



## EMISIE NO<sub>x</sub> Z PREVÁDZKY OSOBNÝCH AUTOMOBILOV V CESTNEJ DOPRAVE

### ROAD TRAFFIC NO<sub>x</sub> EMISSIONS FROM PASSENGER CARS

*Viliam Carach, Jozef Mačala*<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Ing. Viliam Carach, doc. Ing. Jozef Mačala, CSc., Katedra Mineralurgie a environmentálnych technológií, Park Komenského 19, 043 84 Košice, [viliam.carach@tuke.sk](mailto:viliam.carach@tuke.sk),  
[jozef.macala@tuke.sk](mailto:jozef.macala@tuke.sk)

**Abstrakt:** Cestná doprava je neoddeliteľnou súčasťou modernej spoločnosti. Napriek pozitívnym vlastnostiam, má až príliš negatívny vplyv na životné prostredie. Cestná doprava, má mimoriadne negatívny vplyv na kvalitu ovzdušia, čo sa týka hlavne plynného znečistenia a znečistenia tuhými časticami. Najvyššie znečistenie z cestnej dopravy je najmä v centre mesta, kde je najviac sústredená verejná doprava. Automobilová doprava je v súčasnosti najväčším producentom NO<sub>x</sub> (51%). Je to hlavný dôvod, hľadania riešení znížovania množstva emisií NO<sub>x</sub> z dopravy.

**Kľúčové slová:** emisie za studena, emisie za horúca, MEET, oxidy dusíka

**Abstract:** Road traffic is an inseparable component part of contemporary community. But for all that positive characteristics has too negative impact to environment. Road traffic has negative impact particularly at air quality with gas and solid pollutants. Highest air pollution from road traffic impact is especially in downtowns, where is maximum concentration of public road system.

Traffic, mostly air and car traffic is the biggest producer of NO<sub>x</sub> (51%) in present. This is the main reason for finding solutions to reduce the amount of NO<sub>x</sub> emissions in traffic.

**Key words:** cold emissions, hot emissions, MEET, nitrogen oxides



## 1 ÚVOD

Cestná doprava sa podieľa celosvetovo až 51 % na emisiách oxidov dusíka. V rámci Európskej únie je tento podiel až 67 %. Z týchto čísel je zrejмый ich environmentálny význam spojený s ich zvýšeným emitovaním do ovzdušia. Tento význam ešte viac narastá s lokalizáciou do uzlov s najväčšou hustotou cestnej dopravy, t.j. v mestách.

Cieľom tohto príspevku je vyčíslenie množstva produkovaných emisií NO<sub>x</sub> osobnými automobilmi spaľujúce LPG ako primárne palivo, množstvo emisií NO<sub>x</sub> emitované osobnými automobilmi používajúcimi ako palivo štandardné uhlíkovodíkové ropné palivo (benzín) a súčasne na vybranej modelovej skupine osobných benzínových automobilov s použitím LPG ako alternatívneho paliva.

### CHARAKTERISTIKA NO<sub>x</sub>

Ku vzniku oxidov dusíka dochádza vždy pri zohriatí vzduchu, ktoré nastáva pri spaľovaní palív. Množstvo oxidov dusíka závisí na teplote procesu, čím je teplota vyššia, tým je ich produkcia vyššia. V motorových vozidlách dochádza k tvorbe oxidov dusíka v dôsledku vysokého tlaku a teploty v spaľovacom motore, pri ktorej reaguje dusík s kyslíkom. Viac ako 90 % oxidov dusíka je emitovaných vo forme oxidu dusného (NO). Vo vzduchu sa však tento plyn rýchlo mení na oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>). NO<sub>2</sub> sa mení na kyselinu dusičnú, ktorá sa spája so vzdušnou vlhkosťou a vedie ku vzniku kyslých dažďov. Emisie N<sub>2</sub>O ničia ozónovú vrstvu a predstavujú tiež tzv. skleníkový plyn spôsobujúci klimatické zmeny.

### METODIKA VÝPOČTU EMISIÍ NO<sub>x</sub>

Na výpočet, resp. odhad emisií oxidov dusíka z cestnej dopravy v meste Košice bola použitá metodika MEET. Táto metodika bola vyvinutá empiricky

## 1 INTRODUCTION

Worldwide, the road traffic participates on nitrogen oxides emissions by up to 51%. This proportion increases up to 67 % within the EU. These figures show an obvious environmental influence of these emissions in relation to their growing volume emitted into the atmosphere. Their influence increases even more with the concentration of road traffic into downtown areas with the highest traffic density.

The objective of this report is to quantify the volume of NO<sub>x</sub> emissions produced by passenger cars combusting LPG as primary fuel, the volume of NO<sub>x</sub> emissions produced by passenger cars combusting standard hydrocarbon oil fuel (gas) and NO<sub>x</sub> emissions produced by a selected model group of passenger cars combusting LPG as alternative fuel.

### NO<sub>x</sub> CHARACTERISTICS

Nitrogen oxides accrue always when air is heated, which is a result of fuel combustion. The volume of nitrogen oxides depends on process temperature. With increasing temperature increases also the volume of emissions produced. Motor vehicles produce nitrogen oxides as a consequence of high pressure and temperature in the combustion engine, when nitrogen and oxygen react together. More than 90% of nitrogen oxides are emitted in form of nitric oxide (NO). However, NO rapidly changes in the atmosphere into nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>). NO<sub>2</sub> changes into nitric acid and combined with air humidity gives rise to the formation of acid rains. N<sub>2</sub>O emissions deplete the ozone layer and are one of the gases known as greenhouse gases causing climatic changes.

### NO<sub>x</sub> EMISSIONS CALCULATION METHODOLOGY

For the calculation, or rather estimation, of



s použitím údajov z mnohých európskych testovacích programov [1], [3].

Metodika odhaduje emisie na základe všeobecného vzťahu

$$E = e.a \quad (1)$$

Kde:

- $E$  je množstvo danej emisie,
- $e$  je miera emisie na jednotku aktivity,
- $a$  je objem dopravnej aktivity.

Táto rovnica je platná pre emisie na všetkých úrovniach, od jednotlivého motora po celý vozový park a od jednotlivej cesty po celú cestnú sieť v Európe.

Pre odhad množstva emisií bol navrhnutý vzťah:

$$E = E_{hot} + E_{start} + E_{evaporative} \quad (2)$$

Kde:

- $E$  je celková emisia,
- $E_{hot}$  je emisia produkovaná, ak je motor zohriaty,
- $E_{start}$  je emisia, ak je motor studený,
- $E_{evap}$  je emisia v dôsledku vyparovania (iba pri prchavých organických zlúčeninách).

#### METODIKA VÝPOČTU ZVÝŠENÝCH EMISIÍ VZNIKAJÚCICH PRI ŠTARTE ZA STUDENA

Metóda navrhovaná v projekte MEET pre odhad emisií vznikajúcich pri štarte za studena bola vyvinutá empiricky s použitím údajov zhromaždených z mnohých európskych testovacích programov.

V rámci projektu boli zozbierané a analyzované údaje dôležité pre meranie emisií so studeným motorom a s horúcim motorom na tom istom vozidle a za tých istých testovacích podmienok. Osobný automobil bol jediným typom vozidla, pre ktoré bolo k dispozícii dostatočné množstvo údajov. Táto kategória bola

volume of nitrogen oxides emissions produced by road transportation in Košice, the MEET methodology was used. This methodology was empirically developed with usage of data from many european testing programs [1], [3].

MEET methodology estimates emissions upon an universal formula:

$$E = e.a \quad (1)$$

Where:

- $E$  is the amount of emission,
- $e$  is the emission rate per unit of activity,
- $a$  is the amount of transport activity.

The equation is valid for emissions on all levels - for a single engine as well as the entire fleet, for a single road as well as the entire road network in Europe.

For the estimation of the volume of emissions the following formula has been designed

$$E = E_{hot} + E_{start} + E_{evaporative} \quad (2)$$

Where:

- $E$  is the total emission,
- $E_{hot}$  is the emission produced when the engine is hot,
- $E_{start}$  is emission produced when the engine is cold,
- $E_{evap}$  is the emission by evaporation (only for VOC).

#### METHODOLOGY FOR CALCULATION OF EXCESSED COLD-START EMISSIONS

Methodology designed in the MEET project, used to estimate the volume of emissions produced during a cold engine start, was empirically developed with usage of data from many european testing programs.

Within this project, data important for emissions calculation was gathered and analysed for cold as well as heated up



d'alej rozdelená na dieselové a benzínové automobily, pri ktorých boli sledované automobily s katalyzátorom a bez katalyzátora.

Podľa metodiky MEET sa referenčná hodnota zvýšených emisií pre každý typ škodliviny a vozidla definuje ako hodnota zodpovedajúca štartovacej teplote 20 °C a priemernej rýchlosti 20 km.h<sup>-1</sup>. Táto referenčná hodnota sa opraví pre skutočnú štartovaciu teplotu a priemernú rýchlosť a pre najazdenú vzdialenosť (niektoré jazdy sú kratšie ako vzdialenosť nutná k plnému zohriatiu motora a pri týchto jazdách nedôjde k produkcii celkového množstva zvýšených emisií) pomocou funkcie odvodennej v rámci projektu na základe rozborov z vyššie uvedených dát [1], [3], [4].

Vzorec pre výpočet zvýšených emisií je funkcia priemernej rýchlosti, teplota okolia a najazdená vzdialenosť v nasledujúcom tvare:

$$E_{start} = \omega \cdot [f(V) + g(t) - 1] \cdot h(d) \quad (3)$$

Kde:

- f(V)* je funkcia priemernej rýchlosti v km/h počas studenej doby,  
*g(t)* je funkcia teploty v °C (teplota prostredia pre studený štart, štartovacia teplota motora),  
*h(d)* je tzv. oprava zvýšených emisií, vyjadrená ako funkcia najazdenej vzdialenosti,  
 $\omega$  je referenčná hodnota zvýšenej emisie.

#### REFERENČNÁ HODNOTA ZVÝŠENEJ EMISIE

Referenčná hodnota pre zvýšené emisie sa definuje ako množstvo produkované pri priemernej rýchlosti 20 km/h, štartovacej teplote 20 °C a pri dostatočne dlhej jazde, aby mohol motor dosiahnuť stav plného zohriatia.

engines in the same vehicle and under the same circumstances. Personal passenger car was the only vehicle type with a sufficient amount of data. The category of personal passenger cars was subdivided into gas combusting and diesel combusting vehicles. In each one of these sub-groups, both engines with and without a catalyzer were analysed.

According to MEET methodology, the reference value of excessed emissions for each pollutant and vehicle type is defined as the value responding to starting temperature of 20°C and average speed of 20 km.h<sup>-1</sup>. This reference value is adjusted for the actual starting temperature, average speed and driven distance (some driven distances are shorter than the distance necessary for a full engine heat-up and by these distances, the total quantity of excessed emissions is not produced) using a function derived within this project according to the analysis of data as was remarked above. [1], [3], [4].

The formula for calculation of excessed emissions is function of average speed, environment temperature and driven distance in following form

$$E_{start} = \omega \cdot [f(V) + g(t) - 1] \cdot h(d) \quad (3)$$

Where:

- E<sub>start</sub>* for a trip is expressed in g,  
*f(V)* is function of average speed (km/h) during cold period,  
*g(t)* is temperature function (°C) (environment temperature of cold start, starting engine temperature),  
*h(d)* is so-called excessed emissions correction, expressed as driven distance function,  
 $\omega$  is reference value of excessed emission.

#### REFERENCE EXCESS EMISSION

The reference value for the excess emission is defined as the amount produced at an average speed of 20 km/h. with a start temperature of 20°C, and over a trip long enough for the engine to reach its fully warmed-up condition.



**Tab. 1** Referenčná hodnota zvýšenej emisie  $\omega$ **Tab. 1** Reference excess cold-start emission  $\omega$ 

Typ osobných automobilov/ Passenger car type	Referenčná hodnota zvýšenej emisie ( $\omega$ ) pre NO <sub>x</sub> / Reference value of exceeded emission ( $\omega$ ) for NO <sub>x</sub>
Benzínové automobily s katalyzátorom/ Gasoline cars without catalyst	1,77
Benzínové automobily bez katalyzátora/ Diesel cars without catalyst	0,30
Diesellové automobily s katalyzátorom/ Gasoline cars with catalyst	0,03
Diesellové automobily bez katalyzátora/ Diesel cars with catalyst	0,06

## VPLYV PRIEMERNEJ RÝCHLOSTI

Vplyv priemernej rýchlosti pre zvýšené emisie sa v metodológii MEET uvažuje pomocou funkcií  $f(V)$ , ktoré rovnako slúžia k oprave referenčnej hodnoty zvýšených emisií vo vzorci 1, ktorý je upravovaný tak, aby stanovil hodnotu emisií pri rýchlosti 20 km.h<sup>-1</sup>.

**Tab. 2** Funkcia rýchlosti  $f(V)$ **Tab. 2** Speed correction function  $f(V)$ 

Typ osobných automobilov/ Passenger car type	Funkcia rýchlosti ( $f(V)$ ) pre studenú dobu prevádzky/ Speed correction function ( $f(V)$ ) for cold period
Benzínové automobily s katalyzátorom/ Gasoline cars without catalyst	$0,0636.V - 0,2712$
Benzínové automobily bez katalyzátora/ Diesel cars without catalyst	$0,1136.V - 1,2727$
Diesellové automobily s katalyzátorom/ Gasoline cars with catalyst	$- 0,0227.V + 1,4545$
Diesellové automobily bez katalyzátora/ Diesel cars with catalyst	$- 0,0227.V + 1,4545$

## VPLYV TEPLoty OKOLIA

Zvýšené emisie majú všeobecne rastúcu tendenciu znižovaním štartovacej teploty. Funkcie, ktoré vyjadrujú zvýšené emisie s prihliadnutým k štartovacej teplote, boli vytvorené pomocou lineárneho modelu a upravené tak, aby pre štartovaciu teplotu 20 °C bola výsledná hodnota rovná 1.

## EFFECT OF AVERAGE SPEED

Specific functions are used in MEET to take into account the effect of average speed on the excess emissions  $f(V)$  and to correct the reference excess emissions in the above general formula; they are normalised in order to give a value of one at 20 km/h.

## EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE

In general the excess emissions tend to increase as the start temperature is reduced. The functions, expressing the excess emission in terms of the start temperature, were determined using a linear model and were normalised to give a value of 1 for a start temperature of 20°C.



**Tab. 3** Funkcia teploty okolia g(T)**Tab. 3** Temperature correction function g(T)

Typ osobných automobilov/ Passenger car type	Funkcia teploty okolia pre studený štart g(T) pre NO <sub>x</sub> / Environment temperature function for cold start g(T) for NO <sub>x</sub>
Benzínové automobily s katalyzátorom/ Gasoline cars without catalyst	1
Benzínové automobily bez katalyzátora/ Diesel cars without catalyst	1
Diesellové automobily s katalyzátorom/ Gasoline cars with catalyst	dc = 0,02.V + 2,83
Diesellové automobily bez katalyzátora/ Diesel cars with catalyst	dc = 0,02.V + 2,83

### VPLYV VZDIALENOSTI

### NAJAZDENEJ

### EFFECT OF DISTANCE TRAVELLED

Emisie z vozidla sa stabilizujú len vtedy, ak je vozidlo úplne zohriate, pred dosiahnutím tejto podmienky musí vozidlo najazdiť určitú vzdialenosť – studená vzdialenosť. Táto vzdialenosť sa mení podľa typu vozidla, spôsobu riadenia vozidla (priemerná rýchlosť), teploty okolia a konkrétnej škodliviny.

Zvýšené emisie sa produkujú v priebehu celej studenej vzdialenosti a pri kratších jazdách nevzniká celkové množstvo zvýšených emisií, ktoré by boli vyprodukované pri dlhšej jazde za rovnakých podmienok.

Opravy zvýšených emisií (h(d) vo všeobecnom vzorci) pre kratšie jazdy ako pre studenú vzdialenosť sú vyjadrené ako funkcie pomeru dĺžky jazdy k studenej vzdialenosti, teda platí

$$h(d) = \frac{(1 - e^{-a\delta})}{(1 - e^{-a})} \quad (4)$$

Kde:

- $\delta$  je pomer vzdialenosti celkovej jazdy a studenej vzdialenosti,  
 $a$  je konštanta.

Vehicle emissions stabilize once the engine is completely heated up. To do so, the vehicle has to outdo a certain distance – cold distance. Cold distance varies according to vehicle type, driving style (average speed), environment temperature and specific harmful pollutant.

Excessed emissions are produced during the entire cold distance period. By shorter distances, the total volume of excessed emissions, which would be produced under the same circumstances but by a longer driven distance, is not produced.

Excessed emissions corrections (h(d) in the general formula) for distances shorter than the cold distance are expressed as functions of proportion of driven distance to cold distance, so then:

$$h(d) = \frac{(1 - e^{-a\delta})}{(1 - e^{-a})} \quad (4)$$

Where:

- $\delta$  is the ratio of the trip distance to the cold distance  
 $a$  is a constant.



**Tab. 4** Koeficienty a pre výpočet faktora korekcie najazdenej vzdialenosti  $h(d)$ **Tab. 4** Coefficients a used to calculate the distance correction factor  $h(d)$ 

Typ osobných automobilov/ Passenger car type	Opravy zvýšených emisií $h(d)$ pre NO <sub>x</sub> – koeficient a/ Exceeded emissions corrections $h(d)$ for NO <sub>x</sub> – coefficient a
Benzínové automobily s katalyzátorom/ Gasoline cars without catalyst	2,3
Benzínové automobily bez katalyzátora/ Diesel cars without catalyst	2,54
Diesellové automobily s katalyzátorom/ Gasoline cars with catalyst	0,89
Diesellové automobily bez katalyzátora/ Diesel cars with catalyst	0,89

## EMISIE ZA HORÚCA

Emisie za horúca sú emisie produkované po tom, keď motor a systém kontroly znečistenia vozidla dosiahli svoju normálnu prevádzkovú teplotu. Pokiaľ je známa emisia na jednotku aktivity a celková aktivita za časový rozsah výpočtu, môžu byť vypočítané pomocou rovnice:

$$E_{hot} = e.m \quad (5)$$

Kde:

$E_{hot}$  je emisia v jednotkách hmotnosti za jednotku času (t/rok),  
 $e$  je faktor emisie za horúca (g/km),  
 $m$  je aktivita, vyjadrená vzdialenosť najazdenou za jednotku času (km/rok).

Aktivitu  $m$  potrebná pre výpočet emisie podľa rovnice 5 sa definuje podľa vzťahu:

$$m = n.l \quad (6)$$

Kde:

$n$  je počet vozidiel v každej definovanej kategórii,  
 $l$  je priemerná vzdialenosť najazdená vozidlami danej kategórie za jednotku času, v km/rok.

Pre použitie uvedenej rovnice je potrebné poznať nasledujúce údaje:

- počet vozidiel pre každú kategóriu vozidiel,
- celkovú ročnú vzdialenosť najazdenú každou kategóriou vozidiel,
- percentuálny podiel tejto vzdialenosti najazdenej na jednotlivých triedach ciest,

## HOT EMISSIONS

Hot emissions are produced after the engine and the control system have reached a normal operative temperature. If an emission per a unit of activity and total activity for the calculation time range are known, hot emissions can be calculated as:

$$E_{hot} = e.m \quad (5)$$

Where:

$E_{hot}$  is the emission, in units of mass per unit of time (t/year),  
 $e$  is the hot emission factor (g/km),  
 $m$  is the activity, in distance travelled per time unit (km/year).

The activity  $m$  (in equation 5) required for the emission calculation according to the above equation is defined as:

$$m = n.l \quad (6)$$

Where:

$n$  number of vehicles in each defined category,  
 $l$  average distance driven by category vehicles per time unit ( km/year).

To be able to use the given equation, following data must be known:

- number of vehicles for each category of vehicles,
- total driven distance by each category of vehicles,
- percentage of driven distance for each road type in comparison to total driven distance,



- priemernú rýchlosť na každom type komunikácie,
- emisný faktor.

## METODIKA VÝPOČTU EMISÍ NO<sub>x</sub> ZA HORÚCA

Výpočet emisií NO<sub>x</sub> za horúca je jednoduchší ako výpočet emisií za studena. Pri tomto výpočte sme sledovali iba rozdelenie automobilov podľa spaľovaného paliva a podľa obsahu motora. Používanie katalyzátora sme pri tomto výpočte neuvažovali.

Samotný výpočet sa uskutočnil podľa vzťahu 3. Použité emisné faktory sú uvedené v tabuľke 3. Ako najazdenú vzdialenosť sme brali do úvahy dĺžku každého sčítacieho úseku.

**Tab. 5** Emisné faktory pre osobné automobily

**Tab. 5** Emission factors for passenger cars

Automobil/ Fuel type	Objem motora/ Cylinder capacity	Emisný faktor [g.km <sup>-1</sup> ]/ Emission factor [g.km <sup>-1</sup> ]
Benzínový/ Gasoline	do 1400 cm <sup>3</sup>	$1,173 + 0,0225.V - 0,00014.V^2$
	od 1400 do 2000 cm <sup>3</sup>	$1,36 + 0,0217.V - 0,00004.V^2$
	nad 2000 cm <sup>3</sup>	$1,5 + 0,03.V + 0,0001.V^2$
Dieselový/ Diesel	do 2000 cm <sup>3</sup>	$0,918 - 0,014.V + 0,000101.V^2$
	nad 2000 cm <sup>3</sup>	$1,331 - 0,018.V + 0,000133.V^2$
LPG	všetky objemy	$0,00004.V^2 - 0,0063.V + 0,5278$

Pri vozidlách s pohonom na LPG pri horúcich emisiách NO<sub>x</sub> nerozlišuje metodika MEET pri výpočte objem spaľovacieho motora osobného automobilu.

## CHARAKTERISTIKA CESTNEJ SIETE

Cestná sieť v rámci mesta Košice pozostáva z ciest I., II., III. triedy a tzv. mestských komunikácií v širšom centre mesta [1], [2].

Sčítanie sa uskutočnilo na týchto cestách:

- I. trieda (cesta č. 50 a č. 68),
- II. trieda (cesta č. 547, 548, 550, 552),
- III. trieda (cesta č. 050168, 050184, 050187, 050191, 050192, 050201),
- mestské komunikácie (cesta č. 90000).

- average speed for each road type,
- emission factor - average speed correlation

## CALCULATION METHODOLOGY FOR HOT NO<sub>x</sub> EMISSIONS

NO<sub>x</sub> emissions calculation is easier for hot emissions than for cold emissions. At this calculation, vehicles were divided into groups according to engine type and consequently according to cylinder capacity. The use of a catalyzer was not considered.

The calculation was performed following formula nr. 5. For the driven distance value the length of each additive sector was considered.

MEET methodology, for the calculation of hot emissions, does not divide LPG combusting engine vehicles into any categories based upon cylinder capacity.

## ROAD NETWORK CHARACTERISTIC

Road network in Košice consists of I., II., III. class roads and so-called urban roads in the city centre. [1], [2].

Census took place on these roads:

- I. class (road no. 50 and no. 68),
- II. class (road no. 547, 548, 550, 552),
- III. class (road no. 050168, 050184, 050187, 050191, 050192, 050201),
- urban roads (road no. 900000).



**Tab. 6** Úseky cestnej siete**Tab. 6** Road traffic segments

Typ cesty/ Road type	Celkový počet úsekov/ Total amount of segments	Počet úsekov zaradených do výpočtu/ Number of segments integrated into calculation
I. trieda/ I. class	31	18
II. trieda/ II. class	30	9
III. trieda/ III. class	36	11
mestské komunikácie/ Urban roads	28	21

## KATEGÓRIE AUTOMOBILOV

## OSOBNÝCH

## PASSENGER CATEGORYIES

## VEHICLES

Pri výpočte emisií z cestnej premávky osobných automobilov v mestskom meradle (mesto Košice) boli použité údaje o zložení cestnej premávky na vybraných úsekoch zo sčítania uskutočneného v roku 2005.

Pre rok 2006 sme predpokladali nárast počtu osobných automobilov o 15% a v roku 2007 o 25 % oproti roku 2005.

Metodika MEET rozlišuje osobné automobily podľa typu paliva a tie následne podľa objemu ich spaľovacieho motora.

Benzínové automobily boli rozdelené do kategórií podľa objemu spaľovacieho motora do skupín [8]:

- do 1400 cm<sup>3</sup> (45 %),
- od 1400 cm<sup>3</sup> do 2000 cm<sup>3</sup> (21 %),
- nad 2000 cm<sup>3</sup> (8 %).

Dieselové automobily boli rozdelené podľa objemu spaľovacieho motora do 2 skupín [8]:

- do 2000 cm<sup>3</sup> (15 %),
- nad 2000 cm<sup>3</sup> (8 %).

Pri automobiloch spaľujúcich LPG metodika MEET nerozlišuje objem motora a podľa priemerných údajov Európskej únie sa predpokladal ich 3%-ný podiel na našom trhu nových a starších automobilov. Podobne sa uvažovalo aj pri ostatných typoch automobilov. Ich podiely na celkovom počte automobilov vychádzajú z posledných údajov podľa správy MEET [8].

## EMISIE NO<sub>x</sub> – BENZÍNOVÉ AUTOMOBILY

Podľa metodiky MEET boli vypočítané aj

In calculation of road traffic emissions from personal passenger cars in the urban area (Košice city) traffic structure data from a year 2005 census was used.

Compared to 2005, a 15% increase in personal passenger cars for 2006 and a 25% increase for 2007 was assumed.

MEET methodology differs passenger cars according to engine fuel type and consequently according to engine cubature.

Gasoline passenger cars are separated into categories according to combustion cylinder capacity [8]:

- up to 1400 cm<sup>3</sup> (45 %),
- 1400 cm<sup>3</sup> - 2000 cm<sup>3</sup> (21 %),
- over 2000 cm<sup>3</sup> (8 %).

Diesel engine automobiles are, according to combustion engine type, separated into 2 groups [8]:

- up to 2000 cm<sup>3</sup> (15 %),
- over 2000 cm<sup>3</sup> (8 %).

MEET methodology does not differ any categories based upon engine cubature for LPG vehicles. According to average European union data, a 3 % share of these vehicles was assumed for Slovak market of new and used cars. A similar assumption was made for the other vehicle types. Their proportion on the total amount of vehicles is based on the latest data by MEET report [8].

## NO<sub>x</sub> EMISSIONS – GASOLINE PASSENGER CARS

Volume of NO<sub>x</sub> emissions was calculated



množstvá emisií NO<sub>x</sub> aj pre osobné automobily s benzínovým pohonom. Pri triede benzínových osobných automobiloch s objemom spaľovacieho motora nad 2000 cm<sup>3</sup> bol uskutočnený výpočet pre palivo benzín a súčasne pre palivo LPG, kde sme v tomto prípade predpokladali, že pri celej modelovej skupine automobilov dôjde ku zmene primárneho paliva (inštalácia splyňovacieho zariadenia).

using MEET methodology also for diesel engine passenger cars. In the class of gasoline passenger cars with engine cubature over 2000 cm<sup>3</sup> the calculation was performed for gas fuel as well as for LPG fuel, where in this case we assumed, that the whole model group of cars will change the primary fuel (instalation of a gasifying equipment).

**Tab. 7** Emisie NO<sub>x</sub> z benzínových osobných automobilov – I. trieda ciest

**Tab. 7** NO<sub>x</sub> emissions from gasoline passenger cars – I. road class

Objem motora [cm <sup>3</sup> ]/ Cylinder capacity [cm <sup>3</sup> ]	Jednotka emisie/ Emission unit	Palivo benzín/ Gasoline			Palivo LPG/ LPG fuel		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Do/ Up to 1400	kg/deň kg/day	81,941	90,135	94,232	x	x	x
	t/rok t/year	29,908	32,899	34,395	x	x	x
od 1400 do 2000	kg/deň kg/day	38,373	42,21	44,128	x	x	x
	t/rok t/year	14,006	15,407	16,107	x	x	x
Nad/ Over 2000	kg/deň kg/day	15,75	17,325	18,113	14,167	15,583	16,292
	t/rok t/year	5,749	6,324	6,611	5,171	5,688	5,947

V tabuľke 7 sú uvedené emisie NO<sub>x</sub> emitované benzínovými osobnými automobilmi na úsekoch ciest I. triedy pre jednotlivé triedy osobných automobilov platné pre rok 2005 a predpokladané pre roky 2006 a 2007 pri východiskových podmienkach platných pre rok 2005.

Table 7 contains NO<sub>x</sub> emissions from gas engine passenger cars on I. class road type for particular passenger cars categories actual for year 2005 and assumed for years 2006 and 2007 by initial conditions of year 2005.

**Tab. 8** Emisie NO<sub>x</sub> z benzínových osobných automobilov – II. trieda ciest

**Tab. 8** NO<sub>x</sub> emissions from gasoline passenger cars – II. road class

Objem motora [cm <sup>3</sup> ]/ Cylinder capacity [cm <sup>3</sup> ]	Jednotka emisie / Emission unit	Palivo benzín/ Gasoline			Palivo LPG/ LPG fuel		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Do/ Up to 1400	kg/deň kg/day	702,729	773,002	808,138	x	x	x
	t/rok t/year	256,496	282,146	294,97	x	x	x
od 1400 do 2000	kg/deň kg/day	328,084	360,892	377,297	x	x	x
	t/rok t/year	119,751	131,726	137,713	x	x	x
Nad/ Over 2000	kg/deň kg/day	125,609	138,17	144,451	125,087	137,596	143,85
	t/rok t/year	45,847	50,432	52,725	45,657	50,223	52,505



V tabuľkách 8, 9, 10 sú zobrazené množstvá emisií NO<sub>x</sub> z osobných automobilov využívajúcimi palivo benzín, resp. LPG v rokoch 2005 až 2007.

Tables 8, 9, 10 show NO<sub>x</sub> emission amounts from gasoline passenger cars and LPG-cars for years 2005 to 2007.

**Tab. 9** Emisie NO<sub>x</sub> z benzínových osobných automobilov – III. trieda ciest

**Tab. 9** NO<sub>x</sub> emissions from gasoline passenger cars – III. road class

Objem motora [cm <sup>3</sup> ]/ Cylinder capacity [cm <sup>3</sup> ]	Jednotka emisie/Emission unit	Palivo benzín/ Gasoline			Palivo LPG/ LPG fuel		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Do/ Up to 1400	kg/deň kg/day	10,464	11,51	12,033	x	x	x
	t/rok t/year	3,819	4,201	4,392	x	x	x
od 1400 do 2000	kg/deň kg/day	4,944	5,438	5,685	x	x	x
	t/rok t/year	1,804	1,985	2,075	x	x	x
Nad/ Over 2000	kg/deň kg/day	2,146	2,361	2,468	1,927	2,119	2,216
	t/rok t/year	0,783	0,862	0,901	0,703	0,774	0,809

Z údajov uvedených v tabuľkách 7 až 10 je zrejmé, že najviac emisií NO<sub>x</sub> emitujú osobné benzínové automobily na úsekoch ciest II. triedy, čo je priamo úmerné hustote premávky na vybraných úsekoch.

From data in tables 7 to 10 it is obvious, that the most NO<sub>x</sub> emissions are emitted by gas engine personal passenger cars on II. class roads, which is directly proportional to traffic density on this type of road.

**Tab. 10** Emisie NO<sub>x</sub> z benzínových osobných automobilov – mestské komunikácie

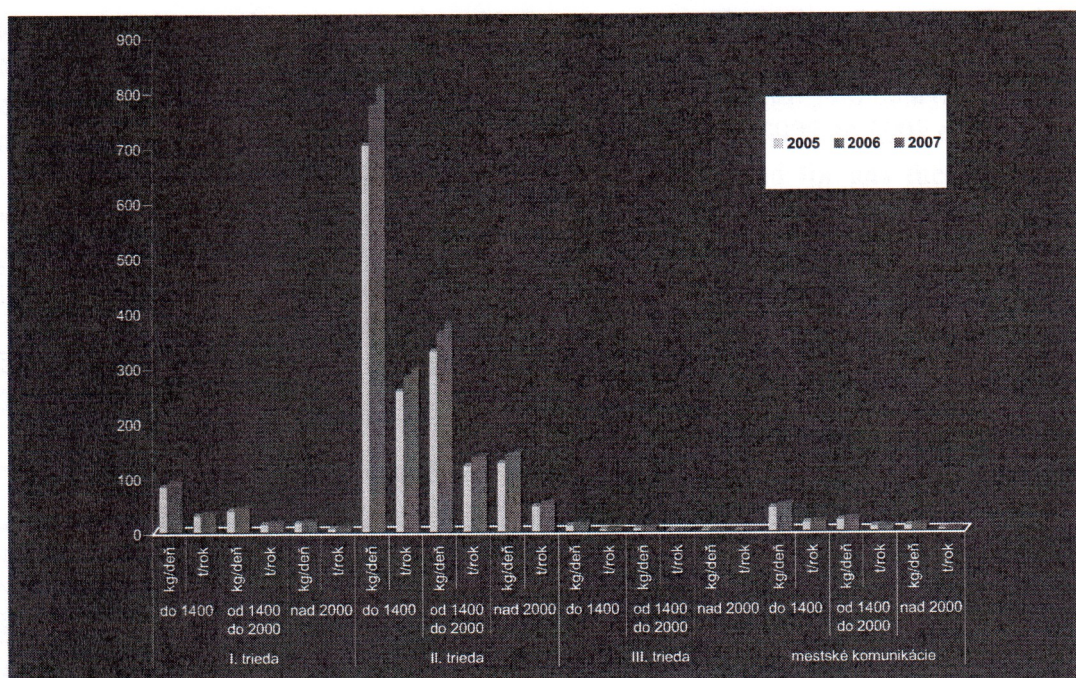
**Tab. 10** NO<sub>x</sub> emissions from gasoline passenger cars – city roads

Objem motora [cm <sup>3</sup> ]/ Cylinder capacity [cm <sup>3</sup> ]	Jednotka emisie/ Emission unit	Palivo benzín/ Gasoline			Palivo LPG/ LPG fuel		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Do/ Up to 1400	kg/deň kg/day	42,3	46,53	48,646	x	x	x
	t/rok	15,44	16,984	17,756	x	x	x
od 1400 do 2000	kg/deň kg/day	19,635	21,598	22,58	x	x	x
	t/rok	7,167	7,883	8,242	x	x	x
Nad/ Over 2000	kg/deň kg/day t/year	9,091	9,999	10,454	7,833	8,617	9,008
	t/rok t/year	3,318	3,65	3,816	2,859	3,145	3,288

Najnižšie množstvá sú emitované benzínovými osobnými automobilmi na cestách v blízkosti centra mesta Košice na tzv. mestských cestných komunikáciách a na úsekoch ciest III. triedy.

The lowest amounts are emitted by gas engine personal passenger cars on roads close to the city centre of Košice, on so-called urban roads, and on III. class roads.



Graf 1 Emisie NO<sub>x</sub> – benzínové automobilyGraph 1 NO<sub>x</sub> emission – gasoline cars

### EMISIE NO<sub>x</sub> – DIESELOVÉ AUTOMOBILY

Za rešpektovania metodiky MEET bol uskutočnený výpočet emisií NO<sub>x</sub> z dieselových osobných automobilov pre rok 2005 až 2007 za už spomínaných predpokladov.

### NO<sub>x</sub> EMISSIONS – DIESEL ENGINE AUTOMOBILES

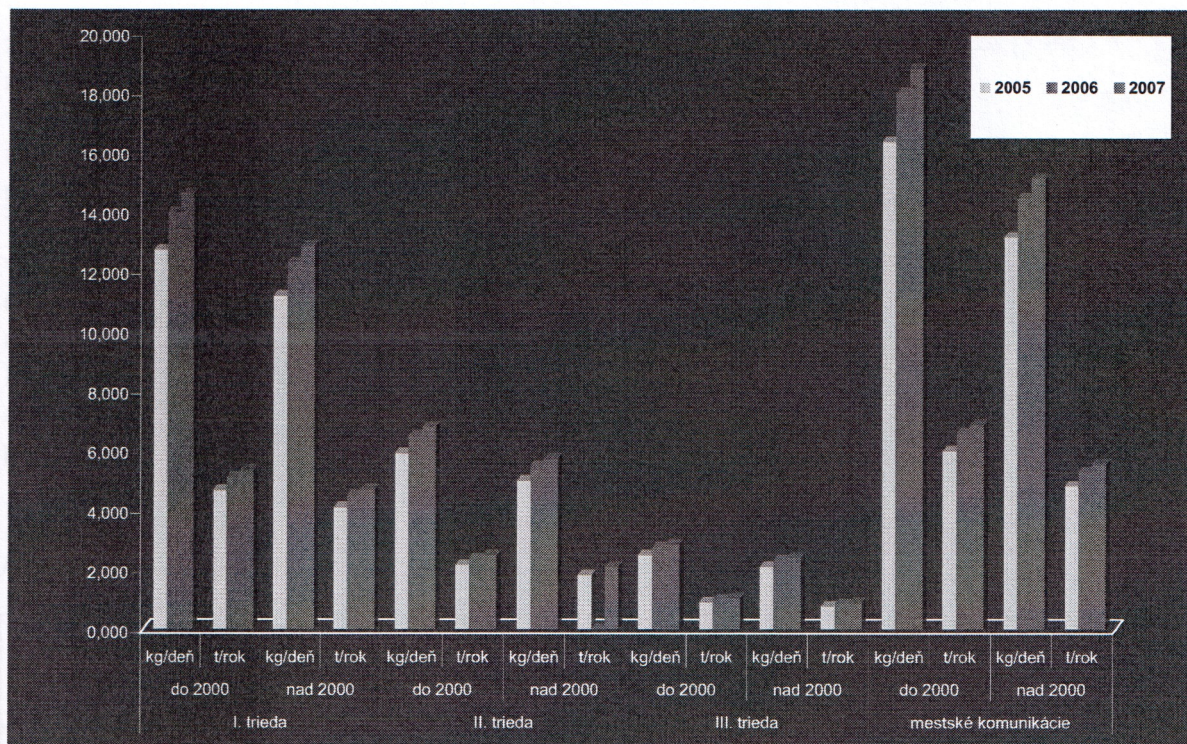
Respecting MEET methodology, NO<sub>x</sub> emissions from diesel engine personal passenger cars were calculated for years 2005 to 2007, providing assumptions mentioned earlier.

Tab. 11 Emisie NO<sub>x</sub> z dieselových osobných automobilovTab. 11 NO<sub>x</sub> emissions from diesel passenger cars

Typ cesty/ Road type	Objem motora [cm <sup>3</sup> ]/ Cylinder capacity	Jednotka emisie/ Emission unit	Palivo diesel/ Diesel fuel			
			2005	2006	2007	
I. trieda I. class	Do/ Up to 2000	kg/deň kg/day	12,705	13,976	14,611	
		t/rok t/year	4,637	5,101	5,333	
	Nad/ Over 2000	kg/deň kg/day	11,165	12,281	12,839	
		t/rok t/year	4,075	4,483	4,686	
	II. trieda II. class	Do/ Up to 2000	kg/deň kg/day	5,887	6,476	6,771
			t/rok t/year	2,149	2,364	2,471
Nad/ Over 2000		kg/deň kg/day	4,965	5,462	5,710	
		t/rok t/year	1,812	1,994	2,084	
III. trieda III. class		Do/ Up to 2000	kg/deň kg/day	2,478	2,735	2,849
			t/rok t/year	0,904	0,995	1,04



	Nad/ Over 2000	kg/deň kg/day	2,09	2,299	2,403
		t/rok t/year	0,763	0,839	0,877
mestské komunikácie urban roads	Do/ Up to 2000	kg/deň kg/day	16,352	17,987	18,805
		t/rok t/year	5,968	6,565	6,864
	Nad/ Over 2000	kg/deň kg/day	13,140	14,454	15,111
		t/rok t/year	4,796	5,276	5,516



**Graf 2 Emisie NO<sub>x</sub> – dieselové automobily**  
**Graph 2 NO<sub>x</sub> emission – diesel cars**

### EMISIE NO<sub>x</sub> – LPG AUTOMOBILY

Osobné automobily, ktoré používajú na pohon palivo LPG predstavujú 3 %-ný podiel na celkovom počte osobných automobilov. Ako už bolo spomínané v predošlých kapitolách, v prípade automobilov s LPG pohonom pri vyčíslení emisií sme nerozlišovali typy osobných automobilov vytvorené podľa objemu spaľovacieho motora.

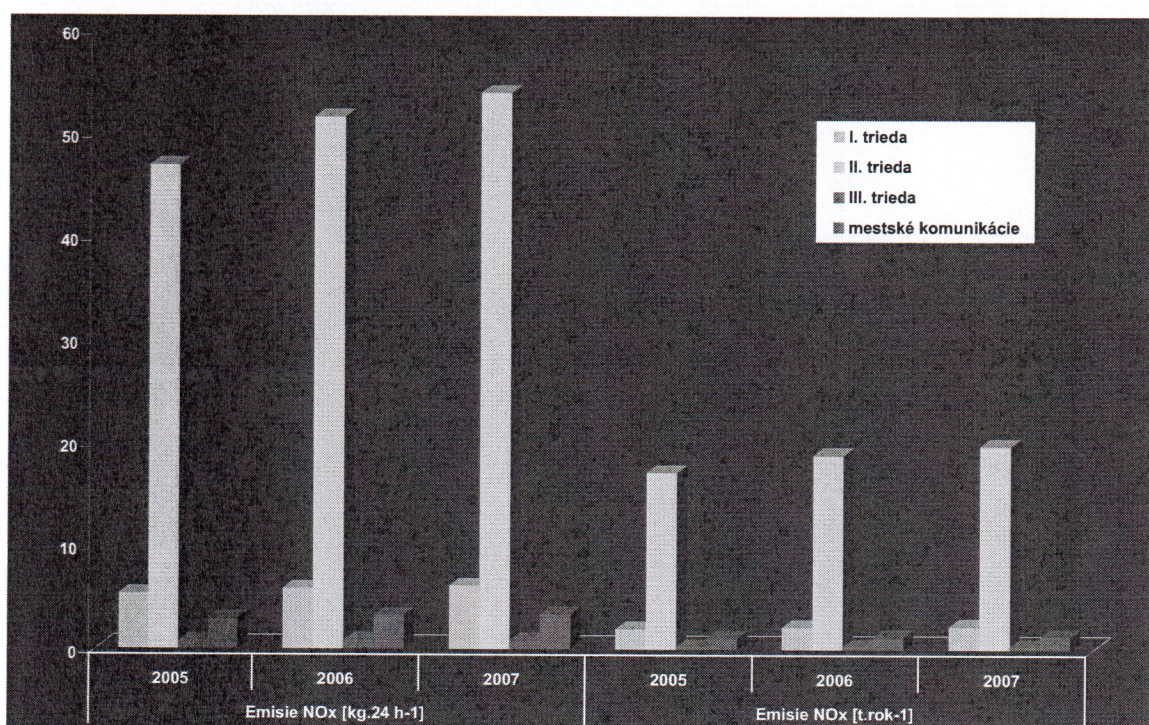
### NO<sub>x</sub> EMISSIONS–LPG ENGINE VEHICLES

Passenger cars that use LPG fuel represent an estimated 3% share of the total amount of personal passenger vehicles. As already mentioned in previous chapters, no types of vehicles were separated for the calculation of emissions volume in the case of vehicles with LPG engines.



**Tab. 12** Emisie NO<sub>x</sub>**Tab. 12** NO<sub>x</sub> emissions

Typ cesty	Emisie NO <sub>x</sub> [kg.24 h <sup>-1</sup> ]			Emisie NO <sub>x</sub> [t.rok <sup>-1</sup> ]		
	2005	2006	2007	2005	2006	2007
I. trieda	5,313	5,844	6,109	1,939	2,133	2,23
II. trieda	46,908	51,599	53,944	17,121	18,833	19,69
III. trieda	0,722	0,795	0,831	0,264	0,29	0,303
mestské komunikácie	2,937	3,231	3,378	1,072	1,179	1,233

**Graf 3** Emisie NO<sub>x</sub> – LPG automobily**Graph 3** NO<sub>x</sub> emission – LPG cars

V tabuľke 12 sú uvedené množstvá emisií NO<sub>x</sub> na vybraných úsekoch emitované počas 1 dňa a súčasne celkovo v danom kalendárnom roku.

Z údajov uvedených v tabuľke 12 a zobrazených v grafe 3 je zrejmé, že najvyšší počet osobných automobilov sa nachádza na úsekoch ciest II. triedy.

### EMISIE NO<sub>x</sub> – LPG AKO ALTERNATÍVNE PALIVO

V tabuľke 13 sú uvedené hodnoty emisií NO<sub>x</sub> vypočítaných ako príspevok osobných automobilov s objemom motora nad 2000 cm<sup>3</sup> počas 24 hod, resp. 1 rok na vybraných úsekoch ciest a mestských komunikácií.

Table 12 shows volume of NO<sub>x</sub> emissions on selected road segments emitted during 1 day along with overall emissions emitted in given calendar year.

According to data in Table 12 and Chart 3, most of vehicles use II. Class roads.

### NO<sub>x</sub> EMISSIONS – LPG AS ALTERNATIVE FUEL

Table 13 contains NO<sub>x</sub> emissions calculated as a contribution of personal passenger cars with engine cubature over 2000 cm<sup>3</sup> during 24 hours and during 1 year on selected segments of road types and urban roads.



V prípade výpočtu emisií NO<sub>x</sub> pri použití paliva LPG sme uvažovali, že LPG-zariadenie sa použije v automobiloch s najväčším objemom spaľovacieho motora a s tým aj súvisiacou najvyššou spotrebou paliva. Tieto faktory vytvárajú predpoklady, že táto cieľová skupina osobných automobilov emituje najväčšie množstvo emisií znečisťujúcich látok vrátane emisií NO<sub>x</sub>. Práve do týchto vozidiel sa v praxi inštaluje najviac LPG-zariadení. Z údajov o sčítaní automobilov na vybraných úsekoch uskutočnených v roku 2005 a štatistických údajov bol určený ich 8 %-ný podiel na celkovom počte osobných automobilov.

V tomto výpočte sme uvažovali, že celá vybraná skupina osobných automobilov (osobné benzínové automobily s objemom motora nad 2000 cm<sup>3</sup>) používa ako palivo LPG a výsledky boli porovnané s tou istou cieľovou skupinou osobných automobilov pri používaní paliva benzín.

In the case of NO<sub>x</sub> emissions calculation by using LPG fuel we considered, that the LPG equipment is used in cars with the largest engine cubature and associated highest fuel consumption. These factors create conditions for the whole target group of passenger cars to produce the highest amount of emissions of pollutive substances, including NO<sub>x</sub> emissions. Practically, most of LPG equipments are installed into this category of passenger cars. According to data from automobile census on selected road types in year 2005 and statistical data, an 8% share on total cars was stated for LPG engine cars.

In this calculation we considered, that the whole category of personal passenger cars (gas engine cars over 2000 cm<sup>3</sup>) uses LPG fuel and the results were compared to the same target group of personal passenger cars using only gas fuel.

**Tab. 13** Emisie NO<sub>x</sub> z benzínových automobilov s objemom motora nad 2000 cm<sup>3</sup> na jednotlivých triedach ciest

**Tab. 13** NO<sub>x</sub> emissions from gasoline cars with at each road type

Typ cesty/ Road type	Emisie NO <sub>x</sub> [t.rok <sup>-1</sup> ] - palivo benzín/ NO <sub>x</sub> emissions [t.year <sup>-1</sup> ] – gasoline			Emisie NO <sub>x</sub> [t.rok <sup>-1</sup> ] - palivo LPG/ NO <sub>x</sub> emissions [t.year <sup>-1</sup> ] – LPG fuel			Zníženie emisií [%]/ Emissions decrease[%]
	2005	2006	2007	2005	2006	2007	
I. trieda/ I. class	5,749	6,324	6,611	5,171	5,688	5,947	10,05
II. trieda/ II. class	45,847	50,432	52,725	45,657	50,223	52,505	0,41
III. trieda/ III. class	0,783	0,862	0,901	0,703	0,774	0,809	10,22
mestské komunikácie/ Urban roads	3,318	3,65	3,816	2,859	3,145	3,288	13,83
Spolu/ Together	55,697	61,268	64,053	54,39	59,83	62,549	2,35

Z číselných hodnôt v tabuľke 1 je zrejmé, že v prípade všetkých typov a úsekov sledovaných ciest by došlo k zníženiu množstva emisií NO<sub>x</sub>. Aj keď sledovaná skupina osobných automobilov má len 8 %-né zastúpenie na celkovom zložení automobilového parku zníženie množstva emisií NO<sub>x</sub> na vybraných úsekoch sa pohybuje od v rozpätí od 0,41 % do 13,83 %. Túto variabilitu percentuálnej úspory emisií NO<sub>x</sub> spôsobujú podiely benzínových osobných automobilov s objemom motora nad 2000 cm<sup>3</sup> na celkovom počte ostatných

Out of number figures in Table 13 it is obvious, that in case of all types and segments of monitored roads it would lead to a decrease in NO<sub>x</sub> emissions. Even though the selected group of passenger cars represents only 8% of the total market of cars, reduction in NO<sub>x</sub> emissions on selected road segments would be in range from 0,41 % do 13,83 %. This variability in percentage saving of NO<sub>x</sub> emissions is caused by the share of gas engine passenger cars with engine cubature over 2000 cm<sup>3</sup> on the total number of other



automobilov na vybraných úsekoch mesta Košice.

## ZÁVER

Zvyšovaním sa počtu nových automobilov, resp. celkového počtu automobilov za súčasného zvyšovania sa intenzity cestnej premávky sa vytvárajú všetky predpoklady, že sa cestná doprava stáva najvýznamnejším zdrojom mnohých znečisťujúcich látok (NO<sub>x</sub>) ako aj skleníkových plynov (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O). Aj keď sa v súčasnosti oxidom dusíka nepríkladá taký význam ako emisiám oxidu uhličitého, vyčíslenie ich množstva z jednotlivých zdrojov je podstatné. Cestná doprava patrí k najväčším zdrojom oxidov dusíka. Problémom cestnej dopravy v spojitosti s kvalitou ovzdušia je neúmerne zvyšovanie sa emisií spomínaných oxidov. Pri výpočte nie je podstatné rozdelenie osobných automobilov do jednotlivých tried podľa používaného typu paliva, alebo podľa objemu spaľovacieho motora čo ukázali výpočty množstva emisií z jednotlivých typov osobných automobilov. Osobné, benzínové a automobily s LPG pohonom produkujú porovnateľné množstvá emisií NO<sub>x</sub>. Podstatné je v tomto prípade určiť, resp. odhadnúť celkové počty osobných automobilov na jednotlivých úsekoch a súčasne odhadnúť ich celkovú dennú (ročnú) aktivitu. Ostatné faktory akými sú vplyv teploty, najazdených kilometrov, sklon cesty, priemerná spotreba sú zahrnuté v matematických vzťahoch, ktoré využíva metodika MEET.

Pri výpočte sa ukázalo, že využívanie LPG ako alternatívneho paliva najmä pri skupine osobných automobilov s objemom spaľovacieho motora nad 2000 cm<sup>3</sup> (najvyššia priemerná spotreba paliva – najvyššia emisia NO<sub>x</sub> v porovnaní s ostatnými benzínovými automobilmi) by v danom prípade prinieslo zníženie celkového množstva emisií NO<sub>x</sub> v porovnaní s používaním štandardného benzínového paliva od 0,41 až 13,83 %.

passenger vehicles on selected road segments of Košice city.

## CONCLUSION

Increasing amount of cars and simultaneous increase in traffic activity together create conditions for a significant role of passenger cars as harmful pollutants (NO<sub>x</sub>) and greenhouse gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) producer. Even though the present focus shifts from emissions of nitrogen oxides to carbon dioxide, quantification of nitrogen oxides emissions from various sources is still important. Road traffic belongs to one of the greatest sources of nitrogen oxides. The problem of road traffic in connection to atmosphere quality is the unproportional increase in emissions of previously named oxides. Dividing vehicles into groups according to fuel type or cubature of combustion engine is not of significant importance for calculations. This fact is based on emissions volume calculations for different types of personal passenger vehicles. Personal gas fuel cars and LPG fuel passenger cars produce a similar amount of NO<sub>x</sub> emissions. In this case it is substantial to define, or to estimate, the total number of personal passenger cars on particular road segments and at the same time estimate the total daily (yearly) activity. Other factors, such as temperature impact, driven kilometers, road slope or average consumption, are included in mathematical formulas used in MEET methodology.

The calculation shows, that the usage of LPG as alternative fuel, especially in group of personal cars with combustion engine with engine cubature over 2000 cm<sup>3</sup> (highest average fuel consumption and highest NO<sub>x</sub> emissions in comparison with other gas engines), could in this case lead to a decrease in total volume of NO<sub>x</sub> emissions in comparison with a standard gas engine by 0,41 – 13,83%. Especially the second value (13,83%) represents a relevant decrease in emissions. And that leads to a conclusion, that LPG in this



Najmä druhá hodnota predstavuje podstatné zníženie emisií, na základe čoho môžeme tvrdiť, že LPG je v danom prípade vhodná forma zníženia produkcie emisií NO<sub>x</sub> v cestnej doprave.

specific case is a suitable form of decreasing NO<sub>x</sub> emissions in road transportation.

#### Literatúra / References

- [1] CARACH, V., MAČALA, J.: Modelovanie znečistenia ovzdušia z cestnej dopravy v mestskom meradle. In: Ochrana ovzdušia 2006 : Medzinárodná konferencia, 6. - 8. november 2006, Vysoké Tatry - Štrbské Pleso, Slovak Republic. Bratislava : Kongres management s.r.o., 2006. s. 57-62. ISBN 80-89275-01-X
- [2] SSC – Slovenská správa ciest, Celoštátne sčítanie dopravy v roku 2005, Záverečná správa. Bratislava 2006.
- [3] EMEP/CORINAIR – Atmospheric Emission Inventory Guidebook, draft first and second edition European Environment Agency, Copenhagen, Denmark 2003.
- [4] Freedom Car & vehicle technologies program, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. U. S. Department of Energy, 2003.
- [5] European Commission – Climate change document, first edition, Luxemburg, ISBN 92-79-01913-9, 20 str.

*Recenzia/Review: prof. Ing. Daniela Marasová, CSc*