

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 9: Strojírenství, hutnictví, doprava a průmyslový design

Rozvoj elektrické trakce v pražské autobusové MHD

**Martin Chlup
Hlavní město Praha**

Praha 2019

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 9: Strojírenství, hutnictví, doprava a průmyslový design

Rozvoj elektrické trakce v pražské autobusové MHD

Development of electric traction in Prague bus transport

Autor: Martin Chlup

Škola: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola dopravní,
Praha 1, Masná 18

Kraj: Hlavní město Praha

Konzultant: Ing. Karel Zíka, Mgr. Jarmila Kulíšková

Praha 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 27. 3. 2019

Podpis.....

Anotace

Tato práce se zabývá elektrickou trakcí v pražské autobusové MHD. Navazuje na předchozí práci z minulého ročníku. První část se stručně zabývá historií, další kapitoly pojednávají o charakteristice, přednostech, nedostatcích a ekonomických aspektech jednotlivých trakcí. Ve čtvrté kapitole je popsána současná situace v Praze i plánovaný rozvoj. Poslední částí je můj vlastní návrh možného vývoje elektrické trakce v pražské autobusové MHD.

Klíčová slova

Elektrobusy, trolejbusy, ekologie, Praha

Annotation

This work deals with electric traction in Prague bus transport. It builds on previous work from last year. The first part deals with history, other chapters deal with the characteristics, advantages, shortcomings and economic aspects of individual traction. The fourth chapter describes the current situation in Prague and the planned development. The last part is my own proposal of possible development of electric traction in Prague bus transport.

Keywords

Electric buses, trolleybuses, ecology, Prague

Obsah

Úvod	1
1 Historie trolejbusů a elektrobusů v Praze	2
1.1 Klasické trolejbusy v letech 1936-1972	2
1.2 Elektrobusy v letech 2011-2017	3
1.3 Trolejbusy v letech 2017-2018	5
2 Základní druhy	6
2.1 Konvenční trolejbus	6
2.2 Parciální trolejbus	6
2.3 Elektrobus	7
2.3.1 Statický elektrobus	7
2.3.2 Dynamický elektrobus	8
2.3.3 Oportunitní elektrobus s nabíjením přes vrchní kontakt	8
2.3.4 Oportunitní elektrobus s indukčním nabíjením	9
3 Ekonomika provozu	10
3.1 Náklady na pořízení	10
3.2 Náklady na infrastrukturu	10
3.3 Provozní náklady	12
3.4 Celkové náklady	12
3.5 Mezní rozsah provozu	13
4 Současná situace v Praze	15
4.1 SOR EBN 9,5	15
4.2 SOR NS 12 Electric	15
4.3 Škoda 30Tr	16
5 Plánovaný rozvoj	17
5.1 Linka 140	17
5.2 Linka 207	17
5.3 Linka AE	18
6 Vlastní návrh možného rozšíření	19
6.1 Elektrifikace linky 185	19
6.2 Elektrifikace linky 302	20
6.3 Úvaha nad dlouhodobou budoucností	21
Závěr	22
Zdroje:	

Seznam obrázků

Obrázek 1: Loučení s trolejbusy	2
Obrázek 2: Elektrobus Siemens Rampini.....	3
Obrázek 3: Elektrobus SOR EBN 11	4
Obrázek 4: Parciální trolejbus SOR TNB 12	5
Obrázek 6: Parciální trolejbus Škoda 30Tr	16
Obrázek 7: Standard OppCharge v praxi	18
Obrázek 8: Plán elektrifikace linky 185	20

Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání cen	10
Tabulka 2: Porovnání ceny dobíjecích zařízení.....	11
Tabulka 3: Celkové náklady na jeden vozokm.....	13
Tabulka 4: Celkové náklady na 1 vozidlo.....	14
Tabulka 5: Celkové náklady při 40 vozidlech.....	14

Úvod

Téma zabývající se elektrickou trakcí v autobusové dopravě jsem si zvolil proto, že se o tuto problematiku již delší dobu zajímám a téma alternativních pohonů je v současné době aktuálnější než kdykoliv předtím.

V mnoha městech ČR se alternativní pohony v autobusové dopravě již řadu let používají, jde ale většinou o pohon na zemní plyn (CNG). Ten sice oproti naftě snižuje množství vyprodukovaných škodlivin až o polovinu, ale stále se jedná o fosilní palivo, které není obnovitelným zdrojem.

Oproti tomu elektrická energie má, dle mého názoru, z dlouhodobého pohledu větší budoucnost. Je však nutné dodat, že elektrické pohony nejsou v současné době zdaleka tak vyvinuté, aby plně mohly nahradit naftové motory. Problémem je zejména akumulace energie, omezený dojezd vozidel, chybějící infrastruktura, velká hmotnost baterií, nevyřešená likvidace vysloužilých baterií a v neposlední řadě také fakt, že ani elektrická energie nemusí být ekologicky šetrnou variantou, pokud je vyráběna nevhodnou technologií (např. v tepelných elektrárnách).

I přes tyto nedostatky považuji „elektrifikaci“ autobusové dopravy v Praze za krok správným směrem, i proto, že ve vývoji elektrických pohonů lze předpokládat další technický pokrok.

1 Historie trolejbusů a elektrobusů v Praze

Tato kapitola se věnuje historii trolejbusů (od roku 1936 do roku 1972) a následně se věnuje elektrobusům a trolejbusům v nedávných letech (cca od roku 2011 do roku 2017).¹

1.1 Klasické trolejbusy v letech 1936-1972

Klasické trolejbusy byly v Praze provozovány mezi lety 1936 a 1972. Z důvodu levné ceny ropy se staly výhodnější autobusy a trolejbusový provoz v Praze byl bohužel ukončen.²

Trolejbusová doprava se provozovala na mnoha místech v Praze. Trolejbusová trať v největším rozmachu dosahovala až 56 km.³ S trolejbusy jsme se mohli setkat ve Střešovicích, na Smíchově, v oblasti Václavského náměstí, Stadionu Strahov, Karlova náměstí atd. Posledním trolejbusem se mohli cestující svézt v neděli 15.10.1972 z Orionky na Strahov trolejbusem typu 8 Tr.⁴



Obrázek 1: Loučení s trolejbusy⁵

¹ Trolejbusová doprava v Praze. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Trolejbusová_doprava_v_Praze

² Trolejbusová doprava v Praze. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Trolejbusová_doprava_v_Praze

³ Trolejbusové tratě v Praze. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Trolejbusové_tratě_v_Praze

⁴ *Trolejbusy v Praze* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: http://www.trolejbusyvpraze.net/tb_historie.htm

⁵ Praha se loučí s trolejbusy [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/obrazek/15101972-trolejbusy-se-louci-sprahou-praha-se-louci-strolejbusy-13343/1920-1080>

1.2 Elektrobuses v letech 2011-2017

První zmínka o elektrobusech v Praze pochází z roku 2011. Jednalo se o minibusy, konkrétně italské elektrobuses značky ZEUS (celým jménem Breda Menarinibus Zeus M200E). Celkem byly pořízeny 2 kusy. Byly určeny pro linku z Malostranského náměstí k Nemocnici pod Petřínem. Elektrobuses se dobíjely pomocí zásuvky v areálu Nemocnici pod Petřínem. Ačkoliv se jednalo o elektrobuses, topení bylo zajištěno pomocí nafty. Kvůli častým poruchám a závadám byl provoz v prosinci roku 2012 zastaven a elektrobuses navráceny výrobci.⁶

Dalším testovacím typem byl Siemens Rampini. Tento elektrobuses pobyl v Praze pouze týden, konkrétně od 22. – 26. 1. 2014. Oproti předchozímu typu se nabíjel z dvoupólové troleje (která byla napájena z tramvajové měničny) pomocí sběrače, samozřejmě mohl být nabíjen i kabelem. Vozidlo bylo vybaveno elektrickým topením, takže můžeme říci, že se jednalo již o plně hodnotný elektrobuses.⁷



Obrázek 2: Elektrobuses Siemens Rampini⁸

Následujícím milníkem se stal elektrobuses značky SOR v osmi metrovém provedení (SOR EBN 8). Do provozu se dostal pouze od 7. 2. – 11. 2. 2014. Dobíjen byl pomocí kabelu (jako ZEUS) a vytápěn

⁶ Elektrická trakce ve veřejné dopravě [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2016/integrovana-doprava-pha/prezentace/07-surovsky-jan-dpp.pdf>

⁷ Elektrická trakce ve veřejné dopravě [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2016/integrovana-doprava-pha/prezentace/07-surovsky-jan-dpp.pdf>

⁸ *Elektrobuses Siemens Rampini* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/press/upload/63370908407769.jpg>

pomocí naftového topení. Oproti prvním zmiňovanému elektrobusu měl výtečnou dynamiku a prostornější interiér. Provoz dopadl zatím nejlépe ze všech testovaných elektrobusů.⁹

Nejvíce revolučním elektrobusem, který DPP testoval, se stal elektrobus SOR EBN 11, který byl vytvořen na základě již 3 testovacích vozidel. Jednalo se o vozidlo, které již dosahovalo podobné kapacity jako standardní autobus (měřilo 11 metrů). Vozidlo bylo dobíjeno pomocí kabelu (v garážích) nebo z dvoupólové troleje (která byla připojená na tzv. dobudku, která sloužila ke galvanickému oddělování tramvajové sítě), obsahovalo také elektrické topení.

V provozu byl od září 2015 do konce srpna 2017. Za tu dobu urazil v běžném provozu přes 144 tisíc kilometrů (denní kilometráž se pohybovala v rozpětí 270–376 km) a jeho spolehlivost dosahovala 95 % (resp. odjel cca 95 % plánovaných km). Za celou dobu testování byl vypraven na linky 213, 163, 124 a 188.¹⁰



Obrázek 3: Elektrobus SOR EBN 11¹¹

⁹ *Elektrická trakce ve veřejné dopravě* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2016/integrovana-doprava-pha/prezentace/07-surovsky-jan-dpp.pdf>

¹⁰ *Elektrická trakce ve veřejné dopravě* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2016/integrovana-doprava-pha/prezentace/07-surovsky-jan-dpp.pdf>

¹¹ *Elektrobus SOR EBN 11* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://www.buspress.eu/wp-content/uploads/2016/02/SOR-EBN-11-Praha-2.jpg>

1.3 Trolejbusy v letech 2017-2018

V říjnu 2017 proběhlo „znovuobnovení“ trolejbusů v Praze. Začal se zde testovat parciální trolejbus SOR TNB 12 (vozidlo je zcela elektrické včetně topení, klimatizace a atd.), který však byl využíván jako dynamický elektrobus (většinu trasy urazil bez troleje). Pro tuto událost bylo vybudováno trolejbusové vedení v Prosecké ulici (cca 1 km). Tento elektrobus byl dost sporadicky (probíhá zde spousta testů a zkoušek) vypravován na kousek linky 140 v úseku Palmovka – Letňany (vyjíždí pod číselným označením 58, což odkazuje na již zrušené trolejbusy). Jelikož se jednalo pouze o parciální trolejbus nikoliv o dynamický elektrobus, tak bylo vozidlo schopné urazit na baterii cca 8 km (bohužel i rychlost byla softwarově snížena, aby baterie nebyly tolik vybíjeny). Dobíjení probíhá na třech místech. Prvním místem jsou garáže (kde musí vyjet 100 % nabitý, jinak nedojede na svoji trasu), dalším je dobíjení na Palmovce (pomocí DOBUDKY, která je přesunutá na Palmovku) a posledním je dynamické dobíjení v Prosecké ulici, kdy vozidlo jede čistě jako trolejbus.¹²



Obrázek 4: Parciální trolejbus SOR TNB 12¹³

¹² Československý Dopravák. 2017, 2017(5).

¹³ Parciální trolejbus SOR TNB 12 [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: https://g.denik.cz/63/83/22291489-1490067181083128-5233559557687032222-o_galerie-980.jpg

2 Základní druhy

Kapitola se zabývá jednotlivými druhy dopravních prostředků. Uvedu základní rozdělení a jejich hlavní výhody a nevýhody. Důležité je podotknout, že toto rozdělení nemusí být vždy stejné, jelikož se některé typy liší jen detaily (např. dojezdem na baterie, poměrem mezi jízdou na baterie a jízdou pod trolejí).

2.1 Konvenční trolejbus

Trolejbus je drážní vozidlo, které podléhá mj. Zákonu o drahách. Mezi hlavní výhody patří ekologičnost provozu (v místě provozování nevznikají zplodiny), efektivita využití energie (elektromotor má větší účinnost oproti spalovacímu motoru) a lepší adheze. Do záporů můžeme zařadit hlavně nutnost vybudování infrastruktury, počáteční náklady na pořízení vozidla, nižší maximální rychlost (omezena do 65 km/h) a úplná závislost na trolejovém vedení (v případě výluk a atd. se musí nahrazovat autobusy). V dnešní době mnoho dopravních podniků vidí trolejbus jako něco zastaralého, avšak já si myslím, že i v dnešní době si najde uplatnění. Například i Praha se věnuje navracení trolejbusů, avšak v jejich trochu jiné podobě (tzn. parciální trolejbusy).

2.2 Parciální trolejbus

Parciální trolejbus je trolejbus, který je doplněn bateriemi či superkapacitory, tím pádem je mu umožněno jet bez napájení tyčovým sběračem. Tento typ je v dnešní době upřednostňován před konvenčními trolejbusy. Bohužel cena je oproti konvenčním trolejbusům vyšší (cca kolem 1–3 mil. Kč, podle kapacity baterií). Je nutné počítat s tím, že baterie jsou po 6–7 letech provozu nutné vyměnit (některé zdroje uvádí i po 5 letech). Tuto nevýhodu kompenzuje variabilita provozu. Uvádí se, že parciální trolejbus dokáže jet 10–30 % jízdy na baterie.¹⁴ Tato vlastnost umožňuje provozovat trolejbus tam, kde nejsou troleje. Tzn. i v místech, kde není ekonomické zatrolejovat úsek (např. část trasy, kam zajíždí pouze vybrané spoje). Mezi další potencionální využití parciálního trolejbusu patří mimořádné události. Konvenční trolejbus nemůže opustit jeho „vyznačenou“ trasu, proto je nucen při jakékoliv mimořádnosti vyčkat na její ukončení. Naopak parciální trolejbus se může odchýlit od své trasy a pokračovat po objízdě trase. Pro provoz parciálních trolejbusů je nutné mít vybudovanou trolejbusovou infrastrukturu.

¹⁴ Československý Dopravák. 2017, 2017(5)

2.3 Elektrobuses

Elektrobuses jsou v dnešní době trendem a jejich využití je na vzestupu. Jako hlavní výhoda elektrických autobusů se uvádí ekologičnost provozu, avšak to v některých případech nemusí být pravda. Velké množství elektrobuses má naftové topení, takže vozidlo nemusí být ekologické ani v místě provozu. Mezi další problém patří baterie, které nevydrží celou životnost vozidla. Baterie jsou velmi technologicky náročné na výrobu. Baterie je možné z velké části recyklovat, což u spalování fosilních paliv není možné. Na druhou stranu některé studie uvádí, že výroba elektrobusesu a jeho následný provoz vyprodukuje více zplodin než provoz (včetně výroby) standardního autobusesu.

2.3.1 Statický elektrobuses

Statický elektrobuses se nyní drží v předních příčkách rozšířenosti. Jedná se o vozidlo, které se nabíjí pouze při stání. Celou svoji trasu musí urazit pouze na baterii, což v některých případech může být velmi komplikované. Dojezd takového vozidla dosahuje až 150–180 km¹⁵, což ve větších městech určitě nestačí (musí se počítat rezerva na dojezd do garáží, také není možné vybit baterii úplně). Plus musíme brát v potaz to, že se vozidlo po vyčerpání kapacity musí nabít (doba nabíjení trvá i více než 6 hodin). Tyto nedostatky můžeme vyřešit pomocí průběžného dobíjení na konečných (např. pomocí pantografu, avšak zde musíme vybudovat infrastrukturu pro nabíjení) nebo i průběžného dobíjení v garážích přes den (tato varianta velmi omezuje rozsah provozování elektrobusesu).

Díky průběžnému dobíjení dosahuje denní dojezd 300–400 km¹⁶. Tato vzdálenost již bývá dostačující pro většinu městských linek.

Dojezd závisí na terénu trasy (při větší „kopcovitosti“ bude spotřeba větší než při jízdě na rovném terénu) a na hmotnosti vozidla (baterie tvoří až 20 % celé hmotnosti vozidla, což není zanedbatelná část).

¹⁵ *ZeEUS eBus Report* [online]. 2017, **2017**(2) [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>

¹⁶ *ZeEUS eBus Report* [online]. 2017, **2017**(2) [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>

Náklady na pořízení elektrobuse jsou enormní oproti standardnímu autobusu. Cena dosahuje 2-3 standardních autobusů. Tyto nevýhody jsou vykoupeny nízkými provozními náklady a velmi vysokou spolehlivostí vozidla (která přesahuje 90 %).¹⁷

2.3.2 Dynamický elektrobuse

Dynamický elektrobuse je vlastně parciální trolejbus, který dokáže ujet cca 70–90 % jízdy na baterii a 10-30 % pod trolejí (opačný poměr má parciální trolejbus). Kvůli tomu musí mít větší kapacitu baterií oproti parciálnímu trolejbusu (zvýší se i hmotnost celého vozidla), což zvyšuje náklady na pořízení vozidla (mj. i na provoz vozidla).¹⁸ Na druhou stranu je nutné mít postavenou trolejbusovou trať pouze v malé části celé trasy. Mezi hlavní přednosti dynamického elektrobuse patří variabilita provozu, která je vyšší než u předchozího typu. Dynamický elektrobuse je řešením pro páteřní linky, kde jsou vysoké přepravní výkony a kopcovitý terén (v kopcovitém terénu může být natažena trolej, protože v kopcích probíhá nejrychlejší vybíjení elektrobuse). Oproti statickému elektrobuse je výrazně zkrácena doba nabíjecích přestávek. Díky zkrácení nabíjecích přestávek není nutné upravovat oběhy nebo řešit nepravidelnosti provozu.

Z hlediska legislativy je dynamický elektrobuse pořád trolejbus.

2.3.3 Oportunitní elektrobuse s nabíjením přes vrchní kontakt

Oportunitní elektrobuse s nabíjením přes vrchní kontakt mají mnohem menší kapacitu baterií nebo superkapacitorů. Díky tomu můžeme nabít baterii při pobytu v zastávce, avšak baterie vydrží pouze několik zastávek. Proto musíme vybudovat velké množství infrastruktury, abychom mohli provozovat tento typ elektrobuse (počáteční náklady dosahují velmi vysokých částek). Díky těmto nevýhodám není také možné provozovat tento elektrobuse všude a je velmi závislý na infrastruktuře.¹⁹

¹⁷ Aktuální informace o rozvoji elektromobility v DPP [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2017/praha-integrovana-doprava/prezentace-id-2017/10_surovsky_jan.pdf

¹⁸ Československý Dopravák. 2017, 2017(5).

¹⁹ Oportunitní elektrobuse s nabíjením přes vrchní kontakt. Trolejbusy v Praze [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: http://www.trolejbusyvpraze.net/elektrobuse_oport_vrch.htm

2.3.4 Oportunitní elektrobus s indukčním nabíjením

Mezi méně rozšířený typ patří oportunitní elektrobus s indukčním nabíjením. Tento typ se liší od všech již uvedených způsobů. Dobíjení probíhá bezdrátově (ze spodní části vozidla), pomocí elektromagnetické indukce. Pro tento typ je nutné mít vybudovanou také zvláštní infrastrukturu, která může být i dražší než předtím uvedený typ (hlavně kvůli technickým možnostem a ochraně). Bohužel tento typ není moc rozšířený a ani není zatím efektivní (uvádí se cca 80–95 %), což s drahou infrastrukturou netvoří ideální kombinaci. Baterie sice jsou menší (menší hmotnost => menší spotřeba) než např. u statického elektrobusu, ale elektrobus musí jet po vymezené trase (s omezenou možností upuštění od trasy, kvůli rychlému vybití baterií).²⁰

²⁰ Oportunitní elektrobusy s indukčním nabíjením. *Trolejbusy v Praze* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: http://www.trolejbusyvpraze.net/elektrobusy_oport_indukce.htm

3 Ekonomika provozu

Náklady na celkový provoz se mohou výrazně lišit druh od druhu, proto jsou uvedené částky velmi orientační a každý výrobce může deklarovat jiné údaje.

3.1 Náklady na pořízení

Samotné náklady na pořízení trolejbusu a elektrobuse mohou být více než 2x vyšší oproti standardnímu naftovému autobusu.

Pro srovnání uvádím příklady od jednoho výrobce:

Tabulka 1: Porovnání cen

Typ vozidla	SOR NS 12 Electric	SOR NS 12 diesel	Škoda 32 Tr (bez baterií.)	Škoda 32 Tr (s bateriemi)
Typ pohonu	Elektrický	Naftový	Elektrický	Elektrický
Cena (mil. Kč)	14,9 Kč ²¹	5,5 Kč ²²	10,49 Kč ²³	13,5 Kč ²⁴

3.2 Náklady na infrastrukturu

Nedílnou součástí vstupních investic jsou investice na infrastrukturu, které mohou dosahovat také nemalých čísel. Za zmínku stojí, že každý dopravní prostředek vyžaduje jinou infrastrukturu.

Pro provozování trolejbusu je nutné mít vybudovanou infrastrukturu. Jedná se o měřírny, trolejové vedení (cca 15-40 mil. Kč/km).²⁵

²¹ SOR NS 12 Electric [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://imhd.sk/ba/popis-typu-vozidla/861/SOR-NS-12-Electric>

²² Dodávka 12m městských nízkopodlažních autobusů [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: https://smlouvy.gov.cz/smlouva/soubor/10233319/SOR_613-2017_RKS%2012m%20AB_2018_12_12_18452%20red0001.pdf

²³ Kupní smlouva na trolejbusy [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://smlouvy.gov.cz/smlouva/soubor/10447123/kupn%C3%AD%20smlouva.pdf>

²⁴ PRVNÍ TROLEJBUS ŠKODA 32 TR V OPAVĚ [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://www.cs-dopravak.cz/zpravy/2018/10/15/prvn-trolejbus-koda-32-tr-v-opav>

²⁵ Trolejbusy a Praha. Trolejbusy v Praze [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: http://www.trolejbusyvpraze.net/trolejbusy_praha.htm

Alternativou trolejbusu může být parciální trolejbus. Díky parciálnímu trolejbusu není nutné budovat po celé trase troleje (např. do míst, kde jezdí pouze několik spojů). Avšak tato výhoda je kompenzována vyšší pořizovací cenou (viz kapitola Náklady na pořízení).

Pro provozování statického elektrobuse nám v základu stačí zásuvka (např. v garážích, kde se dobíjí pomocí pomalého dobíjení), pokud ovšem chceme dobíjet průběžně i na konečných pomocí rychlého dobíjení, je nutné již vybudovat nabíjecí stanici.

Pro provoz dynamického elektrobuse jsou náklady na infrastrukturu ještě vyšší. Je zde nutné vybudovat trolej a měničny, popřípadě i dobíjecí stanice a zázemí v garážích (např. zásuvka pro dobíjení).

V tabulce jsou uvedeny orientační ceny dobíjecích zařízení:

Tabulka 2: Porovnání ceny dobíjecích zařízení²⁶

	Cena (Kč)
Zásuvka, AC (střídavý proud) vstup	225 000
Zásuvka, DC (stejnoseměrný proud) vstup	2 000 000
Zásuvka z tramvajové sítě	375 000
Rameno s kontakty	700 000
Pantograf, z veřejné sítě	3 125 000
Pantograf, z tramvajové sítě	800 000
Indukční přenos	1 925 000

²⁶ E-mobilita v MHD [online]. 2013 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/pdf/Studie1.pdf>

3.3 Provozní náklady

Náklady na samotný provoz elektrických vozidel jsou velmi nízké. Spotřeba dosahuje od 1 kWh až po cca 2 kWh za 1 km (v přepočtu cca 2–4 Kč na 1 km)²⁷, což je ve srovnání s autobusem velmi nízká částka (u standardního dieselového autobusu se pohybuje částka kolem 8–9 Kč na 1 km).²⁸ Spolehlivost je vyšší oproti standardnímu autobusu. Další nespornou výhodou je, že údržba elektromotoru je snazší oproti spalovacímu motoru.

K elektrobusům a k parciálním trolejbusům musíme ještě započítat i náklady za výměnu baterií (uvádí se cca 2–3 Kč na 1 km).²⁹ Cena za výměnu je velmi orientační (záleží na kapacitě baterií a atd.).

3.4 Celkové náklady

Po sečtení všech nákladů, provoz trolejbusů a elektrobusů vychází podstatně dražší než provoz autobusový. Uvádí se, že trolejbusový a elektrobusový provoz je o víc jak 20 % dražší než provoz autobusový.³⁰ Do celkových nákladů je např. nutné započítat i náklady na údržbu trolejbusových tratí (což vychází na cca 3 Kč / vozokm). Naopak u elektrobusů zase počítáme s výměnou baterií a s vyšší pořizovací cenou.

²⁷ *Elektrická trakce ve veřejné dopravě* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2016/integrovana-doprava-pha/prezentace/07-surovsky-jan-dpp.pdf>

²⁸ Zkušenosti s provozem parciálního trolejbusu [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: http://www.smartcityvpraxi.cz/prezentace/KonferenceEbusyV/Ivana_Hurtova.pdf

²⁹ Elektrobusy SOR 330 000 kilometrů v ostrém provozu. *Trolejbusy v Praze* [BusPress]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.buspress.eu/elektrobusy-sor-330-000-kilometru-v-ostrem-provozu/>

³⁰ *Battery Electric Buses Project* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://electromovilidad.org/wp-content/uploads/2017/05/Battery-Electric-Buses-Project-.pdf>

3.5 Mezní rozsah provozu

Poslední částí této kapitoly je mezní rozsah provozu. Elektrobusový a trolejbusový provoz je cca o 20 % dražší než provoz autobusový (viz výše), avšak můžeme porovnávat jednotlivé elektrické druhy mezi sebou. Konkrétně zde uvede porovnání konvenčního trolejbusu a elektrobusu. Ceny u následujícího příkladu se mohou velmi lišit, jelikož záleží na mnoha faktorech se kterými nepočítám.

Jako příklad si uvedeme linku, která měří 12,6 km (průměrná délka linky v Praze)³¹ a provozujeme ji 15 let (průměrná životnost autobusu). Zde v tabulce uvádím provozní náklady:

Tabulka 3: Celkové náklady na jeden vozokm

Náklad	Elektrobus	Trolejbus
Energie	2,7 Kč / vozokm ³²	3,1 Kč / vozokm ³³
Oprava a údržba	4,1 Kč / vozokm ³⁴	7,5 Kč / vozokm ³⁵
Údržba vedení a měření	-	2,55 Kč / vozokm ³⁶
Pořízení rychlonabíjecích stanic	0,31 Kč / vozokm ³⁷	-
Celkem	7,11 Kč / vozokm	12,75 Kč / vozokm

³¹ *Dopravní podnik hl. m. Prahy v datech* [online]. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <http://www.dpp.cz/dpp-v-datech/#provozne-technicke-ukazatele>

³² *Elektromobilita v městské hromadné přepravě osob* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: http://www.busportal.cz/bpextend/23_Cerny_Evmhpo-revize-l.pdf

³³ *Elektromobilita v městské hromadné přepravě osob* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: http://www.busportal.cz/bpextend/23_Cerny_Evmhpo-revize-l.pdf

³⁴ *Elektromobilita v městské hromadné přepravě osob* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: http://www.busportal.cz/bpextend/23_Cerny_Evmhpo-revize-l.pdf

³⁵ *Elektromobilita v městské hromadné přepravě osob* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: http://www.busportal.cz/bpextend/23_Cerny_Evmhpo-revize-l.pdf

³⁶ *Elektromobilita v městské hromadné přepravě osob* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: http://www.busportal.cz/bpextend/23_Cerny_Evmhpo-revize-l.pdf

³⁷ *Elektromobilita v městské hromadné přepravě osob* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: http://www.busportal.cz/bpextend/23_Cerny_Evmhpo-revize-l.pdf

Průměrný roční nájezd u autobusu činí 55 000 vozokm.³⁸ Za 15 let 1 vozidlo urazí cca 825 000 km.

Tabulka 4: Celkové náklady na 1 vozidlo

	Elektrobus	Trolejbus
Provozní nákl. za celou životnost	5 865 750 Kč	10 518 750 Kč
Náklady na pořízení vozidla	15 000 000 Kč ³⁹	10 500 000 Kč ⁴⁰
Náklady na výměnu baterií (cca 30-50 % z pořizovací ceny)⁴¹	5 000 000 Kč	-
Náklady celkem	25 865 750 Kč	21 018 750 Kč

Z tabulky vyplývá, že elektrobus je dražší, ovšem nejsou zde započítané náklady na vybudování trolejbusové infrastruktury. V případě, že potřebujeme zatrolejovat 12,6 km (počítáme s 15 mil. Kč/km), náklady se vyšplhají na 189 mil. Kč.⁴² Pomocí výpočtu zjistíme, že mezní rozsah vychází u 40 vozidel.

Tabulka 5: Celkové náklady při 40 vozidlech

	Elektrobus	Trolejbus
Náklady na trolejbusové vedení	-	189 000 000 Kč
Celkové náklady při 40 vozidlech (včetně vybudování tr. vedení)	1 034 630 000 Kč	1 029 750 000 Kč

Je důležité si uvědomit, že na žádné lince nebudeme potřebovat 40 vozidel, avšak málokde se buduje od nuly trolejbusové vedení. Další nespornou výhodou je životnost trolejového vedení (cca 30-40 let).⁴³ Neposlední výhodou je možnost využívání trolejbusového vedení i jinými linkami, popř. i jinými typy vozidel (parciální trolejbusy, elektrobusy).

³⁸ *Dopravní podnik hl. m. Prahy v datech* [online]. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <http://www.dpp.cz/dpp-v-datech/#provozne-technicke-ukazatele>

³⁹ *SOR NS 12 Electric* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://imhd.sk/ba/popis-typu-vozidla/861/SOR-NS-12-Electric>

⁴⁰ *Kupní smlouva na trolejbusy* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://smlouvy.gov.cz/smlouva/soubor/10447123/kupn%C3%AD%20smlouva.pdf>

⁴¹ Československý Dopravák. 2018, 2018(5).

⁴² *Trolejbusy a Praha. Trolejbusy v Praze* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: http://www.trolejbusyvpraze.net/trolejbusy_praha.htm

⁴³ *Trolejbusy a Praha* [online]. [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: http://www.trolejbusyvpraze.net/trolejbusy_praha.htm

4 Současná situace v Praze

V současnosti jsou v Praze provozována celkem 4 elektrická vozidla. Tři vozidla jsou elektrobusy se statickým dobíjením, čtvrtým vozidlem je parciální trolejbus, který se využívá jako dynamický elektrobus.

4.1 SOR EBN 9,5

Elektrobusy byly uvedeny do provozu na začátku roku 2016 společností ARRIVA PRAHA (resp. ARRIVA CITY, jednalo se o první elektrobus v Praze, který provozuje jiná společnost než DPP). Jedná se o vozy SOR EBN 9,5 v délce 9,5 metrů. Vypravovány jsou na linky BB1 a BB2, linky spojují multifunkční areál BB Centrum. Jedná se o elektrobusy, které nemají pantograf a ani nejsou dobíjeny za provozu, a proto jsou dobíjeny pouze v garážích (dobíjení trvá cca 8 hodin do plného nabití). Denní výkon se průměrně pohybuje kolem 100 km na každý elektrobus (deklarovaná kilometráž výrobcem na jedno nabití je 140–160 km). Jsou vybaveny naftovým topením. K prosinci 2017 ujely elektrobusy přes 70 000 kilometrů.⁴⁴

4.2 SOR NS 12 Electric

V říjnu roku 2017 se začal testovat elektrobus SOR NS 12 Electric. Jedná se elektrobus, který se svými specifikacemi velmi podobá SORu EBN 11. Mezi hlavní změny patří délka, která u NS 12 dosahuje přesně 12 metrů, kompletní nízkopodlažnost vozidla a umístění baterií (baterie jsou nyní na střeše, kdežto u všech předchozích typů byly baterie umístěny přímo ve vozidle a ovlivňovaly velikost interiéru). Vozidlo může být dobíjeno buď kabelem v garážích nebo z dvoupólové troleje (jak již zmíněný SOR EBN 11). Testování vozidla probíhá na lince 109. Podle dat od výrobce by měl být schopen elektrobus ujet cca 160 km⁴⁵ na jedno nabití s povinnou rezervou (kapacita baterií je větší než u EBN 11), kilometráž je možné navýšit pomocí průběžného dobíjení.

⁴⁴ Úspěchy Elektrobusů SOR EBN 9,5 v Praze. *BusPress* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.buspress.eu/uspechy-elektrobusu-sor-ebn-95-v-praze/>

⁴⁵ Československý Dopravák. 2018, **2018**(1).

4.3 Škoda 30Tr

Od dubna 2018 se začal na lince 58 testovat parciální trolejbus, který vystřídal SOR TNB 12. Jedná se o typ se stejnou karoserií, avšak výzbroj a elektromotory jsou odlišné. Oproti předchůdci již nemá omezení při jízdě na baterie. Dobíjení probíhá tak, že část trasy absolvuje jako trolejbus, poté se dobíjí u DOBUDky na Palmovce.

Od 1. července 2018 je zavedena oficiálně linka 58, které začíná na Palmovce a končí v Letňanech. Na lince je pravidelný hodinový interval (od 9 h do 18 h). Na linku má dopravce vyhrazen pouze tento trolejbus. Při poruše vozidla je linka zrušena bez náhrady.



Obrázek 5: Parciální trolejbus Škoda 30Tr⁴⁶

⁴⁶ Parciální trolejbus Škoda 30Tr [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: http://img3.auto.cz/news/img/art/2018-19/620_5af2aa5a2d751.jpg

5 Plánovaný rozvoj

V budoucnosti bychom se měli dočkat celkem 3 projektů, které se týkají elektrifikace pražské autobusové MHD. Konkrétně se jedná o linky 140, 207 a AE, které v následující kapitole detailněji rozvedu.

5.1 Linka 140

V roce 2021 má vyjet linka 140 plně elektrifikovaná. Přes 40 % trasy bude zatrolejováno (cca 15 775 m jednostopé délky nového trolejového vedení). Elektrifikací mají projít úseky Na Žertvách, Čuprova, Zenklova, Letňany – OC Čakovice. Odstav vozidel plánován v garážích Klíčov. Vybuduje se celkem 18 nabíjecích míst. Díky tomu, že na lince budou provozovány parciální trolejbusy (resp. dynamické elektrobusy), nebude třeba přestavět výrazněji garáže (např. se nemusí řešit trolejová křížení a atd.). Napájení má být vyřešeno pomocí 3 měníren. Celkem se uvažuje o koupi 13-15 bateriových trolejbusů. Náklady jsou odhadovány na cca 492 mil. Kč. V případě, že se tento projekt osvědčí, je v plánu dále rozšiřovat síť.⁴⁷

5.2 Linka 207

Mezi další navrhované projekty patří elektrifikace linky 207. Plánuje se zde provoz standardních elektrobusů (resp. statických elektrobusů). Nabíjení má probíhat na konečné Ohrada, pomalé nabíjení a balancování v garážích. Elektrická energie má být odebírána z tramvajové napájecí sítě (stejně jako u testování 109). Odhadované náklady na pořízení 14 elektrobusů a vybudování dobíjecích míst je 196 mil. Kč. Spuštění je odhadováno na rok 2021.⁴⁸

⁴⁷ DP Kontakt [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://www.dpp.cz/download-file/16481/novy-soubor.pdf>

⁴⁸ Elektrifikace linky 207 [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: http://zasobnik.poladprahu.cz/index.php?option=com_zasobnik&view=record&id=28

5.3 Linka AE

Posledním aktuálním projektem je elektrifikace linky AE (Airport Express). Linka vede z Hlavního nádraží na letiště Václava Havla. Oproti již zmíněným projektům se zde plánuje použít nabíjecí standard OppCharge (4 pólové nabíjení, pantograf není umístěn na vozidle, ale je umístěn na nabíjecí stanici). Hlavní výhodou je to, že jeden nabíjecí stojan může použít více výrobců vozidel (kteří splňují nabíjecí standard OppCharge).⁴⁹ Počítá se s pořízením 6 elektrobusů a vybudováním 2 nabíjecích stanic (na obou konečné). Náklady se odhadují na cca 100 mil. Kč.⁵⁰



Obrázek 6: Standard OppCharge v praxi⁵¹

⁴⁹ *Standard OppCharge* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/340.php>

⁵⁰ *Elektrifikace linky AE* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: http://zasobnik.poladprahu.cz/index.php?option=com_zasobnik&view=record&id=48

⁵¹ *Standard OppCharge* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: http://www.busportal.cz/images/stories/2018/14815_elektrobusheliox.jpg

6 Vlastní návrh možného rozšíření

Vlastní návrh vychází z již naplánovaných úprav (elektrifikace linky 140) a zaměřuje se na další možný rozvoj.

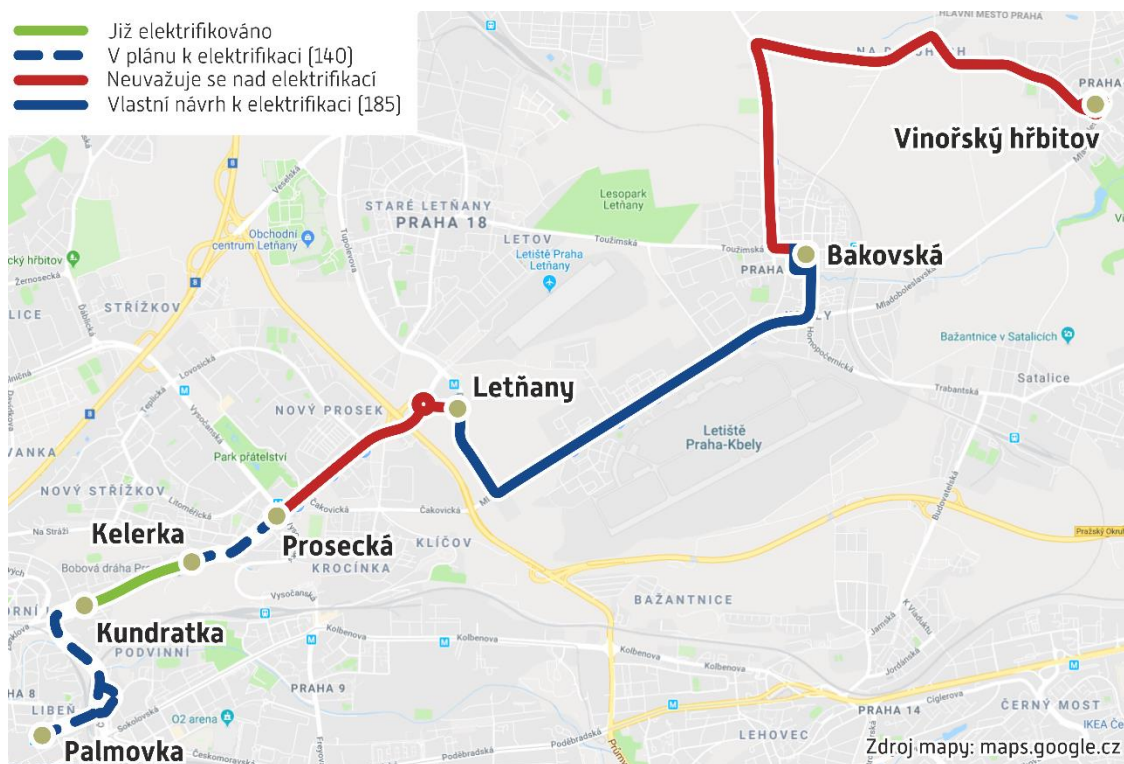
6.1 Elektrifikace linky 185

Linka 185 jezdí z Palmovky na Vinořský hřbitov (vybrané spoje končí v zastávce Bakovská). Mimo špičku začínají spoje v Letňanech. V sobotu a neděli je linka provozována v úseku Letňany – Vinořský hřbitov.

Tuto linku jsem si vybral z důvodu, že celá linka spadá pod Garáž Klíčov (tzn. již zde bude mít vybudovanou infrastrukturu pro trolejbusy / elektrobusy). Navíc 25 % (3,3 km) již bude plně elektrifikováno (včetně nabíjecí infrastruktury na Palmovce).

Můj návrh počítá s vybudováním nabíjecí infrastruktury v Letňanech (kvůli krátkým spojům) a zatrolejování úseku Letňany – Bakovská (cca 4 km dvoustopé troleje). Díky těmto úpravám vznikne zázemí pro provoz parciální trolejbusů (cca 7,3 km zatrolejováno a zbylých 5,7 km bez troleje).

Pro provozování linky bude potřeba zakoupit nejméně 8 standardních parciálních trolejbusů (ve špičce vypraveno 7 vozů + 1 záložní vůz). Otázkou zůstává, co s těmito vozy v sobotu a neděli, jelikož veškeré spoje jsou převedeny na linku 351. Celkové náklady můžou dosahovat až cca 230 mil. Kč (110 mil. Kč na novou infrastrukturu a cca 140 mil. Kč na nová vozidla).



Obrázek 7: Plán elektrifikace linky 185

6.2 Elektrifikace linky 302

Linka 302 je provozována v trase Palmovka – Přezletice, Kocanda. V sobotu a neděli pouze v úseku Letňany – Přezletice, Kocanda.

Vybral jsem si ji z důvodu, že trasa je takřka identická s linkou 185, akorát je prodloužená o úsek Vinořský hřbitov – Přezletice, Kocanda (cca 2 km dlouhý úsek).

Celý návrh je závislý na vybudování trolejbusové sítě v okolí Letňan a vybudování infrastruktury v Letňanech (elektrifikace linky 185). Další podmínkou je, že linka 302 musí spadat pod Dopravní podnik hl. m. Prahy (nebudou muset být další náklady na vybudování infrastruktury pro dobíjení v garážích). V případě, že tyto podmínky budou splněny, nebude problém začít s elektrifikací linky 302. Na lince by se mohly nasazovat dynamické elektrobusy, jelikož cca 7 km trasy je zatrolejováno a 7 km bez troleje).

Pro linku je potřeba 5 vozidel (4 vozidla ve špičce + 1 jako záložní vůz). Statické nabíjení může probíhat na Palmovce, v případě krátkých spojů v Letňanech (díky již zmíněné elektrifikaci linky 185). Celkové náklady se pohybují cca kolem 80-90 mil. Kč (markantní část půjde na nákup nových vozidel, jelikož skoro celá infrastruktura by měla být vybudovaná a bude požadovat pouze úpravy).

6.3 Úvaha nad dlouhodobou budoucností

Myslím si, že tyto dvě linky jsou nejbližší k elektrifikaci (po lince 140, 207 a AE), jelikož se o nich již teď uvažuje, avšak pouze v čistě elektrobusové podobě. O dalších návrzích se dá již pouze spekulovat, protože náklady na kompletně nové trolejbusové linky jsou enormní. Například linky jako 136, 177 a 195 by se hodily jako trolejbusové (odjede se velký počet vozokm, využití lepší adheze atd.). Nakonec by tyto páteřní linky mohly vytvořit síť pro provozování elektrobusů nebo parciálních trolejbusů.

Závěr

Cílem práce bylo popsat rozdíly mezi jednotlivými typy elektrické trakce v autobusové dopravě. Popsal jsem historii, současnost a nastínil budoucnost, součástí práce je i můj návrh, o němž věřím, že se alespoň z nějaké části zrealizuje.

V budoucnosti se v Praze jistě setkáme s dalším rozvojem trolejbusů (popř. elektrobusů). Doufám však, že vedení Prahy a DPP se neunáhlí a nebude rozšiřovat pouze síť elektrobusů, jelikož tato odnož autobusové dopravy zatím není plnohodnotnou alternativou.

Zdroje:

Literatura:

- Československý Dopravák. 2017, 2017(5).
- Československý Dopravák. 2018, 2018(1).
- Československý Dopravák. 2018, 2018(5).
- CHLUP, Martin a Tomáš BÁRTA. Elektrobuses v Praze. SOČ. SPŠD Masná. (některé části převzaty do této práce)
- ZeEUS eBus Report [online]. 2017, 2017(2) [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>

Programy:

- Program na úpravu map: CorelDraw

Mapové podklady:

- Mapy Google [online] [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: maps.google.cz/maps?hl=cs&tab=wl