

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Využití alternativních pohonů v komunálních službách statutárního města

Josef Koukol

Bakalářská práce

2010

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef KOUKOL**

Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**

Studijní obor: **Provozní spolehlivost dopravních prostředků a infrastruktury**

Název tématu: **Využití alternativních pohonů v komunálních službách statutárního města**

Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

1. Úvod
2. Zmapování vozového parku ve vybraném statutárním městě, popis typických provozních režimů jednotlivých typů vozidel včetně průměrné spotřeby pohonných hmot, vyčíslení průměrných nákladů na provoz a údržbu vozidel.
3. Přehled adekvátních vozidel s alternativními pohony na trhu ČR, zjištění jejich provozních parametrů a typických nákladů na provoz a údržbu
  - srovnání výhod jednotlivých alternativních pohonů
  - ekonomická analýza náhrady části vozového parku dostupnými vozidly
  - stanovení úspor emisí nahrazením části vozového parku dostupnými vozidly.
4. Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**SMÉKAL, Petr. Podpora veřejné hromadné dopravy ve Středočeském kraji s cílem její postupné ekologizace přechodem na alternativní druh paliva resp. pohonu: Studie proveditelnosti.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Michal Jurašek**

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Konzultant bakalářské práce:

**Ing. Libor Špička**

Centrum dopravního výzkumu

Datum zadání bakalářské práce: **26. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2010**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

## **Prohlášení:**

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., autorského zákona, 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 20. 5. 2010

Josef Koukol

## **Poděkování**

Na tomto místě chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Michalu Juraškovi za pomoc při vypracovávání bakalářské práce. Za poskytnutí podrobných informací o vozovém parku DPMP a.s., bez kterých by tato práce nemohla vzniknout, děkuji provozně-technickému náměstkovi DPMP a.s. panu Ing. Jaroslavu Havlovi. Za odborné rady a konzultace děkuji panu Ing. Liboru Špičkovi (Centrum dopravního výzkumu).

Dále bych rád poděkoval celé své rodině za podporu při tvorbě bakalářské práce i během celého studia.

Josef Koukol

## **ANOTACE**

Bakalářská práce se zabývá současným stavem vozového parku autobusů Dopravního podniku města Pardubic a.s. Popisuje náklady na pohonné hmoty a údržbu jednotlivých typů používaných autobusů. Stanovuje vyprodukované množství plynných emisí používanými autobusy. Porovnává existující vozidla na alternativní paliva. Vypočítává jejich náklady na pohonné hmoty a údržbu a množství vyprodukovaných emisí.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Dopravní podnik města Pardubic a.s.; městská hromadná doprava; alternativní paliva; stlačený zemní plyn; elektrobus; plynné emise; náklady na pohonné hmoty, náklady na údržbu

## **TITLE**

The use of alternative drives in communal services of a statutory city

## **ANNOTATION**

This thesis points on the current status of the local transportation company Dopravní podnik města Pardubic bus fleet. It describes fuel costs and maintenance costs of each type of buses. Determines the quantities of exhalations produced by used buses. It compares existing vehicles with alternative fuel, calculates their fuel costs and maintenance costs and quantities of exhalations.

## **KEYWORDS**

the local transportation company Dopravní podnik města Pardubic; urban public transport; alternative fuels; compressed natural gas; elektrobus; gaseous emissions; fuel costs; maintenance costs

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1 ZMAPOVÁNÍ VOZOVÉHO PARKU DPMP</b> .....	<b>9</b>
1.1 AUTOBUSY .....	9
1.1.1 <i>Emise vytvořené autobusy DPMP v roce 2009</i> .....	11
1.2 TROLEJBUSY.....	15
1.3 EKONOMIKA SOUČASNÉHO PROVOZU .....	15
<b>2 PŘEHLED AUTOBUSŮ S ALTERNATIVNÍMI POHONY NA TRHU ČR</b> .....	<b>17</b>
2.1 CNG AUTOBUSY .....	17
2.2 ELEKTROBUSY.....	20
2.3 HYBRIDNÍ AUTOBUSY .....	23
2.4 TriHyBus – VODÍKOVÝ AUTOBUS.....	24
<b>3 DOTACE NA POŘÍZENÍ NOVÝCH AUTOBUSŮ</b> .....	<b>25</b>
<b>4 EVROPSKÉ EMISNÍ LIMITY</b> .....	<b>26</b>
<b>5 STANOVENÍ ZPŮSOBU OBNOVY VOZOVÉHO PARKU</b> .....	<b>29</b>
<b>6 VÝVOJ MNOŽSTVÍ EMISÍ VLIVEM OBNOVY VOZOVÉHO PARKU</b> .....	<b>32</b>
<b>7 POROVNÁNÍ MNOŽSTVÍ EMISÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT</b> .....	<b>35</b>
<b>8 VÝVOJ SPOTŘEBY POHONNÝCH HMOT VLIVEM OBNOVY AUTOBUSŮ</b> .....	<b>40</b>
<b>9 EKONOMICKÁ ANALÝZA OBNOVY VOZOVÉHO PARKU</b> .....	<b>41</b>
<b>10 SHRNUÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT</b> .....	<b>44</b>
<b>11 ZÁVĚR</b> .....	<b>46</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>47</b>
<b>SEZNAM UVEDENÝCH TABULEK</b> .....	<b>50</b>
<b>SEZNAM UVEDENÝCH OBRÁZKŮ</b> .....	<b>51</b>
<b>SEZNAM UVEDENÝCH GRAFŮ</b> .....	<b>52</b>

## Úvod

S rostoucími nároky na dopravu roste i snaha o zvýšení používání alternativních pohonů. K tomu vedou dva hlavní důvody: snížit závislost na dovozu ropy a snížit škodlivé dopady dopravy na zdraví člověka i životní prostředí. Dalším důležitým důvodem jsou ubývající zásoby ropy. Odhady doby, kdy dojde k vyčerpání světových zásob ropy, se značně liší. Některé zdroje odhadují, že již od druhé poloviny tohoto století bude ropy nedostatek, optimističtější předpoklady uvádějí zásoby ropy ještě na několik staletí. Ať se potvrdí optimistické či pesimistické předpoklady, již nyní je potřeba hledat alternativní možnosti zdrojů energie pro dopravní prostředky.

Za statutární město jsem si zvolil Pardubice. Nachází se na východě Čech. V Pardubicích je k trvalému pobytu přihlášeno 90 686 obyvatel a rozloha obce činí 82,5 km<sup>2</sup> (stav k 19. 11. 2010, údaje dle Ministerstva vnitra České republiky).

Práce se zabývá současným stavem vozového parku Dopravního podniku města Pardubic a.s. (dále jen DPMP) a možnou modernizací jeho autobusové části. Množstvím vyprodukovaných emisí (látky limitované Evropskými emisními normami Euro) a možnostmi jejich snižování v uvedeném přehledu většiny autobusů s alternativními pohony na trhu ČR. V neposlední řadě se práce zmiňuje o možnosti financování nákupu nových vozidel.

Práce se vzhledem k obsáhlosti výše zmíněných úkolů nezabývá dalšími subjekty, které také pracují v komunální sféře.



# 1 Zmapování vozového parku DPMP

Dopravní podnik města Pardubic a.s. vznikl v roce 1950. Začal nejprve provozovat autobusy, o dva roky později fungovala první trolejbusová linka. K 31. 12. 2009 měl podnik 75 autobusů a 55 trolejbusů. V roce 2008 přepravily dopravní prostředky DPMP 30 239 tis. cestujících (což je o 5 % více než v roce 2007) a najely celkem 5 784 tis. km (z toho autobusy najely 2/3, kilometrický výkon byl oproti roku 2007 navýšen o 2,1 %). V roce 2009 se pravděpodobně z důvodu finanční krize snížil počet přepravených cestujících oproti předcházejícímu roku o 1 961 tis. Celkový kilometrický výkon vozidel vzrostl u autobusů o 47 tis. kilometrů a u trolejbusů o 14 tis. kilometrů. [3].

## 1.1 Autobusy

DPMP neustále modernizuje svůj vozový park. V případě autobusů pořídí (nebo na generální opravu pošle) průměrně 5,5 vozů ročně (vypočteno z období 1989 – 2009). V roce 2009 bylo například sedm starších vozů nahrazeno moderními vozidly IVECO IRISBUS Citelis 12M s pohonem na stlačený zemní plyn (dále jen Citelis 12M CNG).

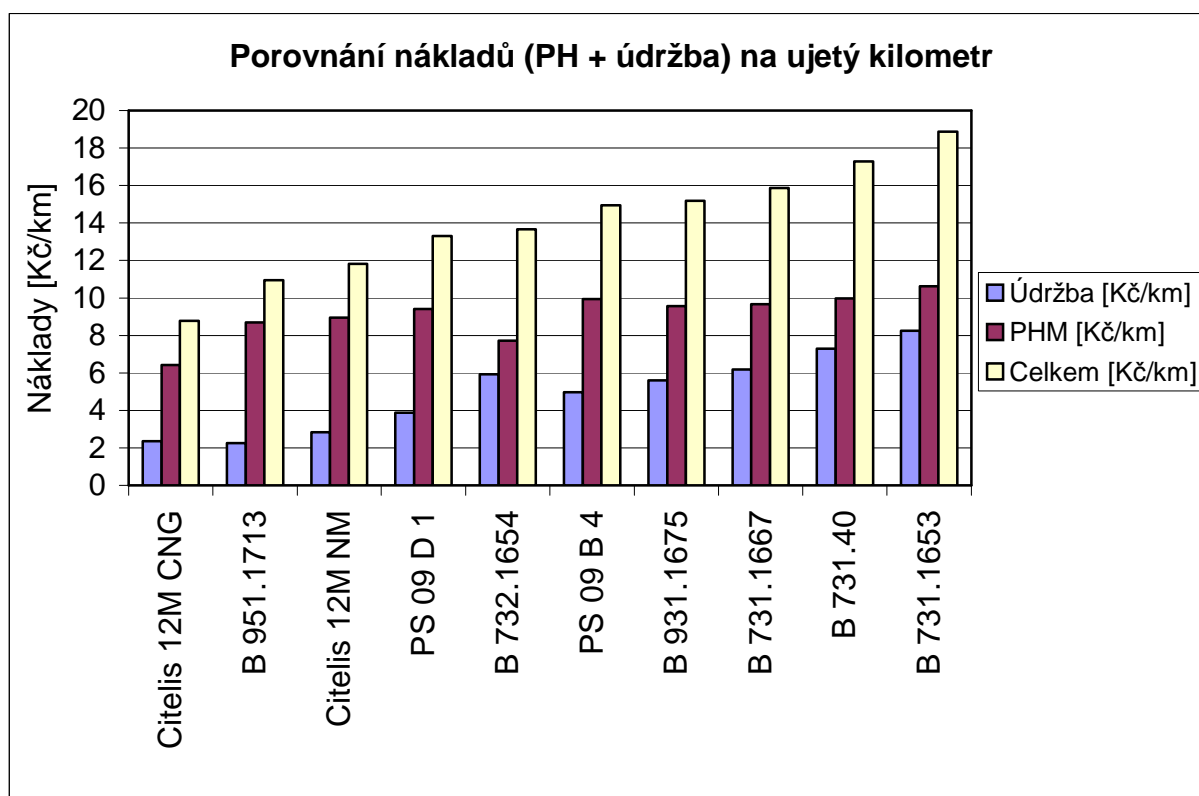
V následujících tabulkách je uveden stav vozového parku DPMP k 31. 12. 2009. Průměrné náklady na údržbu jsou u vozidel na stlačený zemní plyn (Tabulka č. 1) uvedeny za období 1. 11. 2009 až 31. 3. 2010 a u vozidel na naftu (Tabulka č. 2) jde o období 1. 4. 2009 až 31. 3. 2010. Částky zahrnují materiálové náklady a vykázané nákladové hodiny středisek údržby vozidel včetně režii (dále jen náklady na údržbu). Ostatní provozní částky (např.: mzda řidiče) nejsou do průměrných nákladů na údržbu započítány.

Citelis 12 M CNG	
Počet autobusů	7
Spotřeba [ $\text{kg} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$ ]	36,5
Průměrný počet ujetých kilometrů za měsíc	6061
Průměrné náklady na údržbu [ $\text{Kč} \cdot \text{km}^{-1}$ ]	2,36
Náklady za pohonné hmoty [ $\text{Kč} \cdot \text{km}^{-1}$ ]	8,79
Emisní limit	EEV, Euro V (ETC)
Kapacita [osoby]	87
Nízkopodlažní	ano

Tabulka č. 1 IVECO IRISBUS Citelis 12M CNG [11].

	IRISBUS IVECO Citelis 12M	Karosa B951.1713	Karosa/Renault/Irisbus City Bus PS09D1	Karosa B 931.1675	Karosa B 731.1667	Karosa/Renault/Irisbus City Bus PS09B4	Karosa B 732.1654	Karosa B 731.40	Karosa B 731.1653
<b>Počet autobusů</b>	4	10	15	6	6	21	1	2	3
<b>Spotřeba [<math>l \cdot 100km^{-1}</math>]</b>	39,39	38,22	41,38	42,06	42,53	43,74	33,98	43,86	46,7
<b>Průměrný měsíční proběh [<math>km \cdot měsíc^{-1}</math>]</b>	5311	5566	4899	2627	1451	4018	3467	605	554
<b>Průměrné náklady na údržbu [<math>Kč \cdot km^{-1}</math>]</b>	2,84	2,26	3,88	5,61	6,19	4,98	5,93	7,30	8,25
<b>Náklady za pohonné hmoty [<math>Kč \cdot km^{-1}</math>]</b>	8,96	8,70	9,42	9,57	9,68	9,95	7,73	9,98	10,63
<b>Emisní limit</b>	E IV	E III	E III	E II	E II	E II	E I	E I	E I
<b>Kapacita [osoby]</b>	99	99	99	99	90	99	90	90	90
<b>Nízkopodlažní</b>	ano	ne	ano	ne	ne	ano	ne	ne	ne

Tabulka č. 2 Přehled autobusů DPMP na konvenční paliva. Rozdělení dle typů (stav k 31. 12. 2009). Seřazení dle emisních limitů. [11].



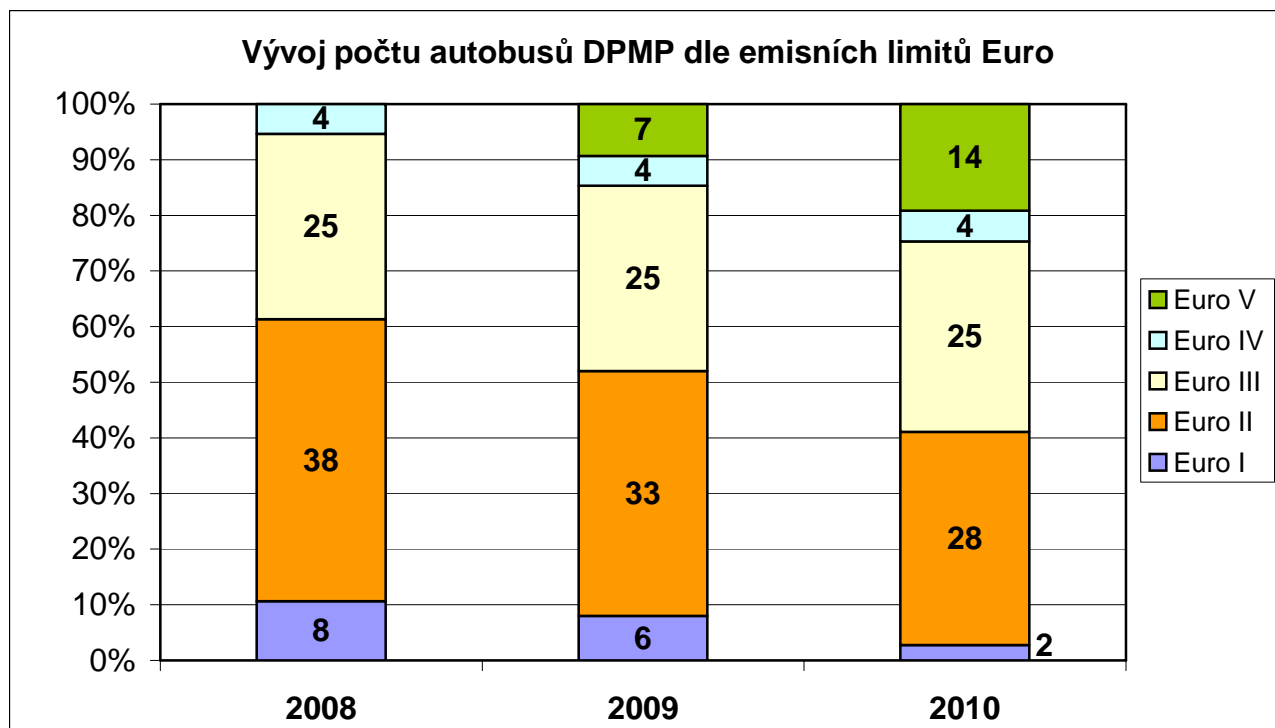
Graf č. 1 Srovnání autobusů DPMP dle nákladů (PHM + údržba) na ujetý kilometr.

K 31. 10. 2010 je pro potřeby autobusové MHD používáno 73 vozidel. Vyřazeno bylo 9 vozidel (1x Škoda B 731.40; 2x B 731.1653; 5x B 731.1667; 1x B 731.1654) a pořízeno dalších 7 nových autobusů Citelis 12M CNG. [24].

Během denních špiček je v provozu 50 autobusů, 11 se podrobuje údržbě, 4 slouží jako záložní prostředky pro autobusovou část vozového parku, a zbylých 8 je připraveno pomocí trolejbusové dopravy při výpadku proudu. [11].

Rok	Počet autobusů					Celkem
	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	
2008	8	38	25	4	0	75
2009	6	33	25	4	7	75
2010	2	28	25	4	14	73

Tabulka č. 3 Rozdělení autobusů DPMP podle emisních limitů [11].



Graf č. 2 Vývoj rozdělení autobusů DPMP dle limitů Euro od roku 2008 do roku 2010.

### 1.1.1 Emise vytvořené autobusy DPMP v roce 2009

S provozem každého dopravního prostředku, který je poháněn spalovacím motorem, jsou spojeny určité emise. Výjimkou nejsou ani autobusy pardubického dopravního podniku. Jelikož DPMP obnovuje každý rok několik svých starších vozidel za nová, přičemž celkový počet

zůstává přibližně stejný, snižuje se každý rok i celkový objem škodlivin vyprodukovaných autobusy DPMP.

Pro výpočet emisí byl použit vzorec (1) [1]:

$$E_j = \sum_{i=1}^n p_i \cdot s_i \cdot Q_i \cdot Ef_{ij} \quad (1)$$

kde:	$E_j$ [t·rok <sup>-1</sup> ]	množství emisí j-té škodliviny,
	$p_i$	počet vozidel v i-té skupině,
	$v_i$	dopravní výkon vozidla i-té skupiny
	$Q_i$ [kWh·km <sup>-1</sup> ]	energetická spotřeba vozidla i-té skupiny,
	$Ef_{i,j}$ [t·kWh <sup>-1</sup> ]	emisní faktor vozidla i-té skupiny, j-té škodliviny.
	$j$	j-tá škodlivina (NO <sub>x</sub> atd.);
	$i$	i-tý typ autobusů (Karosa B 731.40 atd.).

Za počet vozidel ( $p_i$ ) byly postupně dosazeny počty autobusů v jednotlivých typových skupinách (viz Tabulka č. 1 na str. 9 a Tabulka č. 2 na str. 10). Energetická spotřeba byla spočítána pro každý typ autobusů samostatně jako součin konkrétní spotřeby paliva dané skupiny [l·km<sup>-1</sup>] resp. [kg·km<sup>-1</sup>] a výhřevností paliva [MJ·l<sup>-1</sup>] resp. [MJ·kg<sup>-1</sup>] (2):

$$Q_i = s_i \cdot \frac{w_i}{3,6} \quad (2)$$

kde:	$s_i$	spotřeba paliva [l·km <sup>-1</sup> ] resp. [kg·km <sup>-1</sup> ];
	$w_i$	výhřevnost paliva [MJ·l <sup>-1</sup> ] resp. [MJ·kg <sup>-1</sup> ].

(Konstanta 3,6 je zde pro převod z [MJ·km<sup>-1</sup>] na jednotky [kWh·km<sup>-1</sup>], 1 kWh = 3,6 MJ).

Relativně nízký počet vozidel umožňuje upustit od roztrídění vozového parku pouze podle jednotlivých emisních limitů, které by vedlo k méně přesným výsledkům. Naopak lze vozidla roztrdídit podle typů. Vozidla stejného typu mají přibližně stejnou spotřebu a proto je výpočet energetické spotřeby a následně i celkové množství škodlivin přesnější.

Skutečné hodnoty emisních faktorů současných vozidel DPMP nebyly pro zpracování bakalářské práce získány. Za emisní faktor u naftových autobusů byly dosazeny maximálně povolené hodnoty emisních limitů příslušné skupiny Euro (viz Tabulka č. 12). V případě výpočtu emisí u CNG autobusů byly použity skutečné hodnoty emisních faktorů autobusu Citelis 12M CNG (Tabulka č. 9). Práce předpokládá, že emise starších naftových autobusů se blíží jejich uváděným limitním hodnotám, které jsou stanoveny testy ECE R49 a ESC & ELR

[4]. Při výpočtech je zároveň bráno na vědomí, že skutečné emise CNG autobusů jsou určovány přísnějším testem ETC. Proto je při výpočtech zvýhodnění autobusů na stlačený zemní plyn možné přehlédnout.

<i>i</i>	Typ autobusů	Počet vozů ve skupině = $p_i$	Spotřeba nafty [ $l \cdot 100 \text{ km}^{-1}$ ]	Energetická spotřeba vozidla [ $\text{kWh} \cdot \text{km}^{-1}$ ] = $Q_i$	Výkon vozidla [ $\text{km}/\text{měsíc}$ ] = $v_i$	Emisní faktory				CO [ $\text{kg} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ]	HC [ $\text{kg} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ]	NO <sub>x</sub> [ $\text{kg} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ]	PM [ $\text{kg} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ ]
						<i>j</i> = 1	2	3	4				
						CO [ $\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$ ]	HC [ $\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$ ]	NO <sub>x</sub> [ $\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$ ]	PM [ $\text{g} \cdot \text{kWh}^{-1}$ ]				
1	Citelis 12M	4	39,39	3,9	5311	0,54	0,23	1,18	0,01	124	38	290	2
2	B951.1713	10	38,22	3,78	5566	2,1	0,66	5	0,1	442	139	1052	21
3	PS 09 D 1	15	41,38	4,09	4899	2,1	0,66	5	0,1	631	198	1504	30
4	B931.1675	6	42,06	4,16	2627	4	1,1	7	0,15	262	72	459	10
5	B731.1667	6	42,53	4,21	1451	4	1,1	7	0,15	146	40	256	5
6	PS 09 B 4	21	43,74	4,33	4018	4	1,1	7	0,15	1460	401	2555	55
7	B732.1654	1	33,98	3,36	3467	4,5	1,1	8	0,36	52	13	93	4
8	B 731.40	2	43,86	4,34	605	4,5	1,1	8	0,36	24	6	42	2
9	B731.1653	3	46,7	4,62	554	4,5	1,1	8	0,36	35	8	61	3
<b>Množství emisí [<math>\text{kg} \cdot \text{měsíc}^{-1}</math>]</b>										<b>3177</b>	<b>916</b>	<b>6311</b>	<b>132</b>
<b>Množství emisí [<math>\text{t} \cdot \text{rok}^{-1}</math>]</b>										<b>38,12</b>	<b>11,00</b>	<b>75,74</b>	<b>1,58</b>

Tabulka č. 4 Vypočtené množství emisí vyprodukované naftovými autobusy DPMP v roce 2009. (Hodnoty měsíčních množství emisí zaokrouhleny na celá čísla).

Autobusy na stlačený zemní plyn se začaly v pardubické MHD provozovat v listopadu 2009. Hodnoty průměrné spotřeby a dopravního výkonu byly spočítány z období pěti měsíců (listopad 2009 až březen 2010). Tabulka č. 5 pro zjednodušení představuje takové množství emisí, jako kdyby byly CNG autobusy používány již od ledna 2009.

Pro výpočet celkových emisí vyprodukovaných všemi autobusy, které ukazuje Tabulka č. 6, bylo předpokládáno, že výše uvedený stav vozového parku DPMP k datu 31. 12. 2009 trval bez jakékoliv změny po celý rok. Skutečné emise musely být tedy ještě

o něco vyšší, neboť dopravní výkon uskutečněný poměrně šetrnými CNG autobusy musel být deset předcházejících měsíců vykonáván méně šetrnými autobusy naftovými.

<i>i</i>	Typ autobusů	Počet vozů = $p_i$	Spotřeba CNG [kg.100km <sup>-1</sup> ]	Energetická spotřeba [kWh/km] = $Q_i$	Výkon vozidla [km/měsíc] = $v_i$	Emisní faktory				CO [kg/měsíc]	NMHC + CH <sub>4</sub> [kg/měsíc]	NO <sub>x</sub> [kg/měsíc]	PM [kg/měsíc]
						<i>j</i> = 1	2	3	4				
10	Citelis 12M CNG	7	36,5	5,02	6061	0,54	0,23	1,18	0,01	114,98	48,97	251,26	2,13
Množství emisí [t/rok]										1,38	0,59	3,02	0,03

Tabulka č. 5 Množství emisí vyprodukovaných 7 CNG autobusy za 1 rok. [11]

Celkem autobusů	Celkový počet ujetých kilometrů za rok	CO [t.rok <sup>-1</sup> ]	HC [t.rok <sup>-1</sup> ]	NO <sub>x</sub> [t.rok <sup>-1</sup> ]	PM [t.rok <sup>-1</sup> ]
75	3 696 012	39,5	11,58	78,75	1,61

Tabulka č. 6 Celkové množství emisí vyprodukovaných autobusy DPMP za rok 2009.

Poměrně zajímavé srovnání hodnot škodlivin ukazuje Tabulka č. 7. Jde o přehled emisí jednotlivých skupin autobusů vyjádřených v gramech na kilometr.

Typ	Emisní limit	CO [g.km <sup>-1</sup> ]	HC [g.km <sup>-1</sup> ]	NO <sub>x</sub> [g.km <sup>-1</sup> ]	PM [g.km <sup>-1</sup> ]
Citelis 12M CNG	Euro V	2,71	1,15	5,92	0,05
Citelis 12M NM	Euro IV	5,84	1,79	13,63	0,08
B 951.1713	Euro III	7,94	2,49	18,90	0,38
PS 09 D 1	Euro III	8,59	2,70	20,46	0,41
B 732.1654	Euro I	15,12	3,70	26,88	1,21
B 931.1675	Euro II	16,64	4,58	29,11	0,62
B 731.1667	Euro II	16,82	4,63	29,44	0,63
PS 09 B 4	Euro II	17,30	4,76	30,28	0,65
B 731.40	Euro I	19,52	4,77	34,70	1,56
B 731.1653	Euro I	20,78	5,08	36,94	1,66

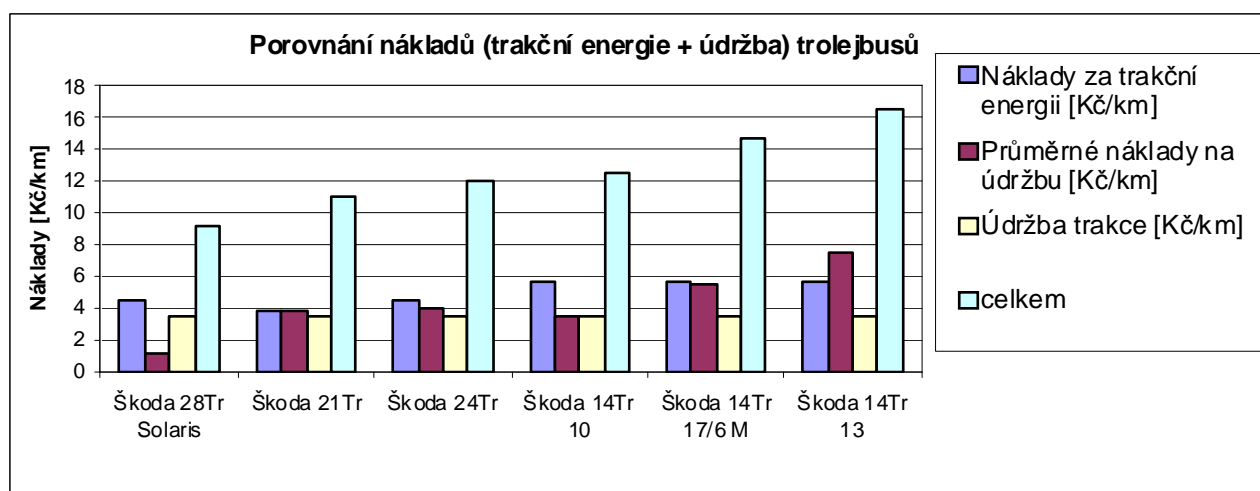
Tabulka č. 7 Přehled typů autobusů DPMP s uvedenými škodlivinami. Seřazeno podle emisí CO (vypočteno pro stav k 31. 12. 2009).

## 1.2 Trolejbusy

	Škoda 28Tr Solaris	Škoda 24Tr	Škoda 21Tr	Škoda 14Tr 17/6 M	Škoda 14Tr 13	Škoda 14Tr 10
<b>Počet Trolejbusů</b>	6	6	15	19	1	8
<b>Průměrná spotřeba el. energie jednoho vozu [kWh·100 km<sup>-1</sup>]</b>	80	80	110	100	100	100
<b>Průměrný měsíční proběh [km·měsíc<sup>-1</sup>]</b>	5633	4161	3935	2789	608	3396
<b>Náklady za trakční energii [Kč·km<sup>-1</sup>]</b>	4,47	4,47	3,77	5,59	5,59	5,59
<b>Průměrné náklady na údržbu [Kč·km<sup>-1</sup>]</b>	1,16	4,06	3,77	5,55	7,53	3,45
<b>Údržba trakce [Kč·km<sup>-1</sup>]</b>	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
<b>Kapacita [osoby]</b>	135	86	86	80	80	80
<b>Nízkopodlažní</b>	ano	ano	ano	ne	ne	ne

Tabulka č. 8 Přehled trolejbusů DPMP [3]; [11].

Náklady na trakční energii nelze jednoznačně určit pro jednotlivá vozidla. Tabulka č. 8 zobrazuje hodnoty, které byly spočítány z průměrných nákladů všech trolejbusů, které činí 5,5 Kč·km<sup>-1</sup> [11].



Graf č. 3 Srovnání trolejbusů DPMP dle nákladů (trakční energie + údržba) [3]; [11].

## 1.3 Ekonomika současného provozu

Celkové provozní náklady na jízdu hromadného dopravního prostředku se skládají z následujících částí:

- pohonné hmoty resp. trakční energie;
- opravy a udržování dopravních prostředků (u trolejbusů navýšeny o údržbu trakce);
- provozní a správní režie;
- mzdy;
- odpisy dopravních prostředků (u trolejbusů navýšeny o odpis trakčních zařízení);
- ostatní přímé náklady (odvod sociálního a zdravotního pojištění).

Vyšší náklady na pořízení trolejbusů (přibližně o dvě třetiny vyšší než pořizovací cena autobusů), výstavba a opravy trolejového vedení způsobují vyšší celkové provozní náklady trolejbusů. V roce 2009 byly průměrné celkové provozní náklady u autobusů  $48 \text{ Kč}\cdot\text{km}^{-1}$ , u trolejbusů  $55 \text{ Kč}\cdot\text{km}^{-1}$ . Nejvíce trolejbusů DPMP jezdí ve středové části města, kde jejich provozem nedochází ke zvyšování zdraví škodlivých látek. Nižší emise jsou na úkor vyšších provozních nákladů [11].

V textu a především ve výpočtech figurují dva finanční náklady. Údržba vozidla zahrnující materiálové náklady a vykázané nákladové hodiny středisek údržby vozidel včetně režii (dále jen náklady na údržbu). Druhý náklad tvoří pohonné hmoty. Aktuální náklady na pohonné hmoty nebyly pro zpracování práce poskytnuty. Zde uvedené hodnoty byly spočítány z průměrných nákladů na pohonné hmoty v roce 2009, které činily přibližně  $9 \text{ Kč}\cdot\text{km}^{-1}$ .



## 2 Přehled autobusů s alternativními pohony na trhu ČR

### 2.1 CNG autobusy

V současné době městské autobusy na CNG v ČR nabízí pět výrobců:

- Iveco Czech Republic, a. s.;
- Tedom a.s.;
- Mercedes-Benz;
- Ekobus a.s.;
- SOR Libchavy spol. s r.o.;

#### Společnost Iveco Czech Republic, a. s.

Společnost sídlí ve Vysokém Mýtě, zabývá se výrobou všech typů autobusů (městské, linkové, dálkové), které jsou distribuovány především do Francie, Itálie, Německa, Finska a Švýcarska. Kromě evropských silnic jsou tyto autobusy k vidění např. i v Egyptě.

Městské autobusy na stlačený zemní plyn nabízí Iveco ve dvou modelech – o délkách 12 a 18 metrů.



Obrázek č. 1 Autobus IRISBUS IVECO Citelis 12M CNG. [6]



Obrázek č. 2 Autobus IRISBUS IVECO Citelis 18M CNG. [6]

## **TEDOM a.s.**

Společnost byla založena v roce 1991. Od svého vzniku se firma zabývá projekty snižující energetické nároky palivových zdrojů. Základním předmětem její činnosti byla výroba kogeneračních jednotek. Společnost TEDOM a.s. obsluhovala tepelně-energetické systémy v mnoha městech České republiky. S výrobou autobusů začala v roce 2004. První vyrobený prototyp byl poháněn stlačeným zemním plynem.

V současné době vyráběný model městského autobusu s pohonem na stlačený zemní plyn se nazývá TEDOM C 12 G (viz Obrázek č. 3) [9].



Obrázek č. 3 Autobus TEDOM C 12 G [9].

## **Mercedes-Benz**

Německá společnost sídlící ve Stuttgartu vznikla v roce 1926. Vyrábí osobní automobily, nákladní automobily i autobusy. Dva typy městských autobusů nabízí společnost v CNG variantě: jsou to Citaro CNG (Obrázek č. 4) a Citaro G CNG.



Obrázek č. 4 Mercedes-Benz (Citaro CNG) [25].

## **Ekobus a.s.**

Výkonové pracoviště společnosti Ekobus a.s. se nachází v České Lípě. Výrobní činnost spočívá ve finální výrobě ekologicky i ekonomicky šetrných autobusů poháněných zemním plynem. Základním konstrukčním prvkem autobusů s označením EKOBUS je karoserie produkovaná společností SOR Libchavy s.r.o. [9].



Obrázek č. 5 Ekobus CITY [9].

## **SOR Libchavy spol. s r.o.**

Firma SOR Libchavy vyrábí celou řadu silničních vozidel určenou pro hromadnou dopravu (městské, meziměstské a turistické autobusy; trolejbusy; elektrobusy a také městský hybridní autobus).



Obrázek č. 6 SOR BNG 12 [33].



Obrázek č. 7 SOR NBG 12 [33].

Shrnující informace o autobusech na stlačený zemní plyn obsahuje Tabulka č. 9. Neuvedené hodnoty nebyly pro tvorbu bakalářské práce poskytnuty.

	Citelis 12M CNG	Citelis 18M CNG	Tedom C 12 G	Citaro CNG	Citaro G CNG	EKOBUS CITY	SOR BNG 12	SOR NBG 12
<b>Spotřeba [kg·100 km<sup>-1</sup>]</b>	36,5	-	38	42	54,2	-	37,5	37,5
<b>Přepravní kapacita [osob]</b>	87	140	86	98	160	90	100	91
<b>Užitečná hmotnost [kg]</b>	6200	-	6000	8030	9452	6125	6990	6200
<b>Předpokládané náklady na údržbu [Kč·km<sup>-1</sup>]</b>	2,36	-	4	1,18	1,18	-	-	-
<b>Cena autobusu [tis. Kč] (bez DPH)</b>	5 100	-	5 600	6 450	8 950	-	5 500	5 500
<b>Délka [mm]</b>	11 990	17 800	12 030	11 950	17 940	10670	11 790	12 180
<b>Šířka [mm]</b>	2 500	2 500	2 550	2 550	2 550	2480	2 525	2 550
<b>Výška [mm]</b>	3 301	3 301	3 354	3 398	3 389	3510	3 180	3 330
<b>Max. výkon [kW]</b>	200	228	220	185	240	172	213	209
<b>Emisní limit</b>	Euro V EEV	Euro V EEV	Euro V EEV	Euro V EEV	Euro V EEV	Euro IV EEV	Euro V	Euro V
<b>Emise</b>	<b>CO [g·kWh<sup>-1</sup>]</b>	0,54	-	-	0,003	0,003	-	-
	<b>NMHC [g·kWh<sup>-1</sup>]</b>	0,07	-	-	0,02	0,02	-	-
	<b>CH<sub>4</sub> [g·kWh<sup>-1</sup>]</b>	0,16	-	-	0,03	0,03	-	-
	<b>NO<sub>x</sub> [g·kWh<sup>-1</sup>]</b>	1,18	-	-	1,5	1,5	-	-
	<b>PM [g·kWh<sup>-1</sup>]</b>	0,01	-	-	0,0014	0,0014	-	-

Tabulka č. 9 Souhrn parametrů autobusů s CNG pohonem. [1]; [6]; [9]; [13]; [14]; [33]; [34].

## 2.2 Elektrobusy

Elektrobus je bezemisní autobus na bateriový pohon. V posledních deseti letech se z velké části vyřešily problémy, které rozšíření elektrobusů dosud bránily. Šlo o krátký dojezd a dlouhou dobu potřebnou k nabití akumulátorů. V dnešní době se pro klasický městský provoz uvádí dojezd 100 – 140 km. Doba nabíjení se stále pohybuje v řádu několika hodin, avšak delší přestávky (např.: noční) již většinou pro dobití postačují. Poslední velkou bariérou, která dopravce odrazuje od nákupu zůstává vyšší pořizovací cena. Historicky prvním místem na světě, kde se elektrobusy začaly používat bylo město Santa Barbara v Kalifornii.

## Elektrobus znojenské firmy ČAS – Service

V roce 2000 vyhlásilo Ministerstvo průmyslu a obchodu veřejnou soutěž na výrobu autobusu, který bude poháněn alternativním zdrojem energie. Tuto zakázku získala znojenská firma ČAS – Service navrhující Elektrobus. V letech 2001 – 2003 byl realizován výzkumný a vývojový projekt s výstupem plně provozního a schváleného prototypu bez nároku na trolejový a kolejový rozvod. Do plného provozu na linky MHD ve Znojmě byl dán od roku 2003. S kapacitou 70 cestujících průměrně přepravil 800 osob denně. Od ledna roku 2010, kdy firma ČAS – Service nebyla zařazena do provozování MHD ve Znojmě, je tamní elektrobus využíván jen pro předem objednané jízdy. [19]

Ani po sedmi letech plnohodnotného provozu, kdy elektrobus najezdil 148 tis. km, nevykazují baterie jakékoliv snížení kapacity a splňují projektované parametry. Minimální dojezd na jedno nabití akumulátorů uvádí výrobce 110 – 130 km a celkovou životnost odhaduje na 320 – 350 tis. ujetých km. Při dodržení optimálních nabíjecích cyklů (tj. při poklesu jmenovité kapacity akumulátoru na 50 % použít po dobu 20 min rychlonabíjení k dosažení 80 % jmenovité kapacity akumulátorů) lze prodloužit dojezd do výměny akumulátorů na 400 – 450 tis. km. Při použití rychlonabíjení lze denní limit najetých kilometrů navýšit dle potřeby. Pro zamezení vzniku paměťového efektu je však nutné alespoň dvakrát týdně nechat akumulátory nabíjet 3 – 6 hodin. [19]

Rychlonabíjení i vyrovnávací napětí zajišťuje plně automatická nabíjecí stanice. její cena je cca 1 mil. Kč. Stanice tohoto typu je určena pro 4 – 5 vozidel (záleží na požadovaném dopravním výkonu jednotlivých vozidel). Pořizovací cena sady akumulátorů pro vozidlo délky 12,5 m je cca 2 mil. Kč. [19]

Náklady za el. energii potřebnou k nabití baterií znojenského elektrobusu uvádí provozovatel ve výši 1,95 Kč·km<sup>-1</sup>. Elektrobus nepotřebuje olejové hospodářství (to je způsobeno absencí spalovacího motoru a převodovky). Interiér karoserie je během chladného počasí přitápěn naftovým topením s nízkým množstvím spalin. [19].

Výrobní náklady při kusové výrobě činí asi 12,5 mil. Kč (bez DPH), v případě sériové výroby je odhadován pokles ceny na 11,25 – 10 mil. Kč (bez DPH). [19].

Výrobce znojenského elektrobusu firma ČAS – Service měla již v roce 2004 několik zájemců o další elektrobusy. Špatně nastavené dotační programy ministerstva dopravy na obnovu vozového parku však odradily potenciální zájemce o koupi elektrobusů. Dotační programy totiž až do roku 2007 neumožňovaly dotovat autobusy na elektrickou energii. Vlastnosti znojenského elektrobusu zobrazuje Tabulka č. 10.

Pro výrobu znojemského elektrobuse byl použit skelet dnes již nevyráběného trolejbusu Škoda Tr21. Obrázek č. 8 zobrazuje možnou podobu znojemského elektrobuse při použití karoserie Škoda Tr24.



Obrázek č. 8 Znojemský elektrobús [15].

### **Elektrobús SOR EBN 10,5**

Jediným českým aktivním výrobcem elektrobúsů je v současné době firma SOR Libchavy s.r.o. Elektrobús této společnosti s označením SOR EBN 10,5 je určen výhradně pro městský provoz a 2. 8. 2010 začal vozit cestující na pravidelných linkách v Ostravě.

Prototyp elektrobuse SOR EBN 10,5 používaný v Dopravním podniku Ostrava a.s. stál 11 mil. Kč (bez DPH). Do nabíjecího zařízení bylo investováno 800 tis. Kč. Žádných dalších financí potřeba nebylo.

Náklady za elektřinu potřebnou k nabití baterií vychází na  $3 \text{ Kč} \cdot \text{km}^{-1}$ . Náklady na údržbu zatím nebyly stanoveny. V zimních měsících jsou náklady navýšeny o spotřebu nafty, která se používá k vytápění interiéru v případě, že vytápění odpadním teplem od trakčního motoru je nedostatečné (nevýhoda proti trolejbusům). Spotřeba nafty pro vytápění je odhadována na tři litry za hodinu. [18].



Obrázek č. 9 Elektrobús SOR EBN 10,5 [23].

	Znojenský elektrobús	Elektrobús SOR EBN 10,5
<b>Pohon</b>	asynchronní elektromotor	asynchronní elektromotor
<b>Baterie</b>	Nikl-kadmiové	Lithium-iontové
<b>Celková hmotnost [t]</b>	18	16
<b>Celková délka [mm]</b>	11 500	10 370
<b>Nízkopodlažní</b>	ano	Ano
<b>Dojezd [km]</b>	110 - 130	110 – 160
<b>Max. rychlost [km·hod<sup>-1</sup>]</b>	70	80
<b>Kapacita</b>	70 (z toho sedadel 29)	85 (z toho sedadel 19)
<b>Životnost akumulátorů [km]</b>	320 000 – 350 000	Zatím nestanoveno
<b>Pořizovací cena [Kč]</b>	10 000 000 – 11 250 000	10 000 000 – 11 000 000
<b>Prům. nákl. na údržbu [Kč·km<sup>-1</sup>]</b>	5,44	Zatím nestanoveny
<b>Cena el. energie k nabití [Kč·km<sup>-1</sup>]</b>	1,95	3

Tabulka č. 10 Technické parametry elektrobúsů. [15]; [18]; [19]; [22].

### 2.3 Hybridní autobusy

Hybridní autobusy se ve většině konstrukčních prvků shodují s naftovými autobusy. Jejich výhodou je schopnost uchovat energii vzniklou při brzdění a následně ji využít pro rozjezd nebo akceleraci.

Firma SOR Libchavy nabízí hybridní autobus SOR NBH 18. Jde o třínápravový pětidvéřový nízkopodlažní autobus délky 18 750 mm. Autobus je vybaven paralelní hybridní pohonnou jednotkou firmy Allison umožňující akumulaci brzděné energie, která je následně využívána pro rozjezd. Tímto principem dochází k úsporám pohonných hmot při provozu. Použitý motor je značky Cummins o výkonu 175 kW s emisní normou EURO V EEV. V autobuse se nachází 44 sedadel a 88 míst pro stojící cestující. [35].



Obrázek č. 10 Hybridní autobus SOR NBH 18 [35].

## 2.4 TriHyBus – vodíkový autobus

TriHyBus je prototyp vodíkového autobusu, který během své jízdy může odebírat energii ze tří zdrojů. Hlavním zdrojem energie je palivový článok na vodík o výkonu 48 kW. Druhým zdrojem jsou lithium-iontové baterie o výkonu 40 kW a celkové kapacitě 10 kWh. Posledním zdrojem jsou superkondenzátory (ultrakapacitory) o výkonu 200 kW a kapacitě 1,2 kWh. Autobus je opatřen elektromotorem o nominálním výkonu 120 kW, nejvyšší výkon je dvojnásobný. Maximální rychlost činí  $65 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$  (je elektronicky omezena). Autobus měří na délku 12 metrů, váží 14 tun. Na plnou nádrž (20 kg = 800 l vodíku), kterou natankuje během 10 minut, dokáže ujet 300 kilometrů. Množství spotřebovaného vodíku tj. 7,5 kg na 100 kilometrů přibližně odpovídá 20 litrům nafty. Cenu prototypu nelze jednoznačně určit. Odhaduje se na 1 mil. €. Suma obsahuje celý vývoj i testování [5].

Tento autobus v současné době zajišťuje pravidelnou autobusovou dopravu na městské lince číslo 256 002 v Neratovicích [27].



Obrázek č. 11 Autobus TriHyBus [27].



### 3 Dotace na pořízení nových autobusů

#### Pravidla pro poskytování dotací ze státního rozpočtu v rámci Programu obnovy vozidel veřejné autobusové dopravy v roce 2010

Program obnovy vozidel veřejné autobusové dopravy je určen pro dopravce, kteří zabezpečují dopravní obslužnost území v režimu smlouvy o závazku veřejné služby a kteří v termínu vyhlášeném Ministerstvem dopravy předloží investiční záměr na obnovu vozového parku v roce 2010. Podmínkou pro podání žádosti o státní dotaci je předložit statistické Čtvrtletní výkazy o činnosti dopravce autobusové dopravy za 2., 3., a 4. období předcházejícího roku.

Dopracovní městské hromadné dopravy mohou získat finance za nové nízkopodlažní autobusy (výše dotace je závislá na délce autobusu, viz Tabulka č. 11), za používání alternativního druhu paliva (v letošním roce byla částka stanovena na 500 tis. Kč a celková výše dotace nesmí překročit 50% rozdílu mezi pořizovací cenou naftového autobusu a autobusu na alternativní pohon) a za informační systém pro nevidomé a slabozraké osoby (10 – 20 tis. Kč). [12]

Délka autobusu	Fixní výše dotace (v tis. Kč)
Nad 13 m nebo kloubový	1 200
Nad 10,7 m do 13 m včetně	800
Nad 7,5 m do 10,7 m včetně	600
Do 7,5 m včetně	400

Tabulka č. 11 Výše dotací na obnovu vozového parku autobusů MHD. [12].

Za alternativní pohon dotační program pokládá plyn či elektrickou energii bez ohledu na délku autobusu. V roce 2009 však MDČR nabízelo dotaci za elektrický pohon pouze pro autobusy s minimální délkou 12 m a s přepravní kapacitou alespoň 70 cestujících. [12].

#### Dobrovolná dohoda mezi plynárenskými společnostmi a státem

V roce 2006 byla na základě usnesení vlády České republiky č. 563 z roku 2005 uzavřena dobrovolná dohoda mezi státem a devíti plynárenskými společnostmi. V této dohodě se plynárenské společnosti zavazují, že podpoří nákup nových autobusů na CNG pohon ve výši 200 000 Kč/autobus, v celkovém rozsahu max. 10 mil. Kč·rok<sup>-1</sup>. Dotace je podmíněna poskytnutím reklamní plochy na daném CNG autobusu pro další prezentaci projektu. [1].

## 4 Evropské emisní limity

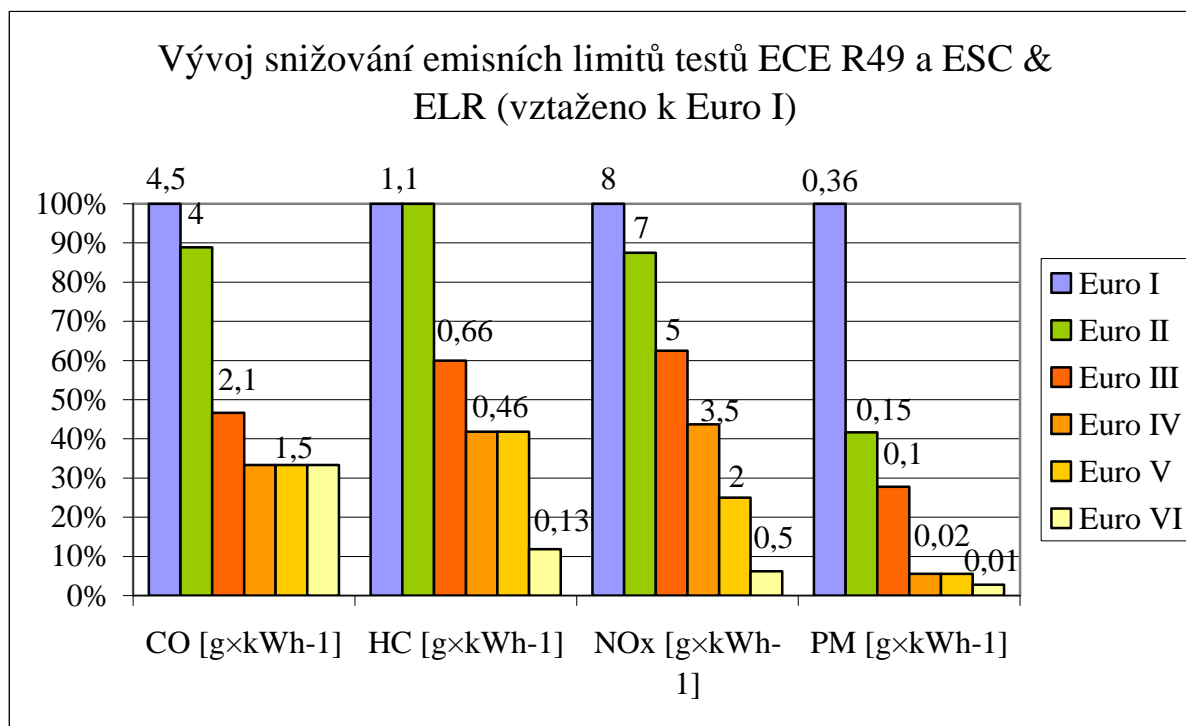
Emisní limity Euro stanovují maximální hodnoty plynných škodlivin (CO – oxidu uhelnatého, HC – nespálených uhlovodíků, NO<sub>x</sub> – oxidů dusíku) a pevných částic (PM) obsažených ve výfukových plynech nových vozidel prodávaných v členských státech Evropské unie. Emisní limity se nevztahují na již provozovaná vozidla.

Emisní limity se dělí podle druhu vozidla (osobní automobily, lehká užitková vozidla, těžká nákladní vozidla, autobusy). Některé se dále rozdělují podle použitého paliva. Číslování jednotlivých emisních tříd by mělo být u autobusů a nákladních automobilů s celkovou hmotností nad 3 500 kg římskými číslicemi, u osobních a lehkých užitkových automobilů by se měly používat číslice arabské.

Tabulka č. 12 a Graf č. 4 uvádí limitní hodnoty škodlivin pro autobusy a nákladní automobily. Hodnoty byly získány testem ECE R49, resp. testy ESC (Evropská zkouška s ustáleným cyklem) & ELR (Evropská zkouška se závislostí na zatížení) používané od III. řady emisních limitů výše. Tabulka č. 13 a Graf č. 5 zobrazují limitní hodnoty změřené při testu ETC (Evropská zkouška s neustáleným cyklem). Vozidla, jejichž skutečné emise nepřekračují emisní limity (Tabulka č. 14), se označují jako vozidla zvláště šetřící životní prostředí (EEV). Maximální hodnoty pro EEV vozidla nejsou určeny k homologaci. Slouží pro zvýraznění environmentální šetrnosti daného vozidla.

Emisní limit	Platnost od	Test	CO [g·kWh <sup>-1</sup> ]	HC [g·kWh <sup>-1</sup> ]	NO <sub>x</sub> [g·kWh <sup>-1</sup> ]	PM [g·kWh <sup>-1</sup> ]
<b>Euro I</b>	1992, < 85 kW	ECE R49	4,5	1,1	8,0	0,61
	1992, > 85 kW		4,5	1,1	8,0	0,36
<b>Euro II</b>	říjen 1996		4,0	1,1	7,0	0,25
	říjen 1998		4,0	1,1	7,0	0,15
<b>Euro III</b>	říjen 2000	ESC & ELR	2,1	0,66	5,0	0,10
<b>Euro IV</b>	říjen 2005		1,5	0,46	3,5	0,02
<b>Euro V</b>	říjen 2008		1,5	0,46	2,0	0,02
<b>Euro VI</b>	leden 2013		1,5	0,13	0,5	0,01

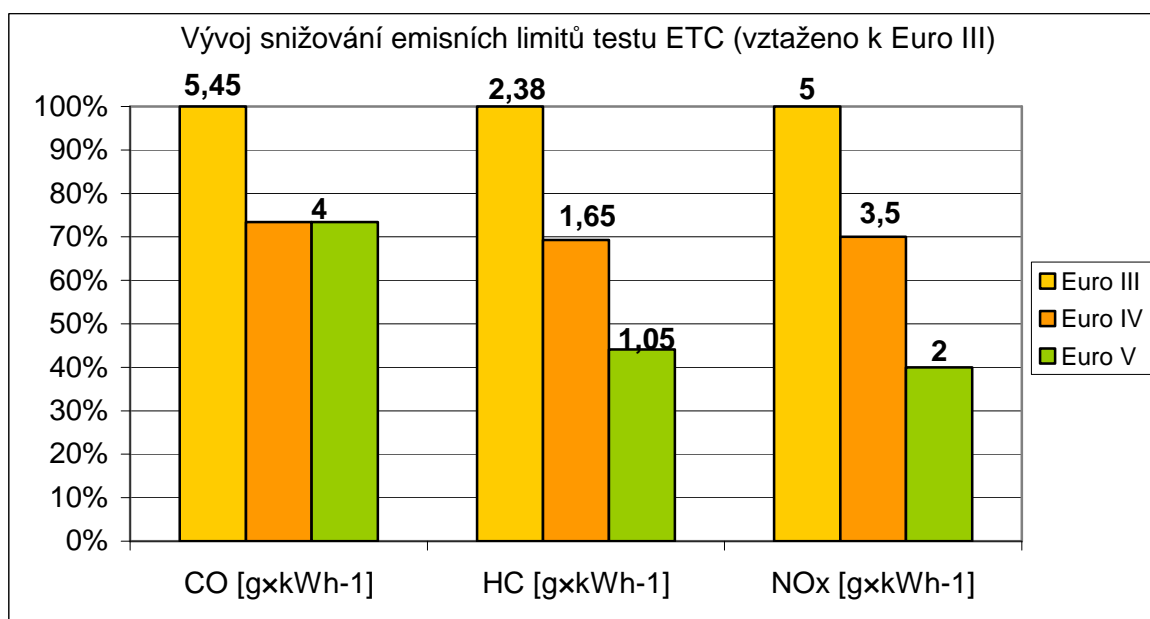
Tabulka č. 12 Mezní hodnoty emisních limitů pro autobusy - testy ECE R49 a ESC & ELR [4].



Graf č. 4 Vývoj snižování emisních limitů sledovaných škodlivin testů ECE R49 a ESC & ELR. (Graficky zobrazená Tabulka č. 12.)

Test ETC	CO [g·kWh <sup>-1</sup> ]	HC [g·kWh <sup>-1</sup> ]	NO <sub>x</sub> [g·kWh <sup>-1</sup> ]
<b>Euro III</b>	5,45	2,38	5
<b>Euro IV</b>	4	1,65	3,5
<b>Euro V</b>	4	1,05	2

Tabulka č. 13 Mezní hodnoty emisních limitů pro autobusy – test ETC [31].



Graf č. 5 Vývoj snižování emisních limitů sledovaných škodlivin testu ETC.

Emisní limit	Platnost od	Test	CO [g·kWh <sup>-1</sup> ]	HC [g·kWh <sup>-1</sup> ]	NO <sub>x</sub> [g·kWh <sup>-1</sup> ]	PM [g·kWh <sup>-1</sup> ]
EEV	říjen 1999	ESC & ELR	1,0	0,25	2,0	0,02

Tabulka č. 14 Mezní hodnoty pro EEV (vozidla zvláště šetřící životní prostředí) [4].

Testy emisních hodnot pro homologaci vozidel jsou přesně stanovené zkušební cykly. Úkolem testovacích cyklů je určit skutečné emise spalovacího motoru.

Test ECE R49 se sestává z 13 zatěžovacích režimů v ustáleném stavu pro dieselové motory. Evropské hospodářské společenství tento test přijalo ve směrnici EHS 88/77 v roce 1988 [28]. ESC test nahrazuje test ECE R49. Jde opět o test v ustáleném stavu s třinácti provozními režimy. Pozměněné je zatížení v jednotlivých režimech s doplněním časových průběhů. Zkušební cyklus ESC je popsán ve směrnici Evropské komise 1999/96/EC [29]. Test ELR doplňuje test ESC a používá se pro stanovení neprůsvitnosti kouře u těžkých nákladních vozidel [30]. Společným prvkem obou testů (ECE R49 i ESC & ELR) je ustálený stav a oba testy je možné porovnávat.

ETC test měří emise v neustálených stavech (simuluje skutečnou jízdu). Test je rozdělen na tři části (městská, meziměstská a dálniční). Každá část trvá 10 minut. Provedení testu se více blíží reálnému provozu.

Motory s CNG pohonem se podle směrnice Evropského parlamentu a rady EU 2005/55/ES testují pomocí testu ETC [2]. Dieselové motory se zkouší oběma testy (ESC & ELR a ETC). Vlivem rozdílných zkušebních podmínek nejsou testy ETC a ESC plně srovnatelné.

## 5 Stanovení způsobu obnovy vozového parku

Obnova vozového parku většinou probíhá následovně: V případě, že bude pořízen určitý počet nových vozů, stejné množství nejstarších bude vyřazeno. Celkové množství autobusů tedy zůstává stejné.

Nejstarší autobusy slouží často jen pro výpomoc během dopravních špiček nebo jako rezervní vozy pro případ poruchy jiných, více využívaných vozů. Po vyřazení nejméně využívaných vozů (např.: pro jejich neefektivnost), převezmou jejich roli jiné, dříve o něco více využívané autobusy. Tímto způsobem vznikla i Tabulka č. 15. Celkový počet autobusů zůstává stejný (75), stejně tak celkový roční kilometrický výkon (3 696 tis. km). Jde o zjednodušení, neboť každý rok postupně kilometrické výkony narůstají a postupem času bude jistě přibývat i počet autobusů. Každý rok bylo počítáno s tím, že bude pořízeno sedm nových CNG autobusů (kopíruje skutečnost, že se DPMP v loňském roce rozhodl pořídit 20 nových CNG autobusů během následujících 3 let).

Modelace pro ilustraci počítají s úplnou náhradou naftových autobusů za autobusy na alternativní paliva. V praxi není kompletní náhrada nezbytná.

Pořadí jednotlivých typů (viz Tabulka č. 15) bylo vytvořeno na základě velikosti produkovaného množství oxidu uhelnatého od nejméně škodlivých plynových autobusů s označením Citelis 12M CNG až po naftové vozy skupiny B 731.1653. (Seřazení s konkrétními hodnotami všech sledovaných škodlivých látek je uvedeno v kapitole Emise vytvořené autobusy DPMP, Tabulka č. 7 na str. 14).

Typy autobusů	CO [g.km <sup>-1</sup> ]	Počty autobusů v jednotlivých letech										
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Citelis 12 CNG</b>	2,71	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	75
<b>Citelis 12 NM</b>	5,84	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0
<b>B 951.1713</b>	7,94	10	10	10	10	10	10	10	10	8	1	0
<b>PS 09 D 1</b>	8,59	15	15	15	15	15	15	12	5	0	0	0
<b>B 732.1654</b>	15,12	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<b>B 931.1675</b>	16,64	6	6	6	6	6	3	0	0	0	0	0
<b>B 731.1667</b>	16,82	6	6	6	6	4	0	0	0	0	0	0
<b>PS 09 B 4</b>	17,30	21	19	12	5	0	0	0	0	0	0	0
<b>B 731.40</b>	19,52	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>B 731.1653</b>	20,78	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka č. 15 Vývoj počtu autobusů v jednotlivých typových skupinách při postupné výměně za jiné. Řada byla vytvořena dle emisí CO – 1. varianta.

Tabulka č. 16 a její hodnoty vznikly stejně jako tabulka předchozí. Jen s tím rozdílem, že sloupec s názvy autobusů není seřazen podle produkce škodlivin, ale podle finanční náročnosti na ujetý kilometr.

Typy autobusů	Kč·km <sup>-1</sup>	Počty autobusů v jednotlivých letech										
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Citelis 12M CNG</b>	8,79	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	75
<b>B 951.1713</b>	10,96	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	0
<b>Citelis 12M NM</b>	11,80	4	4	4	4	4	4	4	4	2	0	0
<b>PS 09 D 1</b>	13,30	15	15	15	15	15	15	12	5	0	0	0
<b>B 732.1654</b>	13,66	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
<b>PS 09 B 4</b>	14,93	21	21	21	17	10	3	0	0	0	0	0
<b>B 931.1675</b>	15,18	6	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>B 731.1667</b>	15,87	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>B 731.40</b>	17,28	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>B 731.1653</b>	18,88	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka č. 16 Vývoj počtu autobusů v jednotlivých typových skupinách při postupné výměně za jiné. Řada vytvořena dle finančních nákladů na kilometr – 2. varianta.

Konečný rok modelace (2019) mají sice obě tabulky stejný, ale cesty, jak k němu přišly, byly rozdílné. Způsob obnovy uvedený v Tabulka č. 15 je šetrnější k životnímu prostředí, naopak druhý způsob v Tabulka č. 16 je šetrnější k financím.

	Emise 2009 – 2019				Finanční náklady 2009 – 2019
	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]	
<b>Celkové emise a náklady – varianta 1</b>	214,185	72,818	456,793	7,260	414,336
<b>Celkové emise a náklady – varianta 2</b>	216,585	73,407	460,814	7,501	413,370
<b>Absolutní rozdíl mezi 1. a 2. variantou</b>	2,400	0,589	4,021	0,241	0,966
<b>Relativní rozdíl mezi 1. a 2. variantou</b>	1,1 %	0,8 %	0,9 %	3,3 %	0,2 %

Tabulka č. 17 Srovnání 1. a 2. varianty.

Ze srovnání první a druhé varianty pro vozidlo Citelis 12M vyplývají pouze malé rozdíly. Celkové množství emisí je v případě 1. varianty nižší o 2,400 t oxidu uhelnatého; 0,589 t uhlovodíků; 4,021 t oxidů dusíku a pevných částic je méně o 0,241 t. Finanční náklady 2. varianty jsou nižší o 966 tis. Kč.

Ekologická varianta autobusu Citelis 12M CNG bude v následujících přehledech uvedena jen pro ilustraci. Množství emisí pro ostatní vozidla bude počítáno pouze ve 2. variantě.

<b>Denní proběh [km/autobus/den]</b>	<b>Počet vozidel</b>
185,6 - 200,4	7
175,6 - 185,5	10
165,6 - 175,5	4
135,6 - 165,5	15
115,6 - 135,5	21
85,6 - 115,5	1
45,6 - 85,5	6
15,6 - 45,5	6
0 - 15,5	5

Tabulka č. 18 Denní proběhy vozidel ke dni 31. 12. 2009.

Pro výpočty emisí i pro náklady za PHM a údržbu byly použity průměrné denní proběhy autobusů ke dni 31. 12. 2009, tedy k okamžiku, kdy bylo DPMP provozováno sedm CNG autobusů. Poměry denních proběhů se v následujících modelacích s rostoucím poměrem autobusů na alternativní paliva nemění. V praxi by byla snaha o co nejvyšší proběhy autobusů s nejlevnějšími náklady, což např. pro CNG autobusy platí.

## 6 Vývoj množství emisí vlivem obnovy vozového parku

V závislosti na úplnosti získaných informací (spotřebě paliva a skutečných emisních faktorů) o jednotlivých vozidlech následující modelace počítají s autobusy na zemní plyn: IVECO IRISBUS Citelis 12M CNG, Mercedes-Benz Citaro CNG a Mercedes-Benz Citaro G CNG) a s elektrobusesy.

Emisní faktory jednotlivých autobusů lze považovat za neměnné konstanty (pro zjednodušení se neuvažuje zhoršující se stav vozidel vlivem stáří). Vypočtená celková množství vyprodukovaných emisí by měla s velkou přesností odpovídat skutečnému stavu.

### Citelis 12M CNG - 1. varianta

Rok	Množství emisí			
	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
2009	39,498	11,583	78,754	1,606
2010	33,492	10,100	68,151	1,320
2011	27,976	8,735	58,482	1,086
2012	22,726	7,441	49,399	0,857
2013	18,575	6,423	41,665	0,655
2014	15,709	5,702	35,736	0,503
2015	13,593	5,157	30,743	0,375
2016	11,814	4,703	26,338	0,272
2017	10,670	4,421	23,504	0,213
2018	10,116	4,288	22,133	0,188
2019	10,017	4,266	21,888	0,185
<b>Celkem</b>	214,185	72,818	456,793	7,260

Tabulka č. 19 Modelace obnovy autobusy Citelis 12M CNG – 1. varianta.



## Citelis 12M CNG -2. varianta

Rok	Množství emisí			
	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
2009	39,498	11,583	78,754	1,606
2010	33,881	10,201	68,818	1,346
2011	28,324	8,821	59,036	1,105
2012	23,033	7,525	49,970	0,882
2013	18,878	6,482	42,051	0,686
2014	16,002	5,748	36,033	0,538
2015	13,945	5,238	31,320	0,422
2016	12,031	4,769	26,829	0,303
2017	10,814	4,469	23,866	0,234
2018	10,162	4,304	22,250	0,195
2019	10,017	4,266	21,888	0,185
<b>Celkem</b>	<b>216,585</b>	<b>73,407</b>	<b>460,814</b>	<b>7,501</b>

Tabulka č. 20 Modelace obnovy autobusy Citelis 12M CNG – 2. varianta.

## Mercedes-Benz Citaro CNG

Rok	Množství emisí			
	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
2009	38,127	11,142	80,149	1,584
2010	31,263	9,360	71,482	1,305
2011	24,485	7,588	62,942	1,045
2012	18,071	5,930	55,019	0,804
2013	12,793	4,526	48,243	0,591
2014	8,969	3,487	43,190	0,428
2015	5,992	2,682	39,413	0,297
2016	3,159	1,917	35,858	0,164
2017	1,284	1,406	33,564	0,085
2018	0,285	1,129	32,302	0,040
2019	0,064	1,067	32,017	0,030
<b>Celkem</b>	<b>144,492</b>	<b>50,233</b>	<b>534,180</b>	<b>6,374</b>

Tabulka č. 21 Modelace obnovy autobusy Mercedes-Benz Citaro CNG.

## Mercedes-Benz Citaro G CNG

Rok	Množství emisí			
	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
2009	38,463	11,269	81,740	1,607
2010	31,849	9,597	74,497	1,334
2011	25,359	7,940	67,374	1,089
2012	19,118	6,363	60,667	0,857
2013	14,441	5,154	55,524	0,672
2014	10,704	4,168	51,441	0,514
2015	7,928	3,445	48,718	0,393
2016	6,322	3,037	47,217	0,318
2017	5,730	2,890	46,788	0,299
2018	2,937	2,143	44,101	0,171
2019	0,083	1,377	41,317	0,039
<b>Celkem</b>	162,934	57,381	619,385	7,292

Tabulka č. 22 Modelace obnovy autobusy Mercedes-Benz Citaro G CNG.

Elektrobuses (jako bezemisní vozidla) mají stejný vliv na životní prostředí v místě jejich působnosti. Snížení množství emisí vlivem obnovy vozového parku elektrobuses je proto uveden v jedné společné tabulce.

## Elektrobuses

Rok	Množství emisí			
	CO [t]	HC [t]	NO <sub>x</sub> [t]	PM [t]
2009	38,118	10,995	75,739	1,580
2010	31,246	9,079	63,059	1,297
2011	24,460	7,176	50,594	1,033
2012	18,039	5,398	39,058	0,789
2013	12,754	3,874	28,669	0,573
2014	8,924	2,733	20,565	0,407
2015	5,941	1,829	13,830	0,273
2016	3,102	0,966	7,317	0,137
2017	1,222	0,384	2,907	0,056
2018	0,221	0,070	0,527	0,011
2019	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Celkem</b>	144,028	42,503	302,265	6,157

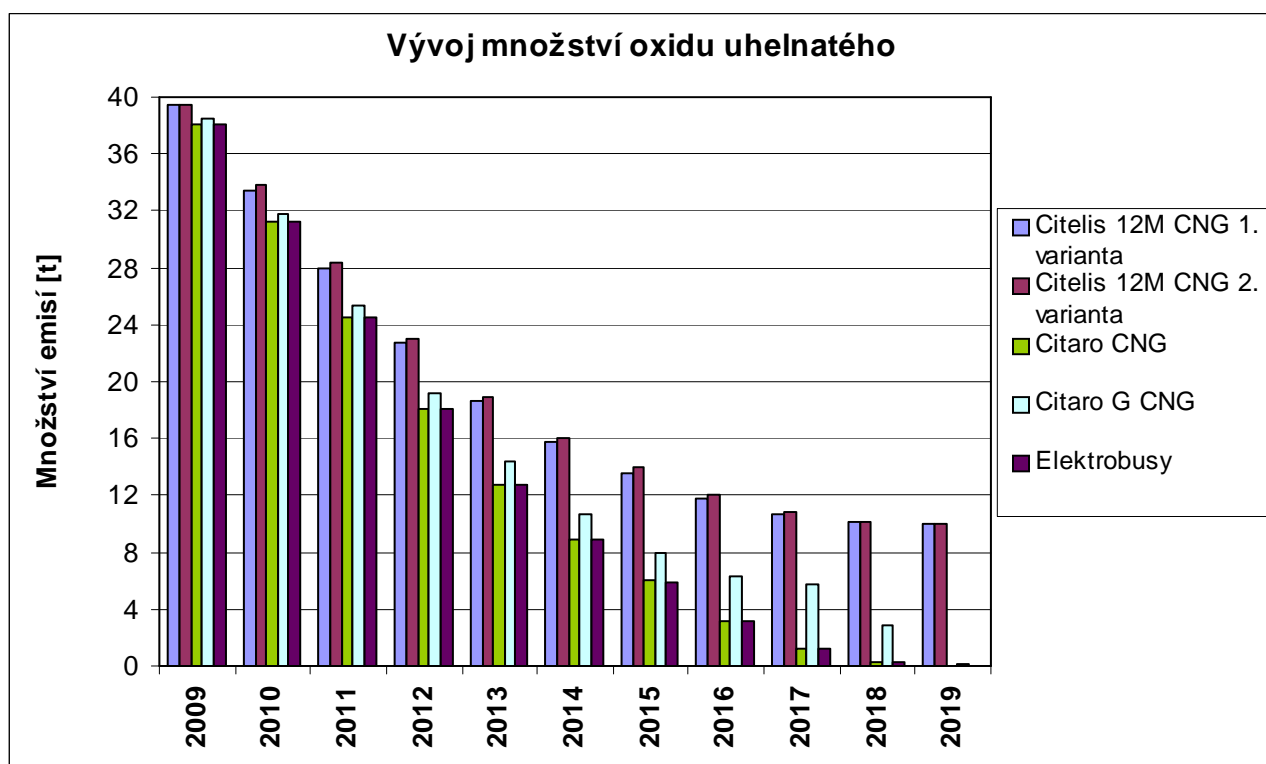
Tabulka č. 23 Modelace obnovy autobusů za elektrobuses.

## 7 Porovnání množství emisí jednotlivých variant

### Oxid uhelnatý

	Citelis 12M CNG 1. varianta	Citelis 12M CNG 2. varianta	Citaro CNG	Citaro G CNG	Elektrobusy
Rok	Množství emisí oxidu uhelnatého [t]				
2009	39,498	39,498	38,127	38,463	38,118
2010	33,492	33,881	31,263	31,849	31,246
2011	27,976	28,324	24,485	25,359	24,460
2012	22,726	23,033	18,071	19,118	18,039
2013	18,575	18,878	12,793	14,441	12,754
2014	15,709	16,002	8,969	10,704	8,924
2015	13,593	13,945	5,992	7,928	5,941
2016	11,814	12,031	3,159	6,322	3,102
2017	10,670	10,814	1,284	5,730	1,222
2018	10,116	10,162	0,285	2,937	0,221
2019	10,017	10,017	0,064	0,083	0,000

Tabulka č. 24 Porovnání množství emisí oxidu uhelnatého jednotlivých variant.

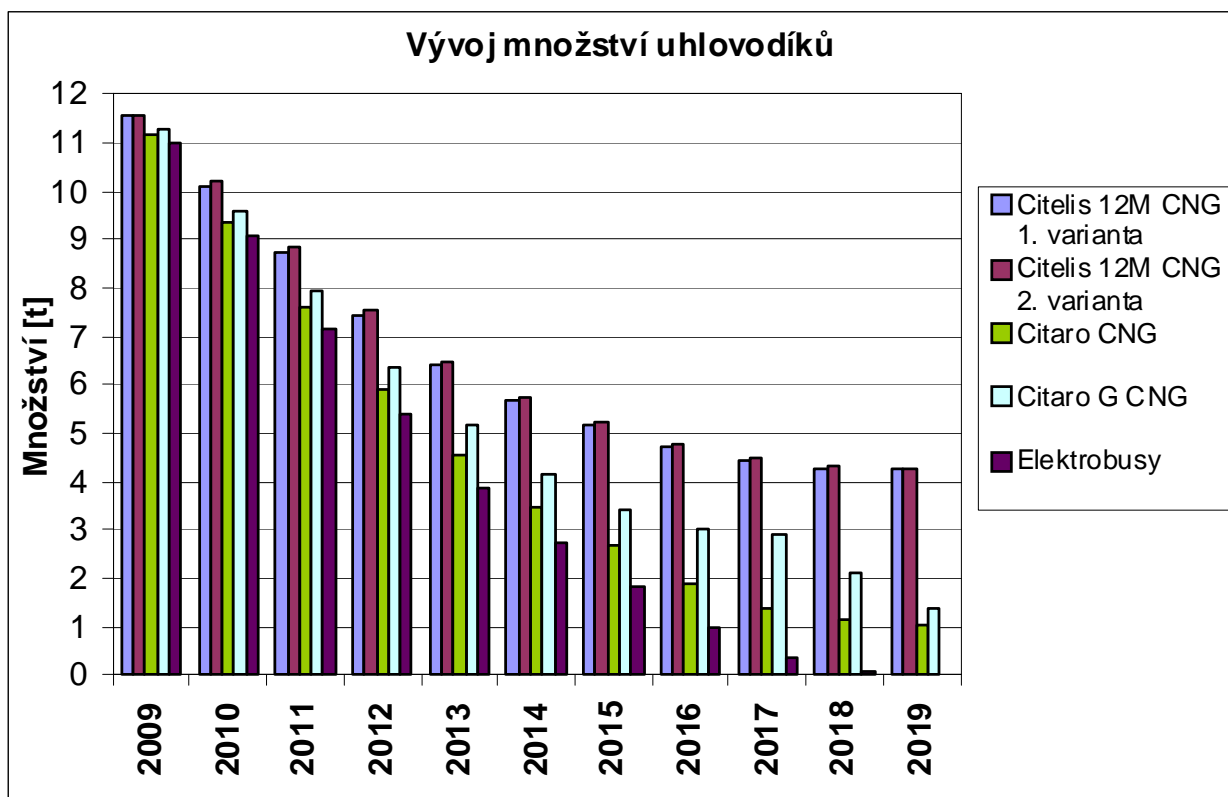


Graf č. 6 Porovnání jednotlivých variant dle množství vyprodukovaného CO.

## Uhlovodíky

	Citelis 12M CNG 1. varianta	Citelis 12M CNG 2. varianta	Citaro CNG	Citaro G CNG	Elektrobusy
<b>Rok</b>	<b>Množství emisí uhlovodíků [t]</b>				
<b>2009</b>	11,58	11,58	11,142	11,269	10,995
<b>2010</b>	10,10	10,20	9,360	9,597	9,079
<b>2011</b>	8,73	8,82	7,588	7,940	7,176
<b>2012</b>	7,44	7,52	5,930	6,363	5,398
<b>2013</b>	6,42	6,48	4,526	5,154	3,874
<b>2014</b>	5,70	5,75	3,487	4,168	2,733
<b>2015</b>	5,16	5,24	2,682	3,445	1,829
<b>2016</b>	4,70	4,77	1,917	3,037	0,966
<b>2017</b>	4,42	4,47	1,406	2,890	0,384
<b>2018</b>	4,29	4,30	1,129	2,143	0,070
<b>2019</b>	4,27	4,27	1,067	1,377	0,000

Tabulka č. 25 Porovnání jednotlivých variant dle množství produkovaných HC.

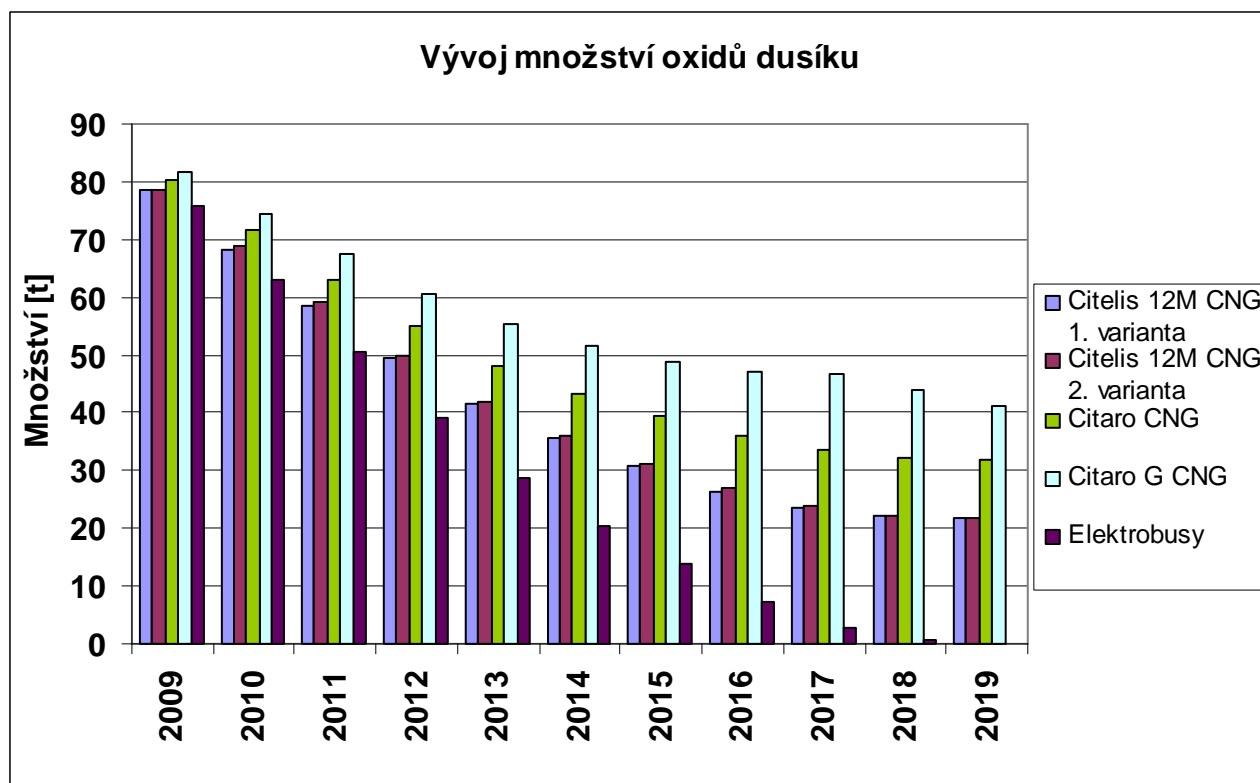


Graf č. 7 Porovnání jednotlivých variant dle množství vyprodukovaných HC.

## Oxidy dusíku

	Citelis 12M CNG 1. varianta	Citelis 12M CNG 2. varianta	Citaro CNG	Citaro G CNG	Elektrobusy
<b>Rok</b>	<b>Množství emisí oxidů dusíku [t]</b>				
<b>2009</b>	78,75	78,75	80,149	81,740	75,739
<b>2010</b>	68,15	68,82	71,482	74,497	63,059
<b>2011</b>	58,48	59,04	62,942	67,374	50,594
<b>2012</b>	49,40	49,97	55,019	60,667	39,058
<b>2013</b>	41,67	42,05	48,243	55,524	28,669
<b>2014</b>	35,74	36,03	43,190	51,441	20,565
<b>2015</b>	30,74	31,32	39,413	48,718	13,830
<b>2016</b>	26,34	26,83	35,858	47,217	7,317
<b>2017</b>	23,50	23,87	33,564	46,788	2,907
<b>2018</b>	22,13	22,25	32,302	44,101	0,527
<b>2019</b>	21,89	21,89	32,017	41,317	0,000

Tabulka č. 26 Porovnání jednotlivých variant dle množství produkovaných NO<sub>x</sub>.

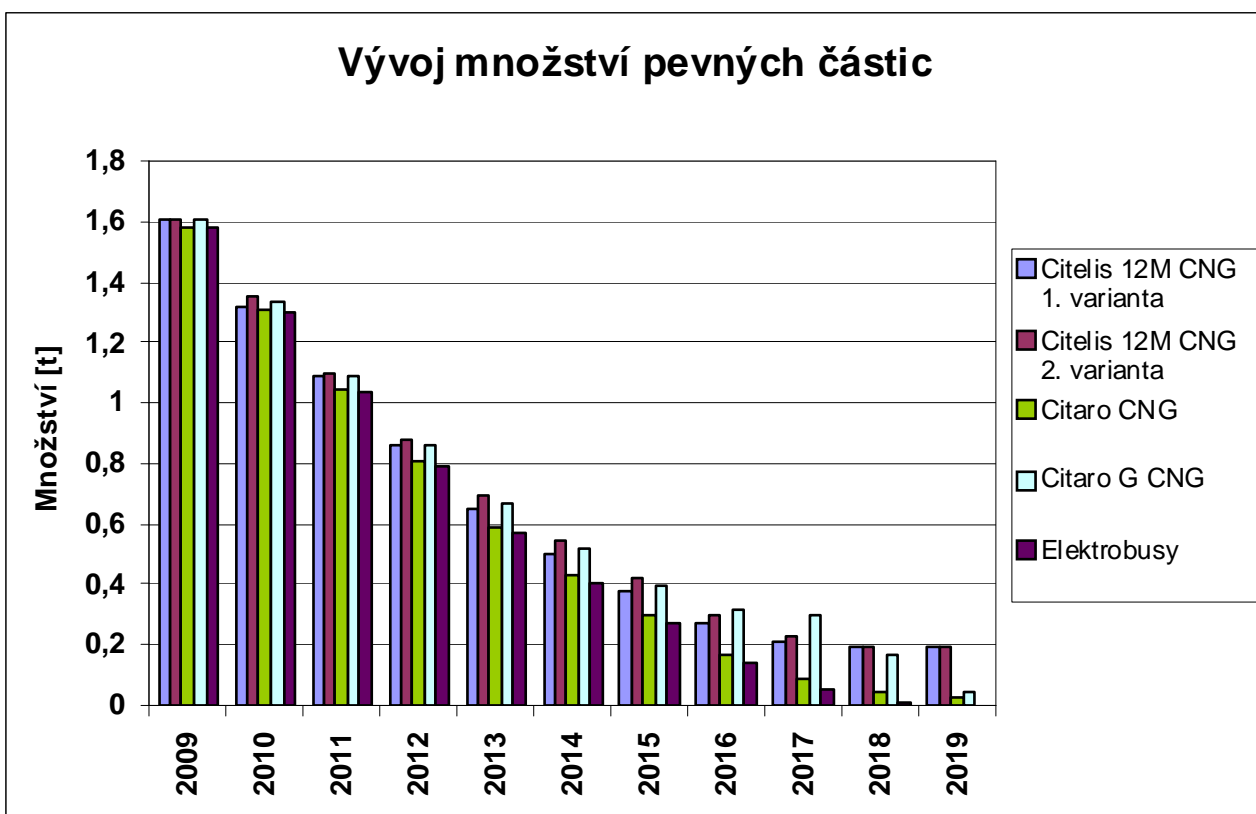


Graf č. 8 Porovnání jednotlivých variant dle množství produkovaných NO<sub>x</sub>.

## Pevné částice

	Citelis 12M CNG 1. varianta	Citelis 12M CNG 2. varianta	Citaro CNG	Citaro G CNG	Elektrobusy
<b>Rok</b>	<b>Množství emisí pevných částic [t]</b>				
<b>2009</b>	1,606	1,606	1,584	1,607	1,580
<b>2010</b>	1,320	1,346	1,305	1,334	1,297
<b>2011</b>	1,086	1,105	1,045	1,089	1,033
<b>2012</b>	0,857	0,882	0,804	0,857	0,789
<b>2013</b>	0,655	0,686	0,591	0,672	0,573
<b>2014</b>	0,503	0,538	0,428	0,514	0,407
<b>2015</b>	0,375	0,422	0,297	0,393	0,273
<b>2016</b>	0,272	0,303	0,164	0,318	0,137
<b>2017</b>	0,213	0,234	0,085	0,299	0,056
<b>2018</b>	0,188	0,195	0,040	0,171	0,011
<b>2019</b>	0,185	0,185	0,030	0,039	0,000

Tabulka č. 27 Porovnání jednotlivých variant dle množství vyprodukovaných PM.



Graf č. 9 Porovnání jednotlivých variant dle množství vyprodukovaných PM.

Typ	Emisní limit	CO g·km <sup>-1</sup>	HC g·km <sup>-1</sup>	NOx g·km <sup>-1</sup>	PM g·km <sup>-1</sup>
<b>Citaro CNG</b>	Euro V	0,02	0,29	8,66	0,01
<b>Citaro G CNG</b>	Euro V	0,02	0,37	11,18	0,01
<b>Citelis 12M CNG</b>	Euro V	2,71	1,15	5,92	0,05
<b>Citelis 12M NM</b>	Euro IV	5,84	1,79	13,63	0,08
<b>B 951.1713</b>	Euro III	7,94	2,49	18,90	0,38
<b>PS 09 D 1</b>	Euro III	8,59	2,70	20,46	0,41
<b>B 732.1654</b>	Euro I	15,12	3,70	26,88	1,21
<b>B 931.1675</b>	Euro II	16,64	4,58	29,11	0,62
<b>B 731.1667</b>	Euro II	16,82	4,63	29,44	0,63
<b>PS 09 B 4</b>	Euro II	17,30	4,76	30,28	0,65
<b>B 731.40</b>	Euro I	19,52	4,77	34,70	1,56
<b>B 731.1653</b>	Euro I	20,78	5,08	36,94	1,66

Tabulka č. 28 Srovnání původních autobusů s autobusy Citaro CNG a Citaro G CNG podle produkovaných škodlivin na ujetý kilometr.

Podle vyprodukovaného množství emisí na ujetý kilometr (viz Tabulka č. 28) lze sledovat, jak nízké jsou emise oxidu uhelnatého, uhlovodíků a pevných částic autobusů Citaro CNG a Citaro G CNG. Naopak emise oxidů dusíku jsou poměrně vysoké. Je nutné poznamenat, že u autobusu Citaro G CNG je vyšší množství vyprodukovaných emisí vyváženo přibližně o dvě třetiny vyšší kapacitou než u ostatních autobusů.

## 8 Vývoj spotřeby pohonných hmot vlivem obnovy autobusů

Varianty obnovy vozového parku uvedené v předchozí kapitole mají přímý vliv na změnu druhu a množství tankovaných pohonných hmot. Společným znakem všech variant je snížení spotřeby motorové nafty.

CNG varianty vedou samozřejmě ke zvýšení spotřeby zemního plynu. Světové zásoby zemního plynu jsou přibližně třikrát vyšší než zásoby ropy. Vlivem ubývání zásob ropy bude její cena růst. Existuje oprávněný předpoklad, že rozdíl mezi provozními náklady vozových parků s vozidly na zemní plyn a s naftovými vozidly se bude v budoucnu (20. a 30. léta tohoto století) prohlubovat ve prospěch vozových parků s CNG vozidly. Prodejní cena stlačeného zemního plynu je stabilnější a nižší než cena motorové nafty. Nákup autobusů s pohonem na zemní plyn má strategický význam.

	Citelis 12 m var. 1		Citelis 12 m var. 2		Citaro CNG		Citaro G CNG	
	Nafta	CNG	Nafta	CNG	Nafta	CNG	Nafta	CNG
2009	1317,3	185,8	1255,1	185,8	1317,3	213,8	1331,8	253,4
2010	1113,8	354,9	1064,1	354,9	1119,4	408,4	1147,5	487,2
2011	920,3	520,3	876,8	520,3	926,5	598,7	968,4	713,3
2012	745,4	672,5	698,7	672,5	748,7	773,9	798,8	927,6
2013	574,5	824,8	534,1	824,8	573,7	949,0	652,7	1112,7
2014	429,0	953,3	404,9	953,3	426,1	1097,0	509,2	1297,7
2015	291,1	1078,0	280,9	1078,0	288,0	1240,4	380,7	1469,2
2016	156,0	1202,6	153,3	1202,6	154,6	1383,8	306,5	1570,3
2017	60,9	1291,8	60,1	1291,8	60,1	1486,4	274,0	1614,9
2018	10,9	1338,9	10,7	1338,9	10,7	1540,6	137,9	1807,7
2019	0,0	1349,0	0,0	1349,0	0,0	1552,3	0,0	2003,2
celkem	5619,3	9771,9	5338,7	9771,9	5625,1	11244,4	6507,5	13257,2

Tabulka č. 29 Změny spotřebovaného množství PHM vlivem obnovy jednotlivých variant.

Porovnáním celkové spotřeby motorové nafty první a druhé varianty lze zjistit, že množství je vyšší u tzv. ekologické varianty (Citelis 12M CNG 1. varianta), která byla sestavena podle vyprodukovaného množství emisí na ujetý kilometr (viz kapitola 5 Stanovení způsobů obnovy). To je způsobeno tím, že některá vozidla mají nižší emise, ale spotřebu mají vyšší (např.: IVECO IRISBUS Citelis 12M s pohonem na motorovou naftu: emise CO jsou  $5,84 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$  a spotřeba  $39,39 \text{ l}\cdot 100 \text{ km}^{-1}$ . Naopak autobus Karosa B951.1713 produkuje  $7,94 \text{ g}\cdot\text{km}^{-1}$ , ale spotřebu má jen  $38,22 \text{ l}\cdot 100 \text{ km}^{-1}$ .



## 9 Ekonomická analýza obnovy vozového parku

Obnova vozového parku bezpečnějšími, komfortnějšími a ekologičtějšími autobusy je výhodná pro cestující, životní prostředí i pro výrobce a prodejce autobusů. Jen v samotném dopravním podniku si musí zvážit klady a zápory při možném nákupu nových vozidel.

Pro zajištění spolehlivosti autobusových linek musí dopravní podnik vlastnit několik záložních vozidel, které se provozují jen v případě poruchy jiných autobusů. Takovéto autobusy mají minimální měsíční proběhy. V případě, že funkci záložních vozidel plní stále konkrétní vozy, tak i jejich celoživotní proběh je malý. Autobus stojící v garáži má nulové emise. Z toho vyplývá, že kompletní obnova za šetrnější vozidla k životnímu prostředí, se nemusí z ekonomického hlediska vyplatit.

Občas v oblasti nabídky nových autobusů existují marketingové nabídky, které jsou relativně levné a zároveň ekologické. Např.: Naftový autobus IVECO IRISBUS Citelis 12M pořizovaný v roce 2008 stál cca 5 700 000 Kč a pořizovací cena CNG varianty stejného autobusu pořizovaného v roce 2009 byla 5 100 000 Kč [11].

Očekávaná životnost u nových autobusů je minimálně 15 let, resp. 1 mil. km. Pokud jsou finanční náklady (spotřeba PHM + údržba) na jeden kilometr nově pořizovaných autobusů v porovnání se současnými vozy nižší o určitou částku, tak se za celou životnost autobusu ušetří přibližně:

náklady nižší o	ušetřená částka
1 Kč .....	1 000 000 Kč
2 Kč .....	2 000 000 Kč
3 Kč .....	3 000 000 Kč
4 Kč .....	4 000 000 Kč

Uvedené hodnoty mohou sloužit jako pomůcka při rozhodování, jaký autobus pořídit.

Na základě poskytnutých dat od dopravců i výrobců autobusů se ekonomická analýza týká pouze následujících vozidel:

- IVECO IRISBUS Citelis 12M CNG;
- Mercedes-Benz Citaro CNG;
- Mercedes-Benz Citaro G CNG;
- Elektrobus znojemské firmy ČAS – Service;

Vodíkový autobus Trihybus, vzhledem k jeho vysokým pořizovacím nákladům (cca 1 mil. €), není reálné provozovat pro potřeby běžné MHD. Ekonomická analýza se proto tímto vozidlem nezabývá.

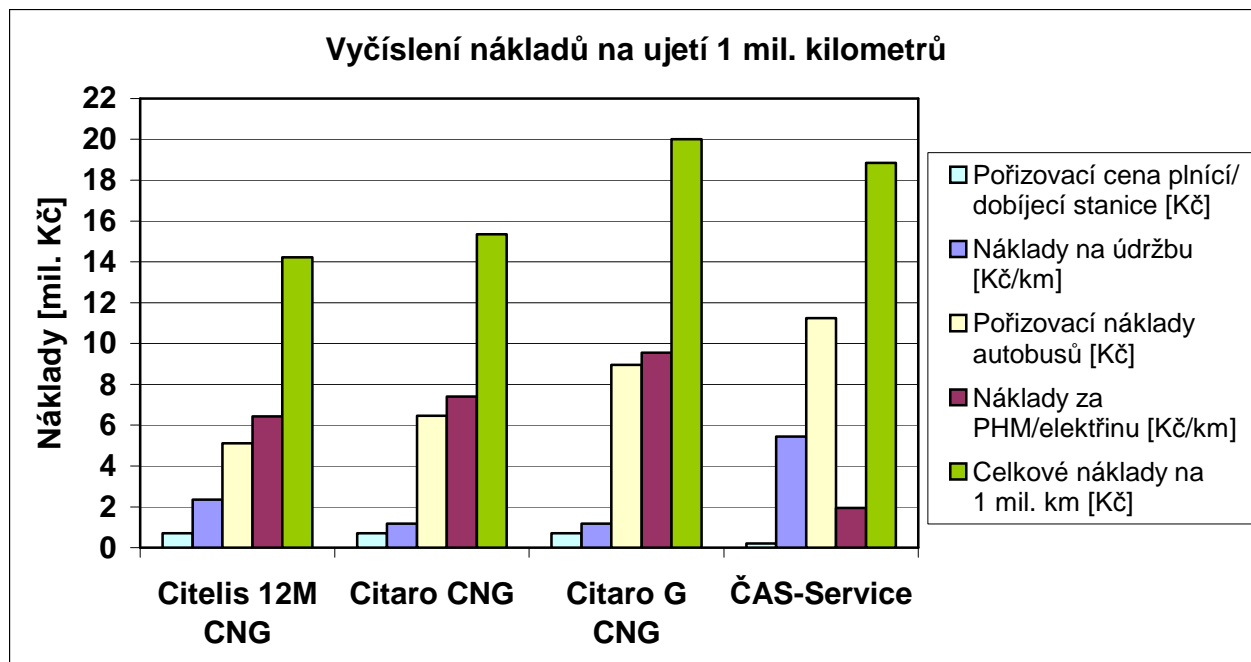
Rok	Typ vozidla				
	Citelis 12M CNG var. 1 [mil. Kč]	Citelis 12M CNG var. 2 [mil. Kč]	Citaro CNG [mil. Kč]	Citaro G CNG [mil. Kč]	ČAS-Service [mil. Kč]
<b>2009</b>	47,373	47,373	47,265	48,341	46,660
<b>2010</b>	44,927	44,606	44,401	46,508	43,246
<b>2011</b>	42,298	42,051	41,750	44,839	40,056
<b>2012</b>	39,903	39,731	39,342	43,332	37,153
<b>2013</b>	37,739	37,699	37,222	42,126	34,537
<b>2014</b>	35,973	35,985	35,433	41,096	32,330
<b>2015</b>	34,628	34,578	33,955	40,357	30,445
<b>2016</b>	33,549	33,478	32,782	39,954	28,868
<b>2017</b>	32,894	32,835	32,088	39,822	27,883
<b>2018</b>	32,565	32,546	31,772	39,731	27,413
<b>2019</b>	32,486	32,486	31,705	39,648	27,314
<b>Celkem</b>	<b>414,336</b>	<b>413,370</b>	<b>407,716</b>	<b>465,754</b>	<b>375,905</b>

Tabulka č. 30 Shrnutí snížení nákladů za PHM/el. energii a údržbu vozidel vlivem postupné výměny naftových pohonů za alternativní.

Části nákladů na 1 mil. km	Typ vozidla			
	Citelis 12M CNG	Citaro CNG	Citaro G CNG	ČAS-Service
Náklady na údržbu [Kč·mil km <sup>-1</sup> ]	2 360 000	1 180 000	1 180 000	5 440 000
Náklady za PHM/elektřinu [Kč·mil km <sup>-1</sup> ]	6 429 000	7 398 000	9 547 000	1 950 000
Pořizovací náklady autobusů [Kč]	5 100 000	6 450 000	8 950 000	10 000 000 - 12 500 000
Pořizovací cena plnicí/ dobíjecí stanice [Kč]	333 333	333 333	333 333	200 000
<b>Celkové náklady na 1 mil. km [Kč]</b>	<b>14 222 333</b>	<b>15 361 333</b>	<b>20 010 333</b>	<b>18 840 200</b>

Tabulka č. 31 Porovnání celkových nákladů na ujetí 1 mil. km. Pořizovací náklady uvedeny bez DPH.

Pořizovací cena plnicí/dobíjecí stanice je v Tabulka č. 31 rozpočítána na počet vozidel – u plnicí stanice na 75 vozidel (kapacita plnicí stanice je pro 75 vozidel dostačující) a u dobíjecí stanice na 5 vozidel (kapacita jedné dobíjecí stanice je 5 vozidel).



Graf č. 10 Porovnání nákladů (údržba + náklady na PHM/el. energii) na ujetí 1 mil. kilometrů.

## 10 Shrnutí jednotlivých variant

Z výpočtů provedených v této bakalářské práci vyplývají následující skutečnosti:

1. Množství vyprodukovaných emisí autobusy DPMP dosahovalo v roce 2009 hodnot:
  - oxid uhelnatý 39,50 tun;
  - uhlovodíky 11,58 tun;
  - oxidy dusíku 78,75 tun;
  - pevné částice 1,61 tun.
2. Finanční náklady (údržba a pohonné hmoty) autobusů DPMP v roce 2009 činily:
  - 47 373 tis. Kč.
3. Mezi autobusy na zemní plyn dosahuje (bez ohledu na kapacitu) nejnižších hodnot
  - oxidu uhelnatého: Mercedes-Benz Citaro CNG (0,022 g·km<sup>-1</sup>);
  - uhlovodíků: Mercedes-Benz Citaro CNG (0,288 g·km<sup>-1</sup>);
  - oxidů dusíku: IVECO IRISBUS Citelis 12M CNG (5,922 g·km<sup>-1</sup>);
  - pevných částic: Mercedes-Benz Citaro CNG (0,008 g·km<sup>-1</sup>).
4. Množství emisí oxidu uhelnatého, uhlovodíků a pevných částic vyprodukovaná autobusy značky Mercedes-Benz Citaro CNG a Citaro G CNG se blíží bezemisním vozidlům.
5. Celkové náklady (náklady na údržbu + náklady na pohonné hmoty + pořizovací náklady autobusu) na ujetí jednoho milionu kilometrů jsou nejnižší u autobusu:
  - IVECO IRISBUS Citelis 12M (14 603 285 Kč).
6. Obnovou vozového parku autobusy IVECO IRISBUS Citelis 12M v množství 21 kusů (přibližně odpovídá plánům DPMP provozovat v příštím roce 20 těchto vozidel) dojde ke snížení množství emisí v roce 2011 u:
  - oxidu uhelnatého na 27,98 tun (pokles oproti roku 2009 o 29,2 %);
  - uhlovodíků na 8,73 tun (pokles oproti roku 2009 o 24,6 %);
  - oxidů dusíku na 58,48 tun (pokles oproti roku 2009 o 25,7 %);
  - pevných částic na 1,09 tun (pokles oproti roku 2009 o 32,3 %).
7. Finanční náklady (náklady na údržbu + náklady na pohonné hmoty) při používání 21 autobusů IVECO IRISBUS Citelis 12M CNG klesnou na:
  - 42 298 000 Kč·rok<sup>-1</sup> (klesnou oproti roku 2009 o 10,7 %).

8. Kompletní náhradou všech naftových vozidel za IVECO IRISBUS Citelis 12M CNG (v modelacích rok 2019) dojde ke snížení množství emisí u:
- oxidu uhelnatého na 10,02 tun (pokles oproti roku 2009 o 74,6 %);
  - uhlovodíků na 4,27 tun (pokles oproti roku 2009 o 63,1 %);
  - oxidů dusíku na 21,89 tun (pokles oproti roku 2009 o 72,2 %);
  - pevných částic na 0,19 tun (pokles oproti roku 2009 o 88,2 %).
9. Finanční náklady (náklady na údržbu + náklady na pohonné hmoty) při používání 75 autobusů IVECO IRISBUS Citelis 12M CNG klesnou na: 32 486 000 Kč-rok<sup>-1</sup> (klesnou oproti roku 2009 o 31,4 %).

## 11 Závěr

Obnova vozového parku zaručuje zvyšující se úroveň bezpečnosti, spolehlivosti tzn. bezporuchovosti, pohotovosti, údržby a udržitelnosti vozidel i komfortu pro cestující. Snižuje škodlivé vlivy způsobené provozem vozidel na životní prostředí a v neposlední řadě upevňuje konkurenceschopnost dané dopravní společnosti.

Práce popisuje současný vozový park Dopravního podniku města Pardubic a.s. Autobusovou část rozděluje do skupin dle jednotlivých typů. U každé skupiny je zobrazen počet vozidel, průměrná spotřeba paliva, průměrný měsíční proběh, náklady na pohonné hmoty, náklady na údržbu a v neposlední řadě i splňovaný emisní limit.

Jsou spočítána množství škodlivých plynných emisí z provozu současného vozového parku autobusů DPMP a jsou vyčísleny náklady na pohonné hmoty a údržbu jednotlivých typů autobusů.

V bakalářské práci je uveden přehled hromadných dopravních prostředků vhodných pro obnovu autobusů DPMP. Z důvodů nezískání skutečných emisních faktorů autobusů nebo jejich spotřeby pohonných hmot jsou v práci porovnávána vyprodukovaná množství emisí pouze tří autobusů na stlačený zemní plyn (CNG) a jednoho elektrobusu.

V několika modelacích jsou navrženy možnosti náhrady současných autobusů adekvátními vozidly. U každé varianty jsou vypočtena množství plynných emisí a stanoveny rozdíly oproti emisím vyprodukovaných současně provozovanými autobusy. Obdobně jako množství emisí jsou spočítány i náklady na pohonné hmoty a údržbu. Je provedeno srovnání těchto nákladů s náklady adekvátních vozidel v případě jejich začlenění do vozového parku.

Výpočty provedené v bakalářské práci potvrzují ekonomické výhody autobusů IVECO IRISBUS Citelis 12M CNG pořizovaných do vozového parku DPMP. Tento autobus na stlačený zemní plyn je také vhodný z hlediska produkovaného množství emisí oxidů dusíku.

Práce přináší přehled současných Evropských emisních limitů Euro, určených pro homologaci autobusů. Zobrazuje klesající vývoj maximálních povolených hodnot produkovaného množství emisí. Porovnává zkušební testy naftových a plynových autobusů a upozorňuje na rozdílnost maximálních limitních hodnot obou testů.

## Použitá literatura

- [1] SMÉKAL, Petr. Podpora veřejné hromadné dopravy ve Středočeském kraji s cílem její postupné ekologizace přechodem na alternativní druh paliva resp. pohonu: Studie proveditelnosti. [s. l.] : [s. n.]. 2006. 104 s.
- [2] Konzultace s Ing. Liborem Špičkou – Centrum dopravního výzkumu.
- [3] DPMP.cz [online]. 2009 [cit. 2010-10-20]. O nás. Dostupné z WWW: <<http://www.dpmp.cz/o-nas/>>.
- [4] WIKIPEDIA *The Free Encyclopedia* [online]. 2010 [cit. 2010-5-22]. European emission standards. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/European\\_emission\\_standards](http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards)>.
- [5] *Česká televize* [online]. 2010 [cit. 2010-04-18]. Port - spojení s vědou ze všech stran. Dostupné z WWW: <<http://www.draci-doupe.cz/program/port/chat/1977-ing-ludek-janik>>.
- [6] Iveco.cz [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Iveco Czech Republic, a. s. Dostupné z WWW: <<http://www.karosa.cz/main.php?language=czech>>.
- [7] *Wikipedie* [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. Mercedes-Benz. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz>>.
- [8] Tedom [online]. 2010 [cit. 2010-05-13]. O divizi. Dostupné z WWW: <<http://bus.tedom.cz/>>.
- [9] EKOBUS [online]. 2010 [cit. 2010-04-12]. MY VOLÍME EKOBUS !!! Dostupné z WWW: <<http://www.ekobus.cz>>.
- [10] *Vitkovicycylinders* [online]. 2010 [cit. 2010-04-15]. [12] Situace CNG v České republice. Dostupné z WWW: <[www.vitkovicycylinders.eu/default/file/download/id/6297/inline/1](http://www.vitkovicycylinders.eu/default/file/download/id/6297/inline/1)>.
- [11] Konzultace s Ing. Jaroslavem Havlem – provozně-technický náměstek DPMP a.s.
- [12] Dotace MDČR. In *Pravidla pro poskytování dotací ze státního rozpočtu v rámci Programu obnovy vozidel veřejné autobusové dopravy v roce 2010* [online]. Praha : Ministerstvo dopravy ČR, 2010 [cit. 2010-10-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.mdcz.cz/cs/Programy+a+projekty/Program+podpory+obnovy+vozidel/>>.
- [13] Konzultace s Ing. Karlem Tichánkem – prodejní poradce autobusů značky Mercedes-Benz. Konzultováno dne 17. 5. 2010.
- [14] Konzultace s Jiřím Rosickým – obchodní zástupce společnosti Tedom s.r.o. Konzultováno dne 14. 5. 2010.

- [15] *Skupina ČAS ZNOJMO* [online]. 2009 [cit. 2010-08-04]. ELEKTROBUS BEZEMISNÍ MĚSTSKÝ AUTOBUS. Dostupné z WWW: <<http://www.cas-zn.cz/elebus.htm>>.
- [16] *Citybus.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-08-04]. Veolia Transport Teplice - testování emulzní nafty. Dostupné z WWW: <<http://citybus.cz/2010/04/28/veolia-transport-teplice-testovani-emulzni-nafty/>>. ISSN 1802-0003.
- [17] HRABÁLEK, Jan. CNG – Výzva pro budoucnost. [cit. 2010-08-06]. Dostupné z WWW: <[http://www.cng.cz/cs/presscentrum/napsali\\_o\\_cng/10/05/06](http://www.cng.cz/cs/presscentrum/napsali_o_cng/10/05/06)>
- [18] Konzultace s Jiřím Malěrem – oddělení Marketingové služby Dopravního podniku Ostrava a.s..
- [19] Konzultace s Petrem Smítalem – vedoucí vývoje v ČAS-Service.
- [20] MAŤEJOVSKÝ, Vladimír. *Automobilová paliva*. Praha 7 : Grada Publishing, a.s., 2005. 224 s. ISBN 80-247-0350-5.
- [21] ČAPPO - Česká asociace petrolejářského průmyslu a obchodu [online]. 2010-06-11 [cit. 2010-08-06]. Zhodnocení používání biopaliv v dopravě v České republice k 31. 5. 2010. Dostupné z WWW: <<http://www.cappo.cz/res/data/000039.pdf>>.
- [22] Elektrobuses SOR EBN 10,5. *Městská doprava*. 2010, č. 3, s. 10-11.
- [23] SOR [online]. 2010 [cit. 2010-11-01]. Městský elektrobuses SOR EBN 10,5. Dostupné z WWW: <<http://www.sor.cz/site/elektrobuses-sor-ebn-105>>.
- [24] *Trolejbus* [online]. 2010 [cit. 2010-11-01]. Přehledy vozidel - MHD v Pardubicích. Dostupné z WWW: <<http://www.trolejbus.cz/prehled.htm>>.
- [25] *RWE The energy to lead* [online]. 2009 [cit. 2010-11-03]. Městský autobus Mercedes-Benz Citaro CNG a Citaro G CNG. Dostupné z WWW: <<http://www.cng.cz/cs/presscentrum/novinky/09/03/04.html>>.
- [26] *Skupina ČEZ* [online]. 2010 [cit. 2010-11-03]. Odpovědná firma. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/informace-dle-energetickeho-zakona-c458-2000-sb/2009/podil-zdroju-elektriny.html>>
- [27] *TriHyBus - Vodíkový autobus s palivovými články* [online]. 2008 [cit. 2010-11-05]. Materiály ke ztažení. Dostupné z WWW: <<http://www.trihybus.cz/download>>.
- [28] *DieselNet* [online]. 2010 [cit. 2010-11-05]. ECE R-49. Dostupné z WWW: <[http://www.dieselnets.com/standards/cycles/ece\\_r49.html](http://www.dieselnets.com/standards/cycles/ece_r49.html)>.
- [29] *DieselNet* [online]. 2010 [cit. 2010-11-05]. European Stationary Cycle (ESC). Dostupné z WWW: <<http://www.dieselnets.com/standards/cycles/esc.html>>.
- [30] *DieselNet* [online]. 2010 [cit. 2010-11-05]. European Load Response (ELR). Dostupné z WWW: <<http://www.dieselnets.com/standards/cycles/elr.html>>.



- [31] *DieselNet* [online]. 2010 [cit. 2010-11-05]. European Transient Cycle (ETC). Dostupné z WWW: <<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/etc.html>>.
- [32] *Plzeňské trolejbusy* [online]. 2010 [cit. 2010-11-09]. BredaMenarinibus AVANCITY +SF pro Řím. Dostupné z WWW: <<http://www.plzensketrolejbusy.cz/zkousenetrolejbusy/bredamenavanc.php>>.
- [33] *SOR* [online]. 2010 [cit. 2010-11-13]. Autobusy s pohonem na zemní plyn. Dostupné z WWW: <<http://www.sor.cz/site/autobusy-na-plyn>>.
- [34] Konzultace s Ing. Jindřichem Chudým – obchodní ředitel SOR Libchavy s.r.o.
- [35] *SOR* [online]. 2010 [cit. 2010-11-13]. Hybridní autobusy. Dostupné z WWW: <<http://www.sor.cz/site/hybridni-autobus-sor-nbh-18>>.

## Seznam uvedených tabulek

Tabulka č. 1	IVECO IRISBUS Citelis 12M CNG [11].	9
Tabulka č. 2	Přehled autobusů DPMP na konvenční paliva. Rozdělení dle typů (stav k 31. 12. 2009). Seřazení dle emisních limitů. [11].	10
Tabulka č. 3	Rozdělení autobusů DPMP podle emisních limitů [11].	11
Tabulka č. 4	Vypočtené množství emisí vyprodukované naftovými autobusy DPMP v roce 2009. (Hodnoty měsíčních množství emisí zaokrouhleny na celá čísla).	13
Tabulka č. 5	Množství emisí vyprodukovaných 7 CNG autobusy za 1 rok. [11].	14
Tabulka č. 6	Celkové množství emisí vyprodukovaných autobusy DPMP za rok 2009.	14
Tabulka č. 7	Přehled typů autobusů DPMP s uvedenými škodlivinami. Seřazeno podle emisí CO (vypočteno pro stav k 31. 12. 2009).	14
Tabulka č. 8	Přehled trolejbusů DPMP [3]; [11].	15
Tabulka č. 9	Souhrn parametrů autobusů s CNG pohonem. [1]; [6]; [9]; [13]; [14]; [33]; [34].	20
Tabulka č. 10	Technické parametry elektrobuse. [15]; [18]; [19]; [22].	23
Tabulka č. 11	Výše dotací na obnovu vozového parku autobusů MHD. [12].	25
Tabulka č. 12	Mezní hodnoty emisních limitů pro autobusy - testy ECE R49 a ESC & ELR [4].	26
Tabulka č. 13	Mezní hodnoty emisních limitů pro autobusy – test ETC [31].	27
Tabulka č. 14	Mezní hodnoty pro EEV (vozidla zvláště šetřící životní prostředí) [4].	28
Tabulka č. 15	Vývoj počtu autobusů v jednotlivých typových skupinách při postupné výměně za jiné. Řada byla vytvořena dle emisí CO – 1. varianta.	29
Tabulka č. 16	Vývoj počtu autobusů v jednotlivých typových skupinách při postupné výměně za jiné. Řada vytvořena dle finančních nákladů na kilometr – 2. varianta.	30
Tabulka č. 17	Srovnání 1. a 2. varianty.	30
Tabulka č. 18	Denní proběhy vozidel ke dni 31. 12. 2009.	31
Tabulka č. 19	Modelace obnovy autobusy Citelis 12M CNG – 1. varianta.	32
Tabulka č. 20	Modelace obnovy autobusy Citelis 12M CNG – 2. varianta.	33
Tabulka č. 21	Modelace obnovy autobusy Mercedes-Benz Citaro CNG.	33
Tabulka č. 22	Modelace obnovy autobusy Mercedes-Benz Citaro G CNG.	34
Tabulka č. 23	Modelace obnovy autobusů za elektrobuse.	34
Tabulka č. 24	Porovnání množství emisí oxidu uhelnatého jednotlivých variant.	35
Tabulka č. 25	Porovnání jednotlivých variant dle množství produkovaných HC.	36
Tabulka č. 26	Porovnání jednotlivých variant dle množství produkovaných NO <sub>x</sub> .	37
Tabulka č. 27	Porovnání jednotlivých variant dle množství vyprodukovaných PM.	38
Tabulka č. 28	Srovnání původních autobusů s autobusy Citaro CNG a Citaro G CNG podle produkovaných škodlivin na ujetý kilometr.	39
Tabulka č. 29	Změny spotřebovaného množství PHM vlivem obnovy jednotlivých variant.	40
Tabulka č. 30	Shrnutí snížení nákladů za PHM/el. energii a údržbu vozidel vlivem postupné výměny naftových pohonů za alternativní.	42
Tabulka č. 31	Porovnání celkových nákladů na ujetí 1 mil. km. Pořizovací náklady uvedeny bez DPH.	43

## Seznam uvedených obrázků

Obrázek č. 1	Autobus IRISBUS IVECO Citelis 12M CNG. [6] .....	17
Obrázek č. 2	Autobus IRISBUS IVECO Citelis 18M CNG. [6] .....	17
Obrázek č. 3	Autobus TEDOM C 12 G [9].....	18
Obrázek č. 4	Mercedes-Benz (Citaro CNG) [25]. .....	18
Obrázek č. 5	Ekobus CITY [9].....	19
Obrázek č. 6	SOR BNG 12 [33].....	19
Obrázek č. 7	SOR NBG 12 [33].....	19
Obrázek č. 8	Znojemský elektrobus [15]. .....	22
Obrázek č. 9	Elektrobus SOR EBN 10,5 [23].....	23
Obrázek č. 10	Hybridní autobus SOR NBH 18 [35].....	24
Obrázek č. 11	Autobus TriHyBus [27]. .....	24

## Seznam uvedených grafů

Graf č. 1	Srovnání autobusů DPMP dle nákladů (PHM + údržba) na ujetý kilometr. ....	10
Graf č. 2	Vývoj rozdělení autobusů DPMP dle limitů Euro od roku 2008 do roku 2010. ....	11
Graf č. 3	Srovnání trolejbusů DPMP dle nákladů (trakční energie + údržba) [3]; [11]. ....	15
Graf č. 4	Vývoj snižování emisních limitů sledovaných škodlivin testů ECE R49 a ESC & ELR. (Graficky zobrazená Tabulka č. 12.) .....	27
Graf č. 5	Vývoj snižování emisních limitů sledovaných škodlivin testu ETC. ....	27
Graf č. 6	Porovnání jednotlivých variant dle množství vyprodukovaného CO. ....	35
Graf č. 7	Porovnání jednotlivých variant dle množství vyprodukovaných HC. ....	36
Graf č. 8	Porovnání jednotlivých variant dle množství produkovaných NO <sub>x</sub> . ....	37
Graf č. 9	Porovnání jednotlivých variant dle množství vyprodukovaných PM. ....	38
Graf č. 10	Porovnání nákladů (údržba + náklady na PHM/el. energii) na ujetí 1 mil. kilometrů. ....	43