů energie dostačující k tomu, aby byly při běžném provozu dobíjeny pouze jednou mezi ukončením a začátkem denního provozu (noční dobíjení),
- **oportunitní elektrobusy**, též **průběžně dobíjené elektrobusy**, s takovou kapacitou zdrojů energie, která kromě nočního dobíjení vyžaduje za normálních podmínek jejich plné nebo částečné dobití také během provozu.

Palivočláňkový autobus (též „**fc-bus**“): elektrický autobus, jehož zdrojem trakční energie je palivový článek, včetně hybridních kombinací s dalšími zdroji energie.

Hybridní autobus (též „**diesel-hybridní autobus**“): elektrický autobus, jehož pohon kombinuje elektrický motor a spalovací motor, přičemž nevyužitá elektrická energie je ukládána do akumulátorů; hybridní autobusy zahrnují:

- **sériové hybridní autobusy**, u nichž je hnací náprava poháněna pouze elektromotorem a spalovací motor slouží pouze k výrobě trakční energie,
- **paralelní hybridní autobusy**, u nichž je do pohonu alternativně zapojován elektromotor nebo spalovací motor s mechanickým převodem.
- **plug-in hybridní autobusy**, u nichž jsou akumulátory dobíjeny z vnějších zdrojů, jejich kapacita umožňuje zapojit elektrický pohon v nadpoloviční délce trasy a spalovací motor slouží ke zvětšení dojezdové vzdálenosti.

Trolejbus: elektrický autobus využívající jako zdroj trakční energie pevné trakční vedení, včetně hybridních sestav s akumulátory nebo spalovacími motory pro zvětšení dojezdové vzdálenosti.

CFO (catenary-free operation): technologie umožňující trolejbusům a jiným vozidlům **závislé trakce** (tzn. vozidlům závislým na pevném trakčním vedení) částečný provoz také mimo síť trakčního vedení.

Smart grid: elektrická distribuční nebo přenosová síť doplněná o obousměrnou datovou komunikační síť, která umožňuje v reálném čase pružně a efektivně sladovat výrobu a spotřebu elektrické energie.

1.3 Metodika

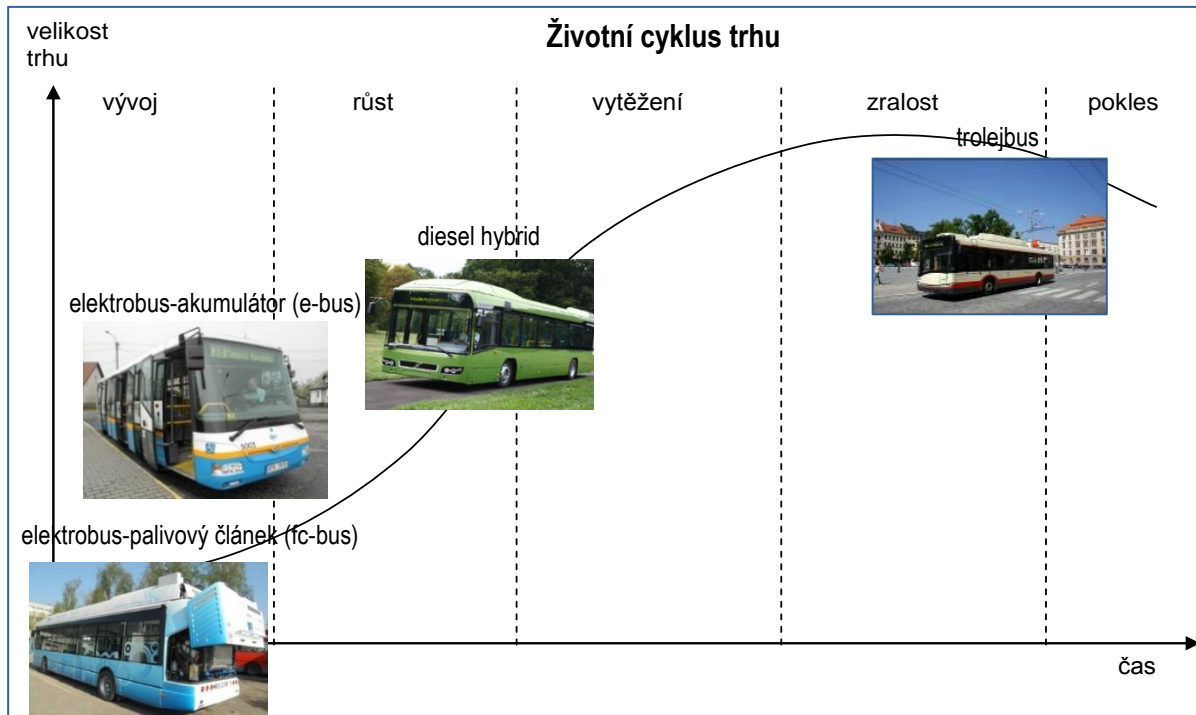
Vzhledem ke stanovenému cíli je základním metodickým východiskem studie strategický management, tak jak jej vymezuje například Johnson a kol. [4] a který např. Chapman & Cowdell [1] promítá do specifických podmínek veřejných služeb. Pro české manažerské prostředí aplikuje uvedené principy např. Slavík [6]. V kontextu této teorie (a bohaté praxe) je Studie zamýšlena jako součást a podpora strategické analýzy dopravců, výrobců i financujících institucí a dalších dotčených organizací.

Ačkoli tedy Studie obsahuje množství technických údajů, přistupuje k problematice elektrických autobusů primárně **z manažerského, nikoli technologického, pohledu**. Tomuto přístupu odpovídá i její struktura:

- Vymezení trhu pro elektrické autobusy MHD a jeho základních znaků (kapitola 2)
- Popis základních konceptů elektrických autobusů a používaných zdrojů energie z pohledu strategického managementu (kapitola 3)
- Souhrnné poznatky z výchozích aktuálních zpráv a studií z EU a USA, týkajících se elektrických autobusů pro MHD (kapitola 4)
- Příklady konkrétních produktů a technologií pro elektrické autobusy na současném trhu (kapitola 5)
- Případové studie z provozu elektrických autobusů v MHD (kapitola 6)
- Analýza poznatků z porovnání elektrických autobusů s ostatními pohony z hlediska hospodaření s energií, ekologických vlivů a nákladovosti včetně vývojových trendů a vazeb na koncept „smart grids“ (kapitola 7)
- Stručný návod, jak zavádět a dále rozvíjet elektrické autobusy ve městě formou rozvojového projektu (kapitola 8)
- Závěry a doporučení z analýzy pro dopravce, financující subjekty a další dotčené osoby a organizace (kapitola 9)

Elektrické autobusy analyzuje Studie z pohledu životního cyklu trhu, vysvětleného například v [6], jak ukazuje obrázek č. 1. Vzhledem k tomu, že trolejbus je již dlouhou dobu hotovým produktem na zralém trhu, zaměřuje se Studie především na **elektrobusy, palivočlánkové autobusy a hybridní autobusy**, zejména v částech týkajících se případových studií z provozu, produktových informací a vývojových trendů.

Jako **srovnávací základna** pro analýzu elektrických autobusů slouží dva základní typy spalovacích motorů: **diesellový motor a motor na stlačený zemní plyn (CNG)**.



Obr. 1 Elektrické autobusy z pohledu životního cyklu trhu

1.4 Zdroje informací

Studie vychází ze souhrnné zprávy o alternativních pohonech pro městské autobusy, zpracované na úrovni EU pod zastřešením Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) v roce 2012 [3] s přispěním širokého fóra evropských výrobců a dopravců – za ČR se jejího zpracování zúčastnil zástupce společnosti Škoda Electric (dále „Studie EU“). Obecné poznatky z této zprávy porovnává s dalšími informačními zdroji. Těmi jsou souhrnná zpráva National Renewable Energy Laboratory v USA [2] k výsledkům provozu palivočlánkových autobusů v roce 2012 a dále množství údajů získaných od dopravců, výrobců a dalších organizací i z publikovaných informací o konkrétních projektech elektrických autobusů, souhrnně označovaných jako „údaje z průzkumu“ [7].

Kvůli relevantnosti závěrů pro české prostředí se uváděné příklady ze zahraničí až na výjimky orientují na Evropu a USA. Elektrické autobusy se však osvědčují i v jiných částech světa, zejména v asijských zemích.

Údaje z uvedených zdrojů jsou co do konkrétních hodnot navzájem srovnatelné jen ve velmi omezené míře vzhledem k tomu, že různé zdroje používají různé, ne vždy plně vysvětlené metody výpočtů a prognóz a málokdy také pokrývají celý rozsah vlastností elektrických autobusů, na něž se Studie zaměřuje. Studie proto tam, kde je třeba, uvádí nejvyšší a nejnižší zjištěnou hodnotu spolu s údajem Studie EU [3] jakožto srovnávací základnou.

Nicméně, jak Studie dále ukazuje, údaje z uvedených zdrojů ukazují i přes různost svých absolutních hodnot velmi podobné vzájemné vztahy a vývojové trendy. To mimo jiné posiluje vypovídací schopnost závěrů, které z nich Studie vyvozuje.

Z uvedených důvodů je při prezentaci výsledků srovnání v analytické části Studie upřednostňováno grafické znázornění před konkrétními čísly, jejichž doslovné převzetí a snaha o vyvozování exaktních závěrů by mohly být zavádějící. Konkrétní hodnoty, z nichž grafické znázornění vychází, má zpracovatel k dispozici a může s nimi podle potřeby dále pracovat při pokračování a rozvíjení této Studie.

Poznámka: Produktové informace (kapitola 5) a případové studie (kapitola 6) jsou graficky odlišeny barevným pozadím. Jejich vstupní hodnoty a obrazová dokumentace vycházejí z informačních zdrojů uvedených u každé z nich a nesledují systém číslování popisné a analytické části Studie. Produktové informace jsou v rámci každé z příslušných podkapitol uvedeny v abecedním pořadí názvů výrobců.

1.5 Aktualizace Studie

Tato Studie vychází z poznatků zpracovatele v době jejího uveřejnění. Vzhledem k rychlému vývoji technologií i provozních zkušeností v oblasti elektrických autobusů se předpokládá, že Studie bude průběžně aktualizována, v závislosti na nových informacích, potřebách uživatelů a možnostech zpracovatelů. O aktualizovaných verzích budou uživatelé včas informováni prostřednictvím portálu www.proelektrotechniky.cz, Sdružení dopravních podniků ČR a dalších spolupracujících organizací.

2 Trhy pro elektrické autobusy MHD

2.1 Trh městské linkové dopravy

Trh městské linkové dopravy je charakterizován následujícími vlastnostmi:

- Stálé trasy o různých intenzitách přepravních proudů pohybujících se v rozmezí cca 4 až 5 tisíc přepravených osob na linku denně v obou směrech, s denním proběhem vozidel cca 150 až 250 km dle místních podmínek;
- Provoz v husté síti ulic s krátkými vzdálenostmi mezi zastávkami (zpravidla stovky metrů), a tudíž s častými rozjezdy a zastaveními;
- Pravidelné denní a sezónní výkyvy v poptávce (špičky a sedla) i příležitostné nárazové výkyvy;
- Disponibilita vozového parku a přesnost spojení podle jízdního rádu jako základní parametry kvality přepravních služeb;
- Kultura cestování a její parametry jako další důležitá oblast řízení a hodnocení kvality služeb.

Standardním vozidlem pro tento typ přepravního trhu je 12m třídvéřový autobus o celkové kapacitě cca 85 osob sedících i stojících a s vnitřním prostorovým uspořádáním odpovídajícím městskému provozu, umožňujícím rychlý nástup a výstup cestujících. U současně vyráběných typů městských autobusů je standardem nízkopodlažní provedení nebo snížený nástupní prostor a vybavení pro přepravu tělesně postižených osob.

Pro méně zatížené linky jsou používány dvoudvéřové midibusy o délce cca 8 až 9 m. Na více zatížené linky jsou nasazovány 18m (v zahraničí i 24m) velkokapacitní kloubové autobusy. Specifickým znakem MHD na britských ostrovech jsou patrové městské autobusy o délce 10,5 m a přepravní kapacitě cca 90 osob, převážně sedících.

2.2 Jiné trhy

Dalším trhem, na kterém se začaly uplatňovat elektrické minibusy o délce cca 5 – 8 m a přepravní kapacitě cca 20 až 50 osob především v prvopočátcích elektrobusové dopravy, je přeprava na krátkých, často okružních linkách v uzavřených historických centrech měst nebo kyvadlová doprava z okrajových částí do těchto center. Délka těchto linek tvoří zpravidla jednotky km a denní proběh vozidel cca 100 km. Příkladem jsou autobusy v rámci francouzského projektu „100 Buse Electriques“ (viz kapitola 6.1.1).

Tato Studie se přednostně orientuje na trh městské linkové dopravy ve smyslu kapitoly 2.1 se standardním 12m městským autobusem jako typovým vozidlem. V ojedinělých případech zahrnuje do analýzy pro i jiné trhy a typy autobusů, vždy jasně vymezené.

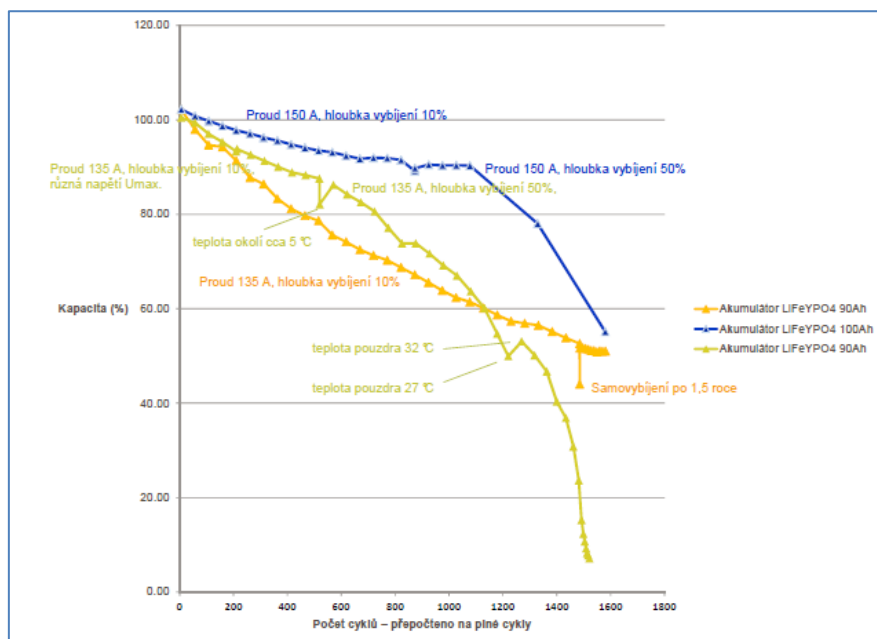
3 Zdroje energie pro elektrické autobusy

3.1 Trakční baterie

Jako trakční baterie se v současné době s ohledem na dosaženou hustotu energie (viz níže) nejčastěji používají lithium-iontové akumulátory, přičemž jejich konkrétní chemické složení má vliv na jejich provozní vlastnosti a nákladovost. Podle výsledků zkoušek ve výzkumném centru automobilového průmyslu pod belgickou iniciativou Flanders' DRIVE [7] je například z hlediska výkonu, životnosti a bezpečnosti nejvýhodnější použití sloučenin titanu, niklu, hořčíku a kobaltu (LTO+NMC), které je však zároveň nejdražší, zatímco z hlediska energie a nákladové výhodnosti vychází optimální použití sloučenin uhlíku, niklu, manganu a kobaltu (C+NMC).

U starších typů elektrobusů se lze setkat i s jinými druhy akumulátorů s menší hustotou energie, například olověných, nikl-kadmiových nebo vysokoteplotních baterií ZEBRA (nikl-chlorid, provozní teplota cca 300°C). Zkušenosti s těmito bateriemi a jejich provozní vlastnosti jsou ukázány na příkladu francouzského projektu „100 Bus Electriques“ v kapitole 6.1.1.

Životnost baterie pro nasazení v mobilních aplikacích je dána její skutečnou kapacitou a pohybuje se řádově v tisících cyklů plného nabití a vybití. Jakmile klesne pod 70 %, přestává být pro tento účel vhodná, protože pro vozidlo znamená příliš velký podíl mrtvé hmotnosti. Podle výsledků testování v Ústavu řídicí techniky a telematiky Fakulty dopravní ČVUT [7] závisí životnost baterie daná počtem cyklů plného nabití a vybití na mnoha faktorech, jako je například proud, délka nabíjení, hloubka vybití nebo okolní teplota, viz obrázek č. 2.



Obr. 2 Výsledky testování baterií na Fakultě dopravní ČVUT [7]

Jak patrně z obrázku, životnost baterie má klesající exponenciální průběh, tj. po určité době klesá velmi strmě.

Podle provozních zkušeností dopravců (např. Dopravní podnik Ostrava – viz kapitola 6.1.2) lze dosáhnout i příznivějších výsledků. Velmi přitom záleží na konkrétním typu baterie od konkrétního výrobce a na způsobu nakládání s bateriemi, především na šetrném nabíjení a vybití.

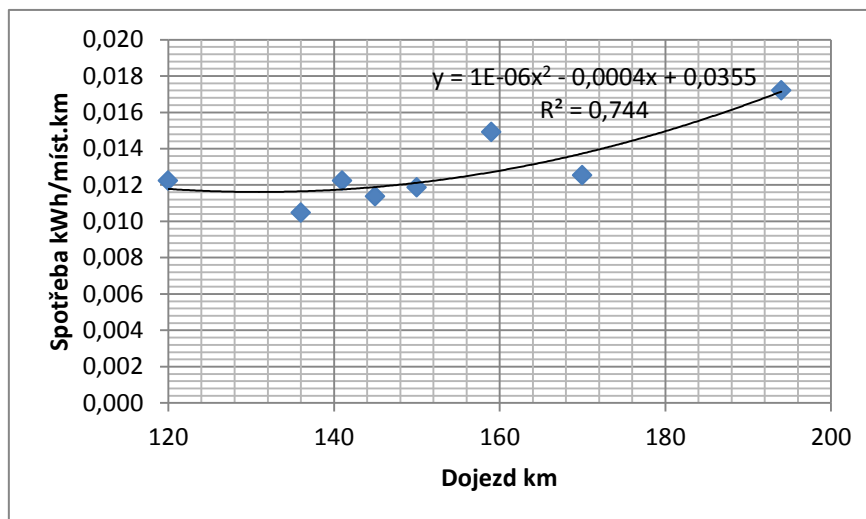
Dojezd elektrobusů na jedno nabití omezuje především hustota energie, tj. množství uchování energie vztažené na objem baterie, a do jisté míry i měrná energie, tj. množství energie vztažené na hmotnost. Vzhledem ke konstrukčním a provozním vlastnostem autobusu se při současném stavu technologie pohybuje maximální dojezd standardního elektrobusu s cestujícími na jedno nabití v rozmezí cca 120 až 150 km. Snaha o další výrazné zvyšování dojezdu je na úkor obsaditelnosti autobusu a spotřeby energie na místokilometr, což je dáno objemem a hmotností trakčních baterií (podle Siemens by baterie na celodenní dojezd představovaly cca 40 % veškeré hmotnosti elektrobusu). Názorně to ukazuje vzorek osmi elektrobusů v tabulce č. 1 a graf na obrázku č. 3 s vypočítanou statistickou křivkou (R^2 =koeficient determinace), kde je vidět zřejmá závislost mezi dojezdem a spotřebou na místokilometr. Na konkrétní hodnoty mají pochopitelně vliv i mnohé další parametry, jako je velikost a konstrukce autobusu, typ akumulátoru apod.

Tabulka č. 1 Porovnání různých typů elektrobusů z hlediska provozních parametrů

(zdroj: SOR, DP Ostrava, FD ČVUT, vlastní výpočty)

	Délka (m)	Celková kapacita (počet míst)	Kapacita baterií (kWh)	Spotřeba (kWh/km)	Dojezd (km)	Kapacita baterií (kWh/místkm)	Spotřeba energie (kWh/místkm)
ZEUS	5,9	36	58	0,44	120	0,013	0,012
SOR EBN8	8	51	173	0,76	159	0,021	0,015
SOR EBN9,5	9,79	73	173	0,83	145	0,016	0,011
SOR EBN10,5	10,37	85	173	0,89	136	0,015	0,010
BYD	12	68	324	1,17	194	0,025	0,017
ERABUS	11,48	86	218	1,02	150	0,017	0,012
Solaris Urbino E 12	12	85	210	1,04	141	0,018	0,012
AMZ CS10E *)	10	83	230	1,04	170	0,016	0,013

*) Výsledky testů v DP Ostrava, červenec 2013



Obr. 3 Závislost spotřeby energie na dojezdu elektrobusu (zdroj viz tab. 1, vlastní výpočty)

Je zřejmé, že toto omezení vede k preferenci průběžně dobíjeného, neboli tzv. oportunitního neboli průběžně dobíjeného elektrobusu (viz kapitola 1.2), který se dobíjí během jízdy na trase, oproti tzv. nočnímu elektrobusu, který se dobíjí pouze jednou denně. Dokládají to i závěry analýz v dalších kapitolách včetně výsledků srovnávacího provozu oportunitního a nočního elektrobusu v kapitole 6.1.5.

3.2 Superkapacitory

Pojmem superkapacitor (též superkondenzátor nebo ultrakapacitor) je označován speciální elektrolytický kondenzátor s výrazně velkou kapacitou (až 1000 F), kterou umožňují elektrody s pórovitým povrchem, a tedy velkou plochou. Elektrody superkapacitoru odděluje od sebe tekutý elektrolyt nebo elektrolyt ve formě gelu.

Superkapacitor tedy funguje na elektrostatickém principu. Uchovává poměrně malé množství energie (řádově kilowatthodiny), lze jej však velmi rychle (řádově v sekundách) nabíjet i vybíjet velkými výkony (řádově stovky kW), a to až miliónkrát. Znamená to, že oproti akumulátorům je jeho životnost daná počtem cyklů plného nabití a vybití cca tisícinásobná.

Pro jejich vlastnosti je využití superkapacitorů jako zdrojů energie výhodné právě v provozu městských autobusů, s jednorázovým velkým zatížením při častých rozjezdech.

Příklad využití superkapacitorů jako dalšího zdroje k trakčním bateriím ukazuje hybridní autobus Škoda v kapitole 5.3.1 a projekt TriHyBus v kapitole 6.2.4.

Některé elektrobusy používají superkapacitory jako jediný zdroj energie. Příkladem je 12m Ultracap Bus firmy Sinautec provozovaný od roku 2006 v Šanghaji, jehož 5,9 kWh superkapacitory umožňují nezávislý dojezd cca 6 km s klimatizací nebo 10 km bez klimatizace. Superkapacitory se dobíjejí po dobu 30 sekund v nácestných zastávkách a 5 minut na konečných stanicích pomocí střešního sběrače ze 600V/200A nabíjecích stanic.

Kromě zdrojů energie na vozidle se superkapacitory mohou použít také v nabíjecích stanicích pro soustředění energie do rychlého dobíjení – viz dále o technologii „flash charging“.

3.3 Dobíjecí infrastruktura

Akumulátory (případně superkapacitory) se dobíjejí pomocí nejrůznějších zařízení, od elektrické zásuvky přes nejrůznější typy střešních sběračů až po bezkontaktní indukční dobíjení. Jejich orientační srovnání ukazuje tabulka č. 2.

Tabulka č. 2 Orientační srovnání trakčních dobíjecích zařízení

(zdroj: SOR)

	Přípojka	Vstup do vozidla	Přenášený výkon (kW)	Cena (Kč)
Zásuvka, AC vstup	3× 400 V AC 250 A	3× 400 V AC 250 A	170	225 000
Zásuvka, DC vstup	3× 400 V AC 150 A	600 V DC 170 A	102	2 000 000
Zásuvka z tram sítě	600 V DC 170 A	600 V DC 170 A	102	375 000
Rameno s kontakty	3× 400 V AC 250 A	3× 400 V AC 250 A	170	700 000
Pantograf, veřej. síť	3× 400 V AC 260 A	600 V DC 300 A	180	3 125 000
Pantograf, tram síť	600 V DC 300 A	600 V DC 300 A	180	800 000
Indukční přenos	3× 400 V AC 125 A	3× 400 V AC 87 A	60	1 925 000

Zcela novým typem dobíjecího zařízení, které je v současné době předmětem zkušebního provozu v Ženevě, je systém „flash charging“ (bleskového dobíjení) na trase, s vysokým přenášeným výkonem během krátké doby (400 kW, 15 s), dosahovaným pomocí superkapacitorů v nabíjecí konzoli. Tato technologie je proto náročná na vyvážení parametrů dobíjecích stanic a trakční výzbroje vozidla. Podrobnosti viz v kapitole 5.1.1.

Z porovnání v tabulce č. 2 je zřejmé, že použití konkrétního dobíjecího zařízení závisí především na požadavcích konkrétního provozu z hlediska rozsahu a místních podmínek, na vybavení provozovatele MHD trakční infrastrukturou a na očekávání provozovatele ohledně

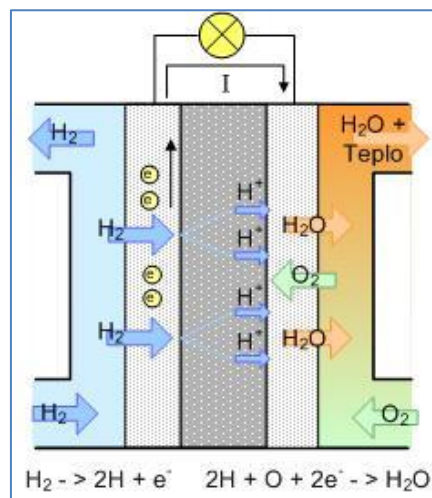
pohodlí a bezpečnosti obsluhy. V neposlední řadě bude konečná volba předmětem vyjednávání s konkrétním dodavatelem zařízení o požadovaných parametrech, ceně a hodnotě za peníze pro zákazníka.

Samostatným problémem jsou legislativní aspekty elektrických autobusů a jejich dobíjecí infrastruktury. Zatímco trolejbusy jsou ze zákona drážním vozidlem ve smyslu Zákona o drahách, česká legislativa je ohledně elektrobusů prozatím nejednoznačná, a je proto v tomto směru užitečné průběžně sledovat zkušenosti dopravců, kteří již elektrobusy provozují nebo provozovali (DP Ostrava a DP hl. m. Prahy).

3.4 Palivové články

Palivový článek je zařízení, kde se při chemické reakci vstupních látek – paliva a okysličovadla – na elektrodách ponořených do elektrolytu přeměňuje chemická energie na elektrickou energii. Palivem bývá nejčastěji vodík, existují však i například palivové články metanolové. Na anodě se z paliva odštěpují volné elektrony, které při průchodu vnějším obvodem vytvářejí elektrický proud. Kationty paliva procházejí elektrolytem a na katodě se slučují se vzdušným kyslíkem a s elektrony z vnějšího obvodu za vzniku vodní páry.

Palivových článků je více druhů. V elektromobilitě se nejčastěji využívají palivové články s protonvýměnnou membránou (PEM) zastávající funkci elektrolytu a s čistým vodíkem stlačeným na 35 MPa (350 bar) nebo 70 MPa (700 bar) jako palivem. Fungování tohoto palivového článku ukazuje obrázek č. 4.



Obr. 4 Schéma fungování palivového článku (zdroj: ÚJV Řež, a.s.)

Jako zdroj pohonu pro palivočlánekové elektrické autobusy (fc-busy) se palivové články nejčastěji používají v kombinaci s dalšími zdroji energie – trakčními bateriemi (viz příklady v kapitolách 6.2.2 a 6.2.3) nebo bateriemi a superkapacitami (viz kapitola 6.2.4). První palivočlánekové autobusy v rámci projektu HyFleet:CUTE (viz kapitola 6.2.1) byly konstruovány bez dalších zdrojů, což mělo příznivý dopad na vysokou spolehlivost provozu, ale nepříznivě se odrazilo ve spotřebě paliva.

Vyšší tlak vodíku 70 MPa klade větší nároky na materiál nádrží, ale zajišťuje delší dojezd vozidla. Proto se používá hlavně u osobních automobilů, kde se dojezd pohybuje kolem 600 km. U fc-busů je standardně používán tlak 35 MPa, který – podle objemu nádrže a spotřeby paliva – zajistí autobusu potřebný dojezd při naplnění jedenkrát za den nebo za dva dny (viz kapitola 6.2).

Od vozidel poháněných palivovými články je třeba odlišit vozidla vybavená plynovým spalovacím motorem, upraveným pro používání vodíku. Takováto vozidla bývají rovněž označována jako „vodíková“ stejně jako vozidla s palivovými články (například některé městské autobusy v Berlíně, viz kapitola 6.2.1), čímž dochází k nedorozumění. Proto je ve světě zažitý pojem FCEV (fuel cell electric vehicle – palivočlánkové elektrické vozidlo) a v této Studii se důsledně hovoří o palivočlánkových autobusech nebo fc-busech.

Nejzávažnějším problémem této technologie je v současné době výroba vodíku, který dnes vzniká převážně jako vedlejší produkt v plynárenském a petrochemickém průmyslu. Proto se hledají jiné, čistší technologie, především různé způsoby elektrolýzy, včetně synergií s obnovitelnými zdroji v zařízeních typu „power-to-gas“ (viz kapitola 7). Dalšími problémy jsou cena palivového článku, který používá jako katalyzátor na anodě stopovou platinu, a je proto nyní snaha ji nahradit lacinějšími materiály, i potřebné investiční náklady na vodíkovou infrastrukturu, které je možno rozpustit do jednotkových výkonů až při dostatečně velkém rozsahu provozu.

S ohledem na dojezd a příležitosti k ekologicky čisté výrobě vodíku má nicméně technologie palivových článků v mobilních i stacionárních využitích ve světě velkou podporu, a to především v USA a v Japonsku; v Evropě patří mezi vedoucí země Německo (přes 30 vodíkových plnicích stanic, další masivní rozvoj v plánu) a Velká Británie. Palivový článek sám je – navzdory obecnému povědomí – přitom zpravidla nejméně zranitelnou součástí vozidla, jak ukazují případové studie v kapitole 6.2. Vzhledem ke značné finanční síle průmyslových organizací, které se v zahraničí na podpoře palivočlánkových technologií podílejí (včetně například společností spojených s provozováním benzinových čerpacích stanic) nelze vyloučit významný rozvoj těchto pohonů v relativně blízké budoucnosti.

3.5 Další zdroje energie

Kromě výše uvedených zdrojů energie se u elektrických autobusů používají i další. Je jím především

- trakční vedení pro trolejbusy, zpravidla 600 V DC;
- dieselový motor pro diesel-hybridní autobusy;
- pístový spalovací motor nebo spalovací turbína pro prodloužení dojezdu elektrobusesů a trolejbusů (tzv. range extender);
- jiné zdroje ve stavu experimentů, například elektromechanický setrvačnick.

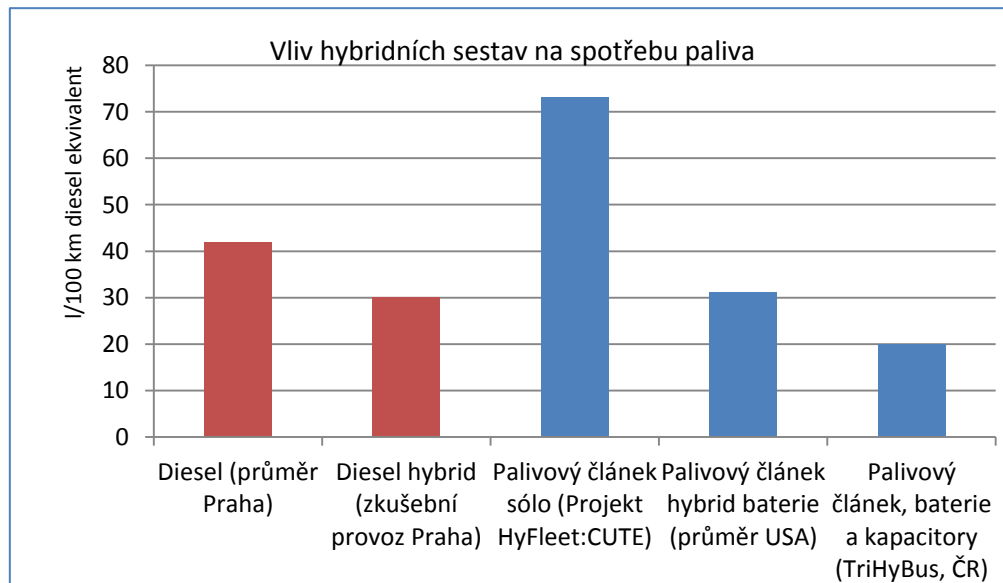
Trakční vedení trolejbusu představuje značnou finanční zátěž co do investic i udržovacích nákladů, proto jsou projekty rozšiřování trolejbusových sítí omezené a je spíše snaha je nahrazovat elektrobusesy nebo doplnit trolejbus zařízením na prodloužení dojezdu. Tím může být buďto akumulátor elektrické energie (trakční baterie, superkapacitor) nebo „range extender“ na spalovací motor. Hovoří se pak o provozu bez troleje (CFO – catenary-free operation).

Elektromechanický setrvačnick podporuje rozjezd elektrického vozidla tím, že rekuperovanou energii akumuluje do pohyblivé energie rotoru (při brzdění funguje setrvačnick jako elektromotor) a při rozjezdu ji dodává zpět do trakčního motoru (setrvačnick funguje jako generátor). Testy s tímto zařízením probíhají např. ve Velké Británii.

S ohledem na své zaměření a zvolenou míru podrobnosti tato Studie uvedená zařízení dále detailněji neanalyzuje.

3.6 Přínosy hybridních sestav

Trendem v technologiích elektrických autobusů je snaha kombinovat různé zdroje energie pro optimální energetický management vozidla v podmínkách městského provozu. Platí to zejména pro diesel-hybridní a palivočlánkové pohony, kde je přínos hybridních sestav naprosto zřejmý, jak ukazuje graf na obrázku č. 5.



Obr. 4 Vliv hybridních sestav na spotřebu paliva

Je zřejmé, že u těchto technologií bude vyšší riziko poruchovosti nebo špatného fungování celého pohonu, což klade nároky na systémovou integraci. Na příkladech konkrétních produktů a technických řešení v následujících kapitolách je však vidět, že se provozní výsledky mohou velmi lišit v závislosti na zvolené konstrukci a zkušenostech výrobce. Tyto výsledky ukazují, že mýtus o „nespolehlivých hybridech“ v praxi všeobecně neplatí.

Kombinací klasického diesel-hybridního pohonu a elektrobuse vznikne tzv. „**plug-in hybrid**“. Toto vozidlo má kapacitu baterií takovou, aby umožnila čistě elektrický dojezd po většinu trasy mezi výchozí a konečnou stanicí, kde se baterie opět dobijí. Nad elektrickou dojezdovou vzdálenost zajišťuje pohon dieselový motor. Tato technologie umožňuje oproti dieselovému pohonu cca 60% úsporu energie a cca 75 až 80% úsporu paliva a uhlíkových emisí (údaje společnosti Volvo).

4 Souhrnné zprávy z EU a USA – hlavní závěry

4.1 Studie EU

Zpráva „Urban buses: Alternative powertrains for Europe“ [3] zpracovaná pod zastřešením FCH JU v roce 2012 a zde označovaná jako „Studie EU“ si vytkla za cíl pro potřeby evropské administrativy co nejobjektivněji zhodnotit výhody a nevýhody jednotlivých alternativních pohonů pro městské autobusy a odhadnout jejich vývoj do roku 2030. Zpracování se zúčastnilo téměř padesát evropských podniků a jiných organizací z řad výrobců autobusů, dopravců, dodavatelů elektrické výzbroje vozidel a dobíjecích zařízení, dodavatelů vodíkové infrastruktury a dalších dotčených organizací. Studie byla zpracována pod metodickým vedením poradenské společnosti McKinsey&Company.

Studie EU hodnotí alternativní pohony (fc-busy, elektrobusesy a diesel-hybridní autobusy) v porovnání s tradičními pohony (trolejbusy, dieselové autobusy a autobusy na stlačený zemní plyn) především z pohledu dopadů na životní prostředí a celoživotních nákladů. Přitom se opírá o následující principy:

- Hodnocení dopadů na životní prostředí sleduje rozsah „well-to-wheel“, tedy „od jámy ke kolu“, tak aby byl zhodnocen veškerý dopad alternativních pohonů, nejen v místě provozu. Podle potřeby pak odlišuje emise v místě provozu („tank-to-wheel“) a emise související s výrobou a dodáním energie do vozidla, tedy emise předcházející jeho provozu (well-to-tank“).
- Hodnocení nákladů sleduje „celkové náklady vlastnictví“ („total cost of ownership“), zahrnující náklady na financování, nákup, infrastrukturu a provoz včetně pokuty za emise ve smyslu Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/33/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře čistých a energeticky účinných silničních vozidel.

Ačkoliv byla Studie EU iniciována a podporována organizací na podporu palivočlánkových technologií, snažila se o maximální objektivnost vůči všem alternativním pohonům.

Studie EU došla k následujícím hlavním závěrům:

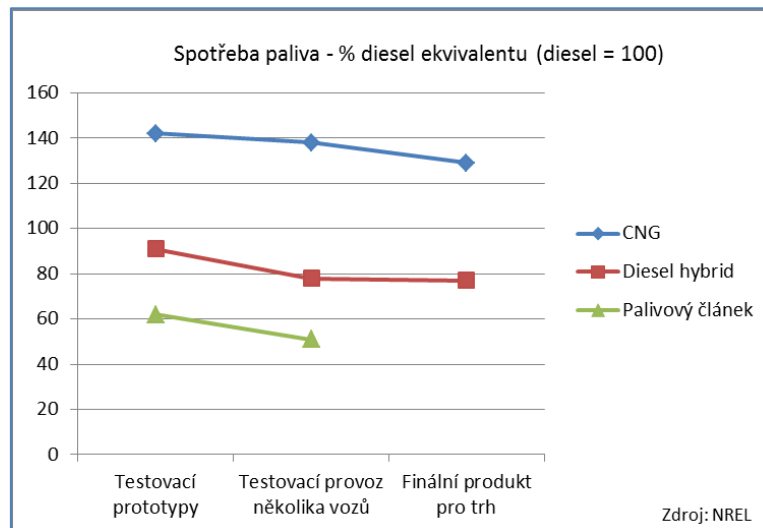
- Uvedené alternativní pohony městských autobusů mohou do roku 2030 významně snížit lokální emise skleníkových plynů při omezeném zvýšení nákladů.
- Nejslibnějšími alternativními pohony s nulovými lokálními emisemi jsou oportunitní (průběžně dobíjené) elektrobusesy a palivočlánkové autobusy.
- Současné vyšší náklady alternativních pohonů mohou být do budoucna významně sníženy nebo zcela eliminovány, přičemž mnohou sehrát významnou roli i daňové nástroje.
- Diesel-hybridní pohony mohou poskytnout nákladově efektivní řešení v krátkodobém časovém horizontu jako přemosťující technologie k pohonům s nulovými lokálními emisemi.

Konkrétní hodnoty ze Studie EU dokládající tyto závěry jsou uvedeny dále v kapitole 7 spolu s údaji z průzkumu.

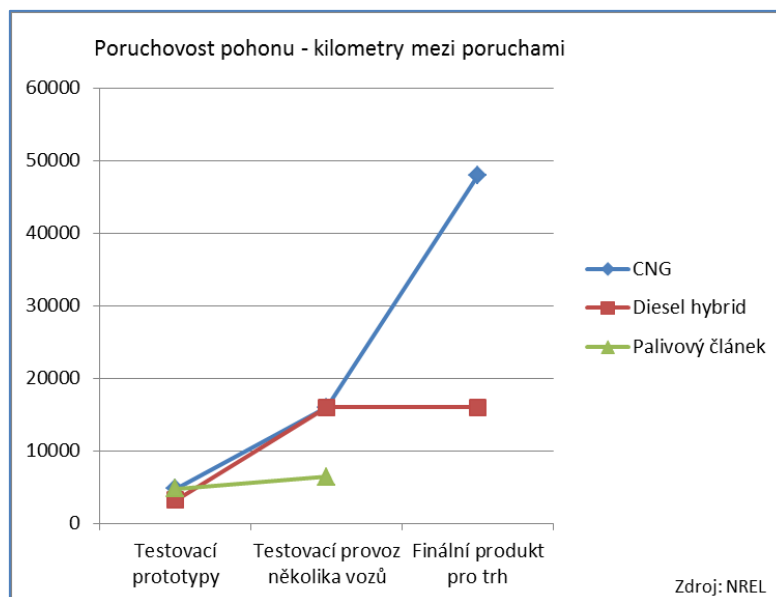
4.2 Zpráva NREL

Průběžná zpráva National Renewable Energy Laboratory v USA [2] k výsledkům provozu palivočlánkových autobusů v roce 2012 shrnuje výsledky zkušebních provozů s cestujícími u deseti amerických dopravců nebo zkušebních organizací na celkem 25 vozidlech. Zpráva na

základě podrobných statistických údajů hodnotí především spotřebu energie a spolehlivost měřenou mílemi mezi poruchami a porovnává je pro diesel-hybridní, plynový (CNG) a palivočlánkový pohon v závislosti na vývojovém stadiu příslušného produktu. Hlavní závěry v přepočtu na evropské jednotky názorně ukazují grafy na obrázcích 5 a 6.



Obr. 5 Spotřeba paliva pro vybrané pohony (zdroj: [2], vlastní přepočty)



Obr. 6 Míra poruchovosti pro vybrané pohony (zdroj: [2], vlastní přepočty)

Zpráva ukazuje především výhodnost palivočlánkových pohonů s ohledem na hospodaření s energií a na souvislosti mezi provozními parametry vozidel a zralostí produktu. Zpráva si všímá, že fc-busy procházejí podobným vývojem jako autobusy na CNG, ale poněkud pomaleji, což vysvětluje složitostí integrace vodíkového hospodářství a elektrické trakční výzbroje na jednom vozidle. Dále si všímá vysokých pořizovacích nákladů fc-busů, které vysvětluje jejich omezeným počtem, a tudíž malou ekonomii z rozsahu.

Zpráva také vyjadřuje podporu ministerstva energetiky (DOE) konstrukci fc-busu s palivovými články o menší kapacitě doplněné bateriemi s větší kapacitou (princip podobný projektu TriHyBus – viz kapitola 6.2.4) s ohledem na možné snížení pořizovacích nákladů.

Vedle souhrnných výsledků uvádí zpráva i základní statistické údaje od konkrétních zúčastněných dopravců. Údaje z nejrozsáhlejšího parku fc-busů byly zpracovány do podoby jedné z případových studií (viz kapitola 6.2.3). Uvedené statistiky rovněž doplnily údaje získané přímo od dopravce (viz kapitola 6.2.2).

5 Příklady konkrétních produktů pro e-mobilitu v MHD

5.1 Trakční výzbroj a dobíjecí infrastruktura

5.1.1 TOSA DC nabíjecí systém a trakční výzbroj

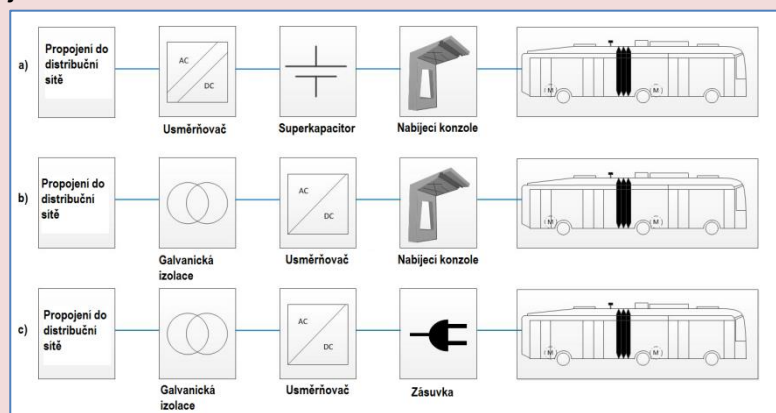
Výrobce: ABB

Popis produktu:

TOSA Charging System – kombinovaný nabíjecí systém o výkonu 50/200/400kW pro elektrobusy, doplněný trakční výzbrojí vozidla.

Nabíjení technologií ABB probíhá takto (viz schéma):

- ve vybraných zastávkách, při využití superkapacitoru (tzv. flash), po dobu 15 s výkonem 400 kW;
- na konečných zastávkách po dobu 3 až 4 minut výkonem 200 kW;
- v depu po dobu 45 minut výkonem 50 kW.



Přenos energie zajišťuje bezobslužné robotické rameno ARCS naváděné laserem. Základní komunikaci vozidla se zastávkou zajišťuje systém GPS. energii pro pohon vozidla dodává akumulátor poslední generace o kapacitě 40 kWh umístěný na střeše vozidla společně trakčními měniči a robotickým ramenem. Pohon vozidla zajišťují dva trakční vodou chlazené motory ABB.

Hlavní přednosti produktu

Sériová výroba: První komerční systém velmi rychlého dobíjení elektrobusů na trase, nasazený v MHD.

Konfigurace podle potřeb zákazníka: Systém je možné konfigurovat dle konkrétní linky resp. potřeb dopravního podniku. Konfigurace spočívá ve vyváženosti kapacity akumulátoru k počtu dobíjecích míst pro zajištění maximální ekonomiky provozu. Produkt TOSA dodává ABB jako komplexní řešení včetně trakční a akumulátorové výzbroje vozidla. Pro zákazníky, kteří chtějí ve vozidle využít vlastní technologii, nabízí ABB produkt TERRA, který zajišťuje nabíjení pouze na konečných stanicích a v depu. V tomto případě musí zákazník volit akumulátor s vyšší kapacitou.

Finančně výhodná alternativa k trolejbusům: Celkové provozní náklady počítané na linku jsou nižší, než v případě nasazení trolejbusů. Projekt TOSA proto vzbudil velký zájem měst a dopravních podniků z celého světa. S postupným snižováním cen akumulátorů a nabíjecích technologií lze očekávat i pokles cen dodávané technologie.



Referenční provoz

Město Ženeva, linka č. 5 dopravního podniku TGP (údaje platí pro cílový stav).

Základní parametry linky: délka 8,8 km, 380 až 460m převýšení, celkem 42 zastávek, z toho 12 osazeno dobíjením technologií „flash charging“ o výkonu 400 kW a trvání 15 s.

Vozidlová platforma: 11 nízkopodlažních elektrobusů Hess 18,7 m s trakční výzbrojí ABB.

Další informace o produktu:

ABB/obchodní zastoupení pro ČR: ABB s.r.o., www.abb.cz

kontaktní osoba: Miroslav Kuželka (miroslav.kuzelka@cz.abb.com)

5.1.2 Trakční elektrovýzbroje Cegelec do tramvají, trolejbusů a elektrobusů

Výrobce: Cegelec a.s.

Popis produktů:

Trakční měniče

- TV Progress: pro regulaci DC trakčních motorů tramvají a trolejbusů
- TV Europulse: pro regulaci AC trakčních motorů tramvají a trolejbusů

Statické měniče pro napájení pomocných obvodů vozidel MHD, která vyžadují stejnosměrné napětí odlišné hodnoty než je trolejové, resp. střídavé napětí; statické měniče této řady jsou dodávány pod označením SMT, SMTK, SMTS.

Kontejner Integra: konstrukční uspořádání integrující všechny základních prvky trakční elektrovýzbroje vozidla do jednoho kontejneru s přínosy ve snížené hmotnosti a úspoře místa na střeše trolejbusu; vhodné pro trolejbusy provozované v soustavě 600 V nebo 750 V.

Hlavní přednosti produktů

Příznivé provozní vlastnosti díky osvědčeným technickým řešením: optimální jízdní a brzdě charakteristiky, vysoká spolehlivost ve vztahu k přechodným jevům, výrazné snížení počtu kontaktních prvků, kompaktní konstrukce kontejnerového provedení, možnost rekuperace generované elektrické energie při jízdě zpět do trolejového vedení, úspory elektrické energie (až o 30 %), zvýšená spolehlivost elektrozařízení, a tedy i celého vozidla: střední vzdálenost mezi poruchami trolejbusů cca 70 000 km.

Součást inovativních řešení pro e-mobilitu v ČR i v zahraničí ve spolupráci se světovými výrobci dopravních prostředků - příklady:

- Trakční výzbroj v plně nízkopodlažních 18m kloubových trolejbusech Solaris pro BGG Eberswalde (Německo): první trolejbusy s nulovými emisemi, vybavené zásobníkem brzdě energie – superkondenzátory a bateriový pomocný pohon.
- Dodávky trakčních zařízení do elektrobusů AMZ Electric Smile, SOR a SOLARIS (viz foto nahoře a případové studie).

Referenční provoz

(typ dopravního prostředku, místo provozu – produkt Cegelec a.s.)



Trolejbusy: BOGDAN, Kyjev – 175 ks trakčních měničů, 282 ks statických měničů; BOGDAN, Simferopol – 10 ks trakčních měničů, 43 ks statických měničů; LAZ, Ukrajina – 226 ks trakčních měničů; JUMZ T2, Ukrajina – 57 ks trakčních měničů; SOLARIS, Opava – 14 ks trakčních měničů; SOLARIS, Ostrava – 20 ks trakčních měničů, 282 statických měničů; SOLARIS, Winterthur – 10 ks trakčních měničů; SOLARIS, San Remo – 2 ks trakční měniče; SOLARIS, Tallinn – 14 trakčních měničů, 26 ks statických měničů; SOLARIS, Kaunas - 43 trakčních měničů, 90 ks statických měničů; SOR, Ostrava – 2 ks trakčních měničů; SOLARIS, Salzburg (viz foto dole) – 25 ks Integra; SOLARIS, Eberswalde – 12 ks Integra; SOLARIS, Bologna – 11 ks Integra; SOLARIS, Ancona – 2 ks Integra

Elektrobusy: SOR, Ostrava – 4 ks trakčních měničů; SOR, Slovensko – 1 ks trakčního měniče; SOR, Libchavy – 2 ks trakčního měniče; AMZ Electric Smile, Kutno – 1 ks trakčního měniče

Další informace o produktech: Cegelec a.s. Praha, www.cegelec.cz

5.2 Elektrobusy

5.2.1 Elektrobus Elektro Midibus EVC First Electric

Výrobce: EVC Group s.r.o.

Popis produktu

8m dvoudveřový nízkopodlažní midibus pro městský provoz



Karosérie midibusu je postavena na sériově vyráběném podvozku Iveco Daily 80-70C17, pod obchodním názvem Iveco First FCLLI 80-70C17, vyráběné slovenskou společností Rošero. Změny konstrukce se týkají úložných prostorů po bocích vozu, kde jsou umístěny trakční baterie, palivová nádrž, nezávislé topení a nabíjecí zásuvky. Zachována je původní převodovka i její poloha, stejně jako poloha motoru a diferenciálu. Autobus je certifikován zkušebnou TUV-SUD a schválen pro provoz Ministerstvem Dopravy ČR.

Obsaditelnost: 32 míst celkem v uspořádání 18/2 sedící – dvě sedadla sklopná, vč. řidiče, 12 míst pro stojící cestující a 1 invalidní vozík.

Nástupní výška: 300 mm přední dveře, 250 mm zadní dveře; výška podlahy 740 mm.

Pohon: kapalinou chlazený trakční asynchronní motor TEM 132L-04, nominální/maximální výkon 51/100 kW, Li-Pol trakční akumulátory.

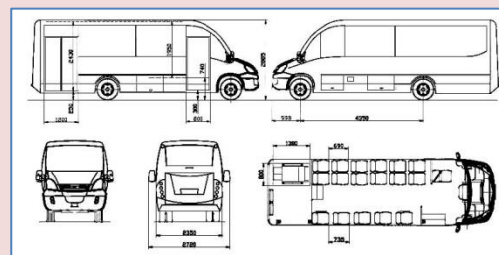
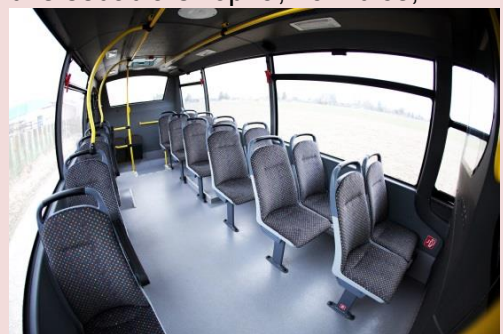
Převodovka: FPT 2840.6, šestistupňová, mechanická

Podvozek: Iveco Daily 80-70C17

Brzdový systém: hydraulicky ovládané s podtlakovým posilovačem, zdroj podtlaku je 12 Vývěva ABS; rekuperační brzdění trakčním elektromotorem.

Nápravy a odpružení: přední náprava s nezávislým zavěšením kol, zadní náprava jednoduchá s dvoumontáží, bezúdržbové vzduchové odpružení, stabilizátor přední i zadní nápravy.

Vytápění: nezávislé naftové topení 12 kW



Hlavní přednosti produktu

Účelné vnitřní prostorové uspořádání využívající optimálně vnější rozměry autobusu pro pohodlí cestujících (viz nákres a foto).

Příznivé provozní vlastnosti: max. rychlost 80 km/h, dojezd na nabití až 190 km – při zapnutí všech elektrických spotřebičů 150 km, pomalé nabíjení 100 kWh 3× 400 V 16 A max. 8 hodin, rychlonabíjení 100 A/400 V za 1,3 h, tzn. doba nabíjení 30 min/100 km.

Použití spolehlivých technologií odzkoušených při provozu midibusu, od něž je tento typ odvozen (viz popis produktu).

Účelná a bohatá standardní i dodatečná výbava: rychlonabíjení integrované na palubě, EVC nabíjecí stojan v ceně, LED světlomety pro denní svícení, osvětlení prostoru pro cestující s dvojitou intenzitou, nástupní plošina pro nástup invalidního vozíku, automaticky ovládaná elektrická staniční brzda, zajištění autobusu proti neoprávněnému použití, zvukové a světelné zabezpečení dveří, mechanický otevírač dveří a další.

Referenční provoz

Zkušební provoz v MHD Zlín – Otrokovice v červenci 2013: celkem 703 km, z toho 621 km na linkách s denními výkony 96 – 127 km; osvědčil se jako midibus pro méně zatížené linky

Další informace o produktu: EVC Group s.r.o., www.evcgroup.cz

5.2.2 Elektrobuses Siemens/Rampini

Výrobce: Siemens/Rampini

Popis produktu

Dvouosý nízkopodlažní městský průběžně dobíjený elektrobuses, typ Alè electric.

Základní rozměry: délka 7 720 mm, šířka 2 200 mm, výška 3 050 mm.

Výška podlahy 350 mm nad povrchem vozovky (funkcí náklonu snížena při nástupu, u předních dveří až na 250 mm).

Obsaditelnost: celkem 46 míst, z toho 13 k sezení a 33 k stání (respektive 1 místo pro osobu na vozíku a 26 míst k stání).

Pohon: asynchronní trakční motor Siemens ELFA o výkonu 85 kW / 150 kW plus IGBT trakční střídač a nabíjecí měnič Siemens.

Zásobník elektrické energie: Lithium-Ferit akumulátor se jmenovitou energií 96 kWh; nabíjecí napětí 600 V respektive 750 V DC, 3 x 400 V 50 Hz.

Elektrické vytápění a chlazení (klimatizace) prostoru pro cestující i stanoviště řidiče.

Nejvyšší provozní rychlost: 62 km/h.

Hlavní přednosti produktu

Produkt na míru městskému provozu: Průběžně dobíjený elektrobuses pro města, která provozují na páteřových tratích elektrickou vozbu (metro, tramvaj, trolejbus) a na ni navazují místní autobusové linky, které mají v jejich blízkosti své konečné stanice.

Jednoduché a spolehlivé dobíjení: Elektrobuses je vybaven sběračem proudu, s jehož pomocí je schopen odebírat elektrickou energii pro nabíjení akumulátoru ze dvoustopého



trakčního vedení, které je napájeno z blízké elektrizované tratě (metra, tramvaje, trolejbusu) o napětí 600 V respektive 750 V DC.

Výhodné provozně technické parametry:

- celodenní práce v cyklickém režimu cca 10 až 15 minut nabíjení (v rámci pobytu na konečné) na hodinu provozu, v noci vyrovnávací nabíjení
- prakticky neomezený denní proběh (dojezd) na úrovni tradičních autobusů
- nevelký akumulátor, umístitelný v běžném autobusu
- zcela tichý a čistý provoz bez jakýchkoliv exhalací (žádný naftový topný agregát - elektrické vytápění)
- elektrické vytápění a klimatizace vnitřního prostoru
- rekuperace brzdové energie
- využití existujících měníren a trakčních vedení městských tratí též pro nabíjení elektrobuse
- využití elektrické energie mařené v brzdových odporových vozidel metra, tramvaj a trolejbusů k nabíjení elektrobuse
- jednoduché budování nabíjecích stanic (krátké slepé dvoustopé vrchní vedení)
- automatizace nabíjecího režimu
- snadné a rychlé připojení vozidla k trakčnímu vedení sběračem (dvupólový jednoramenný sběrač proudu)
- jednoduchost, spolehlivost, nenáročnost na údržbu.



Referenční provoz

Pravidelný provoz 12 vozidel na linkách vídeňského dopravního podniku (viz samostatná případová studie v kapitole 6.1.3).

Další informace o produktu: Siemens, s.r.o., 155 00 Praha 13, Siemsenova 1, e-mail: info-imo.cz@siemens.com, telefon: 233 032 251

5.2.3 Elektrobuse Solaris Urbino 12 electric

Výrobce: Solaris Bus & Coach S.A.

Popis produktu

12m dvou- nebo třídvéřový nízkopodlažní městský autobus s elektrickým pohonem

Počet míst k sezení: 23 až 34

Nástupní výška: 320 mm první a druhé dveře, 340 mm třetí dveře; snížená podlaha po celé délce prostoru pro cestující; ručně ovládaná rampa pro imobilní ve druhých dveřích.

Pohon: 4pólový asynchronní elektromotor Vossloh Kiepe (160 kW, 1400 Nm), trakční baterie Solaris – lithiové (210 kWh, jmenovité napětí 600V, hmotnost baterií 1400 kg).

Podvozek: přední náprava ZF RL 75 EC (nezávislá náprava), hnací náprava ZF AV 132 otočená, centrální mazací bod – tuhé mazivo, na vyžádání dodáváno mazání Vogel KFBS1 s autodiagnózou, řízení ZF Servocom 8098.



Brzdový systém: EBS (dvouokruhový), elektronický systém zamezující blokaci kol při brzdění (ABS) a prokluzu při rozjezdu (ASR), ruční brzda (parkovací) s možností mechanického odblokování brzdového systému zastávková brzda.

Odpružení: pneumatické, systém ECAS II: snížení 70 mm, zvednutí o cca 60 mm.

Hlavní přednosti produktu

Velmi příznivé provozní vlastnosti v různých provozních podmínkách (viz případová studie): provoz na sklonu až 13 %, spotřeba trakční energie v rozmezí 0,72 kWh/km – 1,39 kWh (v mrazech), rekuperace až 60 %, v provozu s cestujícími dojezd na jedno nabití 130 km.

Použití spolehlivých technologií odzkoušených při výrobě trolejbusů (prodáno 611 vozidel) a hybridních autobusů (prodáno 117 vozidel) s trakční výzbrojí od různých dodavatelů – Vossloh Kiepe, Škoda Electric, Cegelec a MEDCOM.

Velká variabilita nabízených řešení:

- různé způsoby dobíjení (viz obrázek),
- možnost trakční výzbroje od různých dodavatelů,
- variabilní konstrukce a výbava autobusu (počet dveří, klimatizace aj.),
- souběžně s 12m verzí dodáván i midibus Solaris Urbino 8,9 LE Electric (bližší informace u obchodního zastoupení Solaris v ČR),
- v přípravě verze 18m článkový autobus.



Referenční provoz

Zkušební provoz v evropských městech s různými geografickými a klimatickými podmínkami: Aachen, Berlín, Braunschweig, Düsseldorf, Gdaňsk, Hannover, Jena, Kassel, Krakov, Lipsko, Luzern, Mönchengladbach, Montafon, Mnichov, Norimberk, Poznaň, Reutlingen, Tübingen, Varšava, Zielona Góra. Připravuje se dodávka pro Braunschweiger Verkehrs-AG jako oportunitní elektrobuses pro použití s indukčním nabíjením Bombardier PRIMOVE na trase v rámci zkušebnímu projektu „Emil“ – trakční baterie o snížené kapacitě 60 kWh uvolní prostor pro cestující.

Další informace o produktu: SOLARIS CZECH spol. s r. o., www.solarisbus.cz

5.2.4 Elektrobuses SOR EBN 10,5

Výrobce: SOR Libchavy spol. s.r.o, Libchavy 48, 561 16 Libchavy

Popis produktu

10,5m třídvéřový městský nízkopodlažní autobus s elektrickým pohonem

Počet míst: 19 sedících a 66 stojících

Rozměry a hmotnosti: 10370 × 2525 × 2920 mm (d × š × v), max. hmotnost 16 500 kg.

Nástupní výška: 320 mm s výklopnou rampou a nakláněním vozidla (kneeling) – bezbariérový přístup.



Pohon: asynchronní šestipólový vodou chlazený elektromotor o výkonu 120 kW pro trvalý provoz s elektrickou rekuperační brzdou, 180 článkové lithium – iontové trakční baterie 2,5÷4,25 V/300 Ah.

Podvozek: Přední náprava s nezávislým zavěšením, zadní poháněná náprava tuhá s dvojmonáží, jednostupňová, hypoidní.

Variantně dodáván i v 8m verzi SOR EBN 8.

Hlavní přednosti produktu

Velmi příznivé provozně technické vlastnosti ověřené v reálném provozu (viz případová studie z DP Ostrava):

- lehká stavba konkurující v kapacitě přepravovaných osob 12m autobusům,
- dojezd s cestujícími při 2÷3 zastávkách na km cca 140 až 160 km; prázdný až 250 km,
- příznivá doba dobíjení: při maximálním vybití baterií 8 hodin u pomalého dobíjení 32A z 3× 400 V AC a nebo jednu hodinu u rychlého dobíjení 250 A z 3× 400 V AC.

Velmi příznivé provozně ekonomické vlastnosti ověřené v reálném provozu (viz případová studie z DP Ostrava):

- spotřeba trakční energie <0,9 kWh/km, průměrná rekuperace >30 %,
- předpokládané celoživotní náklady na vozokilometr odpovídající srovnatelnému dieselovému autobusu při mnohem ekologičtějším provozu – průměrná roční úspora emisí 2,05 t (z toho 80 kg CO₂), snížení hlučnosti o 8 dB oproti dieselovému pohonu.

Produkt odzkoušený v českém i zahraničním prostředí – existuje kvalitní základna dat z provozu:

- nejdéle provozovaný elektrobus v ČR (v linkovém provozu v DP Ostrava od roku 2010, od roku 2011 park čtyř vozů, najeto cca 350 000 km),
- zahraniční zkušenosti: v pravidelném provozu ve Vysokých Tatrách, zkušební provoz v Německu – Grevesmühlen, Augsburg, Ulm.

Variantní konstrukční řešení na míru potřebám zákazníka: vybavení autobusu (např. klimatizace nebo systém dobíjení), design karosérie (viz obrázek vpravo).

Referenční provoz

DP Ostrava – pravidelná městská doprava, Vysoké Tatry – ski bus

Další informace o produktu: SOR Libchavy spol. s r.o, www.sor.cz



5.3 Hybridní autobusy

5.3.1 Hybridní autobus ŠKODA H12

Výrobce: ŠKODA ELECTRIC a.s.

Popis produktu

ŠKODA Hybridbus 12

Počet míst: 71 (30 k sezení)

Rozměry: 12 m × 2,55 m × 3,225 m



Pohon: ŠKODA ELECTRIC

Diesलगenerátor: Cummins ISB6.7 250B (184 kW), Euro 5, Start-stop

Trakční motor: ŠKODA ELECTRIC, asynchronní,
130 kW, 1928 ot/min

Měnič: ŠKODA ELECTRIC TM10.1, 750 V DC, vodní chlazení

Baterie: bezúdržbová Li-ion UEV-18XP, 18 modulů,
69 Ah, 345,6 V

Superkapacity: Maxwell BMOD 0063-P125,
3 moduly, 21 F, 375 V

Podvozek: ZF RL85/A, ZF132 AV

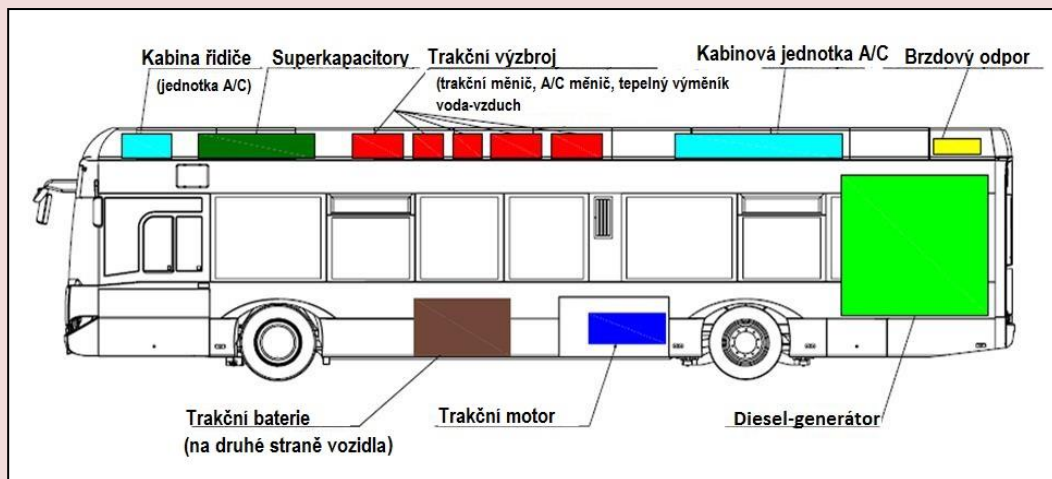
Klimatizace: UL 500 E



Hlavní přednosti produktu

Úsporný provoz: Kombinací úsporného pokrokového diesलगenerátoru spolu s lehkými Li-ion bateriemi a superkapacitami poskytuje ŠKODA H12 vysoký potenciál úspor paliva. Ve zkušebním linkovém provozu byla prokázána 10 až 25% úspora v závislosti na konkrétních provozních podmínkách, mimo jiné díky až 10km jízdnímu režimu pouze na elektrickou energii. Při brzdění je kinetická energie převáděna zpět na elektrickou a s vysokou účinností rekuperována nejen do baterií, ale též superkapacitorů (viz obrázek).

Nízká úroveň emisí: Čistě elektrický režim jízdy prodlužuje bezemisní provoz autobusu, který je využitelný zejména pro průjezd v historických částech obcí, anebo v jakkoliv jinak chráněných územních oblastech. Po vyčerpání energie z baterie dochází k nastartování moderního diesलगenerátoru, který vedle pohánění elektromotoru opětovně dobíjí články baterie do nabitého stavu.



Referenční provoz

Vozidlo v současnosti prochází náročným testovacím provozem ve službách Plzeňského městského dopravního podniku (PMDP).

Další informace o produktu: ŠKODA ELECTRIC a.s., <http://www.skoda.cz>

5.3.2 Hybridní autobus Volvo 7700

Výrobce: Volvo Bus Corporation

Popis produktu

12m třídvéřový nízkopodlažní městský autobus se širokou střední uličkou a rovnou podlahou

Maximální počet cestujících: 95

Nástupní výška: 250 mm přední dveře, 270 mm ostatní dveře (funkce kneeling)

Rozměry a hmotnosti: délka 12,0 m, výška 3,2 m, šířka 2,55 m, rozvor kol: 5,95 m, celková hmotnost vozidla: 19 900 kg

Pohon: paralelní hybrid Volvo I-SAM, dieselový motor Volvo D5, 210 hp (157 kW), 800 Nm, elektromotor 160 hp (120 kW), 800 Nm, Li-Ion trakční baterie o kapacitě 1,2 kWh – viz obrázek; 12rychlostní rozdělená převodovka I-Shift, automatický systém řízení rychlostí

Brzdy a odpružení: kotoučové brzdy EBS, vzduchové odpružení

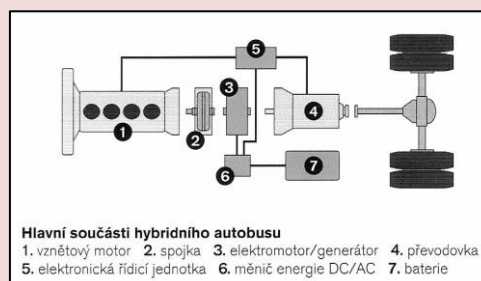


Schéma paralelního hybridního pohonu

Hlavní přednosti produktu

Vysoká spolehlivost: konstrukce odzkoušená v provozu s rozmanitými klimatickými a geografickými podmínkami – tři roky v sériové výrobě, vyrobeno cca 2000 vozů (včetně návazného typu 7900). V Londýně prokázána >99% disponibilita autobusů Volvo, proto byly vybrány pro sérii financovanou z Green Bus Fund (viz případová studie).

Velmi úsporný provoz díky konstrukčnímu řešení celého pohonu od jednoho výrobce na míru městskému provozu (viz graf). V provozu vykázány úspory paliva oproti srovnatelnému dieselu v rozmezí 28 až 45 %. Naměřené hodnoty z Prahy: průměrná spotřeba 30,2 l/100 km, průměrná úspora oproti srovnatelným autobusům: 28 %

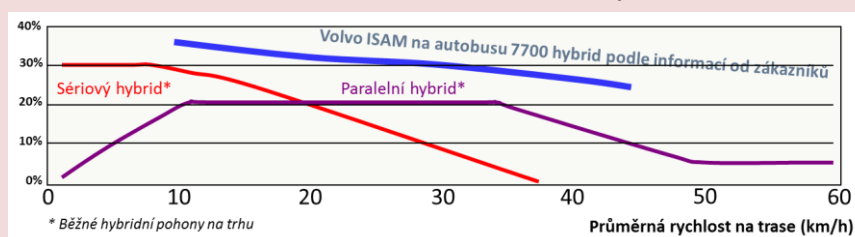


Schéma paralelního hybridního pohonu

Nízká hlučnost: vypínání motoru při zastavení, rozjezd na elektromotor do rychlosti 20 km/h.

Referenční provoz

Göteborg, Londýn (3 linky), Fraunhofer (7 linek), La Rochelle (příměstský a městský provoz), Luxemburg (městský provoz), Švýcarsko PostBus (různý druh terénu a typ provozu), Praha a Chomutov (zkušební provoz – viz případová studie).

Další informace o produktu: VOLVO Truck Czech, s.r.o., www.volvobuses.com

6 Zkušenosti z provozu elektrických autobusů – případové studie

6.1 Elektrobuses (e-busy)

6.1.1 Provoz elektrobuses MHD v rámci projektu „100 Bus Electriques“

a) Popis vozidla

Park malých a středních elektrobuses různých typů s různými trakčními bateriemi. Typická vozidla:

- OREOS 22 (výrobce Gépébus): 5m elektrobuses o kapacitě 22 sedících, motor o výkonu 22 kW, olověné baterie o kapacitě 42 kWh
- OREOS 55 (výrobce Gépébus): 8m elektrobuses o kapacitě 55 sedících, motor o výkonu 120 kW, nikel-kadmiové baterie o kapacitě 73 kWh
- Europolis (výrobce Irisbus): 7,5m elektrobuses o kapacitě 44 sedících, motor o výkonu 140 kW, baterie ZEBRA (nikel-chlorid, provozní teplota cca 300°C) o kapacitě 160 kWh



Foto: EDF

b) Údaje z provozu

Sledované období	1. čtvrtletí 2005
Místo	18 měst ve Francii
Počet vozů	70
Najeto celkem km	600 000 km (odborný odhad, přesná statistika není k dispozici)
Průměrná spotřeba kWh/km	0,6 kWh/km (Oreos 22) 1,2 kWh/km (ostatní)
Průměrný dojezd na jedno nabití km	55 (OREOS 22) 130 (OREOS 55), s dobíjením na trase 130 (Europolis)
Další provozní údaje	Disponibilita parku: 95 % Provoz cca 10 až 12 hodin denně Průměrná délka linky cca 3 až 6 km Denní proběh jednoho vozidla cca 100 km

c) Další provozní zkušenosti

Projekt „100 elektrických autobusů“ byl ve Francii vyhlášen v roce 2002 ve spolupráci s organizacemi ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie – Environment and Energy Efficiency Agency), EDF, (Electricité de France), GART (Groupement des Autorités Responsables de Transport), a UTP (Union des Transports Publics). Sledovaná data jsou z období cca prvních tří měsíců provozu.

Sledovaný provoz zahrnoval převážně okružní linky v historických centrech měst, kyvadlovou dopravu (především ze záchytných parkovišť do center) a v omezeném rozsahu i standardní linkový provoz MHD.

Malá kapacita olověných baterií u elektrobuses OREOS 22 byla řešena jejich výměnou během dne v uzavřených prostorách. Doba výměny činila cca 5 až 6 minut.

Pro elektrobuses Europolis s bateriemi ZEBRA a OREOS 55 s nikel-kadmiovými bateriemi bylo používáno noční dobíjení v garáži třífázovou zásuvkou 63 A. Pro elektrobuses OREOS 55 bylo navíc používáno dobíjení ve 120kW rychlonabíjecí stanici na trase.

Baterie a nakládání s nimi byly zpravidla zajištěny dodavatelským způsobem (leasing) kvůli nedostatku potřebných dovedností u dopravců a rizikům poruch.

Lithium-iontové baterie nebyly v době projektu dostatečně vyvinuté pro použití v trakci, ale byly vnímány jako perspektivní směr.

Projekt inspiroval další využití elektrobusů v areálech velkých institucí nebo v lyžařských areálech.

Malé elektrobusy se velmi osvědčily ve specifických podmínkách historických center, kde jejich provozní omezení nebránila jejich užitku. Projekt však také potvrdil potřebnost dalšího vývoje elektrobusů o větší kapacitě a delším dojezdu pro běžný městský provoz.

Podobné zkušenosti byly zaznamenány také v Římě při provozu parku cca 50 elektrických minibusů o délce 5m, s kapacitou 27 cestujících a s obdobným charakterem provozu a použité technologie (krátké linky v historickém centru, 45 km dojezd, olověné baterie vyměňované během dne). Tyto elektrické minibusy jsou provozovány od poloviny 90. let.

d) Zdroj informací: EDF, Electric Buses Division, Eltis.org

6.1.2 Provoz elektrobusů MHD v Dopravním podniku Ostrava

a) Popis vozidla

SOR EBN10,5 – podrobné informace viz v kapitole 3.2.3

10,5m elektrobus s kapacitou srovnatelnou s 12m typem

Nezávislé naftové topení

Koncept a montáž elektrobusu navrhly a provedly dílny DP Ostrava, nyní dceřiná společnost EKOVA ELECTRIC a.s.



b) Údaje z provozu

Sledované období	2. pololetí 2012
Místo	MHD Ostrava
Počet vozů	4
Najeto celkem km	86 300 (od začátku provozu cca 350 000)
Průměrná spotřeba kWh/km	0,89
Průměrný dojezd na jedno nabití km	140
Další provozní údaje	Disponibilita: 83 % Proběh mezi poruchami: 43 000 vzkm Minimální spotřeba trakční energie: 0,83 kWh/km Maximální spotřeba trakční energie: 0,94 kWh/km Průměrná rekuperace: 32 % Dobíjení z 30 % na 100 %: pomalé 3× 400 V AC/32 A 7 hodin, rychlé 3× 400 V AC/250 A 60 minut

c) Další provozní zkušenosti

Elektrobusy jsou využívány v provozu na dělených směnách mezi dopravními špičkami, dobíjení probíhá během polední přestávky. Ranní proběh je 85 vzkm, odpolední proběh 100 vzkm. Mezi ranním a odpoledním proběhem jsou trakční baterie vybity ze 100 % na 60 až 70 % kapacity.

Maximální dojezd prázdného vozidla je 250 km.

Třemi nejčastějšími příčinami oprav byly závady na karosérii (25 %), pravidelná údržba (20 %) a závady na osvětlení (16 %). Závady na pohonu, bateriích a jejich dobíjení tvořily celkem 12 % všech oprav.

Ve sledovaném období byly zaznamenány dva výpadky vozu na trase, žádný nesouvisel s pohonem – porucha dveří a poškození zámku bočních dvířek.

Pořizovací náklady jednoho vozidla činí 8,5 mil. Kč + 2 mil. Kč předpokládaná výměna trakčních baterií v polovině životnosti.

Kalkulované náklady životního cyklu vozidel a infrastruktury včetně odpisů a výměny trakčních baterií:

Celkem:	32,84 Kč/vzkm, z toho
• trakční energie:	1,89 Kč/vzkm
• opravy a udržování vozidel:	5,17 Kč/vzkm (po dobu záruky 2,17 Kč/vzkm)
• opravy a udržování infrastruktury:	0,08 Kč/vzkm

Porovnání kalkulovaných nákladů elektrobuse se srovnatelnými náklady autobusu a trolejbusu u DPO: 98 % autobusu, 78 % trolejbusu.

Předpokládaná roční úspora emisí: 2,05 t, z toho 80 kg CO₂

Snížení hlučnosti o 8 dB oproti dieselovému pohonu

d) Zdroj informací: Dopravní podnik Ostrava

6.1.3 Provoz průběžně dobíjeného elektrobuse Siemens/Rampini u Wiener Linien

a) Popis vozidla

Nízkopodlažní městský elektrobuse Rampini, typ Alè electric s pohonem Siemens, průběžně dobíjený ze svrchního trakčního vedení; délka 7,7 m, přepravní kapacita 13 sedadel a 33 míst k stání (respektive invalida na vozíku a 26 míst ke stání).

Elektrické vytápění a chlazení (klimatizace) prostoru pro cestující i stanoviště řidiče

Nabíjení:

- rychlé provozní nabíjení: vozidlo je přes dvoupólový jednoramenný sběrač proudu napájeno z dvoustopého vrchního trakčního vedení trolejbusového typu o napětí 600 V DC. Toto vedení je zásobováno elektrickou energií z blízké tramvajové trati (jeden vodič dvoustopého nabíjecího vedení je připojen k trolejovému drátu tramvaje, druhý ke kolejnicím. Provozní nabíjení je využíváno v průběhu celého dne vždy při pobytu vozidla na konečné zastávce Schwarzenbergplatz, resp. Schotterring.
- noční vyrovnávací nabíjení: vozidlo je ve vozovně nabíjeno z dvoustopého trakčního vedení trolejbusového typu o napětí 600 V DC (též je možno jej nabíjet ze zásuvky 3× 400 V 50 Hz).



Foto: Siemens

Další podrobné informace o elektrobuse viz v kapitole 5.2.2.

b) Údaje z provozu

Sledované období	od začátku roku 2013
Místo	Vídeň, linka 2A a 3A (okružní v historickém centru), provozovatel MHD Wiener Linien
Počet vozů	12 vozů
Najeto celkem km	Denní proběh cca 1 000 km
Průměrná spotřeba kWh/km	Na sběrači vozidla: 1,0 kWh/km pro trakci
Průměrný dojezd na jedno nabití km	Celodenní provoz (6.30 až 20.00 hodin) 120 km bez nabíjení
Další provozní údaje	62 km/h

c) Další provozní zkušenosti

Během provozu byly zaznamenány tyto provozní a ekonomické přínosy provozu elektrobusů:

- příznivá reakce okolí na tichý, čistý a spolehlivý provoz elektrobusové linky,
- plynulá a klidná jízda v příjemném klimatizovaném prostoru,
- levná infrastruktura – využití pevných trakčních zařízení, již dříve vybudovaných pro napájení tramvají (měničny, trakční vedení), též pro nabíjení akumulátoru elektrobusu, a to včetně jejich výkonové rezervy, která vznikla v posledních letech v důsledku nasazení moderních tramvají s nižší spotřebou energie,
- levná energie – je využita i rekuperovaná elektrická energie, která je dosud mařena v brzdových odporových tramvají.

d) Zdroj informací: Wiener Linien, Siemens

6.1.4 Zkušební provoz elektrobusu Solaris Urbino electric

a) Popis vozidla

i) 12m elektrobus Solaris Urbino 12 electric – podrobné informace viz v kapitole 3.2.2



Foto: Solaris

ii) 8,9m midibus Solaris Urbino 8,9 LE electric: kapacita 21 až 29 sedících cestujících, pohon: 120kW elektromotor Vossloh Kiepe, dvě lithium-iontové baterie 121 kWh a napětí 600 V

b) Údaje z provozu

Sledované období	2012
Místo	5 evropských měst s různými geografickými a provozními poměry, normální linkový provoz *)
Počet vozů	3
Najeto celkem km	5 300
Průměrná spotřeba kWh/km	1,02
Průměrný dojezd na jedno nabití km	126
Další provozní údaje	Disponibilita přes 80 % Provoz na sklonu až 13 % Minimální spotřeba trakční energie: 0,72 kWh/km Max. rekuperace: 60% Maximální spotřeba trakční energie: 1,39 kWh v mrazech

*) Vzorek z celkem 30 měst se zkušebním provozem obou typů, pro něž jsou známa významná provozní data

c) Další provozní zkušenosti

Během zkušebního provozu byly zaznamenány pouze ojedinělé poruchy pohonu opravené na místě řidičem.

U nabíjecího systému došlo k ojedinělým poruchám dobíjení trakčních baterií – softwarové problémy v komunikaci mezi nabíjecí stanicí a vozidlem. Byla také sledována nižší spolehlivost nabíjecích stanic v zimě (zpětná vazba do konstrukce).

V mrazech byly problémy s klimatizační jednotkou (zpětná vazba do konstrukce).

Výrobce zaznamenal pozitivní ohlasy z propagace elektrobusu v médiích a sociálních sítích.

d) Zdroj informací: Solaris Bus & Coach SA

6.1.5 Provoz elektrobusů MHD v Turíně

a) Popis vozidla

EPT - Cacciamali "Elfo": 7,48m elektrický midibus pro městský provoz o kapacitě 15 sedících a 22 stojících

Baterie: olověné gelové, 200 V, výměna po 4,5 letech

Indukční dobíjení IPT Charge, výrobce Conductix Wampfler: pevná část na konečných stanicích na vyznačených místech pod vozovkou



Foto: Conductix Wampfler

b) Údaje z provozu

Sledované období	2010
Místo	Turín, Itálie; dvě 7km linky MHD
Počet vozů	23
Najeto celkem km	1 mil. km (odborný odhad, přesná statistika není k dispozici)
Průměrná spotřeba kWh/km	0,95 kWh/km
Průměrný dojezd na jedno nabití km	200 (nabití v noci)
Další provozní údaje	<p>Disponibilita parku: N/A</p> <p>Délka linky: 7 km</p> <p>Maximální spotřeba trakční energie: 1,25 kWh/km</p> <p>Pomalé dobíjení na 100 % kapacity přes noc v depu</p> <p>Rychlé indukční dobíjení na konečných zastávkách: 60 kW během cca 7 minut, dobití o cca 10 až 15 % kapacity</p> <p>Dobíjení na trase udržuje nabití baterií na cca 80 %</p> <p>Účinnost indukčního dobíjení: 95 % (tj. energetické ztráty 5 %)</p>

c) Další provozní zkušenosti

V provozu od roku 2003.

Cívka vozidlové části indukčního dobíjení snižuje světlostou výšku podvozku, jeho použití proto vyžaduje rovnou vozovku.

Podle údajů výrobce nepřináší indukční nabíjení zdravotní rizika, protože vinutí cívky je dostatečně vzdáleno od prostoru pro cestující a jeho hodnoty nepřesahují normy Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícím zářením.

Cena jednoho autobusu činila 420 000 € (10,5 mil. Kč), což je cca dvojnásobek srovnatelného dieselového autobusu.

Další související pořizovací náklady:

- nabíjecí stanice: 70 000 € (1,75 mil. Kč)
- nabíjecí usměrňovač: 10 000 € (250 tis. Kč)

Kromě ekologických přínosů se projevují finanční přínosy v podobě 20% úspory nákladů na údržbu a o 20 % delší životnost v porovnání se srovnatelným dieselovým autobusem. Očekává se, že celoživotní náklady těchto vozidel budou srovnatelné.

d) Zdroj informací: Eltis.org, Conductix Wampfler

6.1.6 Srovnávací zkušební provoz elektrobusů v Dopravním podniku Ostrava

a) Popis vozidla

Porovnání provozních výsledků elektrobusů dvou typů v linkovém provozu DP Ostrava za shodných podmínek při účasti zpracovatelů Studie

Srovnávaný elektrobus:

AMZ CS10E, výrobce LBUS Ltd. (Litva): 10 m dlouhý, plně nízkopodlažní, třídvéřový elektrobus s kapacitou 83 míst, z toho 24 k sezení; hmotnost prázdného elektrobusu: 10,5 tun.

Trakční výzbroj: elektromotor TAM 1052C6B o výkonu 120 kW a trakční měnič řady SBA020, koncipovaný na bázi IGBT tranzistorů; výrobce: Cegelec.



Li-ion baterie umístěné v zadní věži vozidla a po stranách vozidla pod sedadly cestujících; kapacita 230 kWh; max. dojezd dle výrobce 240 km.

K vytápění slouží odpadní teplo z trakčních baterií a přídavné naftové topení.

Referenční elektrobus:

SOR EBN10,5 – podrobné informace viz v kapitole 3.2.3.

b) Údaje z provozu

Sledované období	Červenec 2013 – 8 dní
Místo	MHD Ostrava, linky 38 a 52
Počet vozů	1
Najeto celkem km	1233
Průměrná spotřeba kWh/km	1,04 (referenční elektrobus: 0,85); měření prováděno kalibrovaným elektroměrem
Průměrný dojezd na jedno nabití km	170 (referenční elektrobus: 140)
Další provozní údaje	Disponibilita: 100 % Rychlé dobíjení: 250 A, 1 hodina (údaj výrobce) Pomalé dobíjení: 32 A, 8 hodin + 1 hodina na vyvažování baterií (individuální dobíjení jednotlivých článků nenabitých na plnou kapacitu)

c) Další provozní zkušenosti

Souhrnné srovnání provozních ukazatelů elektrobusu AMZ s referenčním elektrobusem SOR (100 %):

- Počet míst: 98 %
- Hmotnost prázdného elektrobusu: 102 %
- Dojezd na jedno nabití: 121 % *)
- Spotřeba trakční energie na vozokilometr: 122 %
- Spotřeba trakční energie na místokilometr: 125 %

*) Dle doporučení výrobce byl elektrobus provozován tak, aby při dojezdu do vozovny ve vozidle zůstala kapacita baterie na cca 10 % (u referenčního elektrobusu SOR je doporučena zbytková kapacita 20 %). S ohledem na odlišnou zůstatkovou kapacitu doporučovanou výrobcem nelze dojezdovou vzdálenost navzájem plně srovnat. Elektrobus AMZ přesto ukázal, že za vhodných provozních podmínek může splňovat požadavky tzv. nočního elektrobusu nabíjeného pouze jednou pro celodenní provoz.

Subjektivní dojmy konzultantů ze srovnávacího provozu:

Klady: Vnější vzhled je velmi nápaditý, vnitřní prostor s nezakrytým zadním oknem působí vzdušně a je zde patrná snaha konstruktérů co nejméně omezovat cestující schránkami s bateriemi pod sedadly. Řidič chválí výbornou manévrovatelnost díky menšímu rozvoru náprav i další zařízení pro usnadnění jeho práce, například ruční retardér.

Zápory: Schránky s bateriemi pod sedadly přes snahu konstruktérů snižují jízdní komfort a reálně dosažitelnou kapacitu – patrně zejména ve stísněném prostoru mezi protilehlými sedadly. Zásuvka pro dobíjení je zabudována pod složitě otevíranou zadní kapotou, která znesnadňuje přístup. Dílenské provedení karoserie je nedbalé a působí hluk při jízdě.

Závěry ze srovnávacího provozu: Konstrukce mechanických částí elektrobusu i jeho celkový design mohou významně přispět k ovladatelnosti vozidla a k dalším jeho příznivým parametrům a užitným vlastnostem, což vytváří prostor pro technické zdokonalování i pro konkurenci mezi konkrétními výrobky od konkrétních výrobců. Fyzikální omezení daná současnými vlastnostmi trakčních baterií umožňují reálné zvyšování dojezdové vzdálenosti pouze za cenu proporcionálního nebo nadproporcionálního nárůstu spotřeby trakční energie.

d) Zdroj informací: Dopravní podnik Ostrava, Cegelec, Proelektrotechniky.cz

6.2 Palivočláňkové autobusy (fc-busy)

6.2.1 Projekt HyFleet:CUTE a návazný provoz fc-busů v Londýně

a) Popis vozidla

i) Projekt HyFleet:CUTE: 12m fc-bus Mercedes-Benz Citaro

Dva typy pohonu:

- 250kW palivové články, bez trakčních akumulátorů (kapacita autobusu 70 cestujících)
Palivový systém: 9 tlakových nádrží, tlak 35 MPa (350 bar), 40 kg vodíku



Foto: FuelCellToday

- 120kW palivové články, trakční akumulátory 180 kW o kapacitě 26,9 kWh (kapacita autobusu 70 cestujících)
Palivový systém: 7 tlakových nádrží, tlak 35 MPa (350 bar), 35 kg vodíku (prototyp vyvinutý a testovaný během trvání projektu)

ii) Návazný provoz v Londýně:

Pro tento účel konstruovaný 12m jednopodlažní autobus, karoserie Wrightbus Pulsar, podvozek VDL SB200

Pohon: Hybridní systém Bluways s palivovými články a trakčními bateriemi, výrobce ISE

Zdroj energie: palivový článek výrobce Ballard Power Systems pro těžká vozidla typu FCVelocity HD6 o výkonu 150 kW

b) Údaje z provozu

Sledované období	1/2006 – 12/2009 – projekt HyFleet:CUTE
Místo	Linky MHD v 9 různých městech: Amsterdam, Barcelona, Peking, Hamburk, Londýn, Lucemburk, Madrid, Perth (Austrálie) a Reykjavik
Počet vozů	33
Najeto celkem km	1 mil. km, z toho 340 000 km v Hamburku (9 autobusů)
Průměrná spotřeba kg/100 km	22 kg – ekvivalent 73 l nafty (bez trakčních baterií) 12 kg – ekvivalent 40 l nafty (s trakčními bateriemi)
Průměrný dojezd na jedno naplnění nádrže km	200 km (bez trakčních baterií) 250 km (s trakčními bateriemi)
Další provozní údaje	Disponibilita vozidla: 92 % (rozmezí 79 až 94 %) Disponibilita plnicích stanic: 90 % Zaznamenáno cca 330 poruch

c) Další provozní zkušenosti

Provoz autobusů byl ověřován v různých geografických a klimatických podmínkách městského provozu s průměrnou cestovní rychlostí 16,4 km/h, v rozmezí 11 až 22 km/h. Projekt zahrnoval rozmanité klimatické a geografické poměry – plochý i hornatý terén, průměrné vnější teploty v rozmezí -5°C až $+36^{\circ}\text{C}$. Klimatické a geografické rozdíly neměly zásadní vliv na rozmanitost provozu.

Jde o autobusy s palivovými články první generace. Tyto autobusy byly konstruovány přednostně s ohledem na vysokou spolehlivost. Při konstrukci nebyla zvlášť zohledňována hospodárnost provozu.

Příčinami odstavení autobusů mimo provoz byly pravidelná údržba pohonu (39 %), pravidelná údržba ostatních částí autobusu (15 %), poruchy pohonu na palivovém článku (26 %), jiné poruchy palivového článku (6 %), poruchy ostatních částí autobusu (8 %), poruchy vodíkových plnicích stanic (4 %) a úpravy pohonu (2 %). Obecně největší problémy působily běžné mechanické nebo elektrické součástky, nspecifické pro pohon palivovými články.

Projekt HyFleet:CUTE zahrnoval také provozování 14 autobusů s vodíkovým spalovacím motorem v MHD Berlín, které nejsou předmětem této studie.

Celkové náklady projektu: 43 mil. €, z toho 19 mil. € zdroje EU a 24 mil. € průmyslové a další organizace.

V návaznosti na příznivé výsledky projektu HyFleet:CUTE je od roku 2011 v Londýně provozován v běžném provozu na lince RV1 park 5 autobusů Wrightbus/ISE/Ballard s palivovými články nové generace. Za období 2011 až 2012 činil jejich proběh cca 160 000 vzkm. Jejich dostupnost se pohybuje v rozmezí 60 až 70 % a postupně roste.

Očekává se zahájení provozu dalších tří nových vozidel. (Podrobnější statistické údaje o tomto provozu nejsou v době zpracování této studie k dispozici.)

d) Zdroj informací: Informační materiály projektu HyFleet:CUTE, Transport for London

6.2.2 Provoz fc-busů společnosti SunLine Transit Agency, USA

a) Popis vozidla

2 typy autobusů s palivovými články:

i) Autobus New Flyer, H40LFR, model 2009

Délka 40 stop (12 m), kapacita 37 míst k sezení, klimatizace

Pohon: dva indukční motory Siemens, každý o výkonu 85 kW

Zdroje energie:

Palivový článek výrobce Ballard Power Systems pro těžká vozidla typu FCVelocity HD6 o výkonu 150 kW

Palivový systém: 6 tlakových nádrží, tlak 35 MPa (350 bar), 46 kg vodíku

Lithium-iontové baterie o kapacitě 47 kWh, chlazeny klimatizační jednotkou

Řídicí hybridní systém Bluways s komponenty trakčního systému Siemens ELFA

ii) Autobus ELDorado National – „Buy-America Fuel Cell Bus“

Délka 40 stop (12 m), klimatizace

Pohon: hybridní systém BAE Systems Series HybriDrive®

Zdroje energie:

Palivový článek výrobce Ballard Power Systems pro těžká vozidla typu FCVelocity HD6 o výkonu 150 kW

Palivový systém: 8 tlakových nádrží, tlak 35 MPa (350 bar), 50 kg vodíku

Lithium-iontové baterie 200 kWh o kapacitě 11 kWh



Foto: SunLine Transit Agency

b) Údaje z provozu

Sledované období	5/2010 až 1/2012 (New Flyer), 12/2011 až 7/2012 (EIDorado)
Místo	Linkový provoz SunLine Transit Agency, Jižní Kalifornie
Počet vozů	2
Najeto celkem km	51 000 (New Flyer), 38 000 (EIDorado)
Průměrná spotřeba kg/100 km	9,84 – ekvivalent 33 l nafty (New Flyer) 8,96 – ekvivalent 30 l nafty (EIDorado)
Průměrný dojezd na jedno naplnění nádrže km	460 (New Flyer) 558 (EIDorado)
Další provozní údaje	Disponibilita celkem 62 % (New Flyer), 71 % (EIDorado) Proběh mezi poruchami: New Flyer: 3 900 vzkm – pohon 3 900 vzkm EIDorado: 2 700 vzkm – pohon 4 600 vzkm; palivový článek 12 700 vzkm

c) Další provozní zkušenosti

SunLine Transit Agency sleduje provoz různých typů autobusů poháněných palivovými články v běžném provozu soustavně od roku 2006. Cestovní rychlost se pohybuje kolem 20 km/h, čili jde o běžný městský provoz. Disponibilita za celé období od ledna 2006 se pohybuje v rozmezí 51 % až 76 %. Jako cílová hodnota pro autobusy na palivové články je stanovena disponibilita 85 %.

Nejnižší disponibilita 51 % byla zaznamenána v období 11/2008 až 6/2009. Hlavní příčinou byly problémy s trakčními bateriemi, které nemohly být rychle odstraněny pro nedostatek finančních prostředků, a rekonstrukce a opravy pnicí infrastruktury. V případě eliminování těchto událostí by disponibilita činila 74 %.

Hlavní příčinou nedosahování cílové hodnoty byly problémy s trakčními bateriemi (50 %), řídicím hybridním systémem (29 %) a kvalitou údržby u dopravce (16 %); procenta se vztahují k autobusům New Flyer v období 5/2010 až 1/2012. K problémům s bateriemi přispívají i extrémně vysoké teploty v létě, které zatěžují klimatizaci a chlazení.

Na autobusu New Flyer bylo za sledované období zaznamenáno 13 poruch, všechny na pohonu. Na autobuse Eldorado bylo zaznamenáno celkem 14 poruch, z toho 8 na pohonu a z toho 3 na palivovém článku.

Cena vozidla: 1,2 mil. \$ – 24 mil. Kč (New Flyer)

Cena vodíku pro dopravce: 8 \$ – 160 Kč/kg

Kalkulované náklady vozidla vč. odpisů (New Flyer): 4,82 \$ – 96,40 Kč/vzkm, z toho

- trakční palivo: 0,79 \$ – 15,80 Kč/vzkm
- opravy a udržování vozidel: 0,62 \$ – 12,40 Kč/vzkm

d) Zdroj informací: SunLine Transit Agency; U.S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory

6.2.3 Provoz parku fc-busů dopravců AC Transit a CTT Transit, USA

a) Popis vozidla

Autobus Van Hool A 330 for USA; výrobce Van Hool, Belgie

Délka 40 stop (12 m), 25 míst k sezení

Pohon:

Elektrická trakční jednotka se dvěma motory Siemens (další *podrobnosti pohonu výrobce neudává*)

Hybridní řídicí jednotka Van Hool

Zdroje energie:

Palivový článek: palivový článek výrobce UTC Power typu FCVelocity HD6 o výkonu 120 kW

Palivový systém: 8 tlakových nádrží, tlak 35 MPa (350 bar), 40 kg vodíku

Lithium-iontové baterie o kapacitě 21 kWh



Foto: NREL

b) Údaje z provozu

Sledované období	8/2010 až 7/2012
Místo	Linkový provoz u dopravců v San Franciscu, Hartfordu (Connecticut) a Flintu (Michigan)
Počet vozů	16
Najeto celkem km	328 000
Průměrná spotřeba kg/100 km	9,3 – ekvivalent 31 l nafty
Průměrný dojezd na jedno naplnění nádrže km	430
Další provozní údaje	Disponibilita: průměr 54 %, měsíční rozmezí 20 % až 85 % Proběh mezi poruchami: AC Transit: 3 200 vzkm, CTT Transit: 3 990

c) Další provozní zkušenosti

Tato případová studie shrnuje zkušenosti dvou dopravců z USA, prezentovaných ve zprávě DOE. V obou případech jde o městský provoz v hustě osídlené zástavbě.

Hlavní důvody odstavení mimo provoz byly jednak technické úpravy prováděné výrobcem a jednak poruchy, týkající se především mechanických a pomocných součástí autobusu (klimatizace, ovládání dveří, vzduchové kompresory), vodíkového hospodářství na vozidle (ventily, regulátory) nebo problémů s elektrickou částí pohonu (trakční baterie, trakční měniče, motory a softwarové problémy). Palivový článek se na celkové době mimo provoz podílel minimálně, CTT Transit udává hodnotu 6 %. Dobu odstavení výrazně prodlužovalo čekání na náhradní díly, zejména ze zámoří.

d) Zdroj informací: U.S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory

6.2.4 Projekt TriHyBus

a) Popis vozidla

Prototyp založený na 12m městském autobusu Irisbus Citelis; trojitě hybridní pohon: palivový článek, trakční baterie a superkapacity

Kapacita 96 cestujících, z toho 26 sedících

Pohon: asynchronní čtyřpólový motor ML3444 K/4, 120 kW, 300 V, bez převodovky, výrobce ŠKODA ELECTRIC a.s.

Zdroje energie:

Palivový článek: 6× stack (každý stack 100 cel), maximální výkon 50 kW, výstupní napětí 300 až 560 V, max. výstupní proud 150 A; výrobce Proton Motor Fuel Cell GmbH; životnost udávaná výrobcem je 4000 provozních hodin.

Palivový systém: kompozitní tlakové nádrže (4× 205 l), tlak 35 MPa (350 bar), 20 kg vodíku

22 lithium-iontových akumulátorů UEV-18XP o max. výkonu 120 kW, celkové kapacitě 26 kWh a jmenovitém napětí 18,2 V DC; výrobce Maxwell Technologies; životnost udávaná výrobcem je 1000 cyklů plného nabití a vybití.



4 ultrakapacity o využitelné energii 1 kWh; jmenovité kapacitě 17,8 F (trvalý proud 150 A); využívaný výkon: až 200 kW při rozjezdu, 300 kW při brzdění; výrobce Valence Technology; životnost udávaná výrobcem je 1 mil. cyklů plného vybití a nabití v rozpětí 62,5 až 390 V.

Řídicí systém: hybridní řídicí jednotka Škoda Electric, systém MMI (man-machine interface) IFE Halden

Montáž autobusu a systémová integrace: Škoda Electric

b) Údaje z provozu

Sledované období	1/2012 až 4/2013
Místo	MHD Neratovice, demonstrační jízdy na různých místech
Počet vozů	1
Najeto celkem km	1400, z toho na lince cca 120 km (odhad provozovatele, přesné údaje nejsou k dispozici)
Průměrná spotřeba kg/100 km	7,75 – ekvivalent 20 l nafty
Průměrný dojezd na jedno naplnění nádrže km	275
Další provozní údaje	Disponibilita celkem 58 % (včetně infrastruktury) - z toho disponibilita vozidla 91 % Zaznamenána 1 porucha na vozidle Doba plnění nádrže: 10 minut

c) Další provozní zkušenosti

Vozidlo je prototyp k demonstračním účelům vodíkové technologie, provozovaný ÚJV Řež v rámci projektu koordinovaného ÚJV Řež a spolufinancovaného ze 75 % ze zdrojů EU. Projekt zahrnoval vývoj, konstrukci a zprovoznění autobusu v období 1/2008 až 12/2009. Podmínkou projektu je povinnost provozovat autobus do konce roku 2014.

Autobus slouží hlavně k demonstračním jízdám; Veolia Transport (nyní Arriva Praha) jej podle možností nasazuje na lince MHD Neratovice. Tento zkušební charakter provozu má vliv i na vykazované ukazatele, které nejsou plně srovnatelné s výsledky linkového provozu s cestujícími u jiných případových studií.

Trojité hybridní pohon byl koncipován pro městský režim provozu, a to tak, aby maximálně hospodařil s pohybovou energií vozidla a s elektrickou energií k pohonu, s přínosy pro spotřebu paliva a životnost energetických zařízení.

Trojité hybridní konstrukce využívá energii palivového článku s malou dynamikou k základní zátěži a k dobíjení trakčních baterií a kapacitorů. K rozjezdu a zrychlení je využívána především energie z kapacitorů, které se okamžitě dobíjejí rekuperací.

Podle předpokládaného provozního režimu se uvažuje s výměnou palivového článku z důvodu opotřebení po cca 10 letech.

Trakční baterie se do power managementu zapojují pouze v případě delších jízd do kopce či v případě vybití kapacitorů, a většinu času tak slouží jako záložní či dojezdový zdroj autobusu. Proto se předpokládá, že baterie nebude nutno během 12 let životnosti autobusu měnit, tak jako u elektrobusů využívajících pouze trakční baterie dobíjené ze sítě.

Kapacity jsou provozovány pouze v rozpětí 200 až 350 V, což neodpovídá plným cyklům. Také u nich se proto předpokládá, že nebude nutno je během životnosti autobusu měnit.

Díky trojitě hybridní koncepci a městskému režimu provozu lze v porovnání s obvykle používanými hybridními systémy typu „palivový článek – baterie“ (viz případové studie z USA) použít k pohonu palivový článek s výkonem cca 35 až 40 % a dosáhnout úspor paliva cca 15 až 20 %. V porovnání s první generací autobusů s palivovými články bez hybridního

pohonu (viz případová studie k projektu HyFleet:CUTE) má TriHyBus palivový článek s 20% výkonem a dosahuje 65% úspory paliva.

Ve sledovaném období byla zaznamenána jedna porucha elektroniky brzdového pedálu – problém s identifikací.

Během sledovaného období proběhla revize plicního zařízení (3 dny). Byla objevena závada – problémy s dodavatelem při jejím odstranění.

Ve sledovaném období používal TriHyBus 2. generaci palivových článků s lepší dynamikou, než u původně instalovaného palivového článku. Důvodem výměny nebyly technické problémy, nýbrž možnost výrobce otestovat nově vyvinutý palivový článek na projektu TriHyBus.

Celkové náklady projektu: 83,6 mil. Kč, z toho

- 25 mil. Kč vodíková infrastruktura
- 58,6 mil. Kč vývoj a dodání vozidla

Cena vodíku pro dopravce: 120 Kč/kg

d) Zdroj informací: ÚJV Řež, a. s.

6.3 Diesel-hybridní autobusy

6.3.1 Provoz hybridních autobusů v Londýně

a) Popis vozidla

11 sériových a 88 paralelních standardních a patrových hybridních autobusů od výrobců Alexander Dennis Limited, Optare, Volvo a WrightBus, s různými pohonnými jednotkami od výrobců Siemens, BAE, ISAM a Allison.



Foto: Transport for London

Ukládání elektrické energie: Li-ion baterie (196 vozidel), NMH baterie (10 vozidel), superkapacitor (1 vozidlo)

Údaje se týkají dvou vozových parků:

- zkušebního parku,
- parku pro financování z prostředků fondu Green Bus Fund, do něhož byly vybrány nejspolehlivější typy autobusů od Alexander Dennis Limited a Volvo (viz samostatná produktová informace).

b) Údaje z provozu

Sledované období	9 až 12/2012
Místo	MHD Londýn, 16 linek, 7 dopravců
Počet vozů	celkem 207
Najeto celkem km	3,5 mil. km (odborný odhad, statisticky nesledováno)
Průměrná spotřeba l/100 km	34,7
Další provozní údaje	Disponibilita: Zkušební park 87 %, Green Bus Fund 99 % 30 % průměrné snížení spotřeby paliva oproti dieselovému pohonu u srovnatelného autobusu

c) Další provozní zkušenosti

V 56 % doby, kdy autobusy zkušebního parku nebyly k dispozici, byly příčinou poruchy hybridního pohonu.

Hodnoty dostupnosti a podílu hybridního pohonu na odstavení mimo provoz vykazovaly značné rozpětí:

- dostupnost: 35 až 99 %
- podíl poruch hybridního systému: 4 až 78 %

Zkušební park vykazoval rovněž velké rozpětí spotřeby paliva: 21,4 až 55 l/100 km; nižší hodnoty platí pro jednoposchodové autobusy.

Dostupnost autobusů Green Bus Fund se pohybovala v rozmezí 96 až 100 %, nejčastěji činila 99 %.

Průměrná spotřeba paliva u parku Green Bus Fund se pohybovala v rozmezí 32,2 až 40,6 l/100 km; všechny autobusy tohoto parku jsou dvouposchodové.

d) Zdroj informací: Transport for London

6.3.2 Zkušební provoz hybridního autobusu Volvo 7700 v Praze a Chomutově

a) Popis vozidla

Sériově vyráběný 12m hybridní městský autobus Volvo 7700 s paralelním uspořádáním pohonu – podrobné informace viz v kapitole 3.3.2



Foto: Volvo

b) Údaje z provozu

Sledované období	6/2012, 9/2012
Místo	Praha (3 zatížené městské linky), Chomutov (příměstský režim, kopcovitý terén)
Počet vozů	celkem 1
Najeto celkem km	8 700; z toho 4 300 Praha a 4 200 Chomutov
Průměrná spotřeba l/100 km	30,4; z toho 30,2 Praha a 30,6 Chomutov
Další provozní údaje	Průměrná dostupnost vozidla: 87,5 % Dostupnost hybridního pohonu: 100 % Úspory nafty oproti dieselovému pohonu: - městský provoz Praha: 28 % - příměstský provoz Chomutov: 20 %

c) Další provozní zkušenosti

Jízda autobusu byla hodnocena jako plynulá a tichá. Během zastavení je vypínán dieselový motor a rozjezd probíhá na elektrický pohon.

Dostupnost ovlivnila především nehoda s poškozením zpětného zrcátka při zkušebním provozu v Praze, v jejímž důsledku byl autobus tři dny odstaven z provozu. Další odstávky (celkem 5 dní) způsobily drobné opravy a seřizování z různých příčin, která nesouvisely s hybridním pohonem.

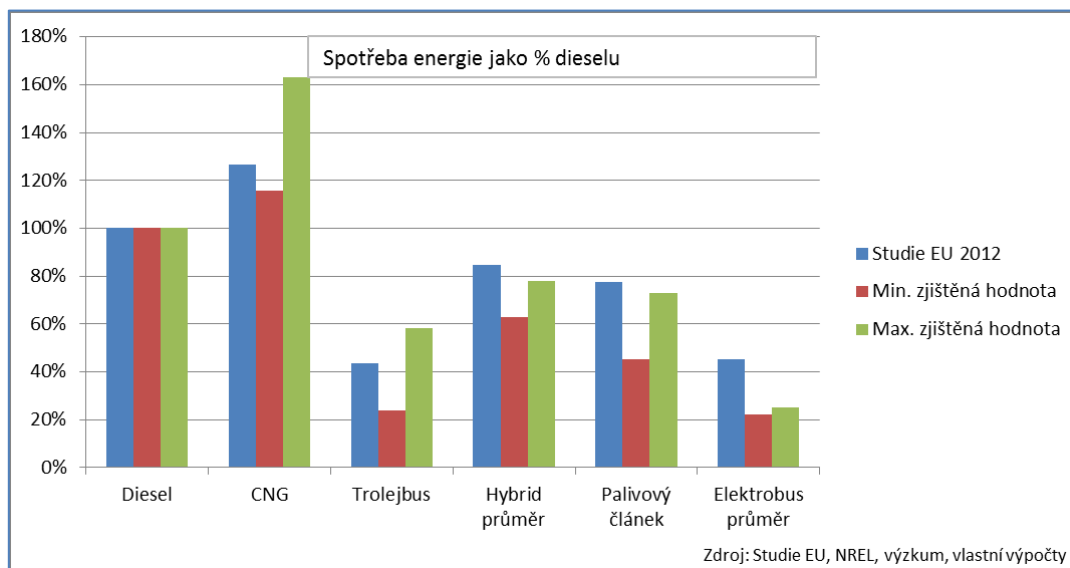
d) Zdroj informací: VOLVO Truck Czech s.r.o.

7 Analýza získaných poznatků

7.1 Spotřeba energie

Při porovnání informací ze Studie EU, zprávy NREL, případových studií a dalších zdrojů informací [7] je patrné, že ačkoliv různé zdroje uvádějí různé konkrétní hodnoty, vzájemné vztahy mezi parametry jednotlivých sledovaných pohonů pro autobusy jsou navzdory různým zdrojům informací velmi podobné.

Jako první je to zřejmé u zjištěné jednotkové spotřeby energie udávané jako procento diesellového pohonu, kterou ukazuje graf na obrázku č. 7.



Obr. 7 Porovnání spotřeby energie jako % dieselu (zdroj: [2], [3], [7])

Z grafu je vidět, že energeticky nejméně hospodárný, a to i v porovnání s dieselem, je plynový pohon s ohledem na konstrukci motoru. Veškeré pohony využívající elektromotor, včetně diesel-hybridního pohonu, jsou naproti tomu energeticky mnohem hospodárnější, přičemž minimální spotřebu energie ukazuje elektrobus a trolejbus, a to až na úrovni 20 % dieselu.

7.2 Emise a hlučnost

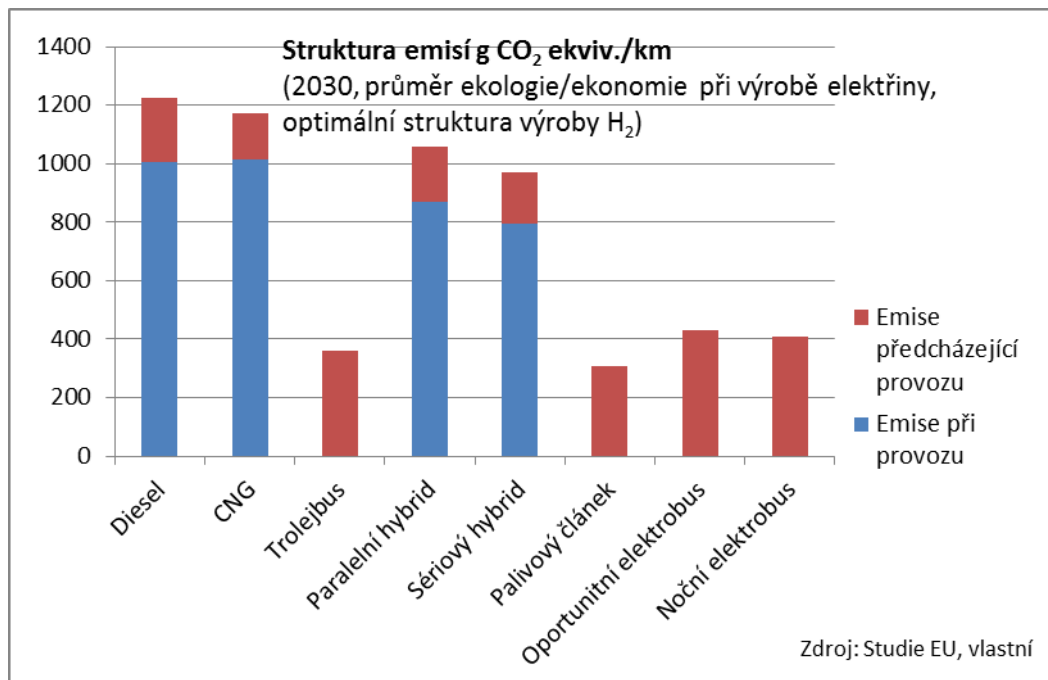
Pro porovnání míry emisí skleníkových plynů byly využity výsledky Studie EU [3] – viz též kapitola 4.1, rozlišující

- emise předcházející provozu, tj. vznikající od vytěžení energetického zdroje po jeho použití ve vozidle – „well-to-tank“,
- emise vznikající při vlastním provozu vozidla – „tank-to-wheel“,
- emise celkem jako součet obou předchozích – „well-to-wheel“.

Výsledky ukazuje graf na obrázku č. 8. Uvedený zdroj uvádí jako celoevropský stav a vývoj ve struktuře výroby elektrické energie hodnoty pro maximálně ekologickou variantu a pro maximálně nákladově efektivní variantu. Pro jednoduchost a názornost byl v této Studii jako srovnávací základ použit průměr uvedených hodnot. Konkrétní národní hodnoty se mohou

od uvedeného průměru odchylovat v závislosti na struktuře výroby elektrické energie, stavu konkrétních energetických zdrojů a bilanci domácí výroby a importu elektřiny.

Pro palivočlánkové pohony byla použita optimální struktura výroby vodíku dle [3].



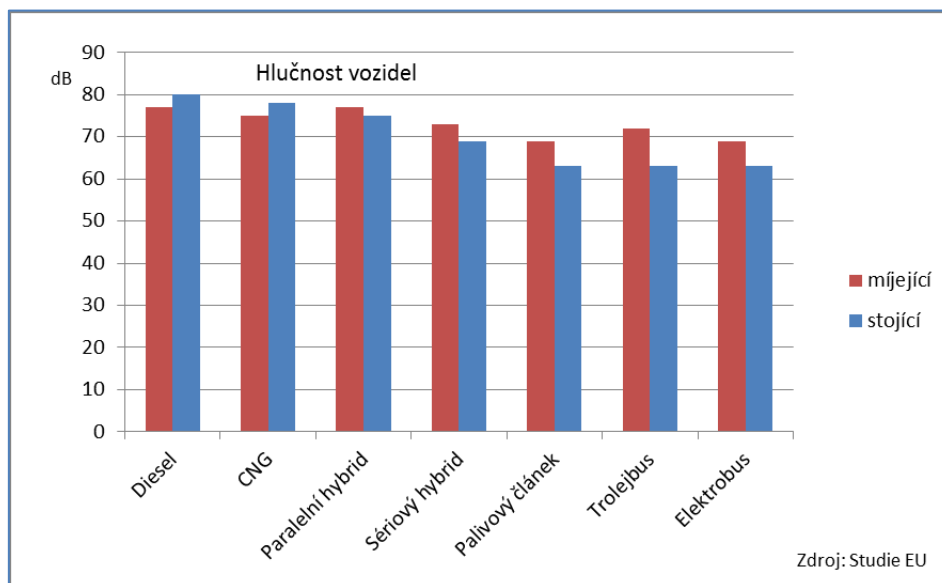
Obr. 8 Porovnání emisí (zdroj: [3], vlastní výpočty)

Z obrázku je vidět, že elektrické pohony bez ohledu na primární zdroj energie mají díky své schopnosti efektivně hospodařit s energií vozidla (viz obrázek č. 7) menší míru emisí skleníkových plynů, a to nejen lokálně, ale i v měřítku „well-to-wheel“.

CNG ukazuje stejné nebo jen nepatrně větší emise skleníkových plynů „tank-to-wheel“ oproti standardnímu dieselu a menší jednotkové emise skleníkových plynů z pohledu „well-to-wheel“ vzhledem k jednodušším procesům předcházejícím jeho spotřebě v pohonu.

Srovnání ve Studii EU nezahrnuje vliv dalších emisí včetně nanočástic produkovaných oběma typy pohonů při spalování i mimo něj, které mají schopnost pronikat buněčnou stěnou a dlouhodobě nepříznivě ovlivňovat lidské zdraví a obranyschopnost organismu. Tato problematika je poměrně složitá a závisí na množství okolností. Podle výsledků testování uvedených např. v prezentaci ARB [7] lze obecně konstatovat, že nanočástice produkované CNG jsou v některých případech menší a koncentrovanější, a tudíž i potenciálně nebezpečnější, než u dieselu. Pro městský provoz, kde je možnost jejich rozptýlení v ovzduší omezená, proto oba pohony představují významné zdravotní riziko.

Důležitým vlivem na životní prostředí analyzovaným v rámci Studie EU je také hlučnost pohonů. Srovnání ukazuje graf na obrázku č. 9, rozlišující hlučnost při stání vozidla a jeho míjení pozorovatele.

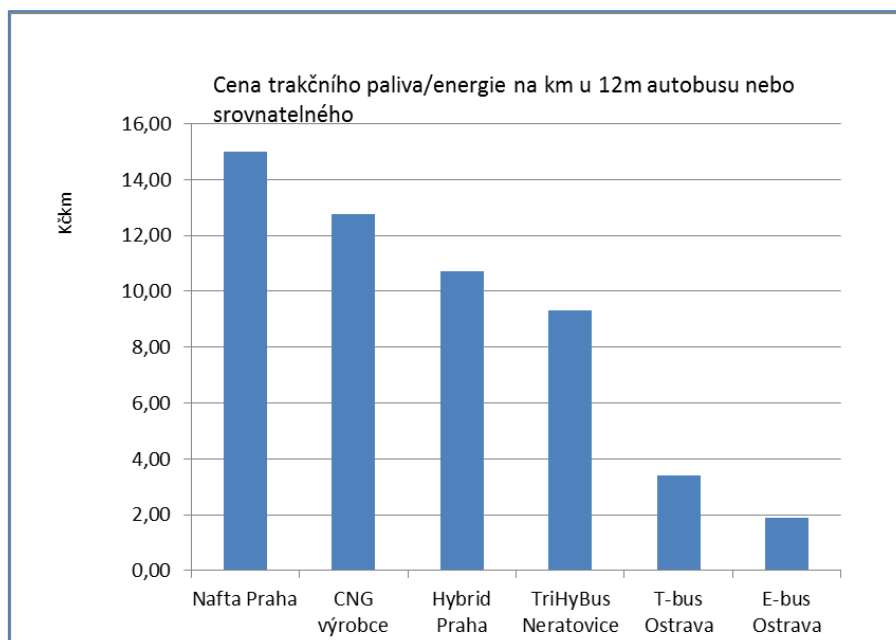


Obr. 9 Porovnání hlučnosti (zdroj: [3])

Je zřejmé, že i tento ekologický aspekt hovoří ve prospěch elektrických pohonů včetně diesel-hybridního v porovnání s čistě spalovacím motorem včetně CNG.

7.3 Nákladovost

Energetická náročnost se promítá také do nákladů na spotřebované palivo nebo trakční energii, jak ukazuje graf na obrázku č. 10. Ty jsou u všech elektrických pohonů nižší než u spalovacích motorů, tedy dieselu a CNG.

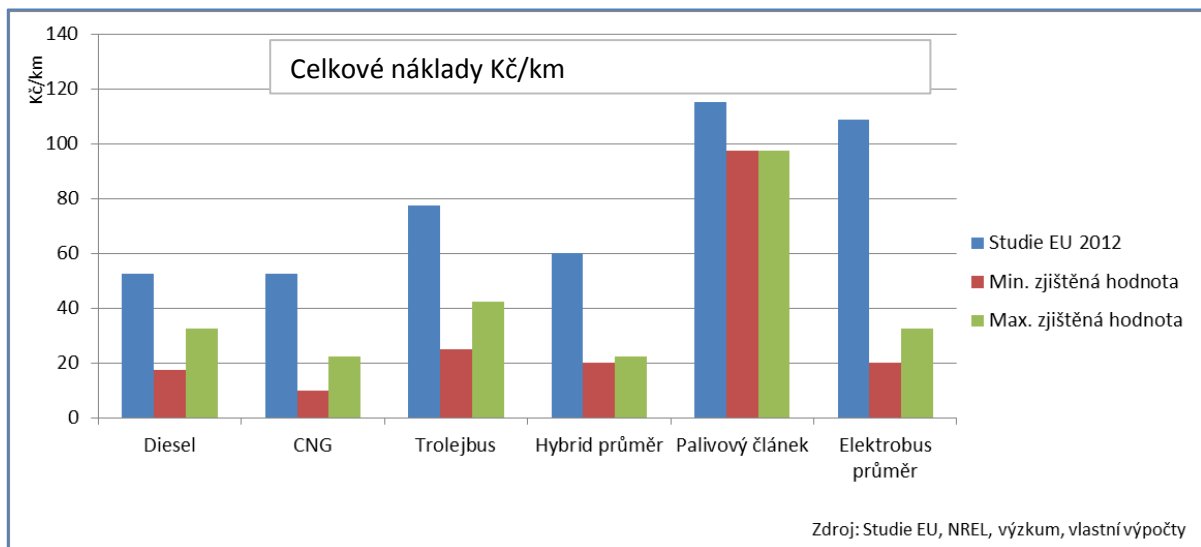


Obr. 10 Porovnání nákladů na trakční palivo a energii (zdroj: [7])

Rozdíl mezi elektrobusem a trolejbusem je dán konkrétním typem porovnávaných dopravních prostředků – 10,5m elektrobusem lehké stavby a standardním 12m trolejbusem.

Podobně jako v případě emisí skleníkových plynů i zde kompenzuje nízká cena CNG nehospodárnost pohonu oproti dieselu, nepřeváží však hospodárnost elektrického pohonu u diesel-hybridního autobusu.

Jsou-li brány v úvahu veškeré životní náklady dopravního prostředku, hrají zde roli i další faktory, především sériovost výroby a náklady na potřebnou infrastrukturu. Obrázek č. 11 ukazuje srovnání různých kalkulací z různých zdrojů, které se – podobně jako v případě hodnocení energetické náročnosti – liší v konkrétních hodnotách, ale shodují ve vzájemných vztazích mezi jednotlivými pohony.



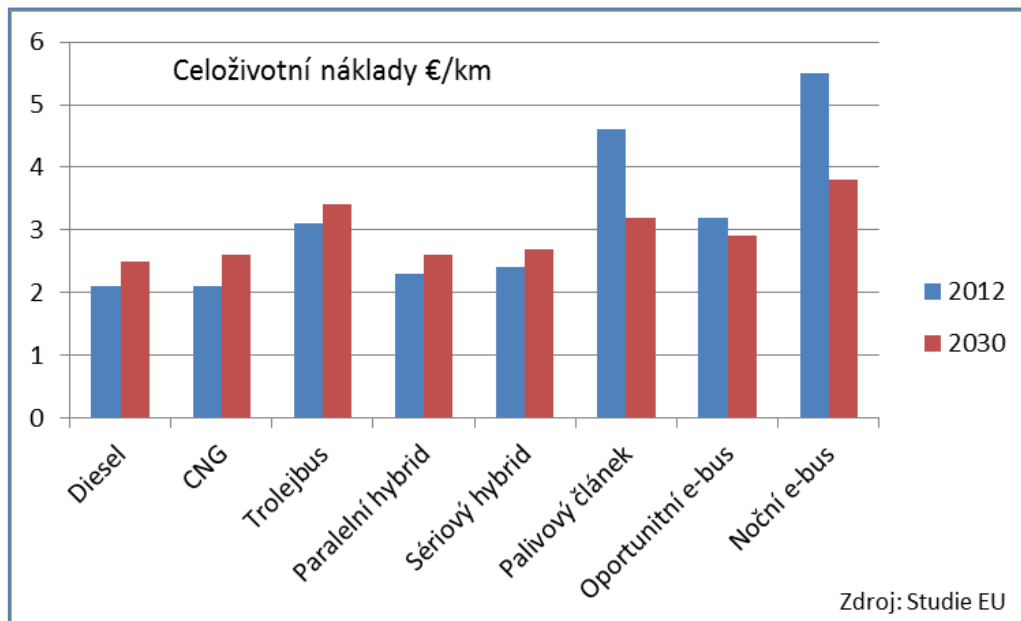
Obr. 11 Porovnání celoživotních nákladů (zdroj: [2], [3], [7])

Z grafu je patrné následující:

- Diesel a CNG jako zavedené produkty na zavedených trzích s jednoduchou konstrukcí mají nejnižší celoživotní náklady.
- Trolejbus je zatížen vysokými pořizovacími a udržovacími náklady pevné trakční infrastruktury.
- E-busy a fc-busy jsou poznamenány prakticky kusovou výrobou, která neumožňuje uplatnit ekonomii z rozsahu, a fc-busy navíc náklady vodíkové infrastruktury.

V konkrétních případech se však tyto náklady mohou velmi lišit od celoevropského předpokladu [3], jak ukazují například výsledky elektrobúsů DP Ostrava (viz kapitola 6.1.2), a provozování elektrobúsů tudíž může být nákladově srovnatelné s dieselovými autobusy nebo dokonce výhodnější.

Studie EU naproti tomu dává e-busům a fc-busům jako jediným pohonům potenciál pro snižování nákladů, s ohledem na vývoj technologií a přechod na sériovou výrobu. Názorně to ukazuje graf na obrázku č. 12.



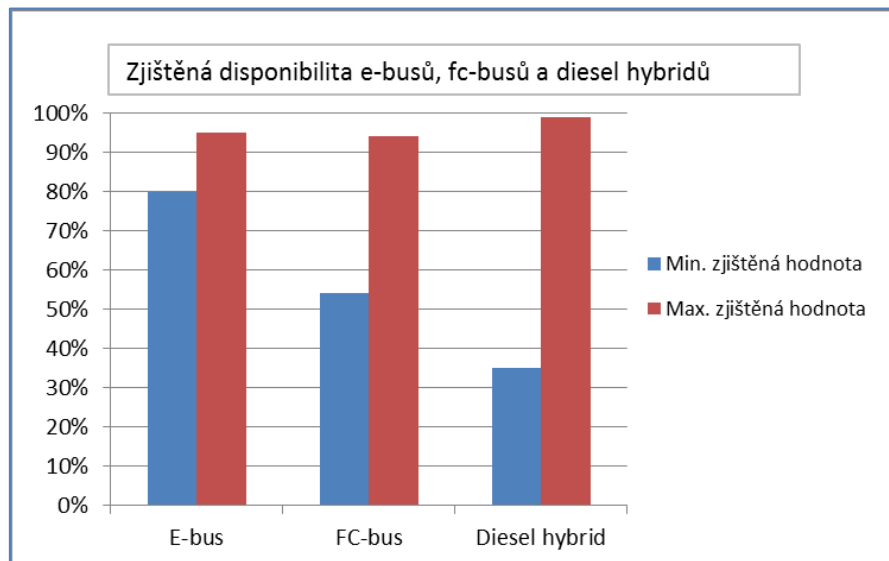
Obr. 12 Předpokládaný vývoj celoživotních nákladů (zdroj: [3])

Do předpokládaného růstu celoživotních nákladů u dieselu, diesel-hybridu a CNG se promítá mimo jiné očekávaný vývoj cen fosilních paliv. U trolejbusu jako jediného elektrického autobusu se také očekává nárůst celoživotních nákladů, především v důsledku náročnosti infrastruktury na lidskou práci a předpokládaného růstu její ceny.

7.4 Provozní spolehlivost

Srovnáním provozní spolehlivosti alternativních pohonů se Studie EU bezprostředně nezabývala, i když se tento faktor nutně promítl do kalkulace celoživotních nákladů skrze náklady na provoz a údržbu i předpokládané kilometrické proběhy. NREL [2] porovnává poruchovost měřenou kilometrickými proběhy mezi poruchami pro vybrané pohony s ohledem na jejich vývojové stadium, viz kapitola 4.2.

Pro potřebu této Studie byly analyzovány údaje z případových studií v kapitole 6, které odrážejí konkrétní zkušenosti z provozu elektrických autobusů. Spolehlivost e-busů, fc-busů a diesel-hybridních autobusů vyjádřenou jako dostupnost vozidla v rozpětí minimálních a maximálních zjištěných hodnot ukazuje graf na obrázku č. 13.



Obr. 13 Porovnání disponibility

Takto sumarizované údaje potvrzují to, co je zřejmé z textu případových studií v kapitole 6: Provozní spolehlivost alternativních pohonů má velký rozptyl nejvyšších a nejnižších hodnot, přičemž maxima odpovídají běžné míře spolehlivosti standardních vozidel.

Nejvyšší míru spolehlivosti a nejmenší rozptyl hodnot ukazují e-busy. Důvodem je především jejich poměrně jednoduchá konstrukce bez nutnosti integrovat větší počet různých zařízení. Konkrétní případ neúspěšného provozu e-busů v DP hl. m. Prahy [7], jejichž hlavním problémem bylo množství mechanických závad, zároveň ukazuje, jak nevhodný výběr konkrétního vozidla pro konkrétní provozní podmínky může bezdůvodně zkreslit názor dopravce na elektrobuses jakožto druh pohonu.

Do výsledků fc-busů se promítá především relativně malá velikost jejich vozových parků, řádově v jednotlivých kusech. Jak je zřejmé z případových studií, sám palivový článok je nejméně zranitelnou součástí pohonu. Nejčastější příčinou odstávky jsou zcela banální mechanické závady, jejichž řešení však trvá poměrně dlouho s ohledem na zkušební charakter provozu a kusovou výrobu.

V případě diesel-hybridních pohonů, které ukazují nejvyšší a zároveň i nejnižší zjištěné hodnoty disponibility, je zřejmé, jak velmi záleží na konkrétní konstrukci vozidla a precizně provedeném vyvážení hybridního pohonu. S tím je nutno přistupovat i k závěrům zprávy NREL [2] v kapitole 4.2. Pověst hybridních pohonů jakožto nespolehlivých tedy neplatí všeobecně, pro efektivní provozování je však nutno velmi dobře volit konkrétní typ vozidla.

7.5 Elektromobilita MHD a koncept „smart grid“

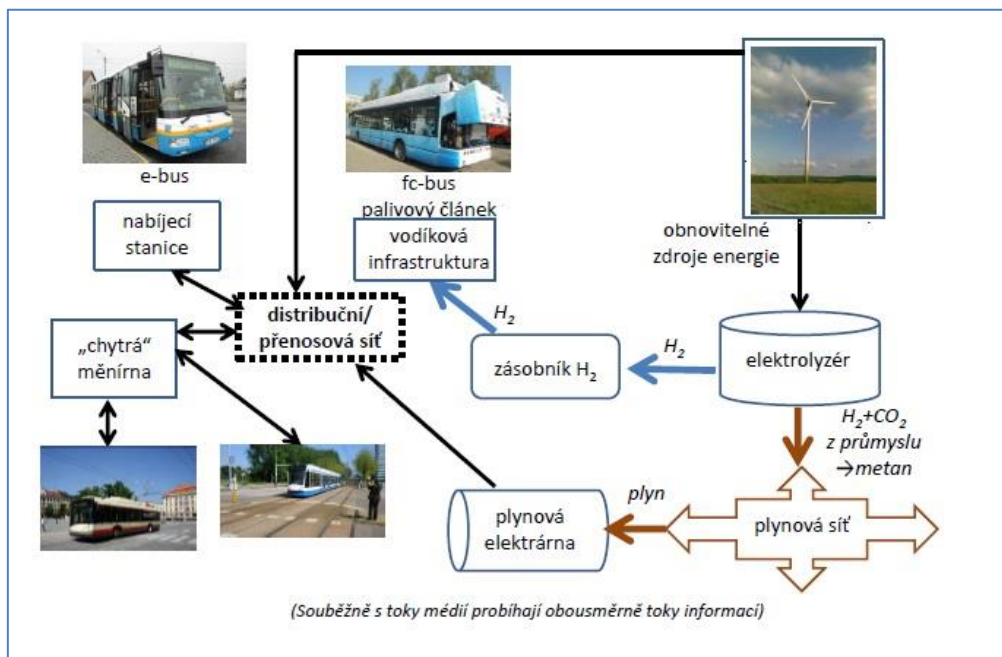
Dosah elektromobility MHD se neomezuje jen na přepravní trh nebo odvětví dopravy obecně. Na rozdíl od autobusů se spalovacími motory zasahují elektrické pohony o systémovou úroveň výš, do národní energetické soustavy. V tomto směru mohou hrát významnou roli při rozvíjení konceptu tzv. inteligentních sítí, neboli „smart grids“. Názorně to ukazuje obrázek č. 14. I když tato oblast nebyla přímo předmětem analýzy v této Studii, je natolik důležitá, že si zaslouží alespoň základní vysvětlení.

Pojmem „smart grid“ se rozumí elektrická distribuční nebo přenosová síť doplněná o obousměrnou datovou komunikační síť, která umožňuje v reálném čase pružně a efektivně sladovat výrobu a spotřebu elektrické energie. Koncept „smart grid“ je řešením zejména tam,

kde je třeba vyvažovat nepravidelnosti dodávky elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Obecně přispívá k celkovému hospodaření s energií bez ohledu na její zdroje.

Jak patrně z obrázku, na straně spotřeby elektrické energie z veřejné sítě znamená elektromobilita MHD dobíjení elektrobuses a odběr energie trolejbusů (a kolejových vozidel) z trakčního vedení. Linkový charakter provozu s chováním do značné míry předvídatelným představuje významnou příležitost ke vzájemné koordinaci výroby a spotřeby elektřiny, mnohem větší než u individuální elektromobility.

Ačkoliv při současném stavu technologie lze stěží očekávat, že by trakční baterie na vozidlech sloužily jako dočasné zásobníky energie v rámci sítě (jsou příliš citlivé na režim nabíjení a vybíjení – viz kapitola 3.1), po jejich vyřazení z mobilního provozu na konci životnosti je lze pro tento účel ještě dlouho využívat ve stacionárním režimu.



Obr. 14 Vztah elektromobility MHD a konceptu „smart grid“

U pevných trakčních zařízení nabízejí „inteligentní“ měničky (například ABB Enciline nebo Alstom HESOP) možnost rekuperace veškeré brzdné energie nejen v rámci sítě trakčního vedení, jejíž kapacita je omezená, ale i do veřejné distribuční sítě. Tím může dojít až k 15% úsporám elektrické energie.

Obrázek č. 14 ukazuje také možné propojení vodíkové, plynové a elektrické infrastruktury v rámci konceptu „smart grid“. Zařízení typu „power-to-gas“, které jsou v současné době ve zkušebním provozu, ukládají elektrickou energii z obnovitelných zdrojů do zásob vodíku, případně zemního plynu, pomocí elektrolýzy. Odtud je pak možno ji přeměnit zpět na elektřinu buď v palivových článcích, nebo v plynových elektrárnách. Stejnou roli mohou v budoucnu sehrát i jaderné zdroje s vysokoteplotními reaktory IV. generace, využívajícími použité palivo ze současných jaderných elektráren a vyrábějícími současně elektřinu a vodík. Pokud by navíc byla právě probíhající renesance metanolových palivových článků úspěšná, lze elektrická palivočlánková vozidla pohánět také metanolem získaným z obnovitelných zdrojů. Pokusy s takto poháněnými osobními automobily mají v současné době podporu zejména v Dánsku.

Konkrétní příklady „smart grids“ jsou dnes v různých stádiích zkoušek a popisované technologie jsou k dispozici jako komerční produkty nebo jako testovaná zařízení.

8 Zavádění a rozvíjení elektrických autobusů jako projekt

Jak je zřejmé z výsledků analýzy i z případových studií a informací o konkrétních produktech, nabízí elektrické autobusy ve městě významné příležitosti, především v rovině sociálně ekonomické, a jejich technologie se neustále rozvíjejí a zdokonalují. Zároveň mají tyto technologie stále mnohá omezení v oblasti technické, provozní a finanční, a to jak obecně, tak u konkrétních produktů.

Nejméně šťastným způsobem, jak je zavádět, je proto jednorázová akce typu „pořídme si elektrobus, ať jsme světoví“. K jejich zavádění, případně dalšímu rozvíjení ve městě je mnohem užitečnější přistupovat jako k rozvojovému projektu, který vychází z potřeby konkrétního přepravního trhu a nachází pro něj vhodné technické řešení.

Jeho základem je následující postup:

- ujasnit si předpokládaný budoucí vývoj přepravního trhu v oblastech obsluhovaných MHD spolu s požadavky a předpokládaným vývojem nadřazených systémů – zejména územní rozvoj, životní prostředí a energetika;
- vytipovat oblasti, kde požadavky na dopravní obsluhu mohou splňovat elektrobusy, zvláště z pohledu zátěžových proudů, požadavků na ekologickou dopravu a blízkosti energetické infrastruktury (například dojezdová vzdálenost do depa nebo na konečné zastávky elektrické trakce);
- stanovit základní provozně technické požadavky, případně rozpočtová omezení;
- zjistit aktuální informace o existujících produktech na trhu elektrických autobusů a příslušné infrastruktury z hlediska provozních vlastností, cen a výsledků zkušebních provozů;
- stanovit varianty možného řešení provozních požadavků pomocí konkrétních produktů;
- provést technické, finanční a sociálně ekonomické zhodnocení těchto variant pomocí metod založených na diskontovaném cash flow (k prvnímu seznámení s těmito metodami lze využít např. [5]);
- vybrat optimální řešení z provozně technického pohledu;
- zjistit možnosti a podmínky financování a spolufinancování projektu včetně dodávek na klíč nebo veřejně soukromých partnerství;
- upřesnit optimální řešení z pohledu organizačního a finančního;
- připravit zadání veřejné zakázky.

Tímto způsobem se lze vyhnout neúspěchu, který hrozí při nekonceptním jednorázovém nákupu elektrobusů z čistě marketingových, případně jiných důvodů.

Při realizaci takového projektu je vhodné vytvořit projektový tým složený jednak z potřebně kvalifikovaných zaměstnanců dopravce, případně municipality, a jednak z externích odborníků. Jejich kombinací je možno účinně propojit detailní znalost místních poměrů s celkovým přehledem o trzích a možnostech elektrických autobusů, tak aby výsledné řešení bylo prakticky realizovatelné a zároveň nebylo omezováno každodenní rutinou provozovatele.

Rozvoj elektromobility v MHD přímo podporuje mimo jiné dokument EU „Bílá kniha: Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje“ (tzv. „Bílá kniha o dopravě“ [7]) a platná státní

energetická koncepce ČR (viz kapitola 1.1). Je proto užitečné průběžně sledovat aktuální vývoj v přípravě a vyhlášení příslušných programů pro využívání zdrojů spolufinancování na evropské a národní úrovni. Podle situace je pak zapotřebí vyvíjet iniciativy k tomu, aby byla elektromobilita v MHD v těchto dokumentech odpovídajícím způsobem zohledněna, a následně sledovat možnosti využití těchto programů pro konkrétní projekty.

9 Závěry a doporučení

9.1 Souhrnné závěry Studie

9.1.1 Perspektivy elektrických autobusů

V současné době se jako nejperspektivnější jeví

- ze středně- a dlouhodobého pohledu oportunitní (neboli průběžně dobíjené) elektrobuses (dobíjené přes den na trase) a palivočlánkové autobusy,
- z krátkodobého pohledu diesel-hybridní autobusy a dále trolejbusy tam, kde existuje potřebná infrastruktura, podle potřeby doplněné zařízením pro přeježdění bez troleje (CFO).

9.1.2 Energetická hospodárnost a vlivy na životní prostředí

Elektrický pohon je energeticky nejehospodárnější i neekologičtější, a to jak v místě, tak se zohledněním výroby energie podle principu „well-to-wheel“. Platí to pro všechny druhy elektrických autobusů včetně diesel-hybridního. Konkrétní hodnoty se různí podle zdrojů informací, relace mezi nimi se řádově příliš neliší.

CNG produkuje v městském provozu stejně nebo dokonce více lokálních emisí skleníkových plynů než standardní diesel a v procesu předcházejícím provozu o něco méně těchto emisí. Z tohoto pohledu je pro město CNG pohon méně ekologický než elektrické pohony včetně diesel-hybridního. Srovnání pohonů z pohledu ostatních emisí včetně nanočástic nebylo předmětem podrobné analýzy v rámci této Studie, z dostupných zdrojů se však lze domnívat, že v městském provozu představuje CNG zdravotní rizika minimálně srovnatelná se standardním dieselem.

S ohledem na tyto skutečnosti nelze CNG v městském provozu seriózně nazývat „ekologickým pohonem“, byť je tato fráze poměrně zažitá. Tím není nijak zpochybnováno využití tohoto pohonu v jiném než městském prostředí.

9.1.3 Náklady

Náklady na trakční energii či palivo jsou u elektrických pohonů, včetně diesel-hybridních, nižší než u spalovacích motorů, včetně plynových.

Z pohledu celoživotních nákladů jsou elektrické pohony prozatím dražší než spalovací motory, elektrobuses a palivočlánkové autobusy však zároveň mají vysoký potenciál postupného zlevňování díky možnostem sériové výroby.

Konkrétní nabízené produkty a technologie se přitom mohou svými parametry lišit od průměru.

9.1.4 Provozní spolehlivost

Provozní spolehlivost elektrických autobusů je ovlivněna především sériovostí jejich výroby a konkrétním technickým řešením. U osvědčených produktů plně odpovídá běžnému standardu u vozidel MHD. Nejčastější příčinou odstavení mimo provoz bývají banální mechanické závady přímo nesouvisející s elektrickým pohonem.

9.1.5 Další závěry

Existuje velká variabilita technických řešení, která se neustále vyvíjejí. Při jejich volbě je žádoucí uzpůsobovat zvolené technické řešení požadavkům konkrétního přepravního trhu, ne naopak.

Rychlý vývoj technologií v e-mobilitě tedy představuje potenciál pro životní prostředí i trh, a to jak v rámci samotné elektromobility, tak v synergiích mezi elektromobilitou a energetikou při rozvíjení konceptu „smart grid“.

V zahraničí existuje úzká spolupráce výzkumné sféry, výrobců a dopravců vedená snahou co nejrychleji dostat nové produkty na běžný trh. V ČR se zatím podobné iniciativy uplatňují jen málo.

9.2 Závěry a doporučení pro dopravce a municipality

9.2.1 Elektrobusy

Elektrobusy učinily během nedávného období významný pokrok pro praktické využití u dopravců. Omezení spojená s jejich dojezdem lze účinně řešit rychlodobíjením během dne. Mohou proto být efektivní a ekologickou alternativou k autobusům, ale i k trolejbusům na trasách, kde se nevyplatí udržovat trolejovou infrastrukturu. Mohou také předcházet zavedení trolejbusů či prodloužení trolejbusových tratí v rozvíjející se nové zástavbě, kde dosud nejsou pevně stabilizované trasy a přepravní proudy cestujících.

Průmysl již dnes nabízí řadu zajímavých a potenciálně výhodných řešení pro elektromobilitu MHD a neustále vznikají a jsou zkoušena další. Lze si z nich vybrat pro konkrétní podmínky svého vlastního přepravního trhu. Je však třeba dobře znát současné a budoucí požadavky tohoto trhu i možnosti nabízených technických řešení.

Příkladem úspěšného nasazení elektrobusů v ČR je jejich provoz v DP Ostrava. Příkladem neúspěchu je ukončený provoz elektrobusů v DP hl. m. Prahy. Hlavní příčinou neúspěchu zde bylo použití nesprávného konkrétního produktu nesprávným způsobem, nikoliv nasazení elektrobusu obecně.

9.2.2 Palivočláňkové autobusy

Palivočláňkové autobusy jsou v ČR, na rozdíl od zahraničí, prozatím ve velmi raném stadiu a omezují se na jediný projekt TriHyBus. Tento pohon přesto není radno podceňovat. Podobně jako elektrobusy se rychle vyvíjí a do budoucna je mu na evropské i světové úrovni dáována velká perspektiva, protože spojuje výhody čistě elektrického pohonu s dojezdovou vzdáleností spalovacích motorů. Důležitou hnací silou, podobně jako v zahraničí, přitom mohou paradoxně být i bohaté společnosti spojené s provozováním konvenčních čerpacích stanic, které využívají příležitosti stát se významným hráčem v souvislosti s alternativními pohony.

Vyplatí se proto dění v tomto oboru sledovat a bude-li příležitost, zapojit se do rozvojových projektů.

9.2.3 Diesel-hybridní autobusy versus CNG

Diesel-hybridní autobusy mají menší jednotkové náklady na palivo oproti standardním dieselovým autobusům i oproti autobusům na CNG pohon. V porovnání s CNG je jejich provoz, zvláště v uzavřené městské zástavbě také méně zdraví škodlivý. Vzhledem k fungujícímu trhu hybridních autobusů je vhodné při nákupu těchto vozidel využít vyjednávací sílu kupujícího. Jejich ekologický provoz zároveň představuje příležitost k nárokování dotací na „čistou“ MHD.

9.2.4 Efektivnost provozu a financování

Případné navýšení nákladů na elektrické autobusy oproti standardním pohonům bývá plně nebo alespoň částečně kompenzováno ekologickými přínosy. Ty je možno alespoň orientačně vyčíslit v peněžních jednotkách na základě statistických údajů a výsledků

publikovaných odborných studií, a tím ovlivnit politické rozhodnutí ve prospěch potřebných dotací z veřejných zdrojů.

Pro první srovnání možných řešení stačí orientační propočty a kalkulace. Pro konkrétní investiční záměr je žádoucí provést detailnější zhodnocení daného konkrétního projektu a možných alternativ formou studie proveditelnosti nebo jiného odpovídajícího dokumentu.

Investiční záměr je vhodné realizovat formou rozvojového projektu, jehož základem je jasné stanovení potřeby a možností využití elektrických autobusů. Projektový tým by měl zahrnovat zaměstnance dopravce, případně municipality, i externí specialisty, tak aby byla účinně propojena znalost místních poměrů s celkovým přehledem o trzích a možnostech elektrických autobusů.

Elektromobilita má podporu v rámci EU, čemuž odpovídají i finanční zdroje, které lze získat na spolufinancování projektů v elektromobilní MHD. Je rovněž jasně zakotvena ve státní energetické koncepci ČR. Je však třeba zřetelně projevit zájem o jejich využití ve vztahu ke správcům těchto zdrojů a připravit k tomuto účelu kvalitní projekty.

Není důvod k obavám ze zapojení do rozvojových projektů, případně do projektů elektromobility řešených formou veřejně soukromých partnerství nebo dodávek „na klíč“. Je pouze třeba znát a vyčíslit hlavní příležitosti a rizika takovýchto řešení a podle toho nastavit smluvní vztahy a finanční toky v rámci projektu.

9.3 Závěry a doporučení pro veřejné finance

9.3.1 Hlavní oblasti podpory

Elektromobilita představuje potenciál pro podporu z veřejných zdrojů státu a EU ve dvou základních oblastech:

- Podpora výzkumu, vývoje a zkoušek v běžném provozu u produktů ve vývoji (elektrobuses a jejich součásti – trakční baterie, palivové články, hybridní systémy a jejich řízení) a u systémů smart grids.
- Dotace na ekologickou MHD u hotových produktů (metro, trolejbusy, tramvaje, diesel-hybridní autobusy).

V obou případech je třeba se soustředit na přípravu a realizaci konkrétních projektů, zahrnujících zástupce průmyslu, dopravců, výzkumné a vývojové sféry a dalších zúčastněných subjektů.

Je žádoucí přehodnotit zahrnování pohonu na CNG mezi ekologickou dopravu v případě městských autobusů, s ohledem na jeho ekologickou nepříznivost v městských podmínkách. Toto doporučení se netýká využití CNG mimo městský provoz.

Návratnost vynaložených prostředků z veřejných zdrojů vychází ze sociálně ekonomických přínosů elektromobilní MHD, a to jak ekologických, tak ostatních (např. zvýšení ceny pozemků v důsledku lepší dopravní obslužnosti prostřednictvím atraktivní MHD). Tyto efekty lze s využitím existujících informací alespoň rámcově vyčíslit v peněžních jednotkách a postavit vedle čistě finančního hodnocení.

9.3.2 Vícezdrojové financování

Pro financování projektů elektromobility MHD je třeba zapojit veřejné i soukromé finanční zdroje včetně zdrojů EU, kde má elektromobilita podporu.

Pro realizaci každého z těchto projektů je nutno najít vhodné organizační a finanční schéma, včetně různých forem veřejně soukromých partnerství.

Do vícezdrojového financování lze tak zapojit například vlastníky pozemků nebo jiné subjekty, jimž projekt elektromobilní MHD přinese prokazatelné, finančně vyčíslitelné výhody (například zhodnocení nemovitého majetku).

Vhodnost konkrétního organizačního a finančního schématu je třeba analyzovat a podpořit studií proveditelnosti nebo jiným srovnatelným dokumentem.

9.3.3 Motivace dopravců

Je žádoucí finančně motivovat dopravce prostředky z veřejných zdrojů

- k rozvoji elektromobilní MHD, protože standardní dieselový pohon, který je nejméně ekologický, je vzhledem ke zralosti trhu stále nejlevnější;
- k zapojení do rozvojových projektů elektromobilní MHD kvůli nezbytnosti konzistentních dat z reálného provozu s cestujícími pro vývoj technologií, které nelze plně nahradit laboratorními zkouškami.

Je rovněž žádoucí podpořit interní iniciativy dopravců směřujících k rozvoji elektromobilní MHD, tak aby jejímu rozvoji nebránily vžitě předsudky či zavedené stereotypy.

Seznam literatury

[1] Chapman, D., Cowdell T. Understanding and managing public sector markets (1993). Sheffield: Sheffield Business School

[2] Eudy, L., Chandler, K., Gikakis, C (2012). Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2012. Technical Report NREL/TP-5600-56406

[3] Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (2012). Urban buses: Alternative powertrains for Europe

[4] Johnson, G., Scholes, K., Whittington, R. Exploring Corporate Strategy (2008). Harlow: Pearson Education Limited 2008, ISBN 978-0-273-71192-6

[5] Slavík, J. Finanční průvodce nefinančního manažera. Praha: Grada Publishing 2013 ISBN 978-80-247-4593-0

[6] Slavík, J. Z inženýra manažerem. Praha: FCC Public 2010 ISBN 978-80-86534-16-9

[7] Další zdroje informací, neuvedené výše:

- údaje od partnerů Studie: ABB s.r.o., Cegelec Praha a.s., EVC Group s.r.o., SOR Libchavy spol. s r.o., Solaris, ŠKODA ELECTRIC a.s., VOLVO Truck Czech s.r.o.
- údaje od dalších spolupracujících organizací Studie: Sdružení dopravních podniků ČR, Fakulta dopravní ČVUT, Dopravní podnik Ostrava, EKOVA ELECTRIC a.s., ÚJV Řež a.s., Národní spolek pro elektromobilitu a podporu moderních technologií, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Dopravní podnik hl. m. Prahy, SunLine Transit Agency (USA), Transport for London (V. Británie)
- publikované výstupy rozvojových projektů HyFleet:CUTE, 100 Bus Electriques a Trolley
- publikované informace iniciativy Flanders' DRIVE
- odborná média a informační portály: Proelektrotechniky.cz, FuelCellToday, Railway Gazette International, Eltis.org
- bakalářská práce Tomáš Ludvík: Ekonomika provozu elektrobuse, FD ČVUT 2013
- ARB's Study of Emissions from "Late-model" Diesel and CNG Heavy-duty Transit Buses: Preliminary Nanoparticle Measurement Results, California Environmental Protection Agency, Air Resources Board (ARB) 2010
- Evropská komise: Bílá kniha. Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje. KOM(2011)144 v konečném znění („Bílá kniha o dopravě“)
- archiv zpracovatele

(souhrnně označované jako „údaje z průzkumu“)

