

# Svet Dopravy

## 02/2018



[www.svetdopravy.sk](http://www.svetdopravy.sk)

## Redakčná rada

### slovenská:

- prof. Ing. Alica Kalašová, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- prof. Ing. Jozef Gnap, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- prof. Ing. Jozef Majerčák, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- doc. Ing. Miloš Poliak, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- doc. Ing. Vladimír Konečný, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- Dr. h. c. prof. Ing. Tatiana Čorejová, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- Mgr. Ján Popadák, MOTION RECORD INTELLIGENCE, s.r.o

### zahraničná:

- doc. Dr. Ing. Jerzy Mikulski Silesian University of Technology, fakulty of transport, Poland
- Dr. Ing. Marek Jaškiewicz, Kielce University of Technology
- prof. Ing. Dr. Mirek Svitek, Intelligent Transport systems&Services, Sdružení pro dopravní telematiku – ITS&S Czech Republic
- Prof. dr hab. Elzbieta Zaloga, Faculty for Management and Services Economics, Szczecin University. Poland
- Ing. Roman Srp, Intelligent Transport systems&Services Sdružení pro dopravní telematiku – ITS&S. Czech Republic
- doc. Ing. Pavel Hruběš, PhD. České vysoké učení technické, fakulta dopravní, Praha,
- Ing. Zuzana Bělinová, PhD. České vysoké učení technické, fakulta dopravní, Praha

## výkonný redaktor

- Ing. Ľubomír Černický, PhD.

## Vydavateľ

**Asociácia Poskytovateľov Monitorovacích Satelitných Technológií a Inteligentných  
Dopravných systémov ASATECH**



## Obsah

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| VPLYV ČISTOTY FILTRA VZDUCHU NA ZMENU OTÁČKOVEJ CHARAKTERISTIKY VOZIDLA.....                                     | 4  |
| ZEMĚDĚLSKÝ TRAKTOR S ROZDÍLNÝMI PŘEVODOVKAMI – SPOTŘEBA PALIVA<br>A PŘEPRAVNÍ VÝKONNOST V SILNIČNÍ DOPRAVĚ ..... | 15 |
| DLHODOBÉ CIELE EÚ A VYBRANÉ ASPEKTY VPLYVU DOPRAVY NA KVALITU OVZDUŠIA .....                                     | 23 |
| KONCEPCIA TRVALO UDRŽATEĽNEJ ŽELEZNIČNEJ DOPRAVY A INFRAŠTRUKTÚRY .....                                          | 34 |
| JAZDNÉ ODPORY A SPOTREBA PALIVA.....                                                                             | 42 |

# VPLYV ČISTOTY FILTRA VZDUCHU NA ZMENU OTÁČKOVEJ CHARAKTERISTIKY VOZIDLA

## Autori:

František SYNÁK<sup>1</sup>, Ján SYNÁK<sup>2</sup>, Vladimír RIEVAJ<sup>3</sup>, Janka FUNTÍKOVÁ<sup>4</sup>, Ján PALÚCH<sup>5</sup>,

## Tituly a pôsobisko autorov:

<sup>1</sup>Ing. František Synák, Žilinská univerzita v Žiline, FPEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 1, Žilina, 010 26, Slovenská republika, E-mail: frantisek.synak@fpedas.uniza.sk

<sup>2</sup>Ján Synák, Žilinská univerzita v Žiline, FPEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 1, Žilina, 010 26, Slovenská republika, E-mail: synakjan2@gmail.com

<sup>3</sup>doc.Ing. Vladimír Rievaj, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, FPEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 1, Žilina, 010 26, Slovenská republika, E-mail: vladimir.rievaj@fpedas.uniza.sk

<sup>4</sup>Ing. Janka Funtíková, SOŠ sv. Jozefa Robotníka, Saleziánska 18, Žilina, 010 01, Slovenská republika

<sup>5</sup>Ing. Ján Palúch, Žilinská univerzita v Žiline, FPEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 1, Žilina, 010 26, Slovenská republika, E-mail: jan.paluch@fpedas.uniza.sk

**Abstrakt:** Článok obsahuje výsledky meraní priebehu kriviek výkonu a točivého momentu motora štyroch vozidiel meraných so zanesenými a následne s čistými filtermi vzduchu. Merania boli vykonané s dvomi vozidlami so vznietovými motormi a s dvomi vozidlami so zážihovými motormi. Výsledky sú uvedené vo forme grafov. Článok obsahuje i teoretický výpočet vplyvu zanesenia filtra vzduchu na maximálne možné zrýchlenie vozidla.

**Kľúčové slová:** filter vzduchu, valcová skúšobňa výkonu, výkon motora, točivý moment motora,

**JEL:** R41

## IMPACT OF AIR FILTER CLEANNES ON A CHANGE OF ENGINE SPEED CHARACTERISTICS

**Abstract:** The article contains the measurement results of the engine power and torque's curve traces of four vehicles measured with both clogged and clean air filters. The measurements were performed with two CI engine vehicles and two SI engine vehicles. The results are displayed in the graphs. The article also includes a theoretical calculation of how does the clogged air filter affect the maximum possible acceleration reached by a vehicle.)

**Keywords:** air filter, dynamometer, engine power, engine torque,

## 1 Úvod

K činnosti spaľovacieho motora je potrebný neustály prísun vzduchu. Nasávaný vzduch obsahuje prachové častice a iné nečistoty, ktoré by mohli spôsobiť predčasné opotrebovanie motora a znečistenie snímačov nachádzajúcich sa v sacom potrubí motora. Z uvedeného dôvodu je vzduch potrebný k horeniu

dopravovaný do valcov motora cez filter vzduchu. Úlohou filtra vzduchu je zachytiť v čo najväčšej miere nežiaduce nečistoty, a to pri čo najmenších stratách počas prúdenia vzduchu. Nežiaduce častice z nasávaného vzduchu ostávajú zachytené na filtri vzduchu, čím dochádza k jeho postupnému zaneseniu a zanesený filter tak tvorí väčšiu mechanickú prekážku prúdiacemu vzduchu, ako filter nezanesený. Zanesený filter teda vytvára predpoklady k tomu, aby bolo do valca dopravené menšie množstvo vzduchu [1]. Z pohľadu problematiky efektivity využívania paliva, tvorby plynných emisií, rovnomernosti chodu motora, tepelného namáhania jednotlivých častí motora a dymivosti motora je dôležitá hodnota súčiniteľa prebytku vzduchu  $\lambda$ . Súčiniteľ prebytku vzduchu  $\lambda$  je bezrozmerné číslo, udávajúce pomer medzi skutočným množstvom vzduchu v zápalnej zmesi a teoretickým množstvom vzduchu v zápalnej zmesi potrebného pre dokonalé spálenie paliva. Pomer medzi množstvom vzduchu a paliva v zmesi je hmotnostný. V prípade zážihového motora je potrebné dodať k dokonalému spáleniu 1 kg benzínu 14,7 kg vzduchu [2].

Výkon vznetového motora je regulovaný kvalitatívne, čiže zložením zmesi. To znamená, že výkon je regulovaný množstvom vstreknutého paliva do takmer konštantného objemu vzduchu, keďže vznetový motor nereguluje množstvo nasávaného vzduchu škrtiacou klapkou. Regulácia množstva privedeného vzduchu do motora je možná otváraním obtokového kanálu turbodúchadla, ak je ním motor vybavený, a tiež otváraním ventilu EGR. Pozornosť bohatosti zmesi je v prípade vznetového motora venovaná najmä z dôvodu jej vplyvu na zloženie emisií výfukových plynov. Vozidlá so vznetovým motorom, podobne ako vozidlá so zážihovým motorom, majú taktiež vo výfukovom potrubí umiestnenú širokopásmovú lambda sondu, potrebnú pre meranie obsahu kyslíka vo výfukových plynach. Údaje z lambda sondy zohľadňuje riadiaca jednotka motora pri výpočte množstva vstrekaného paliva [3].

U zážihového motora je výkon motora regulovaný kvantitatívne, to znamená zmenou množstva nasávaného vzduchu. Určitému množstvu nasávaného vzduchu pripadá v závislosti od režimu práce motora určité množstvo paliva. V prípade zanesenia filtra vzduchu môže dôjsť k zníženiu množstva privedeného vzduchu do valca motora a tak i k zníženiu množstva vstreknutého paliva. Znížením množstva vstreknutého paliva dôjde k zníženiu množstva chemickej energie obsiahnutej v palive, k zníženiu množstva premenenej chemickej energie na tepelnú energiu a tým k zníženiu množstva mechanickej energie na výstupe zo spaľovacieho motora [4].

V situácií, kedy vodič potrebuje dosiahnuť maximálne zrýchlenie vozidla alebo z iného dôvodu dosiahnuť maximálny výkon alebo točivý moment motora, stlačí pedál akceleračtoru na 100 %. Riadiaca jednotka motora signál z pedála akceleračtoru vyhodnotí a zahrnie do výpočtu množstva vstreknutého paliva. Požiadavky vplyvajúce na ekologickú a ekonomickú prevádzku dá do úzadia a uprednostní takú dávku paliva, pri ktorej dosiahne motor najvyšší výkon a točivý moment [1].

Účelom meraní uvedených v tomto článku je zistenie, či bežné zanesenie filtra nečistotami spôsobí také zníženie prísunu vzduchu, aby došlo k zmene priebehu krivky točivého momentu a výkonu motora.

## 2 Metodika merania

Merania vplyvu zanesenia filtra vzduchu na zmenu priebehu krivky výkonu a točivého momentu motora boli vykonané na valcovej výkonovej stolici MAHA MSR 1050, ktorej výrobcom udávaná odchýlka je  $\pm 2\%$  [5], Obr. 1. Valcová skúšobňa MAHA MSR 1050 prepočítava nameraný výkon na také hodnoty, aké by motor dosiahol pri atmosférických podmienkach okolia podľa normy DIN. Výsledky merania tak nie sú ovplyvňované atmosférickými podmienkami okolia v dobe merania a vytvára podmienky pre opakovateľnosť meraní.



*Obr. 1 Valcová skúšobňa MAHA MSR 1050 a jedno z meraných vozidiel Kia Ceed*

Po upevnení vybraných vozidiel na valcoch skúšobne a kondicionaní motora bol zmeraný priebeh výkonu a točivého momentu motora s použitým, zaneseným, filtrom a následne s filtrom novým, nezaneseným.

Technické údaje prvého meraného vozidla sa nachádzajú v Tab. 1.

*Tabuľka 1 Technické údaje vozidla VW Golf 6*

|                            |                                  |
|----------------------------|----------------------------------|
| Značka                     | VW Golf 6, TDi, 77 kW            |
| Motor                      | Vznetový                         |
| Nasávanie vzduchu          | Turbodúchadlo, chladené vzduchom |
| Spôsob vstrekovania paliva | Common Rail                      |

Zobrazenie nového a zaneseného filtra vzduchu je na Obr. 2.



*Obr. 2 Filtre vzduchu vozidla VW Golf 6*

Údaje druhého meraného vozidla sú uvedené v Tab. 2.

*Tabuľka 2 Technické údaje vozidla VW Passat 1.9 TDi*

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Značka                     | VW Passat, Tdi, 74 kW             |
| Motor                      | Vznetový                          |
| Nasávanie vzduchu          | Turbodúchadlo, chladené vzduchom, |
| Spôsob vstrekovania paliva | PD                                |

Vozidlo malo prostredníctvom úpravy riadiacej jednotky zvýšený výkon i točivý moment motora.

Nový a zanesený filter vzduchu sú vyobrazené na Obr. 3.



*Obr. 3 Filtre vzduchu vozidla VW Passat 1.9 TDi*

Tretím meraným vozidlom bolo vozidlo so zážihovým motorom, Tab. 3, filtre použité počas merania sú zobrazené na Obr. 4. Tretie vozidlo, Kia Ceed, malo variabilné nastavenie časovania ventilov.

*Tabuľka 3 Technické údaje vozidla Kia Ceed 1.6 CVVT*

|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| Značka                     | Kia Ceed, 1.6 CVVT, 92 kW |
| Motor                      | Zážihový                  |
| Nasávanie vzduchu          | Atmosférické              |
| Spôsob vstrekovania paliva | MPI                       |



*Obrázok 4 Filtre vzduchu použité vo vozidle Kia Ceed 1.6 CVVT*

Technické údaje posledného meraného vozidla sú uvedené v Tab. 4.

*Tabuľka 4 Technické údaje vozidla Škoda Fabia, 1.4 MPI, 74 kW*

|                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| Značka                     | Škoda Fabia, 1.4, 74 kW, 16 V |
| Motor                      | Zážihový                      |
| Nasávanie vzduchu          | Atmosférické                  |
| Spôsob vstrekovania paliva | MPI                           |

Na Obr. 5. sú zobrazené filtre vzduchu použité počas meraní so 4. vozidlom.

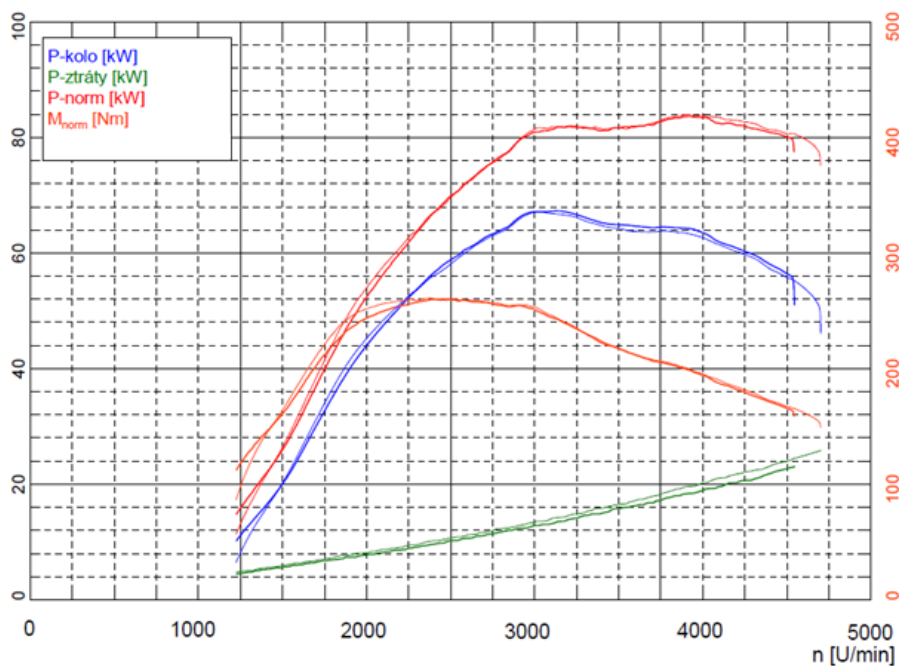




Obr. 5 Filtre vzduchu použité vo vozidle Škoda Fabia 1.4 MPI, 74 kW

### 3 Výsledky merania

Priebeh krivky výkonu a točivého momentu motora prvého testovaného vozidla, VW Golf 6, je zobrazený na Obr.6. Červenou farbou je znázornená krivka priebehu výkonu motora a modrou farbou krivka priebehu výkonu na kolesách. Zelenou farbou je znázornená krivka priebehu výkonu stratového. Oranžovou farbou je označená krivka priebehu točivého momentu. Krivky znázornené hrubou čiarou boli namerané počas meraní so zaneseným filtrom vzduchu, krivky znázornené tenkou čiarou počas meraní s novým filtrom vzduchu.

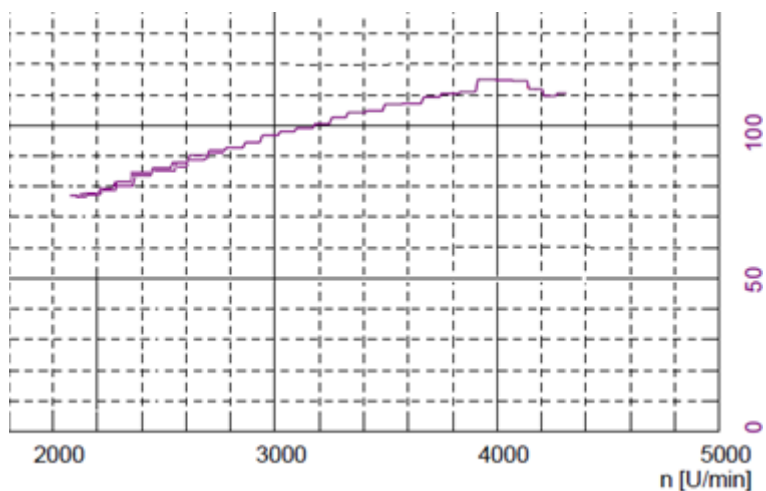


Obr. 6 Výsledky merania s vozidlom VW Golf 6, TDi

Do sacieho potrubia vozidla VW Golf 6 TDi je zaradený i merač hmotnosti vzduchu a tak bolo možné odmerať a zaznamenať množstvo nasávaného vzduchu počas merania výkonu a točivého momentu motora.

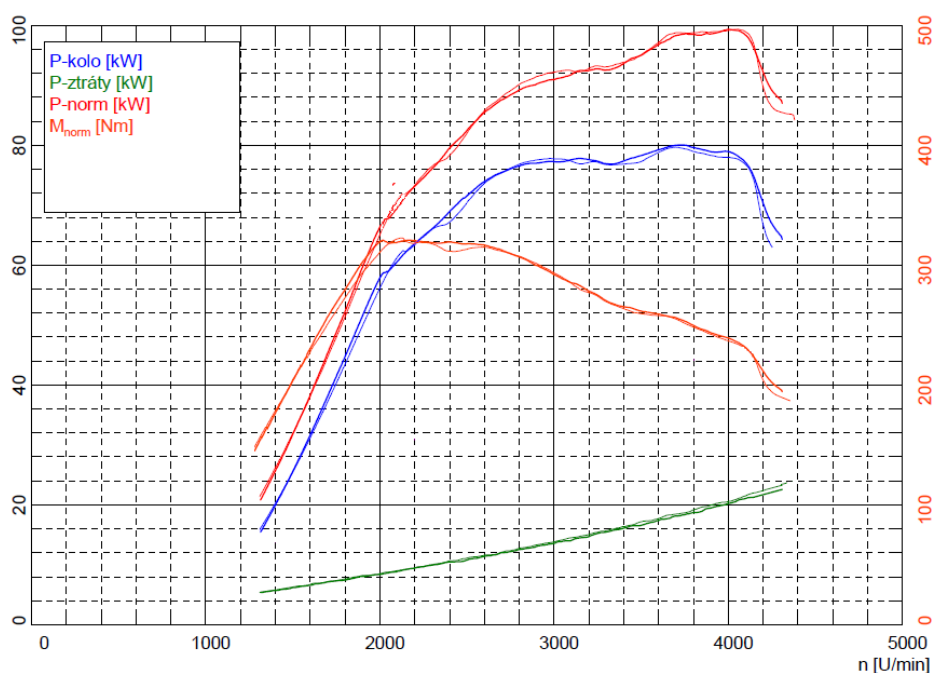


Priebeh množstva nasávaného vzduchu v závislosti od otáčok motora je uvedený na Obr.7. Množstvo nasávaného vzduchu je uvedené v  $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ .



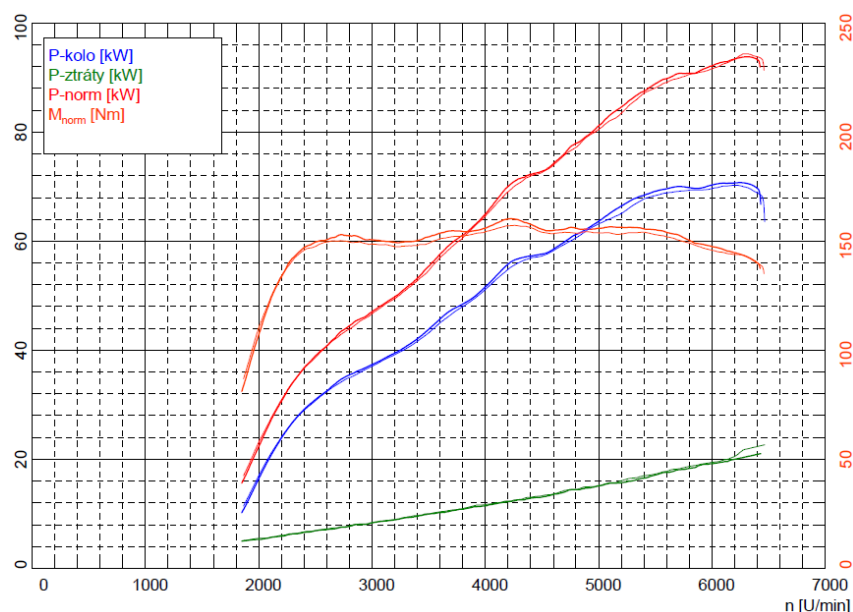
Obr. 7 Množstvo nasávaného vzduchu vozidlom VW Golf 6, TDi

Výsledky vplyvu zanesenia filtra vzduchu na zmenu priebehu krivky výkonu a točivého momentu motora VW Passat 1.9 TDi sú uvedené na Obr.8.



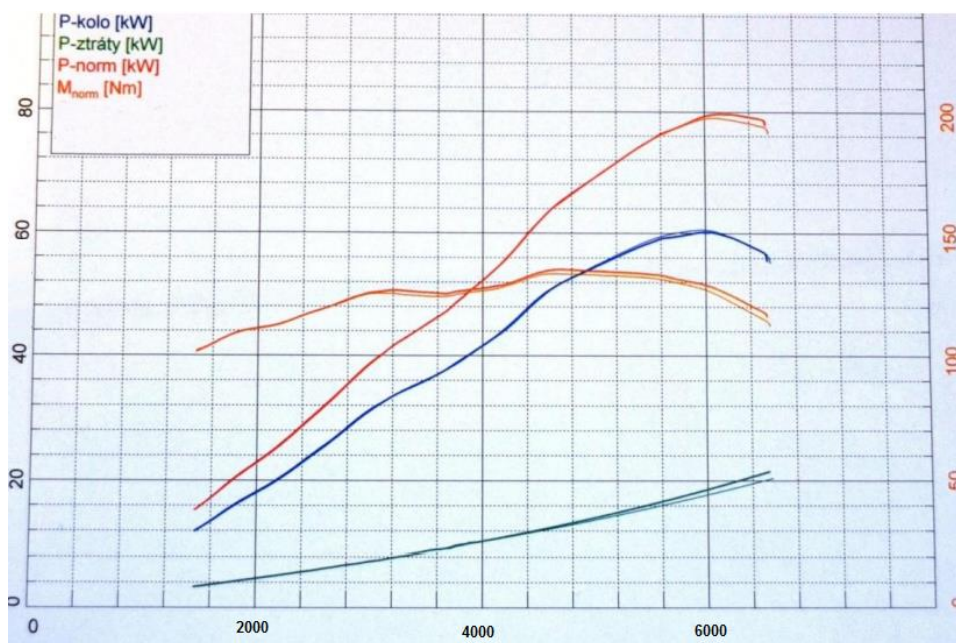
Obr. 8 Výsledky merania s vozidlom VW Passat, 1.9 TDi

Výsledky z merania s vozidlom Kia Ceed sú uvedené na Obr.9. Na rozdiel od predchádzajúcich dvoch obrázkov, Obr.8 a Obr.6, je v tomto prípade meranie s nezaneseným filtrom znázornené hrubou čiarou.



Obr. 9 Výsledky merania s vozidlom Kia Ceed 1.6 CVT

Na Obr. 10 sú znázornené výsledky merania s vozidlom Škoda Fabia 1.4 74 kW, 16 V. Hrubou čiarou sú znázornené krivky namerané s novým filtrom vzduchu a tenkou čiarou krivky namerané so zaneseným filtrom vzduchu.



Obr. 10 Výsledky merania s vozidlom škoda fabia 1.4 MPI 74 kW

Ako vyplýva z Ob.6 až Obr. 10, pri všetkých meraniach bol aspoň v určitom rozsahu otáčok nameraný nižší výkon, alebo točivý moment motora pri použití zaneseného filtra. Pri hodnotení výsledkov meraní je potrebné zohľadniť odchýlku merania valcovej skúšobne, a to  $\pm 2\%$ . Rozdiely priebehu kriviek dosahujú pomerne nízke hodnoty. Namerané krivky vozidiel so vznetovými motormi, Obr. 6 a Obr. 8 vykazujú najväčšie rozdiely v rozsahu medzi 1500 ot.min<sup>-1</sup> až 2400 ot.min<sup>-1</sup>. Sú to tie otáčky motora, pri

ktorých má turbodúchadlo malý vplyv na plnenie motora vzduchom. So zvyšujúcimi sa otáčkami motora, a tým väčším vplyvom turbodúchadla, na plnenie motora vzduchom sa rozdiely medzi priebehmi kriviek strácajú [3]. Vplyv zanesenia filtra na množstvo nasávaného vzduchu je možné pozorovať na Obr. 7. V oblasti, kedy bol nameraný rozdielny točivý moment a výkon motora, bolo namerané i rozdielne množstvo nasávaného vzduchu.

Krivky zážihových motorov s atmosférickým plnením, Obr. 9 a Obr. 10, dosiahli väčších rozdielov v iných otáčkach v porovnaní s krivkami vznetrových motorov s turbodúchadlami. Krivky točivého momentu motora začínajú mať rozdielne priebehy pri oboch motoroch od otáčok približne 2500 ot.min<sup>-1</sup>. Rozdielny priebeh majú krivky až po maximálne otáčky. Priebehy kriviek výkonu motora vozidla Kia Ceed majú rozdielne od otáčok motora 3500 ot.min<sup>-1</sup>. Priebehy kriviek výkonu motora vozidla Škoda Fabia, Obr.10, sú konštantné takmer v celom rozsahu otáčok motora. Rozdielny priebeh bol nameraný len v otáčkach motora nad 6000 ot.min<sup>-1</sup>. V takýchto otáčkach motor pracuje len veľmi zriedkavo.

Niektorí výrobcovia vzduchových filtrov uvádzajú, že výmenou zaneseného filtra za nový filter sa vozidlu zvýši výkon a točivý moment motora a vozidlo bude schopné rýchlejšie akcelerovať [6]. Ako vyplýva z Obr. 6 až Obr. 10, v prípade meraných vozidiel boli namerané rozdiely malé. Pre lepšiu predstavu vplyvu čistoty filtra vzduchu na schopnosť vozidla akcelerovať je možné použiť výpočet uvedený v ďalšej časti tohto príspevku. Význam výpočtu spočíva v stanovení teoretickej hodnoty maximálneho zrýchlenia vozidla na 1. prevodovom stupni pri použití zaneseného a nezaneseného filtra vzduchu v oblasti otáčok s najväčším nameraným rozdielom kriviek točivého momentu motora. Pre zrýchlenie vozidla je dôležitý točivý moment motora. Najväčší rozdiel točivého momentu vplyvom výmeny zaneseného filtra vzduchu za nový bol nameraný s prvým meraným vozidlom, VW Golf 6, Obr. 6. Najväčší rozdiel, 11 Nm pri otáčkach motora približne 2000 ot.min<sup>-1</sup>. Výpočet teda bude zameraný na to, o koľko väčšie zrýchlenie dosiahne vozidlo vďaka novému filtru, čiže rozdielu 11 Nm, pri rozbehu vozidla na 1. prevodovom stupni v oblasti otáčok okolo 2000 ot. min<sup>-1</sup>. Na uskutočnenie výpočtu je potrebné poznať odpor vozidla voči zrýchleniu a odpor voči valeniu. Keďže sa vozidlo pohybuje na 1. prevodovom stupni a rýchlosť jazdy je nízka, odpor vzduchu je možné zanedbať [7]. Ako prvé je potrebné vypočítať odpor voči valeniu. Následne sa vypočíta sila privedená na kolesá a od tejto sily sa odpočíta sila potrebná na prekonanie odporu valenia, čím sa vypočíta maximálna možná hodnota odporu voči zrýchleniu. Z maximálnej hodnoty odporu voči zrýchleniu sa vyjadří maximálne možné teoretické zrýchlenie vozidla. Celý výpočet sa zopakuje s dosadením hodnôt pre vozidlo s novým, nezaneseným, filtrom vzduchu.

Výpočet bude realizovaný pre VW Golf, 1.9 TDi, s pohotovostnou hmotnosťou 1195 kg a hmotnosťou vodiča 70 kg, s pneumatikami energetickej triedy C [8]. Trieda „C“ označuje pneumatiky s hodnotou koeficientu odporu valenia 0,0078 až 0,009. Pre výpočet bude uvažovaná stredná hodnota, čiže  $f = 0,0084$ .

Pre výpočet odporu valenia je platný vzťah:

$$O_v = m \cdot g \cdot f \quad (1)$$

$O_v$  je odpor voči valeniu [N]

$m$  je hmotnosť vozidla [kg]

$f$  je súčiniteľ odporu valenia [-] [7]

Po dosadení hodnôt platných pre vozidlo VW Golf 6:

$$O_v = 1265 \cdot 9,81 \cdot 0,0084 = 104,24 \text{ N} \quad (2)$$

Vypočítaná hodnota odporu voči valeniu daného vozidla s vodičom je 104.24 N.

Druhým krokom výpočtu je stanovenie sily na kolesách podľa vzťahu:

$$F_k = \frac{M_t \cdot i_c \cdot \eta_m}{r} \quad (3)$$

$F_k$  je sila na kolesách [N]

$M_t$  je točivý moment motora [Nm]

$\eta_m$  je mechanická účinnosť prevodov

$r$  je polomer kolesa [m] [7]

Nameraný točivý moment motora pri daných otáčkach a zanesenom filtri je 220 Nm, Obr.6. Celkový prevodový pomer na 1. prevodovom stupni je daný vzťahom:

$$i_c = i_l \cdot i_r \quad (4)$$

$i_c$  je celkový prevodový pomer [-]

$i_l$  je prevodový pomer na 1. prevodovom stupni [-]

$i_r$  je stály prevodový pomer v rozvodovke [-]

Hodnota prevodového pomeru na 1. prevodovom stupni je podľa [8] 3.78 a v rozvodovke 3,65. Celkový prevodový pomer na 1. prevodovom stupni dosahuje hodnotu:

$$i_c = 3.78 \cdot 3.65 = 13.79 \quad (5)$$

Na vozidle sú namontované pneumatiky s rozmerom 205/65 R 16. Polomer kolesa je:

$$r = [2 \cdot (205 \cdot 0.65) + (16 \cdot 25.4)] : 2 = 336,20 \text{ mm} = 0,3362 \text{ m} \quad (6)$$

Sila na kolesách:

$$F_k = \frac{220 \cdot 13.79 \cdot 0.91}{0.3362} = 8211.64 \text{ N} \quad (7)$$

Najväčšiu možnú hodnotu odporu voči zrýchleniu je možné vypočítať vzťahom:

$$O_a = F_k - O_v \quad (8)$$

$$O_a = 8211.64 - 104.24 = 8107.41 \text{ N} \quad (9)$$

Následne je možné vypočítať maximálne zrýchlenie vozidla:

$$a = \frac{O_a}{m \cdot \delta} \quad (10)$$

$a$  je zrýchlenie vozidla [m.s-2]

$O_a$  je najväčšia možná hodnota odporu voči zrýchleniu

$m$  je hmotnosť vozidla

$\delta$  je súčiniteľ odporu rotačných hmôt [7]

Výpočet súčiniteľa odporu rotačných hmôt konkrétneho vozidla je zdĺhavý a vyžaduje zisťovanie hmotnosti a polomeru každej jednej rotačnej súčiastky nachádzajúcej sa v motore, medzi motorom a kolesami a kolies samotných. Pre potreby tohto výpočtu nie je potrebné túto hodnotu vypočítavať s tak vysokou presnosťou. Hodnota súčiniteľa bude v prípade výpočtu s novým i zaneseným filtrom zvolená rovnaká a to konkrétne  $\delta = 1.35$  podľa [9].

Možné zrýchlenie vozidla so zaneseným filtrom:

$$a_{max} = \frac{8107.41}{1265 \cdot 1.35} = 4.75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (11)$$

Maximálne zrýchlenie vozidla VW Golf so zaneseným filtrom pri otáčkach motora 2000 ot.min<sup>-1</sup> na 1. prevodovom stupni je 4.75 m.s<sup>-2</sup>. Analogickým výpočtom je možné zistiť, že pri výmene filtra za nový, nezanesený, vozidlo je schopné dosiahnuť za uvedených podmienok zrýchlenie 5.05 m.s<sup>-2</sup>. Teoretický rozdiel zrýchlenia vozidla s novým a zaneseným filtrom vzduchu je 0.29 m.s<sup>-2</sup>.

## 4 Záver

Výsledky uvedené vo forme grafov, Obr. 6 až Obr. 10 poukazujú na malý, až zanedbateľný vplyv zanesenia filtra vzduchu na zmenu priebehu krivky výkonu a točivého momentu motora. Nízky vplyv čistoty filtra na dynamiku vozidla bol dokázaný i výpočtom maximálneho teoretického zrýchlenia vozidla. Takýto rozdiel teoreticky možného zrýchlenia je veľmi obtiažne rozoznať zo strany vodiča, najmä pri zohľadnení faktu, že rozdiel je len v úzkom pásme otáčok motora. Funkciu odmerania dynamického zrýchlenia vozidla ponúka i valcová skúšobňa MAGA MSR 1050, na ktorej boli realizované merania priebehu kriviek. Avšak na danom zariadení by nebolo možné zmerať maximálne teoretické zrýchlenie, keďže rozdielny priebeh kriviek točivého momentu motora bol iba v úzkom rozsahu otáčok motora. Pri plne stlačenom pedále akceleračora by boli tieto otáčky rýchlo prekonané a zrýchlenie by nebolo možné zmerať. Prevedením zistenia možného zrýchlenia vozidla výpočtom bolo dokázané, že bežné zanesenie filtra vzduchu nespôsobí zhoršenie dynamických vlastností vozidla v dobe, kedy je plne stlačený pedál akceleračora.

Výsledky meraní uvedené v tomto príspevku nie je možné interpretovať v zmysle, že by bola pravidelná výmena filtra vzduchu zbytočná. Ako je uvedené i v úvode tohto príspevku, úlohou filtra vzduchu je zachytávanie nežiaducich zložiek vzduchu.

Výsledky naznačujú, že i zmena klasického, sériového, filtra vzduchu za športový by nepriniesla výraznú zmenu kriviek točivého momentu a výkonu motora.

## 5 Literatúra

- [1] SYNÁK, F. – RIEVAJ, V. Measurement of impact of air filter cleanness on a change of engine speed characteristics. In: *TRANSPORT AND COMMUNICATIONS*. 2017, Vol. 5, no. 1/2017, ISSN 1339-5130
- [2] XU, H. - LIU, S. - YIN, B. - JIA, H. - YU, S. "Visualization of combustion performance and emission characteristics of a four-cylinder diesel engine at various inlet oxygen concentrations at part loads. In *JOURNAL OF MECHANICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 2018, Vol. 32(6), pp. 2925-2934. Doi: 10.1007/s12206-018-0549-2
- [3] LEE, H.- LEE, J. - SUNWOO, M. Fault Diagnosis of Exhaust Gas Recirculation and Variable Geometry Turbocharger Systems in a Passenger Car Diesel Engine Based on a Sliding Mode Observer for Air System States Estimation. *JOURNAL OF DYNAMIC SYSTEMS, MEASUREMENT, AND CONTROL*, 2014, vol. 136(3), Doi: 10.1115/1.026131
- [4] ŠARKAN, B. - CABAN, J. - MARCZUK, A. - VRÁBEL, J. - GNAP, J., Composition of exhaust gases of spark ignition engines under conditions of periodic inspection of vehicles in Slovakia. *PREMYSL CHEMICZNY*, 2017, vol. 96, pp. 675-680, DOI: 10.15199/62.2017.3.36
- [5] Užívateľská príručka „MAHA MSR 1050“
- [6] <https://www.mannfilter.sk/preco-mann-filter/vzduchove-filtre/>

- [7] SYNÁK, F. – RIEVAJ, V., The Impact of Driving Resistances of a Vehicle on Global Pollution. In GLOBALIZATION AND ITS SOCIO-ECONIMICS CONSEQUENCES, 2017, 17<sup>th</sup> International Scientific Conference,
- [8] <https://www.cars-data.com/en/volkswagen-golf-1.6-tdi-105hp-comfortline-specs/59572>
- [9] RIEVAJ, V. – VRÁBEL, J. – ONDRUŠ, J. *Cestné vozidlá*. 2014, EDIS – vydavateľstvo ŽU v Žiline, ISBN 987-80-554-0834

## PodĎakovanie

Príspevok bol pripravený za podpory grantu:

**VEGA č. 1/0436/18 - Externality v cestnej doprave, vznik, príčiny a ekonomické dopady dopravných opatrení.**

# ZEMĚDĚLSKÝ TRAKTOR S ROZDÍLNÝMI PŘEVODOVKAMI – SPOTŘEBA PALIVA A PŘEPRAVNÍ VÝKONNOST V SILNIČNÍ DOPRAVĚ

**Autori:**

Adam POLCAR <sup>1</sup>, Jiří ČUPERA <sup>2</sup>

**Tituly a působisko autorov:**

<sup>1</sup>Ing. Adam Polcar, Ph.D., Ústav techniky a automobilové dopravy, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, E-mail: adam.polcar@mendelu.cz

<sup>2</sup>doc. Ing. Jiří Čupera, Ph.D., Ústav techniky a automobilové dopravy, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, E-mail: jiri.cupera@mendelu.cz

**Abstrakt:** Článek se zabývá s hodnocením výstupních parametrů traktorových souprav (traktoru a návěsu) v silniční dopravě. Traktory byly vybaveny převodovkou řazenou při zatížení a diferenciální hydromechanickou převodovkou CVT (Continuously Variable Transmission). Měření se rovněž zabývala s hodnocením vlivu nastavení režimu motoru. Jak je z výsledku patrné, výběr vhodného typu převodovky nebo režimu motoru má pozitivní vliv na spotřebu paliva a na přepravní účinnost traktorových souprav.

**Klíčové slová:** převodovka řazená pod zatížením 1, diferenciální hydromechanická převodovka 2, režim motoru 3

## FARM TRACTOR WITH DIFFERENT TRANSMISSIONS – FUEL EFFICIENCY IN ROAD TRANSPORT

**Abstract:** The article deals with the evaluation of the output parameters of tractor sets (tractor and trailer) in road transportation. Tractors equipped with a powershift and a differential hydromechanics transmission – CVT (Continuously Variable Transmission) were included in the evaluation. In the next part of the measurement, the influence of the engine setting mode on the output tractor set parameters was investigated. As can be seen from the results, an appropriate choice of the transmission type or engine speed mode has a positive impact on the fuel consumptions and the efficiency of the transportation of the material with tractor sets.

**Keywords:** powershift transmission 1, differential hydromechanics transmission 2, engine mode 3

## 1 Úvod

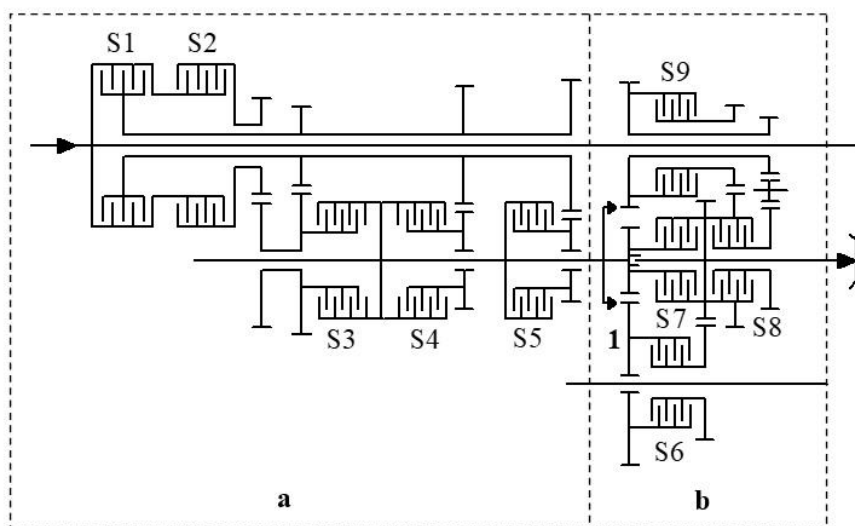
Doprava tvoří v zemědělství značnou část výrobního a reprodukčního procesu. V České republice patří zemědělství mezi největší přepravce, který se vyznačuje značnou dopravní kapacitou. Zemědělská doprava a manipulace s materiálem představuje více jak polovinu ze zemědělských činností. Každý rok se v zemědělství přepraví asi 100 mil. tun rozličných materiálů (s nízkou nebo naopak s vysokou objemovou hmotností). Zemědělství se vyznačuje složitým časovým a prostorovým uspořádáním pracovních a dopravních operací ve výrobním procesu. Tyto procesy se v zemědělství liší od výrobních procesů ve většině ostatních odvětví. Z tohoto důvodu má zemědělská doprava svoje specifika např.: biologickou činnost přepravovaného materiálu, výraznou sezónnost, různé přepravní podmínky (jízda po silnici, v terénu), většinou jednosměrné materiálové toky, velký počet ložných operací uskutečňovaných na různých místech atd. [1] Roční spotřeba motorové nafty dopravních operací v zemědělství je více než 180 mil. litrů, což představuje 49 % celkové spotřeby motorové nafty v zemědělství. [2] Postupný legislativní tlak na snižování emisí a požadavků ze strany zákazníka na ekonomiku provozu ze strany zvyšujících se cen



pohonných hmot a zpřísňujících se emisních limitů nutí výrobce vozidel stále zdokonalovat svoje výrobky. Dochází k neustálé modernizaci jednotlivých funkčních prvků, aby vyhovovaly jak legislativě, tak i požadavkům zákazníka. S rozvojem konstrukčních prvků dochází k modernizaci nejenom osobních a nákladních automobilů, ale i traktorů. Díky jejich následné vyšší konstrukční rychlosti pak dochází při přepravě materiálů k postupnému nahrazování nákladních automobilů traktorovými dopravními soupravami. K 30. 9. 2015 bylo v ČR evidováno 169 144 kusů traktorů a jejich průměrné stáří dosahovalo 31,23 roků. [3]

Díky velké rozmanitosti pracovních podmínek, ve kterých je traktor používán – těžké tahové práce (např. orba), lehčí práce (sečení zelené píce) a silniční doprava je vedle motoru kladen značný pohled na jejich převodová ústrojí. Kdyby bylo možné zkonstruovat spalovací motor s ideální otáčkovou charakteristikou tj. charakteristikou s hyperbolickým průběhem točivého momentu a konstantním výkonem v celém rozsahu jeho otáček, traktor by převodovku nepotřeboval. Z důvodu ale odlišného průběhu, je převodovka velice důležitým prvkem, který má do značné míry vliv nejenom na ekonomiku provozu, ale i na výstupní parametry jednotlivých agrotechnických operací. [4]

U traktorů je nejrozšířenějším typem mechanická převodovka s omezeným, nebo se všemi převodovými stupni řazenými pod zatížením (obr. 1).



Zdroj: [4]

Obr. 1. Schéma převodovky Full PowerShift 18/6: S1 až 9 – lamelové spojky, a – 60 hlavní převodovka, b – 30 skupinová převodovka

Mechanické převodovky disponují vysokou mechanickou účinností. Jejich nevýhodou je, že při přeřazení dochází ke stupňovité změně převodového poměru, což s sebou nese skokovou změnu rychlosti díky ztrátové ploše mezi těmito převody (obr. 2).

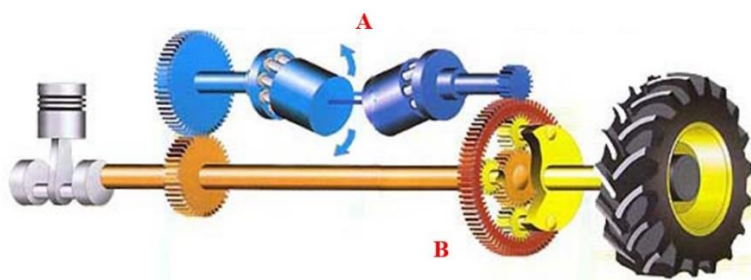


Zdroj: [4]

Obr. 2. Znázornění ztrátové plochy – nevyužitelná část výkonu motoru mezi dvěma převody v charakteristice  $F_{hm}-v$

Tato plocha vyjadřuje rozdíl mezi ideálním a skutečným odstupňováním. Velikost ztrátové plochy se snižuje zejména s rostoucím počtem převodových stupňů. To má ale za následkem nárůst hmotnosti celé převodovky, resp. traktoru.

Možnostmi, jak ztrátovou plochu úplně odstranit je používání bezstupňových převodovek, tj. převodovek s plynulou změnou převodového poměru. Tyto převodovky jsou konstrukčně tvořeny hydrostatickým převodníkem a planetovou mechanickou převodovkou (obr. 3).



Zdroj: [4]

Obr. 3. Diferenciální hydrostatická převodovka, A – hydrostatický převodník, B – slučovací planetový převod

Pro zvýšení rychlostního rozsahu je možné doplnit tuto převodovku navíc o převodovku mechanickou. Účinnost této převodovky je v důsledku použití hydrostatického převodu nižší. Dle Grečenka, 1994 má přibližně diferenciální hydromechanická převodovka o 17 % nižší účinnost než převodovka mechanická.

Cílem příspěvku je posoudit ekonomiku práce traktoru s převodovkou s plynulou změnou převodového poměru a převodovkou řazenou při zatížení současně při nastavení různého režimu motoru.

## 2 Materiál a metodika

Pro splnění výše uvedených cílů bylo provedeno měření na zemědělských traktorech, které se od sebe lišily pouze typem převodovky. První byl vybaven mechanickou převodovkou plně řazenou při zatížení, počet převodových stupňů byl 19 x 6, s rychlostním rozsahem 0 – 40 km.h<sup>-1</sup>. Druhým traktor byl vybaven převodovkou s plynule měnitelným převodovým poměrem (CVT), rovněž s rychlostním rozsahem 0- 40 km.h<sup>-1</sup>.

Měření obou traktorů bylo provedeno při agregaci s plně naloženým návěsem, aby bylo možné motory obou traktorů dostatečně vytížit. Hmotnost obou souprav byla srovnatelná (traktor s převodovkou CVX byl těžší pouze o 40 kg). Měření probíhalo na asfaltové silnici, celková délka trasy byla 21,8 km. Měřený úsek se skládal jak z rovinných tak i ze svahových částí. Převýšení trasy bylo 73 metrů. Ke snímaným parametrům patřily zejména otáčky motoru, spotřeba paliva, rychlost a čas na projetí trasy. Spotřeba paliva a otáčky byly snímány ze sítě CAN-Bus. Rychlost soupravy pomocí GPS modulu. Frekvence vzorkování ze snímačů byla 5 Hz. Získaná data byla zpracována proprietárním software vytvořeným ve vývojovém prostředí LabVIEW a ukládána do paměti měřícího počítače.

K hodnoceným parametrům patřila měrná a hodinová spotřeba paliva a přepravní výkonnost. Pro výpočet parametrů byly použity rovnice:

průměrná okamžitá spotřeba na projetí trasy:

$$Q_p = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{T \cdot f} \quad [l.h^{-1}] \quad (1)$$

kde:  $q_i$  - okamžitá spotřeba paliva [ $l.h^{-1}$ ] (data z CAN-Bus)

$T$  – čas na průjezd úsekem [s]

$f$  – frekvence vzorkování [ $s^{-1}$ ]

přepravní výkonnost:

$$W_{tkm} = G_n \cdot v \quad [tkm.h^{-1}] \quad (2)$$

kde:  $G_n$  – hmotnost nákladu [t]

$v$  – průměrná pojezdová rychlost [ $km.h^{-1}$ ]

spotřeba na tunokilometr:

$$Q_{tkm} = \frac{Q_p}{W_{tkm}} \quad [l.tkm^{-1}] \quad (3)$$

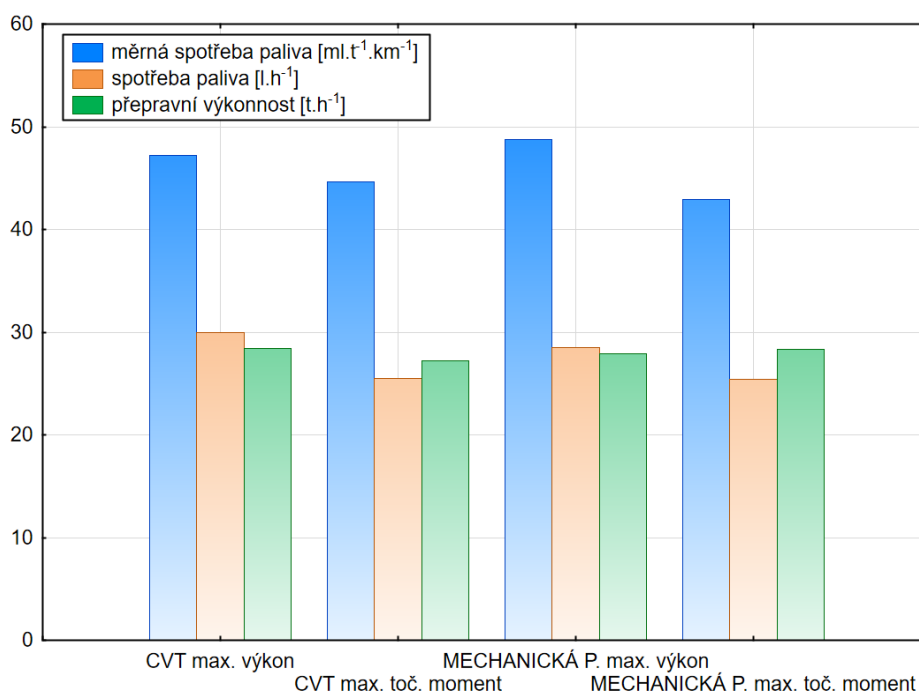
Všechna vyhodnocení probíhala ve statistickém programu Statistica 12.

### 3 Výsledky a diskuze

Při porovnávání obou typů převodovek byla navíc sledován vliv režimu motoru na spotřebu paliva. U každého traktoru byla měření provedena při dvou různých režimech – při udržování otáček kdy motor dosahuje nejvyššího výkonu a nejvyššího točivého momentu. Příslušné otáčky byly zjištěny na základě úplné otáčkové charakteristiky naměřené předem v laboratořích Ústavu techniky a automobilové dopravy Mendelovy univerzity v Brně za pomoci elektricky vířivého dynamometru.

Udržování režimu motoru probíhalo u převodovky CVT automaticky. U mechanické převodovky probíhalo udržování oblasti maximálního točivého momentu motoru ručním řazením, udržování otáček, u kterých motor disponuje maximálním výkonem, byly nastavovány automaticky.

V obr. 4 je porovnání vypočtených parametrů u jednotlivých variant měření.



Zdroj: vlastní zpracování

Obr. 4. Porovnání vypočtených parametrů u jednotlivých variant měření

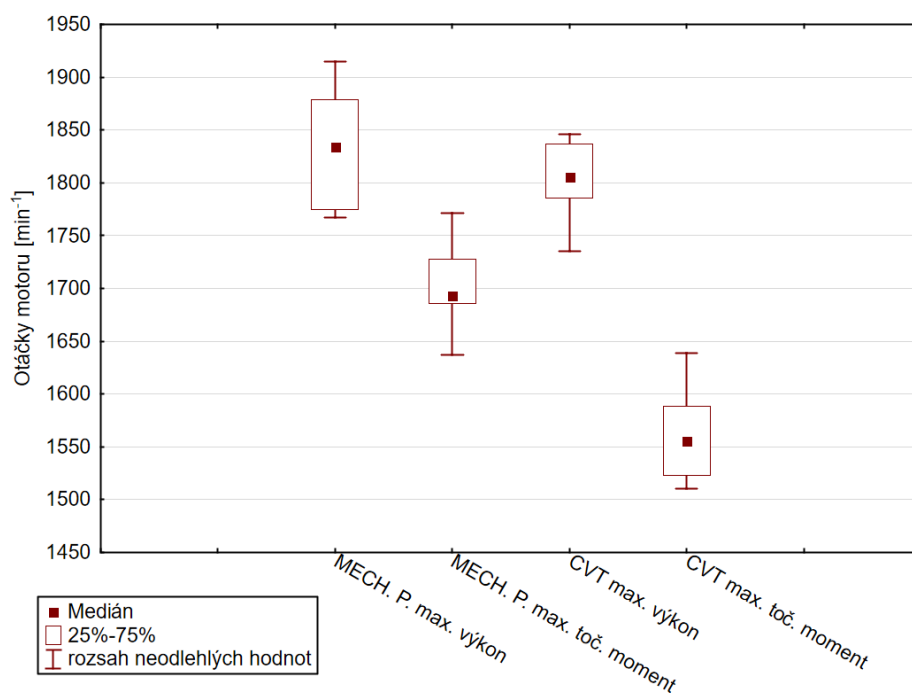
Jako první proběhlo vyhodnocení traktoru s převodovkou CVX. Měrná spotřeba paliva byla při maximálním točivém momentu motoru 44,6 ml.tkm<sup>-1</sup>, což je o 2,6 ml.tkm<sup>-1</sup> (o 5,8 %) méně než v případě oblasti s maximálním výkonem. U hodinové spotřeby rovněž dochází k nárůstu z 25,5 l.h<sup>-1</sup> na 29,9 l.h<sup>-1</sup>, což představuje rozdíl 4,4 l.h<sup>-1</sup> (17,3 %). S vyššími otáčkami motoru se ale i zvýší přepravní výkonnost z 27,3 t.h<sup>-1</sup> na 28,4 t.h<sup>-1</sup>. Při režimu maximální výkon přepraví souprava o 1,1 t.h<sup>-1</sup> (o 4 %) materiálu více.

U traktoru s mechanickou převodovkou docházíme k obdobným výsledkům. Měrná spotřeba paliva vzrostla u režimu s maximálním výkonem ze 42,9 ml.tkm<sup>-1</sup> (ekonomický režim) na 48,8 ml.tkm<sup>-1</sup>, tj. o 5,9 ml.tkm<sup>-1</sup> (13,8 %). Hodinová spotřeba vzrostla o 3,02 l.h<sup>-1</sup>, tj. o 11,9 %. Přepravní výkonnost v režimu maximálního výkonu mírně klesla - o 0,4 t.h<sup>-1</sup> (o 1,4 %) z 28,3 t.h<sup>-1</sup> na 27,9 t.h<sup>-1</sup>.

Při porovnání převodovek mezi sebou můžeme vidět, že v případě ekonomického režimu motoru, kdy motor disponuje maximálním točivým momentem, dosahuje příznivějších parametrů převodovka CVX. Má o 3,8 % příznivější specifickou spotřebu a o 3,9 % vyšší výkonnost. Při porovnání režimů, kdy motor dosahuje maximálního výkonu, dostáváme výsledky opačné. Nižší specifická spotřeba (o 3,4 %) a vyšší

výkonost (1,9 %) je dosažená mechanickou převodovkou. Rozbor kolísání otáček a pojezdových rychlostí u jednotlivých typů a režimu je uvedena na následujících krabicových grafech (obr. 5 a 6).

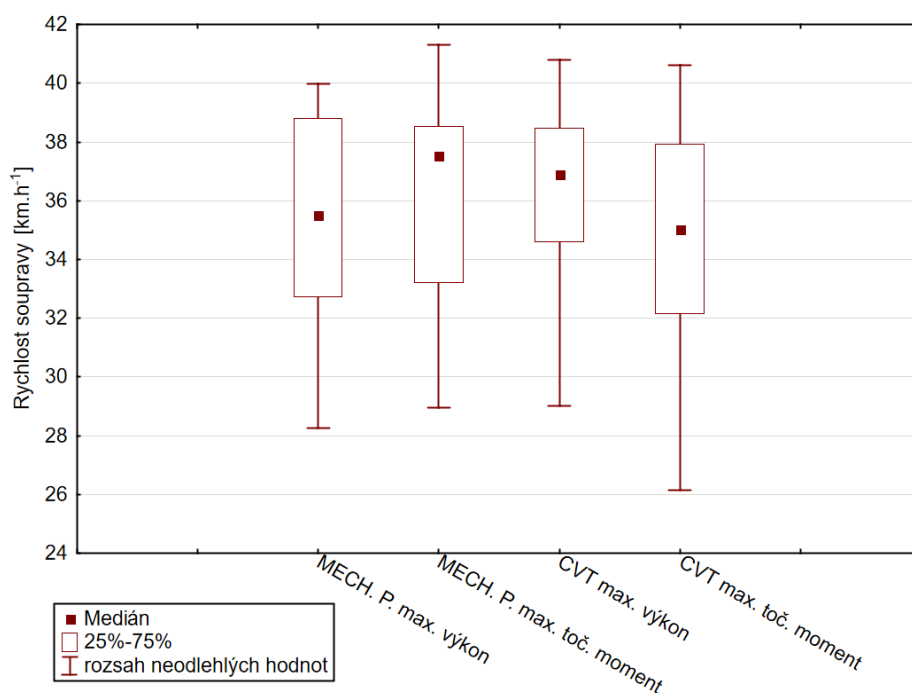
Grafy znázorňují proměnlivost - kolísání otáček a rychlosti soupravy při průjezdu celou měřenou trasou.



Zdroj: vlastní zpracování

*Obr. 5. Krabicový graf otáček motoru u jednotlivých variant měření*

Jak je z obr. 5 patrné tak největšího kolísání dosahovala mechanická převodovka s automatickým udržováním otáček, při kterých má motor maximální výkon. Malá variabilita otáček u mechanické převodovky v oblasti maximálního točivého momentu byla zapříčiněna obsluhou, jelikož řazení, resp. změna převodového poměru probíhala manuálně. Při pohledu na variabilitu otáček motoru u převodovky CVT se dá hovořit, mezi posuzovanými režimy motoru, o srovnatelných výsledcích. Proti automatickému režimu mechanické převodovky je nižší. Tyto výsledky potvrzují to, že CVT převodovka dokáže lépe upravit převodový poměr v závislosti na zatížení motoru, tak aby otáčky motoru zůstaly přibližně stejné, tj. nastavené obsluhou.



Zdroj: vlastní zpracování

Obr. 6. Krabicový graf rychlosti soupravy u jednotlivých variant měření

Při posuzování kolísání rychlosti (obr. 6) jsou mezi variantami patrné menší odchylky. Při srovnání s grafem otáček je i celková proměnlivost vyšší. Vyšší variabilita reflektuje větší změny převodového poměru z důsledku např. nárůstu zatížení motoru a udržení nastavených otáček motoru.

Na základě výsledků měření lze říci, že při provozování traktoru v oblastech, kde motor disponuje vyšším točivým momentem dochází k úspoře paliva proti režimům, kdy má motor maximální výkon. Studii, ve které autoři došli k obdobným výsledkům, publikoval Voják a kol. v roce 2009. Autoři měřením zjistili, že u soupravy traktoru Case Magnum MX 285 v agregaci s kombinovaným kypřičem Köckerling Exaktgrubber – Vario dochází k úspoře nafty o 9,1 % litrů na hektar při zvýšení výkonnosti o 11,5 % hektarů za hodinu v režimu, ve kterém motor dosahuje maximálního točivého momentu. Další studie, která hodnotila stupňovitou a převodovkou s plynulou změnou převodového poměru je z roku 2011 od autorů Čupera et al. Hodnocení bylo provedeno u traktoru New Holland T7050 při agregaci s pluhem Lemkem Vari Opal 9. Souprava s plynulou převodovkou dosáhla ve srovnání se soupravou s převodovkou mechanickou úspory 14,5 %. Další hodnocení v dopravě u těchto převodovek provedli Bauer et al. v roce 2011. Jejich výsledky rovněž ukazují na vyšší úsporu paliva u převodovky s plynulou změnou převodového poměru díky automatickému nastavení vhodnějšího převodového poměru požadovaným otáčkám.

## 4 Závěr

Z výsledků vyplývá, že i přes nižší účinnost hydrostatické části diferenciální hydromechanické převodovky disponuje tato převodovka nižší spotřebou paliva vztažené na tunokilometr a vyšší přepravní výkonností. Vedle toho je nutné, nezávisle na typu převodovky, nastavit vhodný režim motoru. Jak výsledky, tak i diskutované články ukazují, pokud budeme traktorový motor provozovat v oblastech maximálních točivých momentů, můžeme přispět k úspoře paliva. Jak je již uvedeno v úvodu, jsou současné dopravní prostředky vybavovány moderními prvky, které přispívají nejenom k jejich snadnému ovládání, ale mohou výrazně přispět i ke snížení spotřeby paliva a k jejich efektivnějšímu provozu. Hlavním činitelem v oblasti snižování nákladů na provoz dopravního prostředku tak zůstává na prvním místě její obsluha.

## 5 Seznam použité literatury

- [1] SYROVÝ, O.- et al. Doprava v zemědělství, 1. vyd., Praha: Profi Press s.r.o., 2008.
- [2] ČUPERA, J. – BAUER, F. – SEDLÁK, P. – HAVLÍČEK, M. – FAJMAN, M. – POLCAR, A. – VYKYDAL, P. – TATÍČEK, M. Doprava v zemědělství a její dopad na životní prostředí : zpráva z projektu. Brno : Mendelova univerzita v Brně, 2010. 281 s.
- [3] Asociace automobilového průmyslu. Složení vozového parku v ČR, databáze on-line [cit. 2018-08-16]. Dostupné na internetě: <http://www.autosap.cz/zakladni-prehledy-a-udaje/slozeni-vozoveho-parku-v-cr/#pololeti2015>
- [4] BAUER, F. – SEDLÁK, P. – ČUPERA, J. – POLCAR, A. – FAJMAN, M. – ŠMERDA, T. – KATŘENČÍK, J. Traktory a jejich využití, 2. vyd., Praha: Profi Press s.r.o., 2013.
- [5] GREČENKO, A. Vlastnosti terénních vozidel, 1. vyd., Praha: Vysoká škola zemědělská, 1994.
- [6] VOJÁČEK, M. – BAUER, F. – SEDLÁK, P. – ŠMERDA, T. Vliv zatížení spalovacího motoru na energetické a výkonnostní parametry traktorových souprav, In. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2009. Vol. 57, no. 2, s. 155–165. [cit. 2018- 08- 10].
- [7] ČUPERA, J. – BAUER, F. – SEDLÁK, P. – TATÍČEK, M. New Holland s plynulou a stupňovou převodovkou v orbě. In Mechanizace zemědělství. 2011. Vol. 61, no. 11, s. 15–20. [cit. 2018- 08- 10].
- [8] BAUER, F. – SEDLÁK, P. – ČUPERA, J. – TATÍČEK, M. Srovnání traktorů New Holland s plynulou a stupňovitou převodovkou v dopravě. In Mechanizace zemědělství. 2011. Vol. 61, no. 6, s. 22–26. [cit. 2018- 08- 10].

## PodĎakovanie

Tento článek byl vytvořen s podporou projektu ZETOR (EG15\_019/0004799 - ZETOR TRACTORS a.s.) - Optimální agregace strojů s traktorem.



# DLHODOBÉ CIELE EÚ A VYBRANÉ ASPEKTY VPLYVU DOPRAVY NA KVALITU OVZDUŠIA

## Autori:

Jozef GNAP<sup>1</sup>, Dominika BEŇOVÁ<sup>2</sup>

## Tituly a pôsobisko autorov:

<sup>1</sup> prof. Ing. Jozef Gnap, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, F PEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, E-mail: jozef.gnap@fpedas.uniza.sk

<sup>2</sup> Ing. Dominika Beňová, Žilinská univerzita v Žiline, F PEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, E-mail: dominika.benova@fpedas.uniza.sk

**Abstrakt:** Príspevok sa zaoberá problematikou vplyvu dopravy na kvalitu ovzdušia. Prvá časť príspevku je zameraná na dopravnú politiku EÚ do roku 2030, resp. 2050, ktorej cieľom je zníženie emisií skleníkových plynov. Do roku 2030 zníženie emisií skleníkových plynov o 20% a do roku 2050 o 60%. Druhá časť príspevku je zameraná na kvalitu ovzdušia v Slovenskej republike, na látky znečisťujúce ovzdušie a množstvo skleníkových plynov v ovzduší. Cieľom príspevku je poukázať na vplyv dopravy na kvalitu ovzdušia a potrebu zintenzívniť snahy o znižovanie negatívnych dopadov.

**Kľúčové slová:** cestná doprava, kvalita ovzdušia, emisie, skleníkové plyny

**JEL:** R41, Q51

## LONG-TERM OBJECTIVES OF EU AND SELECTED ASPECTS IMPACT OF TRANSPORT ON AIR QUALITY

**Abstract:** The paper deals with the impact of transport on air quality. The first part of the article is focused on the EU's transport policy for 2030, or 2050 to reduce greenhouse gas emissions. By 2030, reduction in greenhouse gas emissions by 20% and by 2050 by 60%. The second part of the article is focused on air quality in the Slovak Republic, for air pollutants and the amount of greenhouse gases in the air. The aim of the paper is to highlight the impact of transport on air quality and the need to step up efforts to reduce negative impacts.

**Keywords:** road transport, air quality, emissions, greenhouse gases

## 1 Úvod

S cieľom chrániť zdravie ľudí a životné prostredie ako celok je mimoriadne dôležité. Je dôležité bojovať proti emisiám znečisťujúcich látok zo zdroja a prijímať, vykonávať najúčinnnejšie opatrenia na znižovanie emisií na miestnej, ale aj národnej úrovni, ako aj na úrovni EÚ. Preto by sa malo emisiám škodlivých látok znečisťujúcich ovzdušie zabráňovať, resp. predchádzať im alebo by sa mali znižovať. Mali by sa určovať primerané ciele pre kvalitu okolitého ovzdušia a zároveň zohľadňujúc pritom príslušné normy, usmernenia a programy Svetovej zdravotníckej organizácie.

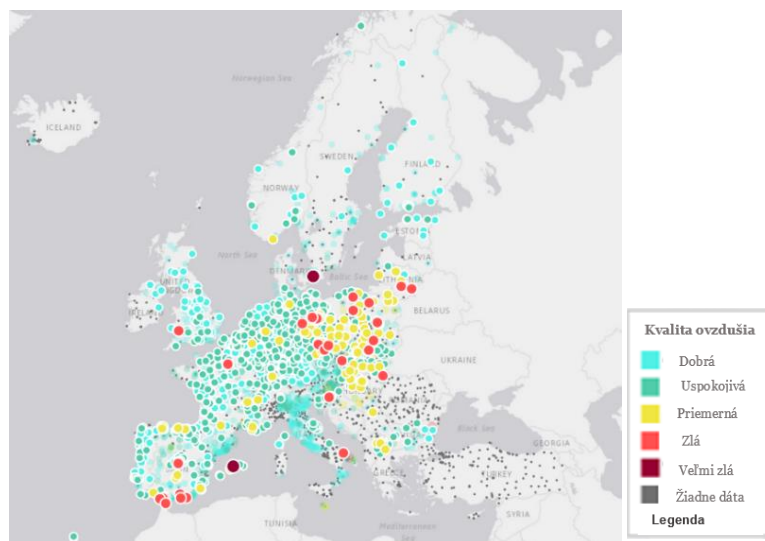
Znečistenie ovzdušia poškodzuje ľudské zdravie a životné prostredie. V Európe sa za posledné desaťročia podstatne znížili emisie mnohých znečisťujúcich látok, čo viedlo k zlepšeniu kvality ovzdušia v celom regióne. Koncentrácie znečisťujúcich látok sú však stále príliš vysoké a problémy s kvalitou ovzdušia pretrvávajú. Významná časť obyvateľstva Európy žije v oblastiach, najmä v mestách, kde sa prekračujú normy kvality ovzdušia: znečistenie ozónom, oxidom dusičitým a pevnými časticami predstavuje vážne

zdravotné riziká (pozri obr.1). Vo veľkých mestách je problém s emisiami znečisťujúcich látok z cestných vozidiel poháňaných naftovými, ale aj benzínovými motormi.

Dlhodobým cieľom EÚ je dosiahnuť takej úrovne kvality ovzdušia, ktoré nevedú k nepriateľným vplyvom na ľudské zdravie a životné prostredie a neohrozujú ich. S cieľom znížiť mieru vystavenia vplyvom znečistenia ovzdušia podniká Európska únia kroky na mnohých úrovniach. A to prostredníctvom právnych predpisov, ale aj na základe spolupráce s odvetvami, ktoré sú zodpovedné za znečistenie ovzdušia. Ďalej v spolupráci s medzinárodnými, vnútroštátnymi a regionálnymi orgánmi, mimovládnyimi organizáciami a to prostredníctvom výskumu. Cieľom politik EÚ je znižovať mieru vystavenia vplyvom znečistenia ovzdušia prostredníctvom znižovania emisií a stanovenia limitov a cieľových hodnôt kvality ovzdušia. Európska komisia prijala balík o kvalite čistého ovzdušia, vrátane nových opatrení na zníženie znečistenia ovzdušia. [4]

## 2 Dopravná politika EÚ do roku 2030 – 2050 vo vzťahu ku kvalite ovzdušia

Znečisťovaním ovzdušia z dopravy sa zaoberá aj Biela kniha EÚ o doprave.<sup>1</sup> Európska únia vyzvala na výrazné zníženie emisií skleníkových plynov vo svete. Na dosiahnutie tohto cieľa musí EÚ do roku 2050 vo všeobecnosti znížiť emisie o 80 - 95 % pod úroveň roku 1990. Z analýzy Komisie vyplýva, že zatiaľ čo v iných odvetviach hospodárstva možno dosiahnuť výraznejšie zníženia, v odvetví dopravy sa vyžaduje znížiť do roku 2050 emisie skleníkových plynov najmenej o 60 % v porovnaní s rokom 1990. Do roku 2030 bude cieľom odvetvia dopravy znížiť emisie skleníkových plynov približne o 20 % pod úroveň roku 2008. Nové technológie pre vozidlá a riadenie dopravy budú v EÚ, ale aj inde na svete kľúčové na dosiahnutie zníženia emisií z dopravy [1].



Zdroj: [2]

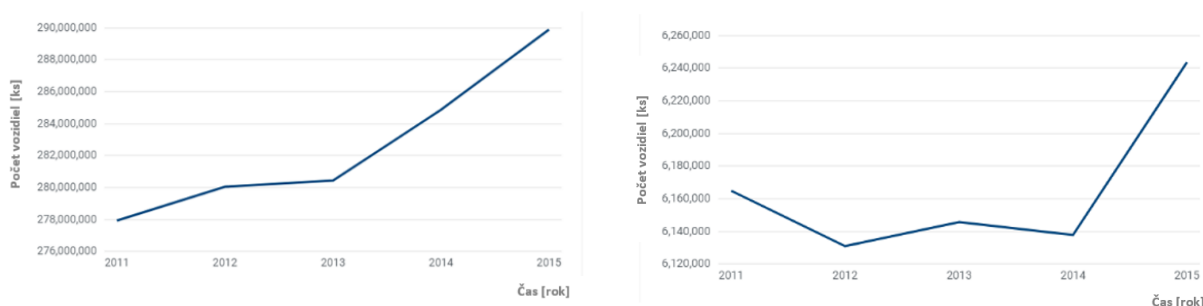
Obr.1 : Ukazovateľ kvality ovzdušia v EÚ k 20.9.2018

<sup>1</sup> Biela kniha, Plán jednotného európskeho dopravného priestoru – Vytvorenie konkurencieschopného dopravného systému efektívne využívajúceho zdroje, KOM(2011) 144, Brusel 28.3.2011

<sup>2</sup> To by zodpovedalo zníženiu emisií vo výške približne 70 % pod úroveň roku 2008

## 2.1 Dosiahnutie 60 % zníženia emisií v kontexte rozrastajúcej sa dopravy a podpory mobility

Cieľom je aj odstrániť závislosť dopravného systému od ropy bez toho, aby sa znížila jeho efektívnosť a ohrozila mobilita. V súlade s hlavnou iniciatívou „Európa efektívne využívajúca zdroje“ zavedenou v rámci stratégie Európa 2020 a v súlade s novým plánom energetickej účinnosti na rok 2011 je zásadným cieľom európskej dopravnej politiky pomôcť vytvoriť systém, ktorý podporuje európsky hospodársky pokrok, posilňuje konkurencieschopnosť a ponúka vysoko kvalitné služby mobility, pričom efektívnejšie využíva zdroje. Dopravný systém v štátoch EÚ generuje zvyšovanie počtu cestných vozidiel (obr.2 – vľavo) resp. cestných nákladných vozidiel N2 a N3 (obr.2 – vpravo). To nie je udržateľný vývoj najmä z pohľadu prijatých cieľov dopravnej politiky EÚ.



Zdroj: [7]

*Obr. 2 : Vývoj počtu vozidiel všetkých kategórií v EÚ v rokoch 2011 až 2015 (vľavo), vývoj počtu vozidiel kategórie N2 a N3 v EÚ v rokoch 2011 až 2015 (vpravo)*

V praxi je potrebné, aby doprava využívala menej energie a navyše ju získavala z ekologickejších zdrojov. Aby lepšie využívala modernú infraštruktúru a znižovala svoj negatívny vplyv na životné prostredie, resp. na prírodné zdroje, akými sú voda, pôda a ekosystémy.

## 2.2 Emisie skleníkových plynov z dopravy v EÚ

Podiel rôznych druhov dopravy na emisiách skleníkových plynov z dopravy bol v roku 2015 takýto: 72,9% pochádzalo z cestnej, 13,3 % z leteckej, 12,8 % z námornej, 0,5 % zo železničnej dopravy a 0,5% ostatné druhy dopravy (pozri obr.3).



Zdroj: [3]

Obr.3: Podiel skleníkových plynov z osobnej aj nákladnej dopravy v EÚ

Dopravné prieskumy ukazujú, že prevažujúca väčšina ciest (97,5 %) sa uskutočňuje na „krátke“ vzdialenosti (nie dlhšie než 100 km). Ale ostatných 2,5 % ciest sa podieľa na viac ako polovici (53 %) všetkých osobokilometrov (osobokm). Pokiaľ ide o rozdelenie medzi mestskou dopravou a dopravou mimo mesta, odhady ukazujú približne na štvrtinu (23 %) emisií z dopravy pochádzajúcich z mestských oblastí. [1]

## 2.3 Zlepšenie priamej dopravy až na miesto určenia v preprave na dlhé vzdialenosti

Letecká doprava je jediným druhom dopravy, ktorá je schopná uskutočňovať konkurencieschopnú medzikontinentálnu prepravu cestujúcich. V súčasnosti prakticky nie sú v dohľadnom čase žiadne alternatívy na takéto dlhé vzdialenosti. V budúcnosti sa význam leteckej dopravy bude ďalej zvyšovať. Činnosť leteckej dopravy EÚ by sa od roku 2005 do roku 2050 viac ako zdvojnásobila (120% zvýšenie). V prepravách na stredné vzdialenosti (menej ako 1 000 km) by vysokorýchlostná železnica čím ďalej tým viac konkurovala leteckej doprave (aj keď na medziregionálnych trasách s malými prepravami si malé lietadlá môžu udržať svoju výhodu), takže takmer celé zvýšenie (o 90 % do roku 2050) v činnosti leteckej dopravy by pochádzalo z prepráv na vzdialenosť dlhšiu ako 1 000 km.

V letectve možno rast dopravy dať do súladu s ambicióznymi cieľmi v oblasti životného prostredia pomocou začlenenia letectva do európskeho dopravného systému EÚ, jednotného európskeho neba, systému riadenia letovej prevádzky (SESAR) a projektu čistého neba.

Letecká doprava vo svojej vízií naďalej podstatne rastie. Je v pláne zníženie emisií vplyvujúcich na kvalitu ovzdušia a toto zníženie bude musieť byť v súlade s cieľmi EÚ zameranými na zníženie CO<sub>2</sub>. Množstvo paliva spotrebovaného na jedno sedadlo v súčasných nových lietadlách je o 70 % nižšie ako v niekdajších lietadlách. Najnovšie publikované výsledky vývoja ukazujú, že technologická inovácia by mohla viesť k zvýšeniu účinnosti paliva približne o 35-45 % do roku 2025 a o 60 % do roku 2050 v porovnaní so súčasným stavom. Efektívnejšie riadenie a činnosti letovej prevádzky (ATM) by mohli do roku 2020 prispieť k ďalšiemu zníženiu o 6 až 13 % na let. Ostatné potreby energie budúcich lietadiel budú pokryté z obnoviteľných zdrojov energie, napríklad druhá a tretia generácia biopalív. [1]

## 2.4 Zelená a efektívna základná sieť nákladnej dopravy

Jeden z najväčších cieľov v doprave je znížiť vplyv nákladnej dopravy uskutočňovanej v rámci EÚ na životné prostredie bez toho, aby sa obetovala jej efektívnosť. Kľúčom k efektívnej doprave je spojenie veľkých objemov prepravy na veľké vzdialenosti medzi takzvanou prvou a poslednou míľou. Na to je vhodná najmä vodná a železničná doprava, ako je vidieť inde vo svete. Aj keď sa podporuje používanie najefektívnejšieho riešenia na všetky vzdialenosti, na vzdialenosť nad 300 km by sa malo uskutočniť výrazné vyváženie objemov - do roku 2030 by sa malo previesť 30 % cestnej nákladnej dopravy na multimodálne riešenia a do roku 2050 viac ako 50 %. Tento cieľ bude veľmi obtiažne dosiahnuť aj vzhľadom na nedostatočnú železničnú infraštruktúru.

Používanie udržateľných biopalív by znížilo emisie z cestnej nákladnej dopravy. Do roku 2050 by biopalivá mohli predstavovať približne 40 % spotreby energie v nákladnej cestnej doprave na dlhé vzdialenosti, kde má elektrifikácia menšie možnosti. Ale výroba týchto biopalív tak, aby sa dosiahli značné úrovne úspor skleníkových plynov, je aj naďalej náročná. Cestná infraštruktúra môže byť v budúcnosti vybavená automatickými usmerňujúcimi systémami, ako súčasť inteligentných dopravných systémov. Táto technika by usporila energiu a aj minimalizovala preťaženie dopravy a nehody. [1]

## 2.5 Vývoj a zavádzanie nových a udržateľných palív a pohonných systémov

Tu sú prijaté tiež ambiciózne ciele:

- Znížiť používanie „konvenčne poháňaných“ automobilov v mestskej doprave do roku 2030 na polovicu; postupne ich vyradiť z premávky v mestách do roku 2050; dosiahnuť v centrách veľkých miest zavedenie mestskej logistiky v podstate bez emisií CO<sub>2</sub> do roku 2030.
- Používanie nízkouhlíkových udržateľných palív v leteckej doprave by do roku 2050 malo dosiahnuť 40 %; do roku 2050 by sa zároveň mali znížiť emisie CO<sub>2</sub> z námorných lodných palív o 40% (o 50 %, ak to bude uskutočniteľné). [1]

## 2.6 Optimalizácia výkonu multimodálnych logistických reťazí vrátane väčšieho využívania energeticky efektívnejších druhov dopravy

Tu sú taktiež prijaté tiež ambiciózne ciele:

- 30 % cestnej nákladnej dopravy nad 300 km by sa malo do roku 2030 previesť na iné druhy dopravy, ako napr. na železničnú či vodnú dopravu, a do roku 2050 by to malo byť viac ako 50 %. Napomôcť by tomu mali efektívne zelené koridory nákladnej dopravy. Na dosiahnutie tohto cieľa je takisto potrebné vyvinúť vhodnú infraštruktúru.
- Dokončiť do roku 2050 európsku vysokorýchlostnú železničnú sieť. Stojnásobiť do roku 2030 dĺžku existujúcich vysokorýchlostných železničných sietí a udržať hustú železničnú sieť vo všetkých členských štátoch. Do roku 2050 by sa mala väčšina cestujúcich na strednú vzdialenosť prepravovať po železnici.
- Sprevádzkovať do roku 2030 v celej EÚ plne funkčnú multimodálnu „základnú sieť“ TEN-T s vysokokvalitnou a vysokokapacitnou sieťou do roku 2050 a so zodpovedajúcim súborom informačných služieb.
- Prepojiť do roku 2050 všetky letiská základnej siete so železničnou sieťou, pokiaľ možno vysokorýchlostnou; zabezpečiť, aby všetky hlavné námorné prístavy boli v dostatočnej miere prepojené s nákladnou železničnou dopravou a prípadne s vnútrozemskými vodnými cestami. [1]

### 3 Kvalita ovzdušia v Slovenskej republike a súvisiaca environmentálna politika

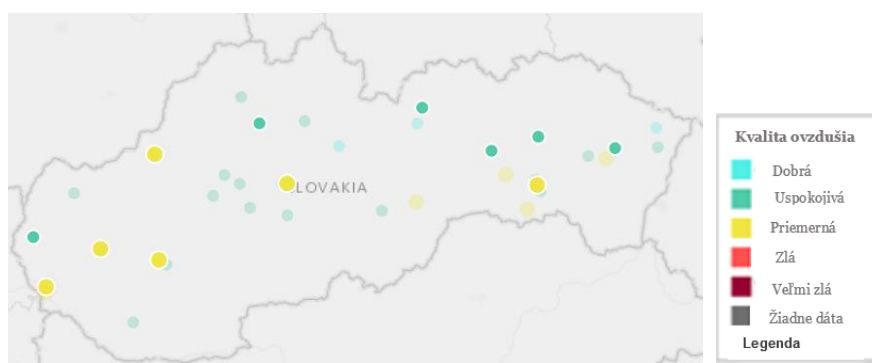
Dňa 13. 6. 2018 schválila Národná rada SR novelu zákona č. 137/2010 Z. z. o ovzduší v znení neskorších predpisov. Novela nadobúda účinnosť 1. 7. 2018 a prináša zmeny vo viacerých ustanoveniach zákona. Národný program znižovania emisií bude riešiť opatrenia na znižovanie emisií do ovzdušia, aby sa splnili redukčné záväzky zníženia emisií (národné stropy) stanovené smernicou (EÚ) 2016/2284 na rok 2030. Národné emisné stropy sú stanovené pre SO<sub>2</sub> (oxid siričitý), NO<sub>x</sub> (oxidy dusíka), VOC (prchavé organické zlúčeniny), NH<sub>3</sub> (amoniak) a častice PM<sub>2.5</sub>. Národný program znižovania emisií je schvaľovaný vládou SR a do apríla 2019 treba tento program predložiť Európskej komisii.

Národný program znižovania emisií vypracúva Ministerstvo životného prostredia SR. Po vypracovaní ho predkladá na schválenie vláde SR. Po schválení vládou SR predloží Ministerstvo životného prostredia SR národný program znižovania emisií Európskej komisii do 1. apríla 2019. Aktualizovaný národný program znižovania emisií predloží Ministerstvo životného prostredia SR Európskej komisii do dvoch mesiacov od jeho schválenia vládou SR.

S cieľom dosiahnuť aspoň národné záväzky znižovania emisií národný program znižovania emisií zahŕňa

- opatrenia na zabezpečenie redukčných záväzkov pre znečisťujúce látky vrátane opatrení na znižovanie amoniaku z poľnohospodárstva a opatrení týkajúcich sa riadenia emisií jemných tuhých častíc a čierneho uhlíka,
- informácie o prijatých a plánovaných postupoch a kvantifikovaných odhadoch vplyvu týchto postupov a opatrení na emisie znečisťujúcich látok a
- očakávané výrazné zmeny v geografickom rozložení emisií. [8]

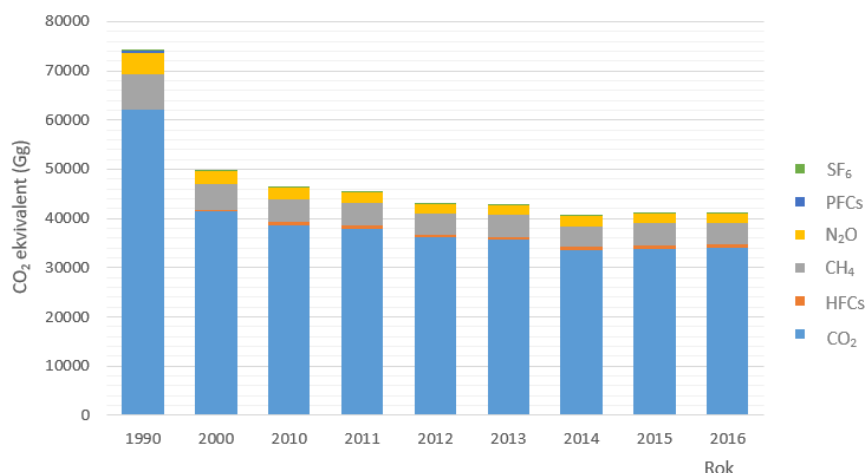
Dôvodom spomínaných opatrení v rámci európskych miest je najmä snaha o dosiahnutie čo najčistejšieho životného prostredia v oblastiach, kde sa denno – denne pohybujú tisíce ľudí. Tí sa dostávajú do bezprostredného kontaktu s dopravou a jej externalitami v podstate každý deň, preto je dôležité tieto negatívne javy v čo najväčšej možnej miere eliminovať. Medzi najhoršie v rámci európskych miest patrí práve znečistenie ovzdušia a tento fakt sa nevyhýba ani mestám a obciam na území Slovenskej republiky.



Zdroj: [2]

**Obr.4: Stav znečistenia ovzdušia k 20.9.2018 na Slovensku**

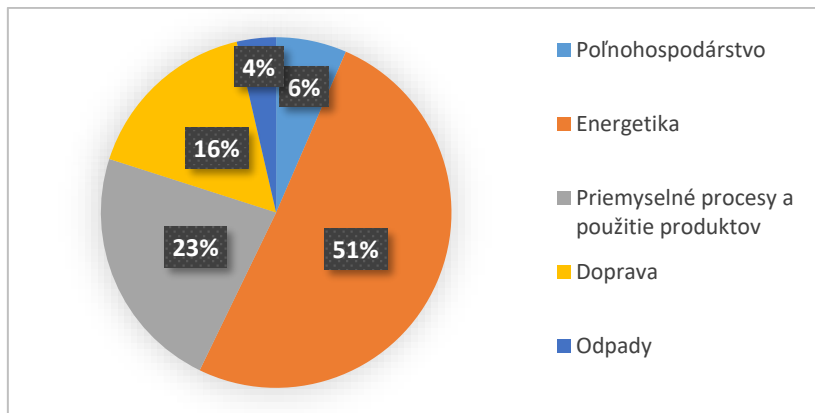
Emisie skleníkových plynov na území SR v dlhodobejšom časovom horizonte poklesli (v porovnaní roka 2015 oproti roku 1990 o 44,58 %). Emisie CO<sub>2</sub> majú od roku 2000 mierne klesajúci trend. V roku 2015 oproti roku 2000 emisie CO<sub>2</sub> poklesli o 17,2 % (obr.5).



Zdroj: Spracované autormi na základe údajov SHMÚ

**Obr.5 : Vývoj emisií skleníkových plynov na území SR**

Významným sektorom, v ktorom sa SR nedarí stabilizovať rast emisií skleníkových plynov, je sektor cestnej dopravy - 16%. Podiel emisií v sektore energetika, vrátane dopravy, na celkových emisiách skleníkových plynov v roku 2016 bol 51 % (vo vyjadrení na CO<sub>2</sub> ekvivalenty), emisie z dopravy v rámci sektora energetika tvorili zhruba 28 % (obr.6).



Zdroj: Spracované autormi na základe údajov SHMÚ

**Obr.6 : Podiel jednotlivých sektorov na emisiách skleníkových plynov za rok 2016**

Kvalitu ovzdušia určuje vo všeobecnosti úroveň znečisťujúcich látok v ovzduší, medzi ktoré patria hlavne oxidy dusíka, oxid siričitý, oxid uhoľnatý, častice PM<sub>10</sub> a PM<sub>2,5</sub>, benzén, ale aj rôzne nebezpečné kovy ako nikel, kadmium, olovo a pod. Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky uvádza limitné a cieľové hodnoty pre tieto látky v ovzduší. Východiskom pre hodnotenie kvality ovzdušia sú výsledky meraní koncentrácie znečisťujúcich látok v ovzduší. Tieto realizuje Slovenský hydrometeorologický ústav prostredníctvom svojich staníc Národnej monitorovacej siete kvality ovzdušia (pozri obr.4). Pre plošné hodnotenie kvality ovzdušia sa využívajú metódy matematického modelovania.

Slovenský hydrometeorologický ústav tiež navrhuje na základe výsledkov merania z predchádzajúcich rokov a v súlade so zákonom o ovzduší rozdelenie územia SR na aglomerácie a zóny, v ktorých je definovaných 12 oblastí riadenia kvality pre jednotlivé znečisťujúce látky, pričom tieto oblasti



patria k územiám s najvyšším rizikom znečistenia ovzdušia v krajine. Zoznam oblastí riadenia kvality je uvedený v tabuľke 1.

*Tabuľka 1: Zoznam oblastí riadenia kvality ovzdušia v SR za rok 2016*

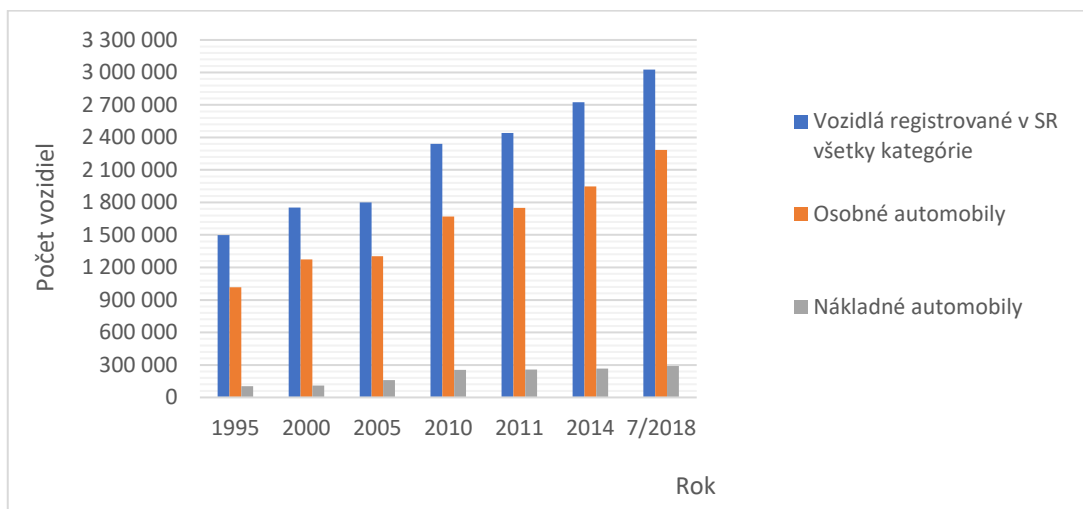
| AGLOMERÁCIA/Zóna     | Vymedzená oblasť riadenia kvality ovzdušia                                            | Znečisťujúca látka                                    | Plocha [km <sup>2</sup> ] | Počet obyvateľov <sup>3</sup> |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| BRATISLAVA           | územie hl. mesta Bratislava                                                           | PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub> , BaP <sup>4</sup> | 368                       | 425 923                       |
| KOŠICE/Košický kraj  | územie mesta Košice a obcí Bočiar, Haniska, Sokolany a Veľká Ida                      | PM <sub>10</sub> , BaP                                | 302                       | 245 873                       |
| Banskobystrický kraj | územie mesta Banská Bystrica                                                          | PM <sub>10</sub>                                      | 103                       | 78 735                        |
|                      | územie mesta Jelšava a obcí Lubeník, Chyžné, Magnezitovce, Mokrú Lúka, Revúcka Lehota | PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>                  | 109                       | 6 647                         |
| Košický kraj         | územie mesta Krompachy                                                                | PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , BaP            | 23                        | 8 848                         |
| Prešovský kraj       | územie mesta Prešov a obce Ľubotice                                                   | PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub>                    | 79                        | 92 892                        |
| Trenčiansky kraj     | územie mesta Prievidza                                                                | BaP                                                   | 43                        | 46 830                        |
|                      | územie obce Bystričany                                                                | PM <sub>10</sub>                                      | 38                        | 1 791                         |
|                      | územie mesta Trenčín                                                                  | PM <sub>10</sub>                                      | 82                        | 55 593                        |
| Trnavský kraj        | územie mesta Trnava                                                                   | NO <sub>2</sub> , BaP                                 | 72                        | 65 536                        |
| Žilinský kraj        | územie mesta Ružomberok a obce Likavka                                                | PM <sub>10</sub>                                      | 145                       | 30 134                        |
|                      | územie mesta Žilina                                                                   | PM <sub>10</sub>                                      | 80                        | 81 041                        |

Zdroj: [5]

Tieto oblasti patria potencionálne k najznečistenejším, a to najmä z dôvodu priemyslu, ale v prípade aglomerácii Bratislava a Košice, a miest Trnava, Banská Bystrica a Trenčín aj z dôvodu emisii z dopravy. Okrem toho sú tu zahrnuté aj špecifické oblasti, kde k znečisteniu ovzdušia napomáha kombinácia priemyslu a vysokého dopravného zaťaženia (Ružomberok, Žilina, Prešov). Je potrebné prijať razantnejšie kroky v oblasti cestnej dopravy lebo počet registrovaných všetkých vozidiel v SR prekročil v roku hranicu 3 mil. Tempo rastu najmä osobných automobilov je veľmi výrazne (obr.7.). Bohužiaľ tempo integrácie verejnej osobnej dopravy sa v SR výrazne za ostatné roky nezrýchlilo čo tiež ovplyvňuje dopyt po verejnej hromadnej osobnej doprave [11].

<sup>3</sup> Stav k 31. 12. 2016

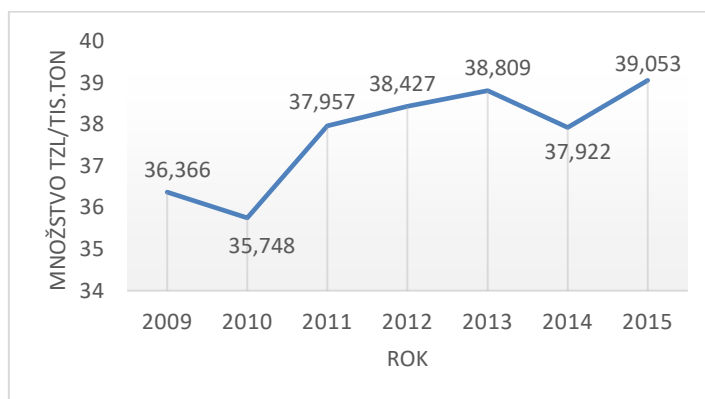
<sup>4</sup> Polyaromatické uhľovodíky - Benzo(a)pyrény



Zdroj: Spracované autormi na základe údajov z Policajného zboru SR

*Obr.7 : Vývoj počtu evidovaných vozidiel v SR*

Čo sa týka celkovej úrovne znečistenia územia Slovenskej republiky, či už časticami  $PM_{10}$  alebo  $PM_{2,5}$ , v oboch prípadoch dosahuje táto úroveň na Slovensku dobré výsledky a stanovená limitná hodnota ročnej koncentrácie týchto častíc nebola prekročená. Priemerná ročná koncentrácia oboch typov častíc v ovzduší má mierne klesajúci charakter. Iné to je v prípade absolútneho množstva tuhých znečisťujúcich látok, teda  $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$  v ovzduší. V tomto prípade má úroveň týchto látok kolísavý charakter, pričom v porovnaní rokov 2014 a 2015 došlo k miernemu nárastu. [5]



Zdroj: [9]

*Obr.8: Graf celkového množstva tuhých znečisťujúcich látok v ovzduší*

Dosiahnutím redukčných záväzkov sa znížia celkové emisie znečisťujúcich látok, avšak to nemusí automaticky znamenať, že sa dosiahne dobrá kvalita ovzdušia na celom území Slovenska. Kvalita ovzdušia závisí od množstva vypustených emisií v danej lokalite, ale tiež od podmienok pre rozptyl. Preto treba venovať osobitnú pozornosť kvalite ovzdušia. [6]

V tejto oblasti zohrávajú úlohu kvalitné emisné kontroly a podiel vozidiel na naftový pohon v SR resp. tranzitujúcich cez SR. Zavedenie mýta v nákladnej cestnej doprave neznamenalo presmerovanie tvarových tokov na železničnú alebo vodnú dopravu ani zmenu tranzitných trás [12].

## 4 Záver

Znečistenie ovzdušia je kľúčovým environmentálnym a sociálnym problémom a súčasne je to komplexný problém, ktorý predstavuje mnoho významov z hľadiska riadenia a zmierňovania škodlivých znečisťujúcich látok.

Znečistenie ovzdušia má naďalej výrazný vplyv na zdravie európskej populácie, najmä v mestských oblastiach. Najzávažnejšie znečisťujúce látky v Európe z hľadiska poškodenia ľudského zdravia sú PM, NO<sub>2</sub> a prízemný O<sub>3</sub>.

Slovensko je malá krajina v strede Európy. Prízemný ozón na jeho území má prevažne adjektívny pôvod. Dominuje prenos smerom k povrchu z vrstvy akumulácie ozónu nad európskym kontinentom a horizontálny (cezhraničný) prenos, hlavne z južných smerov. Potenciál národných opatrení na zníženie úrovne koncentrácií prízemného ozónu na území Slovenska je veľmi malý.

Ovzdušie na Slovensku je z pohľadu Európskej únie nadpriemerne znečistené. Hlavnými príčinami znečistenia ovzdušia sú vysoký podiel tuhých palív, vrátane biomasy, používaných v domácnostiach a využívanie menej kvalitných spaľovacích motorov v osobnej doprave.

Významným prínosom by bolo skončenie prevádzky tepelnej elektrárne Nováky, ktorá spaľuje hnedé uhlie a je najväčším producentom oxidu siričitého. Otázka riešenia tejto elektrárne sa dostala v SR do politickej roviny.

V oblasti zníženia emisií z cestnej dopravy sa v SR bohužiaľ nezačali vykonávať žiadne aktívne kroky napríklad zavedenia nízkoemisných zón, profesionálna vratka spotrebnej dane z motorovej nafty, regulácia dovozu osobných automobilov na dieselový pohon zo štátov západnej Európy, kde ich vyradzujú z cestnej premávky atď. Vratka časti spotrebnej dane z motorovej nafty napríklad po vzore Slovinska by vyrovnala cenovú hladinu medzi naftou a benzínom pre bežných užívateľov, ale dopravcovia nákladnej a autobusovej dopravy by boli motivovaní aby čerpali naftu na území SR. Toto by viedlo aj zmene nákupného správania obyvateľstva kupovať lacné osobné vozidlá zo Západnej Európy a čerpať v SR aj lacnejšiu naftu ako benzín.

Podpora elektromobility a výstavba nabíjajúcich staníc stále ide v SR pomalým tempom, čo neprináša zníženie podielu cestnej dopravy na znečistení životného prostredia. Tiež náhrada nafty iným druhom paliva u nákladných vozidiel a autobusov napr. LNG je ešte v začiatkoch riešenia projektov. Je možné aj čiastkovými opatreniami znížiť spotrebu pohonných látok a tým aj znečistenie životného prostredia [13]. Tiež sa nepodarilo presadiť aby súčasťou výberových konaní na dopravné služby napr. v štátnej a verejnej správe bola nie len najnižšia cena ale aj najnižšie tzv. uhlíková stopa [10,14]. Týka sa to aj obstarávaní na dopravné služby vo verejnej osobnej autobusovej, železničnej doprave a v mestskej hromadnej doprave.

## 5 Literatúra

- [1] Biela kniha, Plán jednotného európskeho dopravného priestoru – Vytvorenie konkurencieschopného dopravného systému efektívne využívajúceho zdroje, KOM(2011) 144, Brusel 28.3.2011
- [2] <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>
- [3] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-10>
- [4] Air quality in Europe — 2017 report, <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>
- [5] [http://www.shmu.sk/File/oko/hodnotenie/2016\\_Hodnotenie\\_KO\\_v\\_SR.pdf](http://www.shmu.sk/File/oko/hodnotenie/2016_Hodnotenie_KO_v_SR.pdf)
- [6] <http://www.minzp.sk/strategia-ochrany-ovzdusia.html>

- [7] <https://www.acea.be/statistics/article/vehicles-in-use-europe-2017>
- [8] [https://www.enviro.sk/33/novela-zakona-c-c-137-2010-z-z-o-ovzdusi-v-zneni-neskorsich-predpisov-narodny-program-znizovania-emisii-uniqueiduchxzASYZNbdCMBzlaYfeBXzM\\_D-0EuobkOon0GqBR4/](https://www.enviro.sk/33/novela-zakona-c-c-137-2010-z-z-o-ovzdusi-v-zneni-neskorsich-predpisov-narodny-program-znizovania-emisii-uniqueiduchxzASYZNbdCMBzlaYfeBXzM_D-0EuobkOon0GqBR4/)
- [9] Slávik, R.; Beňová, D.; Gnap, J.; Stopka, O.: City logistics and air quality, Transport and Communications, 2018, Roč. 6, č. 1, Žilinská univerzita v Žiline
- [10] Skrúcaný, T., Gnap, J. (2014), Energy Intensity and Greenhouse Gases Production of the Road and Rail Cargo Transport Using a Software to Simulate the Energy Consumption of a Train, TELEMATICS – SUPPORT FOR TRANSPORT, Communications in Computer and Information Science, Volume 471, Pages: 263-272, 2014, Conference: 14 th Transport Systems Telematics Conference (TST), Poland, Publisher: SPRINGER-VERLAG, BERLIN
- [11] Gnap, J. Konecny, V. Poliak, M.: Demand elasticity of public transport, Ekonomicky casopis, Volume: 53, Issue: 7, Pges: 668-684, 2006, SLOVAK ACADEMY PRESS LTB, Bratislava
- [12] Poliak, M. – Konečný, V.: Faktory determinujúce rozsah spoplatnenia cestnej infraštruktúry elektronickým mýtom (Factors determining the electronic tolling scope of road network); Ekonomický časopis 7/56/2008; vydáva Ekonomický ústav SAV a Prognostický ústav SAV, Bratislava; ISSN 0013-3035; s.712-731
- [13] Skrucany, T., Sarkan, B., Gnap, J.: Influence of Aerodynamic Trailer Devices on Drag Reduction Measured in a Wind Tunnel; Ekxploatacja i niezawodnosc- Maintenance and Reliability, Volume: 18, Issue: 1 Pages:151-154, Polish Maintenance Soc, Poland, 2016; DOI:10.17531/ein.2016.1.20
- [14] Petro, F., Konečný, V.: Calculation of emissions from transport services and their use for the internalisation of external costs in road In: Procedia Engineering [elektronický zdroj]. - ISSN 1877-7058. - Vol. 192 (2017), online, s. 677-682.

## Pod'akovanie

Tato štúdia/publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt:

**Centrum excelentnosti pre systémy a služby inteligentnej dopravy II.**, ITMS 26220120050  
spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



"Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ"

# KONCEPCIA TRVALO UDRŽATEĽNEJ ŽELEZNIČNEJ DOPRAVY A INFRAŠTRUKTÚRY

## Autori:

Milan DEDÍK<sup>1</sup> Lukáš ČECHOVIČ<sup>2</sup> Jozef GAŠPARÍK<sup>3</sup>

## Tituly a pôsobisko autorov:

<sup>1</sup>Ing. Milan Dedík, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina, 010 26 Slovensko, E-mail: milan.dedik@fpedas.uniza.sk

<sup>2</sup>Ing. Lukáš Čechovič, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina, 010 26 Slovensko, E-mail: lukas.cechovic@fpedas.uniza.sk

<sup>3</sup>prof. Ing. Jozef Gašparík, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina, 010 26 Slovensko, E-mail: jozef.gasparik@fpedas.uniza.sk

**Abstrakt:** Vo verejnej osobnej doprave je možné zaznamenať viaceré negatívne skutočnosti a problémy najmä v oblasti prevádzky, organizácie a infraštruktúry. Tieto okolnosti postupne vedú k znižovaniu prepravných výkonov verejnej osobnej dopravy na úkor individuálnej automobilovej dopravy. Uvedený príspevok definuje globálne ciele pre rozvoj verejnej osobnej dopravy, poskytuje rámcový náčrt postavenia jednotlivých módov dopravy v osobnej doprave v súčasnosti a následne do budúcnosti v prospech módov verejnej osobnej dopravy. Následne je navrhnutá všeobecná metodika pre trvalo udržateľnú železničnú dopravu a infraštruktúru, ktorá je vyjadrená vývojovým diagramom v druhej kapitole.

**Kľúčové slová:** železničná doprava, železničná infraštruktúra, metodika

JEL: L92

## CONCEPT OF SUSTAINABLE RAILWAY TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE

**Abstract:** In public passenger transport can be noticed multiple negative facts and problems especially in the field of operation, organizations and infrastructures. These circumstances are gradually leading to reducing of transport performance in public passenger transport at the expense of individual car traffic. This contribution defines global goals for the development of public passenger transport, provides a sketch of status of each mode of transport in passenger transport at present and then in the future in favor of modes of public passenger transport. Subsequently, a general methodology is proposed for sustainable rail transport and infrastructure, which is expressed in the diagram in the second chapter.

**Keywords:** railway transport, railway infrastructure, methodics

## 1 Úvod

Prepravné výkony verejnej osobnej dopravy sa za ostatné roky znížili na úkor individuálneho motorizmu, ktorý je medzi obyvateľmi jednotlivých štátov oveľa populárnejší ako hromadná preprava osôb. Avšak enormný nárast osobných automobilov zapríčiňuje viacero negatívnych skutočností, a to najmä vytváranie kongescií a nepriaznivý vplyv na životné prostredie. Taktiež aj postavenie železničnej osobnej i nákladnej dopravy v sektore verejnej osobnej i nákladnej dopravy nie je optimálne, nakoľko v železničnej doprave sa objavuje viacero problémov v oblasti prevádzky, organizácie či infraštruktúry.

Z tohto dôvodu je v súčasnosti nevyhnutné prijať viacero efektívnych opatrení pre revitalizáciu verejnej osobnej dopravy, ktoré by dokázali motivovať cestujúcich, aby využili verejnú dopravu na úkor individuálnej. Je to aj jeden z globálnych strategických cieľov dopravnej politiky EÚ, pričom základný zámer spočíva v znížení emisií a v modálnom presune tovaru i osôb na ekologicky prijateľnejšie druhy dopravy. Na základe týchto skutočností vydala Európska komisia viacero strategických dokumentov, ktoré by mali pomôcť naplniť stanovené ciele.

## 2 Definovanie opatrení pre zvýšenie efektívnosti verejnej osobnej dopravy a postavenia železničnej dopravy v nej

Uvedená problematika je v súčasnosti veľmi aktuálna, keďže podpora verejnej osobnej dopravy a železničnej osobnej dopravy ako nosného dopravného systému je nevyhnutná. Taktiež je aj predmetom viacerých výskumov a vedeckých výstupov najmä u zahraničných vedcov a odborníkov. Napríklad holandskí autori Dennis Huisman, Leo G. Kroon Ramon, M. Lentink Michiel a J. C. M. Vromans z University Rotterdam sa zaoberajú Operations Research in passenger railway transportation [1], kde vysvetľujú základné princípy stratégie železničnej dopravy a dopravného plánovania. Britský autor R. A. Smith v publikácii Railways: How they may contribute to a sustainable future [2] vysvetľuje koncepciu trvalo udržateľnej železničnej dopravy.

V súčasnosti zatiaľ nie je definovaná žiadna metodika, ktorá by bola základom pre trvalo udržateľnú železničnú infraštruktúru a pravidelnú prevádzku na nej. Preto je uvedený príspevok zameraný na tento návrh, ktorý je vyjadrený prostredníctvom vývojového diagramu v druhej kapitole. Návrhu samotnej metodiky predchádza rámcový náčrt množiny osobnej dopravy a postavenie železničnej dopravy v nej v súčasnosti i budúcnosti.

Ministerstvo dopravy a výstavby SR vypracovalo Strategický plán rozvoja dopravy SR do roku 2030 [3], ktorý nadväzuje na vízie Európskej komisie spracované v Bielej knihe [4]. Základné nástroje na naplnenie uvedenej vízie sú strategické globálne ciele, ktoré odrážajú trendy a potreby definované v európskych a národných strategických dokumentoch. K hlavným týmto cieľom možno zaradiť nasledovných päť strategických globálnych cieľov: [5]

1. Zaistenie ekvivalentnej dostupnosti sídiel a priemyselných zón podporujúcich hospodársky rast a sociálnu inklúziu v rámci všetkých regiónov Slovenskej republiky (v národnej i európskej mierke) prostredníctvom nediskriminačného prístupu k dopravnej infraštruktúre a službám.

2. Dlhodobý udržateľný rozvoj dopravného systému Slovenskej republiky s dôrazom kladeným na generovanie a efektívne využívanie finančných prostriedkov vo väzbe na reálne potreby používateľov.

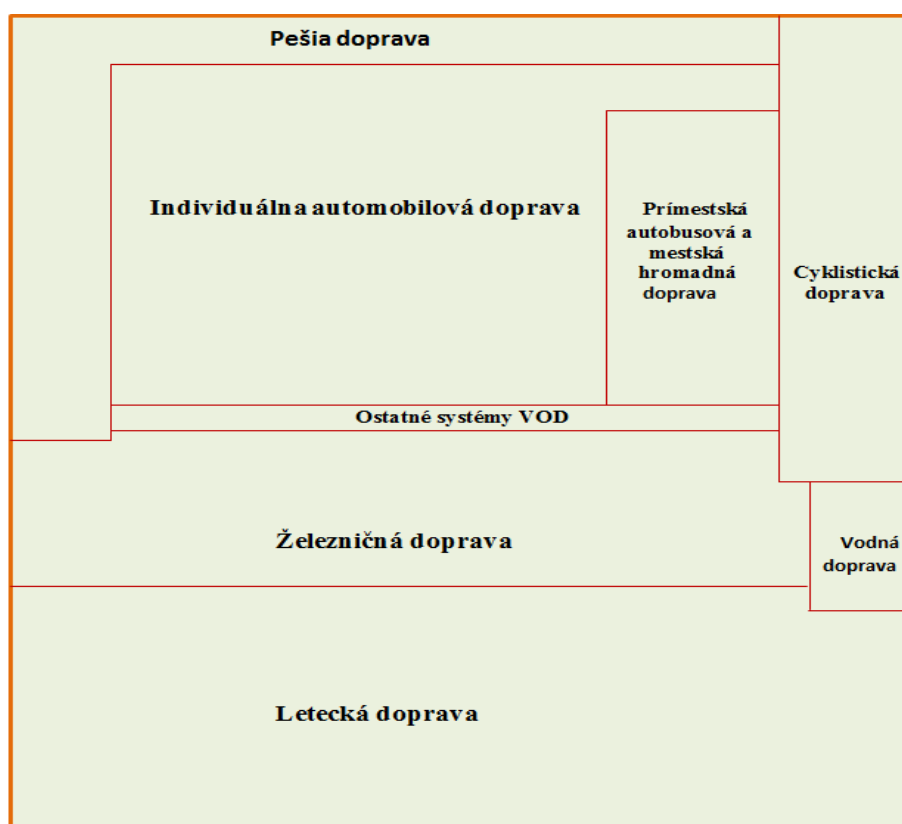
3. Zvýšenie konkurencieschopnosti dopravných módov v osobnej i nákladnej doprave (protipólov cestnej dopravy) nastavením zodpovedajúcich prevádzkových, organizačných a infraštruktúrnych parametrov vedúcich k efektívnemu integrovanému multimodálnemu dopravnému systému podporujúceho hospodárske a sociálne potreby Slovenskej republiky. Zvýšenie kvality dopravného plánovania v SR definovaním optimálnej cieľovej hodnoty delby prepravnej práce v podmienkach Slovenskej republiky a stanovenie krokov a nástrojov na jej dosiahnutie.

4. Zvýšenie bezpečnosti a bezpečnostnej ochrany dopravy vedúcej k trvalému zaistieniu bezpečnej mobility prostredníctvom bezpečnej infraštruktúry, zavádzanie nových technológií / postupov za využitia preventívnych a kontrolných mechanizmov.

5. Zníženie negatívnych environmentálnych a negatívnych socioekonomických dopadov dopravy (vrátane zmeny klímy) v dôsledku monitoringu životného prostredia, efektívneho plánovania / realizácie infraštruktúry a znižovaním počtu konvenčne poháňaných dopravných prostriedkov, resp. využívaním alternatívnych palív.

## 2.1 Rámcový náčrt množiny osobnej dopravy a postavenie železničnej dopravy v nej

Vzhľadom na problémy v rôznych oblastiach železničnej osobnej dopravy a výrazný rozvoj individuálnej automobilovej dopravy vo viacerých krajinách Európy nie je postavenie železničnej osobnej dopravy vo verejnej doprave dominantné. Rámcový náčrt, resp. schéma jednotlivých módov osobnej dopravy je znázornená prostredníctvom nasledujúcej množiny na obr. 1. Uvedená množina obsahuje jednotlivé podmnožiny, ktorých plochy reprezentujú nielen približné prepravné výkony jednotlivých módov osobnej dopravy v rámci niektorých krajín strednej Európy, ale aj približné ich postavenie a dominancia v oblasti verejnej osobnej dopravy. Hlavnou myšlienkou je upriamiť pozornosť na železničnú dopravu, ktorá je v súčasnosti mnohokrát vytláčaná z jednej strany najmä individuálnou automobilovou dopravou a z druhej strany leteckou dopravou.



Zdroj: vlastné spracovanie

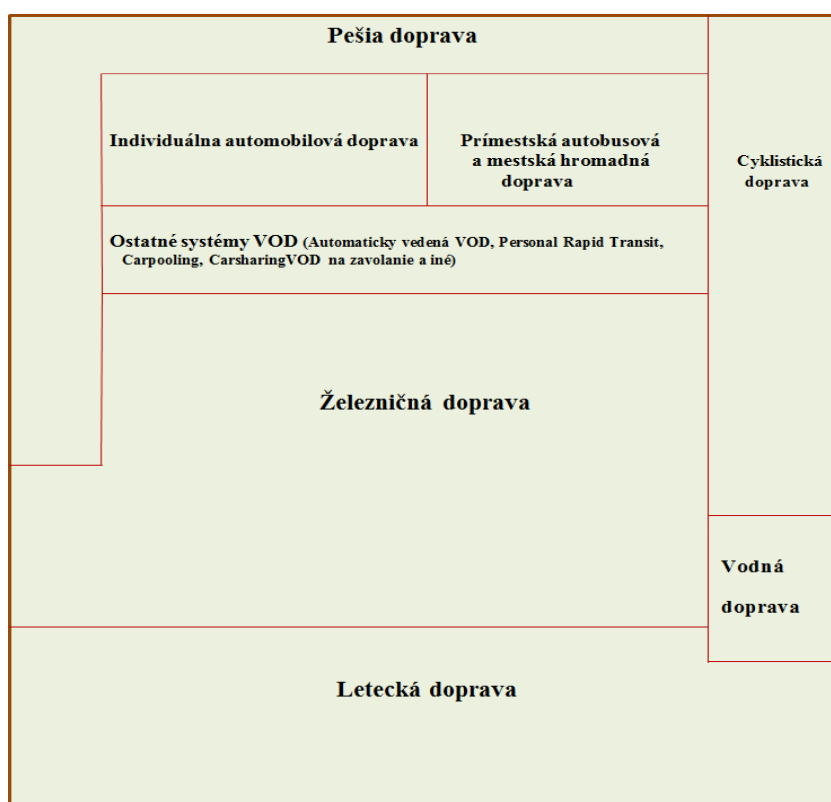
Obr. 1 . Rámcový náčrt množiny postavenia módov osobnej dopravy v súčasnosti

Najvýraznejšiu konkurenciu v doprave na kratšie vzdialenosti predstavuje cestná doprava v zastúpení prímestskej autobusovej dopravy, ale najmä individuálneho motorizmu. V doprave na dlhšie vzdialenosti je najväčšou konkurenciou letecká doprava, ktorá je pre cestujúcich výhodnejšia najmä svojimi výhodnými cenami za prepravu. Ostatné systémy verejnej osobnej dopravy vrátane pešej a cyklistickej dopravy taktiež nie sú podporované na požadovanej úrovni. Vodná osobná doprava je v súčasnosti považovaná iba za doplnkový a rekreačný druh dopravy a jej výkony sú pomerne nízke. [6,8]



## 2.2 Postavenie železničnej osobnej dopravy v sektore osobnej dopravy

Pre naplnenie vízie a implementovania jednotlivých cieľov pre rozvoj verejnej osobnej dopravy je základným cieľom globálne eliminovať individuálnu automobilovú dopravu, pričom na jej úkor by sa mala rozvíjať najmä dráhová a koľajová doprava s výraznejšou podporou pešej a cyklistickej dopravy, ako aj s ostatnými systémami verejnej osobnej dopravy. Pešiu a cyklistickú dopravu je nevyhnutné podporovať najmä budovaním kvalitných chodníkov a cyklotrás, ktoré budú vedené aj k jednotlivým železničným a autobusovým staniciam a zastávkam. Ostatné systémy verejnej osobnej dopravy by mali predstavovať najmä moderné koncepty v zastúpení automaticky vedenej verejnej osobnej dopravy, systému zdieľanej dopravy, systémov Personal Rapid Transit, Carpooling, Carsharing atď. Rámcový náčrt, resp. navrhovaná schéma optimálneho budúceho postavenia jednotlivých módov VOD. je znázornená prostredníctvom nasledujúcej množiny na obr. 2.



Zdroj: vlastné spracovanie

Obr. 2 . Rámcový náčrt množiny optimálneho postavenia módov osobnej dopravy v budúcnosti

Najmä je však nevyhnutné pozdvihnúť status železničnej osobnej dopravy, ktorá musí byť kostrou verejnej osobnej dopravy, a to v doprave na krátke vzdialenosti, kde musí byť maximálne konkurencieschopná prímestskej autobusovej i individuálnej automobilovej doprave, ďalej v doprave na stredné vzdialenosti a taktiež aj v doprave na dlhé vzdialenosti, kde je nevyhnutné nastaviť konkurencieschopné podmienky v porovnaní s leteckou dopravou. Avšak možné to bude len v prípade kvalitnej a konkurencieschopnej železničnej infraštruktúry na danom území, ako aj zabezpečenia potreby integrácie a vzájomnej koordinácie s inými druhmi dopravy. Taktiež je nevyhnutné brať do úvahy viaceré kritériá, ktoré môžu toto postavenie ovplyvniť. Ide najmä o:

- ekonomické kritériá – súvisia najmä s ekonomickou náročnosťou na prevádzku železničnej dopravy,

- technické kritériá – vyjadrujú najmä technické parametre železničných dopravných prostriedkov a infraštruktúry, ktorých kvalita môže výrazne ovplyvniť dopravnú obslužnosť železničnou dopravou, a tým aj jej postavenie v systéme verejnej osobnej dopravy,
- geografické kritériá – poukazujú na geografickú dostupnosť jednotlivých staníc a zastávok sídel s možnosťou porovnania napr. s prímestskou autobusovou dopravou,
- ostatné kritériá – k týmto kritériám možno zaradiť napr. faktory bezpečnosti, pohodlia, poskytovaných služieb a pod.

Ako ekologický druh dopravy je dôležité podporovať aj vodnú dopravu, ktorá by mohla byť viac využívaná najmä vo veľkomestách ako alternatívna mestská doprava. Táto vízia je však limitovaná infraštruktúrou a dostupnosťou vodnej dopravy v predmetných mestách, ako aj lodným parkom a schopnosťou nastavenia konkurencieschopného systému. [6,8]

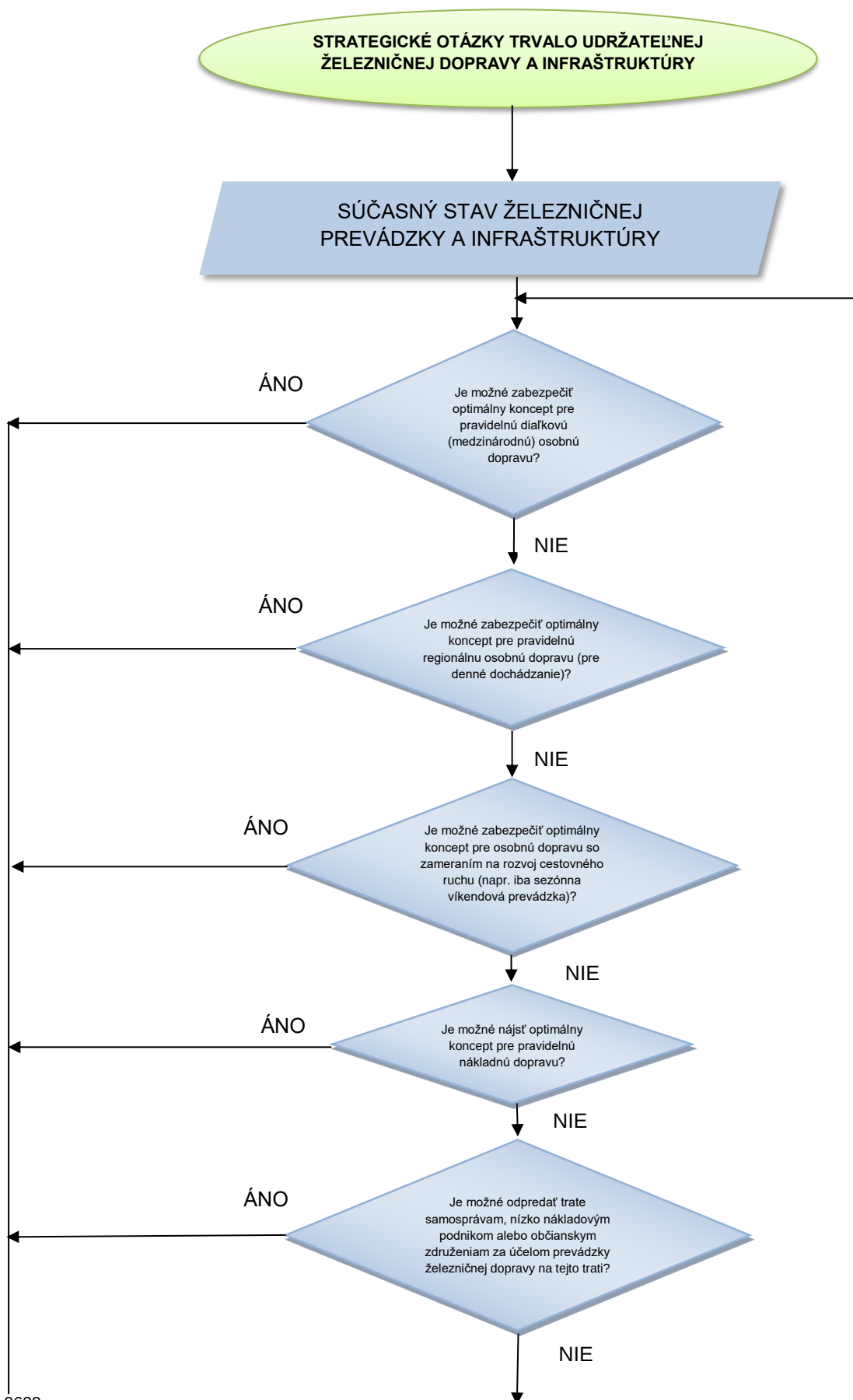
### 3 Návrh všeobecnej metodiky pre trvalo udržateľnú železničnú dopravu a infraštruktúru

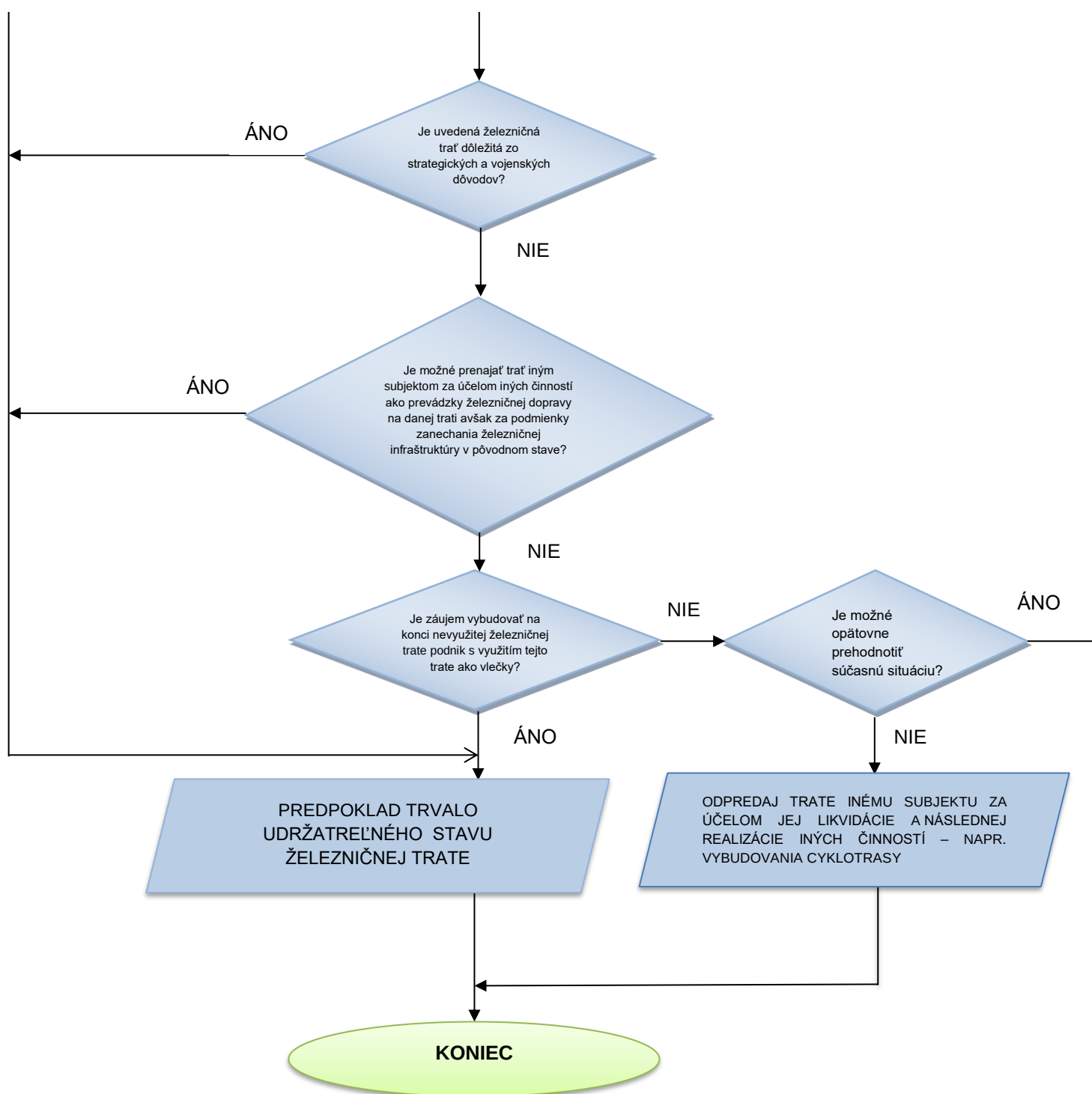
Železničná doprava z globálneho uhla pohľadu ako celok môže okrem účelu osobnej a nákladnej dopravy slúžiť aj pre iné účely. Pre vytvorenie trvalo udržateľnej železničnej dopravy ako takej vrátane železničnej infraštruktúry je nevyhnutné vypracovať viacero variantov pre jej podporu. Hlavná vízia by však mala spočívať v rozvoji medzinárodnej a vnútroštátnej a zároveň diaľkovej, regionálnej a prímestskej osobnej doprave a následne konkurencieschopnej nákladnej doprave.

V rámci praktickej aplikácie pre zachovanie jednotlivých železničných tratí by to znamenalo, že prioritne je na nich nevyhnutné nájsť optimálny koncept pre pravidelnú medzinárodnú a vnútroštátnu diaľkovú osobnú dopravu, ktorá je nadradená. Následne je dôležité systematicky podporiť pravidelnú medziregionálnu a regionálnu osobnú dopravu, ktorá bude slúžiť najmä pre denné dochádzanie cestujúcich do práce, škôl a iných zariadení. V rámci ďalšieho postupu, najmä v prípade, že nebude možné nájsť optimálny koncept pre pravidelnú osobnú dopravu, je potrebné uvažovať, či bude na danej trati možné zabezpečiť optimálny systém pre osobnú dopravu so zameraním na rozvoj turistického ruchu (napr. iba sezónna víkendová prevádzka). [9,10]

V prípade, že ani tento proces nebude úspešný, bude nevyhnutné sa orientovať výhradne na nákladnú dopravu a nájsť optimálny koncept pre jej rozvoj a pravidelnú prevádzku. Ak však ani táto vízia nebude naplnená, bude nevyhnutné uvažovať s odpredaním trate samosprávam, resp. nízko nákladovým podnikom alebo občianskym združeniam za účelom zabezpečenia prevádzky železničnej dopravy na tejto trati, ako to v súčasnosti funguje napr. na železničnej trati Trenčianska Teplá – Trenčianske Teplice. Ďalší postup bude vyplývať z posúdenia dôležitosti železničnej trate zo strategických a vojenských dôvodov, či je na danej trati možné realizovať odklonové trasy a pod. Pokiaľ však ani túto víziu nebude možné naplniť, potrebné bude uvažovať o prenájme železničnej trate iným subjektom za účelom iných činností ako prevádzky železničnej dopravy na danej trati, avšak za podmienky zanechania železničnej infraštruktúry v pôvodnom stave. Ďalšou možnosťou bude potom zaradenie trate do stavu konzervácie. V praxi to znamená, že náklady na danú trať by boli znížené na minimum, trať by nebola udržiavaná v prevádzkyschopnom stave až dovtedy, kým nebude potrebná realizácia vysokých investícií do tejto infraštruktúry. Reálnym odôvodnením tejto činnosti je potenciál vybudovania podniku na konci predmetnej trate, čím by ju bolo možné využívať ako vlečku. Po neúspešnej realizácii aj tohto variantu potom existuje už len variant odpredať trať inému subjektu za účelom jej likvidácie a následnej realizácie iných činností – napr. vybudovania cyklotrasy.

Uvedený postup by mohol byť nosným prvkom metodiky pre rozvoj a zachovanie trvalo udržateľnej prevádzky železničnej dopravy a železničnej infraštruktúry. Uvedená metodika by mala tvoriť základ koncepcie trvalo udržateľnej železničnej dopravy i infraštruktúry, ktorá by mala byť všeobecne uplatniteľná nielen v rámci Slovenskej republiky, ale aj v rámci ostatných nielen európskych krajín. Hlavné princípy vyššie uvedeného postupu sú uvedené v nasledujúcom vývojovom diagrame na obr. 3. [10]





Zdroj: vlastné spracovanie na základe [10]

Obr. 3 Strategické otázky trvalo udržiateľnej železničnej dopravy a infraštruktúry

## 4 Záver

Pre podporu verejnej osobnej a nemotorovej dopravy a najmä železničnej dopravy ako hlavného dopravného systému je prioritne nevyhnutné detailne poznať jej súčasný stav. Následne je veľmi dôležité zdefinovať stav, ako by to malo vyzeráť v budúcnosti. Uvedený príspevok ponúka rámcový náčrt súčasného stavu i budúceho navrhovaného postavenia jednotlivých dopravných módov v osobnej doprave. V druhej kapitole je navrhnutá metodika, ktorá by mala komplexne pomôcť železničnej doprave, aby sa dostala do trvalo udržateľného stavu v súčasnosti i budúcnosti. Dosiahnuť to je možné efektívnym využitím tejto všeobecne uplatniteľnej metodiky na železničných tratiach jednotlivých manažérov železničnej infraštruktúry.

## 5 Literatúra

- [1] HUISMAN, D. – KROON, L. – LENTINK, R. – VROMANS, M. Operations research in passenger railway transportation. 2005. Vol. 59, nr. 4, s. 467–497. [cit. 2018- 11- 21] Dostupné na internete: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1467-9574.2005.00303.x>
- [2] SMITH, R. A. Railways: How they may contribute to a sustainable future. 2003. Vol. 217, nr. 4, s. 243 – 248 [cit. 2018- 11- 18] Dostupné na internete: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1243/095440903322712847>
- [3] Ministerstvo dopravy a výstavby SR. Strategický plán rozvoja dopravy SR do roku 2030, [online]. 2017. 29 s.
- [4] Biela kniha. Plán jednotného európskeho dopravného priestoru - Vytvorenie konkurencieschopného dopravného systému efektívne využívajúceho zdroje. KOM /2011/144. [online] Brusel, 2011. 32 s. Dostupné na internete:
- [5] Ministerstvo dopravy a výstavby SR. Verejná osobná doprava 2030, [online]. 2017. 90 s.
- [6] DANĚK, R. Postavení veřejné železniční dopravy v regionech : dizertačná práca. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2008. 125 s.
- [7] ČECHOVIČ, L. Návrh radenia vlakov dopravcu Regiojet, a.s. : diplomová práca. Žilina : Žilinská univerzita, 2018. 72 s.
- [8] DRDLA, P.: Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu. 1. vyd. 2014. s. 412. [cit. 2018- 11- 10]
- [9] DEDÍK, M. - GAŠPARÍK, J. - ZÁHUMENSKÁ, Z. Quality assessment in the logistics of rail passenger transport. In LOGI 2017. České Budějovice: 2017. [cit. 2018- 11- 15]
- [10] FILO, J. Rozvoj železničnej dopravy, alebo čo s „nepotrebnými“ traťami. 2015. [cit. 2018- 11- 20] Dostupné na internete: <http://www.veterany.eu/2015/01/22/aktualne-rozvoj-zeleznicnej-dopravy-lebo-co-s-repotrebnymi-tratami/>

# JAZDNÉ ODPORY A SPOTREBA PALIVA

## Autori:

Vladimír Rievaj<sup>1</sup>, Ján Gaňa<sup>2</sup>, František Synák<sup>3</sup>,

## Tituly a pôsobisko autorov:

<sup>1</sup>doc.Ing. Vladimír Rievaj, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, FPEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 1, Žilina, 010 26, Slovenská republika, E-mail: vladimir.rievaj@fpedas.uniza.sk

<sup>2</sup>Ing. Ján Gaňa, Žilinská univerzita v Žiline, FPEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 1, Žilina, 010 26, Slovenská republika, E-mail: gana@bte.sk

<sup>3</sup>Ing. František Synák, Žilinská univerzita v Žiline, FPEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 1, Žilina, 010 26, Slovenská republika, E-mail: frantisek.synak@fpedas.uniza.sk

**Abstrakt:** Znižovaním spotreby paliva je možné znižovať spotrebu neobnoviteľných zdrojov energie i produkciu škodlivých emisií výfukových plynov vozidiel so spaľovacími motormi. Znižovať spotrebu paliva je možné i znižovaním jazdných odporov vozidiel. V prvej časti článku sú popísané jednotlivé jazdné odpory, mechanizmy ich vzniku a ich možné dopady na spotrebu paliva. Druhá časť článku obsahuje výsledky meraní vplyvu jazdných odporov na spotrebu paliva počas prevádzky vozidla na pozemných komunikáciách.

**Kľúčové slová:** emisie, jazdné odpory, spotreba paliva, skleníkové plyny

**JEL:** R41

## DRIVING RESISTANCES AND FUEL CONSUMPTION

**Abstract:** By a reduction of fuel consumption, it is possible to reduce the consumption of non-renewable source of energy as well as the production of harmful emissions from the exhaust gases of vehicles with combustion engines. When reducing vehicles' driving resistances, the fuel consumption can also be reduced. The first part of the article describes particular driving resistances, mechanisms of their creation and their potential impacts on fuel consumption. The second part of the article contains the measurement results of how does the driving resistances affect the fuel consumption during vehicle operation on the roads.

**Keywords:** emissions, driving resistances, fuel consumption, greenhouse gases

## 1 Úvod

Svetová klíma sa neustále otepľuje a medzi hlavné príčiny je radené zvyšovanie podielu CO<sub>2</sub> v atmosfére [1]. Množstvo tohto skleníkového plynu narastá v dôsledku činnosti ľudstva. Ak chceme zmierniť nárast priemernej teploty, je potrebné výrazne obmedziť produkciu skleníkových plynov. Za jedného z hlavných producentov CO<sub>2</sub> je považovaná doprava [2]. Doprava je však nevyhnutným základom pre udržanie rozvoja spoločnosti a jej obmedzenie by znamenalo obmedziť aj rozvoj ekonomiky, prípadne až jej pokles. Ľudstvo musí hľadať riešenia, ktoré spôsobia pokles produkcie skleníkových plynov, ale zároveň výrazne neobmedzia mobilitu obyvateľstva ani prepravu tovaru. Riešenie je zakódované v technickom pokroku, ale aj v lepšej organizácii dopravy. Účelom článku je poukázať na vplyvy pôsobiace na veľkosť spotreby paliva osobných vozidiel. Osobné vozidlá majú veľký podiel z celkovo evidovaných motorových vozidiel. Skladbu evidovaných vozidiel evidovaných na Slovensku poskytuje Tabuľka 1.

Tabuľka 5 Evidované vozidlá na Slovensku k 31.8.2018 [3]

| Druh vozidla                                                                               | Počet evidovaných vozidiel | Percentuálny podiel z motorových vozidiel |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
| Autobusy spolu                                                                             | 9 093                      | 0,32                                      |
| Motocykle spolu                                                                            | 139 540                    | 4,85                                      |
| Nákladné automobily a ťahače                                                               | 346 910                    | 12,05                                     |
| Osobné automobily                                                                          | 2 295 345                  | 79,70                                     |
| Ostatné motorové vozidlá (traktory, pracovné stroje, špeciálne vozidlá, štvorkolky a pod.) | 88653                      | 3,08                                      |
| Vozidlá vybavené motorom spolu                                                             | 2 879 541                  | 100,00                                    |
| Návesy, prívesy                                                                            | 293 092                    | /                                         |

Osobné vozidlá majú menšiu spotrebu paliva a menší ročný nábeh kilometrov v porovnaní s vozidlami nákladnými, ale v celkovej spotrebe paliva a tým i produkcii emisií sú porovnateľné. Každý spotrebovaný liter benzínu znamená, že sa do ovzdušia dostane 2,5 kg CO<sub>2</sub>, pri naftě až 2,7 kg [4]. Ak chceme znížiť produkciu CO<sub>2</sub>, je potrebné hľadať možnosti znižovania spotreby pohonných hmôt. Tento článok je venovaný možnostiam zníženiu spotreby paliva znížením jazdných odporov vozidla.

## 2 Teoretické výpočty vplyvu jazdných odporov na spotrebu paliva

Motor vozidla musí pri jazde prekonať jazdné odpory. Čím vyššie hodnoty jazdné odpory dosahujú, tým väčší výkon musí motor vozidla poskytovať a s tým rastie aj spotreba paliva [5]. Pokiaľ je vozidlo v pohybe, tak naň vždy pôsobí odpor vzduchu a odpor valenia. K týmto odporom sa pričleňuje odpor stúpania a odpor zotrvačnosti pri zmene rýchlosti.

### Odpor valenia

Veľkosť odporu valenia závisí od hmotnosti vozidla a samozrejme od použitých pneumatík a starostlivosti o pneumatiky [5]. Odpor valenia je možné stanoviť na základe nasledujúcej rovnice:

$$O_f = m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$O_f$  je odpor valenia [N],  
 $m$  je hmotnosť vozidla [kg],  
 $g$  je gravitačné zrýchlenie [9,81 m.s<sup>-2</sup>],  
 $f$  je súčiniteľ odporu valenia [-],  
 $\alpha$  je sklon pojazdovej roviny [°] [6]

Podľa smernice EÚ každá pneumatika musí byť zaradená do určitej kategórie A – G [8]. Každý kategórii je pridelený určitý rozsah súčiniteľa odporu valenia. Hodnoty súčiniteľa odporu valenia sú uvedené v Tabuľke 2.



Tabuľka 6 Súčiniteľ odporu valenia [8]

| Pneumatiky C1             | Pneumatiky C2            | Pneumatiky C3           |                               |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| RRC [kg/t]                | RRC [kg/t]               | RRC [kg/t]              | Trieda energetickej účinnosti |
| $RRC \leq 6,5$            | $RRC \leq 5,5$           | $RRC \leq 4,0$          | A                             |
| $6,6 \leq RRC \leq 7,7$   | $5,6 \leq RRC \leq 6,7$  | $4,1 \leq RRC \leq 5,0$ | B                             |
| $7,8 \leq RRC \leq 9,0$   | $6,8 \leq RRC \leq 8,0$  | $5,1 \leq RRC \leq 6,0$ | C                             |
| prázdny                   | prázdny                  | $6,1 \leq RRC \leq 7,0$ | D                             |
| $9,1 \leq RRC \leq 10,5$  | $8,1 \leq RRC \leq 9,2$  | $7,1 \leq RRC \leq 8,0$ | E                             |
| $10,6 \leq RRC \leq 12,0$ | $9,3 \leq RRC \leq 10,5$ | $RRC \geq 8,1$          | F                             |
| $RRC \geq 12,1$           | $RRC \geq 10,6$          | prázdny                 | G                             |

Vplyv na veľkosť odporu valenia má voľba vhodnej pneumatiky a hmotnosť vozidla. Vozenie zbytočnej záťaže spôsobuje nárast spotreby paliva. Ak motor ľubovoľne vybraného vozidla spotrebuje 300 g paliva na 1 kWh a merná hmotnosť benzínu je  $0,745 \text{ kg.dm}^{-3}$  a na vozidle sú namontované pneumatiky kategórie E a priemerná hodnota súčiniteľa odporu valenia pre pneumatiku zaradenú v tejto kategórii  $f = 0,0098$ , tak na prepravenie každých 100 kg hmotnosti nákladu alebo „mŕtvej“ hmotnosti vozidla na vzdialenosť 100 km znamená zvýšenú spotrebu o 0,0031 litrov paliva.

Vplyv voľby pneumatík na spotrebu paliva potrebného na prekonanie odporu valenia poskytuje Tabuľka 3. Pri výpočtoch je uvažované s mernou spotrebou paliva  $300 \text{ g.kWh}^{-1}$ . Ročný výkon vozidla 8 000 km a životnosť pneumatiky 50 000 km. Hmotnosť vozidla 1350 kg a cena za 1 liter paliva 1,374 €. Pri výpočte je uvažované so spotrebou paliva potrebnou na prekonanie odporu valenia, s ostatnými jazdnými odpormi nie je uvažované.

Tabuľka 7 Spotrebované palivo na prekonanie odporu valenia pre pneumatiky 195/65R16

| Pneumatika |             |              |                            | Ročne                 |                    | Za životnosť pneumatiky |                    |
|------------|-------------|--------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Druh       | Cena [Euro] | ø RRC        | Priľnavosť na mokrej ceste | Spotreba a palivo [l] | Cena za palivo [€] | Spotreba a palivo [l]   | Cena za palivo [€] |
| Zimná      | 53,71       | E<br>0,0098  | E                          | 33,12                 | 45,51              | 207,0                   | 284,42             |
|            | 67,45       |              | C                          |                       |                    |                         |                    |
|            | 103,31      |              | B                          |                       |                    |                         |                    |
|            | 64,39       |              | C                          |                       |                    |                         |                    |
| Letná      | 53,24       | B<br>0,00715 | A                          | 24,16                 | 33,20              | 151,0                   | 207,51             |
|            | 92,55       | E            | C                          | 33,12                 | 45,51              | 207,0                   | 284,42             |
|            | 62,57       | 0,0098       | C                          |                       |                    |                         |                    |
| Celoročná  | 103,68      | C<br>0,0084  | A                          | 28,39                 | 39,01              | 177,4                   | 243,79             |

Ako z Tabuľky 3 vyplýva, pneumatiky sa predávajú za rôznu cenu a dosahujú rozdielne prevádzkové vlastnosti. Pri výbere pneumatík je možné usporiť za ich životnosť až 56 litrov benzínu, čo predstavuje 140 kg CO<sub>2</sub>. Pri aplikácii na všetky osobné vozidlá evidované v SR je to 321348,3 ton CO<sub>2</sub>.

Vhodný výber pneumatík má vplyv aj na bezpečnosť cestnej premávky. Pri brzdení z rýchlosti 80 km.h<sup>-1</sup> na mokrom povrchu môže byť rozdiel v brzdnnej dráhe až 18 m.

### Odpor vzduchu

Odpor vzduchu je druhý odpor jazdy, ktorý sa vždy objavuje, pokiaľ je vozidlo v pohybe. Jeho veľkosť je možné stanoviť pomocou nasledujúcej rovnice:

$$O_v = 0,5 \cdot \rho \cdot c_x \cdot S \cdot v^2 \quad (2)$$

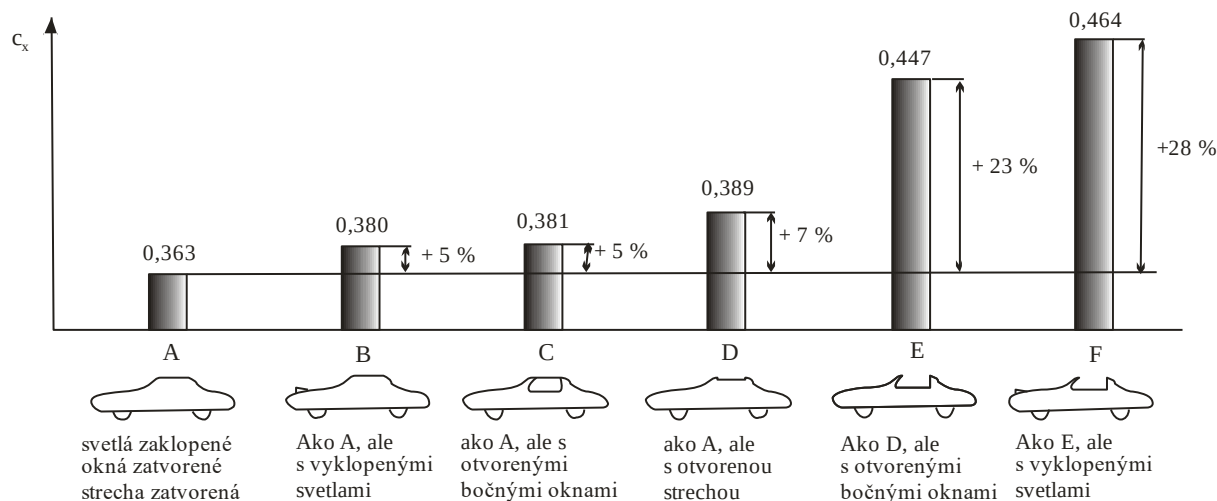
$\rho$  je merná hmotnosť vzduchu. 1,29 kg/m<sup>3</sup> pri 0 °C a tlaku 0,101325 MPa,

$c_x$  je súčiniteľ tvaru telesa [-],

$S$  je veľkosť čelnej plochy vozidla [m<sup>2</sup>],

$v$  je rýchlosť jazdy vozidla [m/s] [7].

Odpor vzduchu sa mení s druhou mocninou rýchlosti, ktorá jeho veľkosť ovplyvňuje výrazným spôsobom. Ak ostatné jazdné odpory vozidla остану nezmenené, tak zvýšenie rýchlosti jazdy z 50 km.h<sup>-1</sup> na 90 km.h<sup>-1</sup> znamená nárast odporu vzduchu 3,24 krát a pri zvýšení rýchlosti na 130 km/h sa odpor vzduchu zvýši 6,76 krát. Významný vplyv má aj zmena teploty a tlaku vzduchu. Zvýšenie teploty z 0 °C na 35 °C, znamená pokles odporu vzduchu o 11,36 %. Dôležitá je zmena súčiniteľa odporu vzduchu v dôsledku zmeny tvaru. Vplyv zmien tvaru telesa na zmenu súčiniteľa odporu vzduchu poskytuje Obr. 1.



Obr. 11 Vplyv zmeny tvaru karosérie vozidla na veľkosť súčiniteľa odporu vzduchu

[9]

### Odpor stúpania

Odpor stúpania sa objavuje vždy, keď sa vozidlo pohybuje do stúpania. Odpor stúpania je zložka rozkladu tiaže vozidla, ktorá je rovnobežná s pojazdovou rovinou. Práca, ktorú motor vozidla vynaloží na jej prekonanie sa akumuluje vo forme nadobudnutej potenciálnej energie. Potencionálna energia sa pri jazde dolu svahom opäť premieňa na energiu využitú na prekonanie odporu valenia a zotrvačnosti za predpokladu,

že vozidlo jazdí po priamej ceste a nie je potrebné spomaľovať vozidlo odľahčovacími alebo prevádzkovými brzdami. Veľkosť odporu stúpania je možné stanoviť pomocou nasledujúcej rovnice:

$$O_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

$m$  je hmotnosť vozidla [kg],

$g$  je gravitačné zrýchlenie [9,81 m.s<sup>-2</sup>],

$\alpha$  je sklon pojazbovej roviny [°] [7].

### Odpor zotrvačnosti

V prípade úmyslu zmeniť pohybový stav telesa je potrebné na teleso pôsobiť určitou silou, ktorej veľkosť sa určuje ako násobok jeho hmoty v kg a zrýchlenia telesa v m.s<sup>-2</sup>. U automobilov sa však okrem priamočiareho zrýchlenia telesa uskutočňuje aj zmena uhlovej rýchlosti rotujúcich hmôt. Veľkosť odporu zotrvačnosti je možné určiť pomocou nasledujúcej rovnice:

$$O_a = m \cdot a \cdot \delta \quad (4)$$

$m$  je hmotnosť vozidla [kg],

$a$  je zrýchlenie telesa [m.s<sup>-2</sup>] [7],

$\delta$  je súčiniteľ vplyvu rotujúcich hmôt, zohľadňujúci vplyv rotujúcich hmôt motora, spojky, prevodovky, rozvodovky, hriadeľov, brzdových kotúčov a kolies vozidla [-]

Odpor zotrvačnosti sa mení s veľkosťou zrýchlenia a skokom so zmenou prevodového stupňa. Energia vynaložená na prekonanie odporu zotrvačnosti sa akumuluje vo forme kinetickej energie [10].

### Vplyv používania klimatizácie na spotrebu paliva

Popísané jazdné odpory je možné teoreticky vypočítať, ale v reálnej premávke dochádza k zmene rýchlosti, stúpaniu a klesaniu a často aj k zmareniu kinetickej energie v brzdách vozidla, kde sa premení na energiu tepelnú. Skutočné vplyvy na spotrebu vozidla je možné určiť len meraním v reálnej premávke. Na meranie bolo použité vozidlo Suzuki SX4, 1,6 VVT. Spotreba paliva bola stanovená pomocou palubného počítacza, ktorého presnosť bola overená praktickou skúškou. Vozidlo bolo používané v bežnej premávke a boli zapisované údaje o odjazdených kilometroch a údaje palubného počítacza boli porovnávané na základe skutočne natankovaného množstva paliva. Údaje sú zhrnuté v Tabuľke 4.

Tabuľka 8 Overenie presnosti palubného počítacza

| Odjazdené km     |       | Natankované množstvo paliva |           | Priemerná spotreba paliva [l.100 km <sup>-1</sup> ] |          | Odchýlka [l.100 km <sup>-1</sup> ] |
|------------------|-------|-----------------------------|-----------|-----------------------------------------------------|----------|------------------------------------|
| Medzi tankovaním | Spolu | Jednorazovo [l]             | Spolu [l] | Palubný počítacz                                    | Výpočtom |                                    |
| 494              | 494   | 32,26                       | 32,26     | 6,3                                                 | 6,53     | +023                               |
| 518              | 1012  | 34,40                       | 66,66     | 6,3                                                 | 6,59     | +029                               |
| 645              | 1657  | 42,84                       | 109,50    | 6,3                                                 | 6,61     | +0,31                              |
| 490              | 2147  | 30,50                       | 140,00    | 6,3                                                 | 6,52     | +0,21                              |
| 580              | 2727  | 39,11                       | 179,11    | 6,3                                                 | 6,57     | +0,27                              |
| 219              | 2946  | 15,05                       | 194,16    | 6,3                                                 | 6,59     | +0,29                              |
| 476              | 3422  | 30,46                       | 224,62    | 6,3                                                 | 6,56     | +0,26                              |
| 463              | 3885  | 29,7                        | 254,32    | 6,3                                                 | 6,55     | +0,25                              |
| 558              | 4443  | 38,57                       | 292,89    | 6,3                                                 | 6,59     | +0,29                              |
| 503              | 4946  | 34,7                        | 327,59    | 6,3                                                 | 6,62     | +0,32                              |
| 498              | 5444  | 27,66                       | 355,25    | 6,3                                                 | 6,53     | +0,23                              |
| 508              | 5952  | 38,75                       | 394,00    | 6,3                                                 | 6,62     | +0,32                              |

Skutočná spotreba paliva v priebehu overovania presnosti palubného počítacza sa pohybovala od + 0,21 do + 0,32 litra na 100 km. Priemerná odchýlka bola + 0,27 litra na 100 km. Táto hodnota bola používaná ako korekcia pri zisťovaní spotreby paliva.

Vplyv prevádzkových podmienok bol meraný počas jazdy po diaľničnom úseku, po regionálnej ceste. Na diaľnici bol použitý tempomat, ktorý vylúčil vplyv zmeny rýchlosti jazdy. Výsledky merania sú uvedené v Tabuľke 5. Vozidlo bolo vybavené manuálnou klimatizáciou, čo znamená, že kompresor klimatizácie dáva vždy pri zapnutej klimatizácii plný výkon a výsledná teplota v interiéri vozidla je dosahovaná primiešavaním teplého vzduchu.

**Tabuľka 9 Vplyv typu cesty, otvorených okien, klimatizácie, teploty okolia a rýchlosti jazdy na spotrebu paliva**

| Teplota vzduchu | Typ cesty                       | Obsadené jednou osobou                      |                                                   |                                                   |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                 |                                 | Zatvorené okná<br>[l.100 km <sup>-1</sup> ] | Otvorené okno vodiča<br>[l.100 km <sup>-1</sup> ] | Zapnutá klimatizácia<br>[l.100 km <sup>-1</sup> ] |
| 32 °C           | Diaľnica/105 km.h <sup>-1</sup> | 5,47                                        | 5,57                                              |                                                   |
|                 | Diaľnica/115 km.h <sup>-1</sup> | 5,97                                        | 6,07                                              | 6,47                                              |
|                 | Diaľnica/125 km.h <sup>-1</sup> | 7,07                                        | 7,27                                              |                                                   |
|                 | Regionálna                      | 5,07                                        | 5,07                                              | 5,97                                              |

Počas jazdy s vypnutou klimatizáciou a otvoreným oknom bolo otvorené okno vodiča na 50 %. Meranie bolo uskutočnené na rovnakom úseku a po dosiahnutí požadovanej rýchlosti. Ak bolo treba meniť rýchlosť jazdy v dôsledku dopravnej situácie, meranie bolo anulované. Pri jazde po diaľnici tak motor vozidla musel prekonávať len odpor valenia a odpor vzduchu. Odpor vzduchu sa menil s druhou mocninou rýchlosti, zatiaľ čo zmena odporu valenia bola nižšia ako lineárna. Z výsledkov meraní na diaľnici je zjavný nárast spotreby paliva s rýchlosťou jazdy. Zatiaľ čo rýchlosť narastala o 10 km.h<sup>-1</sup>, nárast spotreby paliva bol výraznejší, a to 0,5 l, resp. 1,2 l/100 km. Zmena spotreby paliva môže súvisieť aj so zmenou otáčok motora a jeho zaťaženia, kde motor vozidla mohol pracovať v oblasti s rozdielnou mernou spotrebou paliva. Pri vypočítaní energetickej náročnosti jazdy pri zatvorených oknách a po započítaní mechanických strát motor vozidla dosahoval mernú spotrebu paliva 348,5 g.kWh<sup>-1</sup> pri rýchlosti 105 km.h<sup>-1</sup>, 320,4 g.kWh<sup>-1</sup> pri rýchlosti 115 km.h<sup>-1</sup> a 330,1 g.kWh<sup>-1</sup> pri rýchlosti 125 km.h<sup>-1</sup>. Pri jazde po regionálnej ceste došlo k poklesu spotreby paliva. Tento pokles súvisí s tým, že maximálna rýchlosť jazdy je obmedzená na 90 km.h<sup>-1</sup>. Vzhľadom na zníženie rýchlosti jazdy by bolo možné očakávať vyššie zníženie spotreby paliva, ale pri jazde po regionálnej ceste už dochádzalo k zmene rýchlosti jazdy. To znamená, že okrem odporu vzduchu a valenia sa tu objavuje aj odpor zotrvačnosti.

Pri zapnutej klimatizácii došlo k nárastu spotreby paliva. Pri jazde po diaľnici o 0,5 l.100 km<sup>-1</sup> a pri jazde po regionálnej ceste klimatizácia zvýšila spotrebu paliva o 0,9 l.100 km<sup>-1</sup>. Pri klimatizácii nie je vhodné prepočítavať spotrebu na ubehnutú vzdialenosť, ale na čas prevádzky. Spotreba paliva udávaná na čas prevádzky poskytuje predstavu o spotrebe paliva bez ohľadu na to, či sa vozidlo pohybuje v mestskej premávke priemernou rýchlosťou 5 km.h<sup>-1</sup>, alebo po diaľnici priemernou rýchlosťou 130 km.h<sup>-1</sup>. Ak sa nárast spotreby paliva vydelený časom potrebným na ubehnutie dráhy 100 km, tak pri jazde po diaľnici nárast spotreby z dôvodu zapnutej klimatizácie je 0,435 l.hod.<sup>-1</sup> a pri regionálnej doprave, ak je uvažované s priemernou rýchlosťou jazdy 70 km.h<sup>-1</sup> je táto spotreba paliva 0,54 l.hod.<sup>-1</sup>. Z tabuľky 5 možno vidieť, že nárast spotreby paliva pri jazde s otvoreným oknom je nižší ako pri použití klimatizácie, pričom tepelná pohoda posádky je porovnateľná. Nevýhodou je zvýšená hlučnosť vo vnútri vozidla.

Na zmenu spotreby paliva má vplyv aj teplota vzduchu. Informácia vyplynie porovnaním spotreby paliva z Tabuľky 5, kde merania boli vykonané pri 32 °C a Tabuľky 6, kde boli merania uskutočnené pri teplote 15 °C. V prípade porovnávania spotreby paliva pri nižšej teplote sa prejavilo aj zvýšenie spotreby paliva vo všetkých režimoch jazdy. Na meranie bolo použité rovnaké vozidlo s rovnakými pneumatikami. Nárast spotreby paliva pri jazde po diaľnici predstavuje 5%, ale nárast odporu vzduchu v dôsledku vyššej

mernej hmotnosti vzduchu je až 5,8 %. Rozdiel je v dôsledku toho, že pri jazde po diaľnici sa objavoval aj odpor valenia, ktorý sa s teplotou výrazne nemení. Pneumatiky boli pred meraním zahriate na prevádzkovú teplotu.

### Vplyv zaťaženia vozidla na spotrebu paliva

Na rovnakých trasách, aké sú uvedené i v predchádzajúcej časti príspevku, bol meraný i vplyv zaťaženia vozidla na spotrebu paliva. Tabuľka 6 poskytuje informáciu o zmene spotreby paliva v dôsledku zvýšeného zaťaženia.

*Tabuľka 10 Vplyv zmeny zaťaženia vozidla na spotrebu paliva*

| Teplota vzduchu | Typ cesty         | Zatvorené okná<br>[l.100 km.h <sup>-1</sup> ] | Zaťaženie +120kg<br>[l.100 km.h <sup>-1</sup> ] |
|-----------------|-------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 15 °C           | Diaľnica 115 km/h | 6,27                                          | 6,47                                            |
|                 | Regionálna cesta  | 5,67                                          | 5,97                                            |
|                 | Mesto             | 5,87                                          | 6,57                                            |

Ako je možné pozorovať v tabuľke 6, počas každého merania bola nameraná zvýšená spotreba paliva vplyvom zvýšenia hmotnosti vozidla. Najväčší prírastok spotreby paliva pri jazde po regionálnej ceste a pri premávke v meste je spôsobený tým, že tu sa objavuje aj odpor zotrvačnosti, lebo vozidlo menilo svoju rýchlosť jazdy. V meste dochádza k častejším zmenám rýchlosti.

## 3 Záver

Na prekonanie jazdných odporov musí motor vozidla vynaložiť určitú prácu. Pre vynaloženie určitého množstva práce je potrebné dodať motoru určité množstvo energie, obsiahnutej v palive. Znížením jazdných odporov je možné znížiť prísun paliva a taktiež znížiť množstvo vyprodukovaných emisií. Taktiež je možné znížením jazdných odporov znížiť i náklady na nákup pohonných hmôt. Uvedené tvrdenie bolo potvrdené teoretickými výpočtami, i vykonanými meraniami. Počas opakovaní meraní uvedených v tomto článku by sa namerané hodnoty mohli líšiť. Príčinou zmeny hodnôt by mohli byť boli rozdielne atmosférické podmienky, zmena dopravnej situácie, rozdielne stláčanie pedála akceleračného a mnoho ďalších faktorov. Dosiahnutie rovnakých nameraných hodnôt by bolo možné iba meraním v laboratórnych podmienkach. Presnosť merania spotreby paliva palubným počítačom a v cestnej premávke nedosahuje presnosť merania palivovým prietokomerom a v laboratórnych podmienkach [11]. Napriek tomu bolo pri každom meraní preukázané, že znížením jazdných odporov sa dosahuje i zníženie spotreby paliva.

## 4 Literatúra

- [1] Santos, G. Road transport and CO2 emissions: What are the challenges?. Transport Policy, 59, pp.71-74. DOI: 10.1016/j.tranpol.2017.06.007
- [2] SKRÚCANÝ, T. - KENDRA, M. - KALINA, T. - JURKOVIČ, M. - VOJTEK, M. - SYNÁK, F. Environmental Comparison of Different Transport Modes. In Naše more . 2018. Vol. 65, no. 4, s. 192-196. .
- [3] [www.minv.sk](http://www.minv.sk)
- [4] RIEVAJ, V. - SYNÁK, F. Does electric car produce emissions?. In Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport . 2017. Vol. 94, s. 187-197.

- [5] VRÁBEL, J. – STOPKA, O. – RIEVAJ, V. – ŠARKAN, B. – PRUSKOVÁ, K. – MICHALK, P., Measuring the resistance of tires for passenger vehicle against the rolling and sliding on loading area of the flatbed truck when providing the transport services. In: Communications - Scientific Letters of the University of Zilina. 2016. Vol. 18,
- [6] MASHADI, B. - EBRAHIMI-NEJAD, S. - ABBASPOUR, M. A rolling resistance estimate using nonlinear finite element numerical analysis of a full three-dimensional tyre model. In Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering . 2018. Vol. 233, no. 1, s. 147-160. .
- [7] SYNÁK, F. – RIEVAJ, V., The Impact of Driving Resistances of a Vehicle on Global Pollution. In Globalization and its Socio-Economics Consequences, 2017, 17 th International Scientific Conference,
- [8] NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 1222/2009 z 25. novembra 2009 o označovaní pneumatík vzhľadom na palivovú úspornosť a iné základné parametre
- [9] WONG, J. Y. Theory of Ground Vehicles. Department: Engineering – Mechanical, Carleton University, Ottawa, Canada. ISBN 978-0-470-17038-0
- [10] SKRÚCANÝ, T. - SEMANOVÁ, Š. - KENDRA, M. - FIGLUS, T. - VRÁBEL, J. Measuring of mechanical resistance of a heavy good vehicle by coastdown test. In Advances in Science and Technology Research Journal . 2018. Vol. 12, no. 2, s. 214-221. .
- [11] ŠARKAN, B. - STOPKA, O. Quatification of road vehicle performance parameters under laboratory conditions. In Advances in Science and Technology Research Journal . 2018. Vol. 12, no. 3, s. 16-23.

## PodĎakovanie

Príspevok bol pripravený za podpory grantu:

**VEGA č. 1/0436/18 - Externality v cestnej doprave, vznik, príčiny a ekonomické dopady dopravných opatrení.**

Tato štúdia/publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt:

**Centrum excelentnosti pre systémy a služby inteligentnej dopravy II.,** ITMS 26220120050  
spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



"Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ"