

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Analýza transferu trolejbusové dopravy na
CNG zdroje: její emisní, ekonomické
a ekologické dopady**

Vedoucí bakalářské práce: doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Autor bakalářské práce: Gabriela Gärberová

Jirkov 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Gabriela Gärberová

Územní technická a správní služba

Název práce

Analýza transferu trolejbusové dopravy na CNG zdroje: její emisní, ekonomické a ekologické dopady

Název anglicky

Analysis of transfer from trolley bus to CNG sources: emission, economic and ecologic effects

Cíle práce

Porovnání a vyhodnocení emisního a ekonomického zatížení elektromotorů, CNG motorů a diesel motorů při změně městské hromadné dopravy.

Metodika

V teoretické části budou informace čerpány z odborných internetových zdrojů. V analytické části budou údaje čerpány z dat ČHMÚ, STK, DPCHJ (dopravních podniků měst Chomutova a Jirkova a z průzkumu veřejného mínění.

Doporučený rozsah práce
35 stran textu

Klíčové slova
ovzduší, skleníkové plyny, primární znečištění

Doporučené zdroje informací

Dopravní podnik měst Chomutova a Jirkova
Slavík J.: Situace a vývojové trendy v elektrických autobusech pro městskou dopravu. Říčany 2015
Stanice technické kontroly

Předběžný termín obhajoby
2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce
doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

Garantující pracoviště
Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 18. 10. 2016

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7. 11. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2017

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Analýza transferu trolejbusové dopravy na CNG zdroje: její emisní, ekologické a ekonomické dopady“ vypracovala samostatně pod vedením doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D. Dále prohlašuji, že elektronická forma je shodná s formou tištěnou a nemám námitek proti půjčování, či zveřejňování mé bakalářské práce se souhlasem katedry.

Jirkov 2017

.....

Gabriela Gärberová

Poděkování

Chtěla bych tímto poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za odbornou pomoc při vypracování této bakalářské práce.

Jirkov 2017

Abstrakt:

Tato bakalářská práce je srovnávací studií porovnávající ekologický a ekonomický dopad po zrušení městské hromadné dopravy v Jirkově využívající elektromotory a její nahrazení autobusy na CNG nebo diesellový pohon. Součástí práce je i průzkum veřejného mínění, ve kterém jsem oslovila 500 respondentů a anketu jsem statisticky vyhodnotila. Studií jsem zjistila emisní znečištění všech tří složek, které jsem mezi sebou vzájemně porovnála. Výsledky mohou posloužit pro budoucí vyhodnocování efektivnosti městské hromadné dopravy ostatních měst.

Klíčová slova:

skleníkové plyny, ovzduší, primární znečištění

Abstract:

This thesis is a comparative study comparing the environmental and economic impact after the abolition of public transport in Jirkov using electric motors and its replacement by buses or CNG or diesel vehicles. The work also includes an opinion poll in which I canvassed 500 respondents and the resulting poll I evaluated statistically. I evaluated from the studies pollution from emissions of all three components, which I compared with each other. Results may be used for future evaluation of the effectiveness of public transport of other cities.

Keywords:

greenhouse gases, the primary pollution, air

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. CÍL PRÁCE	10
3. METODIKA	11
4. REŠERŠE	12
4.1 Automobilová doprava jako fenomén	12
4.2 Problematika produkce oxidu uhličitého.....	12
5. ZÁKLADNÍ POJMY	14
5.1 Znečištění ovzduší.....	15
5.2 Zdroje znečišťování ovzduší	15
5.3 Látky znečišťující ovzduší	16
5.4 Emise, imise	16
5.5 Trolejbusy	16
5.6 Autobusy s dieselvými motory či CNG motory	17
6. POLOHA MĚSTA CHOMUTOVA V RÁMCI DOPRAVY	17
7. IMISNÍ ZATÍŽENÍ ÚZEMÍ	18
7.1 Charakteristika úrovně znečištění ovzduší v dané lokalitě	18
8. EMISNÍ KONTROLY VOZIDEL V ČR	19
8.1 Měření produkce emisí.....	19
8.2 Homologace vozidel nad 3,5 t.....	20
9. POPIS VÝFUKOVÝCH PLYNŮ	21
9.1 Oxid uhelnatý	21
9.2 Oxid uhličitý	21
9.3 Oxidy dusíku	21
9.4 Částice PM10 a PM2,5.....	22
9.5 Nespálené uhlovodíky	22
9.6 Oxidy síry.....	22
10. VOZIDLA NA ZEMNÍ PLYN	22
10.1 Výhody zemního plynu	23
10.1.1 Ekologie	23
10.1.2 Bezpečnost	23
10.1.3 Provozní výhody	24
10.2 Nevýhody zemního plynu	24
11. STUDIE ZMĚNY STÁVAJÍCÍCH POHONŮ MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY ALTERNATIVNÍMI POHONY	24
11.1 STUDIE EU	25
11.2 ZPRÁVA NREL	25

11.3 Civitas 2013	25
12. EMISE A HLUČNOST	26
13. NÁKLADOVOST	30
14. PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST	31
15. DPCHJ	32
15.1 Výhody a nevýhody výměny trolejbusů.....	33
15.2 Výhody a nevýhody výměny naftových autobusů za nové CNG autobusy	33
15.3 Vliv výměny na životní prostředí.....	34
15.4 Technické parametry pro výpočet emisí	34
15.5 Emisní výpočty dieselových autobusů EURO 3	35
15.6 Emisní výpočty CNG autobusů EURO 6.....	37
16. DISKUSE	40
17. ZÁVĚR	41
18. PRŮZKUM VEŘEJNÉHO MÍNĚNÍ.....	43
19. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
20. SEZNAM POUŽITÉ GRAFIKY	49
20.1 Seznam použitých obrázků	49
20.2 Seznam použitých tabulek.....	51

1. ÚVOD

Městská hromadná doprava, je v posledních letech jedním z nejdiskutovanějších problémů. A to nejen v rámci dopravy a vztahů mezi městy, ale zejména v podílu na znečištění kvality ovzduší, a to v celorepublikovém měřítku. Ačkoliv Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) vydala zprávu Environment and human health, kde uvádí, že v posledních desetiletích klesly emise po celé Evropě a tím se ovzduší zkvalitnilo, loňský konec roku 2016 a začátek roku 2017 jsou toho opakem. Koncentrace látek znečišťujících ovzduší jsou vysoké. Emise jsou v moderním světě stále více hlídané. Vydávají se zákony zakazující používání automobilů v centru měst a každý podnik či závod si musí zákonně emise hlídat. Přesto je zřejmé, že toto omezení nestačí. Na kvalitě ovzduší se musí podílet každý. Velkou roli v tomto případě hrají i povětrnostní podmínky.

Pro vybrání mé bakalářské práce jsem se rozhodla při vzniku vzrůstající nevole vyvolané prohlášením představitelů města Jirkova o myšlence rozdělení Dopravních podniků měst Chomutova a Jirkova, a to tím, že se zruší stávající trolejbusová doprava a nahradí se autobusy využívající CNG motory. Po rozpoutání vášnivé veřejné debaty, zda emisní nezatíženost zastoupená stávající trolejbusová doprava předčí nižší nákladovost náhradní autobusové dopravy využívající CNG či dieselové motory, jsem se rozhodla vytvořit srovnávací studii.

2. CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je vytvoření studie o nákladovosti a emisním zatížení všech tří alternativních pohonů městské hromadné dopravy. Elektromotorů, dieselových motorů a motorů na plynový pohon Compressed Natural Gas (CNG) a jejich následného vzájemného porovnání.

Tato studie je zaměřena na modernizaci a ekologizaci vozového parku prostřednictvím nízkopodlažních trolejbusů a CNG autobusů. Studie by měla mít dopad na zlepšení kvality životního prostředí, zvýšení komfortu cestování, úsporu přepravního času a zpřístupnění MHD cestujícím se sníženou schopností pohybu a orientace. Vychází z porovnání naftových autobusů se stářím 12 let a emisní normou EURO 3 a nových CNG autobusů s emisní normou EURO 6.

Předpokládaným cílem studie je řešení problémů v dopravě jako je hluk, emise a energetická úspornost (rekuperace energie u trolejbusů).

3. METODIKA

V teoretické části budou informace čerpány z odborných internetových zdrojů. V analytické části budou údaje čerpány z dat ČHMÚ, STK, DPCHJ (Dopravní podnik měst Chomutova a Jirkova) a z průzkumu veřejného mínění.

K všeobecné problematice znečištění ovzduší, byla prostudována odborná literatura dostupná ve studijní a vědecké knihovně Plzeňského kraje a městské knihovně v Chomutově.

K získání podkladů pro analytickou část byly využity údaje z mezinárodních studií a volně dostupných i zapůjčených informací z Dopravních podniků.

Tyto materiály byly v této studii řádně prostudovány, srovnány a vyhodnoceny. V této bakalářské práci jsou využity různé metody k dosažení cíle, a to:

- ✓ Analýza – neboli rozbor jednotlivých alternativ.
- ✓ Komparace – porovnání všech druhů pohonů.
- ✓ Dedukce – logické zhodnocení studie.
- ✓ Indukce – úsudek, který předpokládá individuální srovnání jednotlivých variant až po obecné pojetí.

4. REŠERŠE

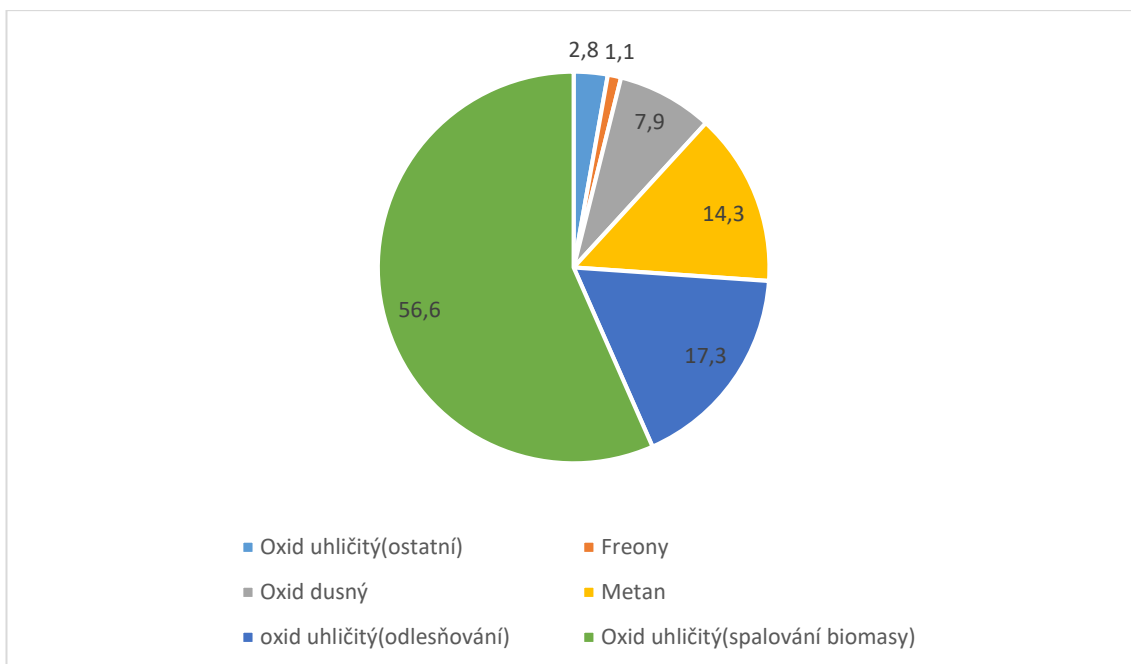
4.1 Automobilová doprava jako fenomén

Ve 20. a 21. století se vynález automobilu, potažmo spalovacího motoru považoval za jeden z největších vynálezů, jenž ovlivnil vývoj společnosti. S narůstajícím počtem automobilů však také rostou negativní aspekty spojené s jejich provozem. V současné době je největším problémem spotřeba fosilních paliv a s tím i zvýšení produkce oxidu uhličitého, což vede k produkci škodlivých emisí. Proto jsou hledány alternativní možnosti pohonu vozidel.

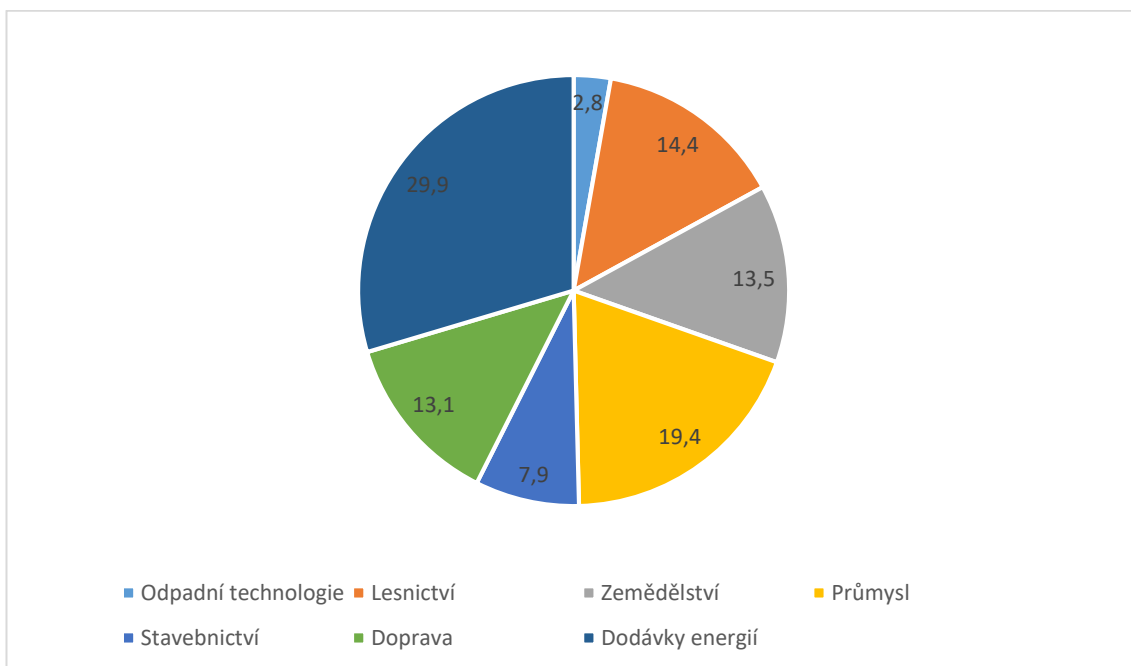
Mezi alternativní pohony lze zařadit všechny koncepce pohonů lišících se od konvence. Z hlediska historického lze mezi první alternativní pohony zařadit elektrovozidla. Důvod jejich využívání byl však odlišný. Oblíbenost oproti klasickému spalovacímu motoru spočívala v jednoduché konstrukci, lehké obsluze a nenáročném startování. Dalším směrem v alternativních pohonech byly spalovací motory speciální konstrukce, mezi něž patří spalovací turbíny, Stirlingův či Wankelův motor. V 90. letech minulého století dochází také k renesanci parního motoru. Další samostatnou kapitolou jsou biopaliva. První spalovací motory využívaly jako zdroj energie převážně plynná paliva. Mluvíme zde o bioethanolu, který byl vyráběn téměř v každé větší vesnici tvořen přebytky z agrárního sektoru.

4.2 Problematika produkce oxidu uhličitého

Koncentrace oxidu uhličitého se z období před průmyslovou revolucí zvýšila. Toto je zapříčiněno spalováním fosilních paliv, kácením pralesů, odlesňováním a další lidskou činností. Na skleníkovém efektu se však podílí i řada ostatních plynů. Podíl jednotlivých látek na skleníkovém efektu znázorňuje *obr. 1*. Podíl látek je vyjádřen jako ekvivalent vztahovaný na oxid uhličitý. Oproti tomu *obr. 2* znázorňuje podíl lidských činností na skleníkovém efektu.



Obr. 1 Podíl jednotlivých plynů na skleníkovém efektu (Hromádko 2012), vlastní zpracování



Obr. 2 Podíl lidské činnosti na skleníkovém efektu (Hromádko 2012), vlastní zpracování

Řada výzkumných projektů shodně uvádí, že největší podíl na skleníkovém efektu má vodní pára a její schopnost vytvářet radiační clonu. (Skleníkové plyny 2016)

European Environment Agency ve zprávě z roku 2010 uvádí mírný pokles nebo stagnaci v produkci oxidu uhličitého. Naproti tomu

dopravní sektor zaznamenal nárůst. Ve všech členských státech European Environment Agency zaznamenala doprava v letech 1990 - 2007 nárůst produkce oxidu uhličitého o 28 %. Do budoucna tak doprava zastupuje jednu z nejproblematictějších oblastí v produkci oxidu uhličitého. (European Environment Agency 2010)

Kjótský protokol představuje snahu o celosvětové snížení produkce oxidu uhličitého. Byl přijat v roce 1997 jako protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. Průmyslově vyspělé státy se zde zavázaly snížit skleníkové plyny o 5,2 % v období 2008 - 2012 ve srovnání s výsledky v roce 1990. Redukce se týkala šesti nejpodstatnějších skleníkových plynů.

- ✓ Oxidu uhličitého (CO₂)
- ✓ Metanu (CH₄)
- ✓ Oxidu dusného (N₂O)
- ✓ Hydrogenovaných fluorovodíků (HFCs)
- ✓ Polyfluorovodíku (PFCs)
- ✓ Fluoridu sírového (SF₆)

Kromě emisí skleníkových plynů bere Protokol také v úvahu absorpci změn ve využití krajiny (odlesňování, zalesňování) a také flexibilní mechanismy umožňující státům snížení emisí na území jiného státu, či odkoupení práv vypouštět emise.

Česká republika se připojila svým podpisem 23. 11. 1998 na základě usnesení vlády č. 669/1998 a ratifikován byl 15. 11. 2001. Kjótský protokol nesplnil své cíle o snížení produkce skleníkových plynů o 5,2 % s rokem 1990 a přesto jej lze považovat za úspěšný. (Kjótský protokol 2012)

5. ZÁKLADNÍ POJMY

Základními pojmy je myšleno znečištění ovzduší, zdroje znečišťování ovzduší, látky znečišťující ovzduší, emise a imise. Dále se v této kapitole

budeme zabývat trolejbusy, autobusy s dieselovými motory a motory na stlačený zemní plyn neboli CNG motory.

5.1 Znečištění ovzduší

Jedna z nejdůležitějších složek životního prostředí je ovzduší, jež ovlivňuje lidské zdraví a ostatní složky životního prostředí. Není vidět, a proto jej často ani nevnímáme. Do roku 1989 byla Česká republika, co se do kvality ovzduší týče, zařazena mezi nejhorší v Evropě. Po roce 1989 díky novým zákonům a normám, které stanovily pravidla pro odsíření a definovaly všechny velké zdroje znečištění, došlo k postupnému snižování emisí. (Cenia 2005).

Ve zprávě o životním prostředí České republiky pro rok 2015 se uvádí, že se stav životního prostředí oproti roku 2014 nezměnil. Přestože trend snižování emisí v České republice pokračuje, nebyla kvalita ovzduší v roce 2015 vyhovující. Dochází k překračování imisních limitů pro suspendované částice frakce PM10 a PM2,5, benzo(a)pyren a přízemní ozon. Emise skleníkových plynů klesly oproti roku 1990 o 36, 7 %. (Cenia 2015)

5.2 Zdroje znečišťování ovzduší

Činnost člověka ovlivňuje všechny složky životního prostředí. Kvalitu ovzduší ovlivňují látky cizorodé unikající do ovzduší jako pozůstatek lidské činnosti. Zákon o ochraně ovzduší č.201/2012 Sb. opouští od kategorizace stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, která byla v zákoně č. 86/2002 Sb. dělena na zvláště velké, velké a střední zdroje. Nová kategorizace příklánějí se k evropskému standardu, vyjádřenému v ČR zákony č 100/2001 Sb. a 76/2002 Sb. dělí stacionární zdroje podle typu činnosti a podle velikosti zdroje na zdroje vyjmenované a nevyjmenované. Zdroje dělíme:

- ✓ **Mobilní zdroje** znečišťování ovzduší, jedná se o zdroje pohyblivé, vybavené spalovacím motorem (dopravní prostředky, plavidla, letadla, stavební stroje)
- ✓ **Stacionární zdroje** znečišťování ovzduší, jedná se o takový zdroj, jenž může znečišťovat nebo znečišťuje ovzduší (sklárky paliv, surovin, lomy, šachty, odpady (Moldan 2009)

5.3 Látky znečišťující ovzduší

Látky znečišťující ovzduší (polutanty) jsou takové látky, které vznikají lidskou činností nebo přirozeně. Mohou mít po fyzikální nebo chemické přeměně vliv na život, zdraví, životní prostředí, majetek (Moldan 2009)

Charakterizovat je můžeme pomocí chemického složení (oxidanty, kovy, sloučeniny dusíku atd.) Lze je rozlišit také podle skupenství na kapaliny, plyny a pevné látky (Braniš, Hůnová 2010). Může se jednat o polutanty do prostředí vnesené čili primární znečištění, nebo v tomto prostředí druhotně vznikající, převážně chemickými reakcemi čili sekundární znečištění. (Moldan 2009)

5.4 Emise, imise

- ✓ **Emise** vyjadřuje uvolňování polutantů do ovzduší. Mluvíme zde o procesu vznášení znečišťujících látek do životního prostředí. Rozlišujeme zde termín primární a sekundární emise.
- ✓ **Imise** jsou následkem emisí. Jedná se o znečištění ovzduší vyjádřené hmotnostní koncentrací znečišťující látky nebo stanovené skupiny znečišťujících látek.
- ✓ **Emisní limit**- nejvýše přípustné množství znečišťující látky vypouštěné do ovzduší ze zdroje znečišťování ovzduší. Vyjadřuje se obvykle jako objemová a hmotnostní koncentrace. Emisní limity jsou dány vyhláškou č. 415/2012 Sb. Tato vyhláška stanovuje obecné a specifické emisní limity, technické podmínky provozu stacionárních zdrojů a činností nebo technologií souvisejících s provozem stacionárního zdroje. (Zákon č.86/2002 Sb.)

5.5 Trolejbusy

Trolejbus je silniční dopravní prostředek určený pro městskou hromadnou dopravu využívající jako zdroj trakční energie pevné trakční

vedení. Má nulové emise. Jeho dojezd je omezen elektrickým vedením.
(DPCHJ 2015)

5.6 Autobusy s dieselovými motory či CNG motory

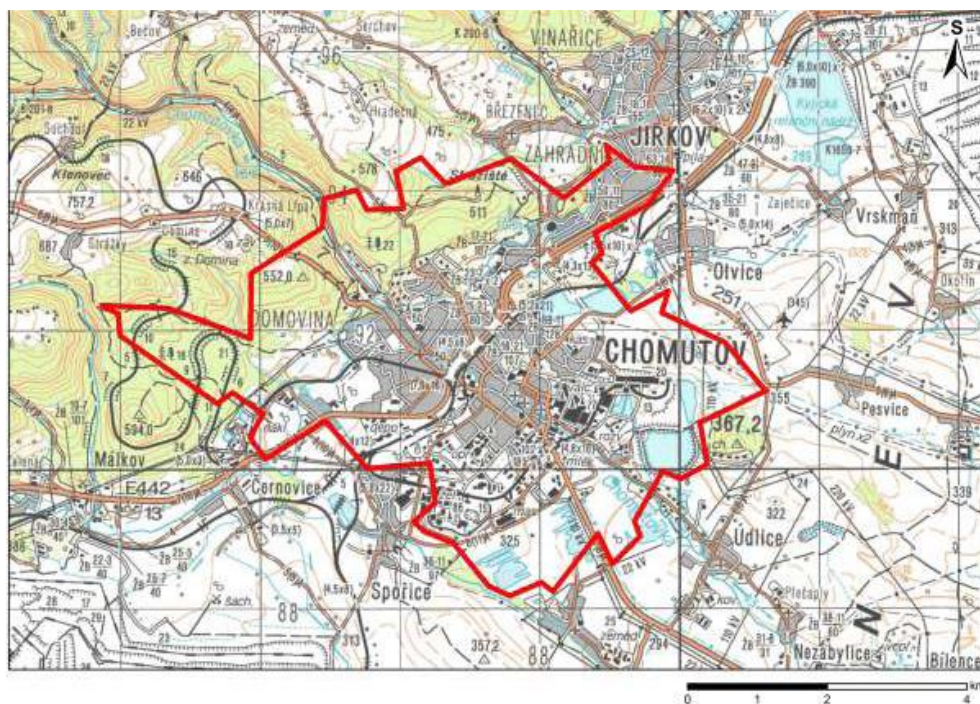
Autobus je silniční dopravní prostředek určený k přepravě 10 a více osob včetně řidiče. Na rozdíl od trolejbusů není limitován dojezdovou vzdáleností. Autobusy jsou vybaveny motory na dieselový či plynový pohon za účelem nižší spotřeby nebo znečištění ovzduší.

6. POLOHA MĚSTA CHOMUTOVA V RÁMCI DOPRAVY

Město Chomutov je „křižovatkou“ dopravních i železničních komunikací. Znamená to na jedné straně dobré předpoklady pro rozvoj města, ale na druhé straně vyžaduje vyšší nároky na udržitelnost dopravního napojení. Městem Chomutov procházejí důležité dopravní tepny, které tvoří silniční páteřní komunikace I. třídy se směrem Chomutov – Praha – hraniční přechod Hora Sv. Šebestiána (I/7) a Karlovy Vary – Chomutov – Děčín (I/13 a E442) nebo železniční tah Ústí nad Labem – Chomutov – Cheb.

Jedním z nejvýznamnějších problémů je stále rostoucí dopravní zatížení intenzifikace individuální automobilové dopravy a s ní spojené znečištění a problematika dopravy v klidu (parkování). Nárůst automobilové dopravy, nedostatek parkovacích míst a ovzduší znečištěné dopravou nabízí řešení také v podobě městské hromadné dopravy. Nelze opomenout také zahrnutí města Chomutova do sítě cyklostezek v Ústeckém kraji.

Neodmyslitelnou součástí ekologického systému dopravy měst Jirkova a Chomutova je trolejbusová doprava.



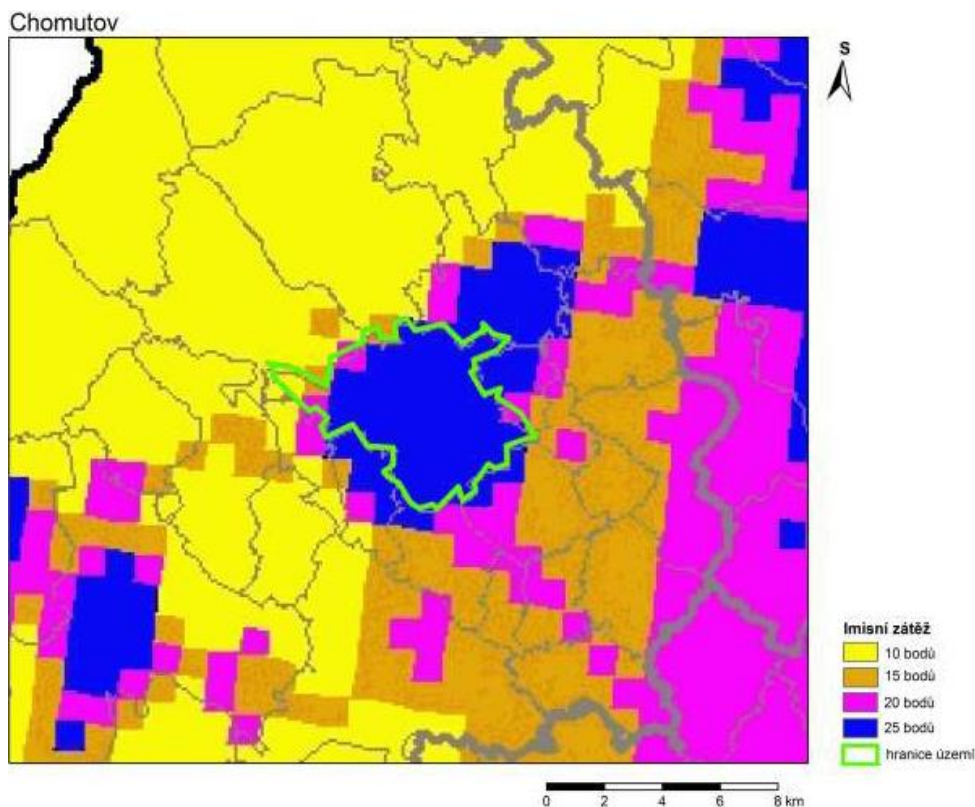
Obr. 3 Poloha města Chomutov (Chomutov 2017)

7. IMISNÍ ZATÍŽENÍ ÚZEMÍ

Současnou úroveň znečištění ovzduší v daném území, jak vyplývá z výsledků hodnocení imisního zatížení území, lze zhodnotit jako zvýšenou. Výsledky měření na místní stanici imisního monitoringu ukazují výskyt krátkodobých koncentrací suspendovaných částic frakce PM10.

7.1 Charakteristika úrovně znečištění ovzduší v dané lokalitě

Určení hodnoty kritéria „Ekologická relevance“ je provedeno na podkladě map imisní zátěže vydaných Státním fondem životního prostředí ČR. V mapách je celé území České republiky rozděleno do čtverců 1×1 km a každému čtverci je přiřazena hodnota 5, 10, 15, 20 nebo 25 bodů v závislosti na úrovni imisní zátěže. Téměř celé hodnocené území spadá do kategorie 25 bodů, jedná se tedy o území s největší imisní zátěží. (SFŽP ČR 2015)



Obr. 4 Bodové ohodnocení území dle úrovně imisní zátěže dle SFŽP ČR

8. EMISNÍ KONTROLY VOZIDEL V ČR

Povinnost pravidelného měření emisí v ČR je u vozidel v provozu řízena zákonem č. 56/2001 Sb. přičemž rozsah a praktické provedení emisních kontrol je dán vyhláškou Ministerstva dopravy č. 302/2001 Sb. o technických prohlídkách a měření emisí vozidel. Cílem je udržet emise na přijatelné úrovni pomocí pravidelných emisních kontrol. (Hromádka 2011)

8.1 Měření produkce emisí

Měření produkce emisí lze rozdělit na:

Homologační testy - typové schvalování vozidel nových nebo vozidel poprvé uváděných do provozu.

Emisní kontroly - pravidelná emisní i technická kontrola všech vozidel v provozu.

8.2 Homologace vozidel nad 3,5 t

Pro homologaci vozidel nad 3,5t platí zkušební testy ESC (European Stationary Cycle), ETC (European Transient Cycle) a pro vznětové motory navíc test ELR (European Load Response) pro měření kouřivosti motoru. Limity emisí specifické pro každou kategorii jsou velmi přísné, na hranici technické, technologické i ekonomické dosažitelnosti. Při homologaci vozidel dle EURO 3 si výrobci mohli vybrat, zda budou schvalovat motor dle testu ESC, který byl u vznětových motorů doplněn o test ELR. Při homologaci vozidel dle EURO 4 a výše se musí motor pro větší objektivnost zkoušet oběma testy ESC/ ELR i testem ETC. (Pelkmans et al. 2000)

Tab. 1 EU standardní limity emisí pro vozidla nad 3,5t, (Hromádka 2011), vlastní zpracování ESC = European stationary cycle; ETC = European transient cycle; ECE = Economic Commission of Europe HC; THC = Total Hydrocarbons; NMHC = Non Methane Hydrocarbons; CH4 = Methan

Předpis	Nox	CO	HC	PM	Test
EURO 1(1992) všechna vozidla	8.00	4.5	1.10 (THC)	0.35	ECE R49
EURO 2 (1996)	7.00	4.0	1.10 (THC)	0.15	ECE R49
EURO 3 (2000)	5.0	2.1	0.66 (THC)	0.10	ESC
EURO 3 (2000.10)	5.0	5.45	0.78 (NMHC) 1.6 (CH4)	0.16	ETC
EURO 4 (2005.10)	3.5 3.5	1.5 4.0	0.46 (THC) 0.55 (NMHC) 1.1 (CH4)	0.02 0.03	ESC ETC
EURO 5 (2008.10)	2.0 2.0	1.5 4.0	0.46 (THC) 0.55 (NMHC) 1.1 (CH4)	0.02 0.03	ESC ETC
EURO 6 (2013.01)	0.4 0.4	1.5 4.0	0.13 (THC) 0.16(NMHC) 0.5 (CH4)	0.01 0.01	ESC ETC

9. POPIS VÝFUKOVÝCH PLYNŮ

Při spalování uhlovodíkových paliv se vzduchem vzniká dokonalou oxidací oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O). Při nedokonalé oxidaci jsou přítomny ještě oxid uhelnatý (CO) a vodík (H_2). Nejvýznamnější spalina je dusík (N_2). Za vysokých teplot vznikají ve spalovacím prostoru oxidy dusíku (NO_x). U vznětových motorů se objevuje ve spalinách při dekompozici molekul uhlovodíků přítomnost pevného uhlíku neboli sazí. S výfukovými plyny odchází také malé množství pevných částic (PM), například prach, popel, částičky rzi atd. (Matti Maricq 2007)

9.1 Oxid uhelnatý

Látka široce rozšířená v ovzduší. (CO) silně toxický, pro lidský organismus je jedovatý. Příčinou jeho vzniku je nedostatek kyslíku ve spalované směsi. Oxid uhelnatý se podílí na vzniku (letního) fotochemického smogu. Jeho celková roční emise z antropogenních zdrojů je srovnatelná s emisemi přírodními. (Hromádko 2011)

9.2 Oxid uhličitý

Bezbarvý plyn bez zápachu, stabilní a málo reaktivní. Patří mezi skleníkové plyny. Green House Effect neboli skleníkový efekt způsobuje zvyšování teploty a změnu klimatu. Škodlivě působí až když jeho koncentrace při vdechování vytěsňuje kyslík. Oxid uhličitý je produktem dokonalé oxidace a jeho přítomnost ve spalinách je důsledkem kvalitně uskutečněného spalovacího procesu. (Hromádko 2011)

9.3 Oxidy dusíku

(NO_x) se pro hodnocení kvality ovzduší rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2). Přímá škodlivost oxidu dusnatého na lidské zdraví je poměrně nízká. V atmosféře dochází k jeho oxidaci na oxid uhličitý. Ten je pro organismus značně škodlivější. Na stěnách sliznice po jeho vdechnutí vzniká kyselina dusičná (HNO_3). Při jejím vdechnutí dochází k pocitům dušení (dušnosti) a to již při nízkých koncentracích. Oxidy dusíku se spolupodílejí na tvorbě letního smogu a kyselých deštích. (Hromádko 2011)

9.4 Částice PM10 a PM2,5

Vznikají výhradně u vznětových motorů. Obsahují primární uhlík, organický uhlík, malé množství sulfátu, dusíku a vody. Krátkodobá expozice způsobuje například podráždění očí, jícnu, průdušek, dušnost. Chronická expozice způsobuje například záněty a rakovinotvorné změny v plicích. (Hromádko 2011)

Lze je rozdělit na sekundární – vznikající v atmosféře z plynných prekurzorů, převážně z antropogenních zdrojů a primární - jež jsou emitovány do atmosféry přímo přírodních či antropogenních zdrojů. Dopad na lidské zdraví se projevuje již při nízkých koncentracích, v závislosti na jejich tvaru, velikosti a chemickém složení. Nejzávažnější zdravotní dopady mají jemné částice frakce PM_{2,5}, které se při vdechnutí dostávají do spodní části dýchací soustavy. (ČHMÚ 2015)

9.5 Nespálené uhlovodíky

Nespálené uhlovodíky jsou ve výfukových plynech jako výsledek předčasně zastavených oxidačních reakcí, nebo vynecháním či poruchou spalování. Pokud původní uhlovodíková molekula obsahuje dva a více atomů uhlíku, dochází v průběhu spalovacího procesu k vzniku nebezpečných polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH). Působí škodlivě na sliznice, vedou k poruchám podmíněných reflexů a způsobují poškození dýchacích cest. (Šuta 2010)

9.6 Oxidy síry

Jsou produkovány především vznětovými motory. Podíl emisí oxidů síry ze spalovacích motorů je zanedbatelný, jelikož obsah síry v motorové naftě klesá. Kovové směsi vznikají z opotřebených motorových komponentů, paliva a mazacího oleje. (Hromádko 2011)

10. VOZIDLA NA ZEMNÍ PLYN

Zemní plyn zajišťuje podstatné snížení škodlivin ve výfukových plynech zážehových motorů. V současné době dochází k jeho rozšířenému použití v městské hromadné dopravě. Nevýhodou použití zemního plynu je

velký zástavbový objem a velká hmotnost palivových zásobníků. Ekologické výhody zemního plynu v dopravě jsou zřejmé, vyplývající především z poměru atomů uhlíku a vodíku v molekule. Je tvořen z cca 98 % metanem CH₄ s příznivým poměrem uhlík/ vodík. Proto produkují méně škodlivin než vozidla s klasickým pohonem. Menší je i jeho vliv na skleníkový efekt v porovnání s naftou či benzínem. Snížení emisí CO₂ oproti benzínu činí 20-25 %. (Šebor et al. 2006)

10.1 Výhody zemního plynu

10.1.1 Ekologie

- ✓ Výrazné snížení emisí pevných částic.
 - ✓ Kouřivost vznětových motorů prakticky eliminována.
 - ✓ Snížení emisí oxidů dusíku, oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků.
 - ✓ Snížení emisí oxidu uhličitého cca o 20 – 25 %.
 - ✓ Snížení „letního smogu“ - ozónu v atmosféře nad Zemí.
 - ✓ Spaliny neobsahují oxid siřitý SO₂.
 - ✓ Tišší chod oproti klasickému vznětovému motoru.
 - ✓ Žádné ztráty paliva při tankování.
 - ✓ Při úniku nemožnost kontaminace půdy.
- Od 1. 1. 2009 nulová silniční daň pro všechna vozidla pro přepravu osob, jezdící na CNG.

10.1.2 Bezpečnost

Vozidla využívající zemní plyn jsou bezpečnější než vozidla využívající naftu, benzín nebo LPG.

- ✓ Zemní plyn je oproti kapalným palivům lehčí než vzduch.
- ✓ Zápalná teplota je proti benzínu dvojnásobná.
- ✓ Z oceli vyráběné silnostěnné plynové tlakové nádoby, jsou bezpečnější než nádrže na kapalné pohonné hmoty.

Bezpečnost vozidel je dlouhodobě zajištěna periodickými kontrolami a revizí plynového zařízení.

10.1.3 Provozní výhody

- ✓ U dvoupalivových systémů zůstává možnost užívání benzínu.
- ✓ Zvýšení celkového dojezdu u dvoupalivového systému (cca 200 - 250 km).
- ✓ Díky čistotě paliva se prodlužuje životnost motoru i motorového oleje. Nevytvářejí se karbonové usazeniny.
- ✓ Pohonnou hmotu nelze zcizit.
- ✓ Snížení hlučnosti ve srovnání se vznětovými motory.
- ✓ Lepší startování při nízkých teplotách.
- ✓ Zvýšení odolnosti vůči klepání motoru díky vysokému oktanovému číslu zemního plynu (130), které umožňuje motoru pracovat i v oblasti výrazného ochuzení palivové směsi.
- ✓ Nižší cena zemního plynu oproti naftě a benzínu. (CNG 2001)

10.2 Nevýhody zemního plynu

- ✓ Nedostatečná infrastruktura. Problém menšího počtu plnicích stanic.
- ✓ Vyšší náklady na vozidlo. Přestavby vozidel na zemní plyn zvyšují pořizovací ceny vozidel.
- ✓ Sériově vyráběné vozy jsou dražší.
- ✓ Vyšší náklady na plnicí stanice.
- ✓ Nutnost pravidelných kontrol plynových zástaveb.
- ✓ Zmenšení zavazadlového či užitého prostoru vozidla díky tlakové nádrži.
- ✓ Zvýšení celkové hmotnosti vozidla díky instalaci tlakové nádrže.
- ✓ Zpřísněná bezpečnostní opatření.
- ✓ Snížení výkonu motoru u přestavovaných vozidel. (CNG 2001)

11. STUDIE ZMĚNY STÁVAJÍCÍCH POHONŮ MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY ALTERNATIVNÍMI POHONY

Ve studii jsou porovnávána data a hodnoty, zaměřená na srovnání nákladů a emisí, ať už při výměně stávajících dopravních prostředků na hranici životnosti či provozuschopnosti, tak na jejich nahrazení alternativními pohony. Data jsou čerpána ze Studie EU, zprávy NREL (2012), dat z DPCHJ.

11.1 STUDIE EU

Zpráva „Urban buses: Alternative powertrains for Europe“ byla zpracována v roce 2012 a zde je označována jako „Studie EU“. Jejím cílem je objektivně zhodnotit nevýhody a výhody alternativních pohonů pro městské autobusy a zároveň zhodnotit jejich vývoj do roku 2030. Studie se zúčastnilo téměř padesát evropských dopravců, podniků, výrobců autobusů a dalších dopravou dotčených organizací. Zpracována byla pod metodikou společnosti McKinsey & Company.

Studie EU hodnotí alternativní pohony v porovnání s trolejbusy, diesellovými autobusy a autobusy na stlačený zemní plyn, a to z pohledu dopadů na životní prostředí a celoživotních nákladů. (Studie EU 2012)

11.2 ZPRÁVA NREL

Zpráva National Renewable Energy Laboratory v USA průběžně hodnotí výsledky deseti amerických dopravců na dvaceti pěti vozidlech, u kterých na základě statistických údajů hodnotí spolehlivost, poruchovost a spotřebu. Uvedené statistické údaje zpracovává pro diesellový, plynový (CNG) a palivočlánekový pohon.

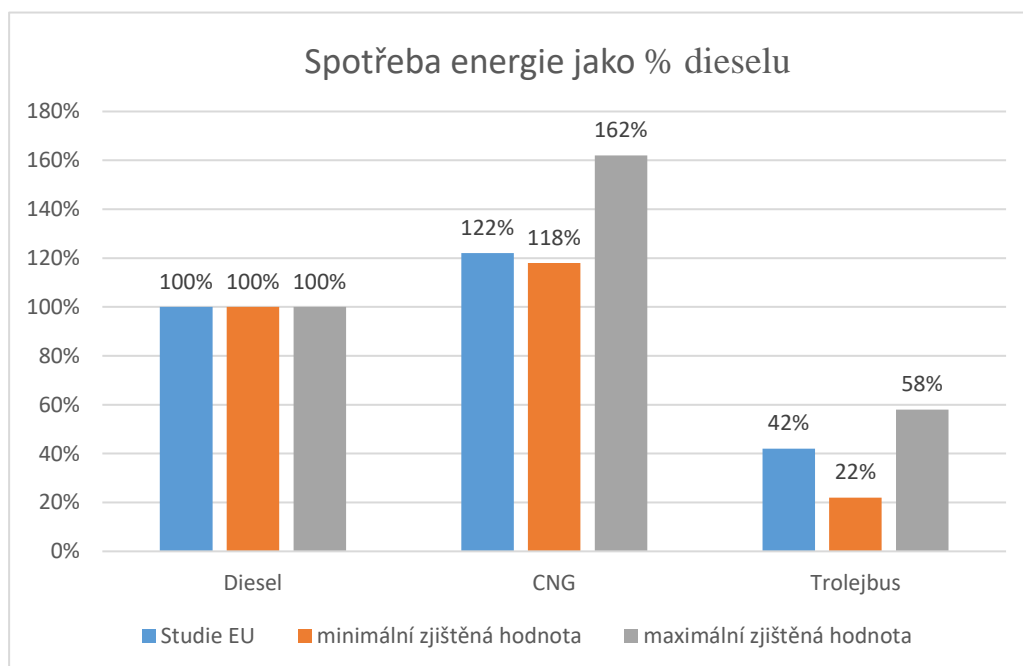
Z údajů obou studií doplněných o informace získané z DPCHJ zjišťujeme, že ačkoli různé zdroje udávají různé hodnoty, konečné informace jsou velmi podobné.

11.3 Civitas 2013

Dokument „CIVITAS policy note: Smart choices for cities – Clean buses for your city, 2013“ (dále „CIVITAS 2013“) byl zpracován v rámci projektu CIVITAS WIKI pod evropskou iniciativou CIVITAS v roce 2013. Je využíván evropskými městy jako informační a metodická pomůcka při rozhodování o možnostech rozvoje městské dopravy v kontextu politiky EU ke snižování skleníkových plynů s výhledem do roku 2030 a 2050.

CIVITAS 2013 stručně hodnotí klady a zápory jednotlivých pohonů městské dopravy. Všímá si především výhod a nevýhod, provozních vlastností, spotřeby energie, infrastruktury a celoživotních nákladů. Kromě CNG a dieselových pohonů uvádí také biopaliva, která však nezahrnuje do hodnocení

Z grafu je patrné, že nejméně hospodárný v porovnání s dieselem je plynový pohon. Naproti tomu minimální spotřebu ukazuje trolejbus, a to až na úrovni 20 % spotřeby dieselu.



Obr. 5 Porovnání spotřeby energie jako % dieselu (Studie EU), vlastní zpracování

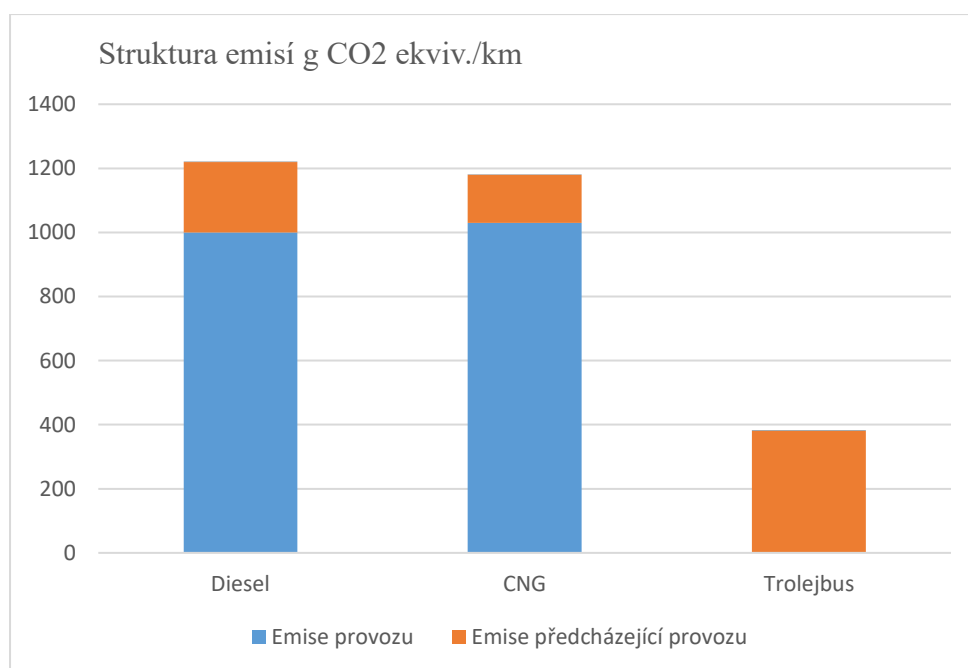
12. EMISE A HLUČNOST

Emise zde dělíme do tří skupin, dle zdroje vzniku, a to na:

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

Výsledky z grafu na obrázku č. 5 uvádí zdroj jako celoevropský stav a vývoj ve struktuře výroby elektrické energie hodnoty pro maximálně ekologickou variantu a pro maximálně nákladově efektivní variantu.

V konkrétních národních hodnotách se mohou vyskytovat odchylky v závislosti na výrobě elektrické energie, stavu konkrétních energetických zdrojů a bilanci domácí výroby a importu elektřiny.



Obr. 6 Porovnání struktury emisí podle místa vzniku (Studie EU), vlastní zpracování

Je patrné, že elektrický pohon bez ohledu na primární zdroj energie má díky schopnosti efektivně hospodařit s energií vozidla (obr. 5) menší emise skleníkových plynů, a to jak lokálně, tak i v celkovém měřítku „well-to-wheel“.

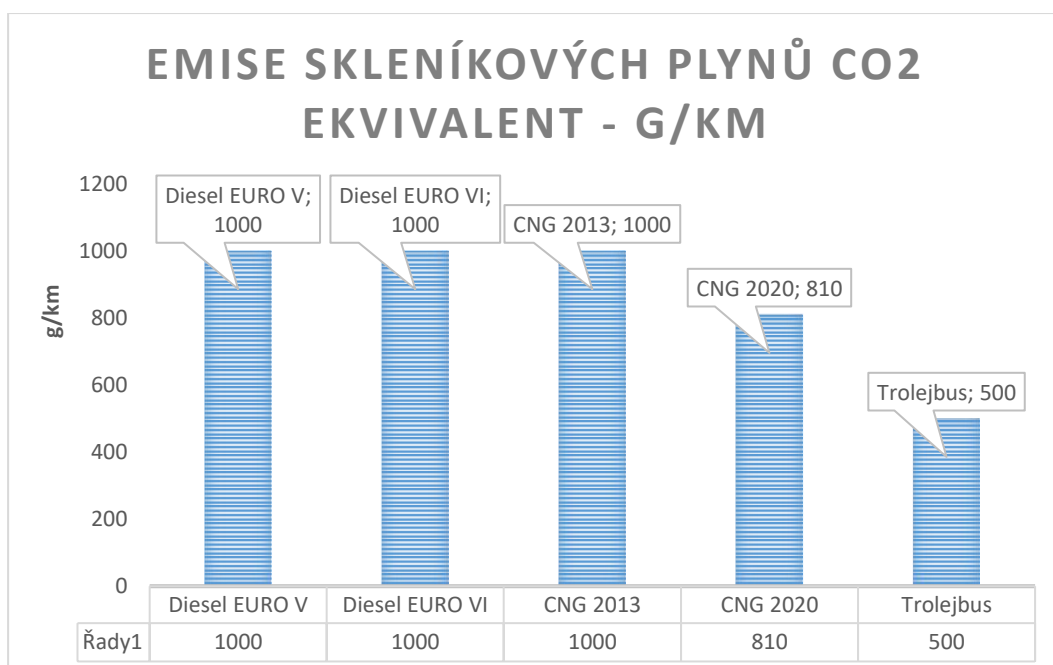
CNG proti dieselu ukazuje stejné nebo nepatrně větší emise skleníkových plynů „tank-to-wheel“ a menší jednotkové emise skleníkových plynů z pohledu „well-to-wheel“. (Studie EU 2012)

Dokument CIVITAS 2013 vyčísluje pro jednotlivé pohony emise skleníkových plynů a lokální emise oxidů dusíku (NOx) a pevných částic (PM10). Uvádí však souhrnné emise well-to-wheel. Oproti výše uvedené

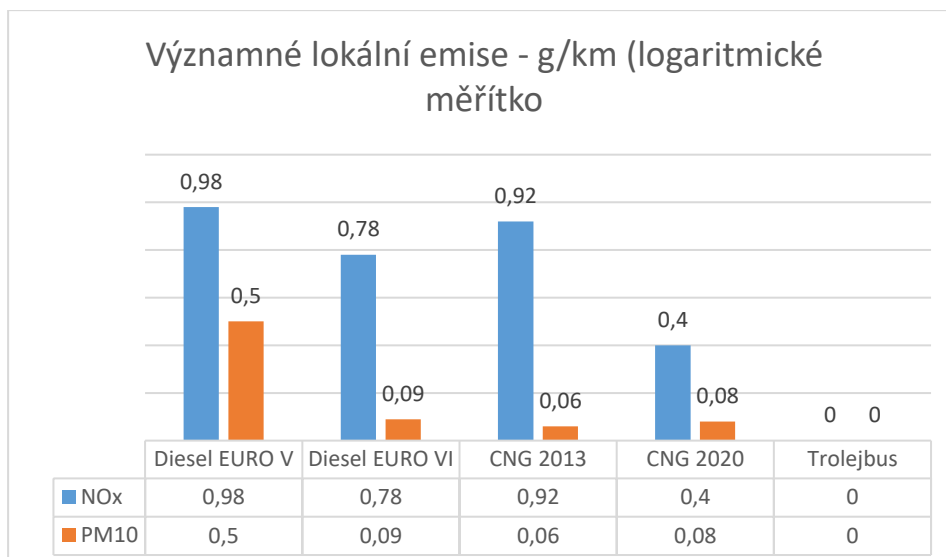
Studii EU blíže rozlišuje technologie pro diesel (EURO 5 a EURO 6) a očekávaný vývoj technologií pro pohony CNG (2013 a 2020).

Podíl bezemisních zdrojů v ČR je srovnatelný s Evropským průměrem (liší se zejména poměrem jaderných a obnovitelných zdrojů energie), lze s určitou tolerancí považovat průměrné evropské hodnoty emisí u elektrického pohonu za relevantní i pro ČR.

Pro srovnání účinků jednotlivých pohonů, kvantifikovaných v dokumentu CIVITAS 2013, byly výše uvedené emise oceněny finančními škodami z externalit, vycházejícími z pracovních podkladů zpracovatelů pro cost - benefit analýzu projektu trasy D pražského metra (Zeman 2005).



Obr. 7 Porovnání emisí skleníkových plynů celkem (Studie EU), vlastní zpracování



Obr. 8 Porovnání významných lokálních emisí celkem (Studie EU), vlastní zpracování

Pro CNG je velmi rozdílné, zda daná země disponuje vlastními zdroji zemního plynu či jej importuje, resp. v jakém poměru jsou obě varianty. Od toho se odvíjejí i emise well-to-wheel.

Lze tedy konstatovat:

Průměrné evropské hodnoty emisí pro čistě elektrické pohony mohou být s jistými výhradami relevantní i pro ČR.

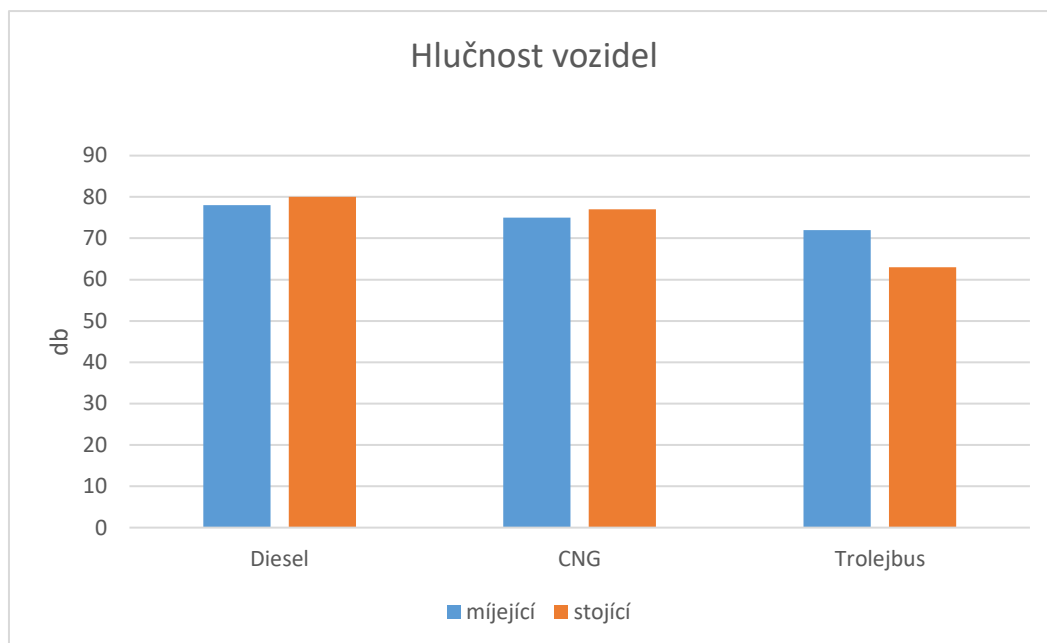
U CNG jsou patrné rozdíly mezi zeměmi s vlastními zdroji a importem. V ČR budou hodnoty nad evropským průměrem.

Při spalování obou typů pohonů, jsou produkovány nanočástice, které mohou pronikat buněčnou stěnou do organismů a tím škodit lidskému zdraví.

U CNG jsou nanočástice menší, a proto nebezpečnější než u dieselu. Oba pohony jsou zdravotně rizikové pro městský provoz, díky omezenému rozptylu nanočástic v ovzduší.

Důležitým vlivem na životní prostředí je také hlučnost pohonů.

Následující graf znázorňuje srovnání hlučnosti vozidla při stání a při míjení pozorovatele.



Obr. 9 Porovnání hlučnosti (Studie EU 2012), vlastní zpracování

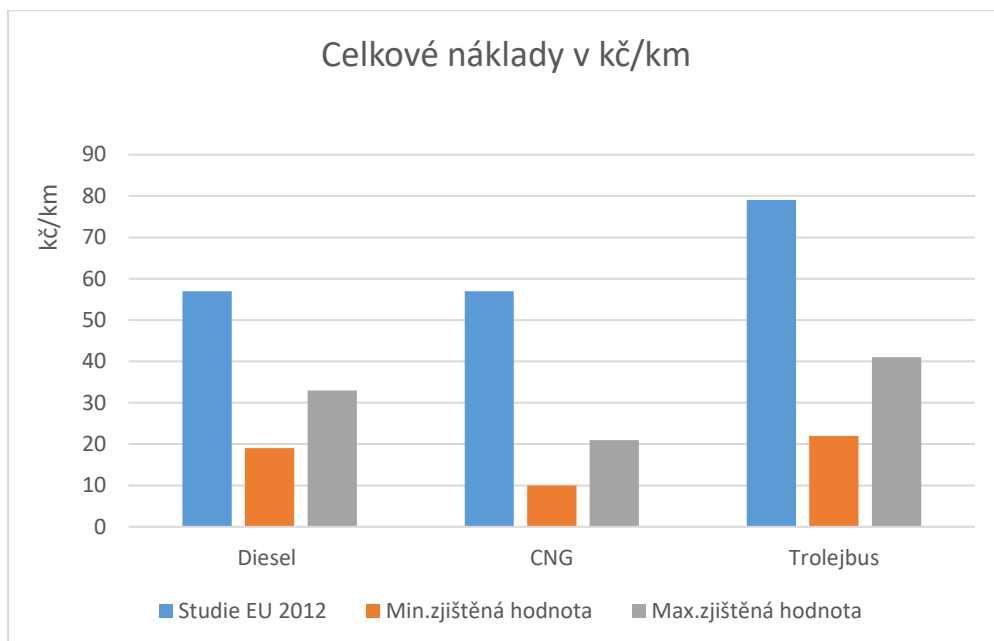
Úhrnné konstatování:

- ✓ Trolejbusy jsou vždy méně škodlivé pro životní prostředí než CNG a diesel, a to i se zohledněním primárních zdrojů elektřiny.
- ✓ Elektrický pohon bez ohledu na primární zdroj elektřiny je vždy méně hlučný než spalovací motor.

13. NÁKLADOVOST

Mezi náklady na spotřebované palivo nebo energii je promítnuta také energetická náročnost. Diesel a CNG mají vždy větší náklady než elektrické pohony.

U CNG kompenzuje nízká cena podobně jako u emisí skleníkových plynů nehošpodárnost vzhledem k dieselu.



Obr. 10 Porovnání celoživotních nákladů (Studie EU 2012), vlastní zpracování

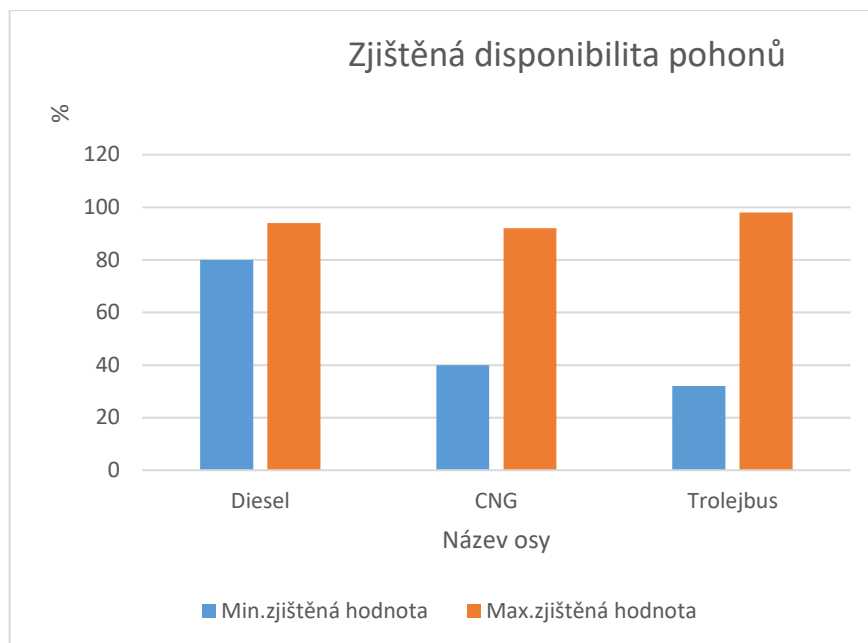
Bereme-li v úvahu veškeré životní náklady dopravního prostředku, je potřeba také zohlednit sériovost výroby a náklady na potřebnou infrastrukturu. Z grafu je patrné, že díky zavedenosti na trzích s jednoduchou konstrukcí mají diesel a CNG nejnižší celoživotní náklady. Oproti tomu trolejbus je zatížen náklady při pořízení a udržování pevné trakční infrastruktury.

Do růstu celoživotních nákladů dieselů a CNG se promítá vývoj cen fosilních paliv. U trolejbusů se do celoživotních nákladů promítne náročnost na infrastrukturu na lidskou práci a předpokládaný růst její ceny.

Je třeba dodat, že tato nákladovost se týká finanční efektivity pro provozovatele. (Studie EU 2012)

14. PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST

Pro potřebu této studie byly analyzovány údaje, které odrážejí konkrétní zkušenosti z provozu. Kde porovnávají poruchovost měřenou kilometrickými proběhy mezi poruchami pro vybrané pohony. Výsledky jasně ukazují na spolehlivost trolejbusů, díky jejich dlouholeté sériové výrobě.



Obr. 11 Zjištěná disponibilita pohonů (NREL 2012), vlastní zpracování

15. DPCHJ

Dopravní podnik měst Chomutova a Jirkova a.s. (dále jen DPCHJ) uvádí předpokládanou výměnu deseti stávajících zastaralých trolejbusů s označením 15Tr za deset nových, nízkopodlažních a bezbariérových trolejbusů 18 m a pět trolejbusů 12 m. A rovněž dvou autobusů využívajících stlačený zemní plyn (CNG).

Mezi očekávané cíle této obnovy vozového parku patří snížení množství emisí primárních částic a prekurzorů sekundárních částic o 0,4289 t/rok, což je snížení o 95 %. Dále také zkvalitnění dopravy prostřednictvím zvýšení komfortu vozidel a zlepšení podmínek pro přepravu osob se specifickými potřebami.

Nová vozidla umožní udržet nejkologičtější (trolejbusovou) dopravu ve městě Chomutov a Jirkov, tedy v oblasti s překročenými imisními limity. Nové vozy (CNG) budou oproti původním naftovým emitovat méně škodlivin, což ocení uživatelé veřejné dopravy zejména při rozjezdu dopravního prostředku z prostoru zastávky.

15.1 Výhody a nevýhody výměny trolejbusů

Nevýhody náhrady starých trolejbusů za nové:

- ✓ Závislost na trolejovém vedení a elektrickém proudu
- ✓ Přísnější právní a technické podmínky provozu
- ✓ Vyšší provozní náklady na provoz distribuční soustavy trakce proti autobusům
- ✓ Vyšší pořizovací cena oproti stejně dlouhému CNG autobusu, a ještě vyšší oproti stejně dlouhému dieselovému autobusu

Výhody náhrady:

- ✓ Snížení nákladů na opravy a snížení spotřeby trakční energie
- ✓ Trolejbus spotřebovává energii pouze během jízdy
- ✓ Lepší jízdní vlastnosti a větší komfort než u autobusu
- ✓ Nové vozy jsou vybaveny měřením celkově spotřebované trakční energie

15.2 Výhody a nevýhody výměny naftových autobusů za nové CNG autobusy

Nevýhody:

- ✓ Vyšší pořizovací cena oproti klasickým dieselovým autobusům
- ✓ Při nižších teplotách mívají CNG autobusy problémy se startováním
- ✓ Závislost na plnicích stanicích CNG, jejichž počet je omezen
- ✓ Vyšší náklady na servisní údržbu. Pokyny pro údržbu výrobci uvádějí shodné s dieselovými autobusy, nicméně další náklady jsou na revize tlakových nádrží. Revize se provádí 1x ročně (kontrola úniku plynu) a 1x za 5 let (velká kontrola), přičemž cena za 5 let provozu se může vyšplhat až na 35 000 Kč bez DPH, u dvou autobusů tedy až 70 000 Kč za 5 let provozu navíc (oproti dieselovým autobusům).

Výhody:

- ✓ Snížení emisí škodlivin (EURO 6 místo stávajících 2 autobusů EURO 3); do zemního plynu se nepřidávají žádná karcinogenní aditiva, spaliny neobsahují oxid siřičitý a má výrazně nižší emise CO₂
- ✓ Nižší nákladovost v rámci pohonných hmot
- ✓ Vozidla s CNG pohonem mají nižší hlučnost
- ✓ Téměř nulová možnost zcizení paliva
- ✓ DPCHJ má vlastní plnicí stanici

Nové trolejbusy a CNG autobusy mohou být zavedeny do provozu beze změn distribuční sítě trakce.

15.3 Vliv výměny na životní prostředí

- ✓ Náhrada nových nízkopodlažních trolejbusů sníží hlučnost v provozu vozidel (vnitřní i vnější)
- ✓ Sníží spotřebu elektrické energie (rekuperace)
- ✓ Náhrada 2 starých dieselových autobusů za nové nízkopodlažní CNG autobusy sníží taktéž hlučnost v provozu vozidel
- ✓ Sníží emisní zatížení až o 95 % (nahrazení pohonu s EURO 3 na pohon EURO 6)

15.4 Technické parametry pro výpočet emisí

Konkrétní hodnoty škodlivých emisí u nízkoemisních CNG autobusů (18 m), které DPCHJ obdržel od potenciálních dodavatelů v rámci průzkumu trhu (z homologací výrobců motorů), jsou následující:

- ✓ NO_x (g/kWh) = 0,214g/kWh (Sor Libchavy) a 0,313 (Solaris Czech)
- ✓ PM₁₀(g/kWh) = 0,0001 g/kWh (Solaris Czech)
- ✓ SO₂ (g/m³ plynu) = motory CNG neprodukují oxid siřičitý (Sol Libchavy i Solaris Czech)

Jiní oslovení dodavatelé (např. Iveco) emise v přípravné fázi projektu DPCHJ neposkytli. Další emise produkované CNG agregáty (CO a NH) jsou zcela mimo indikátor 3 61 11 a zanedbatelné, proto nejsou řešeny ani v dalších výpočtech.

15.5 Emisní výpočty dieselových autobusů EURO 3

Pro výpočet je použit vzorec:

$$EPS = (1 \times PM_{10}) + (0,88 \times NO_x) + (0,54 \times SO_2)$$

Vysvětlení zkratk/ veličin ve vzorci:

EPS: emise primárních a prekurzorů sekundárních částic

PM₁₀: tuhé znečišťující látky

NO_x: oxidy dusíku

SO₂: oxid siřičitý

Vstupní hodnoty pro výpočet emisí

Tab. 2 Měrné emisní faktory pro znečišťující látky pro dieselové autobusy (DPCHJ 2015), vlastní zpracování

Znečišťující látka	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6
Nox (g/kWh) limit	14,4	8,0	7,0	5,0	3,5	2,0	0,46
PM10 (g/kWh) limit	0,47	0,34	0,19	0,15	0,03	0,03	0,01
SO2 (g/kg nafty)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Vstupními hodnotami jsou měrné emisní faktory výše uvedených emisních látek. Použity jsou hodnoty na úrovni emisního limitu. V našem případě nahrazujeme dieselový autobus Euro 3. Aby bylo možné hodnoty limitů převést na měrnou emisi, je nutné znát následující parametry:

Tab. 3 Hodnoty vstupních parametrů pro výpočet měrných emisí dieselových autobusů (DPCHJ 2012), vlastní zpracování

Parametr	Zkratka	Hodnota parametru
Výhřevnost motorové nafty	H	11,8 kWh/kg
Hustota motorové nafty	P	832,5 kg/m ³
Spotřeba nafty	S	45,87 litrů/100 km
Účinnost motoru a přeměny energie	η	0,333

Výpočet dle vzorců:

a) výpočet měrných emisí NO_x PM₁₀ a SO₂:

$$NO_x = H \times (\rho/1000) \times (S/100) \times \eta \times EF_{NO_x}$$

$$11,8 \times (832,5/1000) \times (45,87/100) \times 0,333 \times 5,0 = \underline{7,50255568}$$

$$PM_{10} = H \times (\rho/1000) \times (S/100) \times \eta \times EF_{PM_{10}}$$

$$11,8 \times (832,5/1000) \times (45,87/100) \times 0,333 \times 0,15 = \underline{0,22507667}$$

$$SO_2 = (\rho/1000) \times (S/100) \times EF_{SO_2}$$

$$832,5/1000) \times (45,87/100) \times 0,02 = \underline{0,00763736}$$

b) výpočet množství emisí 1 vozidla na 1 kilometr v gramech:

Výsledné hodnoty měrných emisí jsou dosazeny do vzorce pro výpočet indikátoru

Vzorec výpočtu množství emisí 1 vozidlo na 1 km v gramech.

$$EPS = (1 \times PM_{10}) + (0,88 \times NO_x) + (0,54 \times SO_2)$$

Výpočet

$$(1 \times 0,22507667) + (0,88 \times 7,50255568) + (0,54 \times 0,00763736) = \underline{6,83144984}$$

c) výpočet emisí za 1 vozidlo v tunách za rok:

Pro výpočet roční emise v tunách za vozidlo se měrné množství EPS vynásobí počtem kilometrů, které vozidlo ujede za 1 rok, a abychom dostali výsledek v tunách, vydělí se rovnice 1 000 000. Pro srovnatelnost s cílovou hodnotou je počet km za rok stanoven shodně na 40 000 km/ rok.

Vzorec výpočtu množství emisí 1 vozidlo v tunách za rok

$$\text{Emise za 1 vozidlo v tunách za 1 rok} = \frac{\text{EPS} * \text{km za rok}}{1\,000\,000}$$

Výpočet

$$\frac{6,83144984 * 40000}{1\,000\,000} = 0,27325799$$

Pro dvě vozidla tedy za rok v tunách $2 \times 0,27325799 = 0,54651598$

Toto je tedy výchozí hodnota indikátoru.

15.6 Emisní výpočty CNG autobusů EURO 6

Pro výpočet je použit vzorec:

$$\text{EPS} = (1 \times (\text{EF}_{\text{PM}_{10}} \times \text{RLE})) + (0,88 \times (\text{EF}_{\text{NO}_x} \times \text{RLE})) + (0,54 \times (\text{EF}_{\text{SO}_2} \times (\text{S}/100)))$$

Vysvětlení zkratk/veličin ve vzorcí:

EPS - emise primárních a prekurzorů sekundárních částic

EF - emisní faktor

PM₁₀ – tuhé znečišťující látky

NO_x - oxidy dusíku

SO₂ – oxid siřičitý

Pro výpočty použijeme data od výrobců viz kapitola 15.4.

Tab. 4 Hodnoty vstupních parametrů pro výpočet měrných emisí pro CNG autobusy (DPCHJ 2012), vlastní zpracování

Znečišťující látka	SOR Libchavy	Solaris Czech	Hodnota použitá do výpočtu
NO _x (g/kWh)	0,2	0,313	Průměr hodnot, tj. 0,2635
PM ₁₀ (g/kWh)	neudal	0,001	0,001
SO ₂ (g/m ³ plynu)	neudal	neudal	0,0

Měrná spotřeba zemního plynu CNG nebo LNG v metrech krychlových (1kg LNG = 2,38 m³)

Průměrná spotřeba 12 m autobusu je 56,42 m³/100 km.

Průměrná spotřeba 18 m autobusu je 69,86 m³/100 km.

Pro převod kg na m³ byl použit poměr: 1 kg CNG = 1,4 m³ CNG.

Pro výpočet je použit vzorec:

a) výpočet měrných emisí NO_x a PM₁₀ a SO₂:

$$NO_x = EF_{NO_x} \times RLE$$

$$0,2635 \times 1,28 = \underline{0,33728}$$

$$PM_{10} = EF_{PM_{10}} \times RLE$$

$$0,001 \times 1,28 = \underline{0,00128}$$

$$SO_2 = EF_{SO_2} \times (S/100)$$

$$\text{CNG bus 12 m: } 0,0 \times (56,42/100) = \underline{0,0}$$

$$\text{CNG bus 18 m: } 0,0 \times (69,86/100) = \underline{0,0}$$

Je patrné, že agregáty CNG neprodukují měrné emise SO₂.

b) výpočet množství emisí 1 vozidla na 1 kilometr v gramech

$$EPS = (1 \times (EF_{PM_{10}} \times RLE)) + (0,88 \times (EF_{NO_x} \times RLE)) + (0,54 \times (EF_{SO_2} \times (S/100)))$$

$$\text{CNG autobus 18 m: } (1 \times 0,00128) + (0,88 \times 0,33728) + (0,54 \times 0,0) = \underline{0,2980864}$$

$$\text{CNG autobus 12 m: } (1 \times 0,00128) + (0,88 \times 0,33728) + (0,54 \times 0,0) = \underline{0,2980864}$$

c) výpočet emisí za 1 vozidlo v tunách za rok

Pro srovnatelnost s cílovou hodnotou je počet km za rok stanoven shodně na 40 000 km/rok.

$$\text{Emise za 1 vozidlo v tunách za 1 rok} = \frac{\text{EPS} * \text{km za rok}}{1\ 000\ 000}$$

$$\frac{0,2980864 * 40000}{1\ 000\ 000} = 0,011923456$$

$$\text{Pro dvě vozidla tedy za rok v tunách } 2 \times 0,011923456 = \underline{0,02384912 \text{ t/rok}}$$

(toto je cílový indikátor)

Porovnáme-li tedy dva dieselové autobusy EURO 3 s indikátorem 0,5465 a dva CNG autobusy EURO 6 s indikátorem 0,0238. Získáme snížení množství emisí primárních částic a prekurzorů sekundárních částic (ve stavu před a po realizaci výměny) o **0,5227** t/rok, což je snížení o **95** %.

Lze tedy konstatovat, že nákupem dvou nových CNG autobusů EURO 6 sníží DPCHJ emisní zatížení o 0,5227 t/rok. Což odpovídá snížení o 95 % oproti stavu před realizací výměny.

16. DISKUSE

Při posuzování jednotlivých studií, ať už Studie EU, zprávy NREL, Civitas 2013 či dat z DPCHJ je zřejmé, že výklad slova efektivnost a nákladovost lze vysvětlit více způsoby. Podíváme-li se na informace a data získaná z těchto podkladů, můžeme nabýt dojmu, že jsou si podobná. Je tomu tak ovšem jen navenek.

Zahraniční studie vyzdvihují, že diesel a CNG autobusy mají menší nákladovost než trolejbusy v závislosti na spotřebě. Poukazují však na nevýhody poruchovosti.

Z informací ze získané literatury víme, že CNG autobusy mají více výhod než nevýhod oproti dieselovým autobusům.

Z dat DPCHJ víme, že nákup nových vozidel je ve fázi schvalování projektu, kde není zcela jasné, zda bude schválen. Nová vozidla emitují méně hluku (platí jak pro trolejbusy, tak CNG autobusy – zde výrazně). Zároveň budou nahrazeny 2 původní naftové autobusy EURO 3 za 2 nové CNG autobusy splňující EURO 6, čímž bude dosaženo snížení emisí (množství emisí primárních částic a prekurzorů sekundárních částic) – viz indikátory projektu. Spolehlivost a náklady spojené s provozem CNG autobusů EURO 6 však nezmiňuje jako efektivní, a to v rámci vyšší pořizovací ceny a revizí tlakových nádrží.

Nemalou roli ve volbě výsledných zvolených technologií hraje dotační politika. V současné době jsou v rámci dotačního projektu EU voleny mezi nejekologičtější a nejhospodárnější autobusy CNG EURO 6. Vzhledem k účasti DPCHJ ve Výzvě č. 20 Nízkoemisní a bezemisní vozidla týkající se nákupu silničních nízkoemisních vozidel využívajících alternativní palivo CNG nebo LNG, jež zadal IROP (Integrovaný regionální operační program) víme, že při realizaci tohoto projektu získá DPCHJ dotaci ve výši 61 117 100 Kč (DotaceEU.cz, 2017).

17. ZÁVĚR

Městská hromadná doprava, kterou zajišťuje DPCHJ na území měst Chomutova a Jirkov se potýká s nízkou atraktivitou, což dokládá trend posledních let, kdy dochází ke snižování počtu přepravených osob. Předpokladem stabilizace tohoto negativního trendu je mj. zajištění moderního vozového parku MHD, který se odráží v komfortu přepravy, její spolehlivosti, bezpečnosti i přepravní době. Stáří stávajícího vozového parku DPCHJ je přitom velkým problémem, zejména u trolejbusové dopravy, která tvoří páteř MHD. Každoročně jsou vynakládány poměrně vysoké náklady na opravy a udržení provozuschopného stavu zejména trolejbusů.

Dále využívá DPCHJ stále k obsluze autobusových linek diesellové autobusy (EURO 3), což také není v souladu s požadavky na moderní, udržitelnou dopravu. Z těchto pohledů stávající vozový park nespĺňuje kritéria a parametry kladené na moderní prostředky veřejné dopravy – problémem je i nedostatečná bezbariérovost vozů a v případě vlivu na okolí také emise hluku (trolejbusy, diesellové autobusy) i emise škodlivin (diesellové autobusy EURO 3). Pokračoval-li by tento stav, projeví se tato skutečnost v pokračování trendu odlivu cestujících, neboť dopravní prostředky mají vliv nejen na komfort a spolehlivost přepravy, ale také na ceny. Což dokazuje také průzkum veřejného mínění, kde bylo osloveno 500 respondentů. Byli rozděleni do dvou kategorií.

- ✓ Do 35 let
- ✓ Nad 35 let

Větší část respondentů do 35 let pocházela z Jirkova a přilehlého okolí a využívala k přepravě MHD. Ta je častěji využívána mladší generací a generace nad 35 let by stála o její změny. Jednalo by se o změny týkající se času, ceny i kvality přepravy. A poslední otázka týkající se zachování trolejbusové dopravy je téměř shodně zodpovězena oběma věkovými kategoriemi. Není tedy jednoznačně jasné, zda jsou občané pro nebo proti zachování trolejbusové dopravy.

Navrhované řešení v podobě předkládaného nákupu nových vozidel by ve svém důsledku mělo pomoci stabilizovat trend poklesu počtu přepravených osob MHD a zpomalit trend zvyšování individuální automobilové dopravy. Jak je již

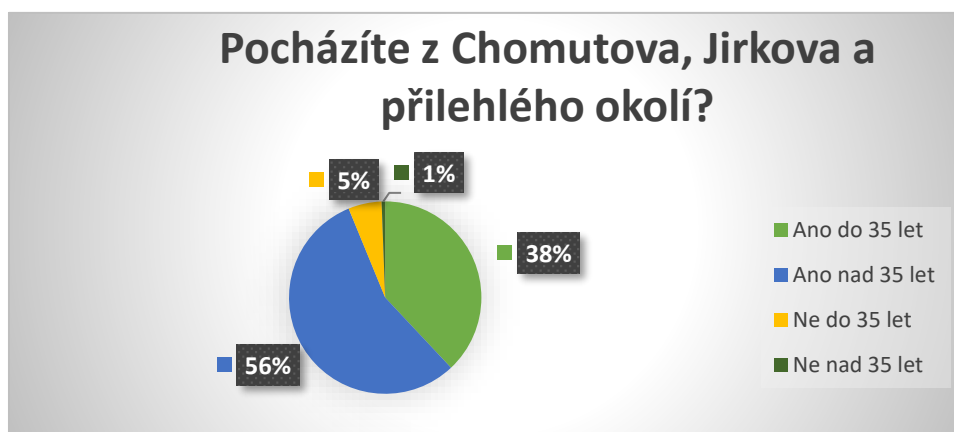
několikrát zmíněno, ideální řešení neexistuje. Existuje pouze vhodné či méně vhodné řešení ve vztahu k požadavkům a podmínkám.

18. PRŮZKUM VEŘEJNÉHO MÍNĚNÍ

Osloveno 500 respondentů do 35 let a nad 35 let

I. Pocházíte z Chomutova, Jirkova a přilehlého okolí?

- a. Ano
 - 1) do 35 let (190)
 - 2) nad 35 let (279)
- b. Ne
 - 1) do 35 let (28)
 - 2) nad 35 let (3)



Obr. 12 Pocházíte z Chomutova, Jirkova a přilehlého okolí? Vlastní zpracování

II. Využíváte k přepravě MHD?

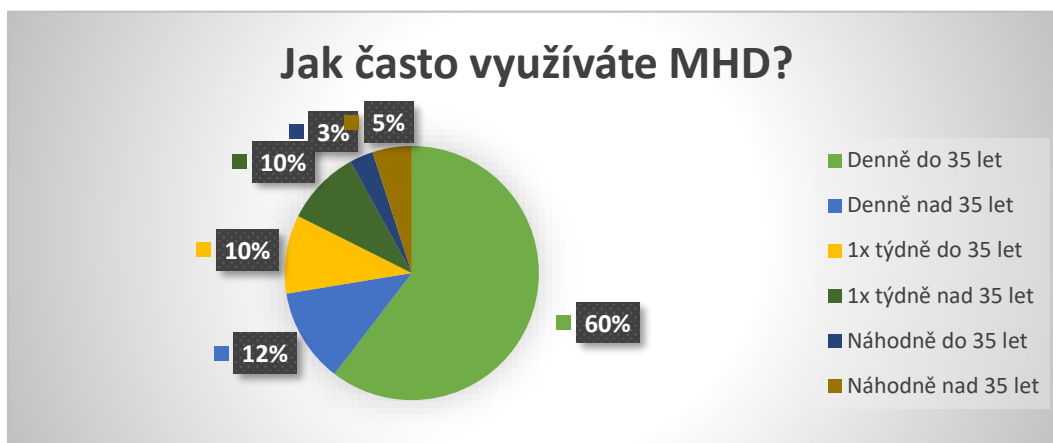
- a. Ano
 - 1) do 35 let (239)
 - 2) nad 35 let (192)
- b. Ne
 - 1) do 35 let (2)
 - 2) nad 35 let (67)



Obr. 13 Využíváte k přepravě MHD? Vlastní zpracování

III. Jak často využíváte MHD?

- a. Denně
 - 1) Do 35 let (302)
 - 2) Nad 35 let (60)
- b. 1x týdně
 - 1) Do 35 let (50)
 - 2) Nad 35 let (48)
- c. Náhodně
 - 1) Do 35 let (15)
 - 2) Nad 35 let (25)



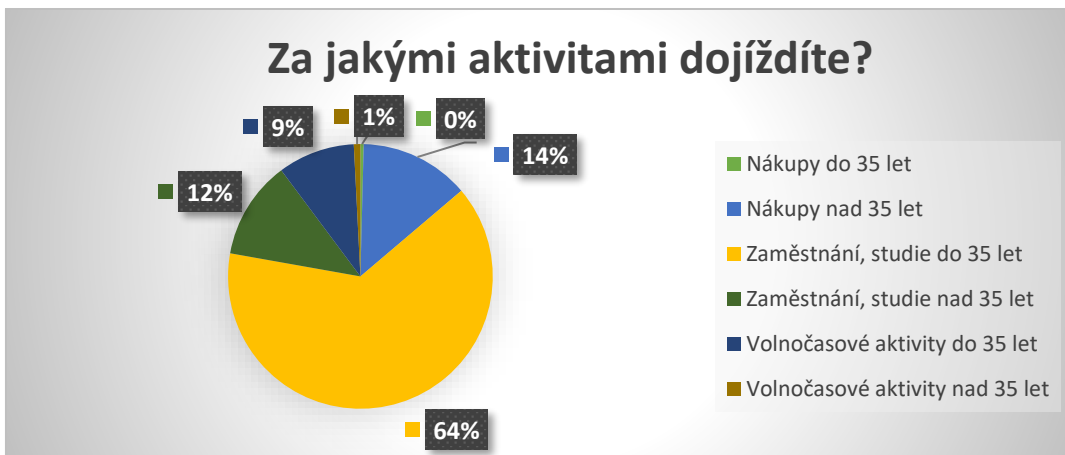
Obr. 14 Jak často využíváte MHD? Vlastní zpracování

IV. Za jakými aktivitami dojíždíte?

- a. Nákupy
 - 1) Do 35 let (2)
 - 2) Nad 35 let (67)
- b. Zaměstnání, studium
 - 1) Do 35 let (320)
 - 2) Nad 35 let (60)

c. Volnočasové aktivity

- 1) Do 35 let (47)
- 2) Nad 35 let (4)



Obr. 15 Za jakými aktivitami dojíždíte? Vlastní zpracování

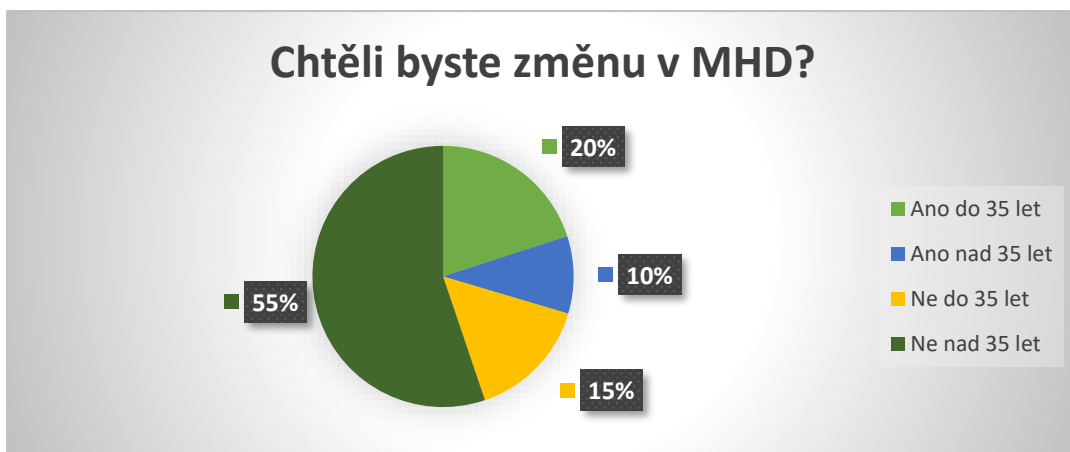
V. Chtěli byste změnu v MHD?

a. Ano

- 1) Do 35 let (100)
- 2) Nad 35 let (48)

b. Ne

- 1) Do 35 let (76)
- 2) Nad 35 let (276)



Obr. 16 Chtěli byste změnu v MHD? Vlastní zpracování

VI. Čeho by se změny měly týkat?

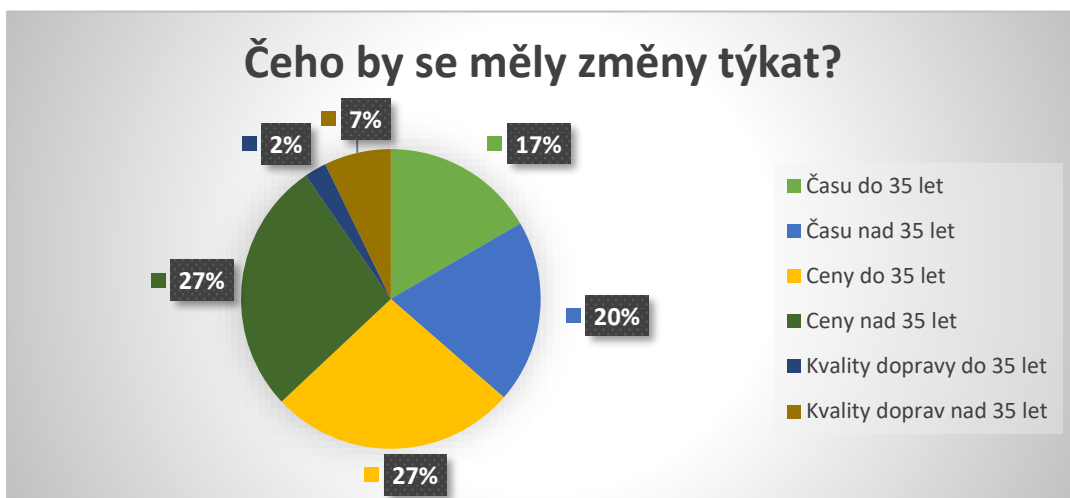
a. Času

- 1) Do 35 let (83)
- 2) Nad 35 let (99)

b. Ceny

- 1) Do 35 let (133)
- 2) Nad 35 let (137)

- c. Kvality dopravy
- 1) Do 35 let (12)
 - 2) Nad 35 let (36)



Obr. 17 Čeho by se měly změny týkat? Vlastní zpracování

VII. Jste pro zachování trolejbusové dopravy nebo její nahrazení autobusy?

- a. Ano
 1. Do 35 let (151)
 2. Nad 35 let (175)
- b. Ne
 1. Do 35 let (146)
 2. Nad 35 let (28)



Obr. 18 Jste pro zachování trolejbusové dopravy? Vlastní zpracování

19. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

- BRANIŠ M., HUNOVÁ I., 2009: Atmosféra a klima. Aktuální otázky ochrany ovzduší. Nakladatelství Karolinum, Praha, 184 s.
- CENIA, 2005: Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2005. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- CENIA, 2015: Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2015. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- CIVITAS WIKI Consortium 2013: Smart choices for cities – Clean buses for your city, CIVITAS policy note, London.
- CNG, 2001: Stlačený zemní plyn, online: <http://www.cng.cz>, cit. 13. 2. 2017.
- DOTACE EU.cz, 2017: online: <https://www.strukturalni-fondy.cz>, cit 10. 4. 2017.
- DUFEK J., HUZLÍK J., ADAMEC V., 2006: Metodika stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy. CDV, Brno.
- EUDY L., CHANDLER K., GIKAKIS C., 2012: Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2012. Technical Report NREL/TP-5600-56406.
- EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2010: Towards a resource -efficient transport systém. Term 2009: Indicators tracking transport and environment in the European Union. EEA. Report No.2/2010.
- Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking , 2012: Urban buses: Alternative powertrains for Europe.
- GOOGLE MAPY, 2017: mapy, online: <https://www.google.cz/maps/place/Chomutov>, cit. 21. 3. 2017.
- HARÁK M., 2014: Autobusy a trolejbusy východního bloku. Grada Publishing a. s., Praha.
- HROMÁDKO J., 2012: Speciální spalovací motory a alternativní pohony. Grada Publishing, a. s. Praha.
- HROMÁDKO J., HROMÁDKO J., HONIG V., MILER P., 2001: Spalovací motory. Grada Publishing, a. s., 201 s.

- KJÓTSKÝ PROTOKOL K RÁMCOVÉ ÚMLUVĚ OSN O ZMĚNĚ KLIMATU, 2012: online:
<http://www.mzp.cz/cz/search?query=kjótský+protokol>, cit. 31.3.2017.
- MATTI MARICQ M., 2007: Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines. *Journal of aerosol Science* 38, 1079-1118 pp.
- MOLDAN B., 2009: Podmaněná planeta. Nakladatelství Karolinum, Praha, 193 s.
- NÁTR L., 2006: Země jako skleník. Proč se bát CO₂? Nakladatelství Academia, Praha.
- NEUŽIL V., 1991: Znečišťování ovzduší. Ca Publishing, Sdružení Koneko, Vuste apis, Praha, 82 s.
- PELKMANS L., KEUKELEERE D., LENAERS G., 2000: Emissions and fuel consumption of natural gas powered city buses versus diesel buses in realcity traffic.
- ROČENKA DPORAVY, 2015: online:
http://www.sydos.cz/cs/rocenka_pdf/Rocenka_dopravy_2015.pdf, cit. 12.3.2017.
- SFŽP ČR., 2013: Operační program Životní prostředí – Hodnotící kritéria pro podoblast 2.1.5, Praha.
- SKLENÍKOVÉ PLYNY, 2016: online:
<http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases.pdf>, cit. 15. 2. 2017.
- STUDIE PROVEDITELNOSTI DPCHJ, 2016: Udržitelná veřejná doprava: online: cit. 5. 4. 2017.
- ŠEBOR G., POSPÍŠIL M., ŽÁKOVEC J., 2006: Technickoeconomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, výzkumná zpráva vypracovaná pro Ministerstvo dopravy ČR, VŠCHT, Praha.
- ŠUTA M., 2010: Účinky výfukových plynů automobilů na lidské zdraví. ZO ČSOP Veronica, Brno, 60 s.
- Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- ZEMAN J., 2005: Emisní náročnost v české dopravě. Nakladatelství Karolinum, Praha.

20. SEZNAM POUŽITÉ GRAFIKY

20.1 Seznam použitých obrázků

Obr. 1 Podíl jednotlivých plynů na skleníkovém efektu

Obr. 2 Podíl lidské činnosti na skleníkovém efektu

Obr. 3 Poloha města Chomutov

Obr. 4 Bodové ohodnocení území dle úrovně imisní zátěže dle SFŽP ČR

Obr. 5 Porovnání spotřeby energie jako % dieselu

Obr. 6 Porovnání struktury emisí podle místa vzniku

Obr. 7 Porovnání emisí skleníkových plynů celkem

Obr. 8 Porovnání významných lokálních emisí celkem

Obr. 9 Porovnání hlučnosti

Obr. 10 Porovnání celoživotních nákladů

Obr. 11 Zjištěná disponibilita pohonů

Obr. 12 Pocházíte z Chomutova, Jirkova a přilehlého okolí?

Obr. 13 Využíváte k přepravě MHD?

Obr. 14 Jak často využíváte MHD?

Obr. 15 Za jakými aktivitami dojíždíte?

Obr. 16 *Chtěli byste změnu v MHD?*

Obr. 17 *Čeho by se měly změny týkat?*

Obr. 18 *Jste pro zachování trolejbusové dopravy?*

20.2 Seznam použitých tabulek

Tab. 1 EU standartní limity emisí pro vozidla nad 3,5 t

Tab. 2 Měrné emisní faktory pro znečišťující látky pro dieselové autobusy

Tab. 3 Hodnoty vstupních parametrů pro výpočet měrných emisí dieselových autobusů

Tab. 4 Hodnoty vstupních parametrů pro výpočet měrných emisí pro CNG autobusy