

ZWIĄZKI POMIĘDZY WARUNKAMI PRACY POJAZDU A PARAMETRAMI ROZRUCHU SILNIKA SPALINOWEGO

THE CONNECTIONS BETWEEN THE VEHICLE OPERATION CONDITIONS AND THE IC ENGINE START-UP PARAMETERS

Określanie związków pomiędzy wybranymi parametrami rozruchu silnika spalinowego, a warunkami eksploatacji pojazdu (wynikającymi z organizacji jego pracy w danym systemie transportu) wydaje się interesujące z naukowego, ale także z praktycznego punktu widzenia. Pozwoli to bowiem na znalezienie czynników w zbiorze warunków eksploatacji pojazdu, które umożliwią „sterowanie” parametrami rozruchu silnika spalinowego.

Niniejszy artykuł prezentuje wyniki przebiegowych badań eksploatacyjnych samochodu. Pozwoliły one na identyfikację warunków jego eksploatacji oraz parametrów pracy i rozruchu silnika spalinowego. Na ich podstawie przeprowadzono następujące statystyczne analizy: korelacji, regresji oraz analizę kanoniczną, które pozwoliły na określenie związków pomiędzy warunkami pracy samochodu a wybranymi parametrami rozruchu jego silnika spalinowego.

Słowa kluczowe: badania eksploatacyjne, rozruchy silnika, analiza kanoniczna

Describing the connections between some chosen start-up parameters and the vehicle maintenance conditions, which are the results of the vehicle work organisation in the transport system, is very interesting from the scientific and the practical points of view. It allows us to find factors in the group of the vehicle maintenance conditions that enable to “control” the engine start-up parameters.

This article presents the results of the traction operational tests of the vehicle. These researches permit to identify the vehicle maintenance conditions and the engine work and the start-up parameters. of such researches. Basing on them the following statistics analysis were conducted: correlation, regression and canonical. These analysis allowed us to define the connections between the vehicle work conditions and some chosen engine start-up parameters.

Keywords: operational test, engine start-ups, canonical analyze

1. Wstęp

Na działający samochodowy silnik spalinowy oddziałują różne wewnętrzne i zewnętrzne czynniki tworzące zbiór tzw. warunków eksploatacji. Czynniki wewnętrzne wynikają bezpośrednio z pracy samego silnika. Możemy do nich zaliczyć m. in.: skład mieszanki paliwowo-powietrznej, rodzaj oleju smarującego, temperaturę oleju smarującego itd.. Czynniki zewnętrzne reprezentują oddziaływanie jakie wywiera na silnik otoczenie np.: opory ruchu, warunki atmosferyczne, rodzaj dróg, zapylenie powietrza, trasy i warunki przejazdu samochodu itp. [3].

Jednym z najważniejszych stanów działania samochodowego silnika spalinowego jest jego rozruch [6]. Jest to podyktowane tym, że podczas każdego rozruchu obserwuje się występowanie zwiększonej emisji składników toksycznych spalin, znaczną intensywność zużywania się poszczególnych zespołów tribologicznych silnika, czy przeciążenia w układzie elektrycznym silnika [1, 4, 5]. Skala tych negatywnych procesów zależy od następujących parametrów: temperatury silnika w chwili rozruchu, czasu trwania rozruchu, wartości prądu pobieranego przez rozrusznik podczas rozruchu.

Wydaje się, że warunki eksploatacji samochodu powinny oddziaływać na wartości wymienionych parametrów rozruchu silnika spalinowego. Określanie związków pomiędzy wybranymi parametrami rozruchu silnika spalinowego, a warunkami eksploatacji pojazdu (wynikającymi z organizacji jego pracy w danym systemie transportu) wydaje się interesujące z nauko-

1. Introduction

Various external and internal factors affect working vehicle combustion engine. These factors create the set of so called maintenance conditions. Internal factors are directly related to the engine work, for example: the composition of the air-fuel mixture, the kind of lubrication oil, the pressure in the cylinder, the oil temperature etc. External factors represent the influence of the environment on the engine for example: the resistance to motion, the atmospheric conditions, the types of roads, the air dustiness, the routes and the vehicle run conditions, etc [3].

The engine start-up seems to be one of its most important functional states [6]. It's the result of the increased toxic compounds of the exhaust gases emission, the insensitivity of the wear of the selected tribological engine units and the overloads in the electric engine system [1, 4, 5]. The scale of those negative processes during the engine start-up depends on the parameters of the combustion engine start-up such as: the temperature and the time of the engine start-up, the value of the current used by the starter.

It seems that the vehicle maintenance conditions should influence on the values of the mentioned start-up parameters. Describing the connections between some chosen start-up parameters and the vehicle maintenance conditions, which are the results of the vehicle work organisation in the transport system, is very interesting from the scientific and the practical points of view. It allows us to find factors in the group of the vehicle

wego, ale także z praktycznego punktu widzenia. Pozwoli to bowiem na znalezienie czynników w zbiorze warunków eksploatacji pojazdu, które umożliwią „sterowanie” parametrami rozruchu silnika spalinowego. Ułatwi to tym samym podjęcie właściwych czynności związanych z organizacją pracy pojazdu w celu minimalizacji negatywnych procesów, które występują podczas rozruchu silnika.

W celu określenia związków pomiędzy warunkami pracy pojazdu a parametrami rozruchu silnika spalinowego należy przeprowadzić przebiegowe badania eksploatacyjne samochodu. Pozwalają one na identyfikację warunków jego eksploatacji oraz parametrów pracy i rozruchu silnika spalinowego. Niniejszy artykuł prezentuje wyniki takich badań. Na ich podstawie przeprowadzono następujące statystyczne analizy: korelacji, regresji oraz analizę kanoniczną, które pozwoliły na określenie związków pomiędzy warunkami pracy samochodu a wybranymi parametrami rozruchu jego silnika spalinowego.

2. Wyniki przebiegowych badań pojazdu

Badaniami objęto jeden z użytkowanych przez Poczty Polską w Lublinie samochodów dostawczych LUBLIN III z zamontowanym silnikiem 4CT90. Badany pojazd jest jednym z kilku tego samego typu, które wykonywały regularnie powtarzające się przejazdy na „ściśle” określonych trasach i podczas „dokładnie” ustalonego czasu. W celu rejestracji wybranych parametrów pracy samochodu LUBLIN III oraz działania silnika 4CT90 zbudowano specjalny rejestrator [2].

Analizą objęto następujące parametry pracy pojazdu i silnika:

1. l_{poj} – droga pojazdu przed rozruchem silnika [km],
2. t_{work} – czas pracy silnika przed kolejnym rozruchem [min],
3. t_{pau} – czas postoju samochodu z wyłączonym silnikiem przed rozruchem [min],
4. T_{ag} – temperatura silnika (płynu chłodzącego) w chwili rozruchu [°C],
5. I_m – wartość średnia natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik [A],
6. t_{st} – czas rozruchu silnika [sek].

Trzy pierwsze zmienne są związane z organizacją przejazdów pojazdu w systemie transportu Poczty Polskiej w Lublinie i charakteryzują warunki jego pracy. Pozostałe zmienne reprezentują wyszczególnione parametry rozruchu silnika spalinowego. Na podstawie posiadanych wyników badań, z 40 dni roboczych, dla wybranych parametrów rozruchu i działania silnika 4CT90, a także pracy pojazdu LUBLIN III opracowano macierz współczynników korelacji r_{xy} :

$$r_{xy} = \begin{matrix} & \begin{matrix} l_{poj} & t_{work} & t_{pau} & T_{ag} & I_m & t_{st} \end{matrix} \\ \begin{matrix} l_{poj} \\ t_{work} \\ t_{pau} \\ T_{ag} \\ I_m \\ t_{st} \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1,00 & 0,89 & -0,14 & 0,30 & -0,13 & -0,12 \\ 0,89 & 1,00 & -0,13 & 0,30 & -0,13 & -0,10 \\ -0,14 & -0,13 & 1,00 & -0,72 & 0,70 & -0,64 \\ 0,30 & 0,30 & -0,72 & 1,00 & -0,69 & -0,59 \\ -0,13 & -0,13 & 0,70 & -0,69 & 1,00 & 0,51 \\ -0,12 & -0,10 & -0,64 & -0,59 & 0,51 & 1,00 \end{vmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

maintenance conditions that enable to “control” the engine start-up parameters. It facilitates to undertake proper actions, connected with the vehicle work organization, to minimize the negative processes during the engine start-up at the same time.

We should carry out the traction operational tests of the vehicle to estimate the connections between the vehicle work conditions and the engine start-up parameters. These researches permit us to identify the vehicle maintenance conditions and the engine work and the start-up parameters. This article presents the results of such researches. Basing on them the following statistics analysis were conducted: correlation, regression and canonical. These analysis allowed us to define the connections between the vehicle work conditions and some chosen engine start-up parameters.

2. The results of the operational vehicle researches

The researches were conducted using one of Polish Post Branch In Lublin truck LUBLIN III with 4CT90 engine. The investigated vehicle is one of the several trucks of the same type which regularly drove on the same routes. Those routes were „directly” specified and the travel time was „precisely” defined. A special recorder constructed to register the selected parameters of the vehicle LUBLIN III operation and activity of the 4CT90 engine was installed in the investigated truck [2].

The following engine and the vehicle working parameters were analyzed:

1. l_{poj} – the distance covered by the vehicle before the engine start-up [km],
2. t_{work} – the time of engine operation before its next starting [min],
3. t_{pau} – the time of a pause in vehicle operation with the engine switched off before the start-up [min],
4. T_{ag} – the engine (cooling agent) temperature at the engine start-up [°C],
5. I_m – the value of the mean current consumed by the starter during the engine start-up [A],
6. t_{st} – the time of the engine start-up [sec],

The first three variables are connected with the organization of the vehicle routes in Polish Post Branch Lublin transport system and they are the characteristic of its work conditions. Other variables represent the engine start-up parameters.

Basing on the results of the operational researches gained during 40 days of the truck work, the matrix coefficient correlation was prepared r_{xy} :

W dalszym ciągu omówiono tylko te współczynniki korelacji dla których $r \geq |0,4|$ (świadczą one o znacznej korelacji pomiędzy analizowanymi zmiennymi) [1]. Analizując uzyskane wartości współczynników korelacji należy stwierdzić, że najważniejszym czynnikiem w organizacji pracy analizowanego pojazdu oddziałującym na parametry rozruchu silnika spalinowego jest czas postoju samochodu z wyłączonym silnikiem. Wyrazem tego są trzy współczynniki korelacji: $r_{T_{og},t_{pau}} = -0,72$, $r_{t_{st},t_{pau}} = 0,64$ i $r_{I_m,t_{pau}} = 0,70$. Pozostałe zmienne charakteryzujące warunki pracy pojazdu nie mają istotnego wpływu na parametry rozruchu silnika.

Na rysunku 1 zaprezentowano wykresy rozrzutu, równanie wykładniczej krzywej regresji dla czasu postoju t_{pau} samochodu z wyłączonym silnikiem oraz temperatury T_{og} rozruchu silnika. Analiza wykazała, że błąd standardowy współczynnika (4,432) wynosi 0,0042, wartość statystyki t -Studenta ($t = 1036,91$). Dla współczynnika (-0,00347) błąd standardowy wynosi 0,0001 przy $t = -19,13$. Poziom istotności α_{kr} dla parametrów wykładniczej funkcji regresji wynosi 0,00. Świadczy to o statystycznej istotności analizowanych parametrów. Współczynnik determinacji r^2 równa się 0,5502, co wskazuje na poprawne dopasowanie danych wykładniczą funkcją regresji.

Na rysunku 2 zaprezentowano wykresy rozrzutu, równanie funkcji regresji dla czasu postoju t_{pau} samochodu z wyłączonym silnikiem oraz wartości prądu I_m pobieranego przez rozrusznik. Błąd standardowy współczynnika (21105,6) wynosi 41,33, wartość statystyki t -Studenta ($t = 510,61$). Dla współczynnika (4,394) błąd standardowy wynosi 1,73 przy $t = 2,5389$. Dla współczynnika (0,00802) błąd standardowy równa się 0,003 przy $t = 2,677$. Poziom istotności α_{kr} dla parametrów funkcji regresji nie przekracza 0,02, co świadczy o statystycznej istotności analizowanych parametrów. Współczynnik determinacji r^2 wynosi 0,4656. Wskazuje to na zadowalające dopasowanie danych analizowaną funkcją regresji.

Na rysunku 3 zaprezentowano zaś wykresy rozrzutu, równanie linii regresji dla czasu postoju t_{pau} samochodu z wyłączonym silnikiem oraz czasu trwania t_{st} rozruchu silnika. Na rysunku tym zaprezentowano także przedział ufności dla przewidywanej średniej obserwacji oraz przedział predykcji dla pojedynczej obserwacji. Błąd standardowy współczynnika kierunkowego prostej wynosi 0,000038, wartość statystyki t -Studenta ($t = 24,68$). Dla wyrazu wolnego błąd standardowy wynosi 0,0041 przy $t = 84,99$. Poziom istotności α_{kr} dla parametrów funkcji regresji wynosi 0,00, co świadczy o statystycznej istotności analizowanych parametrów. Współczynnik determinacji r^2 równa się 0,341, co wskazuje na średnie dopasowanie danych liniową funkcją regresji.

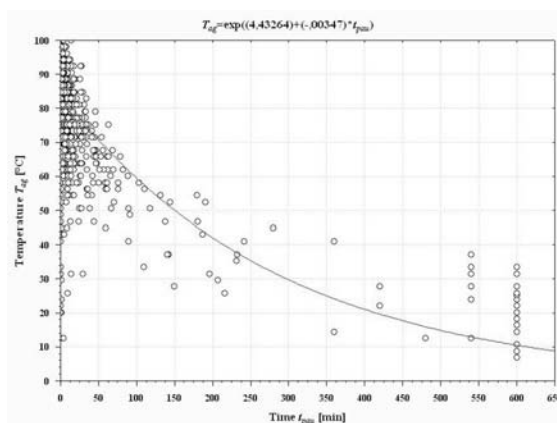
Kolejnym krokiem mającym na celu określenia związków pomiędzy zbiorem zmiennych reprezentujących warunki pracy pojazdu a zbiorem parametrów rozruchu silnika spalinowego, było przeprowadzenie analizy kanonicznej. Na podstawie obli-

The correlation coefficients $r \geq |0,4|$ are presented in this article because they indicate the significant correlation between analyzed variables. We can state that the most important factor of the vehicle work organization, which influence the engine start-up parameters, is the time of a pause in the vehicle operation with the engine switched off before the starting. Three correlation coefficients: $r_{T_{og},t_{pau}} = -0,72$, $r_{t_{st},t_{pau}} = 0,64$ and $r_{I_m,t_{pau}} = 0,70$ indicate this statement. Next variables describing the vehicle work conditions don't influence the engine start-up parameters significantly.

Figure 1 shows scatter diagrams for the time of a pause in the vehicle operation with the engine switched off before the start-up t_{pau} , the temperature of the cooling agent T_{agent} at the moment of the engine start-up and the exponential regression function. The mean random error for the regression coefficient (4.432) is equal 0.0042, with the value of t -Student statistics ($t = 1036.91$). The mean random error for the next regression coefficient (-0.00347) is equal 0.0001, with the value of t -Student statistics ($t = -19.13$). The critical significant level α_{kr} is equal 0.00 in these cases. The estimation point of the regression coefficients is statistically significant. The value of the coefficient of determination r^2 is high and equals 0.5502, which leads to the conclusion that the exponential function of the regression fits the data correctly.

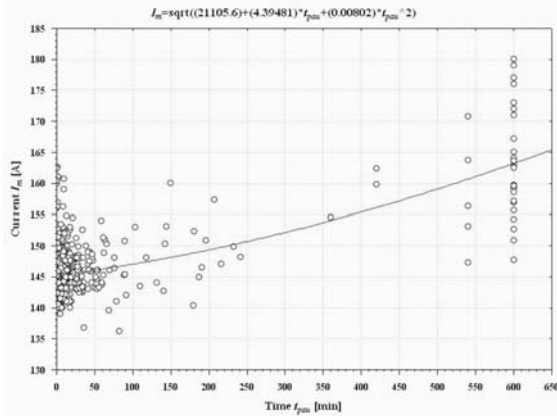
Figure 2 shows scatter diagrams for the time of a pause in vehicle operation with the engine switched off before the start-up t_{pau} and the value of the mean current I_m consumed by the starter during the engine start-up and the egression function. The statistical analysis showed that the mean random error for the regression coefficient (21105.6) is equal 41.33, with the value of t -Student statistics ($t = 510.61$). The mean random error for the regression coefficient (4.394) is equal 1.73, with the value of t -Student statistics ($t = 2.5389$). The mean random error for the regression coefficient (0.00802) is equal 0.003, with the value of t -Student statistics ($t = 2.677$). The critical significant level α_{kr} doesn't exceed 0.02 in these cases. The estimation point of the regression coefficients is statistically significant. The value of the coefficient of determination r^2 is high and equals 0.4656, which leads to the conclusion that the exponential function of the regression fits the data satisfactorily.

Figure 3 shows scatter diagrams for the time of a pause in the vehicle operation with the engine switched off before the start-up t_{pau} , the time of the engine start-up t_{st} and the linear function of regression with the confidence interval for forecast mean observation with a prediction interval for single observation. The statistical analysis showed that the random error of estimation for the slope of the straight line is equal 0.000038 and t -Student statistics ($t = 24.68$). The mean random deviation of the free term estimation is equal to 0.0041, the value of t -Student statistics ($t = 84.99$). The critical significant level α_{kr} is equal 0.00 in both cases. It shows that the point estimation of regression coefficients is statistically significant. The value of the coefficient of the determination r^2 is high and equals to 0.341, which proves that the line function of regression fits to the data fairly.



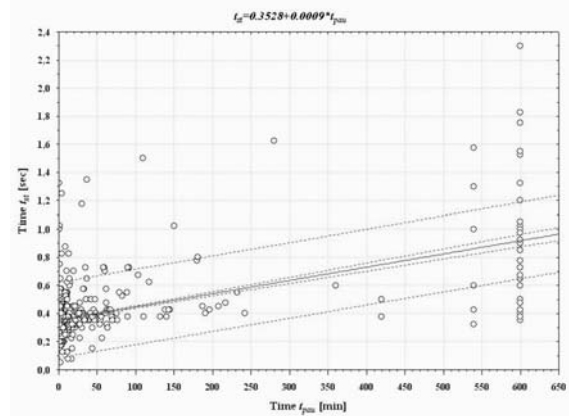
Rys. 1. Wykres rozrzutu czasu postoju t_{pau} samochodu i temperatury T_{og} rozruchu silnika

Fig. 1. Scatter diagram for the time of a pause in vehicle operation with the engine switched off before the start-up t_{pau} and the temperature of cooling agent T_{agent} at the moment of engine start-up



Rys. 2. Wykres rozrzutu czasu postoju t_{pau} samochodu i prądu I_m pobieranego przez rozrusznik silnika

Fig. 2. Scatter diagram for the time of a pause in vehicle operation with the engine switched off before the start-up t_{pau} and the value of the mean current I_m consumed by the starter during the engine start-up



Rys. 3. Wykres rozrzutu czasu postoju t_{pau} samochodu i czasu rozruchu t_{st} silnika

Fig. 3. Scatter diagram for the time of a pause in vehicle operation with the engine switched off before the start-up t_{pau} and the time of the engine start-up t_{st}

czeń stwierdzono, że dla pierwszego wyróżnionego pierwiastka kanonicznego, ogólny wskaźnik korelacji kanonicznej wynosi $R_{k1} = 0,8097$. Drugi pierwiastek kanoniczny charakteryzuje się znacznie mniejszą wartością ($R_{k2} = 0,2533$), co powoduje, że nie brano go pod uwagę.

Wartość statystyki χ^2 dla pierwszego pierwiastka kanonicznego wynosi 934,67 zaś poziom prawdopodobieństwa $p = 0,00$. Świadczy to o tym, że analizowany układ dwóch zbiorów zmiennych charakteryzuje się istotną korelacją kanoniczną. Wartość własna pierwszego pierwiastka kanonicznego, którą interpretujemy jako proporcję wariancji wyjaśnianej przez korelację pomiędzy dwoma analizowanymi zbiorami zmiennych wynosi 0,665. Wskazuje to, że pierwszy pierwiastek kanoniczny dość dobrze określa występującą zależność pomiędzy tymi zbiorami.

Dla pierwszego pierwiastka kanonicznego układ zmiennych kanonicznych przyjmuje postać:

$$\begin{cases} U_1 = 0.042 \cdot \dot{t}_{poj} + 0.107 \cdot \dot{t}_{work} - 0.969 \cdot \dot{t}_{pau} \\ V_1 = 0.477 \cdot \dot{T}_{ag} - 0.338 \cdot \dot{I}_m - 0.347 \cdot \dot{t}_{st} \end{cases} \quad (2)$$

gdzie: U_1 – zmienna kanoniczna reprezentująca zbiór parametrów pracy pojazdu, V_1 – zmienna kanoniczna reprezentująca zbiór parametrów rozruchu silnika, \dot{X}_i – i -ta standaryzowana zmienna losowa dla analizowanych parametrów.

Analizując współczynniki przy poszczególnych zmiennych standaryzowanych w zaprezentowanym układzie zmiennych kanonicznych należy stwierdzić, że decydujący wkład w zmienną kanoniczną U_1 wnosi zmienna t_{pau} , która określa czas postoju samochodu. Dla zmiennej kanonicznej V_1 największy wkład wnosi temperatura T_{ag} rozruchu silnika, zaś dwa pozostałe parametry charakteryzują się porównywalnym wkładem.

3. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz statystycznych dla otrzymanych wyników badań przebiegowych samochodu LUBLIN eksploatowanego w systemie transportu Poczty Polskiej potwierdzono, że warunki eksploatacji pojazdu oddziałują na parametry rozruchu silnika spalinowego. Decydującym czynni-

The authors carried out the canonical analysis to estimate the connections between the series of the variables describing the vehicle work conditions and the series of some chosen engine start-up parameters. Basing on the calculations the authors stated that the general index of canonical correlation for the first distinguished canonical element equals $R_{k1} = 0.8097$. The second canonical element is much lower ($R_{k2} = 0.2533$) and that is why it wasn't analyzed. The value of statistics χ^2 for the first canonical element is equal 934.67 and the probability level $p = 0.00$. It provides the significant canonical correlation of the analyzed system of these two groups of variables. The individual value of the first canonical element, interpreted as the proportion of the explicatory variance to the correlation between two analyzed groups of variables, is equal 0.665. There it is clear that the first canonical element describes the correlation between these groups well.

The system of canonical variables for the first canonical element assumes:

where U_1 – the canonical variable which represents the group of the vehicle work parameters, V_1 – the canonical variable which represents the group of the engine start-up parameters, \dot{X}_i – the following standardized variable for the analyzed parameters

Basing on the analysis of the coefficients occurring with the standardized variables we can state that the variable t_{pau} provides the decisive contribution into the canonical variable U_1 . The start-up temperature T_{ag} has the most essential contribution into the canonical variable V_1 . The remaining parameters have the same share in the canonical variable V_1 .

3. Summary

Basing on the statistical analysis of the results of the operational researches, conducted on the LUBLIN III vehicle in the Polish Post Branch Lublin transport system, we can state that the vehicle maintenance conditions influence the ic engine start-up parameters. The decisive factor in the vehicle

kiem w organizacji pracy samochodu wpływającym na wartość temperatury, czasu rozruchu oraz natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik jest czas postoju samochodu z wyłączonym silnikiem.

Zwiększając czas postoju powodujemy bowiem spadek temperatury silnika, co pociąga za sobą wzrost oporów ruchu podczas rozruchu, a tym samym wzrost natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik oraz czasu trwania rozruchu. Wpływ czasu postoju samochodu z wyłączonym silnikiem jest widoczny dla pojedynczo analizowanych parametrów rozruchu silnika, ale także dla ich wektora.

Dodatkowo należy stwierdzić, że wpływ wektora zmiennych opisujących warunki eksploatacji samochodu na wektor parametrów rozruchu silnika spalinowego jest silniejszy niż wpływ pojedynczych czynników charakteryzujących pracę pojazdu. Świadczy to o tym, że poprzez właściwą organizację przejazdów samochodu można oddziaływać na warunki rozruchu jego silnika spalinowego.

4. References

- [1] Henein N. A. Tagamorim. K.: *Cold-start hydrocarbon emissions in port-injector gasoline engines. Progress in Energy and Combustion Science*. No 25(1999). Elsevier Science Ltd, 1999, p. 563-593.
- [2] Drożdziel P., Krzywonos L., Pieczywek P.: *An expert characteristic of engine start-ups during vehicle maintenance*. 3rd International Conference Road and Urban Transport and Sustainable Development CMDTUR 2005, University of Žilina, Žilina, Slovak Republic, p. 34-39.
- [3] Drożdziel P., Liščák Š.: *The chosen problems of commercial truck maintenance*, EDIS- Žilina University publisher, Žilina, 2005.
- [4] Duval H.: *Computer model of the lead/acid starter battery in automobiles*. Journal of Power Sources. No. 53 (1995). Elsevier, 1995. p. 351-357.
- [5] Taylor C. M.: *Lubrication regimes and the internal combustion engine. Engine Tribology*. C. M. Taylor (Editor). Tribology Series, 26. Elsevier. Amsterdam, 1993, p. 75-88.
- [6] Zweiri Y. H., Whidborne J. K., Seneviratne L. D.: *Instantaneous friction components model for transient engine operation*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D, Journal of Automobile Engineering. Vol. 214, 2000, p. 809-824.

work organization which influences the value of the start-up temperature, the start-up time and the value of the mean current consumed by the starter during the engine start-up is the time of a pause in vehicle operation with the engine switched off before the start-up.

While increasing the time of the pause in the vehicle operation with the engine switched off we cause the drop of the engine temperature. It is the reason why the resistance of motion during the engine start-up grows which results in the increase of the mean current consumed by the starter and the time of the engine start-up. The influence of the time of a the pause in the vehicle operation with the engine switched off is visible for individually analysed engine start-up parameters and their vectors.

We can state that the influence of the variable vectors describing the vehicle maintenance conditions on the vector of the engine start-up parameters is stronger than the influence of the individual factor characterizing the vehicle work. It leads to the conclusion that we can influence the engine start-up conditions by the proper organization of the vehicle routes.

Mgr inż. Jan NIKONIUK

Poczta Polska
Centrum Logistyki
Oddział Regionalny w Łodzi
ul. Obywatelska 121/129
94-104 Łódź
Jan.Nikoniuk@lodz.poczta-polska.pl

Dr inż. Leszek KRZYWONOS

Piotr PIECZYWEK

Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
l.krzywonos@pollub.pl
