

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Alternativní pohonné systémy autobusů
z pohledu investičních a provozních nákladů

Bc. Lukáš Hovorka

Diplomová práce

2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Lukáš Hovorka
Osobní číslo: D12677
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje
Studijní obor: Dopravní management, marketing a logistika
Název tématu: Alternativní pohonné systémy autobusů z pohledu investičních a provozních nákladů
Zadávací katedra: Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky

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

Úvod

1. Charakteristika alternativních pohonů/technologií
2. Rozbor nákladových položek souvisejících s pořízením a provozem autobusů
3. Návrh využívání vozidel s alternativním pohonem
4. Zhodnocení nákladů na realizaci návrhu

Závěr

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucí
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:
dle pokynů vedoucí práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Hana Drahotská, Ph.D.**
Katedra dopravního managementu, marketingu
a logistiky

Datum zadání diplomové práce: **29. listopadu 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2014**


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. listopadu 2013

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 23. května 2014

Lukáš Hovorka

Mé poděkování patří vedoucí diplomové práce Ing. Haně Drahotské, Ph.D. za podněty a cenné připomínky, které mi pomohly při vypracování této práce. Dále děkuji také Ing. Marcelovi Heverlemu z Dopravního podniku hlavního města Prahy za poskytnuté materiály a rady. A v neposlední řadě i řediteli Dopravního podniku města Pardubic Ing. Tomášovi Pelikánovi.

ANOTACE

Práce se zaměřuje na alternativní pohonné systémy autobusů využívané v současnosti především v městské hromadné dopravě. Věnuje se nákladovým položkám vynakládaným na pořízení autobusů s alternativním pohonem a jejich následný provoz. Tato data pak porovnává s náklady autobusů s konvenčním pohonem.

KLÍČOVÁ SLOVA

alternativní pohony, vodík, elektrobusy, hybridní, autobusy

TITLE

Alternative bus propulsion systems in terms of capital and operating expenditures

ANNOTATION

The work focuses on alternative bus propulsion systems currently used mainly in public transport. It deals with expenditures items spent on acquisition and operation of alternative powered buses. These data were compared with expenditures of conventionally powered buses.

KEYWORDS

alternative fuels, hydrogen, electrobuses, hybrid, buses

Obsah

| | |
|---|----|
| ÚVOD | 9 |
| 1 CHARAKTERISTIKA ALTERNATIVNÍCH POHONŮ/TECHNOLOGIÍ..... | 10 |
| 1.1 Pohon na CNG | 10 |
| 1.1.1 Charakteristika paliva..... | 10 |
| 1.1.2 Uskladnění CNG | 11 |
| 1.1.3 Důsledky využívání CNG | 12 |
| 1.1.4 Výhody a nevýhody pohonu na CNG | 13 |
| 1.2 Hybridní pohon | 15 |
| 1.2.1 Uložení elektrické energie..... | 16 |
| 1.2.2 Důsledky používání hybridní technologie..... | 16 |
| 1.2.3 Výhody a nevýhody hybridního pohonu | 17 |
| 1.3 Elektrický pohon | 17 |
| 1.3.1 Počátky vzniku elektrického pohonu | 17 |
| 1.3.2 Principy fungování elektrického pohonu | 19 |
| 1.3.3 Využívané druhy akumulátorů | 19 |
| 1.3.4 Vytápění elektrobusů..... | 20 |
| 1.3.5 Dobíjení elektrobusů | 21 |
| 1.3.6 Výhody a nevýhody elektrického pohonu..... | 22 |
| 1.4 Vodík..... | 22 |
| 1.4.1 Počátky vodíkového pohonu | 23 |
| 1.4.2 Technologie palivových článků..... | 23 |
| 1.4.3 Získávání vodíku | 24 |
| 1.4.4 Důsledky používání vodíkových palivových článků..... | 25 |
| 1.4.5 Přímé spalování vodíku ve spalovacích motorech | 25 |
| 1.4.6 Výhody a nevýhody vodíkového pohonu..... | 26 |
| 2 ROZBOR NÁKLADOVÝCH POLOŽEK SOUVISEJÍCÍCH S POŘÍZENÍM A PROVOZEM AUTOBUSŮ | 28 |
| 2.1 Náklady na pořízení | 28 |
| 2.2 Provoz autobusů | 29 |
| 2.2.1 Spotřeba PHM..... | 30 |
| 2.2.2 Náklady na údržbu | 30 |
| 2.2.3 Opravy..... | 32 |
| 2.3 Náklady autobusu na konvenční pohon..... | 32 |
| 2.4 Náklady u CNG autobusu | 36 |
| 2.5 Náklady elektrobusu..... | 39 |
| 2.6 Hybridní autobusy | 41 |
| 2.7 Autobusy poháněné vodíkem | 42 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3 | NÁVRH VYUŽÍVÁNÍ VOZIDEL S ALTERNATIVNÍM POHONEM | 46 |
| 3.1 | Výběr používaného pohonu | 46 |
| 3.2 | Výběr konkrétního vozidla..... | 49 |
| 3.3 | Konkrétní příklad využití elektrobuse na lince (Pardubice)..... | 50 |
| 3.3.1 | Linka 18+918 (Mikulovice, Staňkova – Živanice, Nerad)..... | 50 |
| 3.3.2 | Linka 10 (Ostřešany, točna – Ohrazenice, točna)..... | 53 |
| 3.4 | Konkrétní příklad využití elektrobuse na lince (Praha) | 56 |
| 3.4.1 | Linka 216 (Bořislavka – Poliklinika Petřiny)..... | 56 |
| 3.4.2 | Linka 292 (Nemocnice pod Petřínem – Nemocnice pod Petřínem)..... | 59 |
| 4 | ZHODNOCENÍ NÁKLADŮ NA REALIZACI NÁVRHU | 61 |
| 4.1 | Náklady na zavedení elektrobuse v Pardubicích..... | 61 |
| 4.2 | Náklady na zavedení elektrobuse v Praze..... | 65 |
| 4.2.1 | Linka 216..... | 65 |
| 4.2.2 | Linka 292..... | 68 |
| | ZÁVĚR | 70 |
| | POUŽITÁ LITERATURA..... | 72 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 76 |
| | SEZNAM ZKRATEK..... | 77 |

Úvod

Téma diplomové práce je v dnešní době velmi aktuální z důvodu zvyšování tlaků (především ze strany Evropské unie) na snižování emisí produkovaných zejména silniční dopravou. V tomto ohledu je právě v hromadné dopravě velký potenciál pro snížení množství těchto emisí prostřednictvím využívání alternativních pohonných systémů.

Přestože existuje několik variant, ze kterých je možné vybírat, je žádoucí se v této diplomové práci zabývat těmi nejperspektivnějšími a nejvyužívanějšími. Jednou z nich je pohon autobusů zabezpečený spalováním stlačeného zemního plynu (CNG). Další alternativou je hybridní pohon, který většinou využívá konvenční palivo (v případě autobusů naftu) a jiný zdroj energie (nejčastěji akumulátory). V dnešní době je již možné využívat i samostatný elektrický pohon pro pohyb autobusů. Již dlouhou dobu je využíván například u trolejbusů či tramvají, kde prokázal své výhody. Nejnovější variantou je pohon využívající prvek vodík.

Pro využití alternativních pohonů mluví především ekologické hledisko, protože všechny jmenované varianty produkují menší množství emisí než srovnatelná vozidla spalující naftu. Při hromadném zavedení těchto pohonů je však nutné zvážit i ekonomické hledisko. Proto je práce zaměřena na náklady vozidel využívajících zmíněné pohony. Především jsou to náklady investiční, které vynaložené při pořízení vozidel.

Protože zavádění alternativních pohonů je příznivé pro životní prostředí, je právě tato oblast v některých případech podporována veřejným sektorem. To se v současné době týká především CNG autobusů. Podporovány jsou i další pohony v rámci různých projektů, kdy podpora je určena jak výrobcům vozidel, tak i společnostem, které je provozují. Ekonomika podniků hromadné dopravy je z velké části ovlivněna provozními náklady, které jednoznačně nelze přehlížet. Právě v nich by měly být uvedené varianty efektivnější než naftová, aby byla zajištěna ekonomická návratnost vložených investic.

Mým cílem v této práci je zjištění ekonomické efektivity zavedení alternativních pohonů do praxe a porovnání těchto pohonů s konvenčním pohonem, který je v současnosti nejvíce využíván.

V práci budu využívat ceny bez DPH, pokud výslovně nebude uvedeno jinak.

1 Charakteristika alternativních pohonů/technologií

Neustálý tlak na snižování emisí motorových vozidel přispěl výrazně k rozvoji různých technologií, které je možno k pohonu těchto vozidel využívat. Každá z těchto technologií nabízí své výhody, ale nelze obecně říci, že některá z nich je nejlepší, protože každá má i svá negativa. Všechny jsou v něčem výhodnější než využívání současného konvenčního pohonu, jinak by nebylo výhodné dále pokračovat v jejím využívání a vývoji. Lze předpokládat, že většina těchto technologií bude časem dále vyvíjena, čímž se jejich výhody oproti konvenčním pohonným systémům prohloubí.

Obecně nejčastěji používanou technologií z dále uvedených je pohon na CNG. Ostatní zmíněné technologie se používají už méně, ale přesto je potřeba s nimi počítat především s ohledem na budoucnost jejich vývoje.

1.1 Pohon na CNG

Přestože používání plynu jako paliva pro spalovací motor se může jevit jako poměrně nová věc, není to tak úplně pravda. První výbušný plynový motor totiž sestrojil známý italský fyzik Alessandro Volta. Experimentoval s ním již v roce 1777, kdy sestrojil pistol, která se stala podnětem k vývoji technologie spalování plynů. Než se podařilo vyvinout opravdu využitelný plynový motor, bylo realizováno mnoho dalších pokusů. Až v roce 1859 se podařilo patentovat dvojčinný plynový motor vynálezci původem z Belgie. Byl to Jean Joseph Étienne Lenoir, který o rok později (1860) tento motor implementoval do vozu. Plyn se používal i v drážní dopravě, například v Drážďanech ho využívalo 6 tramvají a existovala i železniční trať z Hiršberka, přes Teplice do Hermsdorfu, kde byly nasazeny motorové vozy s pohonem na stlačený svítiplyn. Postupně se však před první světovou válkou začalo z tohoto pohonu přecházet na benzínový. S postupem času a rozvojem technologií se v podstatě tato dvě paliva zřejmě znovu vystřídají v používání v dopravních prostředcích. [1, s. 63-64]

1.1.1 Charakteristika paliva

Kromě zkratky CNG, která označuje stlačený zemní plyn, je možné se setkat i se zkratkou označující zkapalněný zemní plyn (LNG). Hlavní rozdíl je v tom, že CNG bývá nejčastěji stlačený na tlak 200 bar, ale LNG je zkapalněn za velmi nízké teploty (-162°C). Zkapalněním je ovšem možné dosáhnout značné úspory objemu paliva. Oproti CNG zmenší LNG svůj objem zhruba šestinásobně, což umožní naplnění nádrže větším množstvím paliva

a díky tomu i mnohem vyšší dojezdové vzdálenosti. Zkratka LNG je pak často zaměňována se zkratkou LPG označující kapalnou směs propanu a butanu. Tyto dvě zkratky jsou si velice podobné, ale je nutné mezi nimi rozlišovat. Zemní plyn je totiž tvořen převážně metanem, dále ho tvoří dusík a vyšší uhlovodíky. Existují i další rozdíly mezi těmito palivy, které jsou shrnuté v tabulce 1. [1, s. 61]

Tabulka 1: Rozdíly mezi LNG a LPG

| | LNG | LPG |
|----------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Složení | 96 - 98 % metanu | 50 % propan, 50 % butan |
| Hmotnost | Lehčí než vzduch | Těžší než vzduch |
| Velikost zásob | 150 - 200 let | 30 - 100 let (závisí na těžbě ropy) |
| Získávání | Ropná nebo uhelná ložiska | Při zpracování ropy |
| Omezení | – | Zákaz vjezdu do podzemních garáží |

Zdroj: [2], upraveno autorem

V přírodě je možné získávat zemní plyn z několika různých zdrojů. Zemní plyn a jeho největší složka metan se vyskytuje v těchto variantách:

- „metan spjatý s ropou (mokrý),
- metan spjatý s uhlím (suchý či slojový),
- hydráty metanu.“ [3, s. 89]

Největší zásoby metanu nacházejícího se v ložiscích ropy mají státy, které také těží nejvíce této suroviny. Jsou to především státy z oblasti Perského zálivu. V případě metanu spjatého s uhlím je to podobné, ložiska uhlí a zemního plynu jsou hlavně v USA, Rusku a Číně. Hydráty metanu se pak nacházejí v Kanadě a na Sibiři. [3, s. 89]

1.1.2 Uskladnění CNG

Skladování CNG probíhá podobně jako je tomu u LPG, tedy v tlakových lahvích. Ty mohou být vyrobeny z oceli, ale také například z kevlaru.

Ocelová lahev má při tloušťce stěny 8 mm měrnou hmotnost přibližně 1 kg/l. Lze tedy snadno odvodit, že tlaková lahev s objemem 50 l váží zhruba 50 kg. Výhodou použití kevlaru je právě značná úspora váhy. Lahev vyrobená z kevlaru má oproti ocelové měrnou hmotnost méně než třetinovou (0,27 kg/l). Díky tomu taková lahev o objemu 50 l bude vážit přibližně 13,5 kg. Tato výhoda je však kompenzována vyšší cenou. Vzhledem k zajištění bezpečnosti skladování CNG musí tlakové lahve odolávat například úderům kladiva, nárazům a dokonce i střelbě. Dalším bezpečnostním prvkem je uzávěr, který zabraňuje úniku plynu v případě, že překročí určitou mez. Pokud k úniku přeci jen dojde, není zde takové bezpečnostní či

ekologické riziko jako u benzínu nebo nafty. Tato paliva totiž vytečou a může dojít k jejich vznícení. Zemní plyn je lehčí než vzduch a tedy vstoupá vzhůru, na rozdíl od LPG, který je těžší než vzduch, a proto vozidlům s pohonem na LPG není dovolen vjezd do podzemních garáží. CNG tedy ihned uniká vzhůru a logicky tedy nemůže dojít ke znečištění životního prostředí – například spodních vod a podobně. [1, s. 64-69]

Obrázek 1: Tlakové lahve na CNG



Zdroj: [4]

1.1.3 Důsledky využívání CNG

Spalování CNG v motoru nemá na spolehlivost negativní vliv. Motory jsou naopak tišší, co se týče autobusů i nákladních aut. Hluk je podobný jako při jízdě trolejbusu. Subjektivně však rozdíl není příliš znatelný. V případě dlouhodobého provozu většího množství vozidel se pak rozdíl může projevit více. Motorům zemní plyn neškodí také z toho důvodu, že má vyšší oktanové číslo než benzín. Díky tomu naopak motorům prospívá.

Ve výsledku tak motor s pohonem na CNG umožní dostat autobus tam, kde má naftový motor problém. Oproti motorům připraveným na pohon benzínem či naftou mají ty na CNG značnou nevýhodu ve vývoji, ale i přesto jsou konkurenceschopné díky vlastnostem tohoto paliva. Navíc konstrukce motorů není principiálně výrazně odlišná, jako je tomu u elektrického či vodíkového pohonu, takže nebylo nutné věnovat se vývoji, který však zcela nepochybně nastane s rostoucím využíváním tohoto paliva a tlakem na vylepšování jeho využití. [1, s. 69]

1.1.4 Výhody a nevýhody pohonu na CNG

Podle pana Vlka má pohon na CNG oproti konvenčnímu následující **výhody**:

- ekologičtější provoz,
- úspora provozních nákladů,
- vyšší životnost motoru,
- vyšší bezpečnost,
- výhodný způsob distribuce. [1, s. 61]

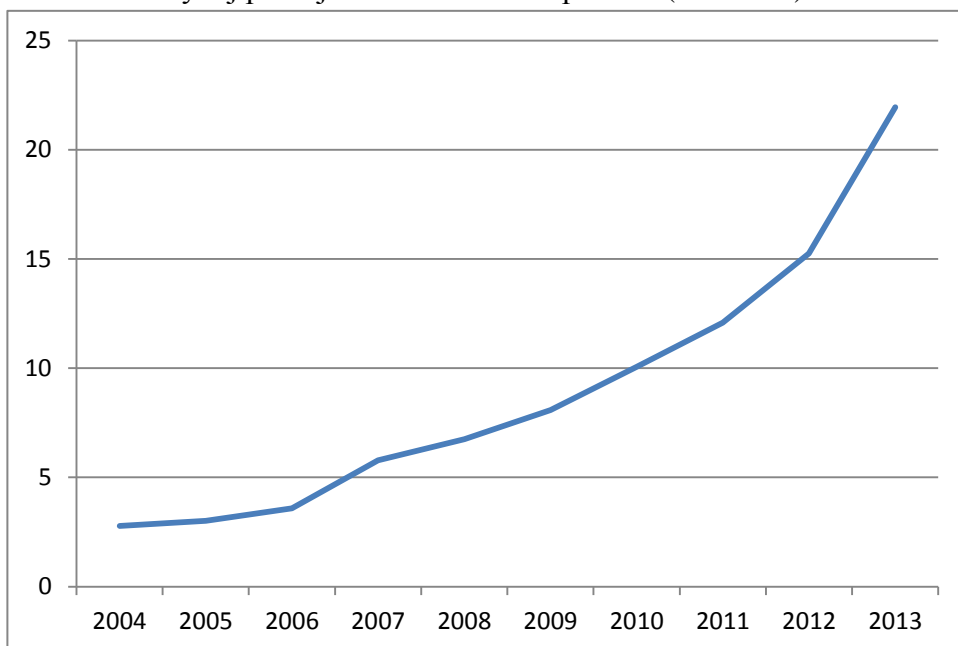
Na druhou stranu pan Vlk vidí následující **nevýhody**:

- nedostatek infrastruktury,
- vyšší pořizovací cena,
- používání tlakových nádob (omezení prostoru, hmotnost),
- přísnější bezpečnostní opatření. [1, s. 62]

Do výhod by bylo možné zahrnout i snížení hladiny hluku, což je pozitivní hlavně v městském prostředí. Ovšem u autobusů v městském prostředí lze rychle odstranit nevýhodu nedostatku infrastruktury. Ta je většinou vybudována provozovatelem CNG autobusů a území většiny českých měst není tak rozlehlé, aby bylo nutné budovat několik plnicích stanic pro zajištění provozu vozidel. Rovněž cenový rozdíl se neustále snižuje a v případě, že CNG pohon bude navíc jako ekologičtější než naftový dotován, vyšší cena už nebude takovou nevýhodou. Teoreticky pak může být autobus s pohonem na CNG levnější, než srovnatelný autobus využívající k pohonu konvenční paliva. Vývoj motorů na CNG neustále pokračuje a lze předpokládat, že nevýhody tohoto pohonu se budou minimalizovat, týká se to především infrastruktury a ceny autobusů, v delším horizontu i vývoje tlakových lahví.

V České republice se zemní plyn používá nejen k pohonu vozidel, ale i k vytápění a dalším účelům. Jeho prodeje postupně rostou (viz obrázek 2) s tím, jak roste počet autobusů (viz obrázek 3) využívajících CNG jako palivo. Lze předpokládat, že růst bude pokračovat nadále stejným nebo vyšším tempem. Změnit by to mohl například zásah do legislativy, který by zvýšil spotřební daň atd. Podobně jako u konvenčních paliv hrozí také situace, že zvýšená spotřeba postupně bude tlačit na cenu a tím logicky prodražovat pohon vozidel využívajících CNG jako palivo. Teoreticky může nastat i stav, kdy provoz vozidel s pohonem na CNG bude dražší než pohon konvenčních vozidel.

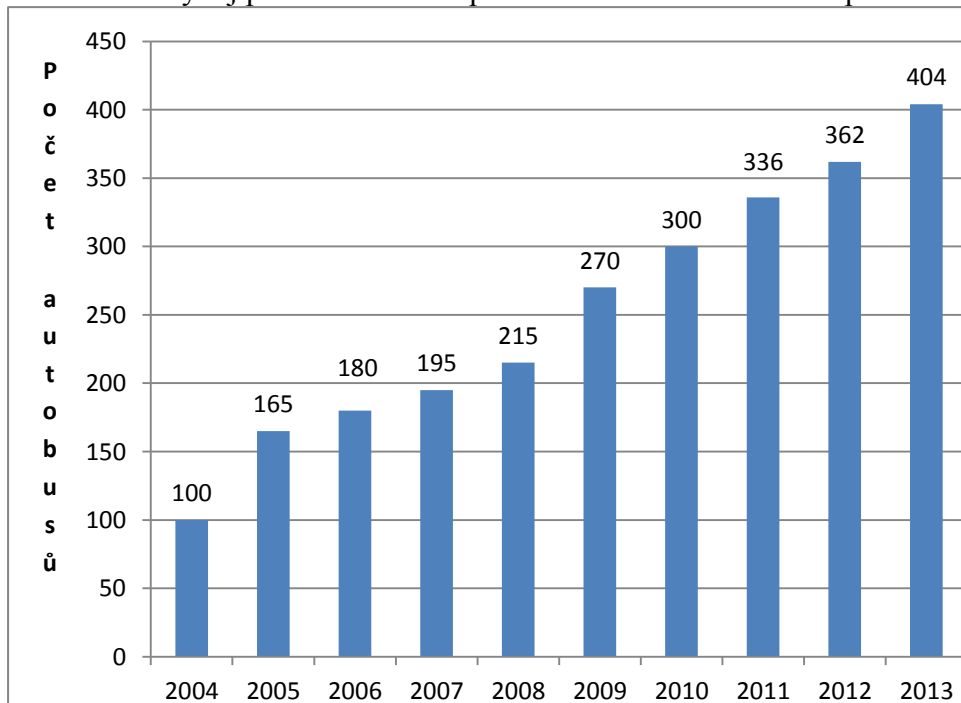
Obrázek 2: Vývoj prodeje CNG v České republice (v mil. m³)



Zdroj: [5], upraveno autorem

Vývoj počtu autobusů poháněných CNG má pak hodně podobný trend jako vývoj prodeje CNG, jak je vidět na obrázku 3.

Obrázek 3: Vývoj počtu autobusů s pohonem na CNG v České republice



Zdroj: [5], upraveno autorem

Autobusy poháněné CNG jsou z alternativních pohonů v České republice jednoznačně nejrozšířenější. Jsou využívány například v Dopravním podniku měst Liberce a Jablonce nad Nisou, ve společnosti First Transport Lines v Prostějově či v Dopravním podniku města

Pardubic. Například dopravní podnik města Pardubic ušetřil provozem 20 CNG autobusů v roce 2012 zhruba 11 milionů Kč oproti používání naftových autobusů. [5]

1.2 Hybridní pohon

Hybridní pohon si lze představit jako kombinaci dvou způsobů jak vozidlo pohánět. Dnes je to kombinace spalovacího motoru a elektromotorů. V historii se však mohlo jednat i o povoz umožňující parní pohon nebo tažení koňmi. Ovšem první skutečně hybridní pohon vynalezl známý konstruktér Ferdinand Porsche. V jeho vozidle se nacházel spalovací motor, který poháněl dynamo. Elektrická energie vytvořená pomocí dynama proudila do akumulátorů a následně do elektromotorů v předních kolech. K pohonu tedy sloužila elektrická energie. To vše už v roce 1898. V roce 1903 pak přišla verze s elektromotory v každém kole, která mohla dosáhnout rychlosti až 110 km/h. [6]

V roce 1915 přišla firma Woods Motor Vehicle se systémem nazvaným Dual Power. Ten používal k pohonu elektromotory, ovšem vozidlo poháněl i spalovací motor v případě potřeby vysokého výkonu. Tím byly položeny základní kameny pro další vývoj. [6]

Hybridní pohon lze považovat za předchůdce elektrického pohonu, protože tento pohon je v případě hybridních vozidel využíván. Elektrický pohon je výhodný z hlediska emisí a hluku, ovšem v současné době stále nedisponuje dostatečným dojezdem. Právě tato nevýhoda je v případě hybridního pohonu kompenzována. Hybridním pohonem je tedy myšlen pohon vozidla s více než jedním zdrojem pohonu. Nejčastější kombinací je osvědčený spalovací motor a elektromotor. Existují pak v podstatě dvě cesty, jak je možné pohon uskutečnit. Jednou z nich je řešení trvalého pohonu elektromotorem. Kola jsou tedy vždy poháněna elektromotorem a spalovací motor slouží pouze k nabíjení akumulátorů, nikoliv přímo k pohonu kol. Druhý přístup kombinuje pohon elektromotorem a spalovacím motorem. V ideálním případě elektromotor umožňuje bezemisní jízdu v městském prostředí a mimo město pracuje spalovací motor, v některých případech i oba současně. Pro efektivní fungování elektromotor pracuje obousměrně. V jednom případě jako motor, kdy využívá elektrickou energii z akumulátorů a převádí ji na mechanickou, čímž umožňuje pohon vozidla. V druhém případě naopak jako generátor mechanickou energii převádí zpět na elektrickou a nabíjí tak akumulátory vozidla. To se děje například v případě, kdy vozidlo disponuje přebytečnou kinetickou energií, které se běžně zbavuje brzděním. Díky tomu elektromotor umožní využít energii, která se běžně bez užitku odvádí z brzd v podobě tepla. [1, s. 142]

1.2.1 Uložení elektrické energie

Už z principu hybridního vozidla je jasné, že elektrická energie musí být ve vozidle někde uskladněna. Důležitými parametry jsou vysoká účinnost, ekologičnost výroby a bezúdržbový provoz. Velice důležitá je také hmotnost, kterou se snažíme snižovat. Vysoká dodatečná hmotnost totiž významně zhoršuje parametry vozidla a samozřejmě zvyšuje spotřebu, kterou se snažíme použitím hybridního pohonu minimalizovat. Ve výsledku pak může dojít k situaci, kdy vozidlo disponuje akumulátory s velkou kapacitou, ale ta je z velké části využívána právě ke kompenzaci zvýšené hmotnosti a celková úspora spotřeby paliva spalovacího motoru je zanedbatelná, čímž je zmařena výhodnost investice do hybridního pohonu, jehož pořizovací cena je oproti klasickému pohonu vyšší. [1, s. 146]

Dnes je využíváno několik druhů akumulátorů. Je to dáno převážně postupným vývojem technologií s důrazem na co nejvyšší kapacitu, nejnižší hmotnost a také co nejvyšší životnost akumulátoru spolu se schopností udržet si maximální kapacitu. Akumulátory používané v elektromobilech jako zásobníky energie jsou nejčastěji lithium-iontové (Li-Ion), které jsou běžně používány například v mobilních telefonech. Tyto akumulátory by neměly trpět paměťovým efektem a oproti starším technologiím je možné v nich uložit větší množství energie. Ovšem ani Li-Ion zřejmě nebudou konečnou technologií, protože existují různé projekty na nalezení dalších způsobů uchování energie v akumulátorech.

1.2.2 Důsledky používání hybridní technologie

Hybridní technologie autobusů zatím nemá zásadní nedostatky, co se týče spolehlivosti. V oblasti působení na životní prostředí je nutné počítat s tím, že se jedná o vozidla, ve kterých je umístěn spalovací motor, a proto není možné mít přehnané nároky na množství produkovaných emisí. Ty souvisí samozřejmě se spotřebou paliva, kterou by hybridní systém měl minimalizovat. Je však otázkou, jak se to v konkrétních případech daří, díky zvýšené hmotnosti vozidel. V extrémních podmínkách je pak možné dosahovat jen mírného zlepšení oproti klasickým naftovým autobusům. Ovšem s pokrokem v oblasti akumulátorů lze předpokládat snižování jejich hmotnosti a zvyšování kapacity, což jednoznačně zvýší výhody hybridů oproti konvenčním vozidlům.

Je třeba brát v úvahu, že vývoj technologií akumulátorů také zlepšuje vlastnosti samostatného elektrického pohonu a tak ve výsledku může rozvoj této technologie hybridům uškodit a jejich místo nahradit plně elektrickými vozidly.

1.2.3 Výhody a nevýhody hybridního pohonu

Hybridní vozidla však mají své nesporné **výhody**:

- snížení spotřeby oproti konvenčnímu pohonu,
- dojezd srovnatelný s konvenčním pohonem,
- nevyžadují specifickou infrastrukturu,
- menší množství produkovaných emisí oproti konvenčnímu pohonu.

Nevýhody hybridních vozidel spočívají především v následujících bodech:

- vyšší hmotnost vozidel oproti konvenčním pohonům,
- využívání spalovacího motoru produkujícího emise,
- nízké provozní úspory proti jiným alternativám,
- mezikrok mezi konvenčním a elektrickým pohonem.

Hybridní autobusy jsou využívány v Dopravním podniku hlavního města Prahy. Jedná se o produkty společnosti SOR Libchavy, konkrétně SOR NBH 18. Vzhledem k tomu, že se současně jedná o jediné dva vyrobené kusy, tak se případné závady řeší individuálně a autobusy nejsou opravitelné tak rychle jako klasické. Tyto vozy jsou na jednu stranu úspornější než srovnatelné naftové autobusy, ale pokud se u hybridního pohonu budou vyskytovat poruchy, není možné, aby se tato úspora ztlačila. [7]

1.3 Elektrický pohon

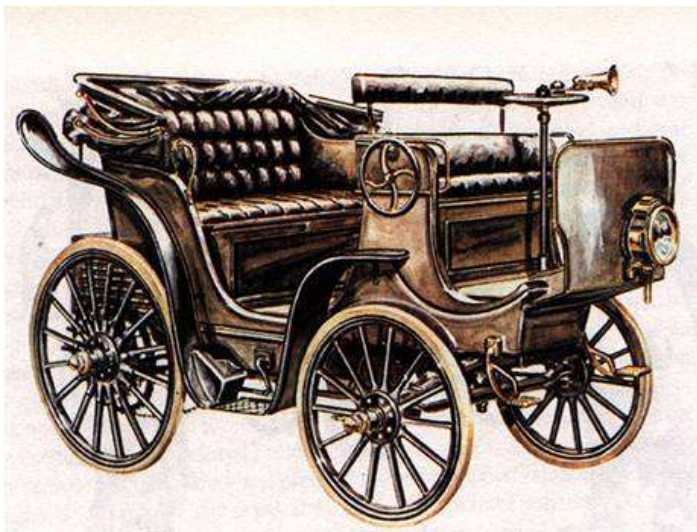
S čím dál vyšším tlakem na snižování emisí se elektrický pohon stává velmi žádaným. Je to možné vidět především v automobilovém průmyslu, kde se většina výrobců snaží vyvíjet alespoň nějaký model, který by umožňoval konfiguraci s elektrickým pohonem. Existují i automobilky, pro které jsou elektromobily hlavním produktem, jako např. Tesla. Ovšem elektrobuses nejsou v tomto ohledu nijak méně zajímavé. Naopak právě u elektrobusech se bezemisní provoz může nejvíce projevit díky jejich častému využívání.

1.3.1 Počátky vzniku elektrického pohonu

Elektrický pohon není žádnou novinkou, stejně jako ten využívající jako palivo plyn, případně hybridní pohony, byl vynalezen již dávno a v současné době se k němu v podstatě vracíme.

Pohon využívající akumulátory již v 80. letech 19. století používal ve svých strojích konstruktér H. Krieger. V Paříži právě díky němu jezdily elektrické drožky. Na našem území pak první elektromobil postavil slavný elektrotechnik František Křižík. Zadní nápravu poháněl elektromotor s výkonem 3 kW. Jak je možné vidět na obrázku 4, jednalo se v podstatě o kočár, v jehož útrobách bylo umístěno 42 olověných akumulátorů. [1, s. 119]

Obrázek 4: Elektromobil Františka Křižíka



Zdroj: [8]

V době, ve které byl tento elektrický kočár budován, se začínala projevovat hlavní technologická nevýhoda elektrického pohonu. Jeho charakter totiž vyžaduje umístění akumulátorů ve vozidle. Vzhledem k tomu, že používaná technologie umožňovala uložit jen velmi malé množství energie (v porovnání se současnou technologií), nebylo výhodné dále pokračovat ve stavbách těchto strojů, protože by se umístováním dalších akumulátorů do vozidla neúměrně zvyšovala hmotnost, což by bylo výrazně kontraproduktivní a nákladné.

Díky širokému využití akumulátorů, především v oblasti spotřební elektroniky jako jsou mobilní telefony či laptopy, nám technologické pokroky postupně umožňují skladovat v akumulátorech mnohem vyšší množství energie než dříve. Tím se výrazně snížila značná nevýhoda dřívějších elektromobilů. Elektromobily však stále nedosahují takové hodnoty dojezdu, jako srovnatelná vozidla s pohonem na benzín či naftu. Spolu s rozvojem technologie týkající se akumulátorů se tato nevýhoda bude snižovat, ale lze jen spekulovat, jak dlouhou dobu to bude trvat a také je možné, že vyvinutá technologie přinese nová negativa, např. co se týče spolehlivosti a podobně.

1.3.2 Principy fungování elektrického pohonu

Elektrobusy, potažmo elektromobily jsou v principu podobné hybridním pohonům s tím rozdílem, že nepoužívají spalovací motor. Pohon je tedy umožněn díky elektromotorům, které pohánějí kola daného vozidla. Podobně jako u vozidel se spalovacím motorem pak elektromotory umožňují pohánět přední, zadní nebo i obě nápravy. Ovšem oproti spalovacím motorům, zde existuje více alternativ. Jsou používány například sériové nebo paralelní motory, synchronní motor s permanentními magnety a další. Zatím není používána alternativa, která by ostatní předčila, což zpomaluje vývoj technologie, protože se jednotliví výrobci soustředí na rozvoj té, kterou používají.

Pomocí elektromotoru je možné získat z elektrické energie mechanickou práci, opačným způsobem funguje dynamo, které převádí mechanickou práci na elektrickou energii. To se děje i v případě elektrobusů, kdy je využívána energie, která by jinak byla odváděna ve formě tepla brzděním, k dobíjení akumulátorů (tzv. rekuperace). Díky tomuto hospodaření s energií se zvyšuje dojezd vozidla a účinnost celého systému, což je hlavní výhoda využívání elektromotorů oproti spalovacím motorům, kde se často zbytečně plýtvá energií.

1.3.3 Využívané druhy akumulátorů

K tomu, aby bylo možné využívat elektrickou energii k pohonu vozidla, je nutné ji uchovávat. Jak již bylo zmíněno u hybridních pohonů, nejčastěji se využívají Li-Ion. Stejně jako existuje více druhů elektromotorů, je možné k uchování elektrické energie používat i jiné druhy akumulátorů.

Nikl-kadmiové akumulátory (NiCd) je možno plně recyklovat a jsou bezúdržbové. Tyto akumulátory disponují životností až 10 let, případně 2000 nabíjecích cyklů. Obsahují hydroxid hliníku (tvoří kladné elektrody) a hydroxid kademnatý (záporné elektrody). A právě to je jedna z jejich velkých nevýhod. Kadmium je totiž jedovaté, a proto je nutné po použití tyto akumulátory recyklovat, protože by kadmium mohlo zamořit životní prostředí. Trpí také paměťovým efektem, díky čemuž ztrácí svoji kapacitu v případě, že nejsou před nabíjením plně vybité. Vzhledem k jedovatosti kadmia a nutnosti plného vybití proto nejsou pro využívání v elektrobusích či elektromobilech vhodné. Těmto akumulátorům jsou podobné akumulátory **nikl-metalhydrid** (NiMH). Už podle názvu je znatelný rozdíl na záporné elektrodě, kde je nahrazeno nebezpečné kadmium. Tyto akumulátory jsou však proti NiCd dražší a mají nižší životnost. [1, s. 132-133]

Pro využívání ve vozidlech s elektrickým pohonem se v dnešní době používají akumulátory na bázi lithia. Jsou to především Li-Ion, už však existuje jejich následník **lithium-polymerový akumulátor (Li-Pol)**, který se liší hlavně použitým materiálem a lepšími vlastnostmi (vyšší energetická hustota, nižší hmotnost).

Kromě zmíněných akumulátorů existují i tzv. **superkapacitory** (někdy označené jako **superkondenzátory** či **ultrakapacitory**). Superkapacitor uchovává velmi malé množství energie (řádově kWh) proti lithiovým akumulátorům (řádově stovky kWh). Tuto energii však umožňuje vybíjet v řádech sekund velmi vysokými výkony (řádově stovky kW). Toho je pak superkapacitor schopen až milionkrát. Z toho pramení značná výhoda z mnohem vyšší životnosti podle nabíjecích cyklů, která je proti akumulátorům zhruba tisícinásobná. Právě vlastnost rychlého vybíjení a nabíjení je velmi vhodná pro městské autobusy kvůli jejich častému rozjezdu a zastavování. Ovšem díky uchovávání malého množství energie je nutné superkapacitor často dobíjet, což klade nároky na infrastrukturu, která by toto umožňovala. Přehled jmenovaných druhů uložení energie je uveden v tabulce 2 Tabulka 2. [9]

Tabulka 2: Přehled základních vlastností jednotlivých druhů akumulátorů

| Akumulátor | Hustota energie (Wh/kg) | Počet nabíjecích cyklů | Samovybíjení (%/měsíc) |
|----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| NiCd | 50 | 1 000 | 25 |
| NiMH | 70 | 700 | 15 |
| Li-Ion | Max. 150 | 500 | 10 |
| Li-Pol | Max. 180 | 500 | 10 |
| Superkapacitor | Max. 10 | 1 000 000 | 0,01 |

Zdroj: [10], upraveno autorem

1.3.4 Vytápění elektrobusů

Otázka vytápění elektrobusů má v dnešní praxi v podstatě jen dvě řešení. Elektrobus může mít spalovací motor v podobě nezávislého topení. Je to sice ekonomický způsob, který nijak zásadně neovlivňuje dojezd elektrobusu, protože pokud by ve vozidle nebyl, byl by zajištěn jiný způsob vytápění, který by vozidlo zatěžoval stejně nebo více. Tento způsob však částečně popírá jednu z výhod elektrobusu, což je bezemisní provoz. Podle mého názoru je tímto popřen hlavní důvod proč elektrobusy v současné době pořizovat, což je rozhodně špatně. Ovšem toto řešení umožňuje elektrobusu vyšší dojezd než při využívání elektrické energie jak k pohonu, tak k vytápění.

Druhý přístup je ekologičtější a k vytápění využívá energii uskladněnou v akumulátorech. Při tomto řešení je nutné instalovat dodatečné zařízení vytápějící elektrobus.

Toto zařízení je napájeno z akumulátorů a v případě, že je často využíváno, výrazně zkracuje už tak omezený dojezd elektrobuse. Výhodou tohoto přístupu je také možnost využití zařízení k chlazení v letních měsících, kdy není nutné elektrobuse vytápět. To značně zvýší komfort cestování a zpříjemní cestujícím jízdu. Právě vyřešení vytápění a klimatizace je tedy jednou z prvních činností, na které by se měl zaměřit vývoj, neboť je zde určitě potenciál ke zlepšení.

1.3.5 Dobíjení elektrobuse

Hybridní technologie má výhodu nezávislosti na zdroji elektrické energie, protože ji může dodávat a většinou dodává (některé lze dobít i přímo ze sítě) spalovací motor. Elektrobuse je tedy nutně závislý na infrastruktuře, která mu umožní dobít akumulátory. V tomto směru je možné rozlišovat tři režimy dobíjení.

Akumulátory elektrobuse mohou být dobíjeny stacionárně v dobíjecí stanici, která je součástí areálu provozovatele. Zde se nejčastěji provádí dobíjení v noci (pomalé dobíjení trávající zhruba 8 hodin) nebo rychlé dobíjení v průběhu dne (desítky minut). Takové elektrobuse musí disponovat velkou kapacitou akumulátorů, což klade nároky na prostor a zvyšuje hmotnost. V opačném případě by provoz elektrobuse nebyl příliš efektivní, protože by disponoval příliš malým dojezdem.

Druhou možností, jak zajistit dobíjení, souvisí s využíváním ultrakapacitoru. Ten umožňuje dobíjení v nácestných zastávkách ve velmi krátkých intervalech a tím má prakticky neomezený dojezd. Nevýhodou tohoto způsobu je nutnost výstavby infrastruktury, která toto dobíjení bude umožňovat. Vše pak závisí na provedení konkrétního modelu elektrobuse. Pokud by se dobíjel například ze stávajícího trolejového vedení používaného např. pro tramvaje, odpadl by problém se stavbou infrastruktury. Navíc by proti trolejbusu měl tento elektrobuse možnost ujet určitou vzdálenost bez závislosti na trakčním vedení, takže by mohl obsluhovat i některé zastávky bez trakčního vedení.

Posledním praktikovaným řešením je průběžné dobíjení elektrobuse. Průběžné dobíjení je používáno v době přestávek na konečných zastávkách, které jsou pro tento druh dobíjení ideální. Po dojetí na konečnou zastávku se elektrobuse může připojit k napájecí infrastruktuře a po dobu 15 – 20 minut se dobít. Při tomto rychlém dobíjení se většinou nedobije celá kapacita dříve spotřebovaná jízdu a je tedy nutné elektrobuse pak dobít podobně jako při stacionárním dobíjení v dobíjecí stanici. Tímto způsobem dobíjení však lze značně prodlužovat dojezd, což může umožnit i celodenní provoz elektrobuse.

1.3.6 Výhody a nevýhody elektrického pohonu

Elektrický pohon vozidel disponuje následujícími **výhodami**:

- bezemisní provoz (pokud není využíváno naftové topení),
- nižší provozní náklady (až čtyřikrát oproti naftovému autobusu),
- vyšší účinnost než u spalovacího motoru (zhruba 40 % vs. 90 %). [11]

Na druhou stranu se elektrického pohonu týkají i **nevýhody**:

- vyšší pořizovací cena oproti naftovému autobusu,
- nejasná životnost akumulátorů,
- omezený dojezd,
- někdy nutná úprava linky (intervaly apod.),
- vytápění nezávislým naftovým topením (jen u některých elektrobusech).

V praxi se elektrobusey značky SOR osvědčily v Dopravním podniku Ostrava především díky svému ekologickému provozu. Nejedná se však o bezemisní elektrobusey, protože jejich vytápění je vyřešeno naftovým agregátem. Proti klasickému naftovému autobusu jsou však emise mnohem nižší. V současné době připravuje dceřiná společnost dopravního podniku (Ekova) výrobu vlastního elektrobuse, což značí další uplatňování elektrobusech v Ostravě. V České republice se však testují i jiné modely autobusů, kromě zmiňovaného elektrobuse SOR je testován například elektrobuse Siemens Rampini. Ten byl zkonstruován především pro uplatnění ve Vídni, kde se jeho provoz osvědčil. Ovšem například v Praze byly problémy se zamrznáním vzduchové soustavy, což však bylo částečně zapříčeno i parkováním mimo garáže.

1.4 Vodík

Pohon vozidel na vodík je podobný pohonu na elektrickou energii. Místo akumulátorů jsou ve vozidle umístěny palivové články, v nichž probíhají chemické reakce. Při tomto procesu je vytvářena elektrická energie, kterou je pak možné využívat k pohonu vozidla. To je hlavní rozdíl proti akumulátorům, které elektrickou energii obsahují, přijímají nebo vydávají. V palivovém článku je elektrická energie přímo vytvářena. Vodík je jako palivo pro pohon dopravních prostředků považován za velmi perspektivní. Prozatím však technologie umožňující jeho masovější rozšíření chybí, ale probíhají projekty, které se snaží získat

zkušenosti právě s pohonem dopravních prostředků na vodík. Ty by postupem času měly umožnit rozšíření tohoto druhu pohonu.

Vodík sám o sobě není palivem podobným těm fosilním. V nich je totiž energie již nashromážděná a je pak následně využívána. Vodíku je potřebné tuto energii nejprve dodat, a proto slouží v podstatě jako uchovatel energie. Proti fosilním palivům má však výhodu v tom, že jeho použitím není poškozováno životní prostředí. Přestože používání elektrické energie k výrobě vodíku může být považováno za nevýhodu, lze to využít při výkyvech zásobování elektrickou energií, například z fotovoltaických elektráren a podobně. Díky tomu je tedy možné stabilizovat trh s energií. Protože vodík je široce dostupný, nehrozí zde závislost na nějakém konkrétním nalezišti, jako to může být v případě ropy, či zemního plynu. energii ve vodíku je také možné lépe uchovávat, než je tomu v případě elektrické energie. [12]

1.4.1 Počátky vodíkového pohonu

Palivové články, které jsou základem technologie spalování vodíku, vznikaly již na začátku 19. století. Obecně je však vynález palivového článku datován do roku 1839, o což se zasloužil William Grove. Termín palivový článek se objevil až v roce 1889, kdy Charles Langer a Ludwig Mond použili jako zdroj energie svítiplyn. Na rozvoji palivových článků pracoval i Francis Bacon, který v roce 1932 použil zařízení Langera a Monda a začal ho vylepšovat. Fungující systém o výkonu 5 kW však vytvořil až v roce 1959. Vodíkové palivové články se pak začaly uplatňovat při dobývání vesmíru v 60. letech 20. století. Později (v 80. letech) se začaly využívat v ponorkách díky nulovým emisím a především tichému provozu, který přinesl nesporné výhody. Vodíkový pohon se v oboru dopravy dále uplatňoval, ale omezil se jen na projekty a testování a tak se jeho praktické používání stalo aktuálním až v poslední době. [13]

1.4.2 Technologie palivových článků

Oproti akumulátorům mají palivové články výhodu v tom, že se prakticky neopotřebovávají. Stačí dodávat palivo, které je v nich využíváno, a mohou pracovat v podstatě bez časového omezení. Parametrem, který udává vlastnosti článku, pak může být měrný výkon udávaný ve wattech na kilogram hmotnosti. Dalším rozdílem je například provozní teplota, která je u palivových článků výrazně vyšší než u akumulátorů. To má za následek určitou dobu náběhu, než se palivový článek na provozní teplotu zahřeje. Princip funkce palivového článku je velmi jednoduchý. Palivo je přiváděno na zápornou elektrodu,

tam palivo oxiduje (je zbavováno elektronů) a uvolněné elektrony proudí ke kladné elektrodě. Sem se přivádí okysličovadlo, které volné elektrony přijímá. Pokud je palivem vodík a okysličovadlem kyslík, vzniká z jejich reakce v palivovém článku jako odpadní produkt vodní pára. Zvláštností může být, že palivem mohou být jak plyny, tak kapalné i tuhé látky. Z plynů je to například vodík (H₂) nebo hydrazin (N₂H₄), z kapalin například metanol (CH₃OH) a z pevných látek jsou to kovy sodík (Na), hořčík (Mg) nebo zinek (Zn). [1, s. 187-188]

Jedno rozdělení palivových článků tedy může být podle používaného paliva. Stejně jako akumulátory je můžeme rozlišovat také podle použitých látek. V případě palivových článků se používá členění podle typu elektrolytu uvedené v tabulce 3.

Tabulka 3: Přehled využívaných systémů palivových článků

| Systém palivového článku | Elektrolyt | Praktické využití | Výhody | Nevýhody |
|---------------------------------|---|--|--|--|
| Alkalické články | Hydroxid draselný (KOH) | zařízení pro kosmický výzkum | vysoká účinnost (až 70%), energetická vydatnost, velká produkce vody | vysoká cena elektrod (využití zlata a platiny), vyžaduje čistý kyslík |
| Články s tuhými polymery | Tuhý organický polymer | pohon autobusů v Severní Americe | nízká provozní teplota (70 až 85 °C), vysoký měrný výkon | proudová hustota klesá o 50 % při použití vzduchu místo kyslíku |
| Články s kyselinou fosforečnou | Kyselina fosforečná (HPO ₃) | zdroje elektřiny a tepla pro vytápění | dlouholeté zkušenosti s výrobou, vysoká spolehlivost | provozní teplota 190 °C, vysoká cena (2 500 až 3 000 USD/kW) |
| Články s roztavenými uhlíčitany | Směs roztavených uhlíčitanů | výroba elektřiny a tepla v elektrárnách | tvorba přehřáté vodní páry, nevyužívá vzácné kovy | nebezpečí otravy sírou, komplikovanější start (nutno zahřát na 600 °C) |
| Články s tuhými oxidy | Oxidy vybraných kovů | výroba elektřiny a tepla ve středním až velkém měřítku | elektrolyt nevyvolává korozi, tvar může být libovolný | vysoká pracovní teplota (kolem 1 000 °C), nevhodné pro dopravu |

Zdroj: [1, s. 190-197], upraveno autorem

1.4.3 Získávání vodíku

Ve vesmíru je vodík nejvíce zastoupeným prvkem, na planetě Zemi se častěji vyskytují pouze kyslík a křemík. Jen zřídka se však nachází v čisté formě, a proto je nutné vodík pro jeho využívání nějakým způsobem vyrábět. Díky rozšíření vodíku je možné ho získávat celou řadou metod. V současné době se vodík nejčastěji získává z fosilních paliv. Tento způsob však v současné době už není přijatelný, a tak se začínají využívat jiné zdroje výroby vodíku. [14]

Jednou z metod je tzv. **parní reforming zemního plynu**. Zemní plyn, především jeho hlavní složka metan, zde reaguje s párou, díky čemuž vzniká vodík, ale i oxid uhličitý a oxid uhelnatý. Produkce oxidu uhličitého je bohužel velmi vysoká, protože na 1 kg vodíku činí zhruba 7 kg. Vodík lze získávat také **elektrolýzou vody**. Při elektrolýze rozděljuje elektrický proud vazbu mezi vodíkem a kyslíkem. Výstupem je tedy kyslík a vodíkový plyn. Pro tuto technologii je nutný dostatek levného elektrického proudu a také vody. Speciálním druhem elektrolýzy je pak **vysokoteplotní elektrolýza**. Tento proces je výhodnější v tom, že není nutné využívat tolik elektrického proudu, protože část energie tvoří i teplo. Čím vyšší energie bude dodána pomocí tepla, tím nižší bude spotřeba elektrického proudu. Vodík se pak z páry odděluje v kondenzační jednotce. Další možností jak získat vodík jsou **termochemické cykly**. Řadou chemických reakcí, které jsou iniciované teplem, případně teplem s elektrickým proudem, dochází podobně jako při elektrolýze ke štěpení vody na kyslík a vodík. Další použité chemické látky jsou recyklovatelné. [15]

1.4.4 Důsledky používání vodíkových palivových článků

Technologie využívající vodík, jako zdroj energie sama o sobě neprodukuje nebezpečné látky. Naopak je nejčastějším odpadním produktem vodní pára, případně voda. Problémem by mohla být výroba vodíku, při které by mohlo docházet ke znečišťování životního prostředí (např. parní reforming zemního plynu).

1.4.5 Přímé spalování vodíku ve spalovacích motorech

Je na místě zmínit i druhou možnost využívání vodíku k pohonu dopravních prostředků. Touto možností je přímé spalování vodíku v motoru. Využívá se zde vlastnosti vodíku, který při smísení se vzduchem tvoří výbušnou směs. Obecně je tento způsob považován za méně vhodný, než využívání palivových článků, ale přesto se na jeho vývoji pracuje. Uvedený princip používá například automobilka BMW. V modelu Hydrogen 7 používá dvanáctiválcový motor, který je schopen spalovat vodík, ale i benzín. Jedná se tedy o velmi zajímavou hybridní technologii. Právě v tom by mohla spočívat budoucnost spalovacích motorů na vodík, do doby, než by jejich vlastnosti byly dostatečné pro pohon pouze na vodík. [16], [17]

Spalování benzínu a vodíku však u autobusů v praxi není příliš dobře uplatnitelné a tak se tako technologie bude týkat zřejmě asi jenom automobilů, pokud se jí do budoucna bude dále věnovat pozornost.

1.4.6 Výhody a nevýhody vodíkového pohonu

Za hlavní **výhody** vodíkového pohonu lze považovat:

- neprodukuje nebezpečné emise,
- vodík je obnovitelný zdroj,
- palivové články mají dlouhou životnost (desítky let),
- lze využít spalovacích motorů.

Nevýhody jsou především následující:

- vodík je nutné vyrábět,
- potřeba budovat infrastrukturu umožňující využívat pohon na vodík,
- výroba vodíku je náročná na elektrickou energii,
- pro zkapalnění vodíku musí být chlazen,
- vodík má velmi nízkou hustotu,
- vodíkový pohon neumožňuje dojezd srovnatelný s konvenčním pohonem.

Vodíkový pohon je označován za pohon budoucnosti, ale je využíván i v současnosti. Jeho širokému využití brání řada faktorů, jako například nutnost jeho výroby či malá hustota, díky které by bylo nutné instalovat do vozidel nádrže s velkým objemem, aby se jejich dojezd mohl rovnat současným vozidlům. Pro pohon městských autobusů by to ovšem nemusel být takový problém a v případě, že by se podařilo levně získávat čistý vodík, byla by tato technologie mnohem rozšířenější než v současné době. Pokroky v technologii jsou jenom ve stádiu pokusů a k praktickému využívání jejich výsledků zatím příliš nedochází.

Vodíkový autobus je provozován na městské lince v Neratovicích. Jedná se však o ojedinělý projekt, u nějž se alespoň zatím nepředpokládá masová výroba. Slouží spíše ke zvyšování povědomí o tomto druhu pohonu. Jeho výsledky však jsou vesměs pozitivní, protože proti jiným vodíkovým autobusům vykazuje nižší spotřeby vodíku. Dosahuje toho díky kombinaci ultrakapacitorů, palivových článků a akumulátorů. Je ovšem otázkou, jestli by bylo možné tuto trojhybridní koncepci uplatnit i ve velkém měřítku za dostatečně nízkých pořizovacích nákladů.

Jak tedy bylo zmíněno, každý alternativní druh pohonu má svoje nevýhody a výhody, které ho charakterizují. Každý disponuje oproti konvenčnímu zcela zásadní výhodou. Tou je především ekologičtější provoz, který je velmi aktuálním tématem. Tato výhoda je však často

kompenzována nutností budování potřebné infrastruktury nebo nějakým omezením životnosti a podobně. Ovšem i pro zavádění konvenčního pohonu bylo nutné budovat infrastrukturu čerpacích stanic a tvořit nové distribuční cesty paliva, takže lze očekávat podobný scénář při zavádění těch alternativních. Vlastnosti jednotlivých alternativ jsou shrnuty v tabulce 4.

Tabulka 4: Srovnání jednotlivých pohonů vozidel

| Palivo/ druh pohonu | Pořizovací cena vozidla | Potenciál v budoucnosti | Hlavní výhoda | Hlavní nevýhoda | Speciální infrastruktura |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Nafta | Nízká | Nízký | Flexibilita | Vyšší náklady na provoz | NE |
| CNG | Střední | Střední | Úspora provozních nákladů | Vysoké investiční náklady | ANO |
| Hybrid | Střední | Nízký | Nevyžaduje novou infrastrukturu | Kompromisní řešení | NE |
| Elektro | Vysoká | Vysoký | Úspora provozních nákladů | Malý dojezd | ANO |
| Vodík | Velmi vysoká | Velmi vysoký | Obnovitelný zdroj | Vysoké investiční náklady | ANO |

Zdroj: [18], [9], upraveno autorem

2 Rozbor nákladových položek souvisejících s pořízením a provozem autobusů

Nákup dopravního prostředku, v tomto případě autobusu, vyžaduje nemalé množství finančních prostředků. K vlastnictví autobusu se ale dále vážou náklady související s udržením provozuschopnosti a samotným provozem. Jako náklady na pořízení si lze nejčastěji představit kupní cenu, která charakterizuje užitek vozidla. Nejdůležitějším provozním nákladem je pak určitě spotřeba paliva, ať už se jedná o motorovou naftu, CNG, vodík nebo elektrický proud.

2.1 Náklady na pořízení

Náklady na pořízení jsou sice nejčastěji charakterizovány pořizovací cenou, kterou mohou z hlediska zákazníka ovlivnit následující faktory:

- dotace,
- množstevní slevy,
- požadovaná výbava či parametry,
- cena konkurenčních autobusů.

Oblast dotací může hrát významnou roli při pořízení autobusů. Je ale nutné splnit podmínky pro její čerpání. V současné době se nejčastěji jedná o podmínky související s životním prostředím, například nutnost splnit určenou emisní normu. Případně může být i vazba na vyřazení starého vozidla, které v provozu nahradí vozidlo nové. Samozřejmě jsou vypořádané závazky vůči státu a jeho orgánům.

Množstevní slevy souvisí s dohodou mezi výrobcem, případně prodejcem autobusu a zákazníkem. Mohou být sjednávány především v rámci dlouhodobých smluv o odebírání vozidel nebo v případě většího odběru autobusů v kratším období. Z toho plyne výhoda pro zákazníky s velkým vozovým parkem, kteří disponují vyšší vyjednávací schopností než ostatní zákazníci.

Zvláštní výbava autobusu může být různorodá, aby uspokojovala všechny požadavky zákazníka. Může se jednat například o jiné uspořádání sedadel, s místem pro invalidní vozík. Speciální výbavou také mohou být komfortní prvky výbavy, například vyhřívané sedadlo řidiče nebo akustická signalizace couvání. Speciální výbava však v pořizovací ceně není

u autobusů tak významná položka jako například u osobních automobilů, kde může nadstandardní výbava dosahovat i desítek procent ceny vozu.

Konkurence hraje v oblasti strategie tvorby ceny významnou roli. Zákazník totiž může využít právě konkurenční nabídky místo nabídky dražší nebo jinak méně výhodné. Díky tomu je vyvíjen tlak na snížení cen, ovšem někdy na úkor kvality. Konkurence také nepřímo umožňuje zákazníkovi vyjednávat o ceně autobusů s tím, že v jiném případě by mohl využít nabídky jiného dodavatele. Toto vyjednávání se však může dostat do nepříliš etické roviny, přesto je většinou dosaženo účelu vyjednávání.

Kromě uvedených mohou hrát roli i jiné faktory, například platební podmínky, či nadstandardní zákaznický servis. Platebními podmínkami může být například dohoda o financování autobusů na úvěr za zvýhodněných podmínek. Ze zákaznického servisu je v oboru dopravních prostředků zřejmě nejčastěji využívána prodloužená záruka. Dalším příkladem může být proškolení zaměstnanců zákazníka v případě, že se v autobusu vyskytuje nějaká technologie, která není veřejně známá a vyžaduje speciální zacházení.

2.2 Provoz autobusů

Nákup autobusu je první krok k jeho uvedení do reálného provozu. Náklady na provoz autobusů jsou podobně jako pořizovací cena různorodé. Stejný druh i model autobusu pak za různých podmínek může mít velmi odlišné provozní náklady. Ať už se jedná o spotřebu pohonných hmot (PHM), která je v případě vozidel samostatnou kapitolou. Odlišné však mohou být i další provozní náklady na udržení vozidla v provozu.

Výhodou nových autobusů je však jednoznačně záruka výrobce, která kryje servisní náklady po stanovenou dobu. Je na místě připomenout, že vztahy podnikatelských subjektů se řídí obchodním zákoníkem, který nestanovuje dvouletou záruční dobu podobně jako občanský zákoník. Záruční doba tedy závisí na dohodě mezi prodávajícím a kupujícím. Může být také různá pro určité části vozidla. Například na mechanické části motoru je nižší než na karoserii (prorezavění). Vyplývá to z povahy jednotlivých částí autobusu. Jak už bylo zmíněno dříve, může být v případě dohody prodloužená, pokud na tom má zákazník zájem. Samozřejmě že za prodloužení záruky je nutné vydat dodatečné finanční prostředky. Je tedy na zvážení zákazníka, zda takto své prostředky investovat, či nést servisní náklady v případě poruchy. Především u nepříliš vyzkoušených pohonů by to mohlo být zásadní rozhodnutí, které by mohlo ovlivnit financování podniku.

V provozních nákladech hrají nejdůležitější roli následující položky:

- spotřeba PHM,
- náklady na údržbu,
- opravy.

2.2.1 Spotřeba PHM

Už podle názvu je jasné, že PHM je nezbytná k pohonu daného vozidla. Jejich spotřeba je tedy nákladovou položkou, která vzniká každý den provozu autobusu. Celkem logicky je všeobecnou snahou tuto spotřebu minimalizovat, ať už na straně výrobce, tak na straně provozovatele autobusu. Výrobce může spotřebu minimalizovat využíváním úspornějších motorů, čímž dosáhne i snížení produkovaných emisí, může také upravovat aerodynamiku či snižovat váhu vyráběných autobusů.

U konvenčních pohonů se však už úspory hledají jen stěží a je jen otázkou času, kdy už žádných úspor nebude možné dosáhnout, případně jenom v laboratorních podmínkách a ne v reálném provozu. Proti tomu provozovatel autobusu je v oblasti spotřeby pohonných hmot omezen právě parametry danými výrobcem. Ovšem jízdní styl může také výrazně ovlivnit výslednou spotřebu. Je tak na místě motivovat řidiče autobusů ke snižování spotřeby. Zde však už také řidič po určitém čase dosáhne hranice, pod kterou už není možné spotřebu snížit.

Mezi technické parametry ovlivňující spotřebu lze tedy zahrnout: aerodynamický odpor, valivý odpor pneumatik, účinnost motoru, hmotnost a další.

Parametry ovlivněné provozem mohou být následující: plynulost jízdy, terén, předvídatelnost, rozjíždění a brzdění.

2.2.2 Náklady na údržbu

Údržba vozidel zahrnuje především úkony, které se dělají pravidelně. Pravidelná kontrola a údržba umožňuje předcházet poruchám, které by mohly způsobit úraz, dopravní nehodu, nebo jinak ohrozit bezpečnost řidiče, cestujících či jiných účastníků provozu. Kontroly stavu vozidla slouží také k zajištění spolehlivosti autobusů díky včasnému odstranění závady ještě před tím, než se začne projevovat či způsobí na autobusu závažnější škodu.

Údržba vozidel je rozdělována do několika různých kategorií:

1. denní kontrola,
2. pravidelná plánovaná údržba,
3. sezónní údržba,
4. výměna olejů a maziv,
5. mytí. [19]

Řidič by před každou jízdou měl provést **denní kontrolu** stejně jako u osobních automobilů. Měla by sloužit především k včasnému odhalení vážné závady. V případě, že je na vozidle vše v pořádku a zároveň nesplňuje podmínky pro pravidelnou údržbu, může řidič vozidlo provozovat.

Pravidelná plánovaná údržba je stanovena po ujetí určitého počtu kilometrů, případně časovým intervalem. Intervaly prohlídek stanovuje výrobce vozidla. Například pro autobus Karosa Renault City Bus se rozlišují prohlídky stupně P1 až P6. Číslo prohlídky označuje potřebný nájezd kilometrů vynásobený deseti tisíci. P1 tedy označuje prohlídku po ujetí 10 000 km. Samozřejmě je zde i určitá tolerance, která se pohybuje v intervalu $\pm 10\%$. Pokud autobus dosáhne určitého stáří, případně je na něm najeto stanovené množství kilometrů, následuje prohlídka VO. Ta je v případě zmíněného autobusu provedena po ujetí 350 000 km nebo ve stáří 8 let. Sám provozovatel vozidel si však může stanovit intervaly přísnější, jak je tomu například u méně využívaných náhradních vozidel. Protože tato vozidla musí být připravena k provozu, je nutné si stanovit časový interval jejich plánované údržby. [19]

Sezónní údržba slouží především ke kontrole stavu podvozku a karoserie, protože ten je hlavně v zimním období vystaven působení posypových prostředků. Tato údržba je tedy rozdělena na dvě části: před začátkem zimního období (1. 10. až 31. 10.) a po skončení zimního období (1. 4. až 30. 4.). [19]

V rámci údržby se provádí i **výměna olejů a maziv**. Výrobce vozidel stanoví intervaly jejich výměny, které se mohou u jednotlivých modelů lišit. Tato výměna se může provádět i v rámci pravidelné plánované údržby v případě, že se kilometrové intervaly těchto druhů údržby shodují.

Mytím prochází nejen karoserie vozidla, ale také podvozek, který je zvláště v zimním období vystaven působení chemických posypů, a proto je nutné mytím předcházet korozi kovových prvků na vozidle. Vozidlo je umýváno nejčastěji stanoveným časovým intervalem, případně podle jeho znečištění. Kromě mytí exteriéru se dezinfikuje a čistí i interiér vozidla, což se děje podle stanovených hygienických předpisů, které se musí dodržovat. [19]

2.2.3 Opravy

Opravy autobusů a všeobecně opravy vozidel je možné rozčlenit do dvou fází. V první fázi totiž výrobce vozidla poskytuje záruku. Náklady způsobené například vadou materiálu či předčasným opotřebením nese tedy výrobce v plné výši. Výjimkou jsou komponenty, které se opotřebovávají jízdou, jako například brzdové obložení či pneumatiky. Jak již bylo zmíněno výše (v kapitole 2.2), záruční doba podle obchodního zákoníku závisí na dohodě mezi kupujícím a prodávajícím.

Za druhou fázi lze považovat pozáruční dobu. Pokud záruka uplyne, jsou všechny náklady na opravy daného vozidla hrazeny majitelem či provozovatelem. Tyto náklady pak bývají vyšší, než náklady v záruční době, ve které by mělo vozidlo sloužit bez vážných problémů. V určitých případech se ale už v záruční době může projevit vážná závada, jejíž odstranění právě v rámci záruky hradí výrobce.

Důvod k opravě vozidla však může vzniknout i při dopravní nehodě. V tomto případě jsou tři subjekty, které mohou nést náklady na opravu. V případě, že dopravní nehodu způsobila třetí osoba, je povinna hradit náklady na opravu. V praxi pak náklady hradí pojišťovna, u které je vozidlo této osoby pojištěno. Pokud dopravní nehodu způsobí řidič autobusu, který je pak poškozen, jsou náklady hrazeny buď pojišťovnou (pokud má vozidlo sjednáno havarijní pojištění) nebo provozovatelem vozidla.

Podniky s velkým vozovým parkem nejčastěji ve svém zázemí mají prostory vybavené k opravám autobusů a také zaměstnance, kteří tyto opravy mohou provádět. Díky tomu jsou náklady výrazně nižší, než kdyby byly prováděny například v autorizovaném servisu výrobce (po uplynutí záruční doby).

2.3 Náklady autobusu na konvenční pohon

Protože autobusy na konvenční pohon jsou vyráběny už dlouhou dobu, je proces jejich výroby zdokonalen, díky čemuž jsou předpoklady k jejich nízké pořizovací ceně proti konkurenčním autobusům s alternativními pohony. Rozdíl je také v nákladech na technologii

alternativních pohonů. Ovšem v poslední době, s rostoucími nároky na snižování emisí, rostou i náklady na vývoj a výrobu konvenčních pohonů, protože výrobci musí investovat nemalé finanční prostředky, aby jejich autobusy plnily emisní normy pro nová vozidla.

Tabulka 5: Orientační ceny naftových autobusů

| Výrobce | Model | Kloubový | Požizovací cena |
|--------------|-----------------|----------|-----------------|
| SOR Libchavy | NB 18 | ANO | 7 800 000 Kč |
| Iveco | Urbanway 18m | ANO | 9 050 000 Kč |
| SOR Libchavy | NB 12 | NE | 4 800 000 Kč |
| Iveco | Urbanway 12m | NE | 5 600 000 Kč |
| MAN | Lion's City 12m | NE | 4 500 000 Kč |

Zdroj: SOR, KAR group, MAN

Tabulka 5 uvádí ceny používaných autobusů. Výrazný cenový rozdíl tvoří druh autobusu – kdy kloubový je výrazně dražší, ale na druhou stranu je mnohem prostornější, což vysvětluje zvýšenou cenu. Oproti standardním autobusům je totiž zhruba o 6 metrů delší, tedy polovinu délky standardního autobusu (12 metrů). Ceny se také samozřejmě liší mezi jednotlivými výrobci, kdy roli může hrát jak množstevní sleva, tak příplatková výbava daného modelu autobusu. Ceny v průběhu let kolísají, na čemž může mít vliv změna nákladů výrobce či cenové vyjednávání se zákazníkem nebo vývoj kurzů měn. S dalším zpřísněním ekologických norem lze oprávněně předpokládat, že ceny autobusů využívajících k pohonu pouze konvenční palivo porostou s tím, jak obtížné bude najít způsob jak dále snižovat jejich emise.

Oblast dotací je pro autobusy poháněné motorem spalujícím naftu už neperspektivní. Dotace se uplatňují hlavně v oblasti alternativních paliv, kde mají za úkol vyrovnávat vyšší náklady na jejich pořízení. Ovšem i v poslední době díky dotaci bylo možno nakoupit nové autobusy spalující právě naftu. Stalo se tak na Dobříšsku, kde byly pořízeny 3 nízkopodlažní autobusy, díky dotaci z Regionálního operačního programu Střední Čechy. Hlavním požadavkem byla nízkopodlažnost, kterou mohou splňovat i autobusy na konvenční pohon. Dalším požadavkem byla nutnost plnění minimálně emisní normy Euro V. Dnes již moderní autobusy s pohonem na naftu splňují i normu Euro VI, takže zde bylo možné naftové autobusy uplatnit. [23]

Provozní náklady u konvenčního pohonu budou tvořit především náklady na PHM. Jedná se tedy o spotřebu motorové nafty.

Tabulka 6: Průměrná spotřeba naftových autobusů (v l/100 km)

| Skupina | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Standardní (12 m) | 48,31 | 47,61 | 48,93 | 45,44 | 42,71 |
| Kloubové (18 m) | 58,81 | 57,08 | 56,94 | 52,59 | 50,85 |

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy

Tabulka 6 ukazuje, že náklady na PHM mají jasně sestupnou tendenci, což je z finančního hlediska velmi dobrá zpráva. U kloubových autobusů činí za 4 roky rozdíl téměř 8 l/100km, což je poměrně výrazná změna.

Obrázek 5: Vývoj průměrné spotřeby naftových 12 metrových autobusů (2013 a 2014)



Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy

V jednotlivých měsících spotřeba PHM může značně kolísat (např. z důvodu využívání topení v zimě), jak je vidět na grafu průměrné spotřeby standardních 12 metrových autobusů. V roce 2014 se předpokládá, že křivka bude trvale pod křivkou z roku 2013.

Náklady na opravy a údržbu se nejčastěji kalkulují dohromady a tvoří tak jednu položku nákladů. Z tohoto důvodu není možné je oddělit například v účetnictví. Protože náklady na opravy a údržbu se mohou lišit u totožných modelů autobusů, je vhodné uvádět údaje průměrné, které jsou relevantnější.

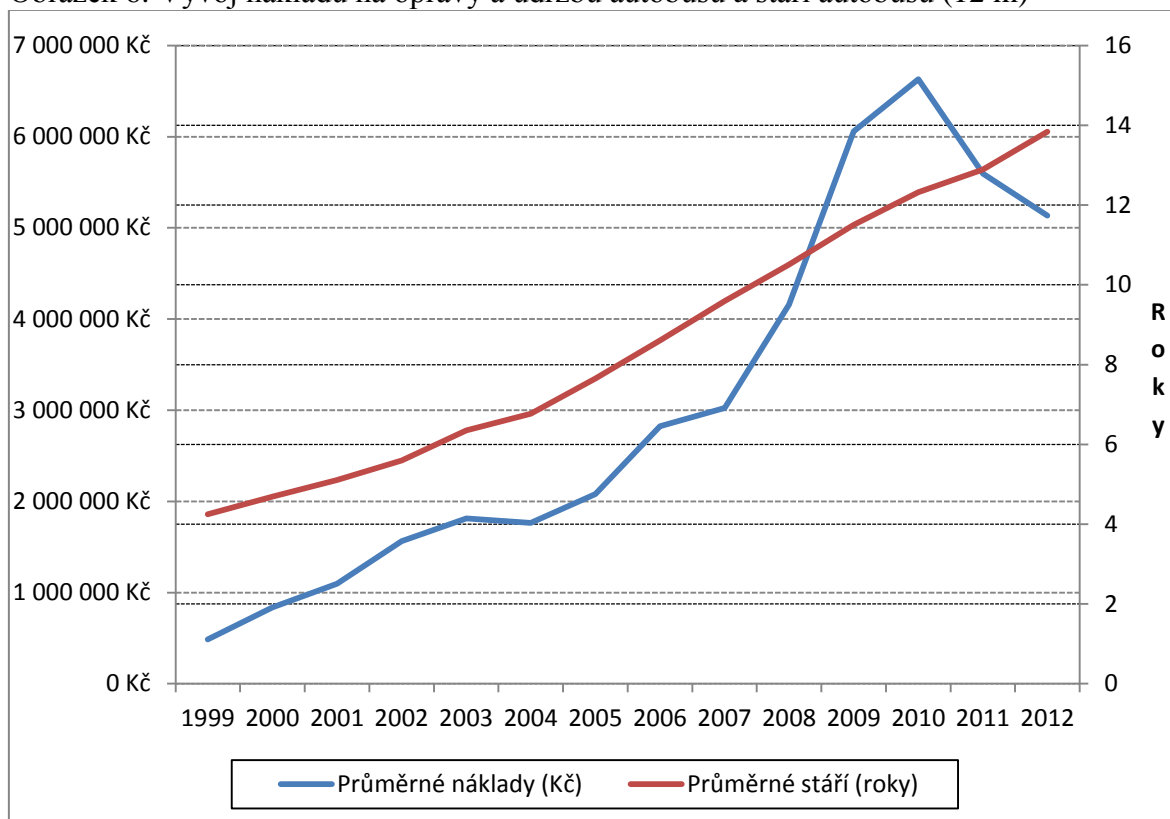
Tabulka 7: Průměrné náklady na dopravu a údržbu autobusů (v Kč)

| Model autobusu | 1. rok | 2. rok | 3. rok | 4. rok | 5. rok | 6. rok |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Citybus | 114 478 | 197 665 | 235 152 | 293 037 | 339 041 | 348 340 |
| Citelis | 12 893 | 145 078 | 214 084 | 402 822 | 518 615 | 579 727 |
| Citybus kloubový | 8 544 | 152 615 | 317 244 | 635 331 | 976 622 | 748 188 |
| Citelis kloubový | 41 717 | 200 159 | 275 739 | 345 843 | 437 086 | 563 863 |

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy

Z tabulky 7 je patrné, že náklady na zajištění provozuschopnosti vozidel s časem výrazně rostou. Výjimku tvořil pouze šestý rok užívání u kloubových autobusů Citybus, kde zřejmě nastala vážná závada na vozidle, která značně ovlivnila trend vývoje nákladů na tuto třídu autobusů. Také se zde nevyskytují velké rozdíly mezi kloubovými a standardními autobusy.

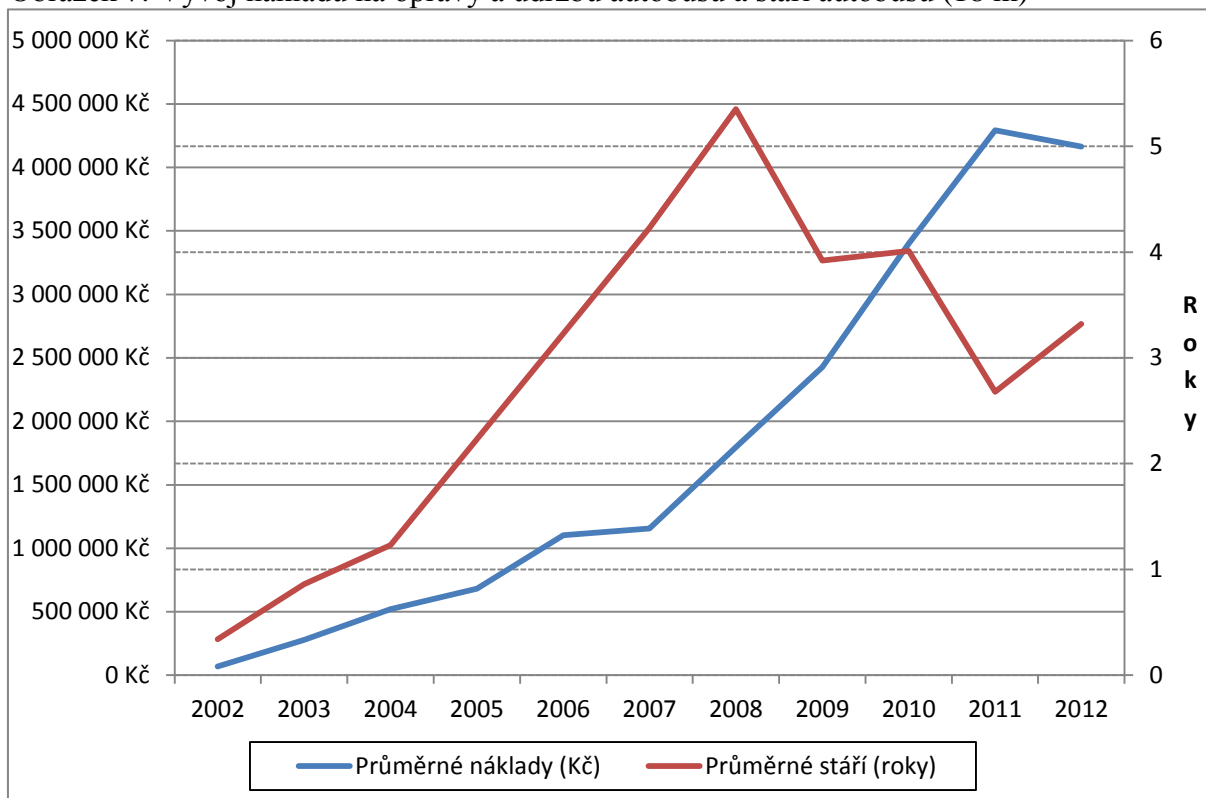
Obrázek 6: Vývoj nákladů na opravy a údržbu autobusů a stáří autobusů (12 m)



Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy

Vývoj nákladů má také očekávaný vývoj, kdy s postupujícím stářím vozového parku rostou i náklady na jeho udržování. Ovšem od roku 2011 začaly průměrné náklady značně klesat a tento vývoj se potvrdil i v roce 2010, což je překvapivý výsledek hlavně z toho důvodu, že nedošlo k nějakému zásadnímu obnovení vozového parku, jehož stáří roste přibližně stejným tempem.

Obrázek 7: Vývoj nákladů na opravy a údržbu autobusů a stáří autobusů (18 m)



Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy

U kloubových autobusů je vývoj nákladů odlišný. Náklady v porovnání se standardními autobusy rostly výrazně pomaleji. Ovšem modernizace vozového parku se překvapivě na snížení nákladů výrazně neprojevila. Sestupný trend nákladů začal až v roce 2012, kdy už se stáří kloubových autobusů začalo znovu zvyšovat.

2.4 Náklady u CNG autobusu

Pro využívání pohonu na CNG je proti konvenčnímu pohonu na naftu nutné vystavět potřebnou infrastrukturu. Tou je plnicí stanice na CNG. Samozřejmě se to týká pouze dopravců, kteří v oblasti své působnosti nemají žádnou plnicí stanici. Ovšem i v tomto případě je možné se investicí do výstavby plnicí stanice na CNG vyhnout. Existuje totiž dohoda o vytvoření podmínek pro rozvoj užití zemního plynu v dopravě. Tuto dohodu uzavřelo s plynárenskými společnostmi Ministerstvo průmyslu a obchodu v roce 2006.

Z této dohody plyne povinnost zajistit výstavbu plynové stanice, pokud územně samosprávný celek rozhodne o převodu městské či příměstské dopravy právě na pohon na CNG.

Musí být splněny následující podmínky:

- technické podmínky plynárenské sítě,
- minimální počet 4 autobusů (případně vozidel s obdobnou spotřebou CNG),
- minimální cílový roční odběr dosáhne 400 tis. m³ do 4 let od uvedení do provozu. [24]

Další podmínky jsou pak dojednány mezi plynárenskou společností a územně samosprávným celkem.

Ovšem dopravce se může rozhodnout i pro variantu, kdy plnicí stanici postaví na své náklady. Tuto variantu může zvolit dopravce, který předpokládá v budoucnu vysokou spotřebu CNG. Není zde totiž závislost mezi dopravcem a plynárenskou společností jako distributorem zemního plynu. Plyn je tedy možné zakoupit například na burze, kde je jeho cena logicky nižší, než za kterou zemní plyn distribuuje plynárenská společnost. Rozdíl mezi těmito dvěma cenami může být různý, a proto nelze jednoznačně určit, jaká bude úspora finančních prostředků. Úspora také závisí na ceně výstavby plnicí stanice. Dalším významným faktorem zde může být zpřístupnění plnicí stanice veřejnosti. Protože ve většině měst v České republice není v této oblasti taková konkurence jako u klasických čerpacích stanic, je možné zde vytvořit dodatečné příjmy dopravce.

Tabulka 8: Scénáře úspor na ceně CNG

| Cena stanice | Rozdíl cen CNG | Spotřeba CNG (m ³) | Přepočít na autobusy (ks) | | |
|---------------|----------------|--------------------------------|---------------------------|-------|-------|
| | | | 10 let | 8 let | 5 let |
| 40 000 000 Kč | 7 Kč | 5 714 286 | 18 | 23 | 36 |
| 35 000 000 Kč | 7 Kč | 5 000 000 | 16 | 20 | 31 |
| 30 000 000 Kč | 7 Kč | 4 285 714 | 14 | 17 | 27 |
| 25 000 000 Kč | 7 Kč | 3 571 429 | 12 | 14 | 23 |

Zdroj: vlastní

Tabulka 8 shrnuje možné scénáře úspor při výstavbě plnicí stanice na náklady dopravce a nákupu zemního plynu přímo na burze. V tabulce předpokládám průměrnou spotřebu 54 m³ CNG na 100 kilometrů pro jeden autobus (12 m) a roční nájezd 60 000 kilometrů. V případě, že dopravce převádí velkou část vozového parku (cca 20 – 30

autobusů), je tato varianta výrazně výhodnější, než výstavba plnicí stanice plynárenskou společností. Výhodou tohoto řešení je také nezávislost na plynárenské společnosti a jí stanovené ceně. V případě, že je plnicí stanice k dispozici veřejnosti, vyplatí se čerpací stanice o to více.

Pořizovací cena samotného autobusu s pohonem na CNG je vyšší než u autobusu poháněného naftou. Tento cenový rozdíl ovšem smazávají dotace poskytované na pořízení ekologičtějších autobusů. Stejně jako u plnicí stanice, i zde vystupují plynárenské společnosti, které poskytují dotaci ve výši 200 000 Kč na jeden autobus. Nárazově se pak objevují i dotace z jiných zdrojů, především z Evropské unie nebo Ministerstva životního prostředí.

Tabulka 9: Orientační ceny autobusů s pohonem na CNG

| Model autobusu | Pořizovací cena |
|--------------------|-----------------|
| URBANWAY CNG 10,5m | 6 500 000 Kč |
| URBANWAY CNG 12m | 6 600 000 Kč |
| URBANWAY CNG 18m | 9 950 000 Kč |
| NBG 12 | 5 800 000 Kč |
| NBG 18 | 7 800 000 Kč |
| Lion's City 12m | 5 300 000 Kč |

Zdroj: SOR, KAR group, MAN

Z tabulky 9 je patrné, že cena autobusů s pohonem na CNG je o něco vyšší než u naftových autobusů. Cenu je možné snížit o dotaci plynárenské společnosti, ale i přesto bude stále téměř o milion korun vyšší. Tuto zvýšenou pořizovací cenu je nutné kompenzovat při provozu autobusů, jinak by nebylo ekonomicky výhodné tyto autobusy využívat.

V oblasti provozních nákladů je pro srovnávání s motorovou naftou nutný přepočít. Spotřeba CNG je totiž často uváděna v kg/100 km. To ovšem neodpovídá litrům nafty na 100 ujetých kilometrů. Proto se spotřebované kg převádějí na m³ vynásobením hodnotou 1,4. V Dopravním podniku města Pardubic mají CNG autobusy průměrnou spotřebu zhruba 35 kg/100 km. Po přepočtu vychází hodnota 49 m³/100 km, což je nad úroveň průměrné spotřeby motorové nafty (zhruba 42 l/100 km). Výrazný rozdíl pak vzniká v ceně ve prospěch CNG (18 Kč/m³ vs. 28 Kč/l). To je tedy hlavní argument pro zavádění pohonu na CNG. [4]

Co se týče oprav a údržby, nejsou mezi naftovým autobusem a CNG autobusem žádné výrazné rozdíly či rizika. Opravárenské budovy však musí být vybaveny čidly, která rozpoznají únik zemního plynu, a také systémem, který zajistí jeho odvětrání. Toto vybavení například v Dopravním podniku města Pardubic stálo přes pět milionů korun.

2.5 Náklady elektrobuse

Investiční náklady elektrobuse není možné určit tak přesně jako například u pohonu na CNG. Důležitý je hlavně druh použitého elektrobuse. Pokud je využit elektrobuse, který je možné dobít z trakčního vedení (pokud je vybudováno), jsou investiční náklady rovny pořizovací ceně vozidla. V případě, že je koupeno vozidlo vybavené pro nabíjení na zastávkách případně v areálu provozovatele, jsou zde určité investiční náklady na infrastrukturu. Ty však lze stanovit pouze na konkrétní případy. Například pokud bude vozidlo dobíjeno v areálu provozovatele, jsou zde náklady především pro vybavení měničny proudové soustavy a elektroinstalace v depu. Tyto náklady mohou hrubým odhadem dosahovat výše do jednoho milionu korun. Vše závisí na konkrétní provozní situaci. Pokud by se vozidlo dobíjelo i v zastávkách, je nutné na nich vybudovat rychlodobíjecí stanice. To ovšem závisí na konstrukci trasy a dojezdu konkrétního elektrobuse.

Tabulka 10: Přibližné ceny dobíjecí infrastruktury

| Druh dobíjení | Přípojka | Vstup do vozidla | Přenášený výkon (kW) | Cena (Kč) |
|-----------------------|----------------|------------------|----------------------|--------------|
| Zásuvka, AC vstup | 3x400V AC 250A | 3x 400V AC 250A | 170 | 225 000 Kč |
| Zásuvka, DC vstup | 3x400V AC 250A | 600V DC 170A | 102 | 2 000 000 Kč |
| Zásuvka z tram sítě | 600V DC 170A | 600V DC 170A | 102 | 375 000 Kč |
| Rameno s kontakty | 3x400V AC 250A | 3x 400V AC 250A | 170 | 700 000 Kč |
| Pantograf, veřej. síť | 3x400V AC 260A | 600V DC 300A | 180 | 3 125 000 Kč |
| Pantograf, tram. síť | 600V DC 300A | 600V DC 300A | 180 | 800 000 Kč |
| Indukční přenos | 3x400V AC 125A | 3x 400V AC 87A | 60 | 1 925 000 Kč |

Zdroj: [9, s. 14]

Investice do dobíjecí infrastruktury tedy může dosahovat výrazně odlišných hodnot, jak je možné vidět v tabulce 10. Výrobci elektrobuse často s výrobci dobíjecích stanic spolupracují, což je přínosné, ale na druhou stranu to může vést k problémům. V případě, že dopravní podnik zakoupí elektrobuse jednoho výrobce a přizpůsobí mu vybavení na linkách a ve svém areálu, není zaručena kompatibilita ostatních elektrobuse. Dopravní podnik by tak mohl být odkázán pouze na jednoho výrobce autobuse. Pokud by pak takový výrobce ukončil činnost, mohlo by si to v extrémním případě vyžádat rekonstrukci dobíjecích zařízení, což by zmařilo původní investici.

Jak už bylo zmíněno, v případě použití elektrobuse dobíjeného z dobíjecí stanice, je nutné vynaložit dodatečné náklady. V případě elektrobuse SOR mohou být tyto náklady poměrně nízké – např. do půl milionu korun (dobíjení v areálu provozovatele). Pokud by se využíval elektrobuse vybavený superkapacitory, náklady na infrastrukturu by byly mnohem

vyšší. Někdy by také bylo velmi obtížné tuto infrastrukturu na všech zastávkách na lince vybudovat. Tento přístup je tedy více vhodný pro nově budované linky. Z pohledu nákladů na infrastrukturu se nejlépe jeví elektrobuses dobíjený z trolejového vedení. Obzvláště ve městech, kde je toto vedení již vybudováno lze tento elektrobuses poměrně dobře provozovat.

V případě, že je navíc vybaven možností dobíjení z dobíjecí stanice, jedná se o velmi chytrý a výhodný způsob dobíjení. Tomu také odpovídá vyšší pořizovací cena, např. u elektrobuse Siemens Rampini – viz tabulka 11.

Tabulka 11: Orientační ceny elektrobuseů ve srovnání s konvenčním autobusem

| Vozidlo | Cena | Způsob dobíjení |
|---------------------|---------------|------------------------|
| Sor EBN 10,5 | 9 000 000 Kč | dobíjecí stanice |
| Siemens Rampini | 11 000 000 Kč | trakční vedení |
| Iveco Urbanway 10,5 | 5 400 000 Kč | – |

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy, Kar Group

Ceny elektrobuseů jsou znatelně vyšší než konvenční autobusy i autobusy s pohonem na CNG. Pro elektrobuses v současné době není k dispozici žádný speciální dotační program, a proto je jejich zavádění značně ztíženo. Jednou z možností je využití finančního leasingu od výrobce elektrobuse, který získá jak finanční prostředky za pronájem, tak užitečné zkušenosti z provozu. Ty mu pak umožní jeho produkt zkvalitnit a ve výsledku pak zvýšit jeho odbyt.

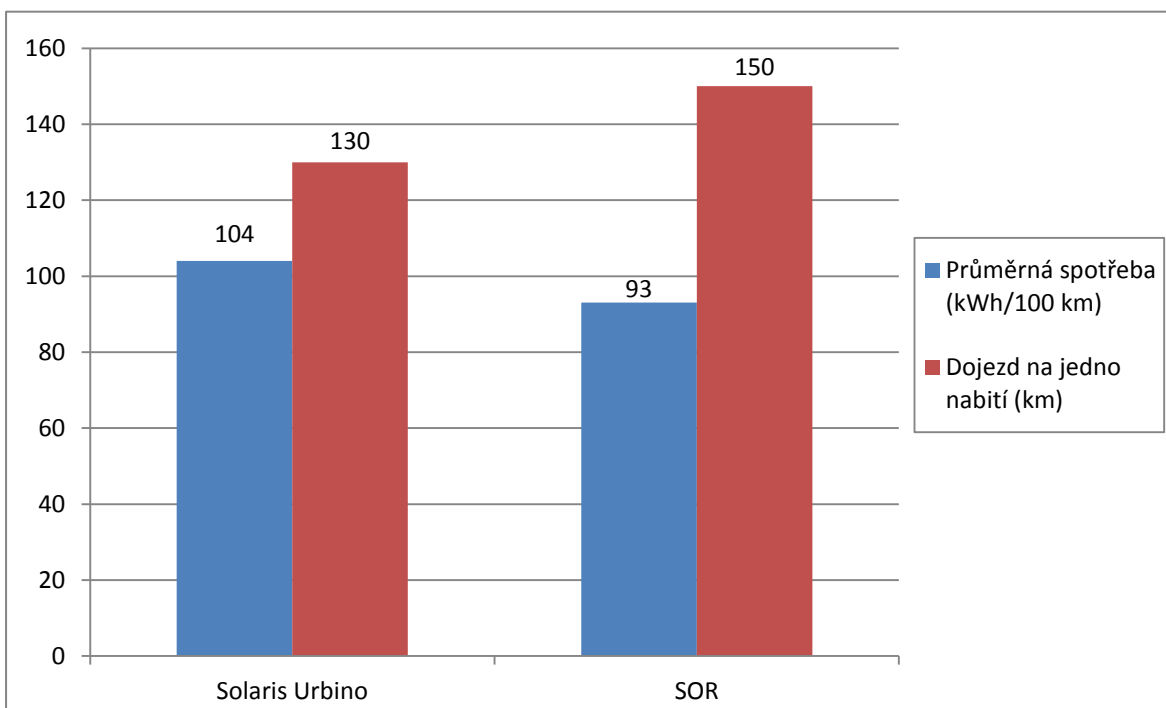
Problematickým místem na elektrobuse jsou především akumulátory. U autobusů s Li-Ion je jejich životnost nižší, než životnost elektrobuse. To tedy představuje problém v podobě nutné výměny. U uvedeného elektrobuse SOR se jedná zhruba o investici zhruba dvou milionů korun, což představuje více než 20 procent pořizovací ceny elektrobuse.

Spotřeba elektrické energie se u elektrobuseů pohybuje kolem jedné kWh na kilometr. Pro srovnání se spotřebou konvenčního autobuse, kde se udává spotřeba na 100 kilometrů, je to tedy zhruba 100 kWh. Pokud uvažujeme cenu 2 Kč/kWh, vychází náklady 200 Kč. Pro SOR je potřeba přičíst ještě případné náklady na vytápění (cca 5 Kč na 100 km). U konvenčního autobuse lze očekávat spotřebu kolem 43 l/100 km.

Když tuto hodnotu pak vynásobíme cenou nafty pro velkoobchodce (zhruba 27 Kč), dostáváme se na cenu blízkou hranici 1200 Kč. Náklady na pohon by tak v případě elektrobuse měly být ani ne šestinové, pokud je porovnáváme s náklady konvenčního autobuse. Jednoduchou úvahou lze pak odvodit, že maximalizací ujeté vzdálenosti dosáhneme i maximalizace úspor z provozu elektrobuse.

Protože se spotřeba liší u jednotlivých elektrobusech, nelze brát uváděnou hodnotu jako pevně danou. Ovšem hodnoty spotřeby elektrické energie by měly dosahovat podobných hodnot i v reálném provozu. Srovnání průměrné spotřeby a s tím souvisejícího dojezdu je možné vidět v následujícím grafu.

Obrázek 8: Průměrná spotřeba elektrobusech a jejich dojezd



Zdroj: [9], [25], upraveno autorem

Náklady na opravy a údržbu jsou srovnatelné s konvenčními autobusy, ovšem protože se jedná o poměrně novou technologii, nelze vyloučit poruchovost elektrobusech. Špatné zkušenosti s elektrobusech byly například v Dopravním podniku hlavního města Prahy. Poruchovost však nelze vyloučit u nových vozidel všeobecně.

2.6 Hybridní autobusy

Hlavní výhodou hybridních autobusů z hlediska pořizovacích nákladů je jednoduchost jejich vyčíslení. Protože se nejčastěji jedná o autobusy, které se dobíjí pomocí vznětových motorů, není nutné budovat infrastrukturu pro dobíjení. Díky tomu je v podstatě jedinou položkou pořizovacích nákladů cena autobusu. Celkem logicky je proti konvenčním autobusům vyšší, především díky akumulátorům. Jejich cena tvoří zhruba 20 – 30 % ceny autobusu. U kloubových je tak cena na úrovni deseti milionů korun, u standardních (12 m) asi 6 milionů korun. V současné době hybridní autobus už nenabízí společnost SOR Libchavy spol. s r. o. (dříve model NBH 18) a společnost Iveco zatím nemá stanovenou konečnou cenu, takže konkrétnější údaje nejsou dostupné.

Protože hybridní autobusy disponují klasickým spalovacím motorem, neudává se většinou jejich přímá spotřeba, ale častěji úspora oproti srovnatelným naftovým autobusům. Tyto úspory se pohybují v intervalu 15 – 20 %. Po přepočtení to pak znamená spotřebu PHM zhruba kolem 30 l/100 km pro autobus délky 12 metrů. Jak již bylo uvedeno v první kapitole, existují dvě koncepce hybridních autobusů a to sériový hybrid (pohon pouze elektromotorem) a paralelní hybrid (pohon elektromotorem i spalovacím motorem). Co se týče spotřeby PHM, tak se však tyto dva přístupy k tvorbě hybridních systémů příliš neodlišují. Odlišují se však hybridní autobusy jednotlivých výrobců a samozřejmě i velikostí autobusů. Uvedený interval úspor však přibližně platí pro většinu hybridních vozidel, ale stejně jako u všech technologií má na provozní náklady vliv i způsob jízdy a prostředí, kde je vozidlo využíváno. [9]

Tabulka 12: Srovnání spotřeby konvenčního a hybridního autobusu (18 m)

| Autobus | Průměrná spotřeba PHM (l/100 km) | Rozdíl |
|------------|----------------------------------|--------|
| SOR NB 18 | 49,85 | 5,39% |
| SOR NBH 18 | 47,17 | |

Zdroj: Dopravní podnik hlavního města Prahy

Z tabulky 12 vyplývá velmi malá úspora hybridního autobusu oproti konvenčnímu. Ovšem na základě výsledku jednoho modelu není možné technologii odepisovat, protože například z testování 12 metrového autobusu Volvo v Praze a Chomutově vyplynuly úspory přibližně 20 – 30 %.

Opravy a údržba hybridního autobusu se od konvenčního příliš neliší. Není zapotřebí speciálního vybavení dílen jako u CNG autobusu. Vzhledem k vybavení elektronickými systémy, které musí řídit hybridní pohon, lze očekávat zvýšené náklady v tomto ohledu. V praxi se pak disponibilita hybridních autobusů může pohybovat například 36 – 99 %. Tyto údaje vychází z testování v Londýně. Nutno podotknout, že průměrná disponibilita byla téměř 90 %. Z testování hybridního autobusu Volvo v České republice vyplynula disponibilita celého autobusu 88 %, z toho disponibilita hybridního pohonu byla dokonce 100%. To dokazuje značnou spolehlivost vyvíjených hybridních systémů, a proto lze považovat náklady na opravy a údržbu za srovnatelné s konvenčními autobusy. [9]

2.7 Autobusy poháněné vodíkem

Autobusy poháněné vodíkem jsou z alternativních pohonů nejnovější a podle odborníků nejperspektivnější technologií pohonu. Názory jsou ovšem různé a někteří dopravci vidí budoucnost hlavně v elektrobusech, které už jsou nějakou dobu prakticky

využívány. Vodíkové pohony jsou v dnešní době omezeny na několik projektů, z nichž asi největší a nejznámější je flotila osmi vodíkových autobusů v Londýně. Vodíkové autobusy jsou provozovány také v Německu – konkrétně v Hamburku (Citaro FuelCELL hybrid) a v Berlíně (čtyřikrát MAN-NL 200 H²). [26], [27]

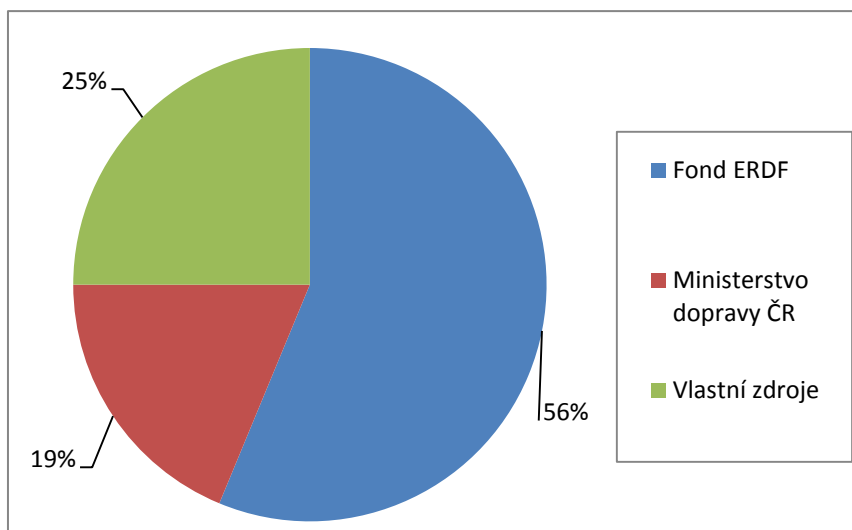
Podporu vodíkovým autobusům v rozvoji nabízí projekt HyFLEET:CUTE, kde zkratka CUTE znamená **C**lean **U**rban **T**ransport to **E**urope. Tento původně čtyřletý projekt Evropské komise začal již v roce 2006 a úspěšně testoval vodíkové autobusy ve velkých evropských městech včetně jmenovaných.

Projekt stále provozuje 47 vodíkových autobusů dvou značek – Mercedes-Benz a MAN ve městech na 3 různých kontinentech, jsou to Amsterdam, Barcelona, Berlín, Hamburk, Londýn, Lucemburk, Madrid, Peking, Perth a Reykjavík. Vodíkový autobus Mercedes-Benz Citaro Fuel Cell Bus zastupuje v projektu technologii palivových článků. Protože jeho nádrže na stlačený vodík jsou menší (tlakové nádoby na 40 kg vs. 50 kg), než u autobusů MAN, má také menší udávaný dojezd (200 vs. 220 km). Autobusy MAN používají technologii spalovacího motoru, v němž je palivem vodík. Díky využívání těchto dvou přístupů k pohonu na vodík, umožňuje projekt určit, jestli není některý z přístupů vhodnější pro budoucí využití, což je jednoznačné pozitivní. [28]

Vodíkové technologie se využívají i mimo Evropu. Příkladem jsou USA, kde provozuje vodíkové autobusy společnost SunLight Transit Agency. Tato společnost využívá 2 vozidla poháněná vodíkem, využívající palivových článků. Jedná se o dva 12 metrové autobusy s tlakovými nádržemi na 46 resp. 50 kg vodíku. Společnost si stanovila minimální dostupnost vodíkových autobusů na 85 %, toho se prozatím nepodařilo dosáhnout. Je tomu tak především díky problémům s trakčními bateriemi, které se na nutnosti odstavení autobusu podílely z 50 %. [9]

I v České republice existuje projekt zajišťující provoz autobusu, jehož palivem je vodík. Projekt nese všeříkající název H2Bus. Proti jiným projektům je ovšem tento odlišný, kromě palivových článků obsahuje vedle Li-Ion také ultrakapacitory, čímž se z autobusu stává trojhybrid. Proto vznikl komerční název TriHyBus. Díky projektu je tento autobus provozován na pravidelné lince MHD v Neratovicích již od roku 2010. Projekt vznikl především díky financování ze strany Evropské unie (fond ERDF) a Ministerstva dopravy ČR jak je vidět v následujícím grafu. [15]

Obrázek 9: Financování projektu českého vodíkového autobusu



Zdroj: [15], upraveno autorem

Protože se jedná o velmi výjimečný projekt, jsou náklady na jeho vznik a provoz velmi vysoké. Investice do vybudování vodíkové čerpací stanice činila přibližně milion EUR, další milion EUR bylo nutné vynaložit na vyprojektování autobusu a celou přípravu komplikovaného projektu. Zhruba další milion EUR stála výroba hybridního systému a celého autobusu. V přepočtu na kurz 27 Kč/EUR tedy náklady činily zhruba 80 milionů korun. Pokud je brána v úvahu výjimečnost tohoto projektu, náklady jsou zřejmě přiměřené. Investice do vodíkové čerpací stanice je na úrovni ceny výstavby CNG stanice. Projekt není přímo určen jako nahrazení konvenčních autobusů, ale pro podporu vodíkové technologie v očích veřejnosti a pro získání zkušeností s tímto druhem pohonu.

Provozní náklady vodíkových autobusů je těžké stanovit. Samozřejmě mají uvedenu spotřebu, která se často převádí i na litry nafty na 100 kilometrů, což umožňuje srovnávání s konvenčními autobusy. Spotřeba vodíku je však většinou uváděna v kilogramech na 100 kilometrů.

Tabulka 13: Hodnoty průměrné spotřeby vodíkových autobusů

| Autobus | Průměrná spotřeba vodíku (kg/100 km) | Přepočet na naftu (l/100 km) | Délka autobusu (m) |
|-------------------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------|
| New Flyer | 9,84 | 33 | 12 |
| ELDorado National | 8,96 | 30 | 12 |
| H2Bus | 7,75 | 26 | 12 |

Zdroj: [9]

Z tabulky 13 je jasně vidět, že vodíkový pohon přináší úspory již nyní, kdy se výrobci snaží zvyšovat dostupnost autobusů a snížení spotřeby je prozatím mimo zájem. V případě projektu H2Bus se úspora pohybuje kolem 40 %.

Opravy a údržba vodíkových autobusů je obecně komplikovanější než u jejich konvenčních protějšků. To je dáno komplikovanou technologií a celkově menšími zkušenostmi s tímto druhem pohonu. Přesto například u autobusu provozovaného v Neratovicích se disponibilita samotného autobusu pohybuje okolo 90 %. Bohužel disponibilita čerpací stanice je výrazně nižší a to zhruba 60 %. V projektu HyFLEET:CUTE byly hlavní příčinou odstávek autobusu pravidelná údržba (pohon 36 % a zbývající části 15 %). Dále pak 26 % času činily poruchy na palivovém článku. [9]

Vodík je tedy velmi perspektivní, ovšem v současné době by nebylo možné bez dotační podpory v podmínkách České republiky vodíkové autobusy zavádět ve větším počtu do vozových parků dopravních společností.

3 Návrh využívání vozidel s alternativním pohonem

Protože v některých městech jsou už využívány autobusy s alternativními pohony, je možné v jejich zavádění dále pokračovat. To se týká především pohonu na CNG, případně elektrobuse v Ostravě. Jako nereálnou variantu v českých podmínkách lze označit autobusy poháněné na vodík díky jejich vysokým investičním nákladům, např. místo jednoho vodíkového autobusu by bylo možné pořídit dva elektrobuse včetně dobíjecí infrastruktury. Proto jsou dnes dobře uplatnitelné především autobusy na CNG, hybridní autobusy a elektrobuse.

3.1 Výběr používaného pohonu

Hlavními konkurenty jsou autobusy poháněné CNG a elektřinou. Především v podmínkách, kde není žádný z těchto pohonů implementován, může být značně komplikované rozhodování mezi těmito dvěma druhy pohonu. Toto strategické rozhodnutí totiž dopravní společnosti může výrazně omezit dlouhodobé finanční možnosti, což v případě zvýšení cen vstupů nebo podobných komplikací zcela mění hospodářskou situaci podniku. Zvláště v případech menších dopravních podniků je toto rozhodnutí pro budoucí vývoj klíčové.

Tabulka 14: Srovnání kilometrických nákladů na vybrané druhy pohonu

| | Nafta | Elektřina | CNG |
|--------------------------------|--------------|------------------|------------|
| Průměrná spotřeba ¹ | 0,426 | 1,040 | 0,355 |
| Cena za jednotku | 27 Kč | 2 Kč | 13 Kč |
| Cena za km | 11,50 Kč | 2,08 Kč | 4,62 Kč |

Zdroj: vlastní

Kilometrické náklady uvedené v tabulce 14 jasně dokazují výhodnost alternativních pohonů v oblasti spotřeby zdroje pohonu. Jednoznačně nejlépe vychází elektřina, která je o více než polovinu levnější než pohon na CNG.

Ceny vstupů jsou však proměnlivé, a proto se rozdíl může lišit, jak je vidět v následujících tabulkách, kde vycházím ze stejné spotřeby tedy 1,04 kWh resp. 0,355 kg na kilometr. V případě výhodnosti elektrického pohonu bude v tabulce uvedeno číslo kladné. V opačném případě bude číslo záporné, které bude značit výhodnost pohonu na CNG.

¹ V případě nafty jsou jednotkou litry, u elektřiny kWh a spotřeba CNG je v kilogramech

Tabulka 15: Rozdíl kilometrických nákladů podle vývoje ceny zdroje pohonu (vlastní plnicí stanice)

| kg \ kWh | 1,8 | 1,9 | 2 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 |
|-----------------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 10 | 1,68 | 1,57 | 1,47 | 1,37 | 1,26 | 1,16 | 1,05 | 0,95 | 0,85 | 0,74 |
| 11 | 2,03 | 1,93 | 1,83 | 1,72 | 1,62 | 1,51 | 1,41 | 1,31 | 1,20 | 1,10 |
| 12 | 2,39 | 2,28 | 2,18 | 2,08 | 1,97 | 1,87 | 1,76 | 1,66 | 1,56 | 1,45 |
| 13 | 2,74 | 2,64 | 2,54 | 2,43 | 2,33 | 2,22 | 2,12 | 2,02 | 1,91 | 1,81 |
| 14 | 3,10 | 2,99 | 2,89 | 2,79 | 2,68 | 2,58 | 2,47 | 2,37 | 2,27 | 2,16 |
| 15 | 3,45 | 3,35 | 3,25 | 3,14 | 3,04 | 2,93 | 2,83 | 2,73 | 2,62 | 2,52 |
| 16 | 3,81 | 3,70 | 3,60 | 3,50 | 3,39 | 3,29 | 3,18 | 3,08 | 2,98 | 2,87 |
| 17 | 4,16 | 4,06 | 3,96 | 3,85 | 3,75 | 3,64 | 3,54 | 3,44 | 3,33 | 3,23 |

Zdroj: vlastní

Pokud provozovatel vybuduje plnicí stanici, stále bude cenově výhodnější elektrický pohon, ovšem v případě příznivých podmínek pro pohon CNG (nízká cena zemního plynu a vysoká cena elektrické energie) je rozdíl minimální.

Tabulka 16: Rozdíl kilometrických nákladů podle vývoje ceny zdroje pohonu (bez vlastní plnicí stanice)

| kg \ kWh | 1,8 | 1,9 | 2 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 |
|-----------------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 20 | 5,23 | 5,12 | 5,02 | 4,92 | 4,81 | 4,71 | 4,60 | 4,50 | 4,40 | 4,29 |
| 21 | 5,58 | 5,48 | 5,38 | 5,27 | 5,17 | 5,06 | 4,96 | 4,86 | 4,75 | 4,65 |
| 22 | 5,94 | 5,83 | 5,73 | 5,63 | 5,52 | 5,42 | 5,31 | 5,21 | 5,11 | 5,00 |
| 23 | 6,29 | 6,19 | 6,09 | 5,98 | 5,88 | 5,77 | 5,67 | 5,57 | 5,46 | 5,36 |
| 24 | 6,65 | 6,54 | 6,44 | 6,34 | 6,23 | 6,13 | 6,02 | 5,92 | 5,82 | 5,71 |
| 25 | 7,00 | 6,90 | 6,80 | 6,69 | 6,59 | 6,48 | 6,38 | 6,28 | 6,17 | 6,07 |
| 26 | 7,36 | 7,25 | 7,15 | 7,05 | 6,94 | 6,84 | 6,73 | 6,63 | 6,53 | 6,42 |
| 27 | 7,71 | 7,61 | 7,51 | 7,40 | 7,30 | 7,19 | 7,09 | 6,99 | 6,88 | 6,78 |
| 28 | 8,07 | 7,96 | 7,86 | 7,76 | 7,65 | 7,55 | 7,44 | 7,34 | 7,24 | 7,13 |

Zdroj: vlastní

Pokud by provozovatel CNG autobusů čerpal CNG v plnicí stanici plynové společnosti, byl by rozdíl pravděpodobně výrazný a z tohoto důvodu považují elektrický pohon za výhodnější.

Kromě ceny vstupů se liší i výsledná spotřeba v závislosti na okolí, stylu jízdy a podobně. Proto uvádím v tabulce 17 další porovnání v závislosti na spotřebě daného pohonu.

Tabulka 17: Porovnání kilometrických nákladů v závislosti na průměrné spotřebě²

| kWh kg | 0,95 | 1,05 | 1,15 | 1,25 | 1,35 | 1,45 | 1,55 | 1,65 | 1,75 | 1,85 |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,29 | 1,87 | 1,67 | 1,47 | 1,27 | 1,07 | 0,87 | 0,67 | 0,47 | 0,27 | 0,07 |
| 0,32 | 2,26 | 2,06 | 1,86 | 1,66 | 1,46 | 1,26 | 1,06 | 0,86 | 0,66 | 0,46 |
| 0,35 | 2,65 | 2,45 | 2,25 | 2,05 | 1,85 | 1,65 | 1,45 | 1,25 | 1,05 | 0,85 |
| 0,38 | 3,04 | 2,84 | 2,64 | 2,44 | 2,24 | 2,04 | 1,84 | 1,64 | 1,44 | 1,24 |
| 0,41 | 3,43 | 3,23 | 3,03 | 2,83 | 2,63 | 2,43 | 2,23 | 2,03 | 1,83 | 1,63 |
| 0,44 | 3,82 | 3,62 | 3,42 | 3,22 | 3,02 | 2,82 | 2,62 | 2,42 | 2,22 | 2,02 |
| 0,47 | 4,21 | 4,01 | 3,81 | 3,61 | 3,41 | 3,21 | 3,01 | 2,81 | 2,61 | 2,41 |
| 0,50 | 4,60 | 4,40 | 4,20 | 4,00 | 3,80 | 3,60 | 3,40 | 3,20 | 3,00 | 2,80 |

Zdroj: vlastní

V případě, že by spotřeba elektrické energie byla zdatně vyšší než předpokládaná, byl by pohon na CNG s elektrickým srovnatelný. V ostatních případech jsou nižší kilometrické náklady elektrického.

Důležitým faktorem ve srovnání těchto dvou technologií je však také cena infrastruktury umožňující provoz vozidel využívajících tyto pohony. Jak bylo již uvedeno, plnicí stanice na CNG může být vybudována buď plynárenskou společností, nebo provozovatelem vozidel. Z předchozích tabulek jednoznačně vyplývá, že druhá možnost je pro provozovatele jednoznačně výhodnější, pokud má být provoz autobusů na CNG srovnatelný s provozem elektrobuses. Dle mého názoru je tedy vhodné srovnávat investiční náklady na výstavbu plnicí stanice s náklady na výstavbu dobíjecích stanic. Samozřejmě je také nutné disponovat potřebným pozemkem, kde by se tato stanice mohla vybudovat. Nejčastěji je to v areálu provozovatele. Pro zajištění efektivního provozu elektrobuses je požadavkem vybudování dobíjecích stanic i mimo areál provozovatele – nejčastěji na konečných zastávkách. To může být v případě nedostatku prostoru u konečné stanice neřešitelným problémem.

Jak již bylo zmíněno, CNG autobusy pro svůj provoz potřebují vybudování plnicí stanice. Elektrobuses zase potřebují dobíjení. Investice do plnicí stanice CNG lze odhadnout na cca 30 000 000 Kč, pokud jí bude budovat provozovatel autobusů. Proti tomu dobíjecí stanice pro elektrobuses v areálu provozovatele může být postavena výrazně levněji (cca do 1 000 000 Kč, záleží na počtu dobíjecích stanic). Rozdíl však nastává, pokud by elektrobuses byly dobíjeny na trase (investice cca 400 000 Kč na jedno dobíjecí místo). Zde by logicky celková investice rostla spolu s počtem dobíjecích míst.

² Cena 2 Kč za kWh a 13 Kč za 1 kg CNG

Tabulka 18: Srovnání investičních nákladů na plnicí a nabíjecí stanici na trase

| Investiční náklady | Druh infrastruktury | Cena jedné stavby | Počet staveb |
|--------------------|---------------------|-------------------|--------------|
| 30 000 000 Kč | plnicí stanice | 30 000 000 Kč | 1 |
| 30 000 000 Kč | dobíjecí stanice | 400 000 Kč | 75 |

Zdroj: Dopravní podnik města Pardubic, Dopravní podnik hlavního města Prahy

Z finančního hlediska jsou investiční náklady nesrovnatelné. Náklady na vybudování dobíjecí stanice však lze jen stěží vyčíslit obecně, protože mohou dosahovat hodnot nižších nebo vyšších, než je uvedené. Ovšem náklady by měly být výrazně nižší než na vybudování plnicí stanice. U obou však je možné náklady svým způsobem kompenzovat. V případě plnicích stanic na CNG není výjimkou, že jsou veřejně dostupné a podle mého názoru není důvod, proč by nemohlo být využíváno i dobíjecích stanic podobným způsobem. Samozřejmě je žádoucí vymezit určitý čas, ve kterém je možné stanice využívat, protože především v případě elektrobuseů je nutné jejich přednostní nabíjení kvůli dodržení intervalů na lince. Veřejné dobíjecí stanice by tak pomohly rozvoji elektromobility, což by mělo pozitivní vliv na návratnost investice do dobíjecích stanic.

Rozdílem je také flexibilita obou pohonů. Autobus využívající CNG má mnohem vyšší dojezd než elektrobuse. Dojezd souvisí s počtem tlakových nádrží umístěných na vozidle a pohybuje se nad 400 km. Díky tomu není většinou nutné doplňovat palivo v průběhu dne a autobus tak může být využíván v provozu bez přestávek. Oproti tomu elektrobuse nedosahují většinou ani poloviny této úrovně. Díky tomu musejí být při užívání dobíjeny, aby mohly sloužit podobně jako CNG autobusy.

3.2 Výběr konkrétního vozidla

Na trhu existuje několik modelů elektrobuseů a je nutné mezi nimi volit, protože každý disponuje jinými parametry, které souvisí s provozem. Jedná se především o kapacitu elektrobuse, spotřeba energie, způsob vytápění a podobně.

Tabulka 19: Porovnání parametrů elektrobuseů

| | Siemens Rampini | SOR ENB | Solaris Urbino |
|-----------------------------|-----------------|--------------|----------------|
| Délka (mm) | 7 720 | 10 370 | 12 000 |
| Počet sedadel | 13 | 19 | 34 |
| Kapacita akumulátoru (kWh) | 96 | 230 | 240 |
| Vytápění | Elektrické | Naftové | Elektrické |
| Odhadovaná spotřeba (kW/km) | 1,00 | 0,90 | 1,04 |
| Odhadovaná pořizovací cena | 11 000 000 Kč | 9 000 000 Kč | 12 000 000 Kč |
| Způsob dobíjení | Trakční vedení | Dobíjecí st. | Variabilní |

Zdroj: [9]

Dle tabulky 19 je zdánlivě nejvýhodnější nákup elektrobusu SOR, ovšem disponuje naftovým topením a jeho obsaditelnost je nižší než u klasických autobusů, což by mohl být například v Pardubicích na lince 10 problém. Proti tomu Solaris Urbino 12 electric má topení elektrické, díky čemuž je plně bezemisní. Podle názvu je patrná i jeho délka (12 m), ze které pramení dobrá obsaditelnost. Další výhodou je možnost instalace různých druhů dobíjení (z trakčního vedení, indukční, z dobíjecí stanice). Proto bych pro provoz použil právě Solaris Urbino.

3.3 Konkrétní příklad využití elektrobusů na lince (Pardubice)

Jak již bylo zmíněno, v Dopravním podniku města Pardubic jsou využívány autobusy poháněné CNG. Byly zde několikrát testovány i elektrobusy. Vzhledem k částečné nezávislosti na dobíjení se dle mého názoru elektrobusy hodí v pardubickém prostředí spíše na linky, jimiž dopravní podnik obsluhuje okolní obce. Ve městě je totiž trolejové vedení, které umožňuje provoz trolejbusů, a proto je lepší zde využívat trolejbusy, jejichž technologie je dlouhodobě vyzkoušená, než elektrobusy. Je také potřeba zmínit, že pro zachování životnosti baterií by se měly vybíjet maximálně zhruba z 80 %.

V Pardubicích připadají v úvahu především linky 9, 10, 12, 14, 15, 16, 18, 24 a 28. Já jsem vybral linku 10 (Ostřešany,točna – Ohrazenice,točna) a 18+918 (Mikulovice,Staňkova – Živanice,Nerad). Pro plánování jízdy autobusu je také nutné brát v úvahu specifika jízdního řádu. V Pardubicích je to odlišný provoz v období školní docházky (1. 9. – 30. 6.), prázdninovém období (1. 7. – 30. 8.) a období sobot, neděl a státních svátků.

3.3.1 Linka 18+918 (Mikulovice,Staňkova – Živanice,Nerad)

Provoz na lince 18+918 se v rámci prázdninového období mění jen minimálně, proto je možné ho určit na obě období zároveň a jiné bude pouze v rámci sobot, neděl a státních svátků. Protože elektrobusy zatím nejsou vhodné na celodenní provoz, bude nutné najít nějaké místo dobíjení.

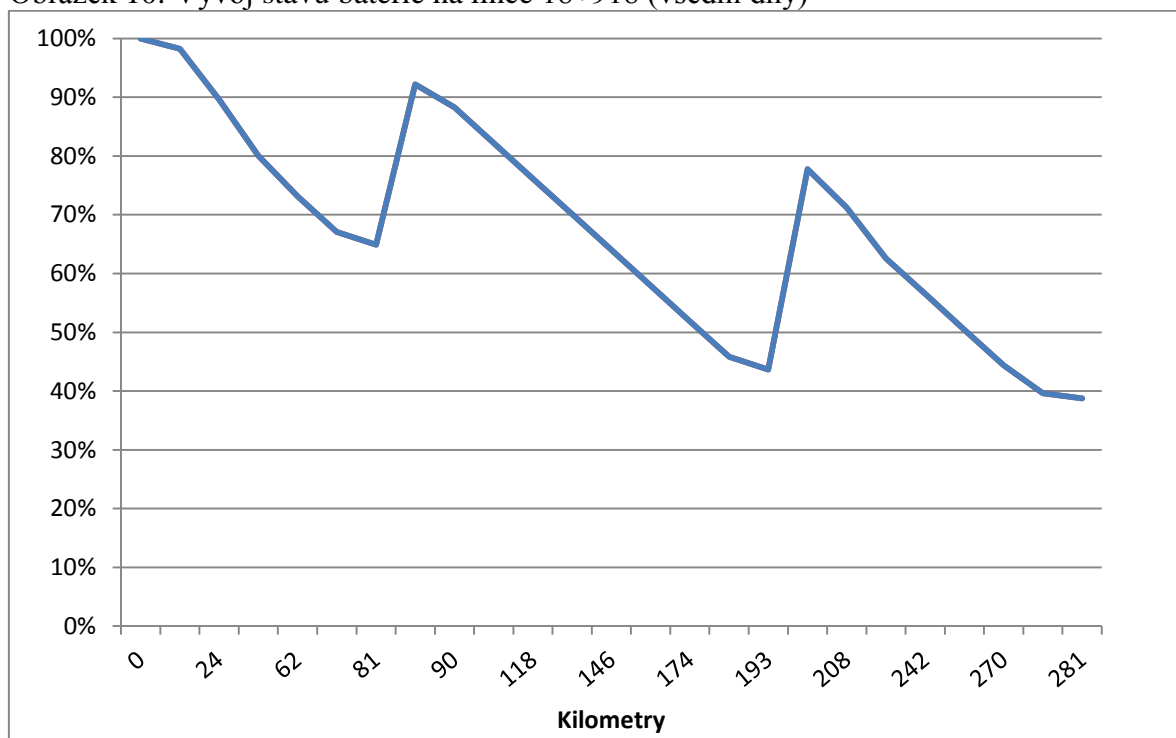
Protože některé ze spojů na této lince mají konečnou stanici na zastávce Hlavní nádraží, budou náklady na dobíjecí stanici nízké díky blízkosti trakčního vedení. Je však nutné provést některé úpravy na lince. Tím bude navázání na spoj z Černé u Bohdanče na zastávce Hlavní nádraží,Albert HM. To se uskuteční po prvním dobíjení na zastávce Hlavní nádraží. To nastane ve dvou případech. Naplánované ukončení spoje je pak na zastávce Na Spravedlnosti ve 21:41, kvůli dostatku času na pomalé dobíjení ve vozovně.

Elektrobus by měl jezdit podle následujícího harmonogramu:

- 5:10 výjezd na linku,
- 5:36 první spoj ze zastávky Dražkovice
- 9:15 první nabíjení na zastávce Hlavní nádraží (20 minut),
- 9:59 pokračování v provozu,
- 15:55 druhé nabíjení na zastávce Hlavní nádraží (25 minut),
- 16:56 pokračování v provozu,
- 21:39 ukončení provozu na zastávce Na Spravedlnosti,
- 22:00 zahájení nočního nabíjení.

Dle plánu by se elektrobus mohl dobíjet 7 hodin, než by musel znovu vyrazit na linku. Na následujícím obrázku je pak uveden průběžný stav baterie podle ujeté vzdálenosti a po dobíjení.

Obrázek 10: Vývoj stavu baterie na lince 18+918 (všední dny)



Zdroj: vlastní

Z obrázku 10 vyplývá, že elektrobus na linkách denně ujede 281 kilometrů, což je vyšší vzdálenost než ujedou naftové autobusy (kolem 250 km). Díky tomu by měla být zdůrazněna jeho konkurenční výhoda, kterou jsou nízké náklady na pohon.

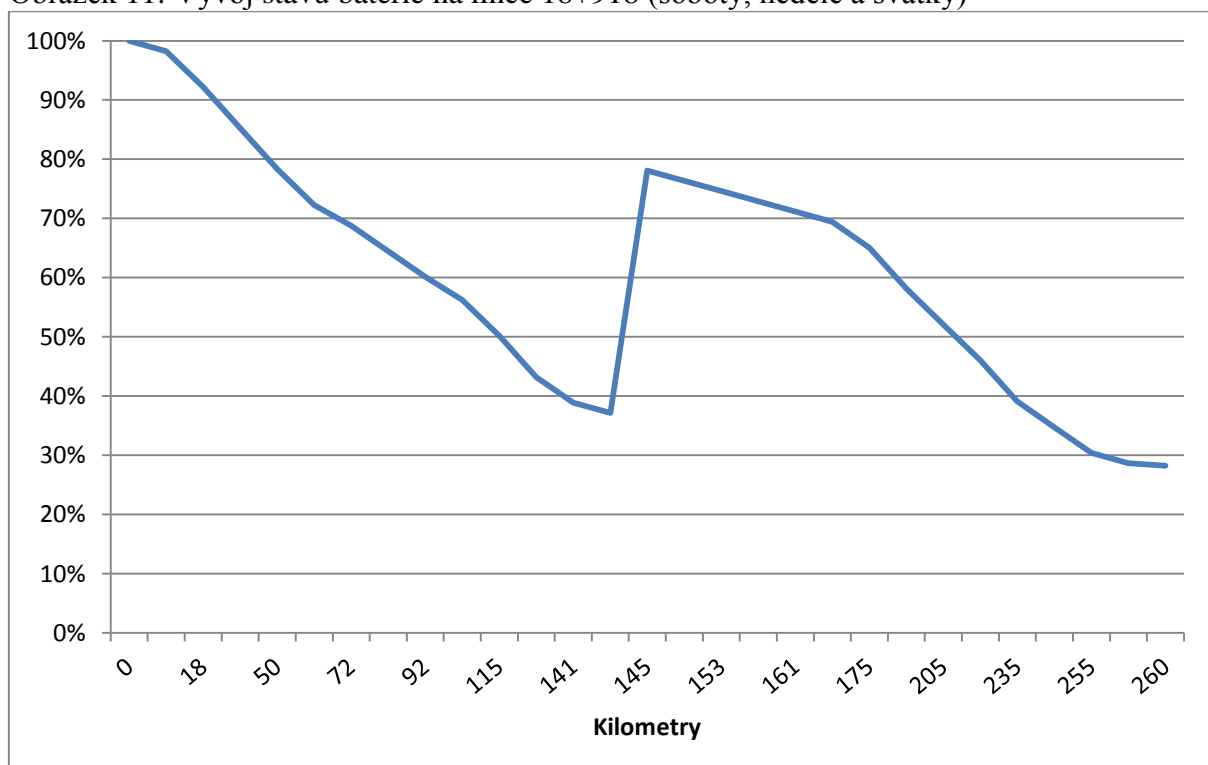
O sobotách, nedělích a státních svátcích bude provoz odlišný. Dobíjet se bude opět na hlavním nádraží, ovšem elektrobus bude sloužit i na lince 33 (Globus – Hlavní nádraží – Globus). Proti všedním dnům bude elektrobus končit na zastávce Gorkého.

Obsluha zastávek by probíhala dle harmonogramu takto:

- 6:10 výjezd na linku,
- 6:23 první spoj ze zastávky Dražkovice,
- 13:20 ze zastávky Globus obsluha linky 33,
- 13:34 nabíjení na zastávce Hlavní nádraží (30 minut),
- 14:06 pokračování ze stanice Hlavní nádraží jako linka 33,
- 15:39 ze zastávky Globus pokračování na lince 18+918,
- 20:43 ukončení provozu na zastávce Gorkého,
- 21:00 zahájení nočního nabíjení.

Dle harmonogramu by elektrobus mohl být nabíjen až zhruba do 6:00 resp. 5:00, což poskytuje nabíjecí čas 9 resp. 8 hodin. Tento čas je pro nabíjení elektrobusu dostatečný a při dodržení harmonogramu by neměl být problém s jeho ranním odjezdem na linku jak v neděli, tak například v pondělí či den po státním svátku.

Obrázek 11: Vývoj stavu baterie na lince 18+918 (soboty, neděle a svátky)



Zdroj: vlastní

Elektrobus by měl být o víkendech využíván na 25 spojích, ovšem protože jsou spoje kratší, je vzdálenost, kterou ujede nižší než ve všední dny a to 260 km.

Pokud za rok budeme předpokládat 251 pracovních dnů a 80% disponibilitu vozidla, ujel by elektrobus zhruba 80 000 km ročně v rámci linky 18+918.

3.3.2 Linka 10 (Ostřešany,točna – Ohrazenice,točna)

Na lince 10 je provoz dosti odlišný v prázdninovém období i období školní docházky. Proto je nutné připravit 3 různé varianty provozu. Protože spoje z linky 10 nekončí na zastávce s trakčním vedením, budou náklady na vybudování dobíjecí stanice vyšší než v případě linky 18+918. Stanice by byla vybudována na zastávce Cihelna,točna, kde je možné využít některých delších intervalů mezi spoji.

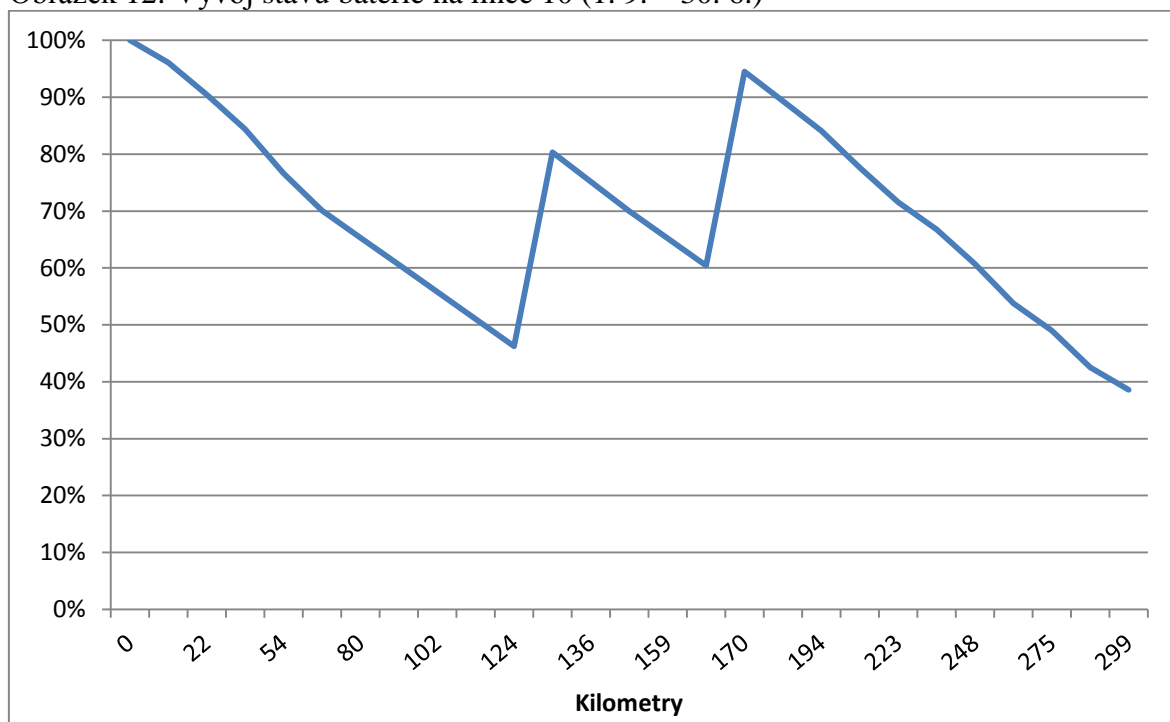
Elektrobus by linku od 1. 9. do 30. 6. obsluhoval dle následujícího harmonogramu:

- 4:30 výjezd na linku,
- 4:34 první spoj ze zastávky Dukla,vozovna,
- 10:20 první nabíjení na zastávce Cihelna,točna (25 minut),
- 10:48 pokračování v provozu,
- 13:18 druhé nabíjení na zastávce Cihelna,točna (25 minut),
- 13:45 pokračování v provozu,
- 20:28 ukončení provozu na zastávce Dopravní podnik,
- 20:30 zahájení nočního nabíjení.

Oproti původní lince bylo nutné posunout časy jednoho spoje ze zastávky Cihelna,točna a to z původních 13:43 na 13:45, což je podle mého názoru jen kosmetická úprava v rámci linky. Dále je upravena i konečná stanice, jíž je u posledního spoje zastávka Dopravní podnik. Pro dobíjení by měl mít pak elektrobus k dispozici 8 hodin, což by mělo být dostačující.

Elektrobus by také neobsloužil všechny spoje na dané lince, což nepokládám za problém, protože u naftového autobusu je podobný scénář provozu.

Obrázek 12: Vývoj stavu baterie na lince 10 (1. 9. – 30. 6.)



Zdroj: vlastní

Dle plánu by elektrobus ve dnech školní docházky ujel na linkách 299 km, což je dle mého názoru výborná hodnota.

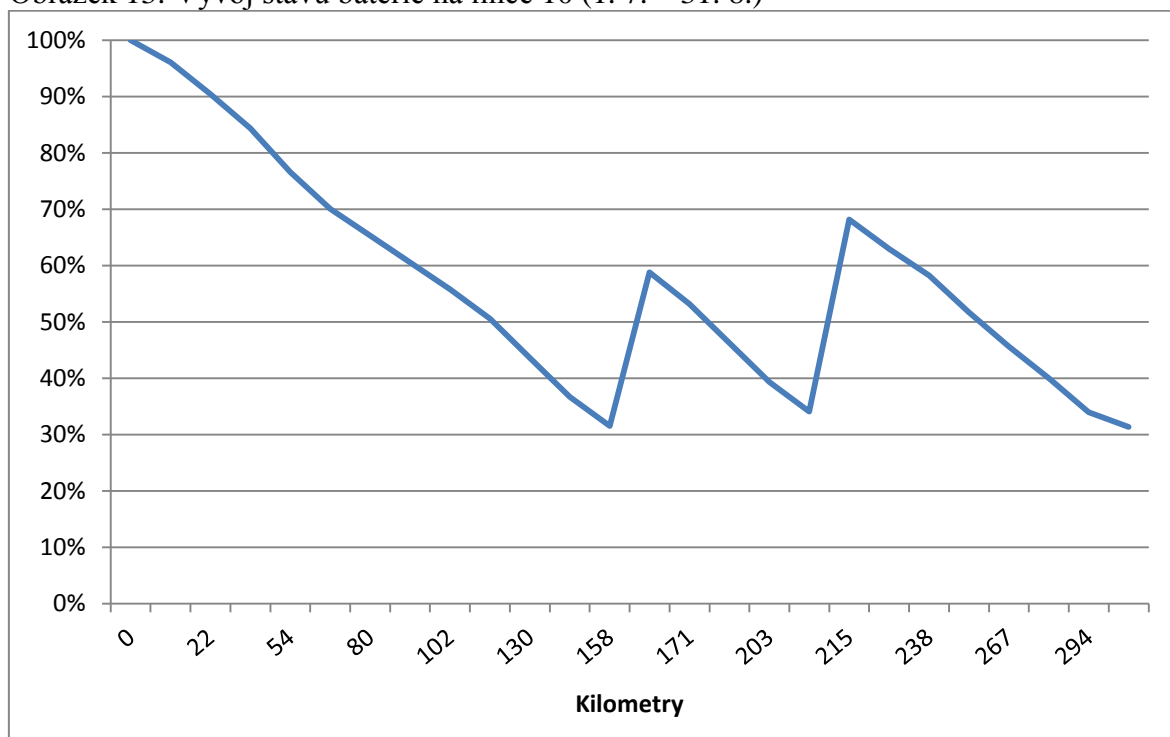
V období 1. 7. – 31. 8. bude mít elektrobus částečně jiný harmonogram, se kterým souvisí i jiný průběh jízd na lince.

Harmonogram:

- 4:30 výjezd na linku,
- 4:34 první spoj ze zastávky Dukla,vozovna,
- 12:20 první nabíjení na zastávce Cihelna,točna (20 minut),
- 12:41 pokračování v provozu,
- 15:32 druhé nabíjení na zastávce Cihelna,točna (20 minut),
- 15:53 pokračování v provozu,
- 19:58 ukončení provozu na zastávce Dopravní podnik,
- 20:00 zahájení nočního nabíjení.

Na lince je znovu upravena konečná zastávka, kterou je také zastávka Dopravní podnik. Odjezd je změněn po prvním nabíjení (z 12:32 na 12:41) a u dalších 3 spojů kvůli druhému nabíjení.

Obrázek 13: Vývoj stavu baterie na lince 10 (1. 7. – 31. 8.)



Zdroj: vlastní

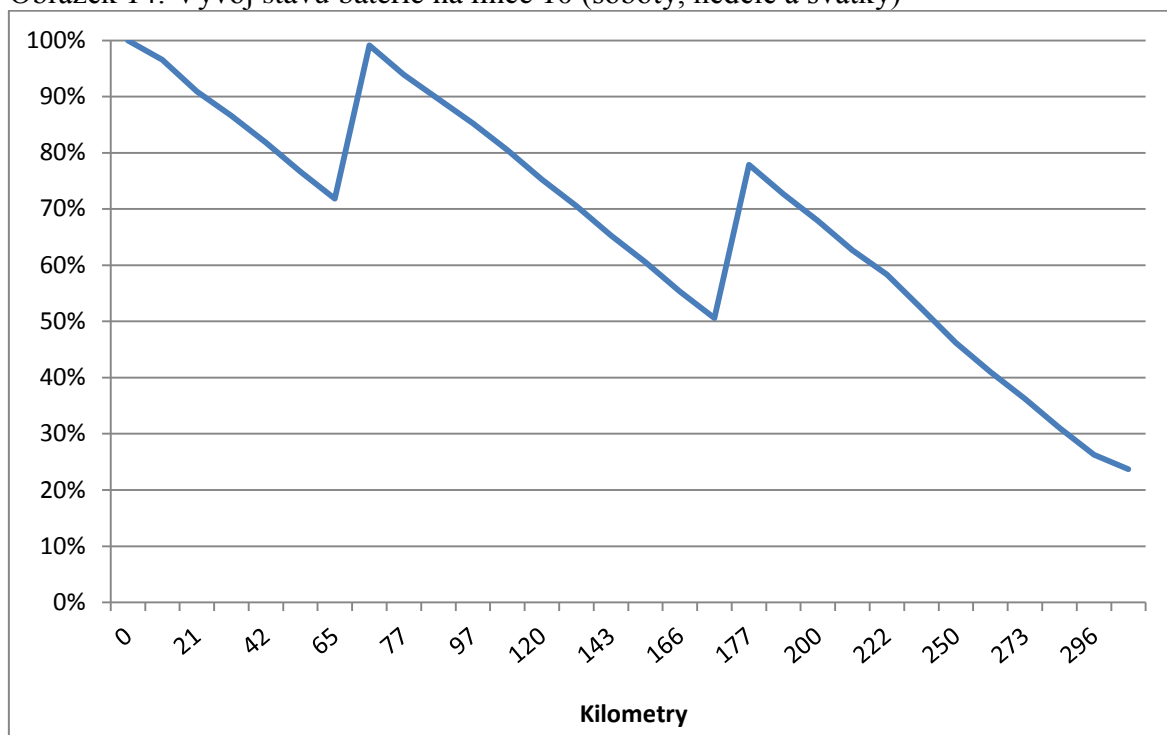
V prázdninovém období by elektrobus měl ujet vzdálenost 300 km, což je v podstatě vzdálenost shodná s obdobím školní docházky.

Pro období víkendů a státních svátků je pak harmonogram následující:

- 4:30 výjezd na linku,
- 5:04 první spoj ze stanice Ostřešany,točna,
- 7:40 první nabíjení na zastávce Cihelna,točna (20 minut),
- 8:08 pokračování v provozu,
- 13:48 druhé nabíjení na zastávce Cihelna,točna (20 minut),
- 14:09 pokračování v provozu,
- 20:41 ukončení provozu na zastávce Dopravní podnik,
- 20:45 zahájení nočního nabíjení.

I o víkendu je jako konečná zastávka zařazen Dopravní podnik. Bylo také nutné změnit čas odjezdu jednoho spoje o 3 minuty (14:06 na 14:09).

Obrázek 14: Vývoj stavu baterie na lince 10 (soboty, neděle a svátky)



Zdroj: vlastní

V období víkendu a svátků je naplánováno ujetí 302 kilometrů, což je srovnatelná hodnota s předchozími obdobími.

Na lince 10 by tedy elektrobus měl ujet v jednotlivých obdobích 299, 300 a 302 kilometrů. Budu uvažovat 208 dní v období 1. 9. – 30. 6., 43 dní v období 1. 7. – 31. 8. a zbylé dny víkendu a svátky. V tomto případě tedy elektrobus při započítání 80% disponibility celkově ujede téměř 88 000 km.

3.4 Konkrétní příklad využití elektrobusů na lince (Praha)

V Praze jsou pro MHD výrazně odlišné podmínky než v Pardubicích. Historickým vývojem je dáno používání tramvají oproti trolejbusům v Pardubicích. Další významnou odlišností jsou výrazně kratší intervaly mezi spoji, které v podstatě znemožňují využití elektrobusů na současné autobusové lince bez její modifikace. V Praze už také elektrobusy byly provozovány a to na lince 216 a 292, proto se zaměřím právě na tyto linky.

3.4.1 Linka 216 (Bořislavka – Poliklinika Petřiny)

Na lince 216 by bylo vhodnější elektrobus dobíjet na konečné zastávce Poliklinika Petřiny, kde už dobíjecí místo bylo dříve vybudováno. Ovšem jednou ze zastávek je Vozovna Střešovice, kde by vybudování infrastruktury pro dobíjení mělo být levnější. Protože intervaly na lince mají hodnotu 1 (Bořislavka) a 4 minuty (Poliklinika Petřiny), je jasné, že pro

zavedení elektrobuse do provozu na této lince bude muset být nějaký spoj vynechán či zajištěn autobusem. Z důvodu dlouhého provozu na lince (5:26 – 23:52) budou i pozdější spoje nahrazeny jiným dopravním prostředkem.

Harmonogram s dobíjením u Polikliniky Petřiny by mohl vypadat takto:

- 5:10 výjezd na linku,
- 5:26 první spoj ze zastávky Poliklinika Petřiny,
- 11:24 první nabíjení na zastávce Poliklinika Petřiny (20 minut),
- 11:56 pokračování v provozu,
- 17:24 druhé nabíjení na zastávce Poliklinika Petřiny (20 minut),
- 16:56 pokračování v provozu,
- 20:54 ukončení provozu na zastávce Bořislavka,
- 21:15 zahájení nočního nabíjení.

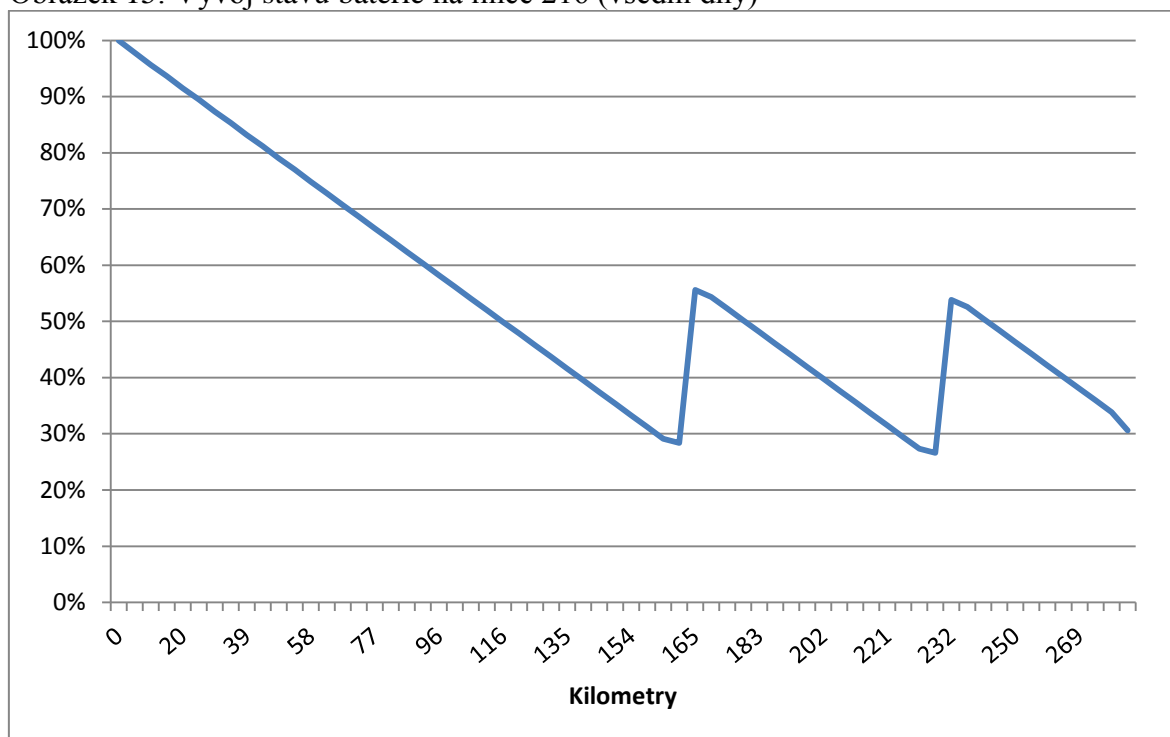
Proti tomu dobíjení ve vozovně Střešovice:

- 5:10 výjezd na linku,
- 5:26 první spoj ze zastávky Poliklinika Petřiny,
- 13:47 první nabíjení na zastávce Vozovna Střešovice (20 minut),
- 14:14 pokračování v provozu,
- 17:47 druhé nabíjení na zastávce Vozovna Střešovice (20 minut),
- 18:14 pokračování v provozu,
- 20:54 ukončení provozu na zastávce Bořislavka,
- 21:15 zahájení nočního nabíjení.

Kromě finančního rozdílu je i rozdíl v rozsahu úprav na lince. Při dobíjení u Polikliniky Petřiny by bylo nutné 4 spoje vynechat úplně. Při dobíjení ve Vozovně Střešovice by pak 2 spoje byly vynechány a další 4 zkráceny.

Dle mého názoru je tedy varianta dobíjení ve vozovně jasně výhodnější. Především z důvodu jednodušších podmínek pro dobíjení elektrobuse, s kterým by souvisely i nižší náklady na budování potřebné infrastruktury. Úpravy linky v této variantě jsou také menšího charakteru než při dobíjení u Polikliniky Petřiny.

Obrázek 15: Vývoj stavu baterie na lince 216 (všední dny)



Zdroj: vlastní

Při tomto scénáři by elektrobuses ujel na lince 216 asi 286 kilometrů. Což není podle mého názoru špatná hodnota, ovšem elektrobuses nemůže obsluhovat všechny spoje na lince, především kvůli nočnímu dobíjení.

O víkendech a státních svátcích bude provoz vypadat jinak, protože dochází k omezení počtu spojů.

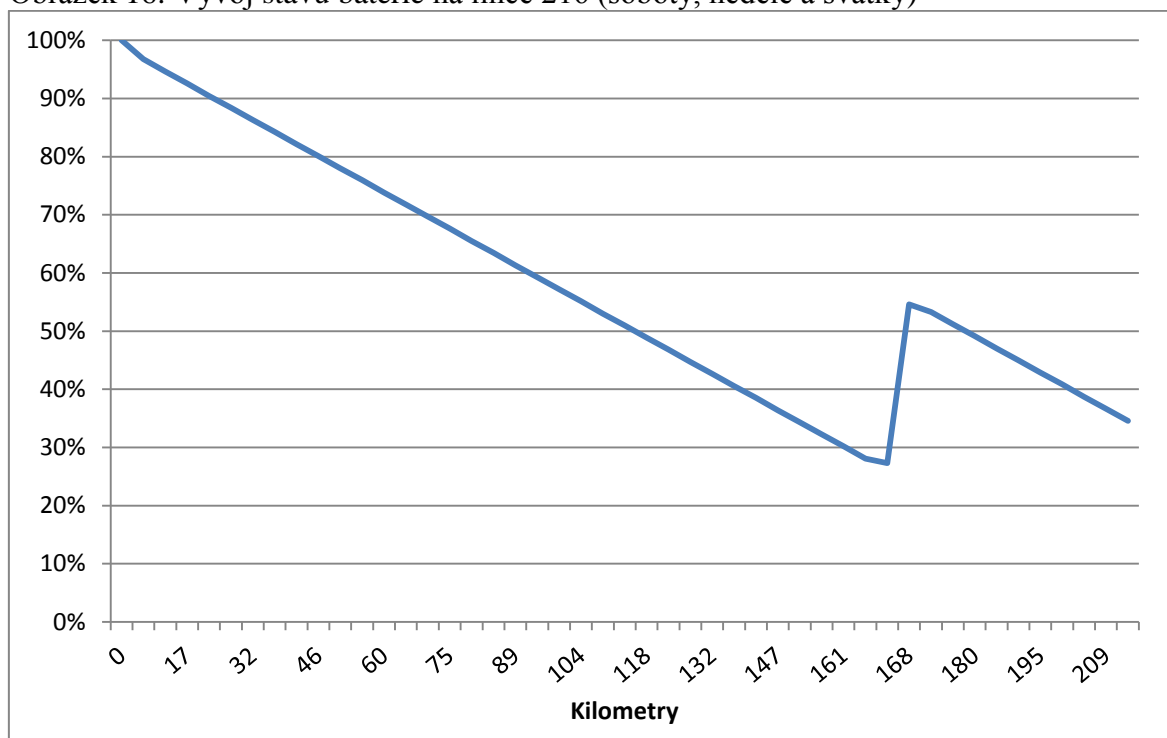
Harmonogram pro soboty, neděle a svátky by mohl vypadat takto:

- 5:20 výjezd na linku,
- 5:40 první spoj ze zastávky Bořislavka,
- 17:02 nabíjení na zastávce Vozovna Střešovice (20 minut),
- 17:44 pokračování v provozu,
- 20:52 ukončení provozu na zastávce Poliklinika Petřiny,
- 21:15 zahájení nočního nabíjení.

V průběhu provozu by musel být jeden spoj vynechán a dva spoje zkráceny. Vynechán by byl spoj v 17:10 ze zastávky Poliklinika Petřiny na Bořislavku. Zkrácené by byly spoje v 16:55 ze zastávky Bořislavka – ten by končil zastávkou Vozovna Střešovice v 16:59.

Druhým zkráceným spojem by byl spoj z Božislavky v 17:40, který by začínal ve Vozovně Střešovice v 17:44.

Obrázek 16: Vývoj stavu baterie na lince 216 (soboty, neděle a svátky)



Zdroj: vlastní

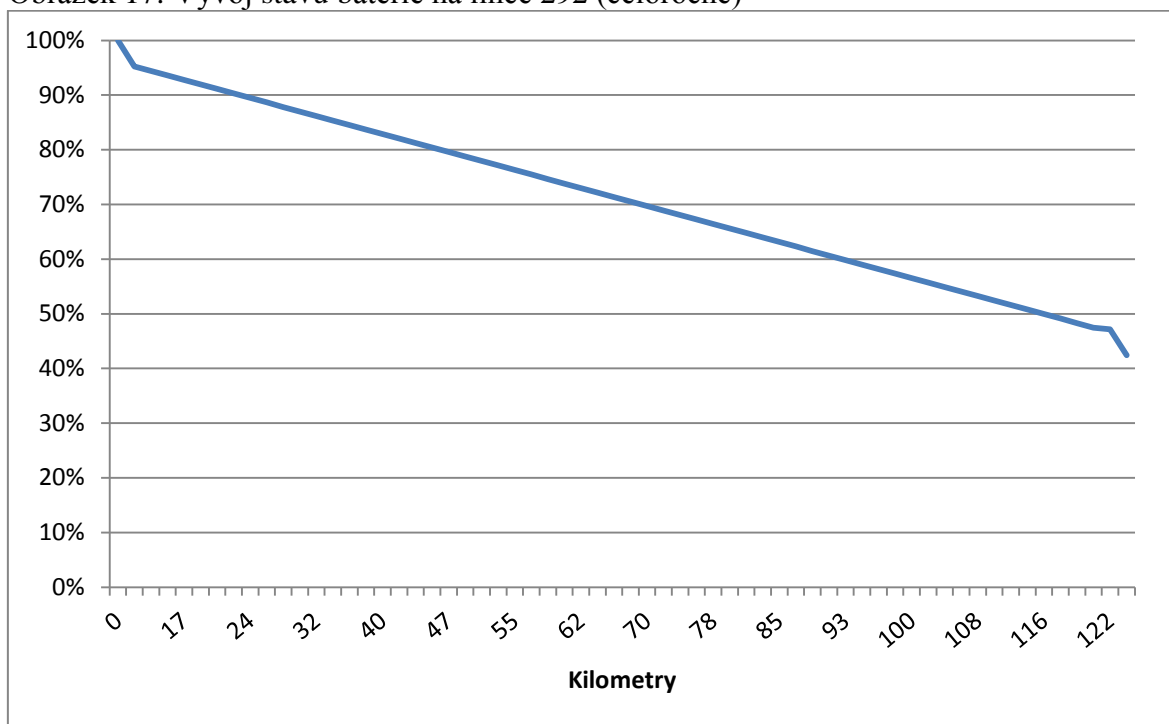
Víkend a dny státního svátku zapříčiní malé využívání elektrobuse, kdy ujede pouze málo přes 209 kilometrů, což je sice malá hodnota, ale ani standardní autobus by za těchto podmínek nedosahoval výrazně vyšších hodnot.

Celkově by tak elektrobuse na lince 216 při započítání 251 pracovních dní měl přibližně ujet 76 500 kilometrů, pokud uvažují 80 % dostupnost.

3.4.2 Linka 292 (Nemocnice pod Petřínem – Nemocnice pod Petřínem)

Linka 292 je ze všech uvedených linek nejméně komplikovaná a je pro provoz elektrobuse velmi vhodná. Četnost spojů a krátká délka linky umožňují plně nahradit provoz konvenčního autobusu elektrobusem s nabíjením přes noc ve vozovně. Linka se tedy logicky ani nemusí nijak upravovat.

Obrázek 17: Vývoj stavu baterie na lince 292 (celoročně)



Zdroj: vlastní

Na obrázku 17 je potvrzení možnosti plného provozu linky 292 pouze díky elektrobuse, který by měl denně ujet zhruba 133 kilometrů. Díky takto malé hodnotě by tedy při započtení 80 % disponibility elektrobuse ujel přibližně 39 000 kilometrů ročně na lince 292. Pokud by byl požadavek stálého provozu elektrobuse na této lince, nebyla by jiná možnost, než využívat dva elektrobuse, což však platí pro všechny uvedené případy.

4 Zhodnocení nákladů na realizaci návrhu

Protože alternativní pohony autobusů jsou v ohledu pořizovacích nákladů finančně náročnější než konvenční autobusy, je nutné propočítat návratnost vložené investice v podobě úspor na provozních nákladech. Velkou roli pak zde mohou hrát případné drahé opravy, díky nimž by celý koncept levnějšího provozu autobusů selhal. Protože tyto náklady nelze předem odhadnout, lze jenom počítat s určitou finanční rezervou, která by opravy měla případně pokrýt.

4.1 Náklady na zavedení elektrobusů v Pardubicích

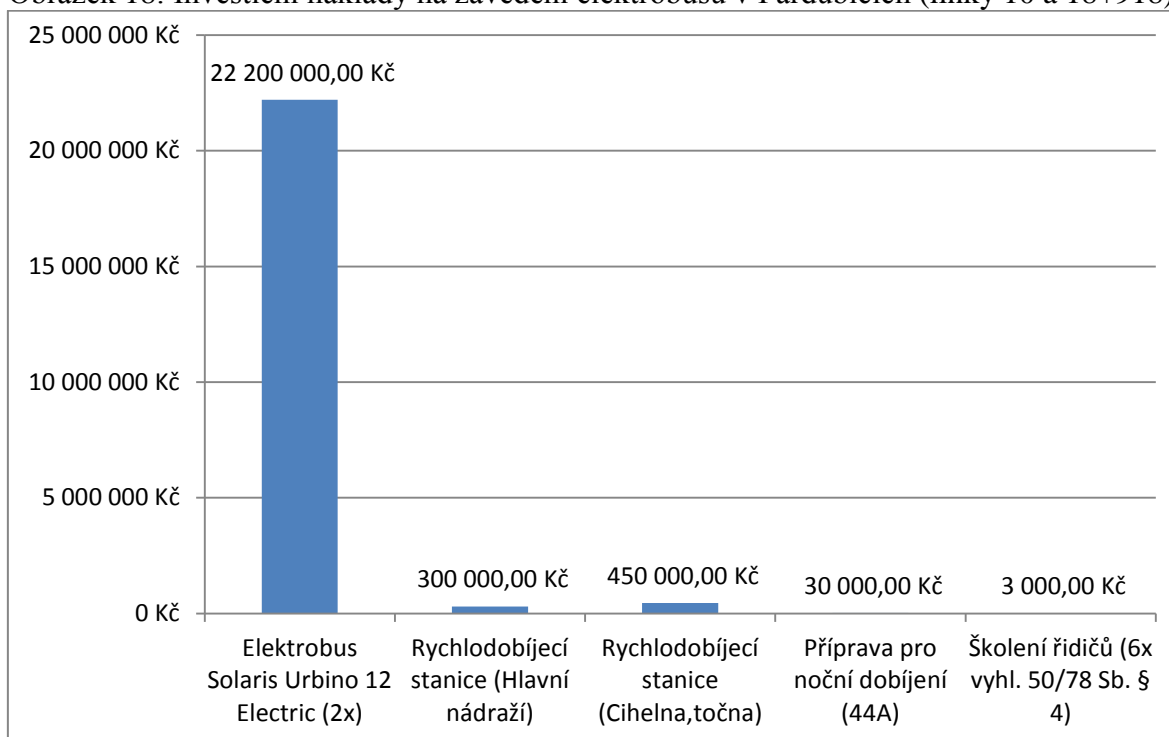
Pro zavedení elektrobusů na linky 10 a 18+918 by bylo nutné vybudovat dvě dobíjecí stanice, a to na zastávkách Hlavní nádraží a Cihelna, točna. Upravit by se také musela část elektroinstalace, aby bylo možné v areálu dopravního podniku nabíjet elektrobusy přes noc.

Pro provoz na obou linkách je logicky potřeba mít alespoň 2 elektrobusy. Z mého pohledu je to rozumný scénář, který snižuje riziko nákupu většího množství vozidel, které by se pak v praxi neosvědčily. Dva elektrobusy na druhou stranu sníží riziko koupi jednoho poruchového vozidla a v případě, že by byly poruchové oba, nejednalo by se pravděpodobně o náhodu. Proto budu uvažovat nákup dvou kusů autobusů.

Protože trh s elektrobusy není tak rozsáhlý jako trh s konvenčními autobusy, nemá dopravní podnik moc možností na výběr. Jak již bylo výše uvedeno, elektrobus Siemens Rampini disponuje příliš malou obsaditelností a SOR EBN 10,5 zase naftovým topením. Z tohoto důvodu tedy byl zvolen elektrobus Solaris Urbino 12 Electric.

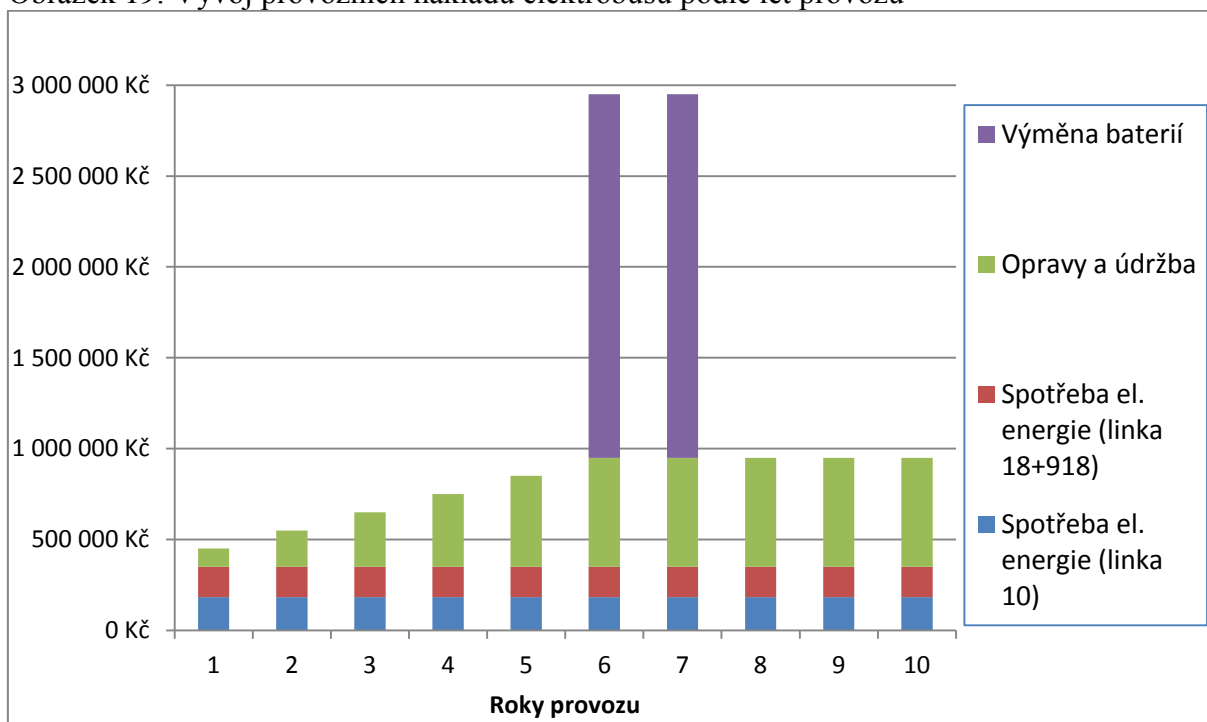
Kromě částky na nákup elektrobusu budu uvažovat i částku na dovybavení, např. odbavovacím systémem apod. ve výši 100 000 Kč. Dalšími investičními náklady pak musí bezpodmínečně být náklady na výstavbu rychlodobíjecích stanic, příprava elektroinstalace pro noční dobíjení ve vozovně a také školení řidičů z vyhlášky 50/78 Sb. § 4.

Obrázek 18: Investiční náklady na zavedení elektrobuseů v Pardubicích (linky 10 a 18+918)



Zdroj: Solaris, Dopravní podnik hlavního města Prahy, vlastní

Obrázek 19: Vývoj provozních nákladů elektrobuseů podle let provozu



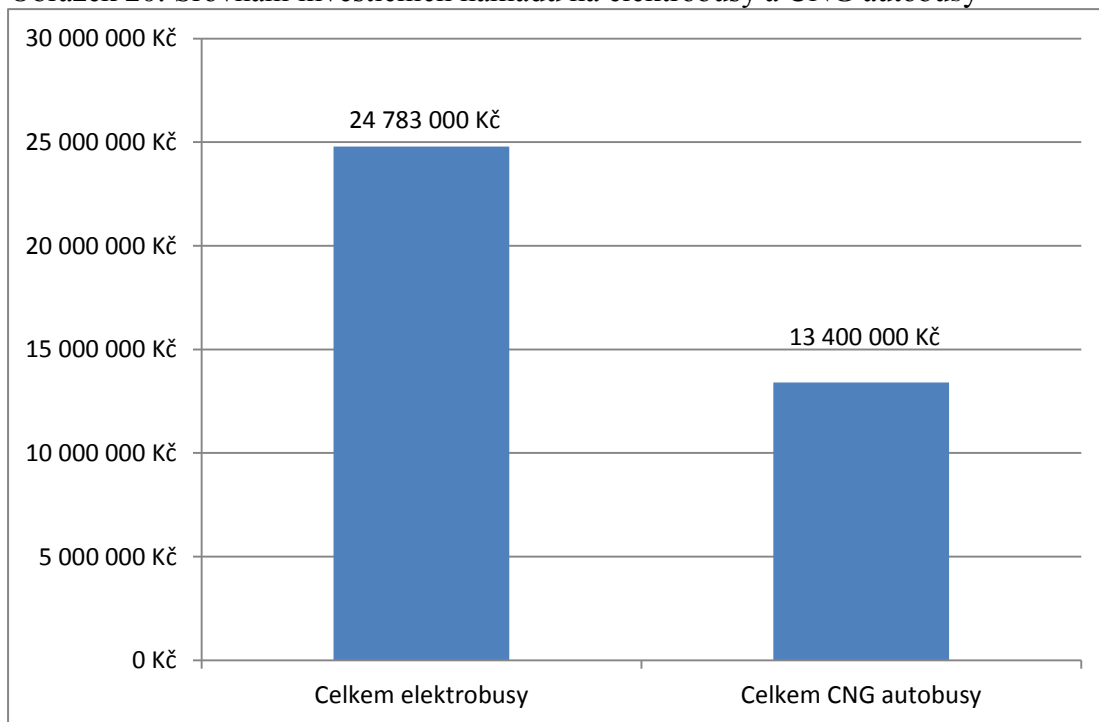
Zdroj: vlastní

Jak ukazuje obrázek 19, jasně největší položkou uvažovaných provozních nákladů jsou náklady spojené s výměnou akumulátorů zhruba v polovině životnosti elektrobuse. Výměna by tak byla prováděna po zhruba 400 000 ujetých kilometrů. Pokud by akumulátory

vykazovaly ještě dostatečnou schopnost udržet elektrickou energii, lze k výměně přistoupit i později. Ani díky šetrnému zacházení však nelze zajistit životnost podobnou konvenčním pohonům, a proto je jejich výměna jistá. V údajích uvažuji cenu 2 miliony Kč na jeden elektrobuse. V této částce by měla být zahrnuta cena akumulátorů, náklady na montáž i recyklace použitých akumulátorů zajištěnou externí firmou nebo výrobcem elektrobuse.

Protože konkurentem elektrobuse budou v případě Pardubic autobusy s pohonem na CNG, je třeba uvést i náklady na podobnou investici. Zvolil bych autobusy Iveco Urbanway (12 m), které jsou s elektrobuse srovnatelné. Investice do dvou takových vozidel spolu s jejich dovybavením by měla hodnotu zhruba 13,4 milionu Kč. V tomto případě nejsou podmínky zcela vyrovnané, protože celé investiční náklady na CNG autobusy jsou tvořeny jejich pořizovací cenou, ovšem u elektrobuse je započítána investice do rychlodobíjecích stanic, nové akumulátory a další položky.

Obrázek 20: Srovnání investičních nákladů na elektrobuse a CNG autobusy



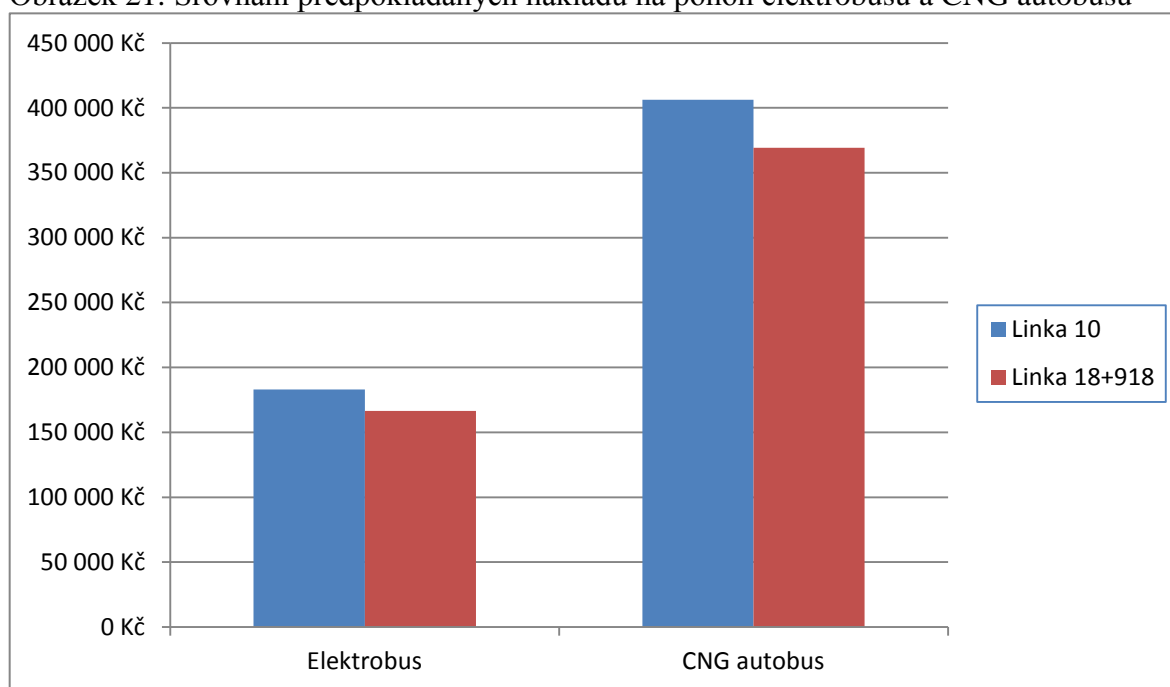
Zdroj: Iveco, Solaris, vlastní

Uplatnění dvou elektrobuse by tedy podle předpokladů mělo být o zhruba 11,4 milionu dražší než uplatnění CNG autobusů. Rozdíl zde tvoří především pořizovací cena elektrobuse. Pokud by se však do investice započítávala investice do plnicí stanice na CNG, situace by se obrátila.

Tento rozdíl by měl být kompenzován v provozních nákladech, které by u elektrobuse měly být celkově nižší. Náklady na opravu a údržbu by měly být srovnatelné. Proti zavedení elektrobuse hovoří také životnost akumulátorů, které jsou největší položkou provozních nákladů elektrobuse.

Úspor by však elektrobuse měl dosáhnout především v nákladech na pohon, tedy elektřinu. Proto je důležité maximalizovat počet kilometrů ujetých elektrobuse. Na druhou stranu více ujetých kilometrů znamená dřívější opotřebení akumulátorů. Z toho zcela jasně vyplývá nutná investice do nových, které budou mít přijatelnou kapacitu pro provoz.

Obrázek 21: Srovnání předpokládaných nákladů na pohon elektrobuse a CNG autobuse



Zdroj: vlastní

Při uvažování spotřeby 1,04 kWh a 0,355 kg CNG na jeden kilometr a jejich cenách 2 resp. 13 Kč za jednotku by náklady na pohon elektrobuse byly méně než poloviční (zhruba 45 %) jak je také vidět na obrázku 21. Celková úspora pak za obě linky činí zhruba 400 000 Kč.

$$DS = \frac{RNI}{RPI} = \frac{11\,383\,000}{425\,880} \doteq 27 \text{ let}^3$$

DS – doba splacení investice

RPI – roční přínosy investice

RNI – rozdíl nákladů na investici

³ uváděné částky jsou součtem za obě linky

Dle jednoduchého výpočtu doby splacení je jasné, že investice do elektrobuseů by nebyla efektivní. Doba splacení je totiž delší než odhadovaná doba životnosti elektrobuseů (10 let). Pro dopravní podnik, který již disponuje plnicí stanicí, tak za těchto podmínek nelze provoz elektrobuseů doporučit a je tak vhodné pokračovat v nákupech CNG autobusů.

Jak uvádí tabulka 18, ceně jedné plnicí stanice by odpovídalo vybudování zhruba 75 dobíjecích stanic. Při počtu 28 linek by tak na jednu linku připadalo více než 2,5 rychlodobíjecí stanice. V obou uváděných případech by však pro provoz linky dostačovala pouze jedna. Lze tak předpokládat, že v případě rozhodování mezi zavedením CNG autobusů a elektrobuseů by měla být výhodnější druhá varianta, pokud by plnicí stanici budoval provozovatel autobusů.

4.2 Náklady na zavedení elektrobuseů v Praze

Hlavní rozdíl mezi Prahou a Pardubicemi je v plnicí stanici CNG. Dopravní podnik hlavního města Prahy, totiž touto stanicí nedisponuje a ani CNG autobusy nevyužívá. Výhodnější by tak měl být nákup i provoz elektrobuseů.

Tabulka 20: Srovnání investičních nákladů na elektrobusey a CNG autobusy v Praze⁴

| | Elektrobusey | CNG autobusy |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| Pořizovací cena | 22 000 000 Kč | 13 200 000 Kč |
| Dovybavení | 200 000 Kč | 200 000 Kč |
| Infrastruktura pro pohon | 300 000 Kč | 30 000 000 Kč |
| Školení řidičů ⁵ | 3 000 Kč | — |
| Akumulátory | 4 000 000 Kč | — |
| Celkem | 26 503 000 Kč | 43 400 000 Kč |
| Rozdíl | 16 897 000 Kč | |

Zdroj: vlastní

Po srovnání v tabulce 20 je jasné, že investice do zavedení CNG autobusů na dvou předpokládaných linkách by nebyla efektivní. Konkurencí naftových autobusů by tedy měly být za těchto podmínek elektrobusey.

4.2.1 Linka 216

Na lince 216 předpokládám využití stejného elektrobuseu jako v případě Pardubic, tedy Solaris Urbino 12 Electric. Je to především z důvodu širšího uplatnění, než má menší autobus. Navíc vyšší cena souvisí především s kapacitou a počtem akumulátorů než s velikostí autobuseu. Logicky tak bude srovnáván s klasickým dvanáctimetrovým autobusem.

⁴ Uvažovány dva 12 metrové autobusy

⁵ 6 řidičů školeny z vyhlášky 50/78 Sb. § 4

Tabulka 21: Srovnání provozních nákladů elektrobusu a autobusu na lince 216

| | Elektrobus | Autobus |
|-------------------------------|-------------------|----------------|
| Spotřeba na kilometr (kWh; l) | 1,04 | 0,42 |
| Cena za jednotku paliva | 2 Kč | 27 Kč |
| Roční nájezd (km) | 76 500 | 76 500 |
| Palivové náklady | 159 120 Kč | 867 510 Kč |
| Rozdíl | 708 390 Kč | |

Zdroj: vlastní

Z tabulky 21 vyplývá rozdíl provozních nákladů, který by měl kompenzovat investiční náklady elektrobusu. Pokud předpokládáme dobu životnosti 10 let, celkové úspory by dosahovaly více než 7 milionů Kč. Náklady na zavedení elektrobusu však činí více než 11 milionů Kč, takže je jasné, že úspory z provozu elektrobusu plně nevyrovnejší jeho cenu. Proto dále budu uvažovat rozdíl nákladů mezi zavedením nového klasického autobusu a elektrobusu.

Tabulka 22: Srovnání investičních nákladů elektrobusu a autobusu na lince 216

| | Elektrobus | Autobus |
|------------------------------|-------------------|----------------|
| Pořizovací cena ⁶ | 11 100 000 Kč | 5 700 000 Kč |
| Cena infrastruktury | 300 000 Kč | — |
| Školení řidičů ⁷ | 1 500 Kč | — |
| Akumulátory | 2 000 000 Kč | — |
| Rozdíl investičních nákladů | 7 701 500 Kč | |

Zdroj: vlastní

Tabulka 22 ukazuje rozdíl v investičních nákladech, který bude použit v dalších výpočtech hodnocení investice.

Metoda doby splacení

Doba splacení by měla být nižší než doba životnosti, pokud se tak nestane, investice není finančně výhodná.

$$DS = \frac{RNI}{RPI} = \frac{7\,701\,500}{708\,390} \doteq 11 \text{ let}$$

DS – doba splacení investice

RPI – roční přínosy investice

RNI – rozdíl nákladů na investici

⁶ Včetně dovybavení autobusu

⁷ 3 řidiči školeni z vyhlášky 50/78 Sb. § 4

Metoda čisté současné hodnoty

Pokud výsledek použití metody současné hodnoty bude záporný (náklady budou vyšší než příjmy), je investice finančně nevýhodná a nelze ji doporučit.

$$\text{ČSH} = \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1-i)^j} - IN = 7\,064\,458 - 5\,701\,500 = 1\,362\,958$$

ČSH – čistá současná hodnota

CF_j – výnos investice v roce j

n – doba životnosti

i – diskontní sazba

Při uvažování doby životnosti 10 let, diskontní sazbě 0,05 % je výsledkem kladná hodnota na hranici 1,4 milionu Kč, avšak jen pokud není započítána cena nových akumulátorů, ta je zahrnuta v tabulce 23.

Tabulka 23: Peněžní toky investice za dobu životnosti (linka 216)

| Roky | Úspory | Investice/ náklady | Čistý peněžní tok | Diskontovaný peněžní tok |
|--------|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|
| 0 | 0 Kč | 5 701 500 Kč | -5 701 500 Kč | -5 701 500 Kč |
| 1 | 708 390 Kč | 0 Kč | 708 390 Kč | 708 036 Kč |
| 2 | 708 390 Kč | 0 Kč | 708 390 Kč | 707 682 Kč |
| 3 | 708 390 Kč | 0 Kč | 708 390 Kč | 707 328 Kč |
| 4 | 708 390 Kč | 0 Kč | 708 390 Kč | 706 975 Kč |
| 5 | 708 390 Kč | 2 000 000 Kč | -1 291 610 Kč | -1 288 386 Kč |
| 6 | 708 390 Kč | 0 Kč | 708 390 Kč | 706 269 Kč |
| 7 | 708 390 Kč | 0 Kč | 708 390 Kč | 705 916 Kč |
| 8 | 708 390 Kč | 0 Kč | 708 390 Kč | 705 563 Kč |
| 9 | 708 390 Kč | 0 Kč | 708 390 Kč | 705 210 Kč |
| 10 | 708 390 Kč | 0 Kč | 708 390 Kč | 704 858 Kč |
| Celkem | 7 083 900 Kč | 7 701 500 Kč | -617 600 Kč | -632 049 Kč |

Zdroj: vlastní

Z tabulky 23 je patrné, že v případě započítání výměny akumulátorů v polovině životnosti je **čistá současná hodnota investice** záporné číslo. Konkrétně je to - 632 049 Kč, což je příliš nízká hodnota. Podle obou použitých metod tak investice za uvedených podmínek není výhodná ovšem ani ne extrémně nevýhodná.

4.2.2 Linka 292

Investičními náklady na linku 292 bude pořizovací cena elektrobuse, protože bude dobíjen jen ve vozovně. Dobíjecí stanice je však pouze malou položkou z celkových investičních nákladů. Jak bylo zmíněno v kapitole 3.4.2, elektrobuse by měl ročně ujet zhruba 39 000 kilometrů. Díky malému nájezdu a tedy i méně častému dobíjení by akumulátory měly vydržet mnohem déle. Budu uvažovat jejich výdrž s dostatečnou kapacitou po dobu životnosti autobusu.

Tabulka 24: Srovnání nákladů elektrobuse a autobuse na lince 292

| | Elektrobuse | Autobuse |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| Spotřeba na kilometr (kWh; l) | 1,04 | 0,42 |
| Cena za jednotku paliva | 2 Kč | 27 Kč |
| Roční nájezd (km) | 39 000 | 39 000 |
| Palivové náklady | 81 120 Kč | 442 260 Kč |
| Rozdíl provozních nákladů | 361 140 Kč | |
| Pořizovací cena ⁸ | 11 100 000 Kč | 5 700 000 Kč |
| Školení řidičů ⁹ | 1 500 Kč | — |
| Akumulátory | 2 000 000 Kč | — |
| Rozdíl investičních nákladů | 7 401 500 Kč | |

Zdroj: vlastní

Nevýhodou malého ročního nájezdu je také výrazně menší roční úspora na palivových nákladech. Na druhou stranu životnost akumulátoru souvisí s počtem nabíjecích cyklů a tak by na této lince měla dosahovat dobrých hodnot. Navíc zde nejsou takové požadavky na plnou kapacitu a tak by zde mohla stačit odhadem i na úrovni 80 %.

Metoda doby splacení

$$DS = \frac{RNI}{RPI} = \frac{7\,401\,500}{361\,140} \doteq 21 \text{ let}$$

DS – doba splacení investice

RPI – roční přínosy investice

RNI – rozdíl nákladů na investici

Doba splacení elektrobuse vychází velmi vysoká a o nějakém způsobu návratnosti lze jen těžko hovořit. Jen se tím potvrzuje velký vliv vysoké ceny elektrobuse a nových akumulátorů, což je v současnosti hlavní důvod, proč se elektrobuse ve velkém množství neuplatňují.

⁸ Včetně dovybavení autobuse

⁹ 3 řidiči školeni z vyhlášky 50/78 Sb. § 4

Metoda čisté současné hodnoty

Stejně jako v případě linky 216, i na lince 292 je vhodné využít ke zhodnocení investice metodu **čisté současné hodnoty**.

Tabulka 25: Peněžní toky investice za dobu životnosti (linka 292)

| Roky | Úspory | Investice/ náklady | Čistý peněžní tok | Diskontovaný peněžní tok |
|--------|--------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|
| 0 | 0 Kč | 5 401 500 Kč | -5 401 500 Kč | -5 401 500 Kč |
| 1 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 360 960 Kč |
| 2 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 360 779 Kč |
| 3 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 360 599 Kč |
| 4 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 360 419 Kč |
| 5 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 360 239 Kč |
| 6 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 360 058 Kč |
| 7 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 359 879 Kč |
| 8 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 359 699 Kč |
| 9 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 359 519 Kč |
| 10 | 361 140 Kč | 2 000 000 Kč | -1 638 860 Kč | -1 630 688 Kč |
| 11 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 359 160 Kč |
| 12 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 358 980 Kč |
| 13 | 361 140 Kč | 0 Kč | 361 140 Kč | 358 801 Kč |
| Celkem | 3 972 540 Kč | 7 401 500 Kč | -3 428 960 Kč | -3 430 879 Kč |

Zdroj: vlastní

Při uvažování životnosti 13 let by při diskontní sazbě 0,05 % byla **čistá současná hodnota investice** záporná a to - 3 430 879 Kč. To jen potvrzuje nevýhodnost elektrobuse za daných podmínek. Za daných podmínek by investice nebyla výhodná ani v případě, že by původní akumulátory byly uplatnitelné po celou dobu životnosti elektrobuse.

Závěr

Diplomová práce je zaměřena na alternativní pohonné systémy autobusů. Uvedl jsem v ní čtyři dnes nejpoužívanější technologie těchto pohonů, kterými jsou CNG, hybridní, elektrický pohon a pohon s využitím vodíku.

Zjistil jsem, že v praxi dobře využitelnou a také často používanou možností jsou autobusy poháněné CNG. V České republice jsou pak ostatní technologie pohonu zastoupeny jen sporadicky ve velkých aglomeracích (Praha – hybridní autobusy, Ostrava – elektrobusy). Právě elektrobusy měly být konkurenčním produktem vůči používaným vozidlům na CNG a naftový pohon. V případě pražské linky 216 by tomu tak mohlo být. Ovšem jejich příliš vysoká pořizovací cena je bez dotační podpory z veřejných zdrojů v současné době problémem. Rozdíl v pořizovacích cenách nevykompenzuje ani jejich jednoznačně levnější provoz a to i ve srovnání s autobusy poháněnými CNG. Je tedy nutné učinit rozhodnutí, jestli dopravní podnik bude dotovat bezemisní způsob pohonu, nebo sledovat pouze ekonomické cíle bez ohledu na kvalitu životního prostředí.

Další zmiňované systémy pohonu v současné době podle mého názoru není příliš efektivní hromadně zavádět. Hybridní pohon je ve své podstatě pouze kompromisní řešení mezi konvenčním autobusem a elektrobusem, které je sice papírově efektivnější než konvenční autobus, ale není dlouhodobě udržitelný. Proto nevidím v této variantě řešení problému hledání ekonomického bezemisního pohonu. Tím by naopak mohl být vodíkový pohon. Náklady na vývoj tohoto druhu pohonu jsou však v porovnání s ostatními astronomické, a pokud nenastane v budoucnosti průlom ve vodíkové technologii a jejím rozšíření, bude tento druh pohonu nadále velmi neekonomický.

Cílem mojí práce bylo zjištění ekonomické efektivity zavedení alternativních pohonů do praxe a porovnání těchto pohonů s konvenčním pohonem. V průběhu práce se prokázalo, že v případě Pardubic je výhodné pokračovat ve využívání alternativního pohonu, tedy CNG. V Pardubicích přináší úspory především díky vlastní plnicí stanici, ze které navíc plyne zisk z prodeje CNG jiným subjektům. Co se týče Prahy, zde není ekonomicky výhodné zavádět elektrobusy místo klasických 12 metrových autobusů na lince 292. V úvahu by mohly přicházet pouze menší vozidla tzv. midibusy, s nižší velikostí, obsaditelností, ale i cenou. Bylo by však nutné je porovnávat se srovnatelnými vozidly, což nebylo předmětem této práce.

V případě linky 216 úspory elektrobuse dosahují zajímavých hodnot a v případě příznivých podmínek (disponibilita nad 80 %, nižší cena elektrobuse a akumulátorů) mohl být ekonomicky výhodnější než naftový autobus. Elektrobuse by bylo vhodné pořídit například v rámci finančního leasingu a po prověření správnosti teoretických hodnot zvážit jeho odkup, případně nákup dalších vozidel.

Hlavní výhody, nevýhody a rizika zavádění alternativních pohonů do praxe jsou pak shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 26: Výhody, nevýhody a rizika zavádění alternativních pohonů

| Výhody | Nevýhody |
|--|---|
| Snížení emisí z dopravy | Vyšší pořizovací cena |
| Ekonomická výhodnost (CNG) | Nutnost budování infrastruktury |
| Nevyčerpatelné zdroje (vodík, el. energie) | Málo provozních zkušeností |
| Dotační podpora (CNG) | Omezená životnost akumulátorů (elektrobuse) |
| | |
| Rizika zavedení | |
| Vysoká poruchovost vozidel | |
| Nenávratnost investice | |

Zdroj: vlastní

Použitá literatura

- [1] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [2] ASPELL. CNG LPG tabulka. *Aspell.cz* [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.aspell.cz/media/files/cng_lpg_tabulka.jpg
- [3] MATYÁŠEK, Jiří a Miloš SUK. *Antropogeneze v geologii* [online]. 2009 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/do/1499/el/estud/pedf/js10/antropog/web/pdf/Antropogeneze-v-geologii.pdf>
- [4] DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA PARDUBIC. *Na co jezdí váš vozový park?*. [s.l.]: Dopravní podnik města Pardubic, ©2013.
- [5] CNG4YOU. *Cng4you* [online]. CNG4YOU, ©2011 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://cng4you.cz/>
- [6] HORČÍK, Jan. Historie hybridních aut 1. díl. *Hybrid.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>
- [7] DOPRAVNÍ PODNIK HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY. Interní materiály. *Dopravní podnik hlavního města Prahy*. [s.l.]: Dopravní podnik hlavního města Prahy, ©2014.
- [8] VOKÁČ, Luděk. První hybridní vůz postavil Čech. Buď Křižík nebo Porsche. *Auto.idnes.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/prvni-hybridni-vuz-postavil-cech-bud-krizik-nebo-porsche-pey-/automoto.aspx?c=A091023_002851_automoto_vok
- [9] SLAVÍK, Jakub. *E-mobilita v MHD* [online]. 2013 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/42.php>
- [10] MACUR, Jiří. *Alternativní pohony v dopravě* [online]. 2009 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: http://www.elektromobily.org/wiki/06.04.2009_P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka_pro_studenty_na_Fakult%C4%9B_stavebn%C3%AD_VUT_v_Brn%C4%9B
- [11] POHL, Jiří. *Průběžně dobíjené elektrobusy* [online]. 2013 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/57.php>

- [12] ROYAL BELGIAN ACADEMY COUNCIL OF APPLIED SCIENCE. Hydrogen as an energy Carrier. In: *KVAB* [online]. 2006 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: http://www.kvab.be/downloads/lezingen/hydrogen_energycarrier.pdf
- [13] FUEL CELL TODAY. History. *Fuelcelltoday.com* [online]. 2014 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: <http://www.fuelcelltoday.com/history>
- [14] MASTNÝ, Petr. *Vodík jako alternativní ekologické palivo* [online]. [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/prednasky/10_pr.pdf
- [15] H2BUS. *TriHyBus - Vodíkový autobus s palivovými články* [online]. H2BUS, ©2008 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.h2bus.cz>
- [16] VOJTĚCH, Dalibor. Perspektivy automobilů poháněných vodíkem. *Chemické listy*. 2009, č. 6, s. 484-486. ISSN 1213-7103.
- [17] HORČÍK, Jan. BMW představí Hydrogen 7. *Hybrid.cz* [online]. 2006 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/bmw-predstavi-hydrogen-7>
- [18] Česká plynárenská unie. *Čistá veřejná doprava – CNG autobusy* [online]. [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: www.busportal.cz/modules.php?name=sender&dir=public&file=BROZURA_CNG_BUS.pdf&control=true
- [19] VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Údržba a opravy dopravních prostředků MHD. *Kds.vsb.cz* [online]. [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mhd/udrzba-pravidelna.htm>
- [20] SOR LIBCHAVY. Interní materiály. *SOR Libchavy* [s.l.]: SOR Libchavy, ©2014.
- [21] KAR GROUP. Interní materiály. *KAR group* [s.l.]: KAR group, ©2014.
- [22] MAN TRUCK & BUS CZECH REPUBLIC. Interní materiály. *MAN Truck & Bus Czech republic* [s.l.]: MAN Truck & Bus Czech republic, ©2014.
- [23] BOSÁK BUS. *Moderní autobusy společnosti BOSÁK BUS* [online]. 2014 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://www.bosakbus.cz/novinky21.php>

[24] NGVA. *Dohoda směřující k rozšíření zemního plynu jako alternativního paliva v dopravě* [online]. 2006 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z:

<http://www.ngva.cz/files/ngva/uploads/files/Dobrovolna%CC%81%20dohoda.pdf>

[25] HANZELKA, Radoslav. *Zkušenosti s provozem elektrobusů v Dopravním podniku Ostrava*. [online]. 2013 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z:

<http://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/57.php>

[26] HOCHBAHN. Immer im Einsatz: unsere moderne Busflotte. *Hochbahn.de* [online].

©2014 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z:

http://www.hochbahn.de/wps/portal/de/home/hochbahn/unternehmen/fahrzeuge_technik/unternehmen_busflotte/?WCM_PORTLET=PC_7_QI5C5I930GON002FVCDEUT00A7000000_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/de/home/hochbahn/unternehmen/fahrzeuge_technik/unternehmen_busflotte/

[27] BVG. Zweiachs-Eindecker. *Bvg.de* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z:

<http://www.bvg.de/index.php/de/3928/name/Fahrzeuge/article/84606.html>

[28] HYFLEET:CUTE. *Global hydrogen bus platform* [online]. HyFLEET:CUTE

[cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.global-hydrogen-bus-platform.com>

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Rozdíly mezi LNG a LPG | 11 |
| Tabulka 2: Přehled základních vlastností jednotlivých druhů akumulátorů..... | 20 |
| Tabulka 3: Přehled využívaných systémů palivových článků..... | 24 |
| Tabulka 4: Srovnání jednotlivých pohonů vozidel..... | 27 |
| Tabulka 5: Orientační ceny naftových autobusů | 33 |
| Tabulka 6: Průměrná spotřeba naftových autobusů (v l/100 km) | 34 |
| Tabulka 7: Průměrné náklady na dopravu a údržbu autobusů (v Kč) | 35 |
| Tabulka 8: Scénáře úspor na ceně CNG | 37 |
| Tabulka 9: Orientační ceny autobusů s pohonem na CNG | 38 |
| Tabulka 10: Přibližné ceny dobíjecí infrastruktury | 39 |
| Tabulka 11: Orientační ceny elektrobuses ve srovnání s konvenčním autobusem..... | 40 |
| Tabulka 12: Srovnání spotřeby konvenčního a hybridního autobusu (18 m)..... | 42 |
| Tabulka 13: Hodnoty průměrné spotřeby vodíkových autobusů | 44 |
| Tabulka 14: Srovnání kilometrických nákladů na vybrané druhy pohonu..... | 46 |
| Tabulka 15: Rozdíl kilometrických nákladů podle vývoje ceny zdroje pohonu (vlastní plnicí stanice)..... | 47 |
| Tabulka 16: Rozdíl kilometrických nákladů podle vývoje ceny zdroje pohonu (bez vlastní plnicí stanice)..... | 47 |
| Tabulka 17: Porovnání kilometrických nákladů v závislosti na průměrné spotřebě..... | 48 |
| Tabulka 18: Srovnání investičních nákladů na plnicí a nabíjecí stanici na trase | 49 |
| Tabulka 19: Porovnání parametrů elektrobuses..... | 49 |
| Tabulka 20: Srovnání investičních nákladů na elektrobusey a CNG autobusy v Praze..... | 65 |
| Tabulka 21: Srovnání provozních nákladů elektrobuse a autobusu na lince 216 | 66 |
| Tabulka 22: Srovnání investičních nákladů elektrobuse a autobusu na lince 216 | 66 |
| Tabulka 23: Peněžní toky investice za dobu životnosti (linka 216) | 67 |
| Tabulka 24: Srovnání nákladů elektrobuse a autobusu na lince 292 | 68 |
| Tabulka 25: Peněžní toky investice za dobu životnosti (linka 292) | 69 |
| Tabulka 26: Výhody, nevýhody a rizika zavádění alternativních pohonů | 71 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Tlakové lahve na CNG..... | 12 |
| Obrázek 2: Vývoj prodejů CNG v České republice (v mil. m ³)..... | 14 |
| Obrázek 3: Vývoj počtu autobusů s pohonem na CNG v České republice..... | 14 |
| Obrázek 4: Elektromobil Františka Křížíka..... | 18 |
| Obrázek 5: Vývoj průměrné spotřeby naftových 12 metrových autobusů (2013 a 2014) | 34 |
| Obrázek 6: Vývoj nákladů na opravy a údržbu autobusů a stáří autobusů (12 m)..... | 35 |
| Obrázek 7: Vývoj nákladů na opravy a údržbu autobusů a stáří autobusů (18 m)..... | 36 |
| Obrázek 8: Průměrná spotřeba elektrobusů a jejich dojezd | 41 |
| Obrázek 9: Financování projektu českého vodíkového autobusu | 44 |
| Obrázek 10: Vývoj stavu baterie na lince 18+918 (všední dny) | 51 |
| Obrázek 11: Vývoj stavu baterie na lince 18+918 (soboty, neděle a svátky) | 52 |
| Obrázek 12: Vývoj stavu baterie na lince 10 (1. 9. – 30. 6.)..... | 54 |
| Obrázek 13: Vývoj stavu baterie na lince 10 (1. 7. – 31. 8.)..... | 55 |
| Obrázek 14: Vývoj stavu baterie na lince 10 (soboty, neděle a svátky)..... | 56 |
| Obrázek 15: Vývoj stavu baterie na lince 216 (všední dny)..... | 58 |
| Obrázek 16: Vývoj stavu baterie na lince 216 (soboty, neděle a svátky)..... | 59 |
| Obrázek 17: Vývoj stavu baterie na lince 292 (celoročně) | 60 |
| Obrázek 18: Investiční náklady na zavedení elektrobusů v Pardubicích (linky 10 a 18+918) | 62 |
| Obrázek 19: Vývoj provozních nákladů elektrobusů podle let provozu | 62 |
| Obrázek 20: Srovnání investičních nákladů na elektrobusy a CNG autobusy | 63 |
| Obrázek 21: Srovnání předpokládaných nákladů na pohon elektrobusu a CNG autobusu..... | 64 |

Seznam zkratk

| | |
|--------|--|
| CNG | Compressed natural gas stlačený zemní plyn |
| Li-Ion | Lithium-iontový akumulátor |
| Li-Pol | Lithium-polymerový akumulátor |
| LNG | Liquefied natural gas zkapalněný zemní plyn |
| LPG | Liquefied petroleum gas zkapalněný ropný plyn |
| NiCd | Nikl-kadmiové akumulátory |
| NiMH | Nikl-metalhydridní akumulátor |
| PHM | pohonná hmota |