## Nauka i Technika

Paweł DROŹDZIEL
**Wybrane parametry pracy i rozruchu silnika spalinowego jako elementy kryterium oceny systemu transportu samochodowego**
**The chosen parameters of the ic engine work and start-up as the elements of the vehicle transport system evaluation criterion** ..... 6

Paweł KORDOS
**Wpływ warunków pracy silnika spalinowego podczas badań stanowiskowych na zużycie tulei cylindrowej**
**The influence of the combustion engine work conditions on the cylinder wear in the stand test researches** ..... 11

Kazimierz KOWALSKI
**Użytkowanie pojazdów wojskowych w warunkach niedoboru paliw bazowych**
**Utilization of military vehicles under shortage of basic fuels** ..... 16

Ryszard MICHALSKI, Sławomir WIERZBICKI
**Badania porównawcze niezawodności autobusów komunikacji miejskiej**
**Comparative reliability tests of city transport busses** ..... 22

Jan NIKONIUK, Leszek KRZYWONOS, Piotr PIECZYWEK
**Związki pomiędzy warunkami pracy pojazdu a parametrami rozruchu silnika spalinowego**
**The connections between the vehicle operation conditions and the ic engine start-up parameters** ..... 27

Tomasz NOWAKOWSKI
**Problemy projektowania systemów transportu regionalnego – uwarunkowania zewnętrzne**
**Problems of regional transportation system design – external conditions** ..... 32

Arkadiusz RYCHLIK
**Metody pomiaru zużycia paliwa pojazdów użytkowych**
**Commercial vehicles fuel consumption measurement methods** ..... 37

Józef STOKŁOSA, Tadeusz CISOWSKI
**Analiza przyczyn powolnego rozwoju w polsce intermodalnych przewozów kolejowo-drogowych**
**Analyze of insuficient increase combined transport in poland** ..... 42

Piotr SZCZYGLAK
**Analiza stateczności agregatu maszynowego na tle modelowania jego dynamiki**
**Stability analysis of a machine unit against the background of modeling its dynamics** ..... 46

Sławomir WIERZBICKI
**Ocena efektywności funkcjonowania instalacji lpg stosowanych w samochodach osobowych**
**Operational effectiveness assessment of lpg installations used in cars** ..... 51

Zbigniew SKROBACKI
**Ekonomiczno-techniczne aspekty odnowy parku samochodowego**
**Economic-technical aspects of vehicle fleet renovation** ..... 57

Joanna SIDOR
**Realizacja polityki transportowej na szczeblu międzynarodowym, krajowym i lokalnym**
**Realization of the transport policy at the international, national and regional level** ..... 61

Pavol NAMEŠANSKÝ, Ján LÁBAJ, Jozef FABRICI
**Influence of the ethanol added into petrol and diesel fuel** ..... 67

Piotr IGNACIUK, Piotr SZCZĘSNY
**Ocena wpływu dodatku „Xeramic" do oleju silnikowego na osiągi silnika o zapłonie samoczynnym**
**The influence of the diesel oil additive „ Xeramic" on the effective work of the diesel engine** ..... 71

Józef JONAK, Jakub GAJEWSKI
**Wybrane problemy diagnostyki i monitorowania pracy górniczych przenośników taśmowych**
**Operating diagnostics and monitoring issues of selected mining belt conveyers** ..... 74

Renáta HLIVJAKOVÁ, Štefan LIŠČÁK
**The operational – economic evaluation of bus transport** ..... 79

Andrzej NIEWCZAS, Grzegorz KOSZAŁKA, Mirosław GUZIK
**Modelowanie współpracy pierścienia tłokowego z półką tłoka w silniku spalinowym**
**Modeling of collaboration between the piston ring and the piston groove shelf in an internal combustion engine** ..... 82

Jaroslav GREGUŠ
**The methods and way of utilization telematics into decrease operational costs with analyses of present situation**
**and capacity of good transport and oil trend prices** ..... 87

Tomáš LACK, Juraj GERLICI, Vladimír HLAVŇA
**The vehicle comfort. Case study** ..... 89

Anton FREIWALD
**Possibilities of improvement of automobile engines performance parameters without negative impacts on fuel consumption**
**and exhaust fumes emission limits** ..... 92

Tomas KALINA, Peter PIALA
**Emission limits of inland waterway vessel engines in accordance with EU legislation** ..... 96

Bogdan ANTOSZEWSKI, Wojciech ŻÓRAWSKI
**Wpływ technologii inżynierii powierzchni na rozwój motoryzacji**
**Influence of surface technology for evolution of motorisation** ..... 98

DROŹDZIEL P.: **Wybrane parametry pracy i rozruchu silnika spalinowego jako elementy kryterium oceny systemu transportu samochodowego**; EiN nr 4/2006, s. 6-10.
Porównywania samochodowych systemów transportu towarowego można dokonywać w oparciu o różnorodne kryteria i stosować w tym celu różne miary efektywności. W przypadku dysponowania podobnymi pojazdami oraz przy istnieniu porównywalnych warunków ekonomicznych o przewadze danego systemu transportu decydują czynniki zależne od warunków eksploatacji.
W artykule przedstawiono propozycję nowego kryterium oceny systemu transportu samochodowego, którego podstawą są wybrane parametry pracy silnika spalinowego i jego rozruchu. Kryterium to opracowano na podstawie analizy statystycznej wyników długotrwałych badań eksploatacyjnych pojazdów dostawczych.

DROŹDZIEL P.: **The chosen parameters of the ic engine work and start-up as the elements of the vehicle transport system evaluation criterion**; EiN nr 4/2006, s. 6-10.
The comparison of vehicle transport systems could be done basing on variable criteria and using different measures of effectiveness. The factors dependent on the maintenance conditions are crucial for the chosen transport system when the transport companies have similar vehicles at their disposal and comparable economic situation.
This article describes a new transport system evaluation criterion. It is based on the statistic analysis of the random variables, which describes the vehicle operation, its engine work and the start-up. These variables are gathered during the trucks long lasting maintenance investigation.

KORDOS P.: **Wpływ warunków pracy silnika spalinowego podczas badań stanowiskowych na zużycie tulei cylindrowej**; EiN nr 4/2006, s. 11-15.
Występujące różnice w warunkach pracy silnika spalinowego na stanowisku badawczym i podczas rzeczywistej eksploatacji prowadzą do rozbieżności w wynikach zużycia konstrukcji całego silnika oraz jego elementów. Z tego względu ważne jest odpowiedzenie na pytania jak warunki pracy silnika spalinowego podczas badań stanowiskowych wpływają na zużycie jego tulei cylindrowej oraz czy można tak otrzymane wyniki zużycia porównywać z wynikami uzyskanymi podczas rzeczywistej jego eksploatacji w pojeździe. Artykuł próbuje odpowiedzieć na te pytania poprzez porównanie wartości zużycia tulei cylindrowych w trakcie trzech niezawodnościowych badań stanowiskowych z wynikami długotrwałej eksploatacji tego samego typu silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym w pojeździe.

KORDOS P.: **The influence of the combustion engine work conditions on the cylinder wear in the stand test researches**; EiN nr 4/2006, s. 11-15.
The differences between the work of the engine during the test-stand researches and the real operation lead to the dissimilarity in the obtained results of the chosen elements and the whole engine wear. For that reason, it is very important to answer the questions: how the conditions of the engine work during the test-stand researches influence its cylinder wear and whether it is possible to compare the obtained results with the results occurring during the real maintenance of a vehicle. This article tries to answer these questions by comparing the values of diesel engine cylinder wear received during three reliability test-stand researches and the long-term maintenance of the same type of the combustion engine in the vehicle.

KOWALSKI K.: **Użytkowanie pojazdów wojskowych w warunkach niedoboru paliw bazowych**; EiN nr 4/2006, s. 16-21.
W referacie przedstawiono ważność rynku paliw komercyjnych ze względu na możliwość zasilania silników pojazdów wojskowych w warunkach niedoboru paliw bazowych. Wymieniono i scharakteryzowano aktualnie, powszechnie dostępne paliwa zastępcze. Przedstawiono ich wpływ zarówno na pracę silników napędowych jak i na właściwości trakcyjne pojazdów. Na zakończenie podano ogólne zasady zasilania silników pojazdów wojskowych w warunkach niedoboru paliw bazowych.

KOWALSKI K.: **Utilization of military vehicles under shortageof basic fuels**; EiN nr 4/2006, s. 16-21.
The importance of common fuel market because of probability of fueling propulsive engines of military vehicles (diesel engines) under shortage of basic fuels was presented. Basic replace fuels currently commonly available were introduced. The impact of replace fuels on propulsive engines and military vehicles traction proprieties were presented. Common rules fueling of military vehicles engines of replace fuels were introduced.

MICHALSKI R., WIERZBICKI S.: **Badania porównawcze niezawodności autobusów komunikacji miejskiej**; EiN nr 4/2006, s. 22-26.
W niniejszej pracy przedstawiono porównanie niezawodności autobusów komunikacji miejskiej Jelcz M081MB na podwoziu Mercedes-Benz 0814D oraz Volkswagen LT-46. Zamieszczone w pracy wyniki pochodzą z danych uzyskanych w trakcie eksploatacji tych pojazdów w okresie jednego roku. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono podstawowe wskaźniki niezawodności badanych pojazdów. Uzyskane wyniki pozwalają na porównanie właściwości eksploatacyjnych analizowanych typów pojazdów.

MICHALSKI R., WIERZBICKI S.: **Comparative reliability tests of city transport busses**; EiN nr 4/2006, s. 22-26.
This paper presents the reliability comparison of city transport buses - Jelcz M081MB on Mercedes-Benz 0814D chassis and Volkswagen LT-46. The results presented are based on the data obtained during operation of the vehicles during a period of one year. Based on the results obtained the basic vehicles' reliability indicators were identified. The results obtained allow comparison of operational characteristics of the analyzed types of busses.

NIKONIUK J., KRZYWONOS L., PIECZYWEK P.: **Związki pomiędzy warunkami pracy pojazdu a parametrami rozruchu silnika spalinowego**; EiN nr 4/2006, s. 27-31.
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. 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.

NIKONIUK J., KRZYWONOS L., PIECZYWEK P.: **The connections between the vehicle operation conditions and the ic engine start-up parameters**; EiN nr 4/2006, s. 27-31.
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. 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.

NOWAKOWSKI T.: **Problemy projektowania systemów transportu regionalnego – uwarunkowania zewnętrzne**; EiN nr 4/2006, s. 32-36.
W artykule przedstawiono doświadczenia wynikające z realizacji programu rozwoju systemu transportu regionalnego dla Dolnego Śląska. Omówiono strukturę założeń programu i stan realizacji. Skupiono się na realizacji projektu w zakresie analizy uwarunkowań zewnętrznych systemu transportowego. Pokazano powiązania transportu na Dolnym Śląsku z systemami transportowymi województw ościennych oraz programy Unii Europejskiej ukierunkowane na współpracę z regionami zagranicznymi.

NOWAKOWSKI T.: **Problems of regional transportation system design – external conditions**; EiN nr 4/2006, s. 32-36.
In the paper, some results that are obtained during designing Lower Silesia regional transport system are presented. The structure of the project assumptions and the realization state are discussed. The problem is focused on external conditions of transport system. The main links of Lower Silesia transport with neighboring regions are shown and European Union programs directed into foreign regions cooperation are mentioned.

RYCHLIK A.: **Metody pomiaru zużycia paliwa pojazdów użytkowych**; EiN nr 4/2006, s. 37-41.
Racjonalna eksploatacja silników spalinowych jest źródłem oszczędności surowców, energii i nakładów kapitałowych, podstawową strategią uzyskania zysku. W pacy zaprezentowano wybrane metody pomiaru zużycia paliwa przez tłokowe silniki spalinowe pojazdów użytkowych, dokonano ich prezentacji oraz określono możliwości zastosowania do monitoringu zużycia paliwa.

RYCHLIK A.: **Commercial vehicles fuel consumption measurement methods**; EiN nr 4/2006, s. 37-41.
Rational operation of combustion engines is the source of savings on raw materials, energy and capital outlays, the basic strategy of generating profit. The paper presents selected methods for fuel consumption measurement in piston combustion engines of utility vehicles. Such methods have been discussed and their potential use for fuel consumption monitoring has been determined.

STOKŁOSA J., CISOWSKI T.: **Analiza przyczyn powolnego rozwoju w polsce intermodalnych przewozów kolejowo-drogowych**; EiN nr 4/2006, s. 42-45.
W artykule scharakteryzowano istotę przewozów kolejowo-drogowych w Europie. Przedstawiono zalety transportu intermodalnego, a w szczególności transportu kombinowanego. Omówiono stan aktualny i przyczyny powolnego rozwoju transportu kombinowanego w Polsce. Zwrócono uwagę na takie zagadnienia jak stan i jakość pracy terminali intermodalnych, stan infrastruktury drogowej i kolejowej, organizacja przewozów kombinowanych.

STOKŁOSA J., CISOWSKI T.: **Analyze of insuficient increase combined transport in poland**; EiN nr 4/2006, s. 42-45.
In this paper has been presented road-rail transport in Europe. Presented advantages of intermodal/combined transport. Starting at a rather low level, combined transport has developed in Europe today an important alternative in freight transport. Discussed possibilities and limitations insufficient increase Combined transport (CT) in Poland. Future development CT in Poland needs efficient and modern terminals, well maintained road and rail infrastructure, new organization rail-road logistics chains.

SZCZYGLAK P.: **Analiza stateczności agregatu maszynowego na tle modelowania jego dynamiki**; EiN nr 4/2006, s. 46-50.
Do negatywnych zjawisk zachodzących podczas pracy agregatów maszynowych zaliczyć można utratę stateczności, w czasie której dochodzi do ciężkich uszkodzeń ciała, a nawet śmierci ludzi. Aby temu przeciwdziałać, w pracy przedstawiono podstawowe metody badań stateczności pojazdów kołowych, a w tym agregatów maszynowych. Opisano model agregatu maszynowego do badań stateczności, który zweryfikowano w warunkach eksploatacyjnych. Przedstawiono i omówiono wyniki badań symulacyjnych stateczności.

SZCZYGLAK P.: **Stability analysis of a machine unit against the background of modeling its dynamics**; EiN nr 4/2006, s. 46-50.
Negative phenomena occurring during operation of machine units include loss of stability during which severe bodily damage or even death can occur. The paper presents the basic methods of wheeled vehicles stability testing, including machine units to prevent that. A model of machine unit for stability testing was described. That model was verified under operational conditions. Stability simulation tests are presented and discusses.

WIERZBICKI S.: **Ocena efektywności funkcjonowania instalacji lpg stosowanych w samochodach osobowych**; EiN nr 4/2006, s. 51-56.
Polska należy do ścisłej światowej czołówki pod względem ilości pojazdów zasilanych LPG jak również pod względem zużycia tego paliwa. W niniejszym artykule przedstawiono problemy związane z eksploatacją pojazdów samochodowych zasilanych LPG. Brak jednoznacznych przepisów określających sposób doboru instalacji LPG do samochodu sprawia, iż w wielu pojazdach montuje się instalacje, które nie spełniają wymagań stawianych tym pojazdom odnośnie poziomu emisji spalin.

WIERZBICKI S.:**Operational effectiveness assessment of lpg installations used in cars**; EiN nr 4/2006, s. 51-56.
Poland is among the global leaders in the number of LPG fueled vehicles and consumption of that fuel. The paper presents problems involved in operation of LPG fueled vehicles. Absence of clear regulations on the method of selecting the LPG installation for the vehicle causes that in many vehicles installations are installed that do not satisfy the emissions requirements for those vehicles.

SKROBACKI Z.: **Ekonomiczno-techniczne aspekty odnowy parku samochodowego**; EiN nr 4/2006, s. 57-60.
W artykule przedstawiono podstawy rachunku kosztów w zastosowaniu dla przedsiębiorstw transportowych. Przedstawiono model liczenia kosztów w przypadku złożonej struktury przedsiębiorstwa m. in. pozwalający na wyznaczenie kosztu przebywania pojazdu w dowolnym stanie eksploatacyjnym.

SKROBACKI Z.: **Economic-technical aspects of vehicle fleet renovation**; EiN nr 4/2006, s. 57-60.
In this article the basis of the cost account has been described in the forwarding enterprises. The model of cost calculation has been presented in the complex enterprise structure, which likewise allows for determining the vehicle operation state.

SIDOR J.:**Realizacja polityki transportowej na szczeblu międzynarodowym, krajowym i lokalnym**; EiN nr 4/2006, s. 61-66.
W niniejszym artykule przedstawione zostały kierunki realizowania polityki transportowej na poszczególnych szczeblach tj. międzynarodowym, krajowym i lokalnym. Ponadto w krótkim rysie przedstawiono dokumenty, które są swoistym fundamentem dla całej polityki transportowej oraz dla poszczególnych gałęzi transportu. Po wejściu Polski do UE sposób prowadzenia polityki musiał ulec znaczącym zmianom i przeobrażeniom. Konieczne były zmiany prawne związane z ujednolicaniem przepisów prawnych. Przeobrażenia dotyczyły transportu kolejowego, drogowego, lotniczego, morskiego, zmian w ruchu drogowym, finansowania dróg publicznych, czasu pracy kierowców, przewozu towarów niebezpiecznych, portów.

SIDOR J.:**Realization of the transport policy at the international, national and regional level**; EiN nr 4/2006, s. 61-66.
The present paper discusses some directions of the transport policy realization at the international, national and regional level. Moreover, it briefly presents the documents constituting the foundations for the overall transport policy and each mode. Poland having entered the EU was obliged to change and transform the way of this policy management. Some changes in the legislation with regard to unification of legal rules were essential. The transformations considered the rail, road, air, maritime transport, changes in road traffic, public roads financing, drivers` work time, dangerous goods shipping, ports.

NAMEŠANSKÝ P., LÁBAJ J., FABRICI J.: **Influence of the ethanol added into petrol and diesel fuel**; EiN nr 4/2006, s. 67-70.
The paper deals with the problem scope of ethanol (as biologically decomposable compound) adding into petrol and diesel fuel on the final lubricity of motor fuels. It analyses the subject of tribology and automobile fuels in connection with modern technologies in construction of automobile engines. The mentioned properties and characteristics were measured by commonly used laboratory method on Plint TE 82 (PLINT & PARTNERS LTD). Measured data show, that diesel fuel with ethanol has better lubricity parameters and lubricity persists longer, than in case of petrol fuel with ethanol. One problem occurred, when diesel fuel was mixed with ethanol, which contained more then 0,5 % of water. This problem was solved by eliminating of the water from ethanol, eventually the suitable solubility additive is recommended.

IGNACIUK P., SZCZĘSNY P.: **Ocena wpływu dodatku „Xeramic" do oleju silnikowego na osiągi silnika o zapłonie samoczynnym**; EiN nr 4/2006, s. 71-73.
Rynek środków smarnych obfituje w wiele dodatków, które według producentów mają zapobiegać zużyciu współpracujących tarciowo elementów oraz zmniejszać opory ruchu. W odniesieniu do silników spalinowych ma to w konsekwencji prowadzić do poprawy parametrów, takich jak: moc i moment oraz przyczynić się do obniżenia zużycia paliwa. Artykuł prezentuje ocenę wpływu dodatku do oleju smarującego o nazwie „Xeramic" na wybrane parametry pracy silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym. Dokonano tego poprzez analizę i porównanie wyników badań stanowiskowych z informacjami zawartymi w ulotkach reklamowych.

IGNACIUK P., SZCZĘSNY P.: **The influence of the diesel oil additive „ Xeramic" on the effective work of the diesel engine**; EiN nr 4/2006, s. 71-73.
A variety of additives exists on the market of lubricants. According to the producers their use is to prevent the wear of the co-working frictional parts and to reduce the movement resistance. As far as the diesel engines are concerned, the use of the additives should consequently cause the improvement of the parameters such as: the power and the moment, and reduce the use of the fuel This article presents the influence of the diesel oil lubricating additive, called „XERAMIC", on the diesel engine selected parameters. It has been achieved by analyzing and comparing the laboratory stand bench test with the information included in the advertising leaflets.

JONAK J., GAJEWSKI J.: **Wybrane problemy diagnostyki i monitorowania pracy górniczych przenośników taśmowych**; EiN nr 4/2006, s. 74-78.
W artykule przedstawiono kierunki prac zmierzających do poprawy warunków eksploatacji górniczych przenośników taśmowych. Szczególną uwagę zwrócono na tendencje w budowie systemów monitorowania i diagnozowania przekładni układu napędowego oraz taśm przenośnikowych.

JONAK J., GAJEWSKI J.: **Operating diagnostics and monitoring issues of selected mining belt conveyers**; EiN nr 4/2006, s. 74-78.
The paper presents the trends of works aimed at improving the operating condition of mining belt conveyers. Special attention has been paid to the tendencies in the design of drive system transmission and conveyer belt monitoring and diagnostics systems.

HLIVJAKOVÁ R., LIŠČÁK Š.: **The operational – economic evaluation of bus transport**; EiN nr 4/2006, s. 79-81.
In transport, as well as in other areas of our life, there are still used knowledge or experience proved in the past. Of course, these are modernized with progressing development as it is in the field of mass passenger transport and related bus trailers. At present, when the economic situation in mass passenger transport puts pressure on us to minimize the costs as much as possible, especially operation costs. This article present the operation evaluation of the transport system. with using the trailer vehicles.

NIEWCZAS A., KOSZAŁKA G., GUZIK M.: **Modelowanie współpracy pierścienia tłokowego z półką tłoka w silniku spalinowym**; EiN nr 4/2006, s. 82-86.
W artykule przedstawiono modele współpracy pierścienia uszczelniającego z rowkiem pierścieniowym tłoka stosowane lub możliwe do zastosowania podczas modelowania uszczelnienia tłok-piścienie-cylinder. Prezentowane modele różnią się przede wszystkim zakresem opisywanych zjawisk, w szczególności uwzględnianiem: skręceń poprzecznych pierścienia, występowania filmu olejowego pomiędzy bocznymi powierzchniami pierścienia i rowka oraz kontaktu pomiędzy chropowatościami tych powierzchni, zużycia powierzchni elementów.

NIEWCZAS A., KOSZAŁKA G., GUZIK M.: **Modeling of collaboration between the piston ring and the piston groove shelf in an internal combustion engine**; EiN nr 4/2006, s. 86-90.
The paper presents models of cooperation between the compression ring and the piston groove used, or possible to use, in models of piston-rings-cylinder assembly. Presented models differ from each other in the range of considered phenomena. In particular the model can consider: twists of the rings, existence of oil film and asperity contact between side surfaces of the ring and the groove and wear of the surfaces.

GREGUŠ J.: **The methods and way of utilization telematics into decrease operational costs with analyses of present situation and capacity of good transport and oil trend prices**; EiN nr 4/2006, s. 87-88.
The Telematics and Inteligent Transport Systems are very inportant in transport system. Transport Policy put accent on Inteligent Transport System which are integral part of transport within Europe and into whole areas. The mainly function of these described methods is reach by active and coordinate activity accelerated utilization of transport telematics into road haulage. Utilization of telematics it is one of ways how to ensure mobility of vehicles and humankind.

LACK T., GERLICI J., HLAVŇA V.: **The vehicle comfort. Case study**; EiN nr 4/2006, s. 89-91.
The paper relates closely to theoretical considerations of vehicle comfort assessment published in the journal Horizonty dopravy – special No. 2006 under the title „ Evaluation of Ride Comfort for Passengers". It can be understood as application of the mentioned theoretical considerations - as a case study. Influence of vibration on a standing and sitting person is assesed in the case study.

FREIWALD A.: **Possibilities of improvement of automobile engines performance parameters without negative impacts on fuel consumption and exhaust fumes emission limits**; EiN nr 4/2006, s. 92-95.
In its introduction, the article deals with the control unit of the combustion engine – the possibility of the software modification (chip – tuningom). It states the reasons why, since its fabrication, the control unit is not programmed in order to gain the maximum power in the course of gaining the emission norms. The next part contains the brief description of the work in the process of performing the chip-tuning and its possible difficulties. In conclusion, there are the demonstrations of the measurments on two vehicles with a positive result.

KALINA T., PIALA P.: **Emission limits of inland waterway vessel engines in accordance with EU legislation**; EiN nr 4/2006, s. 96-97.
The problems of legislation of the EU relating to gasseous and particulate pollutants from internal combustion engines installed in non – road mobile machinery deals with directive of the European Parliament and of the Council 97/68/ES reformed with directive 2004/26/ES include inland shipping vessels.

ANTOSZEWSKI B., ŻÓRAWSKI W.: **Wpływ technologii inżynierii powierzchni na rozwój motoryzacji**; EiN nr 4/2006, s. 98-102.
W opracowaniu przedstawiono wybrane osiągnięcia z zakresu inżynierii powierzchni mające istotny wpływ na postęp w motoryzacji. W szczególności odniesiono się do rozwiązań stosowanych w silnikach samochodowych szerzej skupiając się na skojarzeniu pierścień tłokowy – tuleja cylindrowa.

ANTOSZEWSKI B., ŻÓRAWSKI W.: **Influence of surface technology for evolution of motorisation**; EiN nr 4/2006, s. 98-102.
This paper shows chosen achievements in the area of surface engineering, which significantly influenced on development of motorization. Developments applied in car engines included association of piston ring and cylinder sleeve are shown in details.

Paweł DROŹDZIEL

# WYBRANE PARAMETRY PRACY I ROZRUCHU SILNIKA SPALINOWEGO JAKO ELEMENTY KRYTERIUM OCENY SYSTEMU TRANSPORTU SAMOCHODOWEGO

# THE CHOSEN PARAMETERS OF THE IC ENGINE WORK AND START-UP AS THE ELEMENTS OF THE VEHICLE TRANSPORT SYSTEM EVALUATION CRITERION

*Porównywania samochodowych systemów transportu towarowego można dokonywać w oparciu o różnorodne kryteria i stosować w tym celu różne miary efektywności. W przypadku dysponowania podobnymi pojazdami oraz przy istnieniu porównywalnych warunków ekonomicznych o przewadze danego systemu transportu decydują czynniki zależne od warunków eksploatacji. W artykule przedstawiono propozycję kryterium oceny systemu transportu samochodowego, którego podstawą są wybrane parametry pracy silnika spalinowego i jego rozruchu. Kryterium to opracowano na podstawie analizy statystycznej wyników długotrwałych badań eksploatacyjnych pojazdów dostawczych.*

***Słowa kluczowe**: system transportowy, kryterium oceny, rozruchy silnika*

*The comparison of vehicle transport systems could be done basing on variable criteria and using different measures of effectiveness. The factors dependent on the maintenance conditions are crucial for the chosen transport system when the transport companies have similar vehicles at their disposal and comparable economic situation.*
*This article describes a transport system evaluation criterion. It is based on the statistic analysis of the random variables, which describes the vehicle operation, its engine work and the start-up. These variables are gathered during the trucks long lasting maintenance investigation.*

***Keywords**: transportation system, evaluation criterion, start-up engine*

## 1. Wstęp

Przy porównywaniu samochodowych systemów transportu stosuje się różnorodne kryteria ocen i związane z nimi miary efektywności. Jedne z kryteriów wynikają z uwarunkowań ekonomiczno-prawnych (np.: zysk z działalności, koszty paliwa, itd.). Inne zależą od czynników technicznych uwarunkowanych zastosowanymi środkami transportu (ładowność pojazdu, częstotliwość obsług i napraw itd.). Kolejne kryteria ocen mają źródło w normach emisji składników toksycznych i hałasu. Ponadto stosowane są miary i kryteria związane z czynnikami zależnymi od warunków eksploatacji pojazdów (długość tras przejazdu, warunki przejazdów itd.) [3,6,7].

W przypadku dysponowania podobnymi pojazdami oraz przy istnieniu porównywalnych warunków ekonomicznych o przewadze danego systemu transportu decydują czynniki zależne od warunków eksploatacji. Istnieje więc praktyczna potrzeba rozwijania i udoskonalania kryteriów, które są bezpośrednio związane z warunkami eksploatacji pojazdu. Umożliwi to porównanie oraz ocenę różnorodnych samochodowych systemów transportowych [4,5].

## 1. Introduction

We can use different criteria of estimation and connected with them measures of effectiveness to compare the vehicle transport systems. Some of them are the results of the economic and legal conditions, for example the profits from an activity, the fuel costs etc. Others are the results of the technical factors of used means of transport (the capacity of the vehicle, the frequency of services and repairs). Other criteria are connected with the norms of the noise and the emission of the toxic compounds. The additional measures and criteria are relevant to the factors dependent on the maintenance conditions of the vehicles (the distance covered by the vehicle, the travel conditions) [3,6,7]. The factors dependent on the maintenance conditions are crucial for the chosen transport system when the transport companies have similar vehicles at their disposal and comparable economic situation [4,5].

A proposal of the new elements of the transport system evaluation criterion is presented in the article. It is based on the statistic analysis of the trucks long lasting maintenance investigation.

W artykule przedstawiono propozycję nowych elementów w kryterium oceny systemu transportu samochodowego, którego podstawą są wybrane parametry pracy silnika spalinowego i jego rozruchu. Kryterium to opracowano na podstawie analizy statystycznej wyników długotrwałych badań eksploatacyjnych pojazdów dostawczych.

## 2. Nowe elementy przy ocenie systemu transportu

Oczywiste jest, że warunki eksploatacji samochodu wpływają bezpośrednio na jego funkcjonowanie oraz na pracę i rozruchy zamontowanego w nim silnika spalinowego. Analiza parametrów określających pracę pojazdu i silnika spalinowego oraz parametrów związanych z rozruchami silnika umożliwia porównanie warunków eksploatacji, a tym samym ocenę samochodowych systemów transportu.

Dlatego też proponowane w niniejszej pracy elementy kryterium oceny systemu transportowego opierają się na analizie porównawczej parametrów statystycznych zmiennych losowych opisujących wybrane wielkości charakteryzujące pracę pojazdu i silnika, w szczególności jego rozruchy, względem przyjętych a priori wartości progowych. Do parametrów takich zaliczyć możemy: czas pracy pojazdu, czas działania silnika, czas postoju pojazdu z wyłączonym silnikiem podczas dnia pracy, przebieg kilometrowy samochodu pomiędzy dwoma rozruchami silnika, czas trwania rozruchu, wartość prądu rozruchu, temperaturę silnika w chwili rozruchu i inne [1,2].

Analizowane parametry określa się na podstawie badań eksploatacyjnych pojazdów. Wartości progowe można założyć z góry uwzględniając doświadczenia badacza lub przyjąć na podstawie opublikowanych wyników badań innych ekspertów. Schemat oceny systemu transportowego z wykorzystaniem parametrów pracy pojazdu oraz działania i rozruchu silnika przedstawiono na rysunku 1.

Należy w tym miejscu zaznaczyć, dlaczego w szczególny sposób zwrócono uwagę na parametry rozruchu silnika spalinowego. Podczas rozruchu zachodzi bowiem kilka negatywnych zjawisk. Po pierwsze, obserwuje się zwiększoną intensywność zużywania się par tribologicznych silnika, będącą wynikiem bezwładności układu olejenia, dużej lepkości oleju smarującego oraz zbyt małej prędkości względnej przemieszczających się powierzchni. Po drugie, ze względu na niekorzystne warunki spalania mieszanki paliwowo-powietrznej w cylindrach silnika, podczas rozruchu występuje znaczna emisja składników toksycznych spalin. Po trzecie przeciążenia obserwowane w układzie elektrycznym mogą powodować nieprawidłowości w działaniu układów elektronicznych pojazdu.

## 3. Zastosowanie proponowanych parametrów w ocenie systemu transpotru

Pierwszym krokiem przy zastosowaniu proponowanych parametrów jest ustalenie ich wartości progowych. Na podstawie analizy literatury zagadnienia zaproponowano pięć różnych parametrów [6,7]. Przedstawiono je w tabeli 1 wraz z wartościami progowymi i odpowiadającymi im słownymi określeniami.

W dalszej kolejności przeprowadzono badania eksploatacyjne pojazdów użytkowanych przez Pocztę Polską w Lublinie. Były to samochody ciężarowe STAR 1142 oraz samochody dostawcze LUBLIN. Samochody dostawcze LUBLIN dostarczały przesyłki pocztowe do lokalnych centrów logistycznych. Samochody

## 2. The new elements in the transport system evaluation

It's widely recognized that the vehicle maintenance conditions influence directly its operation parameters and its engine work and the start-up parameters. The analysis of these parameters enables the comparison of the maintenance conditions. It allows to estimate the vehicle transport system. That is why this article proposes a criterion of the transport system evaluation based on a comparative analysis of the statistic parameters of random variables, which describes the vehicle operation, its engine work and the start-up. This comparative analysis uses liminal values of the chosen parameters such as: the vehicle work time, the engine work time, the engine standstill time, the distance covered by the vehicle between the consecutive start-ups of the engine, the time of the engine start-up, the value of the current consumed by a starter during the engine start-up, the engine temperature during the start-up etc [1,2].

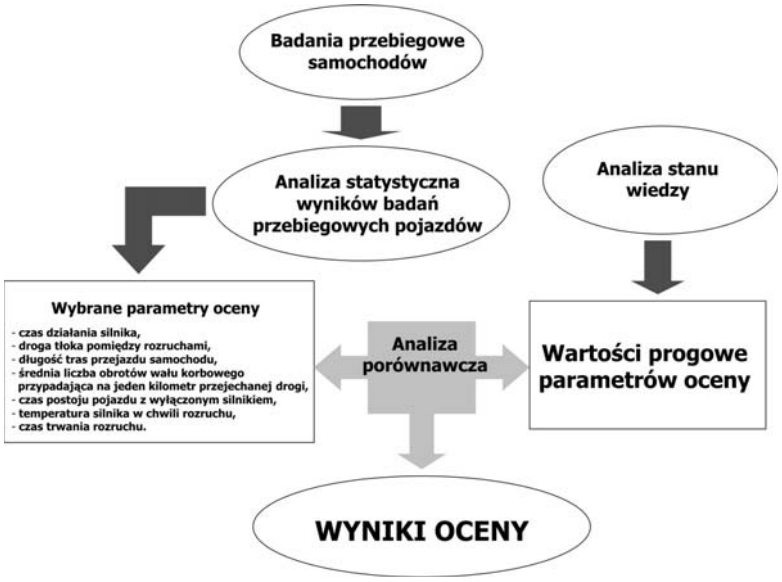
The description of the analyzed parameters is based on the vehicle maintenance researches. The liminal values can be accepted when based on the investigator's experience or the published results of other researchers. The fig. 1 shows the schema of the vehicle maintenance system evaluation using the vehicle operation, its engine work and start-up parameters.

We must state why the attention is paid to the vehicle start-up. A lot of negative processes take place during the vehicle engine start-up. We can observe the increased insensitivity of the tribological engine units' wear, which is caused by the inertia of the engine lubrication system, the viscosity of the engine oil and too low relative velocity of the moving surfaces. Besides, there is higher emission of toxic exhausts because of the unfavourable combustion conditions of the air-fuel mixture in the engine cylinders. Additionally the overloads in the vehicle electric system connected with the start-up can cause the faultiness in the engine electronic system. That is why the information about the start-ups is crucial during the estimation of the vehicle transport systems effectiveness.

## 3. The use of the proposal parameters into transport system evaluation

The first step in using the proposed criterion was to chose the characteristic the choice parameters and to estimate their liminal values. Basing on the analysis of the literature, five parameters were proposed [6,7]. They are shown in table 1 with the liminal values and the respond verbal definitions.

The author carried on some operational researches of STAR 1142 and LUBLIN vehicles used by Polish Post Branch in Lublin. The LUBLIN delivery trucks carry the postal matters from the local posts to the regional logistic centers. On the other hand the STAR trucks of the lager load capacity are responsible for the transport among these centers [1].




*Rys. 1. Proponowany schemat oceny systemu transportowego*
*Fig 1. The schema of the vehicle maintenance system evaluation*

ciężarowe STAR, charakteryzujące się większą ładownością przewoziły przesyłki pomiędzy tymi centami.

Samochody ciężarowe STAR były produkowane do roku 1999 przez Fabrykę Samochodów Ciężarowych w Starachowicach. Samochód ten charakteryzuje się ładownością 8,5 tony. Jednostką napędową tego pojazdu jest silnik 359M. Jest to 6-cylindrowy silnik o ZS z wtryskiem bezpośrednim, o pojemności 6.842 $dm^3$, skoku tłoka 120 mm oraz średnicy cylindra 110 mm. Maksymalny moment obrotowy wynosi 440 Nm przy 1900 obr/min, zaś maksymalna moc to 110 kW przy 3100 obr/min

Samochód dostawczy LUBLIN produkowany był przez Daewoo Motor Polska (obecnie INTRALL Polska). Ładowność tego pojazdu to 1.1 tony. W samochodzie tym zamontowano silnik 4CT90. Jest to 4-cylindrowy silnik o ZS i wtrysku pośrednim, produkowany przez WSK „Andoria" w Andrychowie. Pojemność tego silnika wynosi 2.417 $dm^3$, skok tłoka to 95 mm, średnica cylindra 90mm, maksymalna moc 63.5 kW przy 4100 obr/min, zaś maksymalny moment to 195 Nm przy 2500 obr/min.

W celu zarejestrowania podczas eksploatacji wybranych parametrów pracy pojazdów oraz ich silników zamontowano własne układy pomiarowe. Mierzone sygnały były rejestrowane w specjalnie zaprojektowanym i zbudowanym urządzeniu elektronicznym. Uzyskane dane były przetwarzane w trybie off-line przy użyciu komputera klasy PC. Wyniki badań eksploatacyjnych zostały poddane analizie statystycznej, która pozwoliła na opracowanie związków pomiędzy ocenianym systemem transportu a warunkami pracy pojazdów i silników.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej opracowano parametry statystyczne wybranych wielkości charakteryzujących pracę pojazdu i silnika oraz jego rozruchów. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Uzyskane wartości analizowanych parametrów porównano z ich wartościami progowymi. Na podstawie tego można stwierdzić, że

1. Samochody LUBLIN 1 oraz LUBLIN 2 wykonują krótkie trasy przejazdu. Czasy nieprzerwanego działania ich silników są niedługie, zaś postoje samochodów z wyłączonym silnikiem przeciętne. Występują natychmiastowe i gorące rozruchy silnika.

The truck Factory „STAR" in Starachowice Poland had produced the STAR truck till 1999. The maximum load of the STAR truck is 8.5 tons, the LUBLIN truckload is 1,1 tons. The STAR vehicle has a 359M diesel engine. The engine displacement: 6-cylinder in-line, the direct injection, 6.842 $dm^3$, the stroke/diameter 120/110, the max. torque 440 Nm at 1900 rpm, the max. power 110 kW at 3100 rpm. The delivery truck LUBLIN, produced by Daewoo Motor Poland (now INTRALL Poland), has maximum payload of 1100 kg. The 4CT90 engine is mounted in the LUBLIN vehicle. The 4CT90 engine is a 4-cylinder diesel engine produced by the engine factory „Andoria" located in Andrychów, Poland. The engine displacement: the indirect injection, 2.417 $dm^3$, the stroke/diameter 95/90, the maximum power: 63.5 kW at 4100 rpm, maximum torque: 195 Nm at 2500 rpm.

So as to record the working parameters of the investigated vehicles and their engines during the maintenance, the standard sensors and the measurement devices mounted on the vehicle can be used or some other additional measurement systems must be installed. Measured signals can be recorded in the processing and recording device, designed especially for this purpose. Gathered engine data can be later processed off-line using a PC computer. The results of the operational experiments, after processing, should be statistically analyzed using special statistics software. The statistical analysis of the recorded parameters provides much more information about the correlation between the transport system and the working conditions of the trucks and their engines.

Basing on the statistic analysis of the gathered data, the statistic parameters describing the working parameters of the vehicles, their engines and their start-ups were estimated. The results of those calculations are shown in table 2.

Basing on the results of the statistical analysis the author stated that:

1. The LUBLIN 1 and LUBLIN 2 vehicles run short routes. The engine work times are short and the engine standstill times are of average duration. The immediate and hot start-ups occur.

2. Samochody STAR 1 oraz STAR 2 wykonują trasy przejazdu o normalnej długości. Czasy nieprzerwanego działania ich silników są średnie, zaś postoje samochodów z wyłączonym silnikiem przeciętne. Występują natychmiastowe i ciepłe rozruchy silnika.

2. The STAR 1 and STAR 2 vehicles run average routes. The engine work times are average and the engine standstill times are of average duration. The immediate and warm start-ups occur.

*Tab. 1. Wartości progowe wielkości charakterystycznych*
*Tab. 1. The liminal values of chosen parameters*

| *Wyróżniony parametr*<br>*Specific parameters* | *Wartość progowa i określenie słowne*<br>*Liminal values and verbal definition* | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Czas działania silnika*<br>*Engine work time* | *Poniżej 10 min*<br>*Less than 10 min* | *10 min- 20 min*<br>*From 10 min to 20 min* | *Powyżej 20 min*<br>*More than 20 min* | |
| | *Niedługi*<br>*Short time* | *Średni*<br>*Average time* | *Długi*<br>*Long time* | |
| *Czas postoju pojazdu wyłączonym silnikiem*<br>*Engine standstill time* | *Do 10 min*<br>*Less than 10 min* | *10 min –20 min*<br>*From 10 min to 20 min* | *Powyżej 20 min*<br>*More than 20 min* | |
| | *Krótkotrwały*<br>*Of short duration* | *Przeciętny*<br>*Average duration* | *Długotrwały*<br>*Long-lasting duration* | |
| *Długość trasy przejazdu pojazd*<br>*Distance covered by the vehicle* | *Poniżej 10 km*<br>*Less than 10 km* | *10 km- 30 km*<br>*From 10 km to 30 km* | *Powyżej 30 km*<br>*More than 30 km* | |
| | *Krótkie trasy*<br>*Short routs* | *Pośrednie trasy*<br>*Average routs* | *Długie trasy*<br>*Long routs* | |
| *Temperatura silnika w chwili rozruchu*<br>*Engine temperature during start-up* | Poniżej 0°C<br>*Less than 0°C* | 0°C – 30°C<br>*From 0°C to 30°C* | 30°C – 60°C | Powyżej 60°C<br>*More than 60°C* |
| | *Rozruchy w niskich temperaturach*<br>*Start-up in negative temperature* | *Chłodne rozruchy*<br>*Cold start-up* | *Ciepłe rozruchy*<br>*Warm start-up* | *Gorące rozruchy*<br>*Hot start-up* |
| *Czas trwania rozruchu*<br>*Time of engine start-up* | *Poniżej 3 sek.*<br>*Less than 3 sec.* | *Powyżej 3 sek.*<br>*More than 3 sec.* | | |
| | *Natychmiastowy*<br>*Immediate* | *Długotrwały*<br>*Of long standing* | | |

*Tab. 2. Wyniki analizy statystycznej wyróżnionych parametrów*
*Tab. 2. The results of statistical analysis of chosen parameters*

| *Wyróżniony parametr*<br>*Specific parameters* | *Samochód*<br>*Vehicle* | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *LUBLIN 1* | | *LUBLIN 2* | | *STAR 1* | | *STAR 2* | |
| | *średnia*<br>*Mean value* | *odchylenie standardowe*<br>*Standard deviation* | *średnia*<br>*Mean value* | *odchylenie standardowe*<br>*Standard deviation* | *średnia*<br>*Mean value* | *odchylenie standardowe*<br>*Standard deviation* | *średnia*<br>*Mean value* | *odchylenie standardowe*<br>*Standard deviation* |
| *Czas działania silnika*<br>*Engine work time*<br>*[min]* | *7.9* | *8.3* | *8.6* | *8.6* | *19.1* | *29.2* | – | – |
| *Czas postoju pojazdu z wyłączonym silnikiem*<br>*Engine standstill time [min]* | *10.9* | *27.6* | *10.2* | *21.5* | *12.9* | *21.1* | – | – |
| *Długość trasy przejazdu pojazdu*<br>*Distance covered by the vehicle*<br>*[km]* | *6.8* | *9.3* | *5.9* | *7.8* | *28.6* | *37.2* | *27.2* | *36.5* |
| *Temperatura silnika w chwili rozruchu*<br>*Engine temperature during start-up*<br>*[°C]* | *79.1* | *15.7* | *80.4* | *18.6* | *38.5* | *27.8* | *38.2* | *28.0* |
| *Czas trwania rozruchu*<br>*Time of engine start-up*<br>*[sek]* | *0.38* | *0.14* | *0.37* | *0.20* | *2.81* | *2.26* | *2.90* | *2.34* |

## 4. Wnioski

Zaproponowane w niniejszym artykule elementy kryterium oceny systemu transportowego opiera się na analizie porównawczej parametrów statystycznych zmiennych losowych opisujących wybrane wielkości charakteryzujące pracę pojazdów i silników, w szczególności ich rozruchów, względem przyjętych a priori ich wartości progowych. Pozwala to na wszechstronniejsze opiniowanie samochodowych systemów transportowych.

Na podstawie przedstawionych w pracy wyników należy stwierdzić, że występujące warunki eksploatacji pojazdu w badanym systemie transportu Poczty Polskiej w Lublinie są właściwe. Dotyczy to szczególnie minimalizowania jego negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne. Świadczy to o wysokiej kulturze techniczno-organizacyjnej tej firmy.

## 4. Summary

The elements of the criterion of the vehicle transport system evaluation presented in this article is based on the comparative analysis of the statistic parameters of random variables, which describes the vehicle operation, its engine work and the start-up. This comparative analysis uses the liminal values of the chosen parameters. It provides possibilities for creating more comprehensive opinions about the vehicle transport systems.

Basing on the results of the researches showed in this article we can state that the vehicle maintenance conditions in Polish Mail transport system are proper. In these conditions the negative phenomena occurring inside the engine and their unfavourable effects on the environment are minimized. They testify high technical-organization standards of the Polish Mail, Branch in Lublin.

## 5. References

[1] Droździel 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.

[2] Droździel P., Liščák Š.: *The chosen problems of commercial truck maintenance*, EDIS- Žilina University publisher, Žilina, 2005.

[3] Gasiński L., Kaszuba R.: *Jakość eksploatacji pojazdów- uwarunkowania i sterowanie jakością.* Materiały Konferencyjne KONMOT'96. Tom. 2. Politechnika Krakowska. Kraków, 1996. p. 47-52.

[4] Oziemski S.: *Efektywność eksploatacji maszyn. Podstawy techniczno-ekonomiczne*. Wyd. ITE. Radom, 1999.

[5] Slater A.: *Specification for a dynamic vehicle routing and scheduling system*. International Journal of Transport Management. Elsevier Science Ltd., 2002. p. 29-40.

[6] Taylor M. A. P., Woolley J. E., Zito R.: *Integration of global positioning system and geographical information systems for traffic congestion studies.* Transportation Research Part C. 8 (2000). Elsevier Science Ltd. 2000, str. 257-285.

[7] Urs M. Mohr M., Forss A.M.: *Comprehensive particle characterization of modern gasoline and diesel passenger cars at low ambient temperature.* Atmospheric Environment. Elsevier Ltd. 2004, str. 107-117.

**Dr inż. Paweł DROŹDZIEL**

Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin
e-mail: p.drozdziel@pollub.pl

Paweł KORDOS

# WPŁYW WARUNKÓW PRACY SILNIKA SPALINOWEGO PODCZAS BADAŃ STANOWISKOWYCH NA ZUŻYCIE TULEI CYLINDROWEJ

# THE INFLUENCE OF THE COMBUSTION ENGINE WORK CONDITIONS ON THE CYLINDER WEAR IN THE STAND TEST RESEARCHES

*Występujące różnice w warunkach pracy silnika spalinowego na stanowisku badawczym i podczas rzeczywistej eksploatacji prowadzą do rozbieżności w wynikach zużycia konstrukcji całego silnika oraz jego elementów. Z tego względu ważne jest odpowiedzenie na pytania jak warunki pracy silnika spalinowego podczas badań stanowiskowych wpływają na zużycie jego tulei cylindrowej oraz czy można tak otrzymane wyniki zużycia porównywać z wynikami uzyskanymi podczas rzeczywistej jego eksploatacji w pojeździe. Artykuł próbuje odpowiedzieć na te pytania poprzez porównanie wartości zużycia tulei cylindrowych w trakcie trzech niezawodnościowych badań stanowiskowych z wynikami długotrwałej eksploatacji tego samego typu silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym w pojeździe.*

***Słowa kluczowe:*** *badania stanowiskowe, silnik, tuleja cylindrowa, zużycie*

*The differences between the work of the engine during the test-stand researches and the real operation lead to the dissimilarity in the obtained results of the chosen elements and the whole engine wear. For that reason, it is very important to answer the questions: how the conditions of the engine work during the test-stand researches influence its cylinder wear and whether it is possible to compare the obtained results with the results occurring during the real maintenance of a vehicle. This article tries to answer these questions by comparing the values of diesel engine cylinder wear received during three reliability test-stand researches and the long-term maintenance of the same type of the combustion engine in the vehicle.*

***Keywords:*** *test-stand research, engine, cylinder, wear*

## 1. Wstęp

Stanowiskowe badania niezawodności samochodowych silników spalinowych przeprowadza się w celu określenia zużycia wybranych elementów silnika spalinowego, a tym samym oceny trwałości stosowanych elementów oraz całej konstrukcji silnika. Pomimo, że badania takie są długotrwałe oraz wymagają znacznych nakładów finansowych są one systematycznie prowadzone. Podczas testów niezawodności silnik spalinowy pracuje na stanowisku badawczym powtarzając wielokrotnie tzw. pojedynczy cykl testowy.

W pojedynczym cyklu testowym zakłada się kolejne czasy pracy silnika przy zadanych, różnych wartościach prędkości obrotowej wału korbowego i obciążenia. Cechą charakterystyczną pojedynczych cykli testowych jest niezmienność, w określonym czasie trwania cyklu, dwóch podstawowych parametrów pracy silnika tj.: prędkości obrotowej wału korbowego oraz obciążenia. Dodatkowo, wartość tych parametrów odpowiada „ciężkim" warunkom pracy silnika spalinowego (czy to przy mocy znamionowej, czy też przy maksymalnym momencie obrotowym). Występujące zaś okresy pracy silnika bez obciążenia podyktowane są niedopuszczeniem w trakcie przeprowadzanych badań do przegrzania i zatarcia się głównych par tribologicznych [4,5].

Dla warunków rzeczywistej eksploatacji pojazdu występuje większa zmienność wartości tych dwóch parametrów, przy jednoczesnym znacznym udziale częściowych obciążeń silnika. Kolejną różnicą pomiędzy pracą silnika spalinowego na stanowisku badawczym, a rzeczywistą eksploatacją jest częstotliwość jego rozruchów. W warunkach rzeczywistej eksploatacji w samochodzie są one dokonywane znacznie częściej [6].

Występujące różnice w warunkach pracy silnika spalinowego na stanowisku badawczym i podczas rzeczywistej eksploatacji

## 1. Introduction

The durability test-stand researches of the vehicle combustion engines are carried out to estimate the wear of their chosen elements and the reliability of the used elements and the construction of the whole engine. Therefore, despite of the long duration and the high price, test-stand researches are systematically realized. During these researches, the engine is run according to the multiple repeated cycle of the operation. The single test cycle assumes the following operation times with defined and different values of the crankshaft rotational speed and the load. The characteristic feature of the presented single test cycles is the invariability of the two main parameters of the engine work: the rotational speed and the load during the defined cycle duration. Moreover, their values correspond to the „heavy" conditions of the operation (i.e. the rated power of a maximum torque). The present time intervals of the idle operation are aimed to avoid overheating and seizing of the main tribological pairs [4,5].

In the conditions of the real operation, the values of these two parameters are much more diversified (the city driving) with a high share of partial loads (the inter-city driving). Another significant difference between the test-stand reliability evaluation and the real operation is the frequency of the engine start-ups. In the real conditions the engine start-ups are far more frequent [6]. The differences between the work of the engine during the test-stand researches and the real operation lead to the dissimilarity in the obtained results of the chosen elements and the whole engine wear. For that reason, it is very important to answer the questions: how the conditions of the engine work during the test-stand researches influence its cylinder wear and whether it is possible to compare the obtained results with the results occurring during the real maintenance of a vehicle [1,3].

prowadzą do rozbieżności w wynikach zużycia konstrukcji całego silnika oraz jego elementów. Z tego względu ważne jest odpowiedzenie na pytania jak warunki pracy silnika spalinowego podczas badań stanowiskowych wpływają na zużycie jego tulei cylindrowej oraz czy można tak otrzymane wyniki zużycia porównywać z wynikami uzyskanymi podczas rzeczywistej jego eksploatacji w pojeździe [1,3]. Artykuł próbuje odpowiedzieć na te pytania poprzez porównanie wartości zużycia tulei cylindrowych w trakcie trzech niezawodnościowych badań stanowiskowych z wynikami długotrwałej eksploatacji tego samego typu silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym w pojeździe.

## 2. Badania doświadczalne

Obiektem badań, w których oceniano zużycie tulei cylindrowej był silnik spalinowy 4CT90. Ten 4-cylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym produkowanym przez WSK „Andoria" w Andrychowie jest jednostką napędową samochodu dostawczego LUBLIN. Silnik ten, o wtrysku pośrednim, posiada objętość skokową 2,417 litra, skok tłoka wynosi 95 mm, średnica cylindra – 90 mm, maksymalna moc wynosi 63,5 kW przy 4100 obr/min, moment maksymalny – 195 Nm przy 2500 obr/min.

W celu odpowiedzi na postawione pytania przeprowadzono następujące badania zużycia tulei cylindrowych silnika spalinowego 4CT90 o zapłonie samoczynnym [4]:

1. badania podczas długotrwałej eksploatacji (5 silników),
2. badania na stanowisku badawczym wg „próby standardowej" opisanej w normie BN-79/1374-04,
3. badania na stanowisku laboratoryjnym wg „próby dużych obciążeń",
4. badania na stanowisku laboratoryjnym wg „próby rozruchowej".

W tabeli 1 zaprezentowano warunki pracy silnika oraz czas trwania prób podczas ww. badań stanowiskowych.

This article tries to answer these questions by comparing the values of diesel engine cylinder wear received during three reliability test-stand researches and the long-term maintenance of the same type of the combustion engine in the vehicle.

## 2. Researches

The research object used to estimate the cylinder wear was the 4CT90 engine. The 4CT90 is a combustion self-ignition diesel engine. It is produced by a Diesel Engines Factory „ANDORIA S.A." in Andrychów. The 4CT90 is installed in LUBLIN III delivery truck. This engine is characterized by the following general dates: the cubic capacity: 2.417 $dm^3$, the max. power 63.5 kW at 4100 rpm and it develops the maximum moment 195 Nm at 2500 rpm.

The following researches of the cylinder wear were carried out to answer these questions [4]:

1. the researches during a long-term operation of five engines in vehicles;
2. the researches done in the laboratory conditions with the use of the „standard test" described in BN-79/1374-04 norm;
3. the researches done in the laboratory conditions with the use of the „large load test";
4. the researches done in laboratory conditions with the use of the „start-up test".

The conditions of the engine work and the time of these laboratory researches duration are presented in the table 1.

*Tab. 1. Warunki pracy silnika podczas badań stanowiskowych*
*Tab. 1. The conditions of the engine work during laboratory test*

| *Warunki pracy*<br>*The work conditions* | *„Próba rozruchowa"*<br>*The „start-up test"* | *„Próba dużych obciążeń"*<br>*The „large load test"* | *„Próba standardowa"*<br>*The „standard test"* |
|---|---|---|---|
| *Czas trwania próby [godz]*<br>*The time of duration of the test [hours]* | *100* | *250* | *300* |
| *Liczba rozruchów [-]*<br>*The number of the engine start-ups [-]* | *1000* | *1* | *100* |
| *Udział procentowy czasu trwania serii rozruchów w trakcie próby [%]*<br>*The percentage fraction of the time of the engine start-up series during the test [%]* | *91* | *nie dotyczy* | *nie dotyczy* |
| *Udział procentowy biegu jałowego podczas próby [%]*<br>*The percentage fraction of the time of the engine idle operation during the test [%]* | *9* | *0* | *11.0* |
| *Udział procentowy pracy silnika przy maksymalnym momencie obrotowym [%]*<br>*The percentage fraction of the engine work time with the max power during the test [%]* | *0* | *0* | *33.5* |
| *Udział procentowy pracy silnika przy maksymalnej mocy [%]*<br>*The percentage fraction of the engine standstill time during the test [%]* | *0* | *100* | *44.5* |
| *Udział procentowy postoju silnika [%]*<br>*The percentage fraction of the engine standstill time during the test [%]* | *0* | *0* | *5.5* |
| *Udział procentowy pracy silnika przy prędkości maksymalnej [%]*<br>*The percentage fraction of the engine work time with the max rpm during the test [%]* | *0* | *0* | *5.5* |

Zużycia tulei cylindrowych na stanowisku badawczym oceniano przy pomocy metody „sztucznych baz", podczas badań eksploatacyjnych zastosowano zaś średnicówkę dwupunktową. Pomiarów dokonywano na wysokościach i kierunkach wymaganych w normie BN-79/1374-04.

## 3. Wyniki badań

W celu porównania uzyskanych wyników zużycia w wykonanych badań stanowiskowych ze zużyciem zaobserwowanym podczas eksploatacji pojazdu (przebieg rzędu 100 tys. km) dokonano ich przeliczenia. Przyjęto przy tym, że 1 godzina pracy silnika na hamowni podczas „próby dużych obciążeń" i „próby standardowej" odpowiada przebiegowi pojazdu wynoszącemu 60 km, zaś rozruchy odbywają się średnio co 7 km [4].

Wyniki otrzymanych zużyć poddano analizie statystycznej przy wykorzystaniu programu STATISTICA. W pierwszym kroku tej analizy opracowano statystyki opisowe dla uzyskanych wartości zużycia, co zaprezentowano w tabeli 2. Na rysunku 1 zaprezentowano zaś histogramy rozkładu zużycia tulei cylindrowych otrzymanych w trakcie przeprowadzonych badań. Przeprowadzona ocena normalności rozkładów empirycznych wykazała, że zużycie tulei cylindrowej podczas eksploatacji (statystyka $\chi^2$ ma wartość 15,38 i poziom prawdopodobieństwa $p = 0{,}05205$) oraz po „próbie rozruchowej" można aproksymować rozkładem normalnym (statystyka $\chi^2 = 13{,}64$ i $p = 0{,}135$). Natomiast rozkładów zużycia uzyskanych podczas „próby standardowej" ($\chi^2 = 80{,}08$ i $p = 0{,}00$) oraz podczas „próby dużych obciążeń" ($\chi^2 = 197{,}28$ i $p = 0{,}00$) nie można aproksymować tego typu rozkładem [2].

Na podstawie wyników badań stwierdzono, że średnie zużycie tulei cylindrowych silnika na stanowisku badawczym po „próbie rozruchowej" stanowi 85,5% całkowitego średniego zużycia podczas eksploatacji silnika w pojeździe, który wykonał taką samą liczbę rozruchów jak w trakcie próby rozruchowej. Dla „próby standardowej" i „próby dużych obciążeń" średnie zużycie jest większe i stanowi odpowiedni 103,4% i 107,5% średniego zużycia podczas eksploatacji silnika w pojeździe.

W celu odpowiedzi na pytanie, czy uzyskane wartości średnie zużycia w poszczególnych badaniach różnią się istotnie od siebie, wykonano analizę wariancji. Ze względu na nie spełnienie warunku normalności rozkładów wartości uzyskanych zużyć dokonano tego przy wykorzystaniu nieparametrycznego testu Kruskala-Willisa [2]. W obliczeniach stwierdzono, że

The estimation of the cylinder wear during three laboratory tests was carried out with the use of the „artificial bases" method. An inside micrometer was applied to investigate the engine cylinder wear during the vehicle maintenance. The locations of the wear measurement points are described in the branch standard BN-79/1374-04.

## 3. The results of the researches

The authors counted over the value of the engine cylinder wear to compare the results of the laboratory tests and its maintenance. It has been assumed that one-hour work in the laboratory conditions during the „large load test" and the „standard test" is adequate to 60 km of the vehicle ride. The frequency of the engine start-ups is every 7 km. This comparison was carried out during 100 thou. km vehicle ride [4].

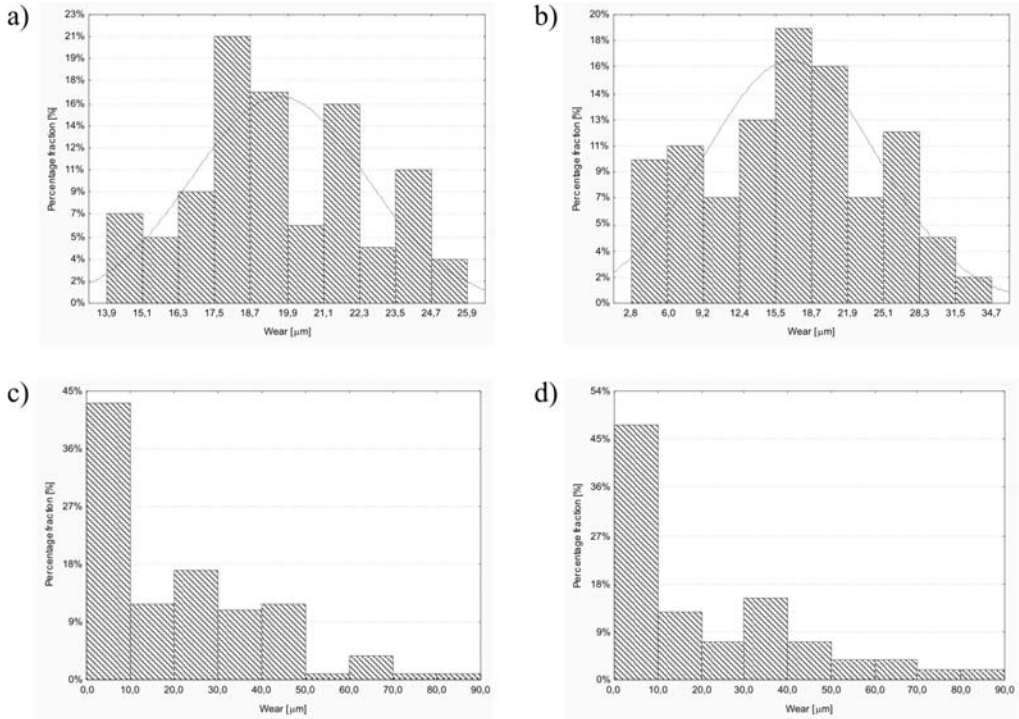
The results of the obtained cylinder wear were statistically analyzed with the use of STATISTICA program. Firstly the chosen statistic parameters were prepared, which is presented in the table 2. The figure 1 shows the histogram of the statistical distribution of the cylinder wear obtained during the researches. The conducted estimation shows that the obtained results of the cylinder wear during the maintenance (the $\chi^2 = 15.38$ with $p = 0.05205$) and the „start-up test" (the $\chi^2 = 13.64$ with $p = 0.135$) are possible to approximate with the use of the normal distribution. On the other hand the cylinder wear distribution gained in the „large load test" (the $\chi^2 = 80.08$ p = 0.00) and the „standard test" (the $\chi^2 = 197.00$ with $p = 0.00$) can't be approximated using the normal distribution [2].

Basing on the obtained results, of the researches it was stated that the mean value of the cylinder wear measured after the „start-up test" is equal 85.5% of the whole mean cylinder wear during the engine maintenance in the vehicle. The engine carried out the same number of start-ups as during the start-up test. The mean wear is equal 103.4% for the „standard test" and 107.5% for the „large load test".

Secondly the variance analysis was carried out to answer the question whether the obtained mean values of the cylinder wear were essentially different in each research. The authors used the non-parametric Kruskal-Willis test because the condition for the normal distribution of the cylinder wear wasn't fulfilled. The calculations showed that the value of $H$ statistic was equal 7.4955 when probability $p$ was equal 0.0577. This result allows us to state that the mean cylinder wear obtained during the „large load test" and the „standard test" are different than those gained during

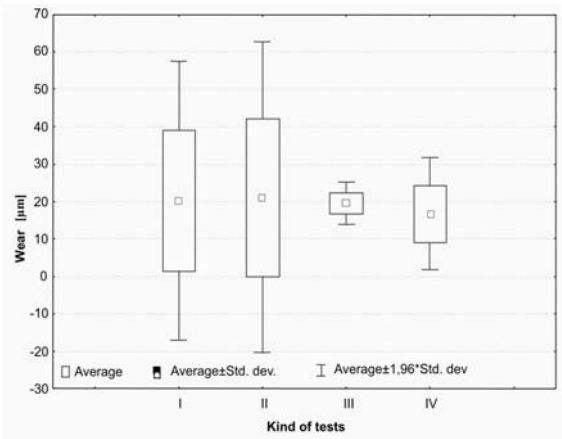
*Tab. 2. Parametry położenia i rozrzutu zużycia rozruchowego tulei dla silnika 4CT90*
*Tab. 2. Location and scatter parameters of the start up wear for the 4C90 engine cylinder*

| | Wartość średnia Mean value $\bar{d}$ [μm] | Wariancja Variance Var (d) [μm$^2$] | Odchylenie standardowe Standard deviation $\sigma_d$ [μm] | Błąd standardowy Standard error $\delta_d$ [μm] | Mediana Median $m_e$ [μm] | Współ. zmienności Coefficient of variation v [%] | Wartość max Max value [μm] | Wartość min Min value [μm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eksploatacja Maintenance | 19,66 | 8,53 | 2,92 | 0,275 | 19,45 | 14,85 | 25,94 | 13,89 |
| BN 79/1374-04 The „standard test" | 20,33 | 361,66 | 19,01 | 1,796 | 16,32 | 93,07 | 85,71 | 0,04 |
| Próba dużych obciążeń The „large load test" | 21,14 | 448,19 | 21,17 | 2,000 | 13,15 | 100,14 | 83,33 | 0,04 |
| Próba rozruchowa The „start-up test" | 16,81 | 59,58 | 7,71 | 0,729 | 17,25 | 45,86 | 34,71 | 2,77 |



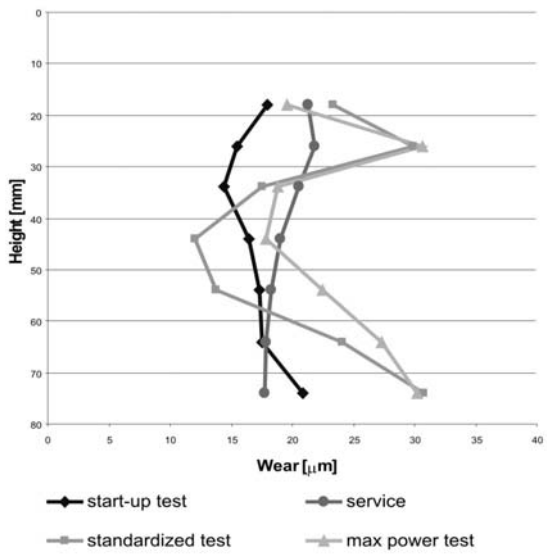

*Rys. 1. Histogram rozkładu wartości zużycia tulei cylindrowych; a) po długotrwałej eksploatacji, b) po„próbie rozruchowej", c) po „próbie dużych obciążeń" d) po „próbie standardowej"*

*Fig. 1. Histogram of the cylinder wear value distribution; a) after long maintenance, b) after the „start-up test", c) after the „large loads test", d) after the „standard test"*




*Rys. 2. Skategoryzowany wykres ramkowy średnich wartości zużyć tulei cylindrowej; I) po „próbie dużych obciążeń", II) po „próbie standardowej", III) po długotrwałej eksploatacji, IV) po „próbie rozruchowej"*

*Fig. 2. Scatter diagram for the mean value of cylinder wear; I) after the „large loads test", II) after the „standard test", III) after long maintenance, IV) after the „start-up test"*




*Rys. 3. Profile zużycia tulei cylindrowych silników*

*Fig. 3. Wear profile of the engines cylinder liners*

wartość statystki wynosi $H = 7{,}4955$ dla $p = 0{,}0577$. Pozwala to na stwierdzenie, że uzyskane wartości średnie zużyć w „próbie dużych obciążeń" i w „próbie standardowej" statystycznie różnią się od wartości zużyć uzyskanych podczas eksploatacji i „próby rozruchowej". Ilustracją tego jest skategoryzowany wykres ramkowy przedstawiony na rysunku 2 na którym pokazano wartość

the „start-up test" and the maintenance. It is shown on the figure 2 with the scatter diagram for the 4CT90 engine cylinder wear in the function of the type of the researches.

The differences in the obtained results of the cylinder wear are also apparent along the height of the cylinder liner (see fig. 3). Basing on the comparison of the wear profile of the cylinder

zużycia tulei cylindrowych silnika 4CT90 w funkcji czynnika grupującego, jakim jest rodzaj badań.

Różnice pomiędzy otrzymanymi wynikami zużycia są także widoczne na różnych wysokościach wzdłuż tulei cylindrowej, co zaprezentowano na rysunku 3. Na podstawie porównania profili zużycia tulei cylindrowej (zob. rys. 3) stwierdzono, że zarówno dla „próby standardowej", jak i „próby dużych obciążeń" największe wartości zużycia wystąpiły w pobliżu górnego i dolnego zwrotnego położenia pierścieni tłokowych. Natomiast w nowej „próbie rozruchowej" i podczas eksploatacji uzyskano bardziej równomierny profil zużycia tulei. Ze wszystkich trzech porównanych prób stanowiskowych najbardziej zbliżony do eksploatacyjnego profil zużycia uzyskano podczas „próby rozruchowej".

## 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stanowiskowych i eksploatacyjnych stwierdzono, że:

1. Warunki pracy silnika spalinowego podczas badań stanowiskowych mają istotny wpływ na wartość zużycia jego tulei cylindrowej. Wpływają one nie tylko na wartość tego zużycia ale przede wszystkim na jego charakter.
2. Dokonywanie porównania wartości zużycia uzyskiwanego podczas badań stanowiskowych z wartościami obserwowanymi podczas rzeczywistej eksploatacji silnika spalinowego jest możliwe. Wymaga to jednak od badacza znacznej wiedzy o procesach tribologicznych zachodzących w silniku spalinowym.

Dodatkowo należy powiedzieć, że profil zużycia tulei cylindrowej w „próbie rozruchowej", w przeciwieństwie do „próby standardowej" i „próby dużych obciążeń", jest zgodny z profilem zużycia eksploatacyjnego. Świadczy to o podobieństwie warunków tarcia w „próbie rozruchowej" i podczas rzeczywistej eksploatacji silnika.

liner the authors affirmed that the maximum values of the cylinder wears were observed at the top turning positions of the rings for both the „large load test" and the „standard test". However more equable wear profile of the cylinder liner was obtained during the „start-up test" and the maintenance.

## 4. Summary

Taking into account the laboratory and field researches we can state that:

1. The engine work conditions during the laboratory test have significant influence on the cylinder wear. These conditions affect not only the value but also the character of the wear.
2. The comparison between the engine cylinder wear obtained during the stand-test researches and maintenance test is possible. It demands investigator's wide knowledge of the tribological processes.

Additionally we should state that the wear profile of the cylinder liner obtained in the „start-up test" is more similar to the profile obtained during the real maintenance engine service, than the profiles obtained in the „standard test" and the „large load test". It confirms the similarity of the friction conditions in the „start-up test" and in the real operation.

## 5. References


[1] Becker E. P.: *Trends in tribological materials and engine technology*. Tribology International. No 37. Elsevier Science Ltd, 2004, str. 569–575.

[2] Dobosz M.: *Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2001.

[3] Jensen M. F., Bottiger J., Reitz H. H., Benzon M. E.: *Simulation of wear characteristics of engine cylinder*. Wear. No 253. Elsevier, 2002, str. 1044-1056.

[4] Kordos P.: *Stanowiskowa metoda badań niezawodności samochodowego silnika o zapłonie samoczynnym*. Praca Doktorska, Politechnika Lubelska, 2005.

[5] Liščák Š., Droździel P., Kordos P.: *Test-stand reliability evaluation under the operational research of the vehicle*. Studies of Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications of University of Transport and Communications in Žilina. Vol. 19, University of Žilina, Slovak Republic, 2003, str. 107-112.

[6] Niewczas A., Droździel P.: *Zagadnienie prognozowania trwałości samochodowego silnika spalinowego*. Problemy Eksploatacji. Nr 3/2005. Wyd. ITEE, Radom, 2005, str. 203-211.



**Dr inż. Paweł KORDOS**

Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Silników Spalinowych i Transportu
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: p.kordos@pollub.pl

Kazimierz KOWALSKI

# UŻYTKOWANIE POJAZDÓW WOJSKOWYCH W WARUNKACH NIEDOBORU PALIW BAZOWYCH

# UTILIZATION OF MILITARY VEHICLES UNDER SHORTAGE OF BASIC FUELS

*W referacie przedstawiono ważność rynku paliw komercyjnych ze względu na możliwość zasilania silników pojazdów wojskowych w warunkach niedoboru paliw bazowych. Wymieniono i scharakteryzowano aktualnie, powszechnie dostępne paliwa zastępcze. Przedstawiono ich wpływ zarówno na pracę silników napędowych jak i na właściwości trakcyjne pojazdów. Na zakończenie podano ogólne zasady zasilania silników pojazdów wojskowych w warunkach niedoboru paliw bazowych.*

***Słowa kluczowe:*** *pojazdy wojskowe, silniki wielopaliwowe, paliwa zastępcze.*

*The importance of common fuel market because of probability of fueling propulsive engines of military vehicles (diesel engines) under shortage of basic fuels was presented. Basic replace fuels currently commonly available were introduced. The impact of replace fuels on propulsive engines and military vehicles traction proprieties were presented. Common rules fueling of military vehicles engines of replace fuels were introduced.*

***Keywords:*** *military vehicles, multifuel engines, replace fuels*

## 1. Wstęp

Ogromne znaczenie, z punktu widzenia możliwości zapewnienia ciągłości wykonywanych zadań, mają paliwa, których dostawy podczas działań w warunkach kryzysowych mogą charakteryzować się dużą nierytmicznością.

Tak więc w każdej sytuacji niedoboru paliw bazowych bardzo wartościowe są lokalne, stacjonarne i ruchome źródła zaopatrzenia w materiały pędne, w tym stacje paliw na szlakach komunikacyjnych oraz zapasy paliwa w różnych zbiornikach i cysternach.

Asortyment paliw zgromadzonych w magazynach cywilnych różni się na ogół od bieżących potrzeb wojska w zakresie materiałów pędnych, które wynikają z rodzaju i liczby silników występujących w sprzęcie różnych rodzajów wojsk.

Prawie wszystkie silniki napędowe pojazdów wojskowych są zasilane olejem napędowym. Natomiast na komercyjnych stacjach paliw zgromadzone są znaczne ilości benzyn i olejów napędowych nowej formuły. Praktycznie dostępne są tylko benzyny bezołowiowe, wysokooktanowe (np. Eurosuper 95). Natomiast oleje napędowe są olejami o niskiej zawartości siarki (około 50 ppm, np. Eurodiesel Plus 50). Ponadto coraz większy udział w rynku paliw zajmują lekkie oleje opałowe, które również mogą być zastępczo wykorzystywane do napędu silników o zapłonie samoczynnym (ZS), a także Biodiesel (paliwo pochodzenia roślinnego do silników o ZS). Należy również wspomnieć o coraz większym zapasie paliw zgromadzonym w pobliżu lotnisk i wykorzystywanych do zasilania silników napędowych statków powietrznych. W szczególnych warunkach można mieszać paliwa tak, aby własności mieszanin jak najmniej wpływały na przebieg spalania i parametry użyteczne silników.

Ze względu na masowe zużycie paliw, dąży się do ujednolicenia asortymentu paliw w wojsku, a przykładem tego jest wprowadzanie w NATO jednolitego paliwa do tłokowych silników pojazdów mechanicznych i turbinowych silników śmigłowców (paliwo F-34). [1]

## 1. Introduction

Taking into consideration that delivery of fuels in crisis conditions could be inconstancy, possibilities of its supplies have played the bigger and bigger importance. Thus in every situation of shortage of basic fuels there is very valuable to have the local, stationary and moving supply sources of fuels, including the petrol stations down the communication routes and the stores of fuel in different reservoirs and tankers as well.

The assortment of fuels supplies in commercial stores, differs in general from current needs of the army in the range of fuels, which follow from the kind and number of the military vehicles engines.

Nearly all engines of military vehicles are fueled on diesel oil. However the considerable quantities of petrol and diesel oil of new formula are stored on commercial gas stations. Practically there are accessible only high octane unleaded petrol (eg. Eurosuper 95). Diesel oil has low content of sulphur (about 50 ppm, eg. Eurodiesel Plus 50). Moreover the light heating oils are getting more and more popular on the local market and they can by used as substitute to supply Diesel engines and also Biodiesel (fuel of vegetable origin to Diesel engines). It is also necesery to mention about fuels stored in the vicinity of airports, which are used more and more to suply turbine engines of planes. In special conditions it is possible to make the mixture of the proper fuels so that to create the new one with required parameters.

Owing to the fact that military vehicles use up a huge amont of fuels, thre is a tendency to standarize the range of fuels to universal one. Let's take the example of the fuel F-34, which is the universal one for piston engines of motor vehicles and turbine engines of helicopters.

In spite of introduction to the land forces the universal fuels there is still growing up the meaning of use of the local sources of fuels. It is assessed that the quantity of light heating oil from one apartament house would be enough to travel 100 km by a company of Leopard 1 tanks. [2] The idea of guarantee of possibility of utilization various fuels from local market has

Pomimo wprowadzania idei paliwa uniwersalnego w dalszym ciągu wzrasta znaczenie wykorzystywania lokalnych źródeł paliw. Ocenia się, że olej opałowy z jednego bloku mieszkalnego średniej wielkości wystarcza do przejechania 100 km przez kompanię czołgów Leopard 1. [2] Idea zagwarantowania możliwości wykorzystania paliw z rynku lokalnego była podstawą zastosowania silników wielopaliwowych do napędu wozów bojowych.

encouraged engineers to create a multifuel engines assigned to drive the combat vehicles.

## 2. Paliwa zastępcze

Paliwa zastępcze są to paliwa, którymi można zasilać silniki spalinowe, bez znaczącego ograniczenia ich wartości użytkowych w przypadku niedoboru paliw bazowych (w zastępstwie paliw zalecanych). Do tych paliw można zaliczyć paliwa zarówno ropopochodne jak i pochodzenia roślinnego, a także ich mieszaniny. Do aktualnie dostępnych na rynku powszechnym paliw zastępczych do silników o ZS zaliczamy:

a) paliwa lotnicze (np. Jet A1, F-34),
b) estry metylowe oleju rzepakowego (RME – Rape Seed Methyl Esters, Biodiesel),
c) lekkie oleje opałowe (np. EKOTERM),
d) mieszaniny paliw a – c w dowolnych stosunkach procentowych zarówno z olejem napędowym jak i między sobą,
e) mieszaniny paliw a – c z benzyną (w stosunku objętościowym do 30%),
f) mieszanina oleju napędowego z benzyną (w stosunku objętościowym do 30%).

Podstawowe właściwości wybranych paliw zastępczych przedstawiono w tablicy 1.

## 2. Substitute fuels

Fuels which can be used, in case of shortage of basic fuels (in replaced of recommended fuels), to supply engines without significant limitation of its useable parameters are called substitute fuels. To this group can be joned both fossil fuels, biofuels (fuels on vegetable origin) and their mixture. At present to the substitute fuels for fueling Diesel engines we can include such fuels as:

a) fuels for turbine engines (Jet A1, F-34),
b) rape seed methyl esters - RME, Biodiesel,
c) light heating oils (eg. EKOTERM),
d) the mixture of fuels a– c in any proportional relations both with and without diesel oil,
e) the mixture of fuels a– c up to 30% with petrol (capacity rate),
f) the mixture of diesel oil and petrol up to 30% (capacity rate).

A few usefull parameters of some substitute fuels were shown in table 1.

*Tab. 1. Wybrane właściwości paliw zastępczych. ON IZ-40 – olej napędowy, całoroczny, stosowany w Siłach Zbrojnych RP, pozostałe oznaczenia w tekście*

*Tab. 1. Selected parameters of replaced fuels*

| Właściwości<br>Characteristics | F-34 | RME | EKOTERM | ON IZ-40 |
|---|---|---|---|---|
| Gęstość, g/c$^3$,w temp. 15$^O$C<br>Density, g/cm$^3$, in temp. 15$^O$C | 0,804 | 0,880 | 0,840 w 20 $^O$C | 0,831 |
| Temperatura zapłonu, $^O$C<br>Flash point, $^O$C | 57 | 130 | 85 | 66 |
| Temperatura blokady zimnego filtra, $^O$C<br>CCold Filter Plugging Point, $^O$C | -0,54 | -10 | - | -31 |
| Lepkość, m$^2$/s, w 40 $^O$C<br>Vicosity, mm$^2$/s, w 40 $^O$C | 1,27 | 6,00 | 5,1 w 20 $^O$C | 2,35 |
| Liczba cetanowa<br>Cetane number | 45 | 57 | - | 50 |
| Destylacja T90, $^O$C<br>Distillation T90, $^O$C | 225 | 340 | do 350 $^O$C destyluje 94,8%<br>up to 350 $^O$C destils 94,8% | 330 |

## 3. Wpływ zasilania paliwami zastępczymi na pracę silników o ZS

Zasilanie silników o ZS paliwami lotniczymi (F-34, Jet A-1) nie nastręcza większych problemów eksploatacyjnych. Tymi paliwami można zasilać silniki bez żadnych zmian parametrów układu zasilania. Należy się wówczas liczyć ze: spadkiem mocy silnika powodującego pogorszenie charakterystyk dynamiki pojazdów o około 4 - 8%, zwiększonym zużyciem paliwa o 5÷12% niż przy zasilaniu pojazdów olejem napędowym, zwiększonymi przeciekami paliwa w układzie wtryskowym. Dopuszcza się

## 3. Influence of substitute fuels supply on running of diesel engines

Supply of Diesel engines of turbine engine fuels (F -34, Jet A -1) does not procure any significant problems. These fuels do not require any changes within the supply system of Diesel engines. However it is observed an decrease of power of engines which cause deterioration of dynamic characteristic of vehicle within 4 - 8%, bigger fuel consumption within 5 - 12% and enlarged leakages of fuel in the injection system. There is allowed to mix diesel oil with fuels for turbine engines in any proportions.[1]

mieszanie paliw lotniczych z olejem napędowym w dowolnych stosunkach. [1]

Silniki o ZS można również zasilać bezpośrednio paliwem typu Biodiesel (przy zachowaniu warunku spełnienia jakości tych paliw zgodnej z normą EN-PN 14214). Przy niezmienionych parametrach regulacji i nastaw silników można spodziewać się wówczas: spadku wartości mocy i momentu obrotowego do ok. 6% i wzrostu objętościowego zużycia paliwa o ok. 9%. Natomiast emisja składników toksycznych spalin jest uzależniona od konstrukcji silnika. Generalnie emisja węglowodorów, tlenku węgla i cząstek stałych jest niższa (węglowodorów - HC o ok. 20%, tlenku węgla - CO o 13%, cząstki stałe - PM o 16%), ale emisja tlenków azotu $NO_x$ jest wyższa o ok. 20%. Należy jeszcze wspomnieć o dość istotnym zagrożeniu dotyczącym oddziaływania RME na uszczelnienia gumowe. Kontakt tego paliwa z uszczelnieniami (bądź przewodami paliwowymi) zawierającymi kauczuk (w silnikach sprzed 1990 r.) powoduje ich utlenianie (twardnienie), co w efekcie doprowadza do wzrostu przecieków. [3]

Zasilanie silników o ZS lekkimi olejami opałowymi jako paliwami zastępczymi (zabroniona przepisami ale stosowana na szeroką skalę szczególnie przez kierowców ciężarówek i rolników) nie stanowi większych problemów eksploatacyjnych. Lekkie oleje opałowe z powodzeniem mogą być stosowane jako zamiennik oleju napędowego. Mają one porównywalną gęstość z olejem napędowym, co nie wymaga zmiany dawki maksymalnej. Parametry silnika zasilanego lekkim olejem opałowym i napędowym są prawie identyczne. Jednak wyższa temperatura destylacji, większa lepkość i temperatura zapłonu może pogarszać parametry pracy silnika zasilanego tym paliwem w niskich temperaturach otoczenia. [2]

Benzyna bezołowiowa nie może być bezpośrednio stosowana jako paliwo zastępcze do silników o ZS. Silnik zasilany takim paliwem nie będzie pracował prawidłowo w całym zakresie prędkości obrotowej i szybko ulegnie zniszczeniu. Benzyna może być co najwyżej dodatkiem do paliw, które bez zastrzeżeń mogą być stosowane w silnikach o ZS. Ale nawet w sytuacjach uzasadnionych wyższymi potrzebami, udział benzyny w paliwie musi być ograniczony, a czas korzystania z takiego paliwa musi być możliwie krótki. W miarę bezpieczny jest udział 20 % benzyny w oleju napędowym i opałowym, a w wyjątkowych sytuacja udział ten może być zwiększony do 25...30%. Stosując taką mieszaninę paliw można spodziewać się znaczących zmian parametrów użytecznych silnika, opóźnienia spalania względem górnego martwego położenia tłoka i wzrostu zadymienia spalin. Do paliwa rzepakowego można dodać nieco więcej benzyny (do 30%), dzięki temu, że paliwo to ma większa liczbę cetanową. [6]

Osobnym zagadnieniem jest zużycie eksploatacyjne silników zasilanych paliwami zastępczymi. Rozważając to zagadnienie rozpatrzono możliwy wpływ zasilania paliwami zastępczymi na podstawowy zespół odpowiedzialny za dostarczanie paliwa do komory spalania – aparaturę wtryskową.

Badania nie wskazują na znaczne zróżnicowanie zużycia eksploatacyjnego par precyzyjnych podczas zasilania RME w porównaniu do zasilania olejem napędowym, chociaż stwierdzono niewielką mniejszą wartość zużycia podczas pracy na RME. [3]

Podstawowym parametrem charakteryzującym paliwo pod kątem wpływu na zużycie elementów precyzyjnych aparatury wtryskowej (przy założeniu zachowania odpowiedniej czystości paliwa) jest smarność. [4], [5] Właściwości smarne RME i jego mieszanin z olejem napędowym przedstawiono w tablicy 2.

There is possible to supply Diesel engines directly by rape seed methyl esters (RME) fuels (having kept the quality accordingly to the EN - PN 14214 standard). Without changing the parameters of regulation in the injection system, it is appeared that the power and torque of engine is falling down about 6% and volumetric fuel consumption is growing about 9%. Gas emission depends on construction of an engine. Generally emission of hydrocarbons, carbon monoxide and particulate meters is lower (the hydrocarbons - HC about 20%, carbon monoxide - CO about 13%, particulate meters - the PM about 16%), but the emission of nitrogen oxides NOx is higher about 20%. There is necessery to mention about some important dangare conserning an effect RME on rubber seals. The RME in contact with the rubber seals (or fuel pipe) including the caoutchouc (in engines made before 1990) can make the effect of their oxidation (the hardening), which as effect brings to growth of leakages. [3]

Supply of Diesel engines of light heating oils as substitute fuels (very popular with the farmers and lory drivers even though it is illegal) does not cause any important maintenance problems. Light heating oils with success can be replaced with diesel oils. They have comparable density. Light heating oil does not require any change of adjustment the maximum dose of fuel. The parameters of an engine in case of supply it by light heating oil and diesel oil are almost identical. However the higher temperature of distillation, viscosity and flash point can worsen the parameters of running of engine in case of low temperature conditions. [2]

Unleaded petrol is not proper to directly supply Disel engines. The engine fueled by petrol will not work, in the whole range of rotational speed, correctly and undergoes quickly destruction. Petrol can be at the most an addition to fuels which can be applyed to Diesel engines. However, even in particular situations, the content of petrol in fuels has to be limited and the periode of use such fuel has to be possibly short. The safe content of petrol in diesel oils and light heating oils is 20% (maximum content in very short period of time up to 25...30%). Applying such mixture could make significant changes of useful parameters of engine, the deceleration of combustion and growth of exhaust gas smokiness. It is allowed to add somewhat more petrols (to 30%) to the RME, having known that the mixture in that case has greater cetane number. [6]

There is the separate question, how significant wear of engine is in case of use the substitute fuels . To give the answer there has been taken into consideration the possible influence of use the substitute fuels on the basic system responsible for supply fuels to combusion chamber - injection system.

The newest researches do not prove any considerable maintenance wear of precise units during supply the RME in comparison to supply the diesel oil, though the smaller value of wear was affirmed during running on RME. [3]

The basic parameter characterizing the fuel after analyse its influance on the wear of precise units of the injection system (the cleanness of fuel has not been taken into consideration) is the lubricity. [4], [5] The lubricity of RME and its mixtures with diesel oil was shown in table 2.

On the figure 1 has been shown the lubricity characteristics of the diesel oil (Eurodiesel Plus 50), light heating oil (Ekoterm) and them mixtures with petrol (Eurosuper 95) in volumetric proportions ($v/v$) 10 %, 20 % and 30 % petrol in mixture. Signs samples have been shown in table 3.

As has been shown on the figure 1 none of the presented pure fuels (diesel oil Eurodiesel Plus 50, light heating oil Ekoterm,

Natomiast na rys.1 zobrazowano graficznie właściwości smarne oleju napędowego Eurodiesel Plus 50, lekkiego oleju opałowego Ekoterm i ich mieszanin z benzyną Eurosuper 95 o stosunkach objętościowych (*v*/*v*) 10 %, 20 % i 30 % benzyny w mieszaninie. Oznaczenia próbek przedstawiono w tablicy 3.

Jak wynika z przedstawionego rysunku czyste paliwa w postaci oleju napędowego Eurodiesel Plus 50, lekkiego oleju opałowego Ekoterm oraz oleju napędowego IZ-40 nie spełniają nie tylko wymagań określonych w Światowej Karcie Paliw (400 µm) ale również, mniej rygorystycznej, normy europejskiej EN 590;1999 (CEC F-06-A-96) zalecającej graniczną najwyższą wartość smarności na poziomie 460 µm. Dodatek, zarówno do oleju napędowego jak i oleju opałowego, benzyny powoduje poprawę właściwości smarnych tak powstałych mieszanin. Im większy udział procentowy domieszki benzyny, tym w większym stopniu ulegają poprawie właściwości smarne mieszanin.

diesel oil IZ-40) do not meet requirements included in the World Fuels Charter (400 µm) and in the less severe European Norm EN 590;1999 (CEC F-06-A-96) which recommends the highest boundary value of lubricity on the level 460 µm. Petrol addition, both to diesel oil and to light heating oil, causes the improvement of lubricity so formed mixtures. The larger content of petrol in mixture, the more improvement of lubricity characteristics

*Tab. 2. Smarność oleju napędowego IZ-40, RME i ich mieszanin [3]*
*Tab. 2. Lubricity of diesel oil IZ-40, RME and their mixtures*

| Właściwości<br>Characteristic | Metoda badania<br>Method of research | Olej napędowy IZ-40<br>Diesel Oil IZ-40 | Mieszanina ON / RME 70 / 30<br>Mixture IZ-40 / RME 70 / 30 | Mieszanina ON / RME 40 / 60<br>Mixture IZ-40 / RME 40 / 60 | RME |
|---|---|---|---|---|---|
| Smarność HFRR, średnica śladu zatrcia [µm]<br>Lubricity HFRR, wear scar diameter [µm] | CEC F-06-A-96 | 491 | 173 | 169 | 159 |

*Tab. 3. Oznaczenia próbek paliw zastępczych [2]*
*Tab. 3. Marks of replaced fuel samples*

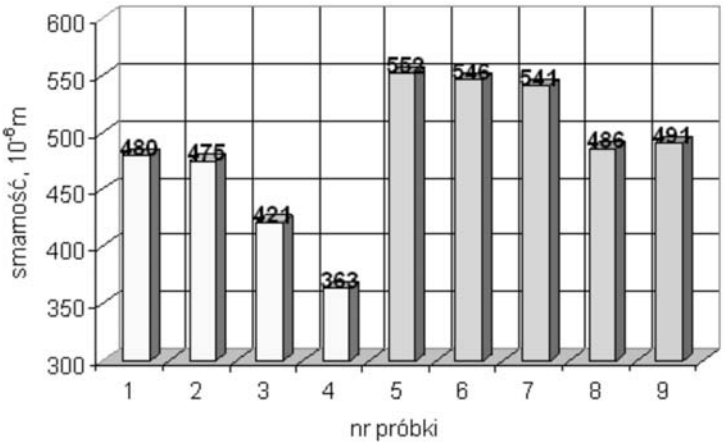
| Nr próbki<br>Nr of sample | Opis właściwości<br>Characteristics |
|---|---|
| 01 | Olej napędowy Eurodiesel Plus 50 – 100 %<br>Diesel Oil Eurodiesel Plus 50 – 100 % |
| 02 | Olej napędowy Eurodiesel Plus 50 – 90 % + benzyna Eurosuper 95 – 10 %<br>Diesel Oil Eurodiesel Plus 50 – 90 % + petrol Eurosuper 95 – 10 % |
| 03 | Olej napędowy Eurodiesel Plus 50 – 80 % + benzyna Eurosuper 95 – 20 %<br>Diesel Oil Eurodiesel Plus 50 – 80 % + petrol Eurosuper 95 – 20 % |
| 04 | Olej napędowy Eurodiesel Plus 50 – 70 % + benzyna Eurosuper 95 – 30 %<br>Diesel Oil Eurodiesel Plus 50 – 70 % + petrol Eurosuper 95 – 30 % |
| 05 | Olej opałowy Ekoterm Plus – 100 %<br>Light fuel oil Ekoterm Plus – 100 % |
| 06 | Olej opałowy Ekoterm Plus – 90 % + benzyna Eurosuper 95 – 10 %<br>Light fuel oil Ekoterm Plus – 90 % + petrol Eurosuper 95 – 10 % |
| 07 | Olej opałowy Ekoterm Plus – 80 % + benzyna Eurosuper 95 – 20 %<br>Light fuel oil Ekoterm Plus – 80 % + petrol Eurosuper 95 – 20 % |
| 08 | Olej opałowy Ekoterm Plus – 70 % + benzyna Eurosuper 95 – 30 %<br>Light fuel oil Ekoterm Plus – 70 % + petrol Eurosuper 95 – 30 % |
| 09 | Olej napędowy IZ-40<br>Diesel Oil IZ-40 |

## 4. Właściwości trakcyjne pojazdów zasilanych paliwami zastępczymi

Właściwości trakcyjne pojazdu zasilanego paliwami zastępczymi określono metodą analityczną. Analizę przeprowadzono dla samochodu STAR 266 zasilanego olejem napędowym Erodiesel Plus 50, lekkim olejem opałowym, mieszaninami oleju napędowego i oleju opałowego z 20 % zawartością benzyny Eurosuper 95. Do analizy wykorzystano wyznaczone przebiegi momentu obrotowego silnika 359, stanowiącego jednostkę na-

## 4. Traction characteristics of vehicles supplyed with substitute fuels

Traction characteristics of vehicle have been described using analytical method. The analysis has been conducted for the STAR 266 car fueld the diesel oil Erodiesel Plus 50, light heating oil, mixtures of diesel oil and light heating oil with 20 % content of petrol Eurosuper 95. To the analysis has been used the calculated courses of the engine 359 torque, which is the STAR 266 power




*Rys. 1. Właściwości smarne oleju napędowego Eurodiesel Plus 50, lekkiego oleju opałowego Ekoterm i ich mieszanin z benzyną Eurosuper 95 [2]*
*Fig. 1. Lubricity proprieties of diesel oil Eurodiesel Plus 50, light heating oil Ekoterm and their mixtures with gasoline Eurosuper 95*

pędową ww. pojazdu, a zrealizowano ją za pomocą specjalnie opracowanego programu komputerowego. [2]

Analiza modelowych charakterystyk trakcyjnych umożliwia wyciągnięcie następujących wniosków:

- maksymalna wartość siły napędowej (na biegu pierwszym) na kołach ulega niewielkiemu zmniejszeniu przy zasilaniu silnika napędowego samochodu mieszaninami oleju napędowego lub lekkiego oleju opałowego z benzyną (o zawartości 20 % benzyny w mieszaninie). W przypadku zasilania mieszaniną oleju napędowego i benzyny spadek maksymalnej siły napędowej wynosi 20 kN, tj. około 5,5 %. Natomiast w przypadku zasilania mieszaniną lekkiego oleju opałowego i benzyny spadek maksymalnej siły napędowej wynosi 29 kN, tj. 7,9 % w stosunku do zasilania „czystym" olejem opałowym,
- nie stwierdzono znaczącej różnicy w wartości maksymalnej siły napędowej na kołach (na biegu pierwszym) przy zasilaniu olejem napędowym jak i lekkim olejem opałowym,
- samochód STAR 266, poruszający się po drodze piaszczystej osiąga maksymalną prędkość około 4,9 m/s (17,6 km/godz.) bez względu na rodzaj zastosowanego paliwa.

## 5. Wnioski

Zasilając silniki o zapłonie samoczynnym, w warunkach niedoboru paliw zasadniczych, paliwami zastępczymi należy stosować się do następujących zasad ogólnych:

- w pierwszej kolejności stosujemy paliwa o zbliżonych właściwościach fizyko – chemicznych do oleju napędowego (tzn. paliwa lotnicze, lekkie oleje opałowe, biodiesel),
- nie należy zasilać silników (o zapłonie samoczynnym) „czystymi" benzynami bezołowiowymi, wysokooktanowymi,
- można stosować mieszaniny benzyn (bezołowiowych, wysokooktanowych) z olejami napędowymi, paliwami lotniczymi, lekkimi olejami opałowymi oraz biodieslem o zawartości do 20 % benzyn w mieszaninie (w sytuacjach awaryjnych można zwiększyć udział procentowy benzyn do 30 %).

unit. The characteristics were made using a special computer programm [2].

The analysis of model traction characteristics makes possible to draw following conclusions:

- maximum value of driving power (in first gear) on wheels undergoes the small decrease, when the engine is fueled with mixtures of diesel oil or light heating oil with petrol (about 20 % content of petrol in mixture). In case the supply the mixture of diesel oil and petrol the decrease of maximum driving power is about 5.5% (20 kN). However in case of fueling of the mixture of light heating oil and petrol the decrease of maximum driving power is about 7.9 % (29 kN) in comparison to supply "fine" light heating oil,
- no significant differences have been affirmed when it comes to the value of the maximum driving power on wheels (in first gear) using to supply diesel oil and light heating oil,
- the car STAR 266, moving on sandy route has achieved the maximum speed about 4.9 m/s (17.6 km/h.) without regard on kind of applied fuel.

## 5. Conclusions

Fueling Diesel engines with substitute fuels in case of shortage of basic fuels, there should apply to general principles as follow:

- first of all to apply fuels with similar phisics and chemical characteristics in comparison to petrodiesel (turbine engines fuels, light heating oils, RME),
- do not use petrol to supply Disel engines,
- there is allowed to use the mixture of petrols ("fine" unleaded, high octanes) with petrodiesel, turbine engine fuels, light heating oils as well as biodiesel with up to 20% content of petrol (in emergency situations there is possible to enlarge to 30 % content of petrols).

## 6. References


[1] Baczewski K., Kołodyński T., Walentynowicz J.: *Problems With Introducing a Single Fuel Concept In The Land Forces*, Military University Of Tchnology, Warsaw 2003.

[2] Kowalski K., Drużga R., Komorek P., Ornatowski D.: *Zasilanie silników napędowych pojazdów wojskowych paliwami zastępczymi w aspekcie charakterystyk dynamicznych*, WSOWLąd, Wrocław 2004.

[3] Kowalski K.: *Model procesu zasilania silnika spalinowego paliwami odnawialnymi*, rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2001.

[4] Semenov V.G.: *Optimization of the Composition of Binary Alternative Diesel Fuel*, Chemistry and Technology of Fuels and Oils, July 2003.

[5] Semenov V.G., Zinchenko A.A.: A*lternative fuels of plant origin. Determination of fractional and chemical compositions*, Chemistry and Technology of Fuels and Oils, January 2005.

[6] Walentynowicz J., Szczęch L., Karczewski M., Rajewski M.: *Dobór paliw zastępczych do silników pojazdów wojskowych*, WAT, Warszawa 2000.



**Ppłk dr inż. Kazimierz KOWALSKI**

Szef Katedry Zabezpieczenia Działań Bojowych,
Instytut Dowodzenia,
Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki
51-150 WROCŁAW, ul. Czajkowskiego 109
tel./fax 0717658291
e-mail: kkowalski@wso.wroc.pl; www.wso.wroc.pl

Ryszard MICHALSKI
Sławomir WIERZBICKI

# BADANIA PORÓWNAWCZE NIEZAWODNOŚCI AUTOBUSÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

# COMPARATIVE RELIABILITY TESTS OF CITY TRANSPORT BUSSES

*W niniejszej pracy przedstawiono porównanie niezawodności autobusów komunikacji miejskiej Jelcz M081MB na podwoziu Mercedes-Benz 0814D oraz Volkswagen LT-46. Zamieszczone w pracy wyniki pochodzą z danych uzyskanych w trakcie eksploatacji tych pojazdów w okresie jednego roku. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono podstawowe wskaźniki niezawodności badanych pojazdów. Uzyskane wyniki pozwalają na porównanie właściwości eksploatacyjnych analizowanych typów pojazdów.*

***Słowa kluczowe:*** *autobus miejski, rodzaje uszkodzeń, wskaźniki niezawodności*

*This paper presents the reliability comparison of city transport buses - Jelcz M081MB on Mercedes-Benz 0814D chassis and Volkswagen LT-46. The results presented are based on the data obtained during operation of the vehicles during a period of one year. Based on the results obtained the basic vehicles' reliability indicators were identified. The results obtained allow comparison of operational characteristics of the analyzed types of busses.*

***Keywords:*** *city bus, types of damages, reliability indicators*

## 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach w Polsce znacznie wzrosła rola transportu samochodowego zarówno jeśli chodzi o przewóz towarów jaki i ludzi. Spowodowało to wprowadzenie do eksploatacji znacznej ilości nowych pojazdów w tym nowych typów dotąd nieeksploatowanych w kraju. Mimo wszelkich starań producentów pojazdy samochodowe podobnie jak i każde urządzenie mechaniczne ulega w okresie swego „życia" procesowi starzenia. Procesy starzenia fizycznego poszczególnych części pojazdu, chwilowe przeciążenia tych elementów oraz zdarzenia losowe (np. kolizje i wypadki drogowe) wpływają zarówno na obniżenie trwałości jak i niezawodności całego pojazdu [1, 2].

Wprowadzenie nowych typów pojazdów do eksploatacji pociąga za sobą konieczność poznania właściwości eksploatacyjnych tych pojazdów. Jest to konieczne nie tylko do oceny przydatności poszczególnych typów pojazdów czy określenia ich kosztów eksploatacji ale również do określenia rodzaju i ilości części zapasowych czy też obsady personelu obsługi technicznej [3].

## 2. Przebieg badań eksploatacyjnych

Do oceny niezawodności wybrano dwa rodzaje autobusów: Jelcz M081MB na podwoziu Mercedes-Benz 0814D oraz Volkswagen LT-46 (rys.1), eksploatowane w podobnych warunkach. Podstawowe wskaźniki techniczno-eksploatacyjne tych pojazdów zestawiono w tab. 1.

Do badań porównawczych wybrano 10 autobusów typu Volkswagen LT-46 oraz 9 typu Jelcz M081MB. Wszystkie autobusy były w trzecim roku eksploatacji i miały podobny przebieg. Badania tych pojazdów prowadzone były w naturalnych warunkach ich eksploatacji w okresie jednego roku kalendarzowego w MPK w Olsztynie. W trakcie badań wszystkie informacje o przebiegu ich eksploatacji były rejestrowane w kartach użytkowania pojazdów oraz kartach uszkodzeń i napraw pojazdów. Dane te po zakończeniu badań posłużyły

## 1. Introduction

During the recent years the importance of road transport in Poland increased significantly in transport of both goods and people. That resulted in introduction of significant numbers of new vehicles, including new types that had never been operated before, for operation in the country. Despite all efforts of the manufacturers, vehicles, similar to other mechanical devices, are subject to aging process during their lifespan. The physical aging processes of individual vehicle parts, temporary overload of those parts and random events (e.g. collisions and road accidents) influence decreasing both the lifespan and reliability of the entire vehicle.

Introduction of new vehicle types for operation results in the necessity to gain knowledge on operational characteristics of those vehicles. It is necessary not only for assessment of suitability of different vehicle types or determining their operational costs but also to determine the types and numbers of spare parts or number of technical maintenance personnel.

## 2. Operational studies process

Two types of busses were chosen for reliability assessment: Jelcz M081MB on Mercedes-Benz 0814D chassis and Volkswagen LT-46 (fig. 1), operated under similar conditions. The basic technical-operational parameters for those vehicles are presented in tab. 1.

For the comparative studies 10 Volkswagen LT-46 busses and 9 Jelcz M081MB busses were chosen. All the busses were in their third year of operation and had similar mileage. The tests of those busses were conducted under natural operational conditions during the period of the entire calendar year at MPK [Municipal Transport Company] in Olsztyn. During the study, all the information concerning their operation was recorded on vehicle operation cards and cards of defects and repairs of vehicles. At the end of the study the data was used to determine the basic reliability characteristics of the test vehicles [1], i.e.:

*Tab. 1. Wskaźniki techniczno-eksploatacyjnych badanych autobusów*
*Tab. 1. Technical – operational parameters of the tested busses*

| *Nazwa parametru / Parameter* | *Volkswagen LT-46* | *Jelcz M081MB* |
|---|---|---|
| *Moc silnika [kW] / Engine power [kW]* | *92* | *100* |
| *Max. moment obrotowy [Nm] / Max. torque [Nm]* | *280* | *520* |
| *Wymiary / Dimensions:* | | |
| *- długość / length [mm]* | 5585 | *7675* |
| *- szerokość / width [mm]* | 1994 | *2420* |
| *- wysokość / height mm]* | 2610 | *2970* |
| *- rozstaw osi / distance between axis [mm]* | 3550 | *4250* |
| *- rozstaw kół przednich / track front [mm]* | 1640 | *1872* |
| *- rozstaw kół tylnych / track rear [mm]* | 1552 | 1640 |
| *Masa własna / Own mass [kg]* | *2202* | *5400* |
| *Masa całkowita max. / Total mass max. [kg]* | *4600* | *8200* |
| *Ilość miejsc / Places:* | | |
| *- siedzące / sitting* | *12* | *18* |
| *- stojące / standing* | *16* | *22* |
| *Prędkość maksymalna / Maximum speed [km/h* | *135* | *90* |

a) b)

*Rys. 1. Widok autobusów analizowanych w pracy: a) Volkswagen LT-46, b) Jelcz M081MB*
*Fig. 1. View of analyzed busses: a) Volkswagen LT-46, b) Jelcz M081MB*

do wyznaczenia podstawowych charakterystyk niezawodności badanych pojazdów [3], tj.:
- wskaźnik efektywnego wykorzystania pojazdu;
- średni przebieg między naprawami;
- parametr skumulowanego strumienia uszkodzeń;
- średnia pracochłonność napraw;
- wskaźnik gotowości technicznej.

Zaistniałe podczas eksploatacji autobusów uszkodzenia podzielono w zależności od rodzaju lub postaci na następujące grupy [4]:
- złamanie (przełom) lub pęknięcie części;
- zniszczenie połączenia stałego (np. spawanego, nitowanego, zgrzewanego itp.);
- zniekształcenie przestrzenne części (zmiana kształtu), miejscowe wgięcie lub wgniecenie;
- zerwanie części (np. pasa klinowego, linki itp.);
- poluzowanie połączeń (np. gwintowych, klinowych, nitowych, wciskowych itp.);
- nadmierne zużycie części (np. na skutek tarcia, korozji itp.);
- przecieki (np. oleju z układu hydraulicznego, paliwa z układu zasilania paliwem, cieczy chłodzącej itp.);

- effective vehicle use index;
- average mileage between repairs;
- parameter of the cumulated stream of defects;
- average work intensity of repairs;
- technical availability index.

The defects occurring during operation of busses were divided according to type and form into the following groups [4]:
- break or fracture of a part;
- destruction of a fixed connection (e.g. welded, riveting, bonded, etc.);
- spatial deformation of a part (shape change), place of bend or indention;
- part rupture (e.g. v-belt, cable, etc.);
- loosening of connection (e.g. threaded, wedged, riveted, pushed in, etc.);
- excessive wear of parts (e.g. as a consequence of traction, corrosion, etc.);
- leakages (e.g. of oil from the hydraulic system, fuel from fuel feeding system, coolant, etc.);
- seizure of parts (e.g. slide bearings or parts performing to- and fro motions);
- short circuit or break in an electric circuit;

- zatarcie części (np. łożysk ślizgowych lub części pozostających ruchu posuwisto-zwrotnym);
- zwarcie lub przerwa w obwodzie elektrycznym;
- spalenie lub stopienie części;
- niewłaściwa współpraca części (nadmierne wyginanie się części, niewspółosiowość);
- nadmierne luzy lub zniszczenie połączenia ruchowego (obrotowego, obrotowo-zwrotnego, posuwisto-zwrotnego);
- inne, niewymienione (np. przebicie opony, zapowietrzenie układu paliwowego itp.).

Dla wymienionych uszkodzeń stworzono zbiór rodzajów uszkodzeń $U$:

$$U = \{ u_1, u_2, ..., u_{13} \} \quad (1)$$

Dla każdego zaistniałego rodzaju uszkodzenia przeprowadzona była identyfikacja i opis możliwych przyczyn. Przyczyny te są identyfikowane w celu oszacowania prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia, ujawnienia efektów wtórnych i podania zaleceń do działań korekcyjnych.

Do przeprowadzenia analizy rodzajów i skutków uszkodzeń przyjęto następujący podział rodzaju przyczyn powstawania uszkodzeń:

- niewłaściwe warunki eksploatacji;
- niewłaściwa obsługa, błąd kierowcy (np. zderzenie z innym pojazdem lub inną przeszkodą);
- wady konstrukcyjne;
- wady produkcyjne (materiałowe, technologiczne, montażowe itp.);
- zużycie na skutek tarcia, korozji, starzenia itp. procesów;
- uszkodzenie podczas naprawy innej części (podczas demontażu);
- zła konserwacja pojazdu;
- inne, nieustalone.

Przyjęty podział uszkodzeń oraz ich przyczyn umożliwił makroskopową ocenę postaci uszkodzenia oraz domniemanej przyczyny jej powstawania na tle sytuacji eksploatacyjnej i warunków pracy, w których wystąpiło jej uszkodzenie danego elementu.

W procesie eksploatacji uszkodzenie tego samego elementu pojazdu może mieć różną postać i nastąpić z różnych przyczyn [2]. W praktyce można również zaobserwować kilka różnych postaci uszkodzeń, pojawiających się w jednej części pojazdu.

## 3. Wyniki badań niezawodności

W tab. 2 zestawiono zaistniałe rozdaje uszkodzeń oraz krotności ich występowania dla autobusów typu Volkswagen LT-46, w tabeli tej podano również średnią wartość wytępienia danego rodzaju uszkodzenia. Analogiczne dane dla autobusów typu Jelcz M081MB zestawiono w tab. 3.

Analizując przedstawione w tab. 2 i 3 krotności występowania poszczególnych postaci uszkodzeń należy stwierdzić, iż autobusy typu Volkswagen LT -46 w analizowanym okresie charakteryzują się mniejszą uszkadzalnością niż autobusy typu Jelcz M081MB w każdej grupie uszkodzeń. Niektóre rodzaje uszkodzeń w autobusach Volkswagen występują nawet trzykrotnie rzadziej w porównaniu z badanym Jelczem.

Uzyskane podczas badań eksploatacyjnych dane wykorzystano do wyznaczenia podstawowych wskaźników niezawodności analizowanych autobusów [4, 5]. Wybrane wskaźniki niezawodności zestawiono w tab. 4.

- burning or melting of a part;
- inappropriate mating of parts (excessive bending parts, non-coaxial mating);
- excessive clearance, damage to moving connection (revolving, rotation and return motion, to-and-fro motion);
- other, not specified (e.g. tyre puncture, air block in the fuel system, etc.).

For the defects listed the set of damage types $U$ was established:

$$U = \{ u_1, u_2, ..., u_{13} \} \quad (1)$$

For each failure type occurring, identification and description of possible causes were carried out. Those causes are identified for the purpose of estimating the probability of damage occurring, revealing the secondary effects and give orders for corrective actions.

The following division of the types of failure causes was assumed for analysis of types and consequences of failures:

- inappropriate operational conditions;
- inappropriate service, driver error (e.g. collision with another vehicle or an obstacle);
- construction defects:
- production defects (material, technical, assembly, etc.);
- wear resulting from friction, corrosion, aging and similar processes;
- damage during repair of another part (during disassembly);
- bad maintenance of the vehicle;
- other, undetermined.

The assumed division of defects and their causes allowed macroscopic assessment of the damage form and assumed cause of it against the background of operational situation and work conditions when the damage to a given component occurred.

In the process of operation defects of the same component can take various forms and occur as a consequence of different causes [2]. In reality it is also possible to notice different forms of damage appearing in one part of the vehicle.

## 3. Results of reliability tests

Table 2 presents the types of damages and number of times of their occurrence for Volkswagen LT-46 busses; that table also gives the average value of that type of damage. Identical data for Jelcz M081MB busses is given in table 3.

Analyzing the number of occurrences of individual forms of defects presented in tables 2 and 3 it should be concluded that during the covered period Volkswagen LT -46 type busses were characterized by lower number of defects occurrences than Jelcz M081MB type busses in each group of defects. Some types of defects occurred in Volkswagen busses even three times less frequently than in the Jelcz busses tested.

The data collected during operational studies was used to determine the basic indicators of reliability for the busses tested [3]. Selected reliability indicators are presented in table 4.

As indicated by the results of the operational studies the values of indicators for individual groups of vehicles were dif-

*Tab. 2. Rodzaje uszkodzeń i ich krotności występujące w badanych pojazdach typu Volkswagen LT-46*
*Tab. 2. Types of defects and number of times of their appearance in the tested Volkswagen LT-46 type busses*

| **Rodzaje uszkodzeń / Damage type** | $u_i$ | **Numery autobusów / Bus number** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **Śr.** |
| *Złamanie lub pęknięcie części / break or fracture of a part* | $u_1$ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | **0,9** |
| *Zniszczenie połączenia stałego / destruction of a fixed connection* | $u_2$ | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 2 | **0,9** |
| *Zniekształcenie przestrzenne części / spatial deformation of a part* | $u_3$ | 4 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | **2,3** |
| *Zerwanie części / part rupture* | $u_4$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 3 | **1,0** |
| *Poluzowanie połączeń / loosening of connection* | $u_5$ | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 3 | 1 | 4 | 2 | 1 | **1,5** |
| *Nadmierne zużycie części / excessive wear of parts* | $u_6$ | 9 | 11 | 7 | 10 | 8 | 15 | 7 | 11 | 6 | 6 | **9,0** |
| *Przecieki / leakages* | $u_7$ | 5 | 2 | 4 | 7 | 4 | 8 | 3 | 3 | 12 | 1 | **4,9** |
| *Zatarcie lub zablokowanie części / seizure or blocking of parts* | $u_8$ | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | **1,0** |
| *Zwarcie lub przerwa w obwodzie / short circuit or break in an electric circuit* | $u_9$ | 8 | 3 | 8 | 6 | 10 | 2 | 4 | 8 | 12 | 11 | **7,2** |
| *Spalenie lub stopienie części / burning or melting of a part* | $u_{10}$ | 8 | 7 | 7 | 6 | 3 | 5 | 5 | 12 | 7 | 6 | **6,6** |
| *Niewłaściwa współpraca części / inappropriate mating of parts* | $u_{11}$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **0** |
| *Nadmierne luzy w połączeniach ruchowych / excessive clearance, damage to moving connection* | $u_{12}$ | 18 | 5 | 16 | 8 | 17 | 18 | 15 | 15 | 16 | 31 | **15,9** |
| *Inne, niewymienione / Other not specified* | $u_{13}$ | 6 | 6 | 2 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | **2,2** |

Jak wynika z rezultatów przeprowadzonych badań eksploatacyjnych, wartości wskaźników dla poszczególnych grup pojazdów są zróżnicowane. Analizując uzyskane wartości wskaźników stwierdzono, że do oceny niezawodności pojazdów podczas ich użytkowania najbardziej miarodajną wielkością jest parametr strumienia uszkodzeń, mierzony jako średnia liczba uszkodzeń przypadająca na jednostkę przebiegu w kilometrach. Porównując wartości parametru strumienia uszkodzeń obu grup pojazdów zauważono, że różnica między nimi przekracza 150%. Dla autobusów typu Jelcz wskaźnik ten wynosił aż 2,03 natomiast dla autobusów Volkswagen tylko 0,88. Średni przebieg pomiędzy kolejnymi naprawami dla autobusów typu Volkswagen (1140 km) jest ponad dwukrotnie większy niż na porównywanego typu autobusów (496 km).

ferentiated. Analyzing the obtained values of indicators it was established that the parameter of the stream of defects measured as the number of defects per unit of mileage in kilometers is the most adequate value for assessment of reliability of vehicles during operation. Comparing the value of the stream of defects parameter values for both groups of vehicles it was noticed that the difference between them exceeded 150%. For Jelcz type busses that indicator was as much as 2.03 while for Volkswagen busses 0.88 only. The average mileages between consecutive repairs for Volkswagen type busses (1140 km) are more than twice higher than for the comparable Jelcz type busses (496 km).

*Tab. 3. Rodzaje uszkodzeń i ich krotności występujące w badanych pojazdach typu Jelcz M081MB*
*Tab. 3. Types of defects and number of times of their appearance in the tested Jelcz M081MB type busses*

| *Rodzaje uszkodzeń / Damage type* | $u_i$ | *Numery autobusów / Bus number* | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* | *9* | *Śr.* |
| *Złamanie lub pęknięcie części / break or fracture of a part* | $u_1$ | 6 | 9 | 4 | 5 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4,2 |
| *Zniszczenie połączenia stałego / destruction of a fixed connection* | $u_2$ | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1,9 |
| *Zniekształcenie przestrzenne części / spatial deformation of a part* | $u_3$ | 2 | 4 | 3 | 6 | 6 | 5 | 8 | 10 | 13 | 6,3 |
| *Zerwanie części / part rupture* | $u_4$ | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0,7 |
| *Poluzowanie połączeń / loosening of connection* | $u_5$ | 9 | 13 | 4 | 3 | 7 | 9 | 9 | 5 | 8 | 7,4 |
| *Nadmierne zużycie części / excessive wear of parts* | $u_6$ | 13 | 14 | 10 | 18 | 21 | 17 | 13 | 15 | 11 | 14,7 |
| *Przecieki / leakages* | $u_7$ | 12 | 13 | 7 | 11 | 9 | 17 | 12 | 8 | 14 | 11,4 |
| *Zatarcie lub zablokowanie części / seizure or blocking of parts* | $u_8$ | 3 | 0 | 2 | 7 | 13 | 19 | 16 | 18 | 22 | 11,1 |
| *Zwarcie lub przerwa w obwodzie / short circuit or break in an electric circuit* | $u_9$ | 16 | 8 | 18 | 36 | 37 | 23 | 17 | 23 | 34 | 23,6 |
| *Spalenie lub stopienie części / burning or melting of a part* | $u_{10}$ | 16 | 11 | 11 | 7 | 12 | 15 | 8 | 13 | 14 | 11,9 |
| *Niewłaściwa współpraca części / inappropriate mating of parts* | $u_{11}$ | 0 | 1 | 2 | 0 | 2 | 8 | 3 | 4 | 2 | 2,4 |
| *Nadmierne luzy w połączeniach ruchowych / excessive clearance, damage to moving connection* | $u_{12}$ | 21 | 19 | 10 | 15 | 19 | 20 | 24 | 12 | 19 | 17,7 |
| *Inne, niewymienione / Other not specified* | $u_{13}$ | 10 | 17 | 26 | 20 | 17 | 10 | 11 | 8 | 18 | 15,2 |

*Tab. 4. Wartości liczbowe wybranych wskaźników niezawodności badanych pojazdów*
*Tab. 4. Numeric values of selected reliability indicators for busses studied*

| Wskaźnik / Indicator | Rodzaj pojazdu / Vehicle type | |
|---|---|---|
| | Volkswagen LT-46 | Jelcz M081MB |
| Wskaźnik efektywnego wykorzystania pojazdu<br>Vehicle effective use indicator $K_{w2}$ | 0,844 | 0,801 |
| Średni przebieg między naprawami<br>Average mileage between repairs $l_{mn}$ [km] | 1140 | 496 |
| Parametr skumulowanego strumienia uszkodzeń<br>Parameter of cumulated stream of defects $A_s$ [uszk/1000km] | 0,88 | 2,03 |
| Średnia pracochłonność napraw<br>Average work intensity of repair $P_n$ [rbh/1000km] | 2,25 | 3,76 |
| Wskaźnik gotowości technicznej<br>Technical availability index $K_g$ | 0,934 | 0,901 |

## 4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzony badań oraz wyznaczonych wskaźników niezawodności należy stwierdzić, iż autobusy typu Volkswagen LT-46 charakteryzują się lepszymi właściwościami eksploatacyjnymi od porównywanych autobusów typu Jelcz M081MB.

Analizując rodzaje uszkodzeń można stwierdzić, iż w obu analizowanych przypadkach częstą przyczyną uszkodzeń pojazdów są nadmierne zużycie elementów, uszkodzenia instalacji elektrycznej oraz uszkodzenia połączeń ruchowych. Należy jednak zaznaczyć że w autobusach Jelcz M081MB uszkodzenie te występują częściej, ponadto równie często w autobusach tych występują wycieki płynów eksploatacyjnych, zatarcie lub zablokowanie połączeń ruchowych.

## 4. Conclusion

On the basis of the conducted studies and determined reliability indicators it should be concluded that Volkswagen LT-46 type busses possess better operational characteristics than Jelcz M081MB type busses compared with them.

Analyzing the types of defects it can be concluded that in both analyzed cases excessive wear of components, defects of electrical installation and damages to moving connections are the frequent causes of defects of the vehicles. It should be pointed out, nevertheless that in Jelcz M081MB type busses those defects occur more frequently and that additionally in that type of busses leakages of operational liquids, seizures or blocking of moving connections occurred equally frequently.

## 5. References


[1] Camangi R., Gibelli M. C., Rigamonti P.: *Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion*. Ecological Economics 40/2002. Elsevier Science B.V.

[2] Mackiewicz M.: *Analiza rodzajów i skutków uszkodzeń pojazdów wg PN-IEC-812*. Praca magisterska wykonana pod kierunkiem R. Michalskiego, UWM Olsztyn, 2004.

[3] Niziński S.: *Eksploatacja obiektów technicznych*. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu, 2002.

[4] PN-77 N-04005. *Wskaźniki niezawodności*. Nazwy, określenia i symbole.

[5] PN-IEC-812:1994. *Techniki analizy nieuszkadzalności systemów*. Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń.



**Prof. dr hab. inż. Ryszard MICHALSKI**
**Dr inż. Sławomir WIERZBICKI**
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Wydział Nauk Technicznych
Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
Ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn
michr@uwm.edu.pl, slawekw@uwm.edu.pl

Jan NIKONIUK
Leszek KRZYWONOS
Piotr PIECZYWEK

# 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 Pocztę 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 $r_{xy}$:

maintenance conditions that enable to "control" the engine start-up parameters. It facilitates to undertake proper actions, connected with the vehicle work organization, to minimalize 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 $r_{xy}$:

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

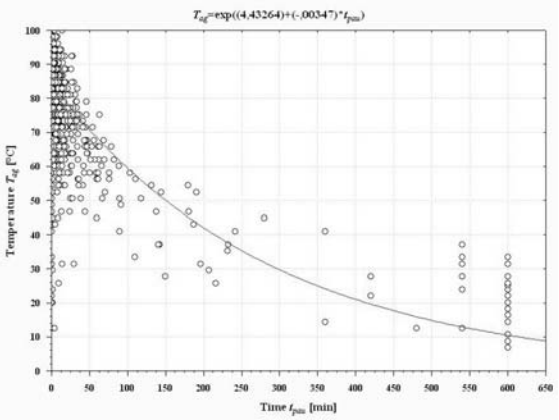
W dalszym ciągu omówiono tylko te współczynniki korelacji dla których $r \geq |0,4|$ (świadczą one o znacznej korelacji pomiędzy analizowanymi zmiennymi) [1]. Analizując uzyskane wartości współczynników korelacji należy stwierdzić, że najważniejszym czynnikiem w organizacji pracy analizowanego pojazdu oddziałującym na parametry rozruchu silnika spalinowego jest czas postoju samochodu z wyłączonym silnikiem. Wyrazem tego są trzy współczynniki korelacji: $r_{Tag,tpau}$ = –0,72, $r_{tst,tpau}$ = 0,64 i $r_{Im,tpau}$ = 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 wyłącznym silnikiem oraz temperatury $T_{ag}$ 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 $\alpha_{kr}$ 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 wyłącznym 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 $\alpha_{kr}$ 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 wyłącznym 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 $\alpha_{kr}$ 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-




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

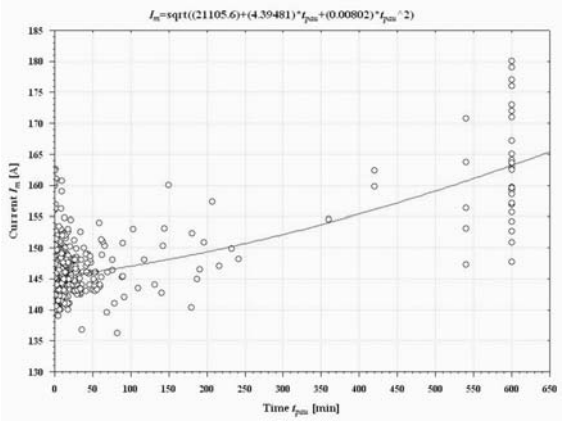
*Fig. 1. Scatter diagram for the time of a pause in vehicle operation with the engine switched off before the start-up $t_{pau}$ and the temperature of cooling agent $T_{agent}$ at the moment of engine start-up*

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: $r_{Tag,tpau}$ = –0.72, $r_{tst,tpau}$ = 0.64 and $r_{Im,tpau}$ = 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 $\alpha_{kr}$ 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.

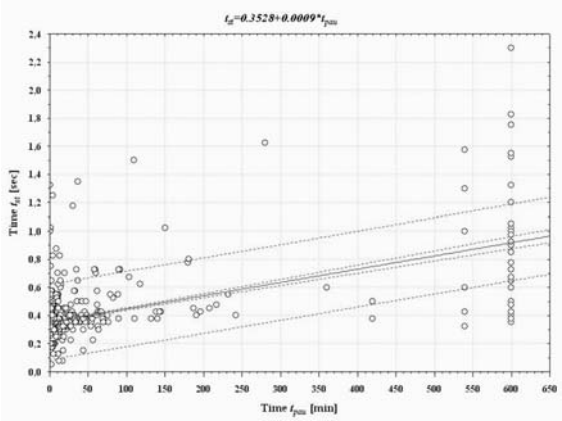
Figure 2 shows scatter diagrams for the time of a pause in vehicle operation with the engine switched off before the start-up $t_{pau}$ and the value of the mean current $I_m$ consumed by the starter during the engine start-up and the egression function. The statistical analysis showed that the mean 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 $\alpha_{kr}$ 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 $\alpha_{kr}$ 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. 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 $\chi^2$ 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:

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 $\chi^2$ 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:

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

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.

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. Wnioski

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

## 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.

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.

## 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] Droździel 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] Droździel 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.



**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

Tomasz NOWAKOWSKI

# PROBLEMY PROJEKTOWANIA SYSTEMÓW TRANSPORTU REGIONALNEGO – UWARUNKOWANIA ZEWNĘTRZNE

# PROBLEMS OF REGIONAL TRANSPORTATION SYSTEM DESIGN – EXTERNAL CONDITIONS

*W artykule przedstawiono doświadczenia wynikające z realizacji programu rozwoju systemu transportu regionalnego dla Dolnego Śląska. Omówiono strukturę założeń programu i stan realizacji. Skupiono się na realizacji projektu w zakresie analizy uwarunkowań zewnętrznych systemu transportowego. Pokazano powiązania transportu na Dolnym Śląsku z systemami transportowymi województw ościennych oraz programy Unii Europejskiej ukierunkowane na współpracę z regionami zagranicznymi.*

***Słowa kluczowe**: transport, region, projektowanie, system, otoczenie.*

*In the paper, some results that are obtained during designing Lower Silesia regional transport system are presented. The structure of the project assumptions and the realization state are discussed. The problem is focused on external conditions of transport system. The main links of Lower Silesia transport with neighboring regions are shown and European Union programs directed into foreign regions cooperation are mentioned.*

***Keywords:** transport, region, design, system, environment.*

## 1. Wstęp

Projektowanie systemów transportowych wymaga przeprowadzenia szeregu analiz obejmujących [1] m.in. prognozy poziomu przewozów, zarówno pasażerskich, jak i towarowych na danym obszarze. Istotnym aspektem jest wskazanie i określenie roli centrów gospodarczych i turystycznych - brak odpowiedniej infrastruktury skutecznie blokuje powstawanie inwestycji przemysłowych oraz rozwój turystyki. Wyznaczenie wielkości potoków kierowanych na poszczególne systemy transportu umożliwia przygotowanie infrastruktury do przyszłego zapotrzebowania. Aktywna polityka w zakresie przygotowywania infrastruktury pod rozwój regionalny skutkuje wzmożonym zainteresowaniem potencjalnych inwestorów. Rozgraniczenie prognozowania potrzeb przewozowych od projektowania infrastruktury jest wreszcie konieczne ze względu na wymagania narzucone przez zasady zrównoważonego rozwoju – oddzielne programowanie rozwoju poszczególnych gałęzi transportu sprzyja utrzymaniu obecnych, niekorzystnych tendencji (wzrost przewozów drogowych, spadek wodnych i kolejowych) i jest zaprzeczeniem intermodalności przewozów.

Omawiane problemy pojawiły się podczas opracowywania programu rozwoju komunikacji i infrastruktury transportowej Dolnego Śląska w fazie przygotowania założeń programu [7] jak i realizacji właściwego projektu [3]. W projektowaniu systemu wykorzystano wiedzę omówioną m.in. w [4, 5].

## 1. Introduction

Some analysis are needed while designing transportation system i.e. prognosis of cargo and passenger flow level on the considered area [1]. To the fundamental aspects of the process belong identification of economical and tourist centers – lack of adequate transport infrastructure may effectively block the rise of industrial investments and touring development.

Active politics concerning infrastructure preparation for future regional development causes intensified interesting of potential investments. Demarcation of transport needs prognosis and infrastructure designing is, at least, obligate because of needs forced by rules of sustained development – separate programming of particular transport branches development promotes continuing of present unfavorable tendencies (increase of road transport share, decrease of waterborne and rail transport rate) and it is contradiction of transport intermodality.

The mentioned problems came into being while elaborating the program of development of communication and transport infrastructure for Lower Silesia region - in assumptions preparation phase [7] as well as during the proper project realization [3]. While designing the system the knowledge discussed in [4, 5] was taken into consideration.

## 2. Założenia projektu

Celem „Programu rozwoju infrastruktury transportowej i komunikacji dla województwa dolnośląskiego" było opracowanie zintegrowanego, zrównoważonego, regionalnego systemu transportowego dla województwa dolnośląskiego [7]. Horyzont czasowy projektu obejmował lata 2005 – 2015.

Podstawowe wytyczne budowy „Programu..."dotyczyły:

- genezy, diagnozy i prognozy potrzeb przewozowych w regionie w zakresie towarowym i pasażerskim,
- kształtowanie ruchu turystycznego w regionie,

## 2. Assumptions of the project

The target of "Program of development of communication and transport infrastructure for Lower Silesia region" was to elaborate the integrated, sustained regional transportation system for Lower Silesia region [7]. The time horizon of the project was established for 2005 – 2015 years.

The basic outlines of the program concern:

- Genesis, diagnosis and prognosis of transportation needs in the region in field of cargo and passenger transport,
- Formation of tourist movement in the region,

- realizacja ograniczeń ekologicznych i wymuszeń z zakresu bezpieczeństwa,
- uzyskanie wsparcia z funduszy Unii Europejskiej.

Uwarunkowania zewnętrzne w stosunku do regionalnego systemu transportowego sformułowano m. in. w:

- wytycznych Unii Europejskiej w zakresie polityki transportowej – Biała Księga 2001,
- polityce transportowej Rzeczypospolitej Polskiej w zakresie umów międzynarodowych (m.in. realizacji budowy i rozwoju korytarzy transportowych),
- polityce transportowej Rzeczypospolitej Polskiej sformułowanej w dokumentach (projektach) m.in. „Polityka Transportowa Państwa na lata 2005 – 2025",
- polityce transportowej (strategiach rozwoju) województw ościennych do Województwa Dolnośląskiego,
- polityce transportowej regionów przygranicznych w Republice Czeskiej i w Niemczech,
- strategii rozwoju gminy Wrocław (ew. innych powiatów lub gmin).

Uwarunkowania wewnętrzne budowy regionalnego systemu transportowego dotyczyły:

- identyfikacji strumieni ładunków i strumieni pasażerów (natężenie ruchu) w układzie terytorialnym i gałęziowym,
- identyfikacji stanu obecnego infrastruktury liniowej systemu transportowego:
  - o infrastruktura drogowa,
  - o infrastruktura kolejowa,
  - o infrastruktura dróg wodnych.
- identyfikacji stanu obecnego infrastruktury punktowej systemu transportowego:
  - o infrastruktura lotnicza,
  - o centra logistyczne, terminale przeładunkowe (transport intermodalny).
- identyfikacji stanu w zakresie organizacji, zarządzania, zasobów ludzkich w poszczególnych gałęziach transportu.

Wytyczne dotyczące projektowania regionalnego systemu transportowego obejmowały:

- zapewnienie możliwości realizacji prognozowanych potrzeb przewozowych w zakresie transportu towarów z preferowanym wykorzystaniem transportu kolejowego i wodnego,
- opracowanie regionalnego systemu publicznego transportu pasażerskiego bazującego na sieci przewozów kolejowych.

Ponadto konieczne jest sformułowanie metod oceny elementów (wariantów) systemu transportowego z punktu widzenia ekonomicznego (efektywnościowego), ekologicznego (ochrony środowiska) oraz realizacji postulatów wzrostu bezpieczeństwa.

### 3. Analiza uwarunkowań zewnętrznych

Strukturę powiązań zewnętrznych transportu dolnośląskiego z innymi województwami i zagranicą pokazano schematycznie na rys. 1 [3].

Na schemacie uwzględniono autostrady (A4, A18) i drogi szybkiego ruchu (S3, S5, S8), główne szlaki kolejowe (E50, C59, CE59), odrzańską drogę wodną (ODW) oraz międzynarodowy port lotniczy we Wrocławiu.

Stan obecny infrastruktury komunikacyjne znakomicie ilustruje schemat czasów przejazdu i prędkości handlowej w połączeniach pasażerskich – rys. 2 [3]. Największa średnia prędkość jazdy wynosi 76 km/h (do Lublina i do Hamburga).

- Realization of ecological limitations and safety requirements,
- Obtaining the European Union funds support.

The external conditions of the regional transportation system are formulated by:

- Outlines of the European Union transportation politics – 2001 White Book,
- Transportation politics of Polish Republic in domain of international agreements (i.e. realization of transportation corridors building and development),
- Transportation politics of Polish Republic formulated in official document (projects) – i.e. "The State Transportation Politics for 2005 – 2025 years",
- Transportation politics (transport strategies) of Lower Silesia neighboring administrative regions,
- Transportation politics of frontier regions of Germany and Czech Republic,
- Wroclaw city development strategy (or other communes strategies).

The internal conditions of the regional transportation system concern:

- Identification of cargo stream and passenger stream (movement intensity) for territorial and branch configuration,
- Identification of state of the system present linear infrastructure:
  - o Road infrastructure,
  - o Rail infrastructure,
  - o Waterborne infrastructure,
- Identification of state of the system present point infrastructure:
  - o Airport infrastructure,
  - o Freight villages, terminals,
- Identification of the system state in sphere of organization, management, human recourses of the particular transport branches.

He outlines of regional transportation system designing contain:

- Assurance of realization possibilities of predicted transportation needs in cargo transportation domain with preferred use of rail and waterborne transport,
- Elaboration of regional public passenger transport system based on rail carrier net.

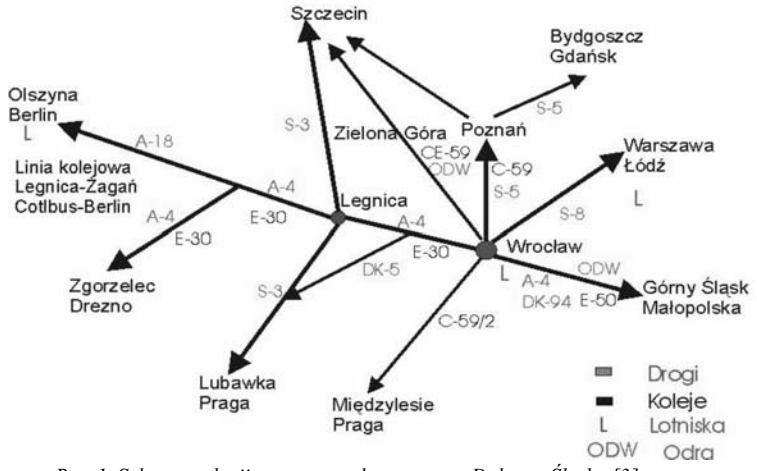
Furthermore, it is necessary to formulate the method of transportation system elements (variants) evaluation from economical (effectiveness) and ecological (environment protection) point of view and the method of realization safety increase requirements.

### 3. Analysis of external conditions

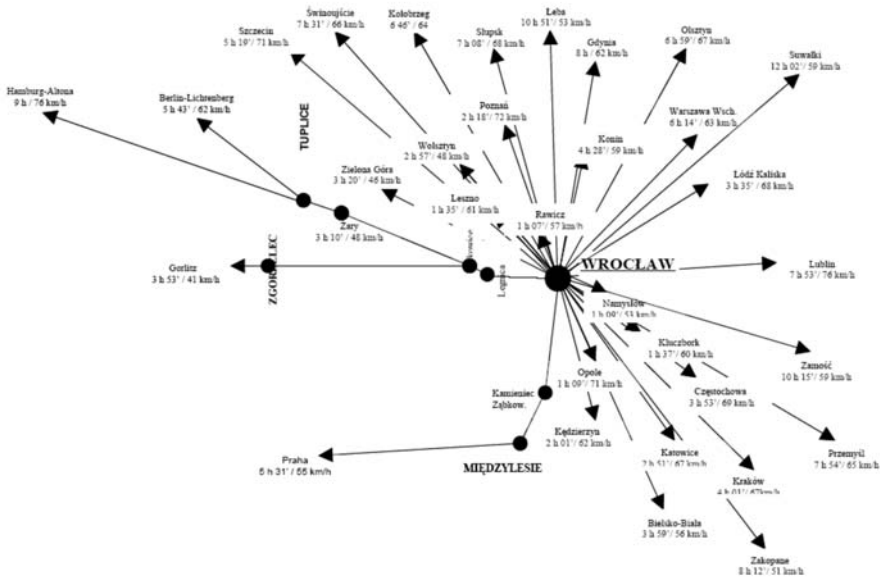
The structure of external relations of Lower Silesia transport infrastructure with other regions of Poland and with abroad is shown in Fig. 1 [3].

In the schema the main motorways (A4, A18) and dual carriageways (S3, S5, S8), main rail tracks (E50, C59, CE59), Odra inland waterway (ODW) and international air port in Wroclaw are taken into consideration.

The present state of transportation infrastructure is perfectly illustrated by schema of journey time and trading speed for passenger connections – Fig. 2 [3]. The highest speed is 76 km/h (to




*Rys. 1. Schemat relacji zewnętrznych transportu Dolnego Śląska [3]*
*Fig. 1. Schema of external relations of Lower Silesia transport*




*Rys. 2. Schemat połączeń pasażerskich z Wrocławia [3]*
*Fig. 2. Schema of passenger connections from Wroclaw*

Natomiast, na przykład, dla połączeniu do Gorlitz (III korytarz paneuropejski) prędkość wynosi 41 km/h.

### 3.1. Współpraca międzynarodowa

Współpraca międzynarodowa pomiędzy regionami w Unii Europejskiej odbywa się w ramach trzech programów INTERREG [6], natomiast realizacja poszczególnych inicjatywy bazuje na formule programów operacyjnych. W ramach INTERREG wyróżnia się [3]:

- Wspieranie rozwoju regionów przygranicznych (INTERREG A), który obejmuje wspólne działania regionów przygranicznych takie, jak wspieranie rozwoju obszarów miejskich i wiejskich, wzmacnianie ducha przedsiębiorczości, działania mające na celu poprawę transportu i inne.
- Współpracę transgraniczną władz lokalnych, regionalnych i krajowych mająca na celu zrównoważony i trwały rozwój na

Lublin and Hamburg). On the other hand, the speed at connection to Gorlitz (III pan-European corridor) is 41 km/h.

### 3.1. International collaboration

Three INTERREG programs realize the international collaboration between regions in European Union, while realization of particular initiatives is based on formula of operation program [6]. The activities distinguished within INTERREG program concern [3]:

- Supporting the development of frontier regions (INTERREG A), which contain common activities of frontier regions like supporting growth of town and village areas, intensification of enterprise genius, activities directed on transport improvement and others.
- Transfrontier collaboration of local, regional and state authorities focused on balanced and durable growth of the union

obszarze unii (INTERREG B). Współpraca ta ma za zadanie promowanie idei integracji europejskiej, a przede wszystkim trwałego i zrównoważonego rozwoju.

- Współpracę międzyregionalna (INTERREG C), która koncentruje się na wymianie dobrych praktyk wewnątrz unii w dziedzinach objętych programami INTERREG A I B, oraz na promocji sieci europejskich w niektórych dziedzinach polityki regionalnej.

W województwie dolnośląskim realizowane są dwa programy:

- INTERREG IIIA POLSKA – SAKSONIA,
- INTERREG IIIA POLSKA – CZECHY.

Nadrzędnym celem programu INTERREG IIIA POLSKA – SAKSONIA jest wspieranie zintegrowanego i zrównoważonego rozwoju w sferze gospodarczej, społecznej i kulturowej na pograniczu polsko – saksońskim. Obszar działania Programu pokazano na rys. 3 [6].

territory (INTERREG B). The collaboration is obligated to promote the ideas of European integration and, first of all, the idea of sustained and balanced growth.

- Interregional cooperation (INTERREG C) concentrated on interchanging good practices inside the union in the domains which come within the INTERREG A and INTERREG B programs and concerning promotion of European nets in some fields of regional politics.

In Lower Silesia region two programs are in realization:

- INTERREG IIIA POLAND – SAXONY (GERMANY),
- INTERREG IIIA POLAND – CZECH REPUBLIC.

The overriding target of INTERREG III A POLAND – SAXONY (GERMANY) program is to support the integrated and balanced growth of Polish – Saxony frontier region in economical, social and cultural domains. The area of the program activity is shown in Fig. 3 [6].

*Rys. 3. Obszar działania programu INTERREG IIIA POLSKA – SAKSONIA [6]*
*Fig. 3. Region of INTERREG IIIA POLSKA – SAKSONIA program activity*

Program INTERREG III A jest finansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz współfinansowany przez partnerów i uczestników krajowych. Całkowity budżet EFRR w okresie 2000-2006 wynosi 70,6 mln EUR. Ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego polscy partnerzy mogą uzyskać dofinansowanie w wysokości do 75% kosztów kwalifikowalnych projektu. Beneficjentami Programu INTERREG IIIA Polska – Saksonia są jednostki samorządu terytorialnego i ich związki, partnerzy społeczno-ekonomiczni, instytucje edukacyjne i kulturalne, organizacje pozarządowe, itp. Problematyka rozwoju infrastruktury na tym obszarze obejmuje dwa działania: poprawę infrastruktury komunikacyjnej w celu podniesienia transgranicznej dostępności obszaru oraz poprawę innych infrastruktur w celu wspierania rozwoju pogranicza.

Nadrzędnym celem Programu INTERREG IIIA POLSKA-CZECHY jest poprawa warunków i standardów życia w obszarze pogranicza za pomocą wspólnych przedsięwzięć społeczności i instytucji z Polski i Czech. Całkowity budżet EFRR w okresie 2004-2006 wynosi 34,5 mln EUR. Osiągnięcie celu w zakresie infrastruktury transportowej wymaga realizacji Priorytetu 1: Dalszy rozwój i modernizacja infrastruktury dla zwiększenia konkurencyjności obszaru pogranicza, szczególnie w ramach pierwszego działania - wspieranie rozwoju infrastruktury o znaczeniu transgranicznym. Obszar działania tego programu pokazano na rys. 4 [6].

INTERREG IIIA program is financed by the European Fund of Regional Growth and co-financed by national partners and participants. The total budget of EFRG for 2000 – 2006 period is 70.7 mln EUR. Polish partners could obtain finance from the European Fund of Regional Growth at 75% amount of qualificated costs of the project. To beneficiates of INTERREG IIIA Polish – Saxony program belong territorial autonomy units and their unions, social-economical parties, cultural and educational institutions, off-state organizations, ect. The problems of infrastructure growth concern two activities: improvement of communication infrastructure according to transfrontier area accessibility and improvement of the other infrastructures to support the frontier region growth.

The overriding target of INTERREG III A POLAND – CZECH REPUBLIC program is to improve the conditions and standards of life in the frontier region by common activities of societies and institutions from Poland and Czech Republic. The total budget of EFRG for 2004 –2006 period is 34.5 mln EUR. To obtain the target in infrastructure domain is necessary to realize the Priority 1: further growth and modernization of infrastructure to increase the frontier region competitiveness, particularly in the field of the first activity – supporting infrastructure growth of transfrontier importance. The area of that program is shown in Fig. 4 [6].

*Rys. 4. Obszar działania programu INTERREG IIIA POLSKA-CZECHY [6]*
*Fig. 4. Region of INTERREG IIIA POLSKA-CZECHY program activity*

## 4. Podsumowanie

Analiza uwarunkowań zewnętrznych systemu transportowego Dolnego Śląska pozwala zidentyfikować korytarze transportowe, które powinny być traktowane w sposób priorytetowy przy projektowaniu transportu regionalnego. Głównym kryterium określenia priorytetów inwestycyjnych jest zapewnienie wysokiej jakości połączeń systemów transportowych regionów sąsiadujących z Dolnym Śląskiem.

## 4. Conclusions

The analysis of external conditions of Lower Silesia transportation system allows on identifying the transport corridors that should be priority regarded while designing the regional transport. The main criterion of investments priorities is to assure high quality of connections among the transportation systems of regions neighboring to Lower Silesia.

## 5. References

[1] Nowakowski T., Molecki B.: *Założenia do projektowania systemów transportu regionalnego – przykład Dolnego Śląska*. [w]: XV międzynarodowa konferencja: dostosowanie polskiego transportu do unii europejskiej nowa jakość polskiego transportu i logistyki po akcesji do UE. Uniwersytet Gdański, Wydział Ekonomiczny, Katedry Transportu i Logistyki, Sopot 22-23 maja 2006 r.
[2] Nowakowski T.: *Założenia rozwoju zrównoważonego regionalnego systemu transportowego*. Eksploatacja i Niezawodność, nr 1/2006.
[3] Program rozwoju infrastruktury transportowej i komunikacyjnej dla województwa dolnośląskiego. Ośrodek Badawczy Ekonomiki Transportu P.P. www.obet.com.pl.
[4] Przewozy regionalne w Polsce – szanse i zagrożenia. Materiały konferencyjne. Red. T. Nowakowski. CL Consulting i Logistyka, Wrocław 2005.
[5] Pucher J., Kurth S.: *Verkehrsverbund: the success of regional transport in Germany*, Austria and Switzerland. Transport Policy, Vol. 2, No. 4, 1996.
[6] www.interreg.gov.pl.
[7] Założenia programu rozwoju infrastruktury transportowej i komunikacyjnej dla województwa dolnośląskiego na lata 2005-2015, red. T. Nowakowski. Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej, Raport serii SPR nr 26/2005, Wrocław 2005.

**Dr hab. inż. Tomasz NOWAKOWSKI**
Politechnika Wrocławska
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Zakład Logistyki i Systemów Transportowych
Wyb. Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
e-mail: tomasz.nowakowski@pwr.wroc.pl

Arkadiusz RYCHLIK

# METODY POMIARU ZUŻYCIA PALIWA POJAZDÓW UŻYTKOWYCH

# COMMERCIAL VEHICLES FUEL CONSUMPTION MEASUREMENT METHODS

*Racjonalna eksploatacja silników spalinowych jest źródłem oszczędności surowców, energii i nakładów kapitałowych, podstawową strategią uzyskania zysku. W pacy zaprezentowano wybrane metody pomiaru zużycia paliwa przez tłokowe silniki spalinowe pojazdów użytkowych, dokonano ich prezentacji oraz określono możliwości zastosowania do monitoringu zużycia paliwa.*

***Słowa kluczowe**: pomiar zużycia paliwa, bilans węglowy, krzywe Willansa*

*Rational operation of combustion engines is the source of savings on raw materials, energy and capital outlays, the basic strategy of generating profit. The paper presents selected methods for fuel consumption measurement in piston combustion engines of utility vehicles. Such methods have been discussed and their potential use for fuel consumption monitoring has been determined.*

***Keywords**: fuel consumption measurement, carbon balance, Willans curves*

## 1. Wprowadzenie

Pomiar zużycia paliwa jest jednym z ważniejszych czynników umożliwiających racjonalną eksploatację floty drogowej. Nadmierne zużycie paliwa wpływa negatywnie zarówno na szeroko rozumianą ekonomię transportu jak także na środowisko naturalne. Te nadmierne zużycie paliwa przez silnik w porównaniu z wartościami nominalnymi, może być ponadto informacją diagnostyczną, mogącą pomóc w określeniu aktualnego stanu technicznego silnika lub jego układów. Wczesne zidentyfikowane takiego stanu, może uchronić silnik przed uszkodzeniem, ale przed wszystkim umożliwia planową realizację procesu transportowego. Inną istotną przesłankę określającą konieczność kontroli zużycia paliwa należy upatrywać w aspekcie ochrony środowiska. Ograniczenie emisji szkodliwych związków powstałych w wyniku funkcjonowania silnika, jest możliwe poprzez ciągły rozwój konstrukcji silników jak także poprzez stosowanie zasady im mniejsze zużycie paliwa przez silnik tym – mniejsze zanieczyszczenie środowiska naturalnego przy zachowaniu reżymu „czystości spalin". Ta zasada przyświeca przyszłościowym normom europejskim, które jednocześnie ograniczają wartości emisji związków szkodliwych do atmosfery, a także określają zużycie paliwa przez silnik na przejechany kilometr lub wykonaną pracę [1].

## 2. Metody pomiarów zużycia paliwa

W literaturze problemu odnajduje się szereg metod pomiaru zużycia paliwa. Możliwość ich zastosowania uzależniona jest od wielu czynników mi.: żądanej dokładności pomiaru, możliwości zastosowania do konkretnych układów zasilania, możliwości ingerencji w układ zasilania czy choćby kosztu takiego układu pomiarowego. Ogólnie metody pomiaru zużycia paliwa możemy podzielić na dwie grupy: laboratoryjne i trakcyjne (drogowe).

Główną grupę metod pomiaru zużycia paliwa stanowią metody laboratoryjne, są to metody które stosuje się w laboratoriach (badania hamowniane) lub podczas np. badań homologacyjnych pojazdów. Metody te charakteryzują się dużą dokładnością pomiaru (ok. ±0,5%), lecz mogą być ze względów konstrukcyjno – metodycznych stosowane w ograniczonym zakresie. Zakres stosowania tego typu aparatury to laboratoria, tory pomiarowe, lub odpowiednio do tego przystosowane pojazdy. Wadą tych

## 1. Introduction

Fuel consumption measurement is one of the factors allowing rational operation of a fleet of vehicles. Excessive fuel consumption has a negative influence on widely understood economy of transport as well as the natural environment. The excessive fuel consumption as compared with nominal values can also provide diagnostic information that can be helpful in determining the actual technical status of the engine or its systems. Early identification of that status can protect the engine against damage, but first of all, it allows planned performance of the transport process. The environment protection aspect is another important premise necessitating fuel consumption control. Limitation of emissions of harmful substances produced during engine operation is possible through continuous development of engine designs and by applying the principle that the lower the fuel consumption the lower the natural environment pollution when the regime of "clean exhaust" is observed. That principle is the bases for the future European standards that simultaneously limit the values of emissions of harmful substances to atmosphere and define the engine fuel consumption per kilometer or work performed [1].

## 2. Fuel consumption measurement methods

The subject literature presents numerous fuel consumption measurement methods. The potential for applying them depends on many factors such as the required measurement precision, possibility of application for specific supply systems, possibility of integration in the supply systems or costs of the measurement system. Generally, fuel consumption measurement methods can be divided into two groups: laboratory methods and traction (road) methods.

The laboratory methods that are applied in laboratory tests (engine test beds) or during homologation of vehicles are the main group of fuel consumption measurement methods. Those methods are characterized by high precision (ca. ±0.5%), but for design and methodology considerations they can be applied to a limited extent. That type of devices can be applied in laboratories, on test tracks or in appropriately adapted vehicles. The

metod jest brak możliwości zastosowania do typowych pojazdów roboczych (tzn. permanentny pomiar zużycia paliwa w toku eksploatacji) poprzez: duży koszt aparatury pomiarowej, konieczność okresowej kalibracji, trudne warunki eksploatacji którym nie jest w stanie sprostać precyzyjna aparatura laboratoryjna, konieczność ingerencji w układ zasilania, itd..

Metody trakcyjne (drogowe) są to metody które umożliwiają monitorowane zużycia paliwa przez silnik, w każdych warunkach jego eksploatacji poprzez urządzenia lub procedury zaimplementowane na eksploatowanym obiekcie. Metody te są stosowane od połowy lat siedemdziesiątych lecz do dnia dzisiejszego traktuje się je jako pomiar orientacyjny, o dużym błędzie pomiarowym. Uzyskiwana tu dokładność pomiaru, jest wypadkową kosztów poniesionych na wyprodukowanie przepływomierza, trwałości oraz zastosowanych metod określania zużycia paliwa (np.: linie Willansa, charakterystyka wtryskiwacza itp.).

### Metod objętościowa - „pełnego zbiornika"

W metodzie tej zużycia paliwa określa się na podstawie zużytej objętości lub masy paliwa. W obu przypadkach odnosi się ja do przejechanej drogi lub wykonanej pracy.

Metoda ta jest stosunkowo dokładna jednakże zastosowanie jej do pojazdów w warunkach rzeczywistych jest dość kłopotliwe. Powodem jest konieczność zaangażowania dodatkowych pracowników w celu kontroli i uzupełniania paliwa, lub konieczność wyposażenia pojazdu w specjalny zbiornik paliwa z możliwością pomiaru masy paliwa znajdującego się w zbiorniku przed pomiarem i po nim. Stosowanie tej metody odnajduje się w przedsiębiorstwach w których pojazdu funkcjonują w trybie „wahadłowym" (np. zakłady komunikacji miejskiej) lub dla silników stacjonarnych (np. silniki generatorów prądotwórczych). Metoda ta jest powszechnie stosowana przez koncerny samochodowe w celu określenia norm zużycia paliwa podczas badań trakcyjnych pojazdu czy pomiarów oporów toczenia np. opon itp., jednakże tylko dla wcześniej przygotowanych pojazdów oraz określonej drodze, najczęściej torze pomiarowym.

Poszukiwanie niezawodnych i dokładnych układów pomiarowych w ostatnim czasie zaowocowało nową metodą kontroli objętościowego zużycia paliwa - pomiar „lustra" paliwa w zbiorniku. Przykładem tego rozwiązania może być System Kontroli Transportu SKT, opracowany przez firmę SOFIBA [6]. Prezentowany system jest bardzo precyzyjny (±1% pojemności baku dla pojedynczego tankowania – dane producenta). Ogólnie system ten opiera się na ciągłym monitorowaniu poziomu paliwa w zbiorniku za pomocą sondy pomiarowej umieszczonej w zbiorniku paliwa.

Wadą tego systemu jest konieczność ingerencji w konstrukcje zbiornika paliwa w celu montażu sondy paliwowej. Metoda to zmoże być stosowana dla wszystkich typów układów zasilania jak także rodzaju silników (ZI, ZS) w połączeniu z bezprzewodowym systemem pozycjonowania pojazdu GPS i przesyłem danych staje się coraz częściej stosowanym systemem kontroli zużycia paliwa przez flotę drogową.

### Bilans węglowy

Metoda bilansu węglowego jest stosowana do określania zużycia paliwa w oparciu o ilość węgla znajdującego się w zebranych gazach wydechowych. Nawet przy złożonych przekształceniach chemicznych, zachodzących w silnikach o spalaniu wewnętrznym, zależność między zużycie paliwa a emisją węgła może być

negative aspect of those methods is the impossibility of using them in standard utility vehicles (i.e. permanent fuel consumption measurement during operation) as a consequence of high costs of measurement devices, need for periodic calibration, difficult operation conditions the precise laboratory equipment is unable to sustain, the necessity of integration with supply system and other.

Traction (road) methods allow fuel consumption monitoring in any conditions of operation using a device or procedures implemented in the operated vehicle. Those methods have been in use since mid-1970s but up to date they are treated as indicative measurements with high measurement error. The measurement precision is the consequence of costs incurred in production of the flow meter, its durability and the methods used for determining the fuel consumption (e.g. Willans curves, injector characteristics, etc.).

### Voluminous method of "full tank"

According to this method, fuel consumption is determined on the basis of fuel volume or mass consumed. In both cases it is linked to the distance covered or work done.

That method is relatively accurate but applying it in vehicles under conditions of actual operation is rather cumbersome. The reason is the need to involve additional employees to control and refill the fuel or the necessity of equipping the vehicle with a special fuel tank with the possibility of measuring the mass of fuel in the tank before and after the measurement. That method is used in companies where vehicles operate according to the shuttle regimes (e.g. municipal transport companies) or for stationary engines (e.g. engines of power generators). The method is commonly used by automotive companies for determination of fuel consumption standards during road tests of vehicles or measurements of driving resistance of tyres, etc., however, only for earlier prepared vehicles and on the defined road, most frequently the test track.

The search for reliable and precise measurement systems has recently resulted in a new method for voluminous fuel consumption control – the measurement of fuel level in the tank. The Transport Control System SKT developed by SOFIBA [6] is an example of such a solution. The presented system is highly accurate (±1% tank capacity for single refueling – manufacturer's data). Generally the system is based on continuous monitoring of fuel level in the tank using the measurement probe positioned in the fuel tank.

The negative aspect of the system is the necessity of intervention in the fuel tank design to install the fuel probe. That method can be used for all types of supply systems and all types of engines (spark, compression) in combination with the wireless vehicle location system GPS and data transmission it becomes more and more frequently used as fuel consumption control system for fleets of vehicles.

### Carbon balance

The carbon balance method is used for determination of fuel consumption on the basis of the content of carbon in collected exhaust gas. Even in case of complex chemical transformations occurring in the internal combustion engine the relation between fuel consumption and carbon emissions can be determined in a re-

stwierdzona w stosunkowo prosty sposób. Stosowane są aktualnie cztery główne rodzaje paliwa składające się prawie wyłącznie z węglowodorów nasyconych (węglowodory nasycone są zbudowane tylko z węgla (C) i wodoru (H) w znanych proporcjach). Gdy zachodzi proces spalania, cały węgiel z paliwa jest wydalany w gazach wydechowych, które składają się z tlenu pochodzącego z powietrza w postaci dwutlenku węgla ($CO_2$), tlenku węgla (CO) lub z niespalonych węglowodorów (HC, nazywane również VOC – Volatile Organic Compounds – lotne związki organiczne).

Możemy założyć, że silnik wydala tyle węgla, ile go zużywa w postaci paliwa. Stąd ilość zużywanego paliwa można określić w oparciu o ilość węgla zebranego w gazach spalinowych (wydechowych). Wzory do obliczeń zużycia paliwa można odnaleźć [2].

Chociaż dokładna ilość $CO_2$ produkowana przez jeden litr paliwa zależy od wielu czynników takich jak temperatura, ciśnienie atmosferyczne i jakość paliwa, poniższe wartości mogą być uważane za typowe:

- 1 litr benzyny wytwarza 2,35 kg ($CO_2$), tj. 0,64 kg węgla (C);
- 1 litr oleju napędowego wytwarza 2,66 kg ($CO_2$), tj. 0,72 kg węgla (C).

Stosunek $CO_2$/C wynosi 3,67 i jest stosunkiem masy cząstkowej $CO_2$ (12 + (2 x 16) = 44) i masy atomowej węgla (C) (która wynosi 12).

Prezentowana metoda ma zastosowanie do badań laboratoryjnych określających zużycie paliwa przez silniki spalinowe zarówno nisko-, jak i wysokoprężne. Zastosowanie jej do badań drogowych na dzień dzisiejszy jest bardzo trudne a zaadoptowanie do permanentnego pomiaru zużycia paliwa – praktycznie niemożliwe, ze względu na zasadę działania (gromadzenie gazów spalinowych).

### Przepływomierze pomiarowe

Do pomiarów zużycia paliwa wykorzystywane są także przepływomierze, które określają zużycie paliwa w czasie rzeczywistym w toku eksploatacji. Stosowanie tej metody jest bardziej skomplikowane w porównaniu z metodą objętościową („pod korek") ze względu na konieczność oprzyrządowania pojazdu i kalibrację przepływomierzy pomiarowych, chcąc uzyskiwać dużą dokładność pomiaru.

W zależności od konstrukcji można wyróżnić dwa główne typy mechanizmów pomiarowych odpowiedzialnych za określenie wielkości przepływu. Są to układy oparte na zasadzie pompki z wirującym tłokiem np. moduł pomiarowy CONTOIL VZO4-8 firmy Magnum [5], lub układ tłoczkowy oparty na koncepcji czterech tłoczków np. Flowtronic firmy QUICKLI AG [4].

Urządzenie VZO4-8 przeznaczone jest do dokonywania pomiarów metodą różnicową, tzn. występują w układzie dwa mierniki jeden na linii ssawnej układu zasilani a drugi na linii przelewowej. Wielkość konsumpcji paliwa przez silnik jest różnicą wskazań obu przepływomierzy.

Coraz częściej stosuje się paliwomierze wyposażone w wewnętrzny zbiornik paliwa. W zbiorniku tym gromadzone i chłodzone jest paliwo które ponownie wprowadza się do linii ssania układu zasilania. W ten sposób producenci eliminują drugi paliwomierz obniżając koszt i konstrukcję instalacji pomiaru paliwa, jednocześnie podnosząc ich dokładność pomiarową [3, 4].

Średnia dokładność pomiarowa przepływomierzy dostępnych na rynku waha się w granicach ±1% zarejestrowanego przepływu

latively simple way. Currently four major types of fuel consisting almost exclusively of saturated hydrocarbons are used (saturated hydrocarbons consist of carbon (C) and hydrogen (H) only in known proportions). In case of combustion process the entire carbon is exhausted in exhaust gas that consists of oxygen from the air and carbon in the form of carbon dioxide ($CO_2$), carbon oxide (CO) or incombustible hydrocarbons (HC, also called the VOC – Volatile Organic Compounds).

It can be assumed that the engine exhausts as much carbon as it consumes in the form of fuel. As a consequence the quantity of fuel consumed can be determined based on the quantity of carbon in exhaust gas. Formulas for fuel consumption calculation can be found in [2].

Although the exact quantity of $CO_2$ produced from one liter of fuel depends on numerous factors such as temperature, atmospheric pressure and fuel quality, the following values can be considered standard:

- 1 liter of petrol produces 2.35 kg ($CO_2$), i.e. 0.64 kg carbon (C);
- 1 liter of diesel oil produces 2.66 kg ($CO_2$), i.e. 0.72 kg carbon (C).

The ratio $CO_2$/C is 3.67 as a ratio of molecular weight of $CO_2$ (12 + (2 x 16) = 44) and the atom weight of carbon (C) (which is 12).

The presented method is applicable in laboratory tests determining fuel consumption by both low and high-pressure combustion engines. Applying it in road tests as for today is very difficult and adapting it for permanent fuel consumption measurement is practically impossible as a consequence of its basic concept (collection of exhaust gas).

### Flow meters for measurement

Flow meters are also used for fuel consumption measurement as they determine fuel consumption in real time during operation. Application of that method is more complicated than the voluminous method ("top up"), as it requires equipping the vehicle with and calibration of the flow meters if we want to obtain high measurement accuracy.

Depending on design, two major types of measurement mechanisms responsible for determining the flow volume can be identified. Those are systems based on a rotating piston pump, e.g. measurement module CONTOIL VZO4-8 by Magnum [5], or a system of pistons based on a four pistons setup, e.g. Flowtronic by QUICKLI AG [4].

VZO4-8 device is based on measurements using the differential method, i.e. there are two measuring devices in the system – one on the suction line and one on the overflow line. Fuel consumption is the difference between the indications of those two flow meters.

Increasingly frequently fuel meters equipped with in internal fuel tank are used. That tank collects and cools fuel that is introduced again into the suction line of the fuel supply system. In this way the manufacturers eliminate the second meter decreasing the costs and simplifying the fuel measurement system design at the same time increasing the measurement precision [3, 4].

The average measurement precision of flow meters available in the market is within ±1% of the registered flow (manufacturers' data). However, in case of differential measurement system

(dane producentów). Jednakże uwzględniając różnicowy układ pomiarowy dokładność ta wynosić nawet ±19%! [3]. Właśnie ze względu na tak małą dokładność oraz dość ograniczona trwałość tych paliwomierzy stosowane są one tylko okresowo, w celu określenia normatywów lub średniego zużycia paliwa przez pojazdy, nie znajdując szerszego zastosowania we flocie drogowej jako monitory ciągłe zużycia paliwa.

### Linie Willansa

Kolejną spotykaną metodą określania zużycia paliwa przez silnik jest identyfikacja zużycia na podstawie „mapy silnika". Mapę dla konkretnego silnika uzyskuje się na stanowisku hamownianym. W mapie tej każda krzywa łączy punkty pracy silnika o takiej samej sprawności. Jest to swoista mapa trójwymiarowa sprawności silnika, lecz nie dająca bezpośredniej informacji o ilości zużycia paliwa w każdej chwili czasu przez pojazd.

Na podstawie takiej mapy, można zbudować inny mniej złożony model, znany jako linie Willansa, który dla danego silnika daje prostą zależność pomiędzy mocą pobraną (w postaci zużytego paliwa) a mocą użyteczną (uzyskaną na stanowisku hamownianym). Metoda linii Willansa jest słuszna tylko dla normalnego zakresu pracy silnika co przedstawiono na rys. 1a za pomocą linii ciągłych. Linie kreskowane odpowiadają szybkiemu spadkowi sprawności w przypadku szybkiego wzrostu mocy użytecznej (kierowca naciska na pedał gazu, podczas gdy obroty silnika nie są odpowiednie do prędkości jazdy – odpowiada to gwałtownemu zużyciu paliwa, przy braku zauważalnego przyśpieszenia przez pojazd).

W celu uzyskania zużycia paliwa na odcinku 100 km, należy powiązać ze sobą obroty silnika i przełożenie całkowite układu napędowego. Po uwzględnieniu charakterystycznego przełożenia danego pojazdu na poszczególnych biegach linie Willansa wyglądają jak na rysunku 1b.

Należy podkreślić iż metoda linii Willansa jest słuszna jedynie dla normalnego zakresu pracy silnika. W najbardziej złożonym, lecz jednocześnie najbardziej realistycznym przy-

that accuracy can reach even ±19%! [3]. Because of that low accuracy and limited life of those flow meters, they are applied only periodically to determine the standard or average fuel consumption in vehicles and they find no wider application in fleets for continuous fuel consumption monitoring.

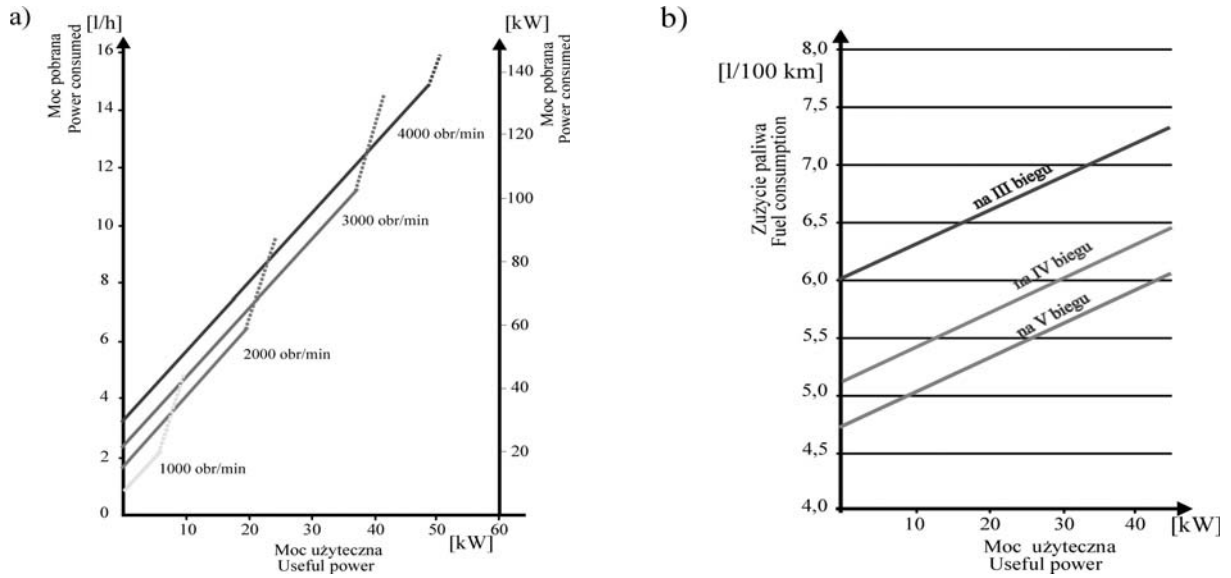
### Willans lines

Identification of fuel consumption on the basis of the "engine map" is another method for determination of fuel consumption by the engine. The map for a specific engine is obtained on the engine test bed. In that map each curve connects engine work points with the same efficiency. That is a specific 3D map of engine efficiency, which, however, does not provide direct information on fuel consumption at each moment.

On the basis of that map another, less complex model can be constructed known as Willans lines which, for a given engine, defines a simple relation between power consumed (in the form of fuel consumed) and the useful power (obtained at the test bed). Willans lines are correct only for the ordinary operational range of the engine, which I presented in fig. 1a as continuous lines. Dotted lines correspond to quick loss of efficiency in case of fast increase of useful power (driver presses the accelerator when the engine revolutions are inappropriate for driving speed – that corresponds to rapid fuel consumption with no noticeable acceleration of the vehicle).

To obtain fuel consumption on a distance of 100 km, the engine revolutions and total gearing of the drive system should be linked. After considering the characteristic gearing of the vehicle in each gear the Willans lines look as in fig. 1b.

It should be highlighted that Willans lines are correct only for the normal operation range of the engine. In the most complex but at the same time most realistic case where the vehicle moves at variable speed, calculation of fuel consumption requires knowledge on the momentary engine efficiency and useful power at each moment. The obstacle that limits common application of that




*Rys. 1. Linie Willansa (a) dla hipotetycznego silnika oraz linie Willansa (b) po uwzględnieniu przełożeni całkowitego na poszczególnych biegach*
*Fig. 1. Willans lines (a) for a hypothetic engine and (b) after considering the total gearing in individual gears*

padku, gdzie pojazd porusza się ze zmienną prędkością, aby obliczyć zużycie paliwa musimy znać chwilową sprawność silnika i moc użyteczną w każdym momencie. Wadą która ogranicza powszechne zastosowanie tego typu metody do określania zużycia paliwa jest brak uwzględnienia degradacji stanu technicznego silnika w toku jego eksploatacji jak także mała dokładność pomiarowa.

## 3. Podsumowanie

Aspekt kontroli zużycia paliwa należy rozpatrywać na kilku płaszczyznach: konsumpcji paliwa przez silnik, ochrony środowiska naturalnego jak także kontroli stanu technicznego silnika która jest bezpośrednio powiązany z wcześniej wymienionymi przesłankami.

Ekonomiczno-ekologiczne podejście do zużycia paliwa wymaga konieczność opracowania nowoczesnego monitora zużycia paliwa. Monitor ten winien być odporny na trudne warunki eksploatacji silników użytkowych przy jednoczesnym braku ingerencji w układ zasilania czy sterowania silnika oraz winien posiadać względnie dużą dokładność pomiarową. Istnieje zatem potrzeba szukania nowych metod pomiaru zużycia paliwa które wykorzystywały by informacje pozyskane np. z urządzenia sterującego w postaci procesów resztkowych, jednocześnie

method for determination of fuel consumption is that it does not take into account the degradation of engine technical condition during operation as well as its low measurement precision.

## 3. Conclusion

The issue of fuel consumption control should be viewed in a number of aspects such as fuel consumption by the engine, natural environment protection and control of technical status of the engine directly related to the earlier mentioned aspects.

Economic-ecologic approach to fuel consumption requires developing a modern fuel consumption monitor. That monitor should be resistant to difficult operational conditions of utility engines and avoid intervention in the supply or engine control systems while offering a relatively high precision of measurement. As a consequence, there is the need to search for new fuel consumption measurement methods using, e.g. information from the control devices in the residue process format combining the above specified features with relatively low device purchase and installation costs.

## 4. References


[1] Chłopek Z.: *Tendencje rozwojowe w napędach autobusów miejskich*. Eksploatacja i Niezawodność, Nr 1(29)/2006.
[2] Dyrektywa 1999/1000/EC.
[3] Podstawický I, Liščák Š, Droździel P.: *Nowoczesna metoda pomiaru zużycia paliwa w transporcie samochodowym*. Eksploatacja i Niezawodność, Nr 1(25)/2005.
[4] www.flowtronic.de - strona internetowa producenta.
[5] www.magnum.pl - strona internetowa producenta.
[6] www.sofiba.pl - strona internetowa producenta.



**Dr inż. Arkadiusz RYCHLIK**

Katedra Budowy Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
Wydział Nauk Technicznych
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski
ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn
e-mail: rychter@uwm.edu.pl

Józef STOKŁOSA
Tadeusz CISOWSKI

# ANALIZA PRZYCZYN POWOLNEGO ROZWOJU W POLSCE INTERMODALNYCH PRZEWOZÓW KOLEJOWO-DROGOWYCH

# ANALYZE OF INSUFICIENT INCREASE COMBINED TRANSPORT IN POLAND

*W artykule scharakteryzowano istotę przewozów kolejowo-drogowych w Europie. Przedstawiono zalety transportu intermodalnego, a w szczególności transportu kombinowanego. Omówiono stan aktualny i przyczyny powolnego rozwoju transportu kombinowanego w Polsce. Zwrócono uwagę na takie zagadnienia jak stan i jakość pracy terminali intermodalnych, stan infrastruktury drogowej i kolejowej, organizacja przewozów kombinowanych.*

***Słowa kluczowe**: transport kombinowany, terminale transportu kombinowanego, przewozy towarowe, polityka transportowa, rynek transportowy, lokalizacja terminali, organizacja połączeń pomiędzy terminalami*

*In this paper has been presented road-rail transport in Europe. Presented advantages of intermodal/combined transport. Starting at a rather low level, combined transport has developed in Europe today an important alternative in freight transport. Discussed possibilities and limitations insufficient increase Combined transport (CT) in Poland. Future development CT in Poland needs efficient and modern terminals, well maintained road and rail infrastructure, new organization rail-road logistics chains.*

***Keywords**: combined transport, terminals, transshipment, rail freight transport, containers, intermodal transport, transport market, terminal location, terminal connection*

## 1. Wstęp

W ostatnim dziesięcioleciu XX wieku nastąpił w Europie gwałtowny rozwój transport kombinowanego. Transport kombinowany łączy w sobie najlepsze cechy transportu drogowego takie, jak elastyczność, bezpośredniość dostaw z każdego miejsca nadania, dostosowanie środków transportowych do wymagań ładunków z cechami transportu kolejowego takimi, jak relatywna taniość przewozów na średnie i duże odległości, szybkość dostaw, regularność połączeń oraz znaczna ich częstotliwość. Transport kolejowy, w porównaniu z transportem samochodowym, charakteryzuje się również mniejszą liczbą uszkodzeń i zaginięć przewożonych ładunków. Nie bez znaczenia jest także fakt, że transport kolejowy świadczący usługi przewozowe na duże odległości mniej zanieczyszcza środowisko naturalne, emitując mniejsze ilości spalin. Biorąc pod uwagę wymienione zalety transportu kolejowego uzasadnionym staje się intensywny rozwój intermodalnych przewozów kolejowo-drogowych.

## I. Stan aktualny i perspektywy rozwoju transportu kombinowanego w Europie i w Polsce

Przewozy kolejowo-drogowe stanowią obecnie w różnych krajach Europy od 10-do 15% przewozów towarowych ogółem. W krajach takich jak Szwajcaria czy Norwegia roczna dynamika wzrostu przewozów kombinowanych wynosi około 5% [5]. Znajduje to odzwierciedlenie w zmianach nierównomiernego udziału poszczególnych gałęzi transportu w rynku przewozów towarowych. Jedną z form zrównoważonego rozwoju transportu powierzchniowego w Europie jest przerzucenie części przewozów towarowych z transportu drogowego na kolejowy. Na rys.1 pokazano wzrost przewozów kombinowanych kolejowo-drogowych na przestrzeni ostatnich 15 lat.

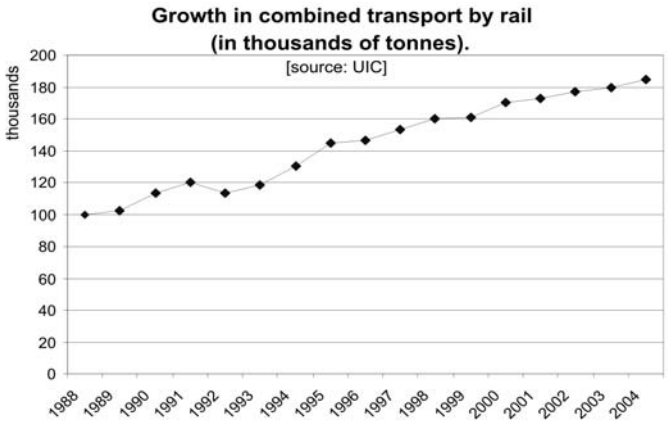
## 1. Introduction

In Europe in the last decade of XX century took place a high growth of combined transport. Combined transport has the features of the road transport such as: elasticity, the directness of deliveries from every place the conferment, adaptation vehicles to requirements of freights and the features of the railway transport like relative cheapness of transports on average and large distances, speed of deliveries, regularity of connections as well as their considerable frequency. The railway transport in comparison with road transport characterizes smaller number of damages and disappearances of freights. The railway transport providing services on large distances and at the same time it's better for natural environment than the road transport because it's emitting less pollutions. Taking under attention the mentioned advantages of railway transport the intensive development of intermodal transport is well-founded.

## I. The current state and perspective of development of combined transport in Europe and Poland.

Estimated share of rail-road transport in different countries of Europe is 10 – 15% of freight transports totality. In such country as Switzerland, Norway yearly dynamics of growth of combined transport is about 5% [5]. It finds reflection in changes of irregular share of respective branches transport in market of freight transports. One of the form of sedate development of harmonized transport in Europe is transfer the part of freight transport from road transport on rail. Fig. 1 shows growth of combined transports in last 15 years.

The growth of combined transport encounters many problems, which don't permit fully to develop this new part of transport [2]. Still the cost of transport of Intermodal Transport




*Rys.1. Wzrost przewozów transportem kombinowanym w UE łącznie z Norwegią i Szwajcarią w latach 1988 – 2004 [7]*
*Fig.1. Growth in combined transport by rail (in thousands of tonnes). Total for EU + Switzerland and Norway [7]*

Wzrost przewozów transportem kombinoanym napotyka jednak w dalszym ciągu na szereg barier, które nie pozwalają w pełni rozwinąć tej nowej gałęzi transportu [2]. W dalszym ciągu koszt przewozu jednostki ładunkowej transportem kombinowanym znacznie przewyższa jej koszt przewozu transportem drogowym. Stanowi to istotną przeszkodę w realizacji przewozów kombinowanych. Szansą na odwrócenie tej niekorzystnej sytuacji może być zastosowanie m.in. nowych technologii przewozowych. Na rys.2. przedstawiono porównanie kosztów przewozu naczepy samochodowej transportem kombinowanym, drogowym przy pionowym przeładunku na wagony kieszeniowe (operator Kombiverkher) oraz przy zastosowaniu nowoczesnej technologii przeładunku poziomego (system CargoBeamer) w warunkach niemieckich. Należy podkreślić, że podobne koszty określają inni operatorzy przewozów kolejowo-drogowych.

Przyciągnięcie przewoźników drogowych do współpracy w ramach przewozów kolejowo-drogowych napotyka również i na bariery techniczne. W krajach takich jak Francja, Włochy, Niemcy udział transportu drogowego w przewozach towarowych wynosi odpowiednio 76%, 84%, 70%. Jednocześnie tylko około 1% naczep przystosowanych jest do przeładunku pionowego w technologii piggyback. Rys.3. przedstawia udział jednostek ładunkowych w przewozach drogowych w Niemczech.

W Polsce transportem kombinowanym przewozi się około 1% ładunków rocznie, w Słowacji wskaźnik ten wynosi 1,79% ogólnych przewozów towarowych [3]).

Nie ulega wątpliwości, że najważniejszymi atutami transportu kombinowanego w Europie są odciążenie dróg, bezpieczeństwo oraz aspekt ekologiczny. Z raportu opracowanego na zamówienie Grupy Transportu Kombinowanego (GTC) stanowiącego cześć UIC oraz UIRR wynika m.in., że do 2015 roku przewozy transportem kombinowanym wzrosną ponad dwukrotnie , z 54,5 mln ton w 2002 r. do 116 mln ton w 2015 r. [5].

Klienci oczekują od transportu kombinowanego, a zwłaszcza od operatora kolejowego kilku istotnych zmian, a w szczególności[1]:

- skrócenie czasu przewozu o co najmniej 50%,
- poprawę jakości usług (przed wszystkim punktualność kursowania pociągów)
- usprawnienie procesów przeładunkowych w terminalach.

Poszukiwania nowych technologii przewozowych, oraz systemów organizacji przewozów, czy też systemy dotacji finansowej ze strony władz państwowych, ma sprzyjać dalszemu intensywnemu rozwojowi tej gałęzi transportu.

Unit (ITU) in combined transport is more expensive than cost of transport in road transport. This is the major problem of combined transport.

The chance to change this situation may be solution using by put in to practice new transshipment technology. Fig. 2 shows comparison of costs of transport semi trailers in combined transport, road transport with vertical transshipment on pocket wagons (operator Kombiverkher) and with use the modern technology of horizontal transshipment in Germany). We can notice that other rail-road operators define similar costs.

Stimulation transport operators to co-operation in frames of rail-road transport also encounters many technical barriers. In countries such as France, Italy, Germany the share of road freight transport amounts suitably 76%, 84%, 70%. At the same time only about 1% of semi trailers is adapted to vertical transshipment in technology piggyback. Fig. 3 shows share of loading unit in road transport in Germany.

In Poland only 1% of ITU is transported by combined transport yearly. In Slovakia this indicator amounts 1.79% of total freight transports [3]).

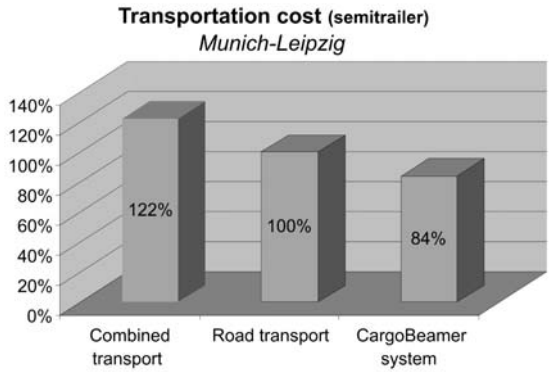
There is no doubt that the most important advantages of combined transport in Europe are: reduction of road traffic (less congestion on road network), road safety and ecological aspect (air pollution ($CO_2$ emissions)), noise, environment, development of urban space, energy consumption and raw materials.

Analysis made for Combined Transport Group (GTC), part of UIC and UIRR shows that international unaccompanied combined transport will have more than doubled by 2015, from 54.4 millions tons in 2002 to 116 millions tons in 2015 [5].

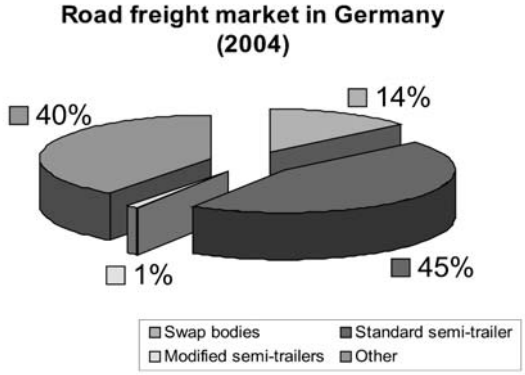
Customers are expecting from combined transport and especially from railway operators several significant changes, and especially [1]:

- about 50% shorter time of transport,
- improvement of services quality (reliability and flexibility),
- improvement transhipment process in terminals.

The searches of new transport technologies and the systems of organization of the transport and the systems of financial subsidy from government, should be friendly for further intensive development this branch of transport.




*Rys. 2. Porównanie kosztów przewozu naczepy transportem kombinowanym, drogowym i w systemie CargoBeamer [6]*
*Fig. 2. Transportation cost semitrailers in Germany [6]*




*Rys. 3. Przewozy transportem drogowym w Niemczech w 2004r. według rodzaju jednostek ładunkowych [6]*
*Fig. 3. Performance and distribution of freight in Germany in 2004 [6]*

## II. Podstawowe przyczyny słabego rozwoju transportu kombinowanego w Polsce

W 2003 r. przewozy intermodalne stanowiły 1,5% ogólnych przewozów PKP Cargo S.A. W strukturze tych przewozów 84% to przewozy międzynarodowe, w tym: import 37%, eksport 36%, tranzyt 12%. Przewozy krajowe stanowiły 19% przewozów ogółem. Przewozy kontenerów stanowią aż 94,2% (2003r.) przewozów jednostek intermodalnych. Przewóz nadwozi wymiennych wynosi 5,4% i stanowi znikomy ich udział w ogólnej liczbie przewożonych ITU (Intermodal Transport Unit). Przewozy naczep wymiennych stanowią zaledwie 0,4% przewozów intermodalnych ogółem (2003 r.) i raczej nie należy oczekiwać ich znacznego wzrostu w najbliższych latach (tab.1).

## II. Basic reasons low growth Combined Transport in Poland

In 2003 share of intermodal transport amounted to 1.5% of freight transports traffic biggest railway company in Poland PKP CARGO S.A. International traffic made up 84% of total intermodal transport, 37% - import, 36% - export, 12% transit. National traffic made up 19% of total volumes. Containers traffic is amount to 94% (2003), however other ITUs: swap bodies make up only 5.4%, semi-trailers – 0.4% intermodal traffic totally. In the next few years will not expect significant increase both international and domestic combined transport traffic (table 1).

*Tab. 1. Wielkość przewozów ITU według rodzaju jednostek w latach 1999 – 2003 (w sztukach) [4]*
*Tab. 1. Intermodal transport traffic 1999 – 2003 (ITU) [4]*

| Lata Years | ITU | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 20' | 40' | Nadwozia wymienne Swap body | Naczepy siodłowe Semi-trailer | Razem Total |
| 1999 | 59928 | 76880 | 19312 | 2434 | 158554 |
| 2000 | 89224 | 72370 | 36449 | 1259 | 199302 |
| 2001 | 70786 | 60183 | 32105 | 675 | 163749 |
| 2002 | 74997 | 71977 | 17540 | 430 | 164944 |
| 2003 | 78780 | 102204 | 10406 | 781 | 192171 |

Wynika to z dwóch przyczyn:
- o operatorzy kolejowi w Polsce, zarówno prywatni jak i PKP Cargo S.A. nie dysponują odpowiednią liczbą specjalistycznych wagonów (wagony kieszeniowe) do przewozu naczep,
- o firmy transportowe, podobnie jak to ma miejsce w Niemczech (rys. 3.) praktycznie nie posiadają naczep przystosowanych do przeładunku pionowego.

Kolejne przyczyny, z powodu których transport kombinowany nie może rozwinąć się w Polsce w sposób zadowalający to:
- przypadkowość rozmieszczenia terminali lądowych kolejowo-drogowych,
- niewystarczająca długość torów przeładunkowych w istniejących terminalach, co wydłuża czas przebywania ITU na terenie terminala z powodu dodatkowych czynności rozrządowych, (przeciętna długość torów przeładunkowych wynosi od 300 m do 350 m),

In are opinions there are two basic reasons low increase CT in Poland:
- o railway operators, both independent and PKP CARGO SA doesn't have insufficient platform wagons for semi-trailers transport,
- o road transport company (like in Germany (fig. 3)) practically doesn't have semi-trailers for vertical loading. These semi-trailers are slightly more expensive to buy than the so-called "normal" road vehicles.

Another reasons insufficient growth CT are:
- accidental place of landing rail-road transshipment terminals during last 30 years,
- insufficient length railway track in terminals, need additional shunting and as a result, extending time for transshipment ITUs (average length of rail track is 300 – 350 m),
- low quality services railway operators displaying:

- niska jakość usług operatorów kolejowych przejawiająca się w:
  - zbyt długich czasach jazdy wynikających z niskiej prędkości handlowej; przewozy kolejowe nie stanowią konkurencji dla przewozów drogowych pomimo braku autostrad i nadmiernego zatłoczenia głównych szlaków komunikacyjnych,
  - częstych opóźnieniach pociągów,
  - braku regularnych rozkładów jazdy pociągów z powodu nierównomiernego strumienia pojazdów przybywających na terminale,
  - zbyt długich czasach postoju pociągów na stacjach granicznych z powodu skomplikowanych procedur kontroli granicznej,
  - niemożności precyzyjnego ustalenia miejsca pobytu ITU.

Konsekwencją niskiej jakości usług kolejowych w systemie transportu kombinowanego jest nierzadko utrata klienta (bardzo często z trudem pozyskanego).

Niekonkurencyjność cenowa transportu kombinowanego w stosunku do transportu drogowego, podobnie jak w innych państwach europejskich, w przypadku Polski stanowi kolejną bardzo istotną barierę hamującą. Zbyt wysokie koszty dostępu do infrastruktury kolejowej oraz zdecydowanie wysokie ceny za operacje przeładunkowe nie rekompensowane dotacjami państwowymi nie powodują zainteresowania transportem kombinowanym ze strony przewoźników drogowych.

## 2. Podsumowanie

Brak rozwiązań kompleksowych promujących przewozy kombinowane, a przede wszystkim spójnego programu systemowych rozwiązań pomocy finansowej ( np. w obszarze modernizacji i budowy terminali przeładunkowych, zakupu specjalistycznego taboru kolejowego) skutecznie spowalnia procesy rozwoju transportu kombinowanego.

W najbliższych latach nie należy się spodziewać istotnych zmian w tym zakresie ponieważ brak jest zarówno zachęty ze strony władz państwowych, jak i planowej, spójnej polityki państwa w obszarze rozwoju transportu kombinowanego.

- too long time flow ITU in rail mode,
- often delayed trains,
- lack schedule traffic trains due to irregular road traffic flow into terminal,
- too long time waiting on borders due to sophisticated procedure customs control.
- lack of information systems between actors of transport chains (especially between transport modes).

Consequence low quality of railway services is often loss customers.

High cost combined transport in comparison with road transport, like in the other European countries, is determine essential barrier to growth CT in Poland. Too high cost to access to railway infrastructure and strongly payment for transshipment on terminals without government subsidy.

## 2. Summary

Through completely lack of complex government regulation in the field of intermodal transport (e.g. subsidy for modernization terminals, purchase modern railway rolling stock) since many years are slow down development combined transport in Poland.

## 3. References


[1] Ballis, A., Golias J.: *Towards the improvement of a combined transport chain performance*. European Journal of Operational Research 152 (2004).

[2] Batisse F.: *Stagnation du transport combiné en Europe, crise en France*. Le Rail.-2004 nr 110, p.26-33.

[3] Raport Ministerstwa Transportu Poczty i telekomunikacji Republiki Słowacji: ww.telecom.gov.sk/index/open_ file.php?file=doprava/kombi/inter_tran_sr.pps.

[4] Strategia rozwoju transportu na lata 2007-2013. Transport Intermodalny. Ekspertyza przygotowana przez prof. Leszka Mindura i prof. Jerzego Wronkę. www.mi.gov.pl

[5] Study on infrastructure capacity reserves for combined transport by 2015.

[6] www.cargobeamer.de

[7] www.uic.asso.fr/tc/Statistics.html



**Dr inż. Józef STOKŁOSA**
**Dr hab. inż. Tadeusz CISOWSKI, prof. ndzw PR**

Instytut Systemów Transportowych
Wydział Transportu, Politechnika Radomska
26-600 Radom, ul. Malczewskiego 29
e-mail:j.stoklosa@pr.radom.pl, tadeuszc@poczta.onet.pl

Piotr SZCZYGLAK

# ANALIZA STATECZNOŚCI AGREGATU MASZYNOWEGO NA TLE MODELOWANIA JEGO DYNAMIKI

# STABILITY ANALYSIS OF A MACHINE UNIT AGAINST THE BACKGROUND OF MODELING ITS DYNAMICS

*Do negatywnych zjawisk zachodzących podczas pracy agregatów maszynowych zaliczyć można utratę stateczności, w czasie której dochodzi do ciężkich uszkodzeń ciała, a nawet śmierci ludzi. Aby temu przeciwdziałać, w pracy przedstawiono podstawowe metody badań stateczności pojazdów kołowych, a w tym agregatów maszynowych. Opisano model agregatu maszynowego do badań stateczności, który zweryfikowano w warunkach eksploatacyjnych. Przedstawiono i omówiono wyniki badań symulacyjnych stateczności.*

***Słowa kluczowe**: stateczność, agregat maszynowy, bezpieczeństwo, modelowanie*

*Negative phenomena occurring during operation of machine units include loss of stability during which severe bodily damage or even death can occur. The paper presents the basic methods of wheeled vehicles stability testing, including machine units to prevent that. A model of machine unit for stability testing was described. That model was verified under operational conditions. Stability simulation tests are presented and discusses.*

***Keywords**: stability, machine unit, safety, modeling*

## 1. Wstęp

Do najważniejszych cech użytkowych agregatów maszynowych zaliczyć można bezpieczeństwo pracy, które powinno być traktowane priorytetowo. Szczególnie duże zagrożenie życia i zdrowia ludzkiego występuje podczas utraty stateczności. Aby przeciwdziałać tego typu negatywnym zjawiskom niezbędna jest właściwa identyfikacja ich przyczyn i rodzajów. Opisane w literaturze metody badań stateczności agregatów maszynowych stosowanych w rolnictwie podzielić można na:

- eksperymentalne [1, 6, 9];
- teoretyczne:
  - w ujęciu quasistatycznym [2, 3, 4, 8];
  - z wykorzystaniem modeli dynamiki [5, 11].

Metody eksperymentalne, ze względu na ryzyko wypadku i duże koszty realizacji, są coraz częściej wypierane przez metody teoretyczne, spośród których najwyższą dokładność zapewniają analizy z wykorzystaniem modeli dynamiki. Opisane w literaturze modele dynamiki [5, 11], ze względu na przyjęte uproszczenia (koła sztywne w kierunku wzdłużnym i osiowym, podłoże nieodkształcalne) uniemożliwiają dokładne badania zachowań agregatów maszynowych, w warunkach polowych. Z tego powodu badania stateczności agregatów maszynowych powinien być realizowane z wykorzystaniem coraz dokładniejszych modeli dynamiki.

## 1. Introduction

Operational safety that should be treated as the priority, is one of the most important characteristics of machine units. A particularly high threat to human life and health occurs in case of loss of stability. Appropriate identification of their causes and types is necessary to prevent that type of negative phenomena. The machine unit's stability testing methods for machine units used in agriculture described in literature can be divided into:

- experimental [1, 6, 9];
- theoretical:
  - quasi-statistical [2, 3, 4, 8];
  - using the dynamics models [5, 11].

Experimental methods, as a consequence of the risk of accident and high implementation costs, are increasingly frequently substituted by theoretical methods among which analysis using dynamics models assures the highest accuracy of results. The dynamics models described in literature [5, 11], as a consequence of assumed simplifications (wheels longitudinally and axially fast mounted, non-deformable base) make accurate studies on behavior of machine units under field conditions impossible. As a consequence machine units stability tests should be carried out using increasingly accurate dynamics models.

## 2. Model dynamiki agregatu maszynowego do badań stateczności

Model dynamiki agregatu maszynowego do badań stateczności wykonano w oparciu o agregat założony z ciągnika MF235 i sadzarki do ziemniaków S208 zawieszonej na trzypunktowym układzie zawieszenia.

By opracować zastępczy układ mechaniczny (model), przyjęto założenia ograniczające:

## 2. Machine unit dynamics model for stability testing

The machine unit dynamics model for stability testing was constructed on the basis of a unit assembled using parts of a MF235 tractor and potato planter S208 suspended on three-point suspension system.

The following limiting assumptions were accepted in preparation of the substitute mechanical unit (model):

– agregat maszynowy jest układem wielomasowym jednolitych członów sztywnych skrępowanych więzami: holonomicznymi, reonomicznymi, idealnymi, jedno- i dwustronnymi;
– masy członów zredukowano do ich środków ciężkości;
– siły ciężkości, odśrodkowe, bezwładności zredukowano do środków ciężkości członów;
– siły oporu powietrza pominięto, ze względu na małe prędkości jazdy;
– podatność wynikająca z luzów w przegubach została pominięta;
– wibracje pochodzące od funkcjonującego silnika zostały pominięte;
– względne ruchy kierowcy i elementów układu przeniesienia napędu są pomijane (elementy te wchodzą w skład bryły sztywnej agregatu maszynowego);
– podłoże jest jednorodne;
– koła agregatu maszynowego i podłoże posiadają niezależne anizotropowe właściwości mechaniczne.

Agregat maszynowy zamodelowano jako układ wielomasowy złożony z 8 brył sztywnych: kadłuba, osi przedniej, narzędzia zawieszonego na trzypunktowy układ zawieszenia, czterech kół jezdnych i kierowcy. Przedstawiony model posiada 16 stopni swobody. Jako bryłę nadrzędną przyjęto kadłub ciągnika, który posiada 6 stopni swobody. Położenie pozostałych brył określono względem kadłuba ciągnika.

W modelu uwzględniono podatność promieniową, osiową i wzdłużną kół jezdnych (model Kelvina), a także podatność podłoża w kierunku pionowym (model Kelvina) oraz wzdłużnym i poprzecznym (model Saint-Venanta).

Model fizyczny agregatu maszynowego przedstawiono na rysunku 1.

Równania ruchu wyprowadzono w oparciu o równanie Lagrange`a drugiego rodzaju w wyjściowej postaci [7]:

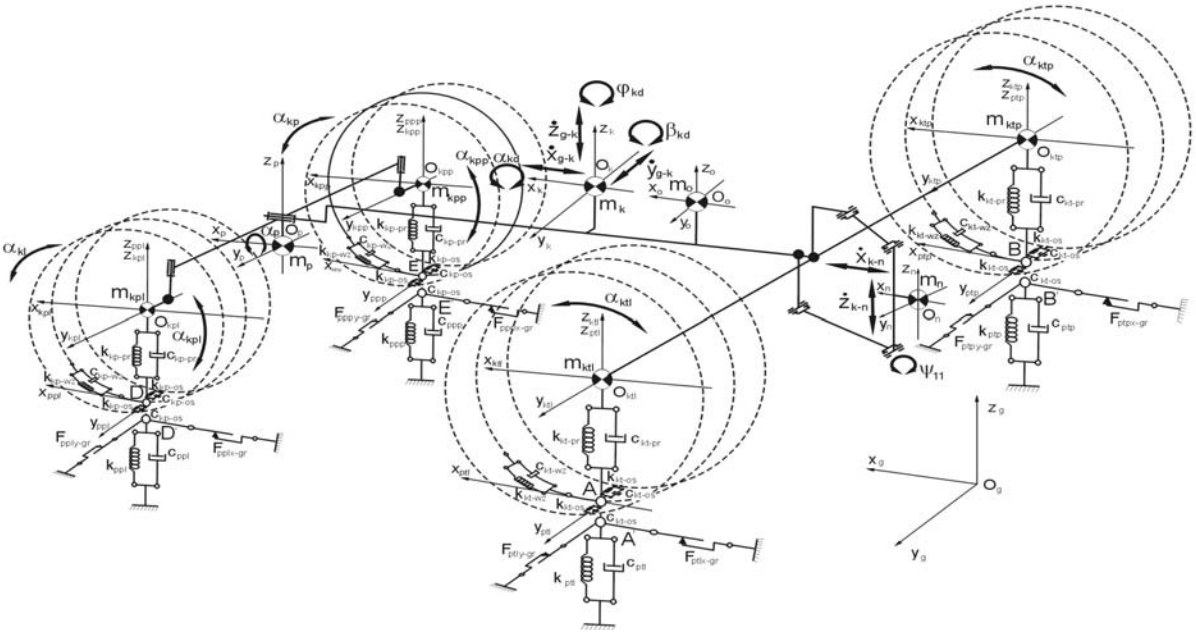
– the machine unit is a multi-mass system of uniform rigid segments that are constrained by holonomic, reonomic, ideal, one- and double sided constraints;
– the masses of segments were reduced to their centers of gravity;
– the gravity, centrifugal and inertial forces were reduced to segments' centers of gravity;
– the air resistance forces were dismissed because of low driving speeds;
– the susceptibility resulting from play in joints was dismissed;
– the vibrations originating from working engine were dismissed;
– the relative movements of the steering wheel and drive transmission system elements are dismissed (those elements are included in the rigid body of the machine unit);
– the base is homogenous;
– the wheels of the machine unit and the base possess independent anisotropic mechanical properties.

The machine unit was modeled as a multi-mass system consisting of 8 rigid modules: the body, front axle, tool suspended from the three-point suspension system, four driving wheels and the steering wheel. The presented model possesses 16 degrees of freedom. The body of the tractor that possesses 6 degrees of freedom was assumed to be the supreme module. The position of other modules was determined in relation to the tractor body.

The model took into account the radial flexibility, axial flexibility and longitudinal flexibility of driving wheels (Kelvin model), as well as vertical flexibility of the base (Kelvin model) and longitudinal and transverse flexibility of the base (Saint-Venant model).

The physical model of the machine unit is presented in figure 1.

The equation of motion was formulated on the basis of the second type Lagrange equation in its initial form [7]:



*Rys. 1. Model fizyczny agregatu maszynowego*
*Fig. 1. Physical model of the machine unit*

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_i} + \frac{\partial E_p}{\partial q_i} = Q_{qi}, \quad i = 1,2,..,s \qquad (1)$$

gdzie: $E_k$ – energia kinetyczna układu, $E_p$ – energia potencjalna układu, $q_i$ – $i$-ta współrzędna uogólniona, $Q_{qi}$ – siła uogólniona odpowiadająca $i$-tej współrzędnej uogólnionej, $s$ - liczba stopni swobody układu.

Model agregatu maszynowego zapisano cyfrowo w środowisku DADS (rys. 2).

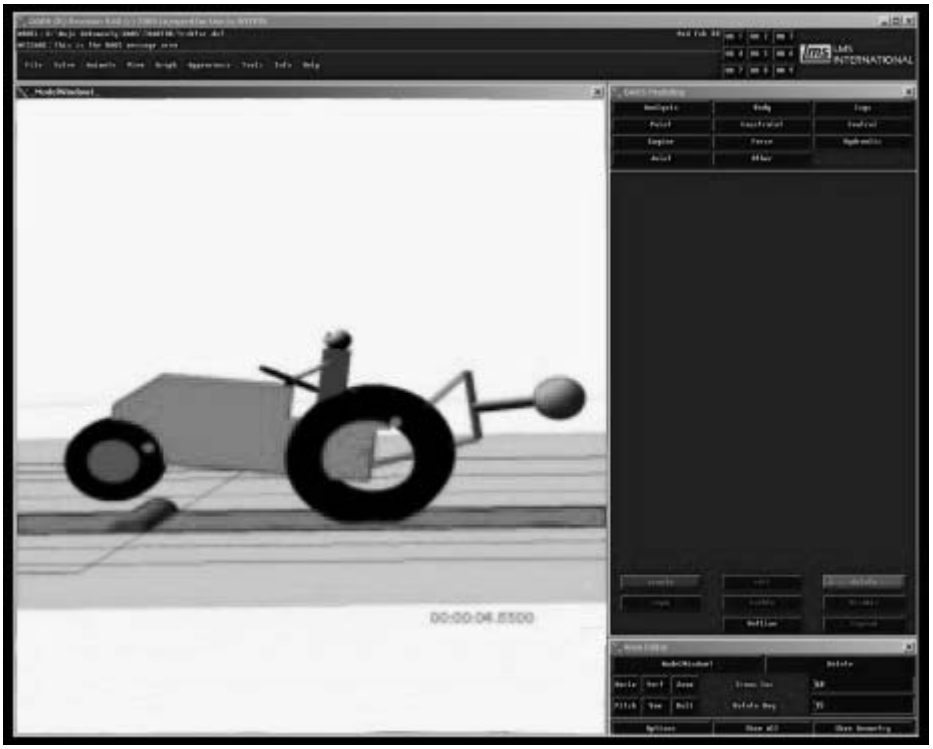
Opisany model dynamiki zweryfikowano w warunkach eksploatacyjnych. Weryfikacja modelu wykazała zbieżność wyników obliczeń z wynikami uzyskanymi w czasie badań eksperymentalnych, co świadczy o poprawności przyjętych założeń podczas budowy modelu.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_i} + \frac{\partial E_p}{\partial q_i} = Q_{qi}, \quad i = 1,2,..,s \qquad (1)$$

where: $E_k$ – kinetic energy of the system, $E_p$ – potential energy of the system, $q_i$ – $i$-generalized coordinate, $Q_{qi}$ – generalized force corresponding to the $i$-generalized coordinate, $s$ – number of the degrees of freedom of the system.

The machine unit model was entered in the digital form in the DADS environment (fig. 2).

The described model of dynamics was verified under operational conditions. Model verification showed cohesion of calculation results with experimental results, which proves that the assumptions made for construction of the model were right.



*Rys. 2. Interfejs graficzny programu DADS*
*Fig. 2. Graphic interface of DADS software*

## 3. Badania symulacyjne stateczności agregatu maszynowego

Celem badań symulacyjnych było określenie wpływu podatności podłoża po którym porusza się agregat maszynowy na jego stateczność.

Symulacyjne badania zachowań agregatu maszynowego przeprowadzono z użyciem modelu agregatu maszynowego zapisanego w środowisku DADS. Stany stateczności agregatu maszynowego określono z modelu stateczności przedstawionego w artykule [10].

Plan badań symulacyjnych obejmował ruch ustalony po łuku na płaskim podłożu glebowym i asfaltowym. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych stateczności agregatu maszynowego przedstawiono na rys. 3., zaś w tab. 1 zamieszczono krytyczne wartości prędkości i kąta skręcenia kół przednich, przy jakich wystąpiła utrata stateczności agregatu maszynowego.

## 3. Simulation tests of machine unit stability

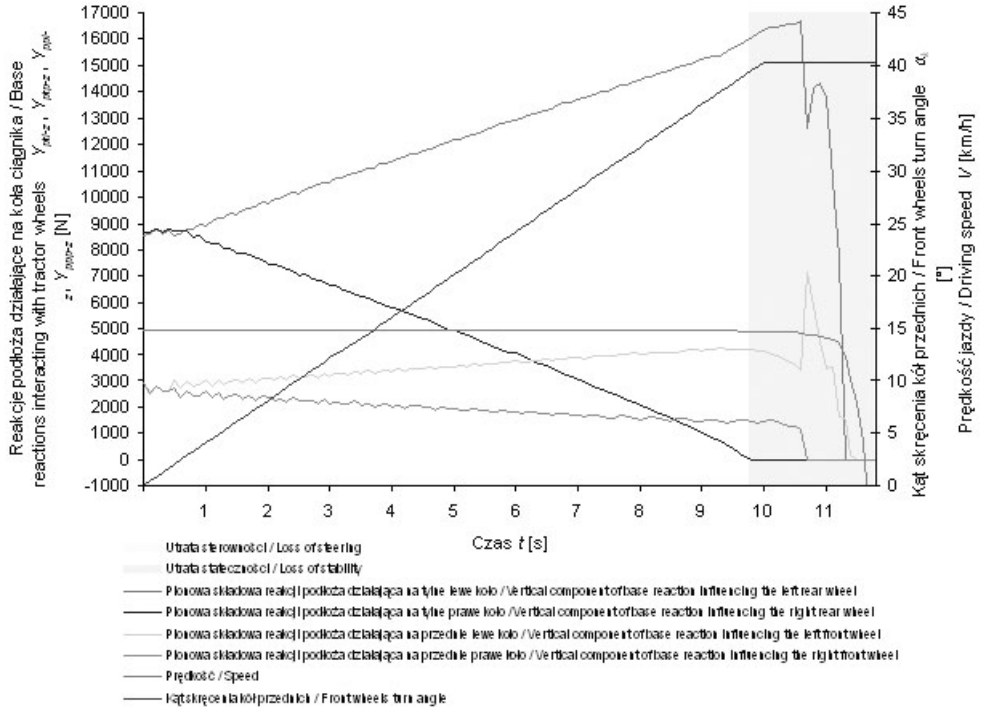
Determining the influence of flexibility of the base along which the machine unit is moving on its stability was the goal of simulation tests.

Simulation tests of machine unit behavior were carried out using the machine unit model recorded in the DADS environment. The states of stability of the machine unit model were determined according to the stability model presented in paper [10].

The simulation tests plan covered the fixed motion along the arch over flat asphalt and soil base. Sample results of stability simulation tests for the machine unit are presented in fig. 3 while table 1 presents the critical values of speed and turning angle of front wheels at which the loss of stability by the machine unit occurred.

*Tab. 1. Krytyczne wartości prędkości jazdy i kąta skręcenia kół przednich, przy jakich nastąpiła utrata stateczności agregatu maszynowego*
*Tab. 1. Critical values of speed and turning angle of front wheels at which machine unit loss of stability occurred*

| Nazwa testu<br>Test name | Prędkość<br>Speed<br>[km/h] | Kąt skręcenia kół przednich<br>Turning angle of front wheels<br>[°] | |
|---|---|---|---|
| | | Asfalt / Asphalt | Gleba / Soil |
| Ruch po łuku<br>Movement along the arch | 5 | stateczność zachowana w całym zakresie<br>stability maintained over the entire range | stateczność zachowana w całym zakresie<br>stability maintained over the entire range |
| | 10 | stateczność zachowana w całym zakresie<br>stability maintained over the entire range | stateczność zachowana w całym zakresie<br>stability maintained over the entire range |
| | 15 | 39,499 | 40,306 |
| | 20 | 24,993 | 24,993 |
| | 25 | 16,933 | 16,933 |




*Rys. 3. Przebiegi czasowe prędkości jazdy, kąta skręcenia kół przednich i reakcji podłoża działających na koła oraz wyznaczone obszary stateczności i sterowności dla ruchu agregatu maszynowego po łuku na podłożu asfaltowym ze średnią prędkością 15 km/h*
*Fig. 3. Time runs of driving speed, turn angle of front wheels, base reaction interacting with wheels, and determined areas of stability and steering for the movement of the machine unit along the arch on asphalt base with average speed of 15 km/h*

## 4. Podsumowanie

Wykonując badania z użyciem modelu agregatu maszynowego wykazano, że wzrost prędkości ruchu agregatu maszynowego powoduje pozorną zmianę właściwości podłoża glebowego, które wykazuje cechy charakterystyczne dla podłoża sztywnego. W przypadku badań symulacyjnych dla założonych warunków, podłoże glebowe wykazywało właściwości podłoża sztywnego, po przekroczeniu prędkości 15 km/h. Zjawisko to nie zostałoby zauważone, w czasie badań stateczności z wykorzystaniem modeli przedstawionych w publikacjach [2, 3, 4, 5, 8, 11], co świadczy o oprawności przyjętych założeń dotyczących metod badań stateczności.

## 4. Conclusion

Performing the tests using the machine unit model it was shown that the machine unit movement speed increase causes an apparent change of soil base that shows characteristics of a rigid base. In case of simulation tests for the assumed conditions the soil base showed the characteristics of rigid base after exceeding the speed of 15 km/h. That phenomenon was not noticed during stability tests using models presented in publications [2, 3, 4, 5, 8, 11], which indicates correctness of assumptions made as concerns stability testing methods.

## 5. References


[1] Ahokas J., Kosonen S.: *Dynamic Behaviour of a Tractor–trailer Combination during Braking*. Biosystems Engineering (2003) 85 (1). s. 29–39. Lista Filadelfijska (1537-5110).

[2] Botwin M.: *Podstawy użytkowania maszyn leśnych*. Wydawnictwo SGGW. Warszawa 1993.

[3] Celmerowski C.: *Stateczność jednoosiowej przyczepy rolniczej z nadbudowaną ładowarką*. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna MOTROL 99. Część pierwsza. Lublin 1999. s. 98-103.

[4] Czyborra M., Popescu S., Karamousantas D.: *Particularities of the dynamics of an agricultural tractor equipped with front loader*. Teka komisji motoryzacji i energetyki rolnictwa. Tom 1. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie. Lublin 2001. s. 86-93.

[5] Deitz D.: *Visualizing systems in motion. Mechanical Engineering*. Dec 1997, Vol. 119. Issue 12. s. 76-77. Lista Filadelfijska (1537-5110).

[6] Kaczorowski B.: *Badania koncepcji sygnalizatora zagrożenia równowagi ciągników i maszyn rolniczych*. Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych 1995. z. 424. s. 113-118.

[7] Leyko J.: *Mechanika ogólna*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 1996.

[8] Michalski R., Szczyglak P.: *Имитационная модель состояний динамического равновесия машинного агрегата*, Международная Научно-Техническая Конференция, Балттехмаш 2002, Калининград 2002, s. 245-247.

[9] Molari G., Rondelli V.: *On the Definition of Narrow-track Wheeled agricultural Tractors*. Biosystems Engineering (2004) 88 (1). s. 75–80. Lista Filadelfijska (1537-5110).

[10] Szczyglak P.: *Badania stateczności agregatu maszynowego z wykorzystaniem modelu cyfrowego*. Inżynieria Systemów Bioagrotechnicznych. Zeszyt 5 (14). Płock 2005 s. 197-202.

[11] Yisa M. G., Terao H., Noguchi N., Kubota M.: *Stability criteria for tractor-implement operation.* Journal of Terramechanics 35 (1998). s. 1-19. Lista Filadelfijska (0022-4898).



**Dr inż. Piotr SZCZYGLAK**

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
Wydział Nauk Technicznych
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
10-719 Olsztyn, ul. M. Oczapowskiego 11
e-mail: szczypio@uwm.edu.pl

Sławomir WIERZBICKI

# OCENA EFEKTYWNOŚCI FUNKCJONOWANIA INSTALACJI LPG STOSOWANYCH W SAMOCHODACH OSOBOWYCH

# OPERATIONAL EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF LPG INSTALLATIONS USED IN CARS

*Polska należy do ścisłej światowej czołówki pod względem ilości pojazdów zasilanych LPG jak również pod względem zużycia tego paliwa. W niniejszym artykule przedstawiono problemy związane z eksploatacją pojazdów samochodowych zasilanych LPG. Brak jednoznacznych przepisów określających sposób doboru instalacji LPG do samochodu sprawia, iż w wielu pojazdach montuje się instalacje, które nie spełniają wymagań stawianych tym pojazdom odnośnie poziomu emisji spalin.*

***Słowa kluczowe**: silnik spalinowy, skroplony gaz ropopochodny (LPG), związki toksyczne, skład spalin*

*Poland is among the global leaders in the number of LPG fueled vehicles and consumption of that fuel. The paper presents problems involved in operation of LPG fueled vehicles. Absence of clear regulations on the method of selecting the LPG installation for the vehicle causes that in many vehicles installations are installed that do not satisfy the emissions requirements for those vehicles.*

***Keywords**: combustion engine, liquid petroleum gas (LPG), toxic compounds, composition of emissions*

## 1. Wprowadzenie

Jednym z częściej stosowanych w naszym kraju paliw do zasilania silników z zapłonem iskrowym jest skroplony gaz ropopochodny (LPG). Obecnie Polska zajmuje pierwsze miejsce na świcie w ilości eksploatowanych pojazdów zasilanych LPG. Według danych Polskiej Organizacji Gazu Płynnego w Polsce w 2005 roku eksploatowanych było około 1,77 mln pojazdów zasilanych LPG. Szacuje się że w 2005 roku zainstalowano 300 tys. nowych instalacji. W przeciągu dwóch ostatnich lat liczba pojazdów zasilanych LPG w naszym kraju wzrosła o ponad 50%. Obecnie co 6-7 pojazd eksploatowany w naszym kraju jest zasilany LPG [4]. Tak duże zainteresowanie paliwem LPG związane jest to przede wszystkim z dążeniem użytkowników do obniżenia kosztów zakupu paliwa, które stanowią główną część kosztów eksploatacji samochodów. Ponadto panuje powszechny pogląd, iż pojazdy zasilane LPG są bardziej przyjazne środowisku niż pojazdy zasilane paliwem tradycyjnym. Znacznie mniejszą emisję związków toksycznych uzyskuje się podczas zasilania silników sprężonym lub skroplonym gazem ziemnym (CNG i LNG), lecz ten sposób zasilania jest jeszcze w naszym kraju stosunkowo mało rozpowszechniony [1].

Obserwując ceny paliw na rynku krajowym do silników z zapłonem iskrowym (rys. 1) możemy zauważyć, iż cena LPG w ostatnich latach wahała się w granicach 40-55% ceny benzyny. Uwzględniając to że pojazd zasilany LPG zużywa 10-15% paliwa więcej można przyjąć, iż przy zasilaniu pojazdu paliwem LPG koszty eksploatacji związane z zakupem paliwa zmniejszają się o około 40-45% w porównaniu do pojazdów napędzanych benzyną.

Kolejną przyczyną nagłego wzrostu ilości pojazdów zasilanych LPG jest wzrost ilości pojazdów sprowadzanych do Polski z Europy Zachodniej. Pojazdy te w przeważającej ilości są pojazdami stosunkowo starymi do których mogą być montowane znacznie tańsze instalacje gazowe co dodatkowo zachęca użytkowników tych pojazdów do zmiany sposobu zasilania. Należy jednocześnie zauważyć, iż w Polsce nie ma przepisów

## 1. Introduction

Liquid petroleum gas (LPG) is one of the fuels used most frequently in our country for spark ignition engines. Currently, Poland is the global leader in the number of operated LPG fueled vehicles. According to the data by the Polish Liquid Gas Organization around 1.77 million LPG fueled vehicles were in use in Poland in 2005. It is estimated that 300,000 new installations were installed in 2005. During the recent years the number of LPG fueled vehicles in our country increased by over 50%. Currently, every 6-7 vehicle in our country is fueled by LPG [4]. That high interest in LPG as fuel is related mainly to the attempts of the users at decreasing the fuel costs that are the main item of costs in operation of vehicles. Additionally, there is a common belief that LPG fueled vehicles are more environment friendly than vehicles using traditional petrol. Significantly lower emissions of toxic compounds are obtained by fueling vehicles with compressed or liquefied natural gas (CNG and LNG) but those fuels are still relatively uncommon in our country [1].

Following the prices of fuels for spark ignition engines in the domestic market (fig. 1) we can notice that LPG price during the recent years ranged within 40-55% of the regular petrol. Considering that the car using LPG consumes 10-15% more fuel it can be assumed that in case of LPG use the operational costs related to purchase of fuel decrease by 40-45% as compared to the use of ordinary petrol.

Increased number of cars imported to Poland from Western Europe is another reason for rapid increase in the number of LPG fueled cars. The vast majority of those are relatively old cars in which significantly cheaper gas installations can be installed, which additionally encourages users of those vehicles to change the fuel.

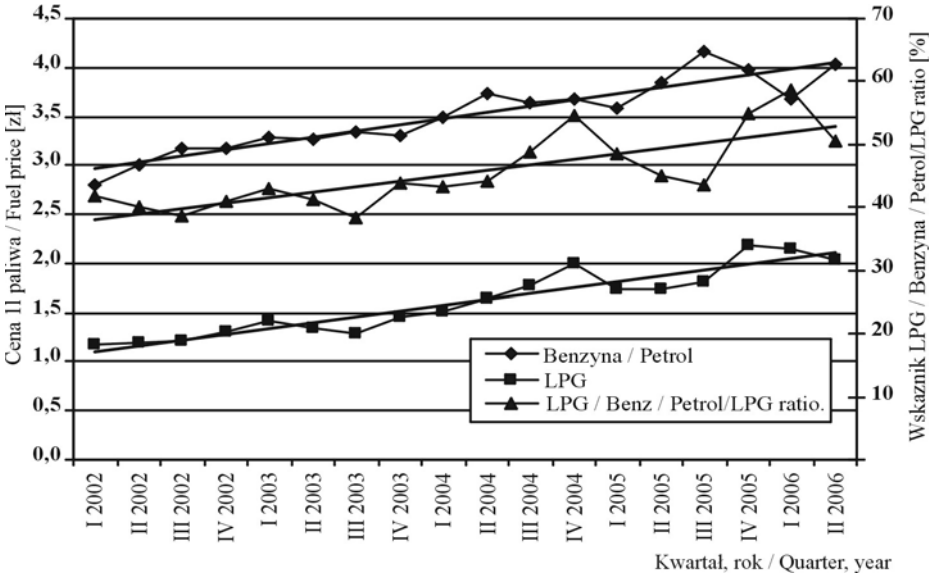
At the same time it should be noticed that Poland has no regulations requiring installation of appropriately selected LPG installations in cars. The existing regulations are ambiguous and allow installation of LPG installations that do not satisfy the requirements formulated for those cars in the newer models.

nakazujących montowanie w pojazdach odpowiednio dobranych instalacji LPG. Istniejące przepisy nie są jednoznaczne i pozwalają na montowanie w nowszych samochodach instalacji, które nie spełniają wymogów stawianych tym pojazdom. Nieprzestrzeganie zasad doboru instalacji gazowej do danego pojazdu sprawia, iż:

- silnik rozwija znacznie mniejszą moc jak również traci na dynamice;
- wzrasta poziom emisji związków toksycznych do atmosfery;
- w nowych pojazdach nie funkcjonuje prawidłowo (lub jest wyłączony) system EOBD (OBD II).

Failure to observe the principles of selecting gas installation to a given vehicle causes that:

- the engine achieves a much lower power and looses its dynamics;
- the emissions of toxic compounds to atmosphere increase;
- in new vehicles the EOBD (OBD II) system does not function correctly (or is switched off).




*Rys. 1. Zmiany cen paliw: benzyny i LPG na rynku polskim w latach 2002-2006*
*Fig. 1. Changes in fuel prices: petrol and LPG in the Polish market 2002-2006*

## 2. Kryteria doboru instalacji LPG do silnika

Przy wyborze instalacji LPG do silnika powinny być brane pod uwagę przede wszystkim następujące czynniki:

- rodzaj układu zasilania silnika (gaźnik/układ wtryskowy);
- sposób sterowania silnikiem (mechaniczny/elektroniczny, z sondą λ lub bez);
- materiały z jakich wykonane są poszczególne elementy układu zasilania (np. zastosowanie kolektorów ssących z tworzyw sztucznych);
- normy jakie powinien spełniać pojazd (dotyczy to przede wszystkim poziomu emisji spalin oraz diagnostyki pokładowej EOBD (OBD II);
- indywidualnych rozwiązań poszczególnych układów zasilania i sterowania silnikiem zastosowanych w danym pojeździe.

Prawidłowo dobrana i zainstalowana instalacja LPG pozwala na uzyskanie przez pojazd parametrów pracy zbliżonych do parametrów uzyskiwanych przy zasilaniu paliwami płynnymi. Dotyczy to zarówno mocy silnika i jego dynamiki jak również poziomu emisji związków toksycznych do atmosfery. Na rys. 2 przedstawiono przebieg mocy i momentu obrotowego uzyskanego dla samochodu OPEL ASTRA II z silnikiem 1.6 SE, w którym zamontowano instalację gazową II generacji [5].

Na podstawie analizy tego wykresu można stwierdzić, iż przy zasilaniu pojazdu LPG nieznacznie zmalały osiągi silnika.

## 2. Criteria of LPG installation selection for the engine

In selecting the LPG installation for an engine the following factors should be considered first:

- type of feed system (carburetor/injection);
- engine control system (mechanical/electronic, with or without λ probe);
- materials from which individual feed system components are made (e.g. use of plastic suction manifolds);
- standards the vehicle should meet (concerns mainly the emissions levels and on-board diagnostics EOBD (OBD II);
- individual solutions in engine feed and control systems applied in a given vehicle.

Appropriately selected and installed LPG installation allows the vehicle obtaining work parameters similar to those obtained using petrol. That applies to engine power and its dynamics as well as levels of emissions of toxic compounds to atmosphere. Fig. 2 presents power and torque curves obtained for OPEL ASTRA II 1.6 SE in which second generation LPG installation was applied [5].

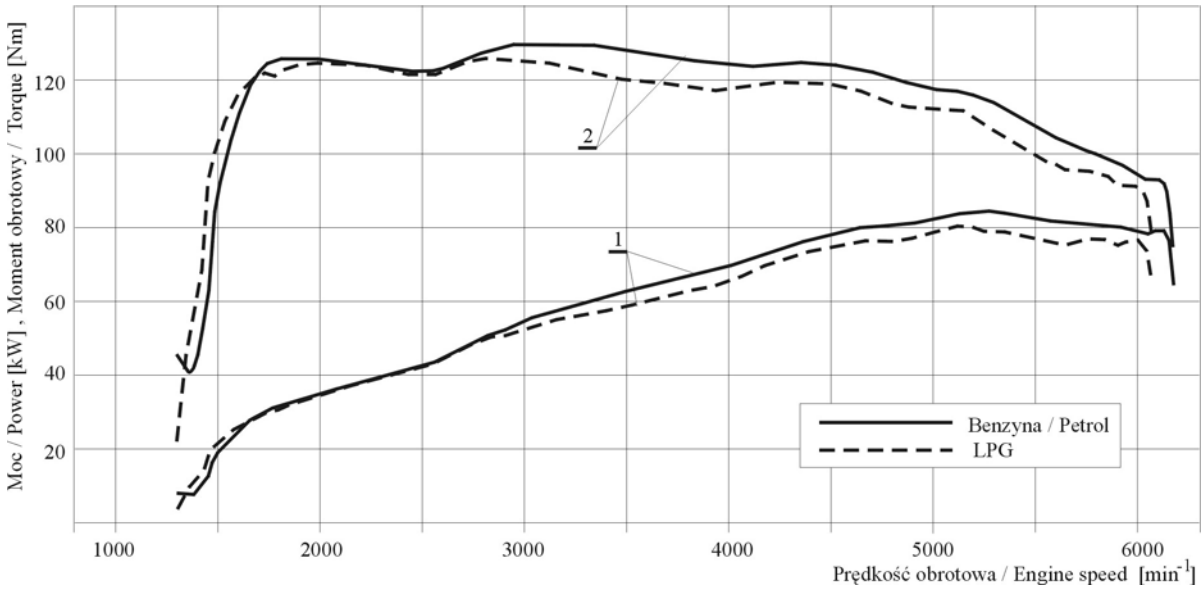
Analysis of that graph allows concluding that in case of engine feeding with LPG the vehicle parameters deteriorated significantly. The maximum engine power obtained from petrol - 62 kW (at 5300 $min^{-1}$) decreased in case of LPG fuel to 60 kW (at 5170 $min^{-1}$). The maximum torque of 129 Nm (at 3200

Maksymalna moc silnika uzyskiwana na benzynie wynosząca 62 kW (przy 5300 min$^{-1}$) zmalała przy zasilaniu LPG do 60 kW (przy 5170 min$^{-1}$). Natomiast maksymalny moment obrotowy wynoszący 129 Nm (przy 3200 min$^{-1}$) zmalał przy zasilaniu LPG do 125 Nm (przy 2860 min$^{-1}$). Podczas badań tego samochodu dokonano także pomiaru emisji związków toksycznych emitowanych przez silnik (tab. 1). Dla badanego pojazdu dopuszczalny poziom emisji związków toksycznych wynosi wg obowiązujących przepisów [2]:

– na biegu jałowym: CO do 0,5%, HC do 100 ppm;
– na obrotach podwyższonych (2000-3000 min$^{-1}$): CO do 0,3%, HC do 100 ppm, $\lambda$ = (0,97÷1,03);

min$^{-1}$) decreased in case of LPG fuel to 125 Nm (at 2860 min$^{-1}$). During tests on that car included measurements of toxic compounds emissions from the engine (tab. 1). For the test vehicle the allowed toxic compounds emission level is, according to the effective regulations [2]:

– for idle revs: CO to 0,5%, HC to 100 ppm;
– for increased revs (2000-3000 min$^{-1}$): CO to 0,3%, HC to 100 ppm, $\lambda$ = (0,97÷1,03);




*Rys. 2. Przebieg mocy (1) i momentu obrotowego (2) w funkcji prędkości obrotowej silnika*
*Fig. 2. Engine power (1) and torque (2) as function of engine speed*

*Tab. 1. Wyniki analizy spalin przy zasilaniu benzyną i LPG*
*Tab. 1. Results of emissions tests for feeding with petrol and LPG*

| Prędkość obrotowa silnika Engine speed [min$^{-1}$] | Rodzaj paliwa / Fuel type | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Benzyna / petrol | | | | LPG | | | |
| | CO [% obj] | $CO_2$ [% obj] | HC [ppm] | $\lambda$ | CO [% obj] | $CO_2$ [% obj] | HC [ppm] | $\lambda$ |
| 800 | 0,08 | 15,3 | 22 | 1,004 | 0,04 | 13,6 | 0 | 1,009 |
| 2500 | 0,14 | 15,1 | 59 | 1,016 | 0,03 | 13,4 | 9 | 1,01 |

## 3. Badania poziomu emisji związków toksycznych emitowanych przez silniki zasilane paliwem LPG

W celu oceny poprawności funkcjonowania instalacji LPG w pojazdach eksploatowanych w Polsce, przeprowadzono badania na wybranej grupie pojazdów. Badania te dotyczyły pomiaru emisji spalin przez pojazdy zgodnie z procedurą określoną w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury o badaniach kontrolnych pojazdów [2].

Badania przeprowadzono w zakładzie naprawczym w którym do badań wytypowano pojazdy spełniające następujące kryteria [6]:

## 3. Tests of toxic compounds emissions from LPG fed engines

To assess functioning of LPG installations in vehicles operated in Poland tests were carried out on a selected group of vehicles. Those tests concerned levels of emissions according to the procedure specified in the Ordinance by the Minister of Infrastructure on inspection of vehicles [2].

The tests were carried out at a garage where vehicles satisfying the following criteria were selected for testing [6]:

– users of vehicles do not report problems with engine operation during petrol and LPG feeding;
– vehicles passed the diagnostic examination not earlier than 6 months earlier.

– użytkownicy tych pojazdów nie zgłaszają problemów związanych z funkcjonowaniem silnika zarówno podczas zasilania benzyną jak i LPG;
– pojazdy posiadają badania diagnostyczne wykonane nie dawniej niż 6 miesięcy;

Łącznie badaniom tym poddano dziesięć pojazdów, z których trzy były wyprodukowane przed 30 czerwca 1995 roku, zatem według obowiązujących przepisów podczas ich badań kontrolnych ocenie podlega tylko poziom emisji CO [2]. Dane badanych pojazdów dotyczące ich rodzaju, roku produkcji, przebiegu jak również montażu instalacji LPG uzyskane od użytkowników zamieszczono w tab. 2.

In total ten vehicles were tested of which three were manufactured before 30 June 1995 and according to the effective regulations during the inspection the CO emissions level could only be tested [2]. Information on the vehicles tested covering the type, year of production, mileage and LPG installation fitting obtained from users is presented in tab. 2.

The tests were carried out using a EUROGAS 8020 exhaust gas tester according too regulations on determination of toxic emissions during vehicle inspection [2]. The results of measurements of the exhausts from the test vehicles for the neutral gear revs are presented in table 3 and for the increased revs in table 4.

*Tab. 2. Wykaz pojazdów użytych do badań*
*Tab. 2. List of vehicles used for tests:*

| Lp./ No. | Marka pojazdu oraz pojemność skokowa silnik<br>Make, model and cubic capacity | Rok produkcji<br>Year of production | Przebieg<br>Mileage<br>[km] | Data montażu instalacji gazowej<br>LPG installation fitting date |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Polonez 1,5 | 1989 | 120 000 | od 7 lat |
| 2 | Opel Astra 1,4 | 1993 | 135 000 | od 3 lat |
| 3 | Polonez 1,6 | 1994 | 75 000 | od 4 lat |
| 4 | Daewoo Lanos 1,5 | 1999 | 120 000 | od nowości |
| 5 | Fiat Cinquecento 700 | 1997 | 80 000 | od 3 lat |
| 6 | Renault Laguna 1,8 | 1999 | 230 000 | od 2 lat |
| 7 | Citroen CX 1,4 | 1995 | 125 000 | od 5 lat |
| 8 | Peugeot 306 1,4 | 1998 | 120 000 | od 3 lat |
| 9 | Opel Zafira 1,8 | 2001 | 230 000 | od 120 000 km |
| 10 | Renault Scenic 1,6 | 2000 | 120 000 | od 30 000 km |

Badania przeprowadzono przy użyciu analizatora spalin typu EUROGAS 8020 według przepisów określających pomiar związków toksycznych podczas badań kontrolnych pojazdów [2]. Wyniki otrzymane podczas pomiaru składu spalin badanych pojazdów przy prędkości biegu jałowego zestawiono w tabeli 3, natomiast przy podwyższonych obrotach w tabeli 4.

Analizując zamieszczone wyniki można stwierdzić, iż w badanej grupie dziesięciu pojazdów tylko cztery spełniają stawiane im wymagania odnośnie poziomu emisji związków toksycznych do atmosfery. Przy zasilaniu benzyną przekroczony poziom emisji mają cztery pojazdy, a przy zasilaniu LPG pięć pojazdów. Szczególnie niepokojący jest fakt, iż w grupie pojazdów wyprodukowanych po 1995 roku znajdują się tylko dwa spełniające wymogi dotyczące poziomu emisji związków toksycznych do atmosfery zarówno przy zasilaniu benzyną jak i LPG (wśród siedmiu badanych).

W grupie pojazdów wyprodukowanych przed 30.06.1995 roku, przy ocenie stanu technicznego których bierze się pod uwagę tylko poziom emisji CO, należy stwierdzić, iż wszystkie pojazdy przy zasilaniu LPG spełniają stawiane im wymagania. Należy jednak zaznaczyć, iż poziom emisji CO przy zasilaniu LPG na biegu jałowym jest wyższy niż przy zasilaniu benzyną.

Wśród pojazdów dopuszczonych do ruch po 10.06.1995, przy badaniach których ocenia się poziom emisji CO i HC, trzy z nich Fiat, Citroen i Peugeot mają przy zasilaniu benzyną przekroczony poziom emisji CO przy podwyższonych obrotach, a Citroen dodatkowo również przekracza normę emisji CO na biegu jałowym. Pojazd ten ma również przekroczony poziom emisji HC na obydwu prędkościach obrotowych (na biegu jałowym ponad pięciokrotnie). Przy zasilaniu LPG badane Daewoo i Peugeot przekraczają poziom emisji CO zarówno na biegu jałowym jak i przy wyższych obrotach. Dodatkowo przekroczony poziom

Analysis of the presented results allows concluding that in the test group of ten vehicles only four satisfy the requirements of toxic compounds emissions to atmosphere. In case of petrol feeding four vehicles exceed the limits and in case of LPG feeding five vehicles exceed the limits. The fact that in the group of vehicles manufactured after 1995 only two satisfy the emissions requirements for both petrol and LPG (among seven tested) is subject to concern.

In the group of vehicles manufactured before 30.06.1995 in assessment of which only the CO emissions are considered it should be stated that for LPG feeding they all satisfied the requirements. It should be pointed out, however, that the CO emissions level for LPG feeding at neutral gear is higher than in case of petrol feeding.

Among the vehicles allowed for traffic after 10.06.1995 where the emissions of CO and HC are assessed, three vehicles Fiat, Citroen and Peugeot exceed the CO emissions levels during petrol feeding on increased revs while the Citroen additionally exceeded the CO emissions standards on the neutral gear. That vehicle also exceeds the HC limits at both levels of revs in neutral over five times). In case of LPG feeding the tested Daewoo and Peugeot exceeded the CO emissions levels at both neutral and higher revs. Additionally Renault Laguna exceeded the CO emissions level in the neutral gear (over 10-times) and Citroen on the increased revs. The HC emissions level in neutral gear was exceeded by the following test vehicles: Fiat, Renault Laguna, Citroen and Peugeot, which exceeded that limit by over 6-times. During the test on increased revs Daewoo and Citroen do not satisfy HC emissions standards.

In the tested group of "new vehicles" only Opel Zafira and Renault Scenic had similar levels of emissions to atmosphere

*Tab. 3. Wyniki pomiarów składu spalin przy prędkości obrotowej silnika biegu jałowym*
*Tab. 3. Results of emissions composition test at neutral gear engine speed*

| Nazwa pojazdu Vehicle type | Zasilanie benzyną / Petrol feeding | | | | | | Zasilanie LPG / LPG feeding | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO | $CO_2$ | HC | $O_2$ | $NO_X$ | λ | CO | $CO_2$ | HC | $O_2$ | $NO_X$ | λ |
| | [% obj.] [% vol.] | [% obj.] [% vol.] | [ppm] | [% obj.] [% vol.] | [ppm] | - | [% obj.] [% vol.] | [% obj.] [% vol.] | [ppm] | [% obj.] [% vol.] | [ppm] | - |
| Wartość dopu-szczalna wg norm Allowed value according to standard | 3,5 | - | - | - | - | - | 3,5 | - | - | - | - | - |
| Polonez 1,5 | 7,38* | 10,10 | 561 | 0,61 | 4 | 0,809 | 1,22 | 1,36 | 470 | 0,76 | 2 | 0,976 |
| Opel Astra 1,4 | 0,20 | 14,65 | 179 | 1,55 | 11 | 0,988 | 2,68 | 12,65 | 358 | 0,45 | 8 | 0,986 |
| Polonez 1,6 | 1,20 | 13,28 | 98 | 0,32 | 0 | 0,968 | 1,83 | 13,5 | 102 | 0,28 | 13 | 0,946 |
| Wartość dopu-szczalna wg norm Allowed value according to standard | 0,5 | - | 100 | - | - | - | 0,3 | - | 100 | - | - | - |
| Daewoo Lanos 1,5 | 0,00 | 15,48 | 11 | 0 | 0 | 0,999 | 3,14 | 12,07 | 100 | 0 | 0 | 0,918 |
| Fiat Cinquecento 700 | 0,06 | 1,58 | 47 | 1,40 | 1 | 1,116 | 0,00 | 10,87 | 131 | 4,85 | 10 | 1,293 |
| Renault Laguna 1,8 | 0,01 | 9,80 | 16 | 7,99 | 7 | 1,106 | 3,62 | 6,2 | 358 | 7,80 | 3 | 1,33 |
| Citroen CX 1,4 | 0,87 | 9,12 | 512 | 0,32 | 1 | 0,980 | 0,21 | 12,51 | 206 | 1,00 | 0 | 0,989 |
| Peugeot 306 1,4 | 0,11 | 14,75 | 58 | 0,98 | 16 | 1,038 | 9,17 | 7,52 | 663 | 1,15 | 8 | 0,753 |
| Opel Zafira 1,8 | 0,00 | 15,56 | 2 | 0,50 | 3 | 1,006 | 0,00 | 13,05 | 2 | 0,24 | 3 | 1,011 |
| Renault Scenic 1,6 | 0,03 | 15,56 | 12 | 0,07 | 11 | 1,001 | 0,01 | 14,07 | 71 | 0,30 | 6 | 1,010 |

** szarym kolorem wyróżniono przekroczone wartości określone w [2]*
** exceeding the values specified in [2] is marked in gray*

*Tab. 4. Wyniki pomiarów składu spalin przy obrotach podwyższonych*
*Tab. 4. Results of emissions composition test at higher revs.*

| Nazwa pojazdu Vehicle type | Zasilanie benzyną / Petrol feeding | | | | | | Zasilanie LPG / LPG feeding | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CO | $CO_2$ | HC | $O_2$ | $NO_X$ | λ | CO | $CO_2$ | HC | $O_2$ | $NO_X$ | λ |
| | [% obj.] [% vol.] | [% obj.] [% vol.] | [ppm] | [% obj.] [% vol.] | [ppm] | - | [% obj.] [% vol.] | [% obj.] [% vol.] | [ppm] | [% obj.] [% vol.] | [ppm] | - |
| Wartość dopu-szczalna wg norm Allowed value according to standard | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Polonez 1,5 | 5,60 | 11,33 | 430 | 0,24 | 7 | 0,845 | 0,10 | 11,58 | 331 | 3,15 | 2 | 1,100 |
| Opel Astra 1,4 | 0,20 | 14,00 | 55 | 1,20 | 8 | 1,044 | 0,10 | 12,55 | 60 | 3,06 | 8 | 1,159 |
| Polonez 1,6 | 0,54 | 13,26 | 84 | 1,11 | 0 | 1,045 | 0,16 | 13,46 | 74 | 1,30 | 11 | 1,057 |
| Wartość dopu-szczalna wg norm Allowed value according to standard | 0,3 | - | 100 | - | - | 0,97÷1,03 | 0,3 | - | 100 | - | - | 0,97÷1,03 |
| Daewoo Lanos 1,5 | 0,00 | 15,40 | 5 | 0,07 | 2 | 1,005 | 1,06 | 13,5 | 140 | 0,00 | 0 | 0,964 |
| Fiat Cinquecento 700 | 0,67* | 14,46 | 50 | 0,67 | 20 | 1,005 | 0,07 | 13,55 | 15 | 0,71 | 15 | 1,042 |
| Renault Laguna 1,8 | 0,01 | 15,52 | 14 | 0,11 | 7 | 1,004 | 0,02 | 13,55 | 18 | 0,87 | 7 | 1,042 |
| Citroen CX 1,4 | 8,62 | 7,87 | 334 | 0,25 | 4 | 0,771 | 0,34 | 10,54 | 121 | 0,79 | 0 | 1,022 |
| Peugeot 306 1,4 | 0,62 | 14,4 | 61 | 0,97 | 22 | 1,023 | 0,35 | 13,29 | 28 | 1,24 | 21 | 1,056 |
| Opel Zafira 1,8 | 0,00 | 14,56 | 2 | 0,50 | 3 | 1,006 | 0,05 | 14,13 | 0 | 0,00 | 3 | 1,001 |
| Renault Scenic 1,6 | 0,02 | 15,50 | 19 | 0,05 | 15 | 1,000 | 0,01 | 14,13 | 32 | 0,22 | 7 | 1,008 |

** szarym kolorem wyróżniono przekroczone wartości określone w [2]*
** exceeding the values specified in [2] is marked in gray*

emisji CO ma Renault Laguna na biegu jałowym (ponad 10-krotnie) oraz Citroen na podwyższonych obrotach. Poziom emisji HC na biegu jałowym wśród badanych pojazdów mają przekroczony: Fiat, Renault Laguna, Citroen oraz

for both petrol and LPG feeding and satisfied the standard requirements.

Peugeot, który przekracza tą normę ponad 6-krotnie. Podczas badań na podwyższonych obrotach Daewoo i Citren nie spełniają stawianych wymagań odnośnie emisji HC.

W badanej grupie „nowszych pojazdów" jedynie Opel Zafira oraz Renault Scenic mają zbliżony poziom emisji związków toksycznych do atmosfery zarówno przy zasilaniu benzyną jak i LPG i spełniają obowiązujące wymagania.

## 4. Podsumowanie

Przedstawione wyżej wyniki badań pojazdów z silnikami z zapłonem iskrowym zasilanych benzyną oraz LPG, świadczą o tym, iż znaczna część tych pojazdów nie spełnia wymogów stawianych pojazdom dopuszczonym do ruchu drogowego. Wśród eksploatowanych pojazdów zdarzają się pojazdy które kilkunastokrotnie przekraczają dopuszczalny poziom emisji związków toksycznych do atmosfery. Powodem tego są przede wszystkim:

- uszkodzenia katalizatora;
- niewłaściwe dobranie instalacji LPG do silnika;
- uszkodzone lub źle wyregulowane układy zasilania.

Świadczy to o konieczności doskonalenia przepisów dotyczących egzekwowania ustalonych norm przez stacje kontroli pojazdów, przeprowadzające okresowe badania kontrolne. Stacje te dążąc do zwiększenia zysków i prowadząc nieuczciwą „walkę o klienta" często nie egzekwują obowiązujących je przepisów. Szczególnie niewielką uwagę przykładają do badań składu spalin, kładąc większy nacisk na badanie układów takich jak układ hamulcowy, kierowniczy i zawieszenia, mających bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego.

Należy także dążyć do opracowania przepisów określających sposób doboru, montażu jak również dopuszczenia do ruchu pojazdów z nowo montowanymi instalacjami LPG. Wprowadzenie tych przepisów niewątpliwie przyczyni się do zmniejszenia uciążliwego oddziaływania pojazdów mechanicznych na środowisko naturalne.

## 4. Conclusion

The above presented results of tests on vehicles with spark ignition fed with petrol and LPG show that a significant proportion of those vehicles do not satisfy the standards for vehicles allowed for traffic. Among the tested vehicles some exceeded the allowed emissions levels of toxic compounds to atmosphere a number of times. That situation results mainly from:

- damage to catalyst;
- inappropriately selected LPG installation;
- damager or badly adjusted feed systems.

The above indicates the necessity of improving regulations concerning enforcement off standards by vehicles test stations conducting periodic inspections. Those stations, aiming at increasing their profits and conducting dishonest competition for client, frequently do not enforce the effective regulations. They pay particularly little attention to exhausts composition testing focusing on testing brakes, steering and suspension systems that affect safety of road traffic participants directly.

Attempts should also be taken at formulating regulations on selection and installation of LPG installations and allowing the vehicles with newly installed LPG installations for traffic. Implementation of such regulations would undoubtedly contribute to decreasing the unfavorable influence of motor vehicles on natural environment.

## 5. References


[1] Chłopek Z.: *Tendencje rozwojowe w napędach autobusów miejskich. Eksploatacja i Niezawodność*. Nr 1/29/2006.

[2] Dz. U. Nr 32/2003, poz. 262. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002r. w sprawie dopuszczalnej zawartość w spalinach substancji szkodliwych.

[3] Daeyup L., Joseph S., Shinich G., Hitoshi I., Hiroki U., Naoya H.: *Observation of flame propagation in an LPG lean burn SI engine*. SAE Technical Paper 1999-01-0570.

[4] Serwis internetowy http://www.e-petrol.pl

[5] Wierzbicki S., Łojko D.: *Badania pojazdu zasilanego LPG*. Maszynopis KBEPiM, UWM Olsztyn, 2005.

[6] Wierzbicki S., Dzierzęcki J.: *Badania składu spalin pojazdów samochodowych zasilanych LPG*. Maszynopis KBEPiM, UWM Olsztyn, 2005.



**Dr inż. Sławomir WIERZBICKI**

Katedra Budowy, Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
Wydział Nauk Technicznych
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
10-736 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 11
e-mail: slawekw@uwm.edu.pl

Zbigniew SKROBACKI

# EKONOMICZNO-TECHNICZNE ASPEKTY ODNOWY PARKU SAMOCHODOWEGO

# ECONOMIC AND TECHNICAL ASPECTS OF VEHICLE FLEET RENOVATION

*W artykule przedstawiono podstawy rachunku kosztów w zastosowaniu dla przedsiębiorstw transportowych. Przedstawiono model liczenia kosztów w przypadku złożonej struktury przedsiębiorstwa m. in. pozwalający na wyznaczenie kosztu przebywania pojazdu w dowolnym stanie eksploatacyjnym.*

***Słowa kluczowe:*** *eksploatacja, stany eksploatacyjne, rachunek kosztów pojazdów*

*The paper discusses the fundamentals of a cost accounting system for transportation firms. The presented model of cost calculation, applicable to firms with a complex structure, helps determine the cost of any operating state of a vehicle.*

***Keywords:*** *operation, operation state, cost accounting for vehicles*

## 1. Wprowadzenie

W nowoczesnych firmach coraz częściej korzysta się z komputerowego wspomagania zarządzania przedsiębiorstwem. Oferta firm informatycznych w tym zakresie jest coraz bogatsza. Dotyczy to także złożonych programów tworzących zintegrowane systemy o nazwie „Enterprise Resource Planning" (ERP). Systemy ERP charakteryzują się stosowaniem licznych metod efektywnego zarządzania zasobami przedsiębiorstwa, które firma nabywa, posiada, zużywa i sprzedaje z uwzględnieniem kosztów w sferze produkcji, dystrybucji i obsługi serwisowej. Oczekiwania menadżerów w stosunku do ERP są coraz większe i dotyczą wspomagania zarządzania w sposób coraz bardziej kompleksowy. Do listy postulowanych oczekiwań w stosunku do ERP dodać można - możliwość takiego pozyskiwania i przetwarzania informacji o charakterze techniczno-ekonomiczno-organizacyjnym aby umożliwić ciągłe badanie (monitoring) ekonomicznej efektywności eksploatacji środków trwałych w całym przedsiębiorstwie.

## 2. Tradycyjny rachunek kosztów

Wśród menadżerów aktualnych firm i kadr inżynieryjnych zajmujących się eksploatacją powszechna jest świadomość, że tradycyjne podejście w rachunku kosztów – polegające na podziale kosztów na stale i zmienne – jest wystarczające. Opinia ta jest wyłącznie prawdziwa w przypadku produkcji lub usług oferującej jeden produkt finalny wykonywany w dowolnie dużej ilości lub zbiór produktów nie różniący się w sposób istotny jednostkowymi kosztami zmiennymi. Obliczając całkowite koszty produkcji lub usług danego produktu finalnego korzystamy ze znanego powszechnie wzoru:

$$Kc = kj \cdot x + S \tag{1}$$

gdzie: $Kc$ – całkowite koszty produkcji lub usług w okresie czasu, w którym powstało $x$ produktów, $kj$ – zmienne koszty produkcji lub usług przypadające na jednostkowy produkt lub usługę, $x$ – ilość produktów lub usług w danym okresie czasu, $S$ – całkowite koszty stale funkcjonowania przedsiębiorstwa w danym okresie czasu.

Na podstawie wzoru (1) można określić, że podstawowym kryterium podziału kosztów na zmienne i stałe jest istnienie, bądź brak, proporcjonalności pomiędzy wartością kosztu a ilością wykonanych produktów lub usług. Koszty, które są niezależne od ilości produktów lub usług są kosztami stałymi.

## 1. Introduction

Computer aided management systems are more and more frequently used in modern companies, along with the increasing number of products offered by IT firms. One of them is an integrated system of complex programmes under the name "Enterprise Resource Planning" (ERP). The ERP software applies numerous methods of efficient management of resources which the company acquires, possesses, uses or sells allowing for production, distribution and service costs. Managers' expectations relating to ERP are ever growing and focus on a complex management support. The list of the expectations called for includes a possibility of acquiring and processing technical, economic and organisational data so that the continuous monitoring of economic efficiency of fixed assets operation in the whole enterprise is possible.

## 2. Traditional cost accounting

Managers of today's companies as well as engineers dealing with maintenance are generally convinced that the traditional approach to cost accounting in which the costs are divided into fixed and variable ones is sufficient. This opinion holds true only in the case of organizations offering one final product manufactured in large amounts or a set of products, the unit variable costs of which do not vary essentially. To calculate the total production or service cost of the given final product the commonly applied formula is used:

$$Kc = kj \cdot x + S \tag{1}$$

where: $Kc$ – total production or service cost in the given period of time in which $x$ products were manufactured, $kj$ – variable production or service costs per product or service unit, $x$ – amount of products or services in the given period of time, $S$ – total fixed costs of company operation in the given period of time.

Formula (1) helps identify the basic criterion for the distinction between variable and fixed costs, namely the existence or lack of proportion between the value of the cost and the amount of manufactured products or services. Costs independent of the number of products or services are fixed costs.

W przypadku usług transportowych przy założeniu, że przedsiębiorstwo wykonuje P różnych zadań transportowych (dalej nazywanych zadaniami), które różnią się jednostkowymi zmiennymi kosztami kj oraz ilością wykonanej pracy x, można skorzystać ze wzoru:

In the case of transportation services, assuming that an enterprise performs P various transportation tasks (further referred to as jobs) of different unit variable costs kj and the amount of the performed work x, the following formula can be used:

$$Kc = \sum_{p=1}^{P} Kc_p = \sum_{p=1}^{P} kj_p \cdot x_p + \Delta S_p = \sum_{p=1}^{P} kj_p \cdot x_p + WN \cdot PK_p \tag{2}$$

gdzie: $Kc$ – całkowite koszty $P$ różnych zadań transportowych [tys.$PLN$], $Kc_p$ – całkowite koszty [tys. $PLN$] $p$-tego zadania gdzie $p = 1, 2, .., P$, $kj_p$ – zmienne koszty jednostkowe przypadające na jednostkę masy i czasu w $p$-tym zadaniu [tys. $PLN$/tonogodz.], $x_p$ – iloczyn masy i czasu w $p$-tym zadaniu [tonogodz.], $\Delta S_p$ – część kosztów stałych przyporządkowanych $p$-temu zadaniu [tys. $PLN$], $WN$ – wskaźnik narzutu kosztów stałych dla wybranego klucza podziałowego „skumulowane koszty pracy kierowców" [tys. $PLN$/tys. $PLN$], $PK_p$ – koszty pracy kierowców w $p$-tej usłudze transportowej [tys.$PLN$].

W zależności od sposobu podziału kosztów stałych całkowitych na części $\Delta S_p$, można otrzymać różny rozkład kosztów całkowitych przypadający różne zadania transportowe. W rzeczywistych przedsiębiorstwach stosuje się różne sposoby podziału $S$, co wiąże się z przyjęciem tak zwanego *klucza podziałowego*. W przedsiębiorstwach transportowych można zastosować np. jeden z wymienionych *kluczy* [2, 4]: sumy kosztów osobowych kierowców, czasu pracy pojazdów, przebiegu, masy lub objętości, lub ilości ładunków. Jeżeli został przyjęty klucz w postaci skumulowanych kosztów pracy kierowców *SKPK* to wskaźnik narzutu kosztów stałych wynosi: $WN = S / SKPK$.

Uwzględniając znajomość kosztów rzeczywistych w eksploatacji pojazdu należy uzupełnić wzór (2) komentarzem, że $kj_p$ – zmienne koszty jednostkowe zawierają składowe kosztów zasilania w paliwo, w smary i płyny eksploatacyjne, koszty napraw i obsług, które są bezpośrednio związane z użytkowanymi pojazdami w $p$-tym zadaniu i koszty amortyzacji pojazdów i urządzeń obsługowo-naprawczych także bezpośrednio związanymi z wykonaniem p-tego zadania. Pozostałe składniki kosztów są wliczane do kosztów stałych $S$, w tym koszty pracy kierowców jeżeli liczone są w systemie stałego umownego wynagrodzenia miesięcznego.

Odpowiednio modyfikując wzór (2) w zależności od wybranego *klucza podziałowego* dla tej samej usługi transportowej można uzyskać różne wartości kosztu dla $p$-tego zadania transportowego $Kc_p$, bez zmiany kosztów całkowitych $Kc$. W przypadku oceny rentowności usług transportowych - może to być źródłem świadomych bądź nieświadomych decyzji o preferowaniu wybranych usług kosztem pozostałych, co nie będzie potwierdzone przez inne sposoby rachunku kosztów. Jest to ewidentny błąd metody. Minimalizację błędu można uzyskać poprzez zastosowanie metod, które wymuszają bardziej szczegółową identyfikację miejsc powstawania kosztów, które dzielimy na koszty bezpośrednie i pośrednie. Pierwsza metoda charakteryzuje się sposobem identyfikacji kosztów, który w zamodelowanych warunkach odwzorowuje strukturę danego przedsiębiorstwa transportowego. Złożoność pierwszej metody zależy od złożoności modelu struktury przedsiębiorstwa. Druga metoda jest znana pod nazwą Activity - Based Costing ABC, co w dowolnym tłumaczeniu oznacza: rachunek kosztów działań lub rachunek procesowy kosztów [1, 2, 3]. Poniżej zaprezentowano na przykładzie zalecenia do zastosowania metody pierwszej. Zastosowanie metody ABC w firmach transportowych wymaga oddzielnej publikacji.

where: $Kc$ – total cost of various transportation job $P$ [$K.\ PLN$], $Kc_p$ – total costs [K. PLN] of the pth job, where $p = 1, 2, .., P$, $kj_p$ – unit variable cost per mass unit and time unit in the pth job [K. PLN/ton hour], $x_p$ – product of mass and time in the pth job [ton hour], $\Delta S_p$ – part of fixed costs assigned to the pth job [K. PLN], $WN$ – index of fixed cost margin for the selected division key "accumulated cost of driver work" [$K.\ PLN/K.\ PLN$], $PK_p$ – costs of driver work in the pth shipping service [$K.PLN$].

Depending on the total fixed cost division into parts $\Delta S_p$, it is possible to obtain different distribution of total costs per different transportation jobs. In real enterprises different ways of $S$ division are applied, which is connected with the adoption of the so called *division key*. In transportation enterprises it is possible to use e.g. one of the mentioned *keys* [2, 4]: the sum of drivers' labour costs, vehicle working time, mileage, mass or capacity or the amount of loads. If the key has been accepted in the form of accumulative cost of driver work *SKPK*, then the index of fixed cost margin is: $WN = S / SKPK$.

With the knowledge of real costs in the vehicle operation formula (2) should be supplemented with a remark that $kj_p$ – unit variable costs include component costs of supplying fuel, lubricants and liquids, repair and service costs, which are directly connected with the vehicles in the pth job and depreciation costs of vehicles and service and repair equipment also directly connected with the performance of the pth job. The fixed costs $S$ consist of other cost components including the cost of drivers work if they are calculated in the system of the agreed monthly salaries.

With the modification of formula (2), depending on the selected *division key* for the same transportation service, different cost values for the pth job $Kc_p$ can be obtained, without any change in total costs $Kc$. In the case of profitability evaluation of transportation services it may become the basis for deliberate or subconscious decisions concerning the preference of the selected services over other services, which will not be confirmed by other ways of cost accounting. It is an obvious error of the method. It is possible to minimise the error by the application of methods demanding a more detailed identification of points generating costs, which are divided into indirect and direct costs. The first method is characterised by the way it identifies costs, which reflect the structure of the transportation company in the modelled conditions. The complexity of the first method depends on the complexity of the enterprise structure model. The second method is known as Activity - Based Costing ABC, which in free translation means: cost accounting of actions or processes [1, 2, 3]. The first method is applied below on the basis of recommendation. The application of the ABC method for transportation companies requires a separate publication.

## 3. Model wyznaczania kosztów dla przypadku złożonej struktury generowania kosztów pośrednich

Założono, że w przedsiębiorstwie transportowym występuje trzy poziomowa struktura generowania kosztów pośrednich. Na poziomie 1 powstają koszty pośrednie ogólnozakładowe *Kp(OZ)*, w skład których zaliczamy między innymi następujące koszty: osobowe wszystkich pracowników nie zatrudnionych na wydziałach (w bazach transportowych), działań kierownictwa, działań administracji i służb marketingowych, koszty utrzymania i odnowy środków trwałych nie zaliczanych do wydziałów, koszty spłaty kredytów, podatki, itp. koszty.

Na poziomie 2 jest *J* wydziałów (baz transportowych), które w modelu są wydziałowymi generatorami kosztów $GW_j$ ($j$ = 1, 2, ...,*J*). Tworzą one koszty pośrednie ogólnowydziałowe $Kp(GW_j)$ zawierające m.in. następujące koszty: osobowe wszystkich pracowników wydziałowych bez kierowców, koszty utrzymania i odnowy środków trwałych zaliczanych do wydziałów (garaże, magazyny, pomieszczenia socjalne, infrastruktury technicznej napraw i serwisu itd.).

Na poziomie 3 występują generatory kosztów związanych z zadaniami transportowymi *GZ*. Każdy *j*-ty wydział realizuje $P_j$ różnych zadań transportowych co oznacza działanie zadaniowych generatorów kosztów $GZ_{j,pj}$ występujących w ilości $P_j$ gdzie: $pj$ = 1, 2, .., $P_j$. Zadaniowe generatory spełniają podwójną rolę bowiem tworzą zarówno koszty bezpośrednie związane w zadaniami i koszty pośrednie bez których zadania transportowe nie mogą być realizowane. Założono, że liczba wszystkich zadań realizowanych w przedsiębiorstwie wynosi: $PJc = \sum_{j=1}^{J} P_j$ . Każdemu generatorowi zadaniowemu $GZ_{j,pj}$ jest przypisany zbiór pojazdów zawierający liczbę $N_{j,pj}$ pojazdów realizujących *pj*-te zadanie w *j*-tym wydziale. Wówczas liczba pojazdów w *j*-tym wydziale wynosi: $N_j = \sum_{pj=1}^{P_j} N_{j.pj}$.

Dla zakładanej struktury przedsiębiorstwa należy dokonać identyfikacji cząstkowych kosztów pośrednich $Kp_m$ (m=1, 2, .., *M*) według założonej klasyfikacji podziału kosztów. Identyfikację kosztów należy wykonać na każdym poziomie oddzielnie. W analizowanym przypadku struktury trzy-poziomowej dla każdego *m*-tego rodzaju kosztu pośredniego zachodzi zależność:

$$Kp_m = Kp_m(OZ) + Kp_m(GW) + Kp_m(GZ) \qquad (3)$$

(oznaczenia jak w tekście powyżej).

Następnie należy wyznaczyć wskaźniki narzutu kosztów pośrednich dla kolejnych generatorów *OZ*, *GW* i *GZ* według wzorów utworzonych przy założeniu wyboru klucza podziałowego w postaci skumulowanego czasu eksploatacji SCE dla danej liczby pojazdów w okresie miesiącą:

## 3. A model of costs determination for a complex structure of indirect costs generation.

It was assumed that in a transportation company there is a three-level structure of generating indirect costs. At the level 1 there are indirect overhead costs *Kp(OZ)*, which include: labour costs of all the employees not being employed in the departments (in the forwarding stations), management activities, administration and marketing activities, costs of maintenance and renovation of fixed assets not included in the departments, costs of credits, taxes, and others.

At the level 2 there are J number of departments (forwarding stations), which, in the model, are department cost generators $GW_j$ ($j$ = 1, 2, ...,*J*). They form the indirect overhead costs $Kp(GW_j)$ containing, among others, the following: labour costs of all employees excluding drivers, maintenance costs and renovation of the fixed assets included in the departments (garages, warehouses, social rooms, technical infrastructure for repairs and services etc.).

At the level 3 there are generators of costs related to transportation jobs *GZ*. Each jth department accomplishes $P_j$ different transportation jobs, which means the occurrence of job related cost generators $GZ_{j,pj}$, in the amount of $P_j$ where: $pj = 1, 2, .., P_j$ . The job related generators perform a double function, as they form both direct costs related to jobs and indirect costs without which transportation jobs cannot be accomplished. It was that the total number of jobs to accomplish in the enterprise is $PJc = \sum_{j=1}^{J} P_j$ . Each job generator $GZ_{j,pj}$ has the set of vehicles with the $N_{j,pj}$ number of vehicles accomplishing the pjth job in the jth department. Then the number of vehicles in department j is as follows: $N_j = \sum_{pj=1}^{P_j} N_{j.pj}$.

For the assumed structure of the enterprise it is necessary to identify the partial indirect costs $Kp_m$ *(m=1, 2, .., M)* according to the assumed classification of the cost division. Cost identifications should be done at each level separately. In the analysed case of the three-level structure for each mth type of the indirect cost there is a dependence:

$$Kp_m = Kp_m(OZ) + Kp_m(GW) + Kp_m(GZ) \qquad (3)$$

(symbols as above).

Next, it is necessary to determine the margin index of indirect costs for the subsequent generators *OZ*, *GW* and *GZ* according to the formulas established with the assumed selection of the division key in the form of accumulated operating time SCE for the given number of vehicles in the period of one month:

$$WN(OZ) = Kp(OZ)/SCE = Kp(OZ)/(N \cdot 24 \cdot d) = (\sum_{m=1}^{M} Kp_m(OZ))/(N \cdot 24 \cdot d) \qquad (4)$$

$$WN(GW_j) = Kp(GW_j)/SCE_j = (\sum_{m=1}^{M} Kp_m(GW_j))/(N_j \cdot 24 \cdot d) \qquad (5)$$

$$WN(GZ_{j.pj}) = Kp(GZ_{j.pj})/SCE_{j.pj} = (\sum_{m=1}^{M} Kp_m(GZ_{j.pj}))/(N_{j.pj} \cdot 24 \cdot d) \qquad (6)$$

gdzie: *WN* - wskaźnik narzutów kosztów pośrednich [tys. PLN/godz.], *Kp* - koszty pośrednie [tys. PLN/m-c], *OZ*, *GW*, *GZ* - oznaczenie generatorów kosztów odpowiednio na poziomie ogólnozakładowym, wydziałowym i zadaniowym, *SCE* - skumulowany czas eksploatacji pojazdów w okresie 1 m-ca [godz./m-c], *N* - liczba pojazdów [szt.], *d* - liczba dni w danym miesiącu [1/m-c], *m* - indeks dolny oznaczający rodzaj kosztu

where: *WN* – index of indirect cost margin [K PLN/hour], *Kp* – indirect costs [K. PLN/month], *OZ*, *GW*, *GZ* – designation of cost generators at the overhead, department and job levels, *SCE* – accumulated operating time of vehicle in the period of one month [hour/month], *N* – number of vehicles [unit], *d* – number of days in the given month [1/month], *m* – subscript for the type of indirect cost (*m*=1, 2, .., *M*), *j* – subscript designating the

pośredniego ($m$=1, 2, .., $M$), j - indeks dolny oznaczający numer wydziału ($j$=1, 2, .., $J$), pj - indeks dolny oznaczający numer zadania transportowego ($pj$=1, 2, .., $P_j$).

Korzystając z powyższych wzorów można przedstawić zależności do obliczeń:

a) $Kp(n_{j,pj})$ – miesięcznych kosztów pośrednich przypadających na dany $n_{j,pj}$ pojazd ($n_{j,pj}$= $1_{j,pj}$, $2_{j,pj}$, ..., $N_{j,pj}$):

number of the department ($j$=1, 2, .., $J$), $pj$ – subscript designating the number of the transportation job ($pj$=1, 2, .., $P_j$).

With the above formulas it is possible to present the dependencies for calculating

a) $Kp(n_{j,pj})$ – monthly indirect costs per vehicle $n_{j,pj}$ ($n_{j,pj}$ = $1_{j,pj}$, $2_{j,pj}$, ..., $N_{j,pj}$):

$$Kp(n_{j,pj}) = [WN(OZ) + WN\,(GW_j) + WN\,(GZ_{j,pj})] \cdot 24 \cdot d \tag{7}$$

b) $Kph(n_{j,pj})$ – godzinowych kosztów pośrednich przypadających na $n_{j,pj}$ pojazd:

b) $Kph(n_{j,pj})$ – hour indirect cost per vehicle $n_{j,pj}$:

$$Kph(n_{j,pj}) = WN(OZ) + WN\,(GW_j) + WN\,(GZ_{j,pj}) \tag{8}$$

c) $Kc_i(n_{j,pj})$ - całkowitych kosztów przypadających na $n_{j,pj}$ pojazd w $i$-tym stanie eksploatacyjnym:

c) $Kc_i(n_{j,pj})$ – total cost per vehicle $n_{j,pj}$ in the ith operation stage:

$$Kc_i(n_{j,pj}) = \sum_{k=1}^{K} Kb_{i,k}(n_{j.pj}) + [WN(OZ) + WN\,(GW_j) + WN\,(GZ_{j,pj})] \cdot T_i(n_{j,pj}) \tag{9}$$

gdzie: $Kb$ - koszty bezpośrednie związane z przebywaniem pojazdu w danym stanie eksploatacyjnym [tys. PLN], $T$ - całkowity czas przebywania pojazdu w danym stanie eksploatacyjnym [godz.], $i$ - oznaczenie stanu eksploatacyjnego, $k$ - oznaczenie składowej kosztu bezpośredniego ($k$=1, 2, .., $K$), $n_{j,pj}$ - oznaczenie $n$-tego pojazdu realizującego $pj$-te zadanie w $j$-tym wydziale, pozostałe oznaczenia jak w tekście powyżej.

Uogólniając wzór (9) dla przypadku w którym struktura generatorów kosztów pośrednich zawiera ilość $Z$ poziomów oraz zakładając, że celem obliczeń jest godzinowa wartość kosztów całkowitych $Kch_i$ przebywania danego pojazdu w $i$-tym stanie eksploatacyjnym, to otrzymano:

$$Kch_i = \frac{1}{T_i}\sum_{k=1}^{K} Kb_{i,k}(n_{j.pj}) + \sum_{z=1}^{Z} WN_z \tag{10}$$

gdzie: $Kch_i$ - godzinowy koszt całkowity w $i$-tym stanie [tys. *PLN*/godz.], $WN_z$ - wskaźnik nakładów kosztów pośrednich w $z$-tym poziomie struktury [tys. *PLN*/godz.], pozostałe oznaczenia jak w tekście powyżej.

Wzór powyższy ma charakter uniwersalny i może służyć także do obliczeń kosztów odnowy pojazdu. Wówczas składnik $\Sigma Kb_{i,k}$ powinien zawierać wyłącznie składniki kosztów, które w sposób bezpośredni dotyczą odnowy pojazdu.

where: $Kb$ – direct costs related to the vehicle in the given operation state [K. PLN], $T$ – total time of the vehicle in the given operation state [hour], $i$ – designation of operation state, $k$ – designation of direct cost component ($k$=1, 2, .., $K$), $n_{j,pj}$ – designation of the nth vehicle accomplishing the pjth job in the jth department, other symbols as above.

Generalising formula (9) for the case in which the structure of indirect cost generators contains the $Z$ levels, and assuming that the aim of the calculations is the hour value of the total cost $Kch_i$ of the given vehicle in the ith operation stage, the following formula was obtained:

$$Kch_i = \frac{1}{T_i}\sum_{k=1}^{K} Kb_{i,k}(n_{j.pj}) + \sum_{z=1}^{Z} WN_z \tag{10}$$

where: $Kch_i$ – total cost per hour in the ith stage [*K. PLN*/hour], $WN_z$ – index of indirect cost margin with the zth structure level [*K. PLN*/hour], other symbols as stated in the test above.

The formula above is of universal character and may be used for calculating the costs of vehicle renovation. Then, the components of sum $\Sigma Kb_{i,k}$ should contain only cost components which directly refer to the renovation of the vehicle.

## 4. References


[1] Cooper R., Kaplan R.: *Profit Priorities from Activity-Based Costing*.Harward Business Review, 1991.

[2] Czub M.: *Mechanizmy kalkulacji cen wyrobów przemysłowych z uwzględnieniem metody ABC*. Seminarium United Nations Industrial Development Organizations, Warszawa 2004.

[3] Nowosielski S.: *Rachunek procesowy kosztów* ... .Materiały dydaktyczne Katedry Zarządzania Procesami AE Wrocław [w:] http: //credit.ae.wroc.pl/%7Eprocesy/KosztyProc.htm.

[4]. Skrobacki Z.: *Planowanie inwestycji rzeczowej w przedsiębiorstwie transportowym*. [w:] pod red. Niewczas A.: Wybrane zagadnienia transportu samochodowego. Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Warszawa 2005.



**Dr inż. Zbigniew SKROBACKI**

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce
e-mail: zbigs@tu.kielce.pl

Joanna SIDOR

# REALIZACJA POLITYKI TRANSPORTOWEJ NA SZCZEBLU MIĘDZYNARODOWYM, KRAJOWYM I LOKALNYM

# REALIZATION OF THE TRANSPORT POLICY AT THE INTERNATIONAL, NATIONAL AND REGIONAL LEVEL

*W niniejszym artykule przedstawione zostały kierunki realizowania polityki transportowej na poszczególnych szczeblach tj. międzynarodowym, krajowym i lokalnym. Ponadto w krótkim rysie przedstawiono dokumenty, które są swoistym fundamentem dla całej polityki transportowej oraz dla poszczególnych gałęzi transportu. Po wejściu Polski do UE sposób prowadzenia polityki musiał ulec znaczącym zmianom i przeobrażeniom. Konieczne były zmiany prawne związane z ujednolicaniem przepisów prawnych. Przeobrażenia dotyczyły transportu kolejowego, drogowego, lotniczego, morskiego, zmian w ruchu drogowym, finansowania dróg publicznych, czasu pracy kierowców, przewozu towarów niebezpiecznych, portów.*

***Słowa klucze**: polityka transportowa, transport, wspólna polityka transportowa, Biała Księga.*

*The present paper discusses some directions of the transport policy realization at the international, national and regional level. Moreover, it briefly presents the documents constituting the foundations for the overall transport policy and each mode. Poland having entered the EU was obliged to change and transform the way of this policy management. Some changes in the legislation with regard to unification of legal rules were essential. The transformations considered the rail, road, air, maritime transport, changes in road traffic, public roads financing, drivers` work time, dangerous goods shipping, ports.*

***Keywords:** transport policy, transport, common transport policy, White Paper*

## 1. Wprowadzenie

Przeobrażenia polityczno - gospodarcze po 1989 roku zarówno w Europie jak i w Polsce doprowadziły do znaczących zmian w obrębie transportu. Pierwszoplanowym czynnikiem, który przyczynił się do rozwoju usług transportowych, to przemiany geopolityczne i ustrojowe w Europie Środkowej i Wschodniej prowadzące do ukształtowania się nowych granic państwowych a w konsekwencji otwarcia rynków rosyjskich na Zachód.

Intensywna integracja z Unią Europejska wywarła pozytywny wpływ na jakość usług transportowych oraz infrastrukturę. Państwa Europy Zachodniej dysponują bardzo dobrze rozwiniętą siecią dróg o twardej nawierzchni oraz siecią kolejową w przeciwieństwie do państw bloku wschodniego. Nowe kraje członkowskie w pierwszej kolejności muszą zająć się niwelowaniem dysproporcji w zakresie infrastruktury. Sytuacja „budownictwa drogowego" sukcesywnie ulega poprawie dzięki środkom finansowym pochodzącym z UE na inwestycje drogowe.

Główną barierą i przeszkodą zbliżenia się do państw Zachodu jest brak autostrad, dróg ekspresowych i problemy z utrzymaniem sprawności komunikacyjnej.

Dla polskiego prawidłowego funkcjonowania transportu drogowego nie bez znaczenia jest modernizacja i budowa przejść granicznych zwłaszcza na wschodniej granicy Polski, która jest również wschodnia granicą Unii Europejskiej. Wszystkie zabiegi mające na celu unowocześnianie, wzrost i podniesienie jakości usług transportowych są wprost proporcjonalnie do sytuacji gospodarczej państwa bądź danego regionu.

W tym miejscu nie można pominąć znaczenia transportu lotniczego, który od kilku lat jest wiodącą gałęzią transportu. Analizując przewozy pasażerskie zarówno kontynentalne jak

## 1. Introduction

The political-economical transformations after 1989 gave rise to some considerable changes within the transport in both, Poland and Europe. A crucial factor that induced development of the transport services proved to be the geopolitical and structural changes in central and eastern Poland leading to new state borders creation and as a consequence, opening of the Russian markets to West. Intensive integration with the European Union positively influenced the quality of transport services and infrastructure. The states of western Europe are characterized by very efficient network of hard surface roads and railway systnem as opposed to the countries of the eastern block. The New Member-States are expected to engage promptly in leveling the disproportions in infrastructure. A situation of "road construction" has been still improving thanks to the financial aid from the EU allocated to the road investments.

A main barrier and obstacle hampering the western countries approximation is a lack of motorways, express roads as well as hardships regarding communication efficiency maintenance.

The appropriate functioning of the Polish road transport relies on the modernization and construction of border crossings,especially at the eastern frontier of Poland, which became the eastern border of the European Union. All the measures aiming at modernization,growth and improvement of transport services quality are directly proportional to the economical situation of a state or region.

The air transport should also be taken into account as it has been a leading significant sector of the economy for a couple of years. Analysing passenger continental and intercontinental air transport,its predominance is evident. The national carriers are

i międzykontynentalne łatwo można zauważyć ze jest to transport dominujący. Przewoźnicy narodowi są w większości własnością rządów poszczególnych państw ale w ostatnich latach notowany jest rozwój tanich linii lotniczych co powoduje wzrost konkurencji również w tym sektorze.

Transport ma na celu przemieszczanie osób i towarów w odpowiednim czasie i w przestrzeni, ma duży wpływ na politykę ekonomiczną rozwój turystyki i międzynarodowy prestiż państw dlatego jest to dziedzina w której rządzący nie mogą pozwolić sobie na jakiekolwiek zaniedbanie.

Transport to jeden z działów gospodarki o strategicznym znaczeniu dla kraju, swym zasięgiem obejmuje kilka sfer między innymi: gospodarczą, polityczną czy turystyczną w wymiarze międzynarodowym, krajowym i regionalnym.

Prosperity gospodarki światowej, szeroko rozumiana integracja oraz wzmożony ruch turystyczny, stały się czynnikiem sprawczym intensywnego rozwoju „komunikacji" czyli usług transportowych oraz łączności.

Kontynent europejski uznawany jest jako obszar o najintensywniejszych przewozach międzynarodowych.

Zróżnicowanie Europy pod względem geograficznym oraz dynamiczny rozwój gospodarki europejskiej wymusiły na decydentach poszczególnych państw zharmonizowanie i koordynację polityki transportowej na całym kontynencie.

Słabe punkty w zakresie polityki transportowej, które negatywnie wpływają na zwartość sieci transportowych w Europie to przede wszystkim [2]:

1. Przejścia graniczne, różnice standardów technicznych i jakości usług transportowych w poszczególnych państwach, zróżnicowanie technologii, stanu utrzymania, zdolności do rozbudowy i modernizacji infrastruktury technicznej transportu
2. Zmiany powiązań w handlu międzynarodowym, brakuje nowych korzystnych powiązań między krajami należącymi do Unii Europejskiej a krajami Europy Wschodniej i Środkowowschodniej.

W związku z licznymi barierami i utrudnieniami w europejskiej polityce transportowej podjęte zostały systematyczne działania niezbędne do przezwyciężenia zaistniałych problemów. Do priorytetowych celów zaliczono [2]:

1. ujednolicenie ekonomicznych warunków działalności przedsiębiorstw transportowych (opłat, podatków, itp.),
2. ujednolicenie standardów i technicznych parametrów środków transportu,
3. wyeliminowanie przeszkód na przejściach granicznych,
4. stworzenie ogólnoeuropejskiej sieci spedycyjno – akwizytorskiej, pracującej na podstawie powszechnie akceptowanych zasad,
5. transfer technologii w celu wyrównania różnic technicznych deformujących ogólnoeuropejski system transportowy,
6. współfinansowanie przedsięwzięć z zakresu budowy międzynarodowej infrastruktury transportu,
7. harmonizacja reguł i przepisów dotyczących dostępu do zawodu przewoźnika, warunków socjalnych, norm w dziedzinie ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa ruchu.

## 2. Polityka transportowa Wspólnoty Europejskiej

Transport jako jeden z działów gospodarki podlega prawnym regulacjom Wspólnotowym.

in the majority the property of the state authority, yet recently development of so called "cheap airlines" has been observed that results in increased competition in this field.

The objective of transport is to carry people and goods from one place to another at suitable time and area, thus it affects the economical policy, development of tourism and the international esteem of the states. Therefore,it is a domain which cannot be neglected in any measure.

Transport proves to be one of the economy sectors of the strategic importance in a country as it includes a number of domains, like,among others,economy, politics or tourism in an international, national or regional aspect.

The world economy prosperity,widely comprehended integration and enhanced tourist movement constitute a causative factor of the very intensive development of "communication", that is transport services and telecommunications.

The European continent is regarded the area of the most intensive international transport services.

Differentiation of Europe in respect of geography and dynamic development of the European economy imposed the harmonization and co-ordination of the transport policy all over the continent on the decision-making powers in each country.

The drawbacks concerning the transport policy that exert a negative impact on the compactness of the transport network in Europe include following [2]:

1. Frontier crossing points,differences between technological standards and quality of transport services in the countries, varied technologies, maintenance status, capacity for expansion and modernization of the technical infrastructure of transport,
2. Changes in connections in the international trade, a lack of new efficient links between the Member States of the EU and those from eastern and central Europe.

Owing to numerous barriers and hindrances in the European transport policy there have been undertaken some systematic activities essential to overcome the existing problems. The primary objectives are [2]:

1. unification of the economical terms of transport enterprises operation (charges, taxes, etc),
2. unification of standards and technical parameters of the transport modes,
3. removal of obstacles at the border crossings,
4. development of the all-European forwarding-solicitation network operating on the ground of common approved rules,
5. engineering transfer to equalize the technical differences that hamper the all-European transport system,
6. co-financing of the undertakings in the international transport infrastructure construction,
7. harmonization of rules and provisions concerning admission to a carrier`s occupation,social conditions and standards in the environmental protection and traffic safety.

## 2. Transport policy of the European Community

Transport being one of the economy sectors is liable to the regulation by the law of the Community.

Podstawą Traktatową jest art. 3 ust. 1 pkt f, art. 70 – 80, art. 154 – 156 Traktatu ustanawiającego Wspólnotę Europejską.

Regulacje traktatowe obejmują cały system transportowy składający się z sześciu gałęzi transportu: drogowego, kolejowego, wodnego śródlądowego, morskiego, lotniczego i przesyłowego.

Warto jednak wskazać iż założenia odnoszące się do transportu kolejowego, drogowego i wodnego śródlądowego formułuje art. 70 – 84 Traktatu ustanawiającego Wspólnotę Europejską. Regulację z zakresu transportu morskiego i lotniczego wyznacza Rada kwalifikowaną większością głosów.

Celem wspólnej polityki transportowej jest przede wszystkim usuwanie barier we wszystkich gałęziach transportu poprzez ujednolicenie przepisów technicznych, podatkowych i socjalnych, promowanie swobodnej konkurencji między operatorami wszystkich państw członkowskich oraz znoszenie dyskryminacji wynikającej z miejsca siedziby przewoźnika [1].

Wspólna polityka transportowa skupia się wokół sformułowanych już w latach 60 – tych następujących zasad: wolnej ale kontrolowanej konkurencji, swobody wyboru środka transportu przez użytkownika, równemu traktowaniu przez władze poszczególnych państw środków transportowych i przewoźników oraz wspólnej koordynacji inwestycji w infrastrukturę transportu.

Głównym dokumentem dotyczącym wspólnej polityki transportowej była *Biała Księga z 2 grudnia 1992 r.* zakładająca między innymi stworzenie sieci transeuropejskich dla poprawy integracji ekonomicznej i społecznej, wprowadzenie ścisłych standardów technicznych w celu zredukowania emisji zanieczyszczeń i poprawy środowiska naturalnego, poprawę bezpieczeństwa, działania w sferze socjalnej oraz wzmocnienie zewnętrznych powiązań wspólnego rynku transportowego [2].

Kolejnym krokiem na rzecz rozwoju wspólnej polityki transportowej, był program z 1995 r. przedstawiony przez Komisję Europejską, w którym zawarte zostały dezyderaty dotyczące poprawy jakości transportu przy jednoczesnym zachowaniu dbałości o środowisko naturalne oraz sprawy socjalne. Ponadto Komisja wyznaczyła kierunek działań na lata 2000 – 2004, gdzie z szczególną uwagą potraktowano takie kwestie jak: polityka cenowa w sektorze bezpieczeństwa, poprawa bezpieczeństwa morskiego oraz liberalizacja transportu kolejowego.

Polityka transportowa jest dziedziną dynamiczną a co za tym idzie wymagającą nowych rozwiązań, programów i regulacji prawnych, dlatego 12 września 2001 r. Komisja Europejska przedstawiła nową Białą Księgę, w której wyznaczone zastały nowe cele: poprawa bezpieczeństwa, przeniesienie obciążeń transportowych na kolej i śródlądowe drogi wodne, wspieranie praw pasażerów, podwyższanie poziomu jakości usług transportowych, realizacja dużych inwestycji drogowych, rozwój i wysoki poziom transportu miejskiego, sprawne poruszanie się w nowych warunkach wynikających z procesu globalizacji, działalność przyjazna środowisku [5].

Przepisy prawne odnoszące się polityki transportowej szczegółowo regulują cały funkcjonujący system transportowy czyli poszczególne gałęzie. Transport drogowy, kolejowy, wodny śródlądowy, morski, lotniczy oraz transeuropejskie sieci transportowe reguluje szereg dyrektyw, rozporządzeń i innych aktów prawnych, które wchodzą w zakres wspólnej polityki transportowej jest to jednak tak obszerne zagadnienie, że dokładne ich omówienie wymaga osobnych, kolejnych publikacji.

The ground of the Treaty is the Article 3 statue 1 point f, Art.70-80, Art.154-156 of the Treaty establishing the European Community.

The Treaty regulations include the whole transport system composing of the six transport modes: road, rail, inland waterway, maritime, air and shipping.

However,it is worth-while to point that the guidelines regarding the rail, road and inland waterway transport are formulated by the Articles 70-80 of the Treaty establishing the European Community. The regulation of the maritime and air transport falls under the competence of the Council qualified by the required majority of votes.

The objective of the joint transport policy is first and foremost elimination of the barriers in all the transport modes through the unification of standard code of practice, taxation and social regulations, promotion of free competition between the operators of all the Members States as well as abolition of discrimination due to a carrier`s seat location [1].

The common transport policy focuses on the following principles formulated as early as in the sixties : free, yet controlled competition, freedom of choice of a transport mode by a user, equality of the transport modes and carriers before the government of every state and finally joint co-ordination of investments in the transport infrastructure.

The main document treating the common transport policy is the *White Paper of 02.12.1992* setting a goal, among others, to construct the Trans European Network to improve the economical and social integration,implementation of strict technological standards to reduce the pollutants emission and betterment of the natural environment, higher safety, activities in the social spheres as well as enhancement of the external links in the common transport market [2].

Another step in favour of development of the common transport policy appeared to be the project of 1995 put forward by the European Commission,which comprised some desiderates concerning improvement of transport quality with a deep concern in the natural environment and the social issues. Moreover, The Commission has fixed a direction of the operation for the years 2000-2004 with the special attention given to such problems like, safe pricing policy, maritime safety betterment and liberalization of the rail transport.

The transport policy is a dynamic realm and as a consequence it requires modern solutions,projects and legal regulations. Therefore, on 12.09.2001 The European Commission introduced a new White Paper laying down the new purposes: safety improvement, switching the transport burden to rail and inland waterway, reinforce passengers` rights, higher quality of transport services, realization of great road investments, development and a high level of the urban transport, efficient management at the new conditions arising from the globalization process, the environmentally friendly activity [5].

The legal regulations concerning the transport policy control the whole functioning transport system, that is each mode in a very scrupulous way. The road,rail,inland waterway, maritime, air transport as well as trans European transport network are regulated by a number of directives, regulations and other legal acts included into the common transport policy, still they constitute a really vast problem. That is why,some further works are needed to discuss them in detail.

Odpowiedzialność za prawidłowy rozwój polityki transportowej na szczeblu europejskim ponoszą odpowiednie podmioty do których należą:

1. Komisja Europejska
   a. Dyrekcja Generalna ds. Energii i Transportu,
   b. Komisarz Jacques Barrot, odpowiedzialny za wspólną politykę transportową,
2. Parlament Europejski: Komisja Transportu i Turystyki,
3. Rada Unii Europejskiej: Transport, Telekomunikacja i Energia,
4. European Maritime Safety Agency (Europejska Agencja ds. Bezpieczeństwa na Morzu),
5. European Aviation Safety Agency (Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego),
6. European Railway Agency (Europejska Agencja Kolejowa) [4].

### 3. Realizacja polityki transportowej w kraju

Polityka transportowa międzynarodowa czy europejska ma znaczący wpływ na kształt i kierunek polityki krajowej.

Na szczeblu krajowym formułowane są ogólne założenia i strategie, kompatybilne z prawem i tendencjami międzynarodowymi, w Polsce polityka transportowa realizowana jest przez następujące podmioty:

1. Ministerstwo Transportu

**Status prawny**

- Ustawa z dnia 4 września 1997 r. o działach administracji rządowej (Dz. U. z 2003 r. Nr 159, poz. 1548, Nr 162, poz. 1568, Nr 190, poz. 1864, z 2004 r. Nr 19, poz. 177, Nr 69, poz. 624, Nr 91, poz. 873, Nr 96, poz. 959, Nr 238, poz. 2390, Nr 273, poz. 2702 oraz z 2005 r. Nr 17, poz. 141, Nr 33, poz. 288, Nr 155, poz. 1298, Nr 169, poz. 1414 i 1417)
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 maja 2006 r. w sprawie utworzenia Ministerstwa Transportu oraz zniesienia Ministerstwa Transportu i Budownictwa (Dz. U. z 2006 r. Nr 76, poz. 534)
- Zarządzenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 11 maja 2006 r. w sprawie nadania statutu Ministerstwu Transportu (M.P. NR 33, poz. 357)
- Zarządzenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 31 lipca 2006 r. w sprawie nadania statutu Ministerstwa Transportu[5]

2. Urząd Lotnictwa Cywilnego
3. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
4. Główny Inspektorat Transportu Drogowego
5. Urząd Transportu Kolejowego

Do najważniejszych zadań realizowanych w ramach szczebla państwowego należy: współpraca z instytucjami międzynarodowymi, dbałość o infrastrukturę (drogi publiczne krajowe, państwowe linie kolejowe, lotniska cywilne w tym centralne lotnisko w Warszawie i najważniejsze lotniska regionalne) oraz odpowiednia polityka informacyjna.

Polityka transportowa prowadzona przez odpowiednie organy władzy w państwie podlega regułom wyznaczonym przez Unię Europejską. Proces dostosowania polskiego transportu do wymogów unijnych był jednym z bardziej złożonych i długotrwałych zadań w gospodarce państwa. Sytuacja ta była spowodowana znaczącą ilością luk w polskim prawodawstwie transportowym w stosunku do acquis communautaire. Zasady znowelizowania systemu prawnego zgodnego ze standardami

Responsibility for the appropriate development of the transport policy at the European level lays on the following subjects:

1. European Commission
   a. Directorate General for Energy and Transport,
   b. Commissioner Jacques Barrot in charge of common transport policy,
2. European Parliament: Commission for Transport and Tourism,
3. Council of the European Union: Transport,Telecommunications and Energy,
4. European Maritime Safety Agency,
5. European Aviation Safety Agency,
6. European Railway Agency [4].

### 3. Realization of the Polish transport policy

The Polish international or European policy exerts a significant impact on a shape and direction of the national policy.

At the national level, there are general guidelines and strategies compatible with the international legislation and tendencies. In Poland the transport policy is realized by the following subjects:

1. Ministry of Transport

**Legal status**

- Act of 04.09.1997 on the departments of state administration (Journal of Law of 2003 No 159,entry 1548, No 162, entry 1568, No 190,entry 1864, of 2004 No 19, entry 177, No 69, entry 624, No 91, entry 873, No 96,entry 959, No 238, entry 2390, No 273, entry 2702 and of 2005 No 17, entry 141, No 33, entry 288, No 155, entry 1298, No 169, entry 1414 and 1417)
- Ordinance of the Council of Ministers dated 05,05.2006 on establishment of the Ministry of Transport and repeal of the Ministry of Transport and Construction (Journal of Law of 2006 No 76,entry 534)
- Regulation of Prime Minister of 11.05.2006 on granting the statute to Ministry of Transport (M.P. No 33, entry 357)
- Regulation of Prime Minister dated 31.07.2006 on granting the statute to the Ministry of Transport[5].

2. Civil Aviation Office
3. Directorate General of National Roads and Motorways
4. Chief Inspectorate of Road Transport
5. The Office for Railway Transport

The priorities realized at the state level include the following: co-operation with the international institutions, concern for infrastructure (public national roads, state railway lines, civil airports in that the central airport in Warsaw and the most important regional ones) as well as suitable information policy.

The transport policy conducted by the State authority in a country is liable to the principles fixed by the European Union. The adaptation process of the Polish transport to the Union requirements proved to be one of the most complex and long-lasting tasks in the state economy. This situation resulted from a number of lacunas in the Polish transport law compared to acquis communautaire. The rules for the law amending according to the Union standards were stated in the White Paper of the Community Commission dated 1995 : Preparation of the Associated Countries

unijnymi zostały wyznaczone w Białej Księdze Komisji Wspólnot z 1995 r. „Przygotowanie krajów stowarzyszonych Europy Środkowej i Wschodniej do integracji z Rynkiem Wewnętrznym Unii Europejskiej" [4].

Po 1995 r. ówczesne Ministerstwo Transportu i Gospodarki Morskiej przedstawiło szereg dokumentów, w których zostały wyznaczone cele i warunki realizacji polityki transportowej w Polsce. Wiodącymi dokumentami "Polityka transportowa – program działania w kierunku przekształcenia transportu w system dostosowany do wymogów gospodarki rynkowej i nowych warunków współpracy gospodarczej w Europie" oraz "Plan rozwoju infrastruktury transportowej w Polsce do roku 2015" (dokumencie wewnętrznym MTiGM z 1998 roku).

Do najważniejszych zadań zaliczono między innymi: zwiększenie efektywności funkcjonowania krajowego systemu transportowego, stworzenie podobnych warunków konkurencji dla wszystkich gałęzi transportu, liberalizację rynku usług transportowych, włączenie polskiego transportu do europejskiego systemu transportowego, ograniczenie szkodliwego wpływu transportu na środowisko naturalne.

Obecnie polityka transportowa realizowana jest w oparciu o dokument przyjęty przez Radę Ministrów z dnia 29 czerwca 2005 r. *Polityka transportowa Państwa na lata 2006 – 2025.*

W dokumencie tym postuluje się o unowocześnienie sieci transportowej, podniesienie jakości usług transportowych. Szeroko potraktowano również problem bezpieczeństwa ruchu drogowego, gdzie główne założenie (na które decydenci polityczni nie mają większego wpływu) to zredukowanie liczby śmiertelnych ofiar do 2800 do roku 2013 czyli uratowanie przed śmiercią 17 tyś osób, zmniejszenie liczby rannych o 180 tyś. a także redukcja kosztów wypadków o 68 mld. Zł [3].

Zrównoważony rozwój kraju to przede wszystkim komplementarności przedsięwzięć na szczeblu krajowym, wojewódzkim oraz powiatowym i gminnym.

Uprawnienia i zadania regionalne lokalne określają stosowne przepisy prawne dotyczące budowy i utrzymania dróg wojewódzkich, powiatowych i gminnych jak również mostów czy przejść granicznych. Dodatkowym zadaniem i obciążeniem dla regionów przygranicznych jest rozwój infrastruktury granicznej finansowanej przede wszystkim z budżetu odpowiednich organów władzy. Utrzymanie, i modernizacja istniejących przejść granicznych, oraz budowa nowych jest prowadzona przez wojewodów. Inwestycje finansowane są przede wszystkim z budżetów wojewodów, rezerwy celowej budżetu państwa i części budżetu państwa wydzielonego na finansowanie inwestycji wieloletnich oraz ze środków pomocowych Unii Europejskiej, które stanowią od 20 do25 % całości wydatków.

Podsumowując należy podkreślić iż realizacja polityki transportowej będzie skuteczna tylko wtedy kiedy będzie opierać się na dwóch zasadach: pomocniczości i komplementarności działań poszczególnych szczebli ogólnoeuropejskiej struktury gospodarczej. Szczebel jakim jest Wspólnota Europejska odpowiedzialny jest za wypracowanie standardów jakości oraz wspieranie inwestycji poszczególnych państw członkowskich.

Natomiast na poziomie krajowym formułowane są ogólne zasady i strategie polityki oraz wdrażane są wykonawcze instrumenty polityki transportowej takie jak odpowiednie akty prawne, zabezpieczenia finansowe poszczególnych inwestycji a także organizowanie prac badawczo – szkoleniowych. Z kolei szczebel lokalny odgrywa niezwykle istotną rolę między innymi poprzez rozwój i finansowanie inwestycji regionalnych, które

of Central and Eastern Europe for Integration into the Internal Market of the Union COM(95)163,May 1995 [4].

After 1995, the contemporary Ministry of Transport and Maritime Management brought forward some documents presenting the objectives and conditions of the transport policy realization in Poland. The leading documents were " The transport policy – operational project to transform transport into the system concordant with requirements of the market economy and new conditions of economical co-operation in Europe" and " The plan of transport infrastructure development in Poland by the year 2015" (internal document of MT and MM of 1998). The most fundamental tasks included among others: to increase efficiency of national transport system functioning, establishment of equal conditions of competition for all the transport modes, liberalization of transport services market, inclusion of the Polish transport into the European transport system,limitation of the harmful impact of transport on the natural environment.

Currently,the transport policy is realized on the grounds of the document accepted by the Council of Ministers dated 29.06.2005 *Transport policy of the State for the years 2006-2025.*

This document postulates for modernization of the transport network, improvement of the transport services. It also treats of at large the safety of road traffic, where the main assumption (which the political authorities cannot influence) is reduction of fatalities to 2800 road victims by the year 2013, that is saving life of 17 th people, decreasing a number of the injured by 180 th as well as the costs of accidents by 68 bn zloties [3].

Balanced development of the country relies, in the first place, on the complementary undertakings at the national, provincial along with district and community levels.

The rights and regional-local duties are defined by the suitable legal regulations concerning the construction and maintenance of the provincial,district and community roads as well as bridges or border crossings. Another task and burden for the areas adjoining the border appear to be development of border infrastructure financed mainly from the budget of the State authority. Maintenance and modernization of the present frontier crossings and construction of new ones is managed by the voivode. The investments are made from the voivode`s budget, single-purpose reserves of the state budget and part of state budget portioned out to support the long-term investments as well as from the financial aids of the European Union that constitute from 20 up to 25% of the whole expenditure.

Summing up the present paper it should be emphasized that the realization of the transport policy is expected to be based on two following principles: instrumentality and complementation of the activitites undertaken at each level of the authority. The level of the European Community is responsible for the elaboration of quality standards and partial financial contribution in the investments of each Member-State. At the national level, however, the general rules and policy strategies should be formulated as well as the policy instruments implemented. These are passing appropriate legal acts, finance securing of an investment and organization of the research-training work. The regional level is equally important due to, among others, development and financing of investments in a region that have great weight for the state, e.g. construction and modernization of the border crossings, airports, roads.

mają niejednokrotnie znaczenie dla całego państwa np. budowa
i modernizacja przejść granicznych, lotnisk, itd.

## 4. Literatura:


[1] Januszkiewicz W., Synowiec E.: *Wspólna polityka transportowa i polityka ochron środowiska*, [w:] Unia Europejska, Tom I, Warszawa 2004 r, s. 245.
[2] Januszkiewicz W. (red.) TRANS´ 95. Wspólna Europa. *Szanse i zagrożenia dla transportu*, , SGH, Warszawa 1995, s. 30 – 31.
[3] Polityka Transportowa Państwa na lata 2006 – 2025, [w:] Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego, nr 2/2005, s. 5 – 6.
[4] White Paper: *Preparation of the Associated Countries of Central and Eastern Europe for Integration into the Internal Market of the Union*. COM(95) 163, May 1995.
[5] European transport policy for 2010: time to decide, Brussels, 12.09.2001, COM (2001) 370.
[6] libr.sejm.gov.pl/oide/index.php?topik=polityki&id=transport
[7] www.mt.gov.pl/article/menu_gorne/ministerstwo/status_prawny/index.php



**Mgr Joanna SIDOR**
Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji
20–209 Lublin
Ul. Mełgiewska 7/9

Pavol NAMEŠANSKÝ
Ján LÁBAJ
Jozef FABRICI

# INFLUENCE OF THE ETHANOL ADDED INTO PETROL AND DIESEL FUEL

*The paper deals with the problem scope of ethanol (as biologically decomposable compound) adding into petrol and diesel fuel on the final lubricity of motor fuels. It analyses the subject of tribology and automobile fuels in connection with modern technologies in construction of automobile engines. The mentioned properties and characteristics were measured by commonly used laboratory method on Plint TE 82 (PLINT & PARTNERS LTD). Measured data show, that diesel fuel with ethanol has better lubricity parameters and lubricity persists longer, than in case of petrol fuel with ethanol. One problem occurred, when diesel fuel was mixed with ethanol, which contained more then 0,5 % of water. This problem was solved by eliminating of the water from ethanol, eventually the suitable solubility additive is recommended.*

***Keywords**: diesel fuel, petrol, ethanol, bioethanol, lubricity*

## 1. Introduction

On 8th of March 2003 were issued regulation 2003/30/EC about support of using biofuels or other renewable fuels as a replacement of diesel fuel or petrol assigned for transport purposes in each EU member state. In regulation 2003/30/EC in section 3 in point 1. there is mentioned, that member states would ensure to implement minimum quota of biofuels and another renewable fuels into their market and for this purpose there would be defined national indicative goals. Reference value for these purposes was 2 %, calculated on the basis of energy content of all types of petrol and diesel fuels for transport, introduced to their markets before 31st of December 2005 and 5.75 % before 31st of December 2010.

Alternative fuels, as biofuels, natural gas, hydrogen and LPG (liquefied petroleum gas – propane/butane), can directly substitute standard motor fuels (petrol, diesel) produced from petroleum. Significant subgroup are biofuels, which are concurrently the most perspective form of alternative fuels. It is concerned about group of substances, which are made on the basis of vegetable or animal sources. First of all is bioethanol or by conversion of bioethanol obtained ETBE (ethyl-tercbutyl ether) and methyl/ethyl esters from vegetable and animal oil. These substances are usually blended in motor fuels produced from petroleum, in order to substitute some amount of petroleum fuel by bio-compound. Biofuels, as a subgroup of alternative fuels, have an important role in agricultural and country development. However, the costs of production of alternative fuels are higher then the costs of fuels produced from fossil resources, support for compensation is necessary. Where the support doesn't exist or was cancelled, production didn't started or was aborted.

The lubricity characteristics of fuels were tested in this work. The subject of measurement were fuels (petrol and diesel), commonly used for transport in EU, in which there was blended bioethanol. Diesel fuel has lubricity regulated by standards, petrol not by that time, so therefore measured values for petrol have only informative character.

## 2. Importance of lubricity of motor fuels in modern automobile engine

Modern petrol engine for road vehicles is nowadays engine with injection into inlet pipe or directly into combustion chamber. It will be probably 50 % of engines with direct injection into combustion chamber (GDI, FSI, ...) in near future. Engine is directed by electronic motormanagement, it has low emissions production on the score of recirculation of exhaust fumes whether 3-way catalyzer.

In case of petrol engines, systems with injection directly into combustion chamber are used more and more, even though less than in case of diesel engines. Fuel transport pump transports fuel into high pressure pump, which supplies common rail with necessary pressure, like in case of diesel engines. However, injection pressure is lower. There are still more introduced in-line piezoelectric injectors, which can inject fuels accurately and also divide the main injection into several subinjections. There is a trend, also in case of petrol and diesel engines, to increase injection pressure. In connection with high speed of parts in injector, it means that high quality fuels with good lubricity are needed and will be needed. That's the reason, why the lubricating additions were started to be added into petrol, recently.

Modern diesel engine for road vehicles is usually supercharged, with variable charging pressure, with direct injection into combustion chamber, with high pressure injection directed by electronic management through common-rail system or turbo direct injection (TDI) system.

Present and future engine will require high quality fuel, more and more. Important and necessary attribute of fuel is ability to lubricate. In some parts of an engine (depends on construction of engine) there can be fuel only one medium, which lubricates. It is particularly important in these parts of fuel circuit, where movement between solid parts occurs. This is typical for fuel transport pumps, high pressure fuel pumps, injection units and injectors.

## 3. Measurement

This work aims at investigating an influence of ethanol added into petrol and diesel fuel on final lubricity of these fuels. These lubricity properties were measured on four ball machine Plint TE82.

### 3.1. The main goal and subject matter of measurement

The main goal of measurement was to assess the wear preventative characteristics of fuels common used in road transport and to investigate an influence of ethanol added into fuels on final lubricity of these fuels. The subject matter was to find out the

dependency between amount of ethanol added into fuel and final lubricity of measured fuel. The diesel – winter type F and unleaded petrol Super 95 were used for testing. These types of fuels are made and distributed by Slovnaft a.s.. Added compound was ethanol (bio-ethanol), made from grain, from which there was water removed chemically. It's very important for ethanol to not contain the water (because of ability to blend with fuels – especially with petrol) and the ethanol must be made from biomass or made from another biologically decomposable compound. One measurement (petrol + ethanol) was done with ethanol, from which there wasn't water removed. The lubricity properties were measured between solid surfaces of tested balls, where three of them were stable and one was rotating and pressing on the three stable balls. Configuration of the balls shows figure 1.

Three stable balls are fixed in a cup and submerged into the tested fuel sample. The fourth ball is fixed by collet chuck connected to drive spindle and driven by electromotor. During the whole test, all contacts are submerged in the tested fuel sample. The fourth ball, fixed by collet chuck, rotates and creates scars on other balls. The scars are elliptical in shape and maximum and minimum dimensions are recorded. The dimensions of scars are proportional to the quality of lubricity properties.

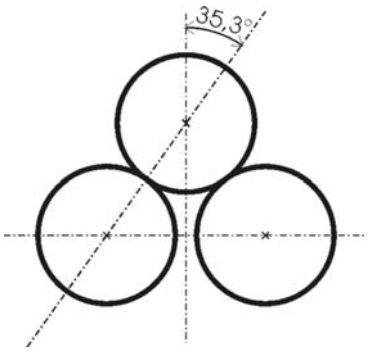



*Fig. 1. Geometry of loaded balls in sliding contact*

Thus, it is an indirect method to assess the wear preventative characteristics, because the consequences (scars) of friction are measured. Measurements were done under the same conditions, only the fuel sample with particular amount of ethanol was changing. Temperature of the fuel sample in lower cup assembly and sounds were recorded during the test.

In the matter of fuels, there exist standards and testing methods for assessing wear preventative characteristics and lubricity only for diesel and aircraft petroleum. Generally accepted and broadly used standard and testing method for petrol still doesn't exist. Therefore, in this work there was used the same method of testing for petrol and diesel fuel. This method is used by military forces of Slovak republic.

### 3.2. Measuring machine

For this test there was used machine Plint TE82. This machine was developed in co-operation with the National Engineering Laboratory, East Kilbride, Scotland as a combined low and high speed 4-ball machine. This machine is suitable for many tests, is used in many countries and there are many national standards, connected to this machine.

The upper part of the machine carries the drive spindle which in turn carries the test ball collet chuck. The chuck is removed by inserting the extractor into the top of the drive spindle and screwing down to contact chuck. For high speed tests the spindle is driven by a flat belt and for low speeds by a toothed belt.

The lower part of the machine carries the loading piston which carries the lower test assembly mounted on a thrust race. This assembly incorporates an electrical heater. Configuration of the test assembly shows figure 2.

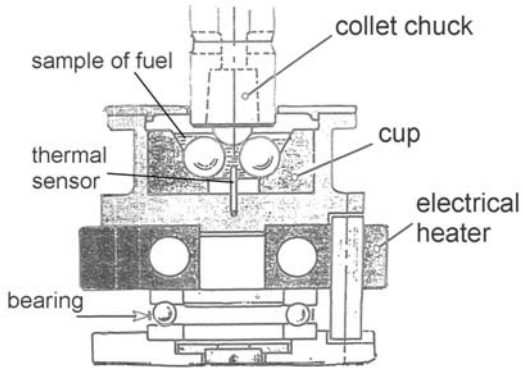



*Fig.2 Configuration of the test assemblies*

Access to the test chamber is through the window in the side of the casing. For high speed tests the window must be closed with the steel door provided.

The lower test assembly is inserted and removed by using the detachable handles provided. Lower races are removed by removing the grub screws from the base of the housing and knocking out with the three-pinned extractor provided.

The end load is applied to the loading piston by means of a load arm with a ratio of either 20:1 or 10:1. The piston may be lowered to insert or remove the lower test assembly by raising the load arm and engaging the locking lever.

A separate cabinet houses controls and instruments. Control cabinet is in two parts. The lower part of the stand carries the motor thyristor drive, the mains contractor and clutch starter unit. The upper panel carries the two pen chart recorder together with the isolator switch, main motor controls and analogue meters indicating speed and armature current, timer, batch counter and temperature controller.

### 3.3. Balls

For the test there were used bearing balls, which satisfy the technical requirements by STN 02 3680 with diameter 12.7 mm (0.5 in), degree of accuracy - 16 and hardness 63 - 65 HRC by Rockwell. The balls are specified by these compounds:

C = 0.95 - 1.10 %, Mn = 0.25 - 0.45 %, Si = 0.15 - 0.35 %,
$P_{max.}$ = 0.027 %, $S_{max.}$ = 0.020 %, Cr = 1.30 - 1.65 %,
$Ni_{max.}$ = 25%, $Cu_{max.}$ = 0.25 %, $(Ni+Cu)_{max.}$ =0.50 %.

### 3.4. Ethanol

For the test there was used ethanol ($C_2H_5OH$) 96.5 % p.a. – refined ethanol, grain alcohol, mild. Manufacturer: LACHEMA a.s., Neratovice, Tovární 157, Czech Republic. Supplier: SYNTCHEM, Chrenovec – Brusno 198. The ethanol had concentration of 96.3 % after checking by densimeter.

3 measurements were made, where ethanol and dehydrated ethanol was used:

1. Petrol + Ethanol 96.30 %
2. Petrol + Ethanol, dehydrated, 99.80 %
3. Diesel + Ethanol, dehydrated, 99.85 %

The process of dehydration was made by sodium and distilled afterwards.

### 3.5. Samples of fuels

The results of the test depend on type of used fuel and amount of added ethanol. This is sequence of tested fuels with different concentration of ethanol:

- diesel + ethanol (99,85 %): 0 %; 2.5 %; 5 %; 7.5 %; 10 %; 15 %; 20 %
- petrol + ethanol (99.80 %): 0 %; 5 %; 10 %; 15 %; 20 %
- petrol + ethanol (96.3 %): 0 %; 5 %; 10 %; 15 %; 20 %

The process of dehydration was made by sodium and distilled afterwards as it shows the chemical equation 1.

$$\begin{aligned} &\left(C_2H_5OH + H_2O\right) + Na \rightarrow C_2H_5ONa + H\uparrow + H_2O \\ &H_2O + Na \rightarrow NaOH + H\uparrow \\ &C_2H_5ONa + H_2O \rightarrow C_2H_5OH + NaOH \end{aligned} \quad (1)$$

It was necessary to repeat this process multiple times until we had ethanol nearly without water content. It is also possible to use burned lime (CaO) instead of sodium. This process is very similar, but nevertheless the last step is better to do with sodium. The process with burned lime shows equation 2:

$$\left(C_2H_5OH + H_2O\right) + CaO \rightarrow Ca\left(OH\right)_2 + C_5H_5OH \quad (2)$$

### 3.6. Evaluation of the testing

Measuring diameters of the scars must be done under the same light conditions (the same light source, the same angle). There are photography of the scars in figure 3. On the left side there is a scar, when diesel + ethanol were used and on the right side there is a scar, when petrol + ethanol were used. The photography represent the magnification of 54x.

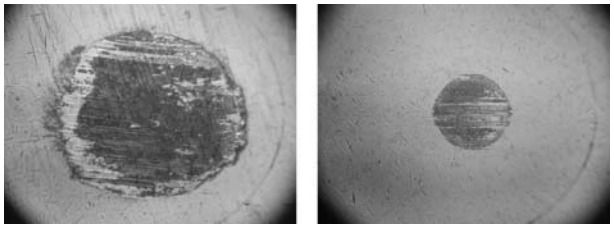


*Fig.3. Friction mark on balls with fuel diesel + ethanol on left and petrol + ethanol on right*

In the figure 4 there it is shown how lubricity properties depend on the ethanol content in the fuel. The used method in this work was developed for testing the lubricity of diesel fuels. Therefore, in the case of testing diesel + ethanol, we reached better level of reproducibility and lower values of uncertainty. In the case of petrol + ethanol, the reproducibility was worse and it can be also seen in figure 3. The size and the shape of the scars correlate directly with the lubricity properties of the fuel. The scars, when petrol + ethanol were tested, are bigger, have unstable shape and the boundaries of the scars was difficult to localize accurately. According to mentioned facts, it should be desirable to develop new, appropriate method for testing lubricity of petrol fuels with ethanol addition.

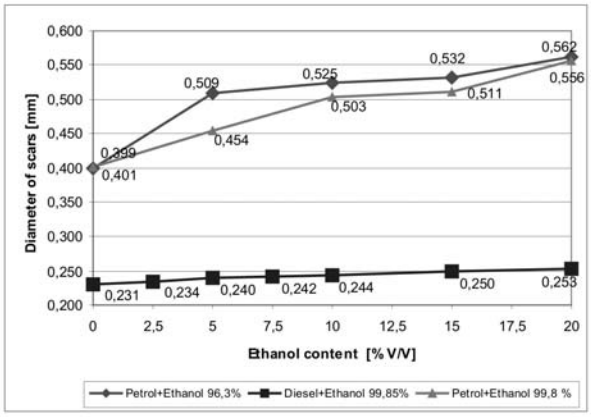



*Fig.4. Lubricity of tested fuels*

### 4. Conclusion

Added ethanol decrease ability to lubricate and wear preventative characteristics of tested fuels are worse. Diesel fuel keeps the lubricity properties longer in despite of increasing the amount of added ethanol. In this respect, petrol fuel is not good as diesel. But diesel fuel had another problem, when ethanol (ethanol with more than 0.5 % V/V of water content) was adding. This problem was resolved by using dehydrated ethanol. Dehydrated ethanol contained less then 0.2 % V/V of water.

If ethanol is used as a compound for adding into petrol and diesel fuel, it will be necessary to avoid creating second phase (emulsion and clouding is occurring), because of water content in ethanol. It can be resolved by using dehydrated ethanol or by adding special compound (solubilizer).

When the petrol with ethanol without dehydration was tested, worse lubricity occurred as in the case of petrol with dehydrated ethanol. Thus, it's suitable and necessary to use ethanol without water content (less then 0.5 % V/V of water).

Testing the lubricity properties of petrol by using method used in this work is not suitable, because:

- noise and vibrations were occurring during the test,
- the scars had unstable shape and the boundaries of the scars was difficult to localize accurately.

By reason of these facts, we recommend to develop another, more suitable test method as it was used in this work.

Using ethanol as a compound of fuels (especially in case of bigger amounts), we recommend adding suitable lubricity addition.

## 5. References


[1] Dyk, A.: *Teorie spalovacích motorů, paliva a maziva pro spalovací motory*, ČVUT, Praha 1983.
[2] Herout, V. a kol.: *Laboratórní technika organické chemie*, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1954.
[3] Bratsky D., Labaj J., Stacho D : *Impact of Ethanol Addition in Diesel on Power Output and Exhaust Emission Characteristics*, 5th International Coloquium, Fuels, Technische akademie Esslingen proceedings 2005, pp 31-42, ISBN-Nr. 3-924813-59-0.
[4] Hlavňa, V., Kukuča, P., Isteník, R., Labuda, R., Liščák, Š.: *Dopravný prostriedok – jeho motor*, Žilinská Univerzita v Žiline, Žilina 2003.
[5] Matějovský, V. – Němec, K.J. – Novák, K.: *Spalovací motory III*, ČVUT, Praha 1990.
[6] Profi auto – appendixes of the magazine "Auto magazín": 11/03, 01/04, 02/04, 04/04, 05/04, 09/04, 10/04, 11/04, 12/04, 02/05.
[7] Šafr, E.: *Technika mazání*, SNTL, Praha, 1970.
[8] Technical documentation of the machine PLINT TE82.
[9] http://www.plint-tribology.fsnet.co.uk
[10] http://www.slovnaft.sk
[11] Regulation 2003/30/EC.
[12] STN 65 6254.
[13] STN 66 0805.
[14] STN EN 228.
[15] STN EN 590.



**Ing. Pavol NAMEŠANSKÝ**
**Doc. Ing. Ján LÁBAJ, PhD.**
**Ing. Jozef FABRICI**
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovakia
e-mail: pavol.namesansky@fpedas.utc.sk
e-mail: jan.labaj@fstroj.utc.sk
e-mail : msulog@mil.sk

Piotr IGNACIUK
Piotr SZCZĘSNY

# OCENA WPŁYWU DODATKU „XERAMIC" DO OLEJU SILNIKOWEGO NA OSIĄGI SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

# THE INFLUENCE OF THE DIESEL OIL ADDITIVE „ XERAMIC" ON THE EFFECTIVE WORK OF THE DIESEL ENGINE

*Rynek środków smarnych obfituje w wiele dodatków, które według producentów mają zapobiegać zużyciu współpracujących tarciowo elementów oraz zmniejszać opory ruchu. W odniesieniu do silników spalinowych ma to w konsekwencji prowadzić do poprawy parametrów, takich jak: moc i moment oraz przyczynić się do obniżenia zużycia paliwa. Artykuł prezentuje ocenę wpływu dodatku do oleju smarującego o nazwie „Xeramic" na wybrane parametry pracy silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym. Dokonano tego poprzez analizę i porównanie wyników badań stanowiskowych z informacjami zawartymi w ulotkach reklamowych.*

***Słowa kluczowe**: silnik spalinowy, dodatki do oleju smarującego, moc efektywna, moment obrotowy*

*A variety of additives exists on the market of lubricants. According to the producers their use is to prevent the wear of the co-working frictional parts and to reduce the movement resistance. As far as the diesel engines are concerned, the use of the additives should consequently cause the improvement of the parameters such as: the power and the moment, and reduce the use of the fuel This article presents the influence of the diesel oil lubricating additive, called „XERAMIC", on the diesel engine selected parameters. It has been achieved by analyzing and comparing the laboratory stand bench test with the information included in the advertising leaflets.*

***Keywords**: diesel engine,, oil lubricating additive, effective power and torque*

## 1. Wstęp

Rynek środków smarnych obfituje w wiele dodatków, które według producentów mają zapobiegać zużyciu współpracujących tarciowo elementów oraz zmniejszać opory ruchu. W odniesieniu do silników spalinowych ma to w konsekwencji prowadzić do poprawy parametrów, takich jak: moc i moment oraz przyczynić się do obniżenia zużycia paliwa [1, 2]. Artykuł prezentuje ocenę wpływu dodatku do oleju smarującego o nazwie „Xeramic" na wybrane parametry pracy silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym. Dokonano tego poprzez analizę i porównanie wyników badań stanowiskowych przeprowadzonych w Katedrze Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Lubelskiej z informacjami zawartymi w ulotkach reklamowych.

## 2. Dodatek do oleju silnikowego „Xeramic"

Dodatek uszlachetniający olej silnikowy „Xeramic" stanowi jeden z produktów dostępnej w handlu linii XERAMIC SPACE TECHNOLOGY. Elementem modyfikującym warstwę wierzchnią jest w nim zawiesina cząstek ceramicznych. Mikrocząsteczki ceramiki zawarte w dodatku są na zasadzie selektywnego przenoszenia osadzane na najbardziej obciążonych tarciowo powierzchniach takich jak: wałek rozrządu, pierścienie tłokowe, panewki i łożyska. Tarcie w tych rejonach zostaje zredukowane, co zmniejsza zużycie tych elementów. Ceramiczny materiał przylegając do powierzchni metalu, powoduje jego wyrównanie. Środek ten wg producenta pozwala na:

- zwiększenie mocy silnika- średnio o 12%,
- redukcję zużycie paliwa i oleju,
- zwiększenie elastyczność silnika,
- obniżenie temperatury oleju,
- obniżenie emisji dwutlenku węgla i węglowodorów,
- wydłużenie okresu pracy silnika, poprzez efektywne smarowanie materiałami ceramicznymi,

## 1. Introduction

A variety of additives exists on the market of lubricants. According to the producers their use is to prevent the wear of the co-working frictional parts and to reduce the movement resistance. As far as the diesel engines are concerned, the use of the additives should consequently cause the improvement of the parameters such as: the power and the moment, and reduce the use of the fuel [1, 2]. This article presents the influence of the diesel oil lubricating additive, called „Xeramic", on the diesel engine selected parameters. It has been achieved by analyzing and comparing the laboratory stand bench test carried in Combustion and Transport Department Lublin University of Technology, with the information included in the advertising leaflets.

## 2. The diesel oil additive „Xeramic"

The diesel oil additive „Xeramic" is one of the Xeramic Space Technology products on the market. The element that modifies the sliding surface is the suspension of the ceramic parts. The ceramic micro parts included in the additive are selectively transported and set on the most exposed to the friction surfaces such as: camshaft, pistons rings and crankshaft bearings. The friction in these parts is reduced, which automatically reduces the wear of the parts. The adherence of the ceramic material to the metal surface makes it flat. The producers claim that it:

- 12% increases the power of the engine,
- reduces the use of oil and the fuel,
- increases the engine elasticity,
- decreases the carbon dioxide and hydrocarbon emission,
- due to the effective lubrication and the use of the ceramic materials, lengthens the time of the engine work,
- simplifies the engine cold start-up,
- diminishes the noise present during the engine work.

- ułatwia rozruch zimnego silnika,
- zmniejsza hałas towarzyszący pracy silnika.

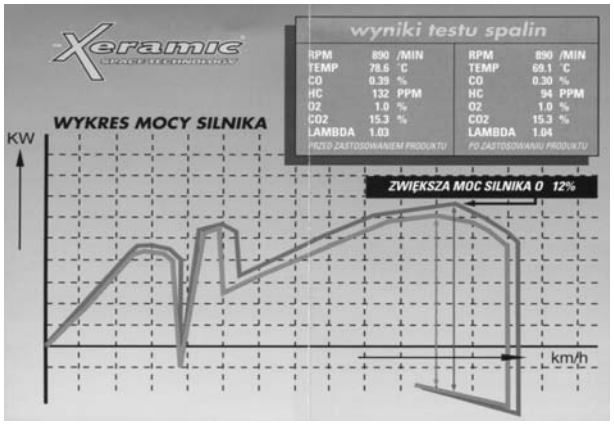
## 3. Wyniki badań przeprowadzonych w innych ośrodkach

Badania przeprowadzone przez Petromark Automotive Chemicals BV – Bevervijk, Holandia na zlecenie producenta [3, 4].

Na wykresie (rys. 1) przedstawiono rezultaty jakie uzyskujemy po użyciu dodatku do oleju „Xeramic". Dolna linia pokazuje wykres mocy na kołach samochodu przed użyciem dodatku „Xeramic", a górna po użyciu preparatu. Test został przeprowadzony na hamowni podwoziowej, gdzie symulowano prędkości do 130 km/h. Wykres pokazuje, że po zastosowaniu dodatku moc silnika jest większa przy każdej prędkości. Test spalin umieszczony w prawym górnym rogu, pokazuje, że preparat pozwala tez na redukcję stężenia tlenku węgla (CO) i węglowodorów (HC) w spalinach. Uzyskane materiały reklamowe nie zawierają jednak żadnych szczegółowych danych.

Wyniki badań przeprowadzone przez czasopismo Auto Świat

Test przeprowadzony przez „Auto Świat" miał sprawdzić, jaki wpływ ma działanie preparatu na parametry pracy silnika. Mierzono moc i moment na kołach samochodu, a następnie przeliczono je do postaci charakterystyki zewnętrznej silnika. Poniżej przedstawiono uzyskane wyniki pomiarów. Należy zaznaczyć, że obserwowany maksymalny wzrost mocy o 3 KM (3,5%) jest znacznie niższy od deklarowanych 12%.




*Rys. 1. Wykres pomiaru mocy na kołach samochodu zamieszczany przez producenta na ulotkach reklamowych [3, 4]*

*Fig. 1. The chart of the power measurement on the car wheels, included in the leaflets [3, 4]*

## 4. Badania własne

Badania wpływu dodatku „Xeramic" przeprowadzono na stanowisku badawczym wyposażonym w hamulec elektrowirowy firmy AVL Zölner GMBH typu Alpha 240. Badaniom poddano silnik wysokoprężny 4C90 smarowany olejem SHPD Turdus 15W/40.

Badania obejmowały wykonanie kolejno charakterystyk zewnętrznych silnika smarowanego: olejem przepracowanym, olejem czystym, olejem czystym z dodatkiem „Xeramic". Pomiary przeprowadzono w jednakowych warunkach tj. przy stałej wartości temperatury , ciśnienia i wilgotności względnej powietrza. Na rys 3 oraz rys. 4 przedstawiono uzyskane charakterystyki zewnętrzne dla badanego silnika.

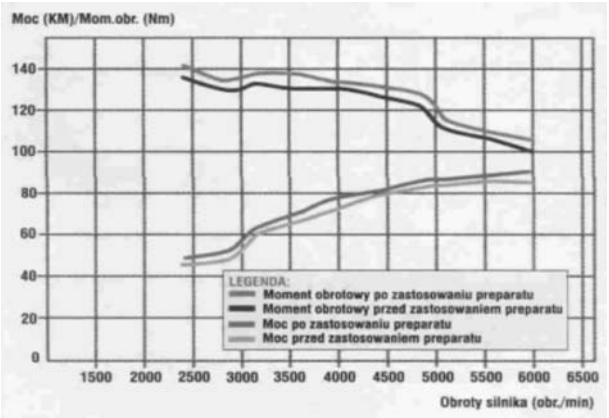
Analizując wyniki badań przeprowadzonych na hamulcu silnikowym należy stwierdzić, że po zastosowaniu dodatku

## 3. The results of the researches carried in other centers

The researches carried by Petromach Automotive Chemiclas BV – Bevervijk, Holland, were charged by the producer [3, 4]. The results obtained after the use of the oil additive „Xeramic" are presented on the chart with fig. 1.

The lower line represents the diagram of the wheel power before the use of the additive „Xeramic", whereas the upper line presents it after the use of the additive. This test was carried in the car test house, where the obtained speed was 130 km/h. The chart shows that after the use of the additive the power of the engine is lager at every speed. The results of the emission test, presented in the right top corner, shows that the additive also makes it possible to reduce the concentration of carbon dioxide (CO) and hydrocarbon in the exhaust gas. The obtained advertising leaflets don't provide any detailed information.

The results of the researches carried by the Auto Świat magazine [2]. The test carried by Auto Świat was aimed to check the influence of the additive on the engine work parameters. The power and the torque on the wheel were measured and after that they were counted to make the shape of the engine full-load characteristic. Below the results of the measurement are presented. It should be pointed that the observed 3 metric horsepower (3,5%) maximum power increases is considerably lower than the declared 12% one.




*Rys. 2. Wykres pomiaru mocy i momentu obrotowego [2]*

*Fig. 2. The chart of the power and the torque measurement [2]*

## 3. Individual researches

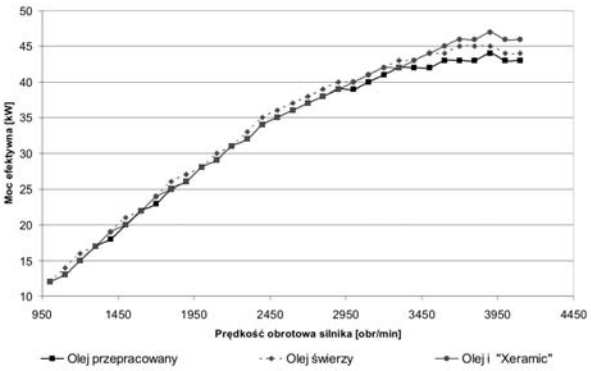
The researches of the influence of the „Xeramic" additive were carried on the research standby equipped with the AVL Zölner GMBH type Alpha 240 brake. The diesel engine 4C90 lubricated with the SHPD Turus 15W/40 oil was tested. The engine full-load characteristic of the engine lubricated with used oil, the fresh oil and the oil with „Xeramic" additive were the objects of the researchers.

The measurement was carried in the identical conditions which means: the constant value of the temperature, the pressure and the relative air humidity. The obtained engine full-load characteristic of the examined engine are presented in the figures 3 and 4.

While analyzing the results of the researches carried on the engine brake, it should be stated that after the use of the additive,

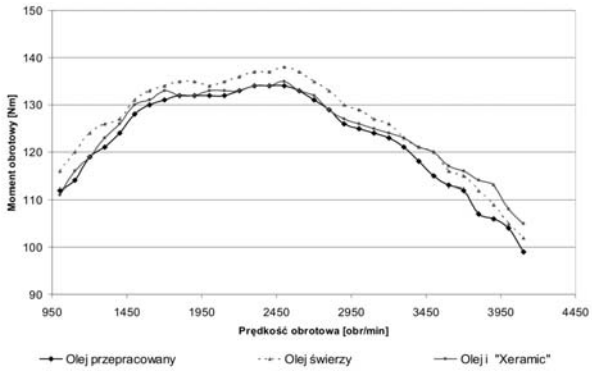
nie uzyskano deklarowanego przez producenta (12%) wzrostu mocy silnika. Zaobserwowano, że wymiana oleju na nowy spowodowała wzrost mocy (max. o 2 kW) i momentu obrotowego (max. o 6 Nm) w całym zakresie prędkości obrotowej. Wynika to ze spadku oporów tarcia w silniku na skutek wymiany oleju na nowy. Z tego powodu uzyskaną po zastosowaniu dodatku „Xeramic" poprawę parametrów silnika odnoszono tylko do parametrów, jakie otrzymuje się przy smarowaniu silnika nowym nieprzepracowanym olejem.

the declared by the producer 12% increase of the engine power was not obtained. It was observed that the change of the oil caused the power increase (max 2 metric horsepower) and the torque moment (max 6 Nm) in the whole range of the rotation speed velocity. It's the result of the resistance friction decrease after the change of the oil and the use of the fresh oil. Due to this fact the improvement of the „Xeramic" additive was connected only with these parameters obtained after the lubrication of the engine with the fresh oil.




*Rys. 3. Wykres mocy efektywnej silnika 4C90 smarowanego olejem SHPD Turdus 15W/40: przepracowanym, świerzym, świerzym z dodatkiem „Xeramic"*

*Fig. 3. The chart of the effective power of 4C90 engine lubricated with used, fresh and fresh with the „Xeramic" additive oil*




*Rys. 4. Wykres momentu obrotowego silnika 4C90 smarowanego olejem SHPD Turdus 15W/40: przepracowanym, świerzym, świerzym z dodatkiem „Xeramic"*

*Fig. 4. The chart of the 4C90 engine torque lubricated with used, fresh and fresh with the „Xeramic" additive oil*

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badan stanowiskowych stwierdzono, że

1. Zastosowanie dodatku „Xeramic" spowodowało poprawę parametrów pracy silnika, ale tylko w górnym zakresie prędkości obrotowych (od 3600 do 4100 obr/min).
2. Maksymalny obserwowany przyrost mocy wynosił 3 kW, co stanowi ok.6% mocy maksymalnej silnika pracującego bez dodatku.
3. Maksymalny obserwowany wzrost momentu obrotowego wynosił 4 Nm i był obserwowany przy prędkości obrotowej 3900 obr/min.
4. Nie zaobserwowano poprawy parametrów pracy silnika przy prędkościach obrotowych mniejszych niż 3600 obr/min.

Z uwagi na czas trwania testu badawczego nie można wnioskować na temat utrzymania poprawionych parametrów w czasie i wpływu dodatku na trwałość silnika.

## 4. Summary

Based on the laboratory stand bench test, it has been settled that:

1. The use of the „Xeramic" additive improved the engine work parameters but only in the high range rotational speed (from 3600 to 4100 rpm).
2. The maximum increase of the power was 3 metric horsepower, which is about 6% of the maximum engine power working without the additive.
3. The maximum increase of the torque moment was 4Nm and was observed at 3900 rpm.
4. The improvement of the engine parameters at rotational speed slower than 3600 rpm hasn't been observed.

Due to the short time of the research, nothing can be stated about how to keep the improved parameters and about the influence of the additive „Xeramic" on the duration of the engine.

## 6. Literatura

[1] Becker E., P.: *Trends in tribological materials and engine technology*. Tribology International. No 37. Elsevier Ltd. 2004.
[2] Chojnacki J.: *Eliksiry młodości i mocy – preparaty redukujące tarcie i zwiększające moc.* Auto Świat. Warszawa, 2002.
[2] www.parys.pl
[3] www.xeramic.pl

**Dr inż. Piotr IGNACIUK**
**Dr inż. Piotr SZCZĘSNY**
Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska
Katedra Silników Spalinowych i Transportu
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
e-mail: p.ignaciuk@pollub.pl, p.szczesny@pollub.pl

Józef JONAK
Jakub GAJEWSKI

# WYBRANE PROBLEMY DIAGNOSTYKI I MONITOROWANIA PRACY GÓRNICZYCH PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH

# OPERATING DIAGNOSTICS AND MONITORING ISSUES OF SELECTED MINING BELT CONVEYERS

*W artykule przedstawiono kierunki prac zmierzających do poprawy warunków eksploatacji górniczych przenośników taśmowych. Szczególną uwagę zwrócono na tendencje w budowie systemów monitorowania i diagnozowania przekładni układu napędowego oraz taśm przenośnikowych.*

***Słowa kluczowe**: diagnostyka, monitorowanie, przenośnik taśmowy*

*The paper presents the trends of works aimed at improving the operating condition of mining belt conveyers. Special attention has been paid to the tendencies in the design of drive system transmission and conveyer belt monitoring and diagnostics systems.*

***Keywords**: diagnostic, monitoring, belt conveyer*

## 1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych i najbardziej efektywnym z urządzeń do transportu materiałów masowych jest przenośnik taśmowy.

Podstawowymi elementami konstrukcji przenośnika taśmowego są: zespół napędowy, konstrukcja nośna i taśma. Jednym z przykładów konstrukcji taśmy jest taśma z linkami stalowymi oraz poprzecznymi brokerami w postaci siatki stalowej, przedstawiona na rys. 1.

## 2. Taśma

Taśma przenośnika jest najdroższym elementem przenośnika, a jednocześnie elementem o najniższej trwałości. Decyduje ona o efektywności i niezawodności pracy całego przenośnika oraz kształtowaniu się kosztów transportu zakładowego. Najgroźniejszymi jej awariami są uszkodzenia mechaniczne oraz pożary.

Do podstawowych uszkodzeń taśm przenośnikowych podczas ich użytkowania należą [4]:

- przecięcia podłużne lub poprzeczne taśmy,
- zerwanie się połączenia klejonego lub mechanicznego,
- oberwanie obrzeża gumowego i strzępienie się rdzenia taśmy,
- nadmierne wycieranie się okładki nośnej i bieżnej
- zerwanie się taśmy,
- rozwarstwienie się taśmy,
- zagrzewanie się taśmy przez tarcie o unieruchomione krążniki boczne, zatarte bębny zwrotne, elementy konstrukcji przenośnika.

Szereg uszkodzeń taśm przenośnikowych powstaje najczęściej w miejscu załadunku urobku na taśmę.

Wymagania stawiane przenośnikom taśmowych stosowanym w górnictwie są szczególnie wysokie. Wiąże się to tak z warunkami pracy (zapylenie, praca w atmosferze metanowej), koniecznością spełnienia ostrych wymogów bezpieczeństwa (szczególnie względem taśm przenośnikowych- np. trudnopalność) ale także wysoka odporność na zużycie wszystkich elementów przenośnika. Ograniczone możliwości dozoru stanu elementów przenośnika powodują, że poszukuje się odpowiednich środków zaradczych, umożliwiających zapewnienie ciągłej

## 1. Introduction

The belt conveyer is one of the most basic and effective bulk material transportation devices.

The basic components of a belt conveyer design are: drive system, carrying structure, and belt. An example of belt design could be a belt using a steel cable and transverse breakers in the form of steel mesh, as shown in Fig. 1.

## 2. The conveyer belt

The conveyer belt is the most expensive part of the conveyer, and at the same time the part with the lowest durability. The belts determine the efficiency and reliability in operation of the entire conveyer and the in-plant transportation cost structure. The most dangerous defects of the conveyor belt are mechanical damage and fires.

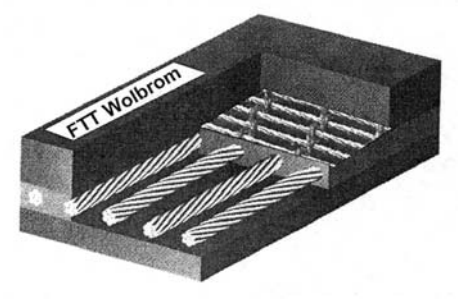
Basic failures of conveyor belts during their operation consist of [4]:

- longitudinal or transverse cuts in the belt,
- breakage of the mechanical or glued belt connection,
- separation of rubber edging and fraying of the belt core,
- excessive wear of the supporting and running track,
- belt breakage,
- belt delamination,
- overheating of the belt through rubbing against stopped side rollers, seized return drums, conveyer structure elements.

A great deal of damage to conveyer belts is caused where the spoil is loaded onto the belt.

The requirements for belt conveyers used in the mining industry are exceptionally high. This is related to the operating conditions (dust, operation in a methane atmosphere), the necessity to meet strict safety requirements (especially in the case of conveyer belts – e.g. non-flammability requirements) and also high wear resistance of all conveyer components. The limited possibilities of monitoring conveyer components means that appropriate preventive measures that would enable continuous supervision and control of conveyers are wanted, this is also why during recent years extensive work on designing conveyer

kontroli i oceny ich stanu, stąd też w ostatnich latach bardzo intensywnie prowadzone są prace nad budową układów monitorowania uszkodzeń taśm przenośnikowych. Z uwagi na różnorodną budowę i różne właściwości taśm przenośnikowych, powstało szereg koncepcji systemów monitorowania. W przypadku taśm tkaninowo- gumowych najczęściej postuluje się budowę systemów monitorowania w oparciu o specjalnie implementowane w taśmie, elementy detekcyjne (np. [3, 4]). Taśma jest umownie dzielona na powtarzalne sektory, w których występują odpowiednie detektory parametrów charakterystycznych uszkodzeń. Jednym z prostszych jest system zaproponowany np. w pracy [3], którego schemat ideowy ilustruje rys. 2.

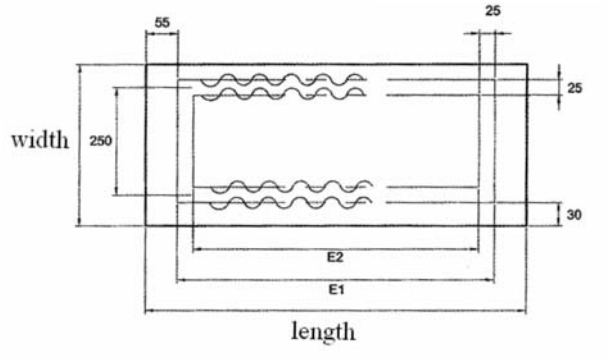



*Rys. 1. Taśma z brokerami w postaci siatki stalowej, produkcji STOMIL-WOLBROM [1]*
*Fig. 1. Belt with breakers in the form of steel mesh, made by STOMIL-WOLBROM [1]*

System ten składa się z jednostki sterującej BSE-16, nadajnika i odbiornika oraz anteny implantowanej w taśmie. Zasada pracy systemu polega na tym, że identyfikowane jest uszkodzenie taśmy równoznaczne z uszkodzeniem anteny. Równocześnie następuje natychmiastowe zatrzymanie przenośnika, poprzez co, minimalizowane są straty będące następstwem zaistniałego uszkodzenia. Aby możliwa była ciągła kontrola stanu taśmy za pomocą tego systemu, na etapie jej produkcji, niezbędna jest implantacja anteny poprzez wulkanizację (rys. 3).

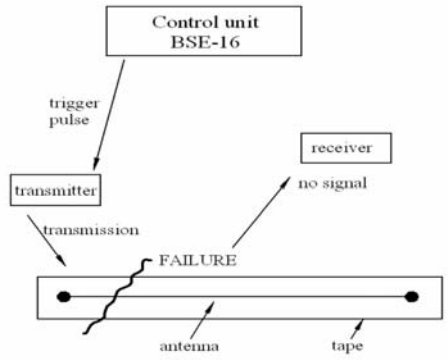
Wg [3], odległości pomiędzy antenami mogą być różne, zależnie od konstrukcji przenośnika, warunków jego eksploatacji lub wymagań odbiorcy. Najczęściej wynoszą od 20 do 100m. Na przenośniku instaluje się po jednej parze nadajnika i odbiornika, przed i za miejscem szczególnie niebezpiecznym dla uszkodzeń taśmy (jak na rys. 4).

Nadajnik i odbiornik rejestrują sygnały od przemieszczających się wraz z taśmą anten. Pomiar drogi pomiędzy antenami realizowany jest za pomocą zliczającego impulsy czujnika




*Rys. 3. Antena zawulkanizowana w taśmie [3]*
*Fig. 3. Antenna vulcanized into the belt [3]*

monitoring systems has been undertaken. Due to the various designs and properties of conveyer belts numerous monitoring systems concepts have been created. In the case of rubber-textile belts the most popular suggestion is to develop monitoring systems based on special components built into the belt itself and detection components (e.g. [3, 4]). The belt is conventionally divided into repeatable sectors, equipped with detectors sensing parameters characteristic of typical damage and failures. One of the simplest systems suggested in the paper is design [3], the diagram of which is presented in Fig. 2.

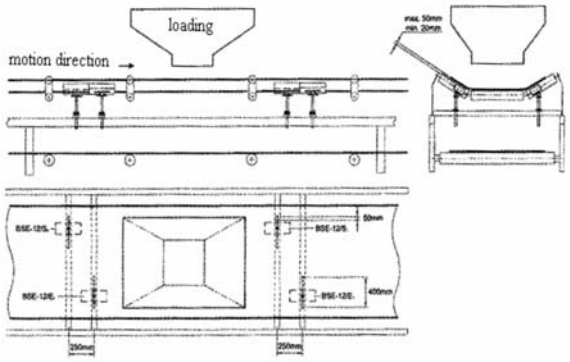



*Rys. 2. Schemat ideowy systemu detekcji uszkodzeń taśmy, wg [3]*
*Fig. 2. Diagram of belt damage detection system [3]*

This system consists of a BSE-16 control unit, transmitter and receiver and an antenna built into the belt. The operation consists in identifying antenna damage as equivalent to belt damage. This causes the stopping of the conveyer, thus the losses caused by the damage that has occurred are minimized. In order to continuously control the belt status using this system, the antenna must be built into the belt through vulcanization when the belt is manufactured (Fig. 3).

According to [3], the distances between antennas can differ depending on the design, usage conditions and the user's requirements. Usually they are between 20 and 100 meters. A receiver and transmitter pair is installed on the conveyer upwards and downwards from locations especially where the belt's integrity is especially endangered (as in Fig. 4).

The transmitter and receiver register signals from the antennas moving with the belt. The measurement of the distance between antennas is carried out through a sensor counting impulses from the proximity detector, installed in any non-driving

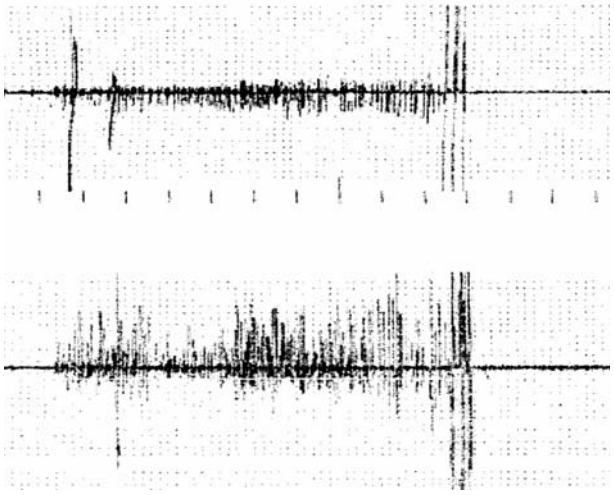



*Rys. 4. Rozmieszczenie elementów systemu w okolicy stacji załadowczej [3]*
*Fig. 4. Displacement of system components near loading station [3]*

zbliżeniowego, zainstalowanego na dowolnym bębnie nienapędowym przenośnika (z uwagi na błąd poślizgu taśmy na bębnie napędowym). W trakcie pierwszego obiegu taśmy na przenośniku, system zapisuje w pamięci odległości pomiędzy poszczególnymi antenami (w impulsach). W każdym następnym obiegu dokonywane jest porównywanie monitorowanych parametrów z parametrami zapamiętanymi na początku z uwzględnieniem zaprogramowanych tolerancji. Ciągła kontrola prowadzona jest równocześnie na obu parach nadajnik- odbiornik. Po stwierdzeniu nieprawidłowości, wyłączany jest napęd główny przenośnika.

W przypadku monitorowania stanu taśm przenośnikowych zbrojonych linkami stalowymi (jak na rys. 1), postuluje się wykorzystanie metod magnetycznych (np. [2]). Każde przypadkowe zdarzenie prowadzące do wzdłużnego rozcięcia taśmy wiąże się tutaj z rozerwaniem brokerów. Zerwane druty siatki stalowej (brokera) stają się widoczne w postaci charakterystycznego sygnału, który informuje o rozerwanej taśmie (rys. 5).

Dzięki zastosowaniu głowicy segmentowej (rys. 6), otrzymuje się jednocześnie sygnał o stanie technicznym linek z całego przekroju taśmy.



*Rys. 5. Sygnał informujący o zniszczonych brokerach [2]*
*Fig. 5. Signal informing of damaged breakers [2]*

W opisywanym systemie zastosowano symptomową macierz obserwacji, analizator zerwanych brokerów oraz analizator sygnałów pojawiających się jednocześnie we wszystkich sekcjach pomiarowych głowicy. Podczas badania uzyskuje się sygnał pomiarowy z kilku sekcji jednocześnie. Układ elektroniczny zlicza wszystkie impulsy w poszczególnych sekcjach, jakie występują między kolejnymi połączeniami, podając informację do pamięci rejestratora. Otrzymuje się w ten sposób symptomową macierz obserwacji informującą o liczbie uszkodzeń zarówno w poszczególnych sekcjach jak również w poszczególnych odcinkach taśmy. W kolejnych badaniach przeprowadzanych np. raz dziennie, otrzymuje się pełną historię zmian liczby uszkodzeń w poszczególnych odcinkach taśmy.

Przykładowy układ możliwych uszkodzeń, jakie mogą wystąpić w badanej taśmie ilustruje rys. 7.

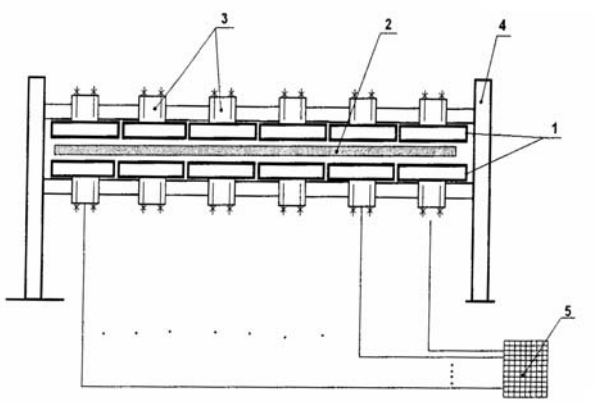
Odpowiadają im odpowiednie wartości zliczanych uszkodzeń pokazanych na symptomowej macierzy obserwacji, gdzie również sygnalizowane są stany awaryjne związane ze zmianą długości połączenia, pojawiającymi się jednocześnie uszkodzeniami w całym przekroju taśmy oraz jej pęknięciami wzdłużnymi.

conveyer drum (due to belt slipping error on the driving drum). During the first run of the belt on the conveyer the system stores the data on distances between antennas (in impulses). During each consecutive run this data is compared with the monitored parameters, taking into account programmed tolerances. Continuous control is conducted simultaneously on both transmitter-receiver pairs. If any error is stated the conveyer drive system is automatically stopped.

For monitoring the status of conveyer belts reinforced with steel cables (as in Fig. 1), the use of magnetic methods is recommended (example [2]). Each random event leading to longitudinal cutting of the belt causes tearing of the breakers. The torn steel mesh wires (breakers) are visible in the form of a characteristic signal that informs of the broken belt (Fig. 5).

Thanks to the application of a segment-type head (Fig. 6), the signal provides information on the technical condition of cables on the entire length of the belt simultaneously.

The described system uses a symptomatic observation matrix,




*Rys. 6. Głowica segmentowa systemu monitorowania taśm, wg [2]: 1- połówki głowicy, 2- taśma, 3- segmenty głowicy, 4 – konstrukcja nośna, 5- rejestr uszkodzeń*
*Fig. 6. Belt monitoring system segment-type head, as per [2]: 1 - head halves, 2 - belt, 3 - head segment, 4 - carrying structure, 5 - damage register*

analyzer of torn breakers and signal analyzer simultaneously in all head measurement sections. During the testing the measurement signals from several sections are received at the same time. An electronic system counts all the impulses in individual sections between consecutive connections, and feeds the information to a memory recorder. In this way we obtain a symptomatic observation matrix that provides information on the amount of damage in individual sections and on individual parts of the belt. Through other tests, carried out daily, for example, we receive the full history of changes in the amount of damage to individual parts of the belt.

An example distribution of possible damage that may occur on a tested belt is shown in Fig. 7.

They correspond to the relevant values of counted instances of damage shown on the symptomatic observation matrix, also showing emergency conditions related to changes of connection length, damage occurring simultaneously on the entire belt section and longitudinal fractures.

## 3. Inne uszkodzenia

Kolejne elementy przenośnika, które często ulegają awariom to zespół napędowy [5] oraz bęben napędowy. W skład zespołu napędowego wchodzi reduktor, silnik oraz hamulec. Przykładem reduktora stosowanego w napędach przenośników taśmowych jest reduktor PIOMA KB200, przedstawiony na rys. 8.

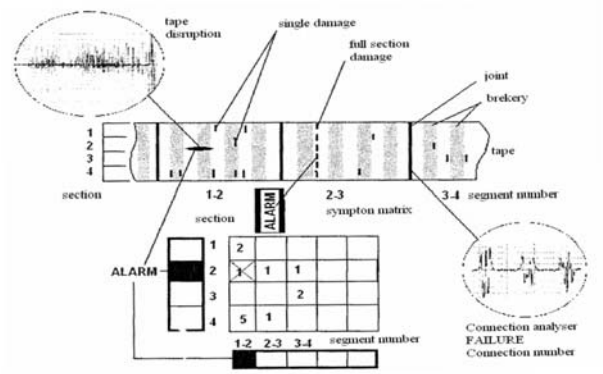
Jak wykazują badania eksploatacyjne, np. [6], dla najczęściej stosowanych obecnie przekładni klasycznych, najczęściej uszkodzeniom ulegają koła zębate. W przypadku przekładni planetarnych, dużym stopniem uszkodzeń charakteryzują się również łożyska kół planetarnych, co ilustruje rys. 9.

Z kolei w przypadku bębnów napędowych, sporo problemów sprawiają częste uszkodzenia łożysk tocznych [7].

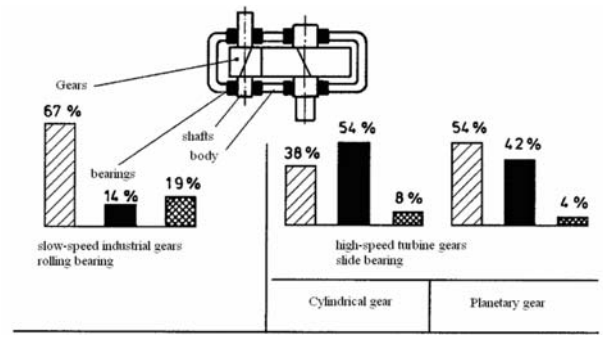
Z uwagi na znaczenie tych podzespołów dla bezawaryjnej pracy przenośników taśmowych, prowadzi się intensywne prace badawcze nad budową systemów monitorowania i diagnozowania łożysk tocznych oraz zębów przekładni wchodzących w skład wspomnianych układów napędowych [7-11]. W tym celu, w chwili obecnej, powszechnie stosuje się zaawansowane techniki przetwarzania sygnałów wibroakustycznych, generowanych w łożyskach czy zazębieniu przekładni mechanicznych. Przykład sygnału charakterystycznego dla przekładni z uszkodzonym zębem ilustruje rys. 10. Do celów badań, sygnał ten wygenerowano metodami numerycznymi [8].

## 4. Podsumowanie

Nowe podejście w diagnostyce stanu wspomnianych urządzeń polega między innymi na wykonywaniu kilku analiz (w dziedzinie czasu, częstotliwości, analiza cepstrum, obwiednia, analizy czasowo- częstotliwościowe) zintegrowanych w ramach jednej metody diagnostycznej, zorientowanej uszkodzeniowo (np. [8, 9]).




*Rys. 7. Uszkodzenia taśmy i odpowiadająca im macierz symptomowa [2]*
*Fig. 7. Belt damage and the corresponding symptomatic matrix [2]*




*Rys. 9. Struktura uszkodzeń przekładni zębatych [6]*
*Fig. 9. Gear transmission failure structure [6]*

## 3. Other damages

Other conveyer elements that often malfunction are: the drive system [5] and drive drum. The drive system consists of a reducer, motor and brake. An example of a reducer used in belt conveyer drives is the PIOMA KB200 reducer, shown in Fig. 8.

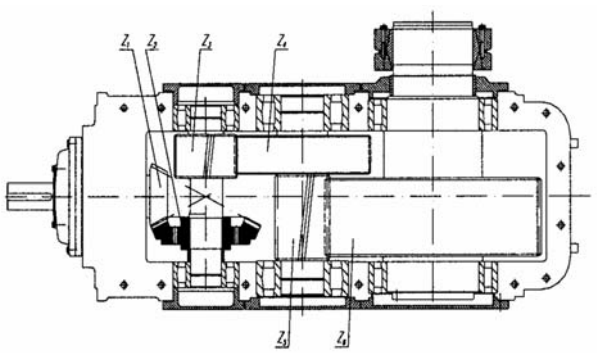
As the operational tests show, e.g. [6], in the case of the currently most often used classic transmissions it is the toothed wheels that usually fail. In the case of planetary transmissions, it is the planet wheels that fail most often, as shown in Fig. 9.

Whereas in the case of the drive drums, the majority of problems are related to rolling bearings [7].

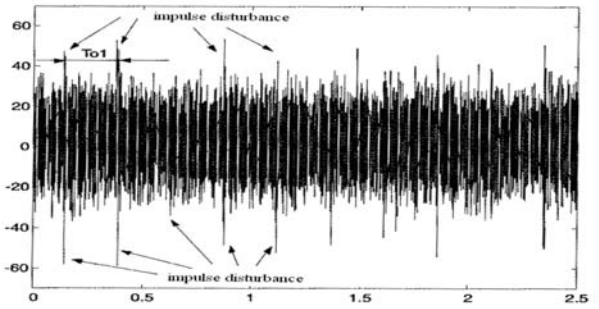
Due to the importance of these components for failure-free and reliable operation of belt conveyers, extensive works on development of systems for monitoring and diagnosing rolling bearings and transmissions drums included in the drive systems mentioned [7-11] are carried out. At the moment, to achieve this goal, methods for processing vibro-acoustic signals generated by the bearings and transmission gears are used. An example of a signal typical of a transmission with damaged teeth is shown in Fig. 10. For test purposes this signal has been generated using numeric methods [8].

## 4. Summary

A new approach in status diagnostics of the equipment mentioned consists in conducting several analyses (in the field of time, frequency, cepstrum analysis, envelope analysis, time-frequency analysis) integrated into one, damage-orientated diagnostics method (e.g. [8, 9]).



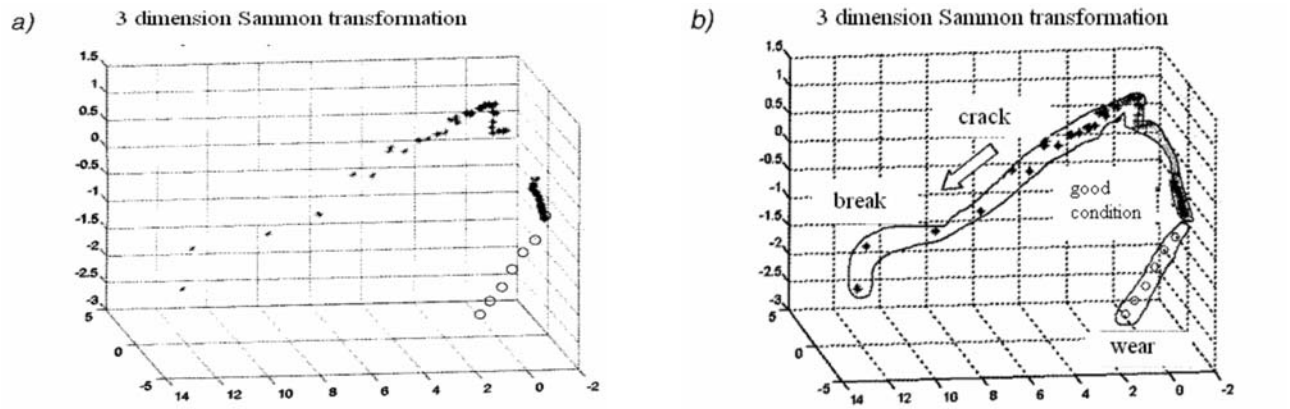
*Rys. 8. Reduktor PIOMA KB200*
*Fig. 8. PIOMA KB200 reducer*




*Rys. 10. Sygnał czasowy przyspieszeń drgań charakterystyczny dla przekładni z wyłamanym zębem [8]*
*Fig. 10. Temporary signal of acceleration of vibrations typical of a gear with a broken tooth. [8]*

W przypadku pracy rzeczywistej przekładni, występuje równocześnie szereg czynników (konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych) mających wpływ na postać sygnału generowanego przez przekładnię. Stąd też, z uwagi na ilość czynników wpływowych, do oceny stanu technicznego przekładni, podejmuje się próby wykorzystania np. samoorganizujących się sieci neuronowych, a do zobrazowania wyników postuluje się wykorzystanie przekształcenia Sammona (np. [9]).

In the case of the operation of an actual transmission, numerous factors occur at the same time (design factors, technological factors and operational factors). These factors influence the form of the signal generated by the transmission. This is why, due to the number of influencing factors, self-organizing neuron networks, for example, are used in order to asses the transmission's technical condition, whereas Sammon transformations are used for presenting the results ( e.g. [9]).




*Rys. 11. a) Trójwymiarowa przestrzeń stanu zazębienia opisująca wpływ czynników konstrukcyjnych, technologicznych, eksploatacyjnych i związanych ze zmianą stanu, b) interpretacja stanu zazębienia: stan dobry; pęknięcie- rozwój pęknięcia u podstawy zęba, złamanie- złamanie u podstawy, zużycie- zużycie zazębienia (pitting, zacieranie) [9]*

*Fig. 11. a) 3-dimensional presentation of tooth condition describing the influence of design, technological and operational factors and factors related to change of condition, b) tooth condition interpretation: very good condition; fracture - fracture development at tooth base, breakage - breakage at the base, wear – tooth wear (pitting, seizing) [9]*

## 5. References


[1] Bartelmus W., Sawicki W., Zimroz R.: *Zaawansowana metoda diagnostyki drganiowej przekładni napędu przenośnika taśmowego*. Transport przemysłowy, nr 2 (12) 2003, str. 12-16.

[2] Bartelmus W., Zimroz R., Batra H.: *Nowe kierunki w diagnostyce przekładni napędu przenośników taśmowych*. Transport przemysłowy, 4(18) 2004, str. 5-10.

[3] Bartelmus W., Zimroz R., Zajda P.: *Detekcja lokalnych uszkodzeń w łożyskach bębnów napędowych przenośników taśmowych.* Transport przemysłowy, nr 1 (23) 2006, str.32-38.

[4] Barton J.: *System identyfikacji wzdłużnych uszkodzeń taśmy przenośnikowej typu BSE-16*. Transport przemysłowy, nr 2(12) 2003, str.18-19.

[5] Bartz (red): *Schaeden an geschmierten Maschinenelementen*. 3 Auflage, Expertverlag. Renningen- Malmshein 1999.

[6] Kwaśniewski J., Molski Sz., Machula T.: *Monitoring taśm z linkami stalowymi*. XIV Międzynarodowe Sympozjum „Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji urządzeń kompleksowej odstawy urobku przenośnikami taśmowymi. Zakopane 2006, str.117-124.

[7] Prezentacja multimedialna. Fabryka taśm transporterowych Stomil-Wolbrom S.A.

[8] Strzelecki S., Wójcicki W.: *Identyfikacja układu tribologicznego zespołu napędowego przenośnika taśmowego.* Międzynarodowe Sympozjum „Nowe rozwiązania i doświadczenia w budowie i bezpiecznej eksploatacji urządzeń kompleksowej odstawy urobku przenośnikami taśmowymi. Zakopane 2006, str.163-177.

[9] Szczygielska M., Mróz J., Broja A., Dyduch J., Augustowski W.: *Monitorowanie uszkodzeń taśm przenośnikowych w oparciu o zaimplementowane elementy detekcyjne*. Transport przemysłowy, nr 3(9) 2002, str.42-47.

[10] Tomaszewski J.: *Wibroakustyczna diagnostyka stanu technicznego łożysk tocznych*. Maszyny Górnicze 2/2006, str.3-8.

[11] Tomaszewski J., Rysiński J.: *Diagnostyczny model pękania zębów kół przekładni walcowej*. Czasopismo Techniczne, z.1-M/2006 (Rok 103), str.367-377



**Prof. dr hab. inż. Józef JONAK**
**Mgr inż. Jakub GAJEWSKI**

Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: j.jonak@pollub.pl, j.gajewski@pollub.pl

Renáta HLIVJAKOVÁ
Štefan LIŠČÁK

# THE POSIBILITIES OF BUS SETS USING

*In transport, as well as in other areas of our life, there are still used knowledge or experience proved in the past. Of course, these are modernized with progressing development as it is in the field of mass passenger transport and related bus trailers. At present, when the economic situation in mass passenger transport puts pressure on us to minimize the costs as much as possible, especially operation costs. This article present the operation evaluation of the transport system. with using the trailer vehicles.*

***Keywords**: bus, transport system, operational evaluation*

## 1. Introduction

In transport, as well as in other areas of our life, there are still used knowledge or experience proved in the past. Of course, these are modernized with progressing development as it is in the field of mass passenger transport and related bus trailers. These trailers were used, in the past, in forming the bus sets. Even though their use was gradually quitted in our country, they successfully operate in some cities abroad up to now [1].

At present, when the economic situation in mass passenger transport puts pressure on us to minimize the costs as much as possible, especially operation costs, it is suitable to think on reinstalling passenger transport system with using the trailer vehicles. In Slovakia, there are used, nowadays, single vehicles (buses, trolley-buses, trams) or articulated vehicles. Articulated vehicles are suitable for coverage of higher traffic requirement in traffic peak or single vehicles circulated in shorter line intervals ensure this increase requirement [2, 3].

Vehicle connection and set operation are permissible if instantaneous weight of a trailer is at most 1,5 multiple of instantaneous weight of towing vehicle (Fig.1 and fig 2) in a set with the highest design speed exceeding 30 km/h. The distance between the last axle of motor vehicle, which total weight exceeds 3.5 t, and the first axle of trailer, which total weight exceeds 3.5 t, must be at least 3.0 m.

*Fig. 1 The buses with trailer*

Non-motor vehicle of *O* category, with exception of non-motor vehicle of *O* category which must not be connected in back of motor vehicle with design speed exceeding 25 km/h, has to be equipped by brake equipment system which must fulfil the conditions set up by special regulation (Communication of the Ministry of Foreign Affairs No. 245/1996 Code - EEC Regulation No. 13, 78 and 90).

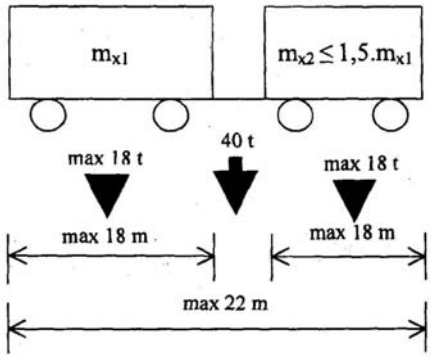



*Fig. 2 The view of the maximum dimensions and weights*

## 2. Operation evaluation

For simplification of this evaluation we will install a model line of mass urban transportation which route runs from point A to point B. The service length of this line is $l_z$ = 10 km and number of intermediate stops between terminal stations A and B is $n_z$ = 10. Total number of passengers carried on the line per day is $O$ = 10 000 passengers. Of this, $O1$ = 60000 passengers will carry in peak hours (from 5:00 a.m. to 8:30 a.m. and from 13:00 p.m. to 16:30 p.m.) and $O2$ = 4000 passengers in off-peak hours (from 8:30 a.m. to 13:30 p.m. and from 16:30 p.m. to 22:00p.m.). Vehicle (set) capacity utilization coefficient in peak hours is $\gamma_1$ = 1.0 and in off-peak hours $\gamma_2$ = 0.8. Vehicle (set) time spent at the terminal station is $t_k$ = 5 min.

The aim is to compare transport output $L$ [km] under the specified conditions at these two eventualities:

*1st eventuality*

The bus of Karosa B 931 type with occupancy $K$ = 94 passengers runs on the line (as, in fact, mostly). Time which bus will stay at the stop is on average $t_z$ = 30 s. Technical speed of the bus is $v_t$ = 25 km/ h.

*2nd eventuality*

The bus set, recommended in Chapter 4.4.7, consisting of bus SOR 9.5 (for mass urban transportation needs adapted for city bus) and two-axle passenger trailer, runs on the line during peak hours. Occupancy of the whole set is $K$ = 164 passengers. Average value $t_z$ = 24 s is less than at 1st eventuality. During off-

peak hours the single bus is running on the line after dismounting the trailer at the terminal station. Its occupancy is $K = 80$ passengers. Average value of delay at the stop is 24 s as well, because saddle traffic is concerned and also due to timetable uniformity during the day. Average technical speed of the set in peak hours and the bus in off-peak hours is less than at 1st eventuality $v_t = 23$ km/ h.

### A. Calculation of transport capacity $O_p$

$$O_{pi} = \frac{O_i}{t_{pi}} \left[seats/h\right] \tag{1}$$

where $O_i$ is number of passengers carried during service time $t_{pi}$.

a) traffic peak: $O_{p1} = \frac{6000}{6,5} = 924 \;\; seats/h$

b) saddle traffic: $O_{p2} = \frac{4000}{10,5} = 381 \;\; seats/h$

### B. Calculation of line interval i

$$i_i = \frac{K_i \cdot 60 \cdot \gamma_i}{O_{pi}} \left[min\right] \tag{2}$$

where $K_i$ is occupancy of vehicle (set) $\gamma_i$ is coefficient of its utilization.

*1st eventuality:*

a) traffic peak: $i_1 = \frac{94 \cdot 60 \cdot 1,0}{924} \approx 6 \;\; min$

b) saddle traffic: $i_2 = \frac{94 \cdot 60 \cdot 0,8}{381} \approx 11 \;\; min$

*2nd eventuality:*

a) traffic peak: $i_1 = \frac{164 \cdot 60 \cdot 1,0}{924} \approx 10 \;\; min$

b) saddle traffic: $i_2 = \frac{80 \cdot 60 \cdot 0,8}{381} \approx 10 \;\; min$

### C. Calculation of required number of vehicles (sets) in circulation on the line $N_i$

$$N_i = \frac{t_o}{i_i} = \frac{2t_1}{i_i} = \frac{2\left(t_i + n_z t_z + t_k\right)}{i_i} \left[vehicles \;\; (sets)\right] \;\; t_j = \frac{l_z}{60 v_t} \Big| \tag{3}$$

where $t_o$ is turning time [min], $t_1$ is line time [min] a $t_j$ is running time [min].

*1st eventuality:*

a) traffic peak:

$$N_1 = \frac{2\left(24 + 10 \cdot 0,5 + 5\right)}{6} = \frac{2 \cdot 34}{6} \approx 11 \;\; vehicles$$

b) saddle traffic:

$$N_2 = \frac{2\left(24 + 10 \cdot 0,5 + 5\right)}{11} = \frac{2 \cdot 34}{11} \approx 7 \;\; vehicles$$

*2nd eventuality:*

a) traffic peak:

$$N_1 = \frac{2\left(26 + 10 \cdot 0,4 + 5\right)}{10} = \frac{2 \cdot 35}{10} \approx 7 \;\; sets$$

b) saddle traffic:

$$N_2 = \frac{2\left(26 + 10 \cdot 0,4 + 5\right)}{10} = \frac{2 \cdot 35}{10} \approx 7 \;\; vehicles$$

### D. Calculation of vehicle (set) transport output $L_i$

$$L_i = n_{si} l_z N_i \left[km\right] \;\; n_{si} = \frac{t_{pi}}{t_1} \left[links\right] \tag{4}$$

where $n_{si}$ is number of links of one vehicle (set).

*1st eventuality:*

a) traffic peak: $L_1 = 12 \cdot 10 \cdot 11 = 1320 \;\; km$

b) saddle traffic: $L_2 = 19 \cdot 10 \cdot 7 = 1330 \;\; km$

*2nd eventuality:*

a) traffic peak: $L_1 = 11 \cdot 10 \cdot 7 = 770 \;\; km$

b) saddle traffic: $L_2 = 18 \cdot 10 \cdot 7 = 1260 \;\; km$

At 1st eventuality, when single bus Karosa B 931 is set on the line, drive output is

$L = 1320 + 1330 = 2650$ km. At 2nd eventuality, when bus set SOR 9,5 + two-axle trailer are set on the line, the drive output is $L = 770 + 1260 = 2030$ km. Drive output will decrease approximately by a quarter at the 2nd eventuality.

If we want to use bus set on the line, we have to solve a problem of connecting the trailer in back of the bus. That means to equip SOR 9,5 bus by towing equipment. This would be possible to solve by double redrilling the rear bumper, bracing the rear part of bus steel grid (due to stress by tensile resistance) and by welding up another traverse for rear bumper. To this traverse it would be possible to tighten towing equipment with cylindrical pin through one opening in bumper. The other opening would serve for compressed air inlet to trailer brakes, etc. Towing equipment would be automatic in order to connect the trailer by driver without assistance of other person. Moreover, it would be necessary to enlarge double-flow braking set of the bus by the other circle for the trailer and to adapt its parameters.

But in terms of legislation (§ 104 of NR SR Act No. 725/2005 Code, on road traffic), modification of supporting frame regards as vehicle transformation. The transformation must not realize without authorization of the National Transport Authority. The vehicle transformation is followed by reauthorisation of its technical qualification, i.e. conformity certification (homologation) of vehicle, its components and equipment. The investment in such transformation would amount about 125 000 SKK including an approval procedure.

## 3. Economic gain

So we can evaluate installing the bus sets in the Slovak Republic in terms of economic aspect. One of the main aspects is an acquisition price of the currently produced trailer (about 8.5 mill. SKK) which exceeds, more than doubly, the price of a single bus SOR 9.5 (3.7 mill. SKK) whereas the price of articulated bus, e.g. Karosa B 941, is only about 4.5 mill. SKK. However, it is necessary to take into account its life time – 20 years. The other possibility is production of the trailer with similar design by a company based in Slovakia with lower production costs, with that would relate also lower investment costs of transport companies at purchase of trailer.

In decision making on bus trailer purchase the carriers have to take into account also the costs associated with bus set operation. The most important amount of these costs is fuel costs.

We consider standard line of mass urban transportation on which the bus Karosa B 931, with average consumption of 32 litres of fuel oil for 100 km, runs. Theoretical value of consumption under certain operation conditions we can find with using resistances as follows:

$$M = \frac{\sum O}{\eta_m \eta_c H_u} \left[ kg / m \right] \tag{5}$$

where ∑O is total of running resistances, $\eta_m$ is total engine efficiency, which varies with operation conditions (we consider value 0.7), $\eta_c$ is total gearbox efficiency (0.9) and $H_u$ is fuel oil efficiency (41 848 kJ/ kg).

Following substitution and modification it applies:

$$M = \frac{mg\left( f + \frac{a}{g}\delta \right) + 0.05 c_x S V^2}{\eta_m \eta_c H_u} \left[ kg / m \right] \tag{6}$$

Following substitution of known values

$$M = \frac{17000 \cdot 9.81 \cdot \left( 0.01 + \frac{0,4}{9.81} \cdot 1.07 \right) + 0.05 \cdot 0.7 \cdot 6.65 \cdot 60^2}{0.7 \cdot 0.9 \cdot 41840000} = 0.00037 \ kg / m$$

It is possible to calculate this value using fuel oil density 0.85 kg/ dm$^3$ per consumption in litres for 100 km. Then it is $M$ = 43.7 l/ 100 km.

It is possible to use this relationship also for calculation of theoretic consumption of bus set. For simplification we will consider with connecting the trailer in back of bus Karosa B 931.

$$M_s = \frac{29000 \cdot 9.81 \cdot \left( 0.01 + \frac{0.4}{9.81} \cdot 1.07 \right) + 0.05 \cdot 0.9 \cdot 6.65 \cdot 60^2}{0.7 \cdot 0.9 \cdot 41840000} = 0.00062 \ kg / m$$

$$M_s = 72.9 \ l / 100km$$

The difference between values $M_s$ and $M$ represents value 29.2 l/ 100km by which bus consumption will increase when we connect the trailer behind it. After adding this value to real consumption of a single bus Karosa B 931 we will obtain consumption value after trailer connection: 32 + 29.2 = 61.2 l/ 100 km. If we added difference between $M_s$ and $M$ to consumption of bus SOR 9,5 from recommended bus set, we will obtain the value 26 + 29.5 = 55.5 l/ 100 km, which is comparable to consumption of articulated bus Karosa B 941 (52 l/ 100 km).

Under 1st eventuality in Chapter 5.1 the consumption per daily output will be 2650 ·32/ 100 = 848 litres of fuel oil and under 2nd eventuality it will be 770 ·55.5/ 100 + 1260 ·26/ 100 = 755 litres of fuel oil. The second eventuality is therefore economically more profitable in terms of consumption.

## 4. Conclusion

The bus sets ran in urban and suburban traffic in the past but their service was gradually given up for safety reasons and they were be replaced by articulated buses.

At present, however, high-quality and safe bus trailers are produced, which abroad, especially in the Switzerland, normally run and are successfully mainly due to silent running, good steerability and minimal maintenance.

In Slovakia, it would be also desirable to install this mode of passenger transport, mainly, by reason of increasing transport capacity. Great advantage of this is possibility to modify operatively the capacity of traffic unit by simple connecting or disconnecting the trailer, which is not possible at articulated bus. Trailers, disconnected at the terminal stations, could be used on various lines what could improve their utilization and reduce down times.

In the Slovak transport companies, mostly each driver has an assigned bus so if articulated bus instead of single one is set on the line in peak hours, one more driver, minimally, runs on the line. When using the trailers it might not happen.

The problem of bus trailers is regulated by legislation. Passenger trailer should have to fulfil the conditions given by laws in force nowadays. These conditions are mostly applicable also in other European countries therefore the imported trailer would be appropriate for operation in our country.

With respect to operation and economic evaluation this system would be more appropriate with trailer of lower acquisition price made in Slovakia. It wouldn't be necessary to purchase new buses but only properly modify those that run nowadays.

Therefore prospective producers of passenger trailers and their potential operators should consider this possibility.

## 5. References


[1] Ellis Ch. J., Silva E. C. D.: *British bus deregulation: competition and damage coordination*. Journal of Urban Economic. No 43. Article No. UE972047. Academic Press, 1998.

[2] Liščák,Š., Matejka,R., Rievaj,V., Šulgan,M.: *Prevádzkové charakteristiky vozidiel I*. Vyd. ŽU v Žiline/EDIS, 2004.ISBN 80-8070-247-0

[3] Liščák,Š., Matejka,R., Rievaj,V., Šulgan,M.: *Prevádzkové charakteristiky vozidiel II*. Vyd. ŽU v Žiline/EDIS, 2005.ISBN 80-8070-388-4

[4] Lyons G., Harman R.: *The UK public transport industry and provision of multi-modal traveller information*. International Journal of Transport Management. 1(2002). Elsevier Science Ltd. 2002.

[5] Surovec,P.: *Technologia hromadnej osobnej dopravy*. EDIS – ŽU Žilina, 1998. ISBN 80-7100-494-4



**Ing. Renáta HLIVJAKOVÁ**
Slovenská Dopravná Spoločnosť Žilina
Hálkova 35, 010 26 Žilina, Slovakia
e-mail: info@sds-sav.org

**Prof. Ing. Štefan LIŠČÁK, CSc.,**
Department of Road and Urban Transport
Faculty PEDaS, University of Zilina
Universitna 1, 010 26 Žilina, Slovakia
e-mail: stefan.liscak@fpedas.utc.sk

Andrzej NIEWCZAS
Grzegorz KOSZAŁKA
Mirosław GUZIK

# MODELOWANIE WSPÓŁPRACY PIERŚCIENIA TŁOKOWEGO Z PÓŁKĄ TŁOKA W SILNIKU SPALINOWYM

# MODELING OF COLLABORATION BETWEEN THE PISTON RING AND THE PISTON GROOVE SHELF IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

*W artykule przedstawiono modele współpracy pierścienia uszczelniającego z rowkiem pierścieniowym tłoka stosowane lub możliwe do zastosowania podczas modelowania uszczelnienia tłok-piścienie-cylinder. Prezentowane modele różnią się przede wszystkim zakresem opisywanych zjawisk, w szczególności uwzględnianiem: skręceń poprzecznych pierścienia, występowania filmu olejowego pomiędzy bocznymi powierzchniami pierścienia i rowka oraz kontaktu pomiędzy chropowatościami tych powierzchni, zużycia powierzchni elementów.*

***Słowa kluczowe:*** *silnik spalinowy, pierścień uszczelniający, przedmuchy spalin, zużycie, film olejowy*

*The paper presents models of cooperation between the compression ring and the piston groove used, or possible to use, in models of piston-rings-cylinder assembly. Presented models differ from each other in the range of considered phenomena. In particular the model can consider: twists of the rings, existence of oil film and asperity contact between side surfaces of the ring and the groove and wear of the surfaces.*

***Keywords****: IC engine, compression ring, blowby, wear, oil film*

## 1. Wprowadzenie

Zespół tłok-pierścienie-cylinder, występujący w silnikach spalinowych, jest obiektem zainteresowania wielu badaczy na całym świecie. Mimo wieloletnich badań, znajduje się on w fazie ciągłego rozwoju i modernizacji. Badania zespołu TPC mają na celu poprawę właściwości użytecznych silnika spalinowego, jak np. zwiększenie sprawności, trwałości lub zmniejszenie zużycia oleju. Poprawa jednej z tych właściwości często wiąże się z pogorszeniem pozostałych. Z tego względu konieczne staje się opracowanie wytycznych, mających zastosowanie w etapie projektowania silników spalinowych.

## 2. Sposoby modelowania zespołu tłok-pierścienie-cylinder

Badanie zespołu TPC może odbywać się przy użyciu modeli rzeczywistych lub matematycznych (rys. 1.)

Pomiar wielu interesujących wielkości fizycznych w pracującym, badawczym silniku spalinowym najczęściej wiąże się z trudnościami technicznymi, ograniczającymi zakres modelowania tego rodzaju. Dobór i rozmieszczenie czujników utrudniają m.in.: wysoka temperatura, duże przyspieszenia oraz niewielkie wymiary profilu pierścieni i rowków tłokowych. Poważny problem stanowi

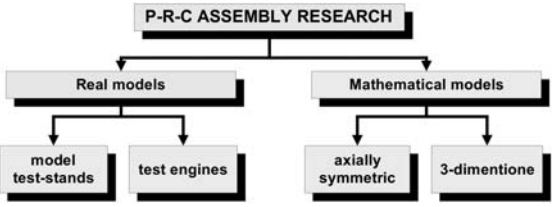
## 1. Introduction

Piston-rings-cylinder (P-R-C) assembly existing in internal combustion engines is a subject of interest for many researchers. Despite many years of investigation, it is still in the phase of constant development and modernization. Investigations of the P-R-C assembly are oriented towards improvement of operational properties of the engine, like increase of efficiency, durability or decrease in oil consumption. Improvement of one of these properties is often correlated with deterioration of others. Therefore it seems necessary to develop guidelines, which can be used during engine design phase.

## 2. Possibilities of modeling P-R-C assembly

Investigations of the P-R-C assembly can be done using real models and mathematical ones (fig. 1).

Measurement of many interesting physical quantities in a research engine during its operation is most often associated with technical difficulties, limiting scope of this type of modeling. Selection and location of sensors is hindered by such factors as high temperature, high accelerations and small sizes of ring's and piston groove's profiles. Serious problem is also related to the




*Rys. 1. Podział modeli służących do badania zespołu TPC*
*Fig. 1. Classification of the models used in P-R-C assembly research*

również wyprowadzenie sygnału na zewnątrz lub jego rejestracja we wnętrzu modelu. W przypadku badania niektórych zjawisk, konieczne jest takie rozmieszczenie czujników, które umożliwia pomiar w wąskim przedziale kąta obrotu wału korbowego, co pozwala na jedynie wycinkową analizę danego zjawiska.

Ograniczenia w badaniu niektórych zjawisk przy użyciu silników badawczych, spowodowały konieczność konstruowania stanowisk modelowych odbiegających budową lub działaniem od pracujących silników spalinowych. Do napędu takich modeli stosuje się najczęściej zewnętrzne źródło energii. Budowane są np. modele o nieproporcjonalnych wymiarach niektórych elementów, mających pomieścić odpowiednie czujniki. Dla przykładu, badanie zjawiska tworzenia się filmu olejowego na gładzi cylindra realizowano za pomocą modelu ze stałym tłokiem i ruchomym cylindrem lub modelu, w którym współpracę pierścienia z tuleją cylindrową symulowano klockiem poruszającym się po płaskiej płycie zwilżonej olejem silnikowym. Cechą charakterystyczną tego rodzaju stanowisk modelowych jest dostarczanie informacji najczęściej o jednym, wyizolowanym zjawisku.

Chcąc przy użyciu modeli rzeczywistych określić wpływ budowy pewnych elementów na pracę całego zespołu, pojawia się konieczność konstruowania wielu wersji tego samego stanowiska badawczego. Jest to powodem wysokich kosztów badań, będących kolejnym ograniczeniem w rozwoju tego rodzaju modelowania.

Do analizy współpracy elementów zespołu TPC zaczęto jednocześnie stosować modele matematyczne. Ze względu na stopień skomplikowania i różnorodność zjawisk zachodzących w zespole TPC, konieczne jest stosowanie licznych uproszczeń. Jednak wraz z rozwojem badań doświadczalnych, technik komputerowych i analizy numerycznej, modele matematyczne zespołu TPC uwzględniają coraz większą liczbę zjawisk zachodzących w rzeczywistym silniku spalinowym. Wprowadzanie parametrów konstrukcyjnych poszczególnych elementów w charakterze danych wejściowych modelu, umożliwia wykonywanie obliczeń dla wielu wariantów złożenia TPC. Dzięki temu, niskim kosztem, możliwe jest pozyskanie informacji użytecznych na etapie projektowania silnika spalinowego. Rozwój modelowania matematycznego umożliwia ujęcie w modelach obliczeniowych zjawisk, niedających się zbadać metodami doświadczalnymi. Wiąże się to z brakiem możliwości bezpośredniej weryfikacji modelu, co jednak nie stanowi o jego bezużyteczności.

Najczęściej stosowane są środkowo-symetryczne modele matematyczne, sprowadzające analizę uwzględnianych zjawisk do dwóch wymiarów. Dzięki temu, wiele zjawisk fizycznych staje się łatwiejszych do opisu matematycznego. Modele trójwymiarowe są rozwijane od niedawna, a stopień ich skomplikowania wymusza stosowanie wielu uproszczeń i założeń. Z tego względu, dalsza część artykułu będzie dotyczyć właśnie środkowo-symetrycznych modeli matematycznych.

### 3. Siły działające na pierścień tłokowy

Na rysunku 2 przedstawiono wyjściowy schemat sił działających na przykładowy pierścień tłokowy, będący podstawą do opracowania środkowo-symetrycznych modeli matematycznych zespołu TPC.

Wyjściowym założeniem do opracowania modeli, nieuwzględniających skręceń pierścieni tłokowych, jest warunek równowagi sił w kierunku osiowym i promieniowym:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \end{aligned} \qquad (1)$$

signal transmission or its recording within the model. In case of investigation of certain phenomena, it is also necessary to arrange sensors so as to have the possibility to measure in narrow range of crankshaft rotation angle, thus enabling more precise analysis of the given phenomena.

Constraints in investigation of certain phenomena using test engines brought about the necessity to design model stands which differ in construction or operation from real IC engines. Propulsion of these models is achieved usually using external source of energy. Models with disproportional dimensions of certain components are built, which have to contain appropriate sensors. For example, investigation of oil film development on the surface of the cylinder liner is made using model with immovable piston and movable cylinder or using model, where collaboration between piston ring and cylinder liner is simulated using friction block moving along the flat plate wetted with engine oil. Characteristic feature of these model stands is supplying of information regarding usually only one, isolated phenomena.

Application of real models for the determination of the influence which construction of certain components has on the operation of the whole assembly, requires the necessity to design many versions of the same test stand. It increases research costs, which, in consequence, become additional limitation in the development of such modeling.

In the analysis of the collaboration between components in the P-R-C assembly mathematical models come parallel into usage. Because of high complication level and variety of phenomena taking place in the P-R-C assembly, it is necessary to use numerous simplifications. However, with the development of experimental research, IT technology and numerical analysis, mathematical models of P-R-C assembly take into account increasing number of effects taking place in the real IC engine. Introduction of constructional parameters of different components as model input data allows for calculations for various variants of P-R-C assembly. Thus, with low cost, it is possible to gather useful information during engine design stage. Development of mathematical modeling enables formulation in analytical models of the phenomena, which cannot be investigated using experimental methods. It is related to the lack of possibilities of the direct model verification, what, nevertheless, does not makes them useless.

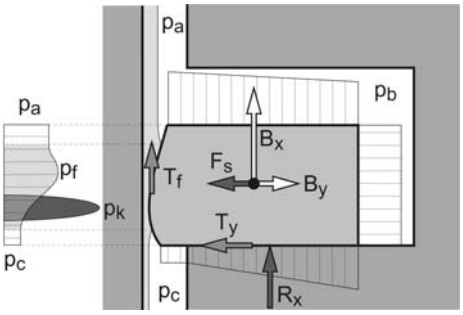
Most frequently axially symmetric mathematical models are used, which reduce analysis of the included effects to two dimensions. Thanks to that, many physical phenomena are easier to be described mathematically. 3-dimensional models are developed from very recently, and their complication ratio forces application of many simplifications and additional assumptions. From this reason, further part of this paper will concentrate on axially symmetric mathematical models.

### 3. Forces acting on the piston ring

Fig. 2 presents initial scheme of forces acting on the exemplary piston ring, which was used as a basis for the development of the axially symmetric mathematical models of the P-R-C assembly.

Basic assumption during preparation of models, which do not consider torsion of the piston rings, is condition of equilibrium of forces in axial and radial direction:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \end{aligned} \qquad (1)$$




*Rys. 2. Schemat sił działających na uszczelniający pierścień tłokowy: $p_a$, $p_b$, $p_c$ - ciśnienie w przestrzeni odpowiednio nad, za i pod pierścieniem, $B_x$, $B_y$ - siła bezwładności pierścienia, działająca odpowiednio w kierunku osiowym i promieniowym, $F_s$ - siła sprężystości pierścienia, $T_f$, $T_y$ -odpowiednio siła tarcia pierścienia o powierzchnię gładzi cylindrowej i półki tłoka, $p_f$, $p_k$ -odpowiednio ciśnienie w filmie olejowym i ciśnienie kontaktu z nierównościami powierzchni, $R_x$ - siła reakcji półki tłoka*

*Fig. 2. Scheme of forces acting on the sealing piston ring: $p_a$, $p_b$, $p_c$ – pressure in volumes correspondingly above, behind and below the ring, $B_x$, $B_y$ – ring inertia forces, acting in axial and radial direction, $F_s$ – ring elastic force, $T_f$, $T_y$ – correspondingly, ring friction forces acting on the cylinder liner surface and piston groove shelf, $p_f$, $p_k$ – correspondingly, oil film pressure and contact pressure with surface irregularities, $R_x$ – reaction force of the piston shelf*

Większość modeli opracowanych na podstawie przedstawionego schematu sił, pomija udział promieniowej siły bezwładności oraz siły tarcia powierzchni pierścienia o powierzchnię półki tłoka. Uzasadnione jest to małą wartością przemieszczeń pierścienia w kierunku promieniowym.

W wielu starszych modelach nie uwzględniano również siły pochodzącej od ciśnienia w filmie olejowym, tworzącym się na gładzi cylindra, zastępując ją reakcją przeciwdziałającą sile ciśnienia gazów działającą w kierunku promieniowym oraz sile sprężystości pierścienia. Siłę tarcia pierścienia o tuleję cylindrowej wyznaczano w tym przypadku z półempirycznego wzoru na siłę tarcia w filmie olejowym, rozdzielającym współpracujące powierzchnie.

## 4. Skręcenia pierścieni tłokowych

W modelach uwzględniających skręcenia pierścieni tłokowych (rys. 3), konieczne jest dodanie warunku równowagi momentów skręcających:

$$\sum M = 0 \tag{2}$$

W bilansie momentów, suma momentów obciążających pierścień tłokowy musi być równoważona momentem oporowym, będącym iloczynem jego sztywności skrętnej i wartości kąta skręcenia jego profilu:

$$\sum M_o = K \cdot \alpha \tag{3}$$

Konieczne staje się dokładne wy-znaczenie punktów przyłożenia poszczególnych sił działających na profil pierścienia tłokowego. Do

Most of the models designed on the basis of the above force schema, skip contribution of radial inertia force and friction force of the ring surface acting on the piston groove shelf. It is justified because of the small movements of the ring in the radial direction. Many older model types did not take into account the force derived from the pressure in the oil film, created on the cylinder surface. This force was substituted by the reaction force counteracting the pressure force of the gasses acting in the radial direction and the elastic force of the piston ring. Friction force of the piston ring against the cylinder surface was obtained using semi-empirical formula for the friction force in the oil film, separating two mating surfaces.

## 4. Torsion of the piston rings

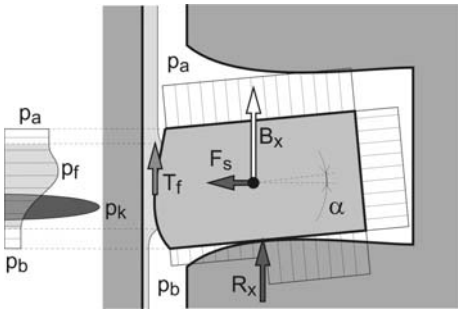
In models which take into account torsion of the piston rings (fig. 3), it is necessary to add equilibrium condition of the torsion torques:

$$\sum M = 0 \tag{2}$$

In the torque balance, the sum of torques acting on the piston ring must be balanced by the resistance torque, calculated as a product of ring's torsional stiffness and the value of torsion angle of its profile.

$$\sum M_o = K \cdot \alpha \tag{3}$$

It becomes necessary to precisely assign points where forces acting on the ring's profile are applied. To designate application




*Rys. 3. Model uwzględniający skręcenie profilu pierścienia tłokowego: α - kąt skręcenia profilu pierścienia, $p_a$, $p_b$ - ciśnienia w przestrzeniach odpowiednio nad i pod pierścieniem, (pozostałe oznaczenia jak na rys. 2)*

*Fig. 3. Model allowing for torsion of the piston ring's profile: α – torsion angle of the ring's profile, $p_a$, $p_b$ – pressure in the volumes correspondingly above and below the ring (other designations as on fig. 2)*

wyznaczenia punktów przyłożenia siły ciśnienia w filmie olejowym, tworzącym się na powierzchni tulei cylindrowej, stosowane jest równanie Reynoldsa dla przepływu jednokierunkowego:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(h^3\frac{\partial p}{\partial x}\right)=6\mu u\frac{\partial h}{\partial x}+12\mu\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (4)$$

Wyznaczany jest rozkład ciśnienia w filmie olejowym w zwilżonym obszarze czoła pierścienia, które zastępowane jest wypadkową, przyłożoną w środku ciężkości pola ciśnień.

Istotny jest również punkt przyłożenia siły kontaktu z nierównościami powierzchni w przypadku występowania tarcia mieszanego.

## 5. Występowanie oleju na powierzchni półki tłoka

W przypadku analizy kąta skręcenia pierścienia tłokowego, przyjęcie skupionej siły $R_x$ reakcji półki tłoka (rys. 3) jest znacznym uproszczeniem. W rzeczywistości półka pokryta jest warstwą oleju (rys. 4), przy wyciskaniu którego powstają siły hydrodynamiczne. W warunkach tarcia mieszanego należy uwzględnić siłę powstającą przy kontakcie z nierównościami powierzchni.

Określenie punktu przyłożenia siły ciśnienia w filmie olejowym jest istotne ze względu na powodowany przez nią moment obciążający pierścień tłokowy. Położenie tego punktu zależy m.in. od szerokości obszaru, na którym pierścień jest zwilżony olejem. Ta z kolei, zależy od kąta skręcenia pierścienia tłokowego i grubości warstwy oleju.

Przy założeniu małego wpływu przemieszczeń promieniowych pierścienia, rozkład ciśnienia w wyciskanym filmie olejowym można obliczyć z uproszczonego równania Reynoldsa:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(h^3\frac{\partial p}{\partial x}\right)=12\mu\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (5)$$

## 6. Uwzględnienie zużywania profilu pierścienia i półki tłoka

W wyniku współpracy powierzchni pierścienia z powierzchnią półki tłoka zmianie ulega kształt profilu tych elementów (rys.5).

Skalę zjawiska można oszacować porównując przykładowe dane zamieszczone w tabeli 1.

Zakładając podobne zużycie współpracujących półek tłoka po 300h pracy silnika (ok. 30 tys. km w warunkach normalnej eksploatacji), wartość nominalnego luzu pierścienia w rowku zostanie podwojona.

Na rysunku 6 przedstawiono model zespołu TPC, uwzględniający zmiany profilu pierścienia i półki tłoka wskutek zużywania.

points of the pressure force in the oil film existing on the surface of the cylinder, Reynold's equation for the unidirectional flow is used:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(h^3\frac{\partial p}{\partial x}\right)=6\mu u\frac{\partial h}{\partial x}+12\mu\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (4)$$

Pressure distribution is calculated in the wetted area of the piston front, which is substituted with the resultant force, applied at the gravity centre of the pressure field.

In case of mixed friction, it is also important to determine the point, where contact force with irregularities of the surface is applied.

## 5. Occurrence of oil on the ring's shelf

In case of torsion angle analysis of the piston ring, acceptance of the concentrated force $R_x$ of the piston shelf reaction (fig. 3) is a considerable simplification. In reality, the shelf is covered with layer of oil (fig. 4), and extrusion of oil produces hydrodynamic forces. In case of mixed friction, it is necessary to consider the force forming during the contact with surface irregularities.

Determination of the application point of the pressure force in the oil film is significant, considering the torque generated by this force, which loads the piston ring. Location of this point depends on the width of the area, where the ring is wetted with oil. This in turn, depends on the torsion angle of the piston ring and the thickness of the oil layer.

Assuming low significance of the radial movements of the ring, pressure distribution in the extruded oil film can be calculated using simplified Reynold's equation:

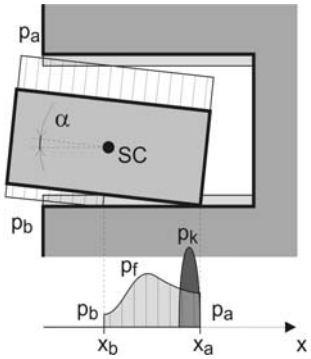
$$\frac{\partial}{\partial x}\left(h^3\frac{\partial p}{\partial x}\right)=12\mu\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (5)$$

## 6. Giving consideration to the ring's and piston shelf's profile

As a result of mating between surfaces of the ring and piston shelf, profiles of these components are changed (fig. 5).

Scale of the phenomena can be estimated by comparison of the data shown in table 1.

Assuming similar wear of the collaborating piston shelves after 300 hours of engine operation (approx. 30.000 km in conditions of normal operation), the value of the nominal ring clearance in the piston groove is doubled. Fig. 6 shows model of the P-R-C assembly, which gives consideration to the profile changes of the ring and piston shelf, resulting from the wear.

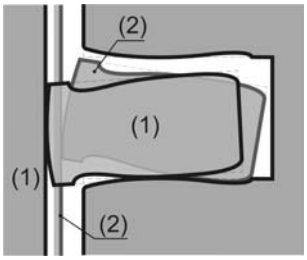



*Rys. 4. Model uwzględniający występowanie warstwy oleju na powierzchni półki tłoka: $x_a$, $x_b$ - granice obszaru zwilżenia powierzchni pierścienia (pozostałe oznaczenia jak na rys. 3)*

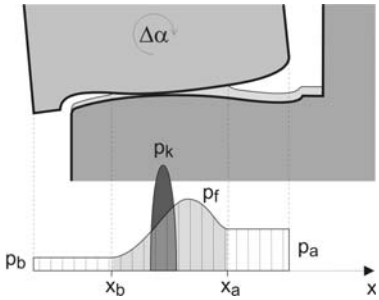
*Fig. 4. Model allowing for oil layer on the ring shelf surface: $x_a$, $x_b$ – boundaries of the area of wetted piston surface (other designations as on fig. 3)*

*Tab. 1. Przykładowe dane wymiarowe*
*Tab. 1. Comparison of the data*

| | |
|---|---|
| *Luz montażowy pierścienia w rowku / Assembly clearance of the ring in the piston groove* | *0,05 mm* |
| *Grubość filmu olejoweg / Oil film thickness* | *2 μm* |
| *Średnia kwadratowa chropowatości powierzchni / Square mean of the surface roughness* | *0,4 μm* |
| *Lokalne zużycie górnej powierzchni pierścienia po 300 h pracy / Local wear of the upper surface of the ring after 300 h of operation* | *do 10 μm* |
| *Lokalne zużycie dolnej powierzchni pierścienia po 300 h pracy / Local wear of the lower surface of the ring after 300 h of operation* | *do 20 μm* |




*Rys. 5. Zużycie pierścienia tłokowego i półki w wyniku ich współpracy: (1) - położenie pierścienia względem tulei cylindrowej i półki tłoka w chwili $t_1$, (2) - położenie tych samych elementów w chwili $t_2$*
*Fig. 5. Wear of the piston ring and piston shelf as a result of their mating: (1) – position of the ring relatively to the cylinder liner and piston shelf at time $t_1$, (2) – position of these components at the time $t_2$*




*Rys. 6. Model uwzględniający zużywanie pierścienia i półki w wyniku współpracy (oznaczenia jak na rys. 4)*
*Fig. 6. Model giving consideration to the wear of the ring and piston shelf resulting from the mutual collaboration (designations as on fig. 4)*

Zjawiskiem koniecznym do uwzględnienia w przedstawionym modelu jest przemieszczanie się punktu kontaktu półki z przylegającym do niej pierścieniem, wraz ze zmianą kąta jego skręcenia. W okolicy tego punktu może dochodzić do kontaktu z nierównościami powierzchni.

Przemieszczaniu się punktu kontaktu wzdłuż profilu półki towarzyszy efekt wyciskania filmu olejowego. Wskutek tego, grubość warstwy oleju zmniejszy się za, a zwiększy się przed pierścieniem, zgodnie z kierunkiem obrotu profilu pierścienia. Opis procesu wyciskania i kumulacji oleju jest niezbędny do ustalenia granic obszaru pierścienia zwilżonego olejem.

The necessary phenomena which has to be included in the described model is the relocation of the contact point of the shelf with adjacent ring, along with the change of the torsion angle. In the vicinity of this point direct contact with surface irregularities can occur.

Relocation of the contact point along the shelf profile is accompanied by the extrusion effect of the oil film. As a result, thickness of the oil layer will decrease behind, and increase before the ring, in agreement with the direction of the ring's profile rotation. Description of the extrusion and oil accumulation processes is indispensable for the estimation of the boundaries of the ring surface wetted with oil.

## 7. References

[1] Koszałka G.: *Modelling the blowby in internal combustion engine, Part 1: A mathematical model*. The Archive of Mechanical Engineering, Vol. LI (2004) No. 2, pp. 245-257.
[2] Niewczas A., Koszałka G.: *Niezawodność silników spalinowych*. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej. Lublin 2003.
[3] Wolff A., Piechna J.: *Numerical simulation of piston ring pack operation.* The Archive of Mechanical Engineering, Vol. L (2003) No. 3, pp. 303-329.
[4] Tian T., Noordzij L. B., Wong V. W., Heywood J. B.: *Modeling piston-ring dynamics, blowby, and ring-twist effects*. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 120, No. 4, pp. 843-854, 1998.
[5] Smoczyński M.: *Analiza położenia powierzchni ślizgowej uszczelniającego pierścienia tłokowego względem tulei cylindrowej.* Rozprawa doktorska. Politechnika Łódzka, 1998.
[6] Tian T., Rabute R., Heywood V. W., Heywood J. B.: *Effects of Piston-Ring Dynamics on Ring/Groove Wear and Oil Consumption in a Diesel Engine*. SAE Paper 970835, 1997.

**Prof. dr hab. inż. Andrzej NIEWCZAS**
**Dr inż. Grzegorz KOSZAŁKA**
**Mgr inż. Mirosław GUZIK**
Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny
Katedra Silników Spalinowych i Transportu
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: a.niewczas@pollub.pl

Jaroslav GREGUŠ

# THE METHODS AND WAY OF UTILIZATION TELEMATICS INTO DECREASE OPERATIONAL COSTS WITH ANALYSES OF PRESENT SITUATION AND CAPACITY OF GOOD TRANSPORT AND OIL TREND PRICES

*The Telematics and Inteligent Transport Systems are very inportant in transport system. Transport Policy put accent on Inteligent Transport System which are integral part of transport within Europe and into whole areas. The mainly function of these described methods is reach by active and coordinate activity accelerated utilization of transport telematics into road haulage. Utilization of telematics it is one of ways how to ensure mobility of vehicles and humankind.*

***Keywords**: economy of transport system, fuel consumption*

## 1. Introdution

In recent of last years was accelarate tempo of development in area of ITS (Inteligent Transport System) as in countries EU like as in intrant countries EU of Middle and East Europe. Tempo of development is concerning to areas of common management transport and systems of transport dates and informations.

I think, that today is no need to persuade leaders or managers, that these informations and the way of utilization these informations they have gold price.

This development is concerning mainly to area traffic control and systems of transport informations and also the way of utilization these information systems.

The White Paper (The white book European Transport Policy for 2010: Time to Decide was authorized in autumn 2001) [4]. In this document you can find, that the main force is put the accent on safety, enviroment and development of transport market. This transport policy is put the accent on ITS. ITS is really very important part of transport within Europe into all areas.

On the base ofresults, obtained from researches, telematics offers to you these purposes:

- maximize utilization of transport capacity, Telematics into logistic,
- increase of safety road transport and decrease of road accident,
- reduction of transport time over navigation system and plans transport route,
- decrease of environmental pollution and decrease of emissions,
- decrease of fuel consumption.

Telematics is shifting nowdays in all types of transport. For each transport company, which is provided cargo transport is important to transport goods in best quality on time. Surelly they would like to meet smallest transportation expenses, to offer best price for their clients. That is requires utilization of sofistic systems, which are help to decrease transport cost over monitoring actual location vehicle, complex planning of routes or possibility to monitoring vehicle operation with aim to reach lowest fuel consumption.

Satellitic monitoring of vehicle has cardinal importance on cardinal decrease of costs over basic way as : transit of vehicle, acceleration of shipment to customers and decrease of the number of spent odd km near searching of customer. An advantage of this monitoring system is ability to respond on possible limitations as breach of route or breach date [1, 2].

## 2. The economy of transport

The biggest influence on total economy transport costs has transport management together with high transport system linked on quality logistic software together with monitoring and informatic system. After that Telematics present not only economy mentioned costs near transport realization and also optimalization traffic flow as well as increase of effects and mobility vehicles, what causes improvement enviromental quality. Professional public is an keeping with fact, that costs which are influenced by other aspects as :

- First costs on vehicle purchase.
- Fuel costs.
- Maintanance costs.
- Selecting of vehicle crew.

And from that reason is decrease of economy fuel costs in transport companies one of the pivot moment success or unsuccess management. Consumption of fuel is spooling from weights of cargo and choised oute of transport and also from motivation vehicle crew.

The whole question of reducing fuel consumption is very extensive and whole fuel consumption affects lot of factors, which has objective and subjective characters.

The consumption of fuel vehicles and mainly road vehicles is most interesting aspect for each producer and customer. And it results from share of fuel price on total transport costs. The mostly part of vehicles is powered by piston engine burned oil products. From this also results need of fine measuring consumption burning engines and also preferably immediate interpretation. Consumption of fuel is no such plan sailling, like you can think at first sight.

## 3. The methods of the measurement of fuel consumtion

The first problem is occuring with view fuel system used by present producers of trucks [3]. The mostly part of vehicle producers used on gas feed to engine chamber – Injector Engine. This type of engine chamber consists of gas feed pump with Bosh feed pump. Standard feed pump is working on this way that by injection is one part of fuel returned back to feed pump. Returned fuel is warmed and foamy.Is it mix of fluid and gaseous state. If you would like to use direct measurement, you should have some problems near by elimination and lot of producers cleared this problem by undirect measurement by used another natural parameters. Each this method of measurement over mediaton pa-

rameters has unfortunately inaccurancy extension. Follows, these problems of measurement fuel consumption were rebounded into delimited possibilities used on direct methods in present.

- Fuel Float.
- Methods of 2 Flows.
- Systen Flowtronic.

Direct Measurement over float show us, true result in case only is car at rest. This way of measurement is excluding this utilizment of this method. Measurement over fuel float rests in shoulder of flow main and overflow valve. Independently this way of measurent is measuring on entrance and out on oil thrower ring. This different of measured parameters is home consumption. This method of measurement near disclosure precision of flow meter by 1% and hydrograpf volume hudnreds of litres fuel is presenting expression error rate -19%, measurand is mixture of liquid and gaseous state of fuel.

System Flowtronic made by company Quickly AG is sparset method of measure fuel consumption. Measurement is connecting on enter on port injector with volumeter and overflow valve. By this way is increasing excessive pressure, what caused lower lifetime of port injector.On the base of experiences from these types of measurement was finishing to proposal direct measurement with such modifications: Between motor filter and port injection we will put by us proposed equipment. This equipment is composing of foam-breaking equipment , water-jacket and volumeter. Engineering solution is protected by patent right. Simply tells, fuel feed with volumeter is connecting with foam-breaking equipment, which is enclosing circulation by suction tube of port injector and radiator bypass. On this way should fuel circulate, which left tankful over jet of port injector.

Nappe fuel is not comming back, but this fuel cools down and this foam was took out and this fuel come up backt to fuel pipe with volumeter. Following connection of this system measurement with adequately measurement of distances and velocity GPS and appropriate software we will meet method of measurement, which I wanted to introduce to you in this my small lecture. Extension and function various measurements of monitored parameters ( fuel consumption, drived km, immediate location is very extensive. Such simple applications can offer to us, shortest or swiftest route, sum up lenght and driving time. These informations are necessary for driver book and also as supports documents for evaluation effects of transport and engine utilization and crew utilization.

Composite and latter systems can form optimal route in respect with importance of stopping places, just not only find suitable route. The base of this system is creating by map documents with utilization of mobile navigating systems and systems inbuilt into cars. In between these systems for planning routes also belongs application on transport optimalization. Near this optimalization is system working not only with space but also with time. After that is creating detailed time frame. In such detailed time frame you can find included period of drivers stopping places on unloadings. This system count on with lot of restrictions like restriction of entry in the concrete plavce, obligation with manipulation with and time between 2 unloadings. These aplications for route planing are executed as modular system. One of these models can be also system for monitoring vehicle position. Actually you can check, if is vehicle moving in according with suggested route and in line with time frame and this analysis model helps to remove depressions and offer to us analysis on vehicles and vehicle crew from time line.

## 4. Summary

The mainly function of these described methods is reach by active and coordinate activity accelerated utilization of transport telematics into road haulage. Utilization of telematics it is one of ways how to ensure mobility of vehicles and humankind. On the present is running monumental proces standardization because of utilization of telematics resources with international character.

## 5. Literature


[1] de Castro E. A.; Rodrigues C.; Esteves C.; da Rosa Pires A.: *The triple helix model as a motor for the creative use of telematics*. Research Policy. Vol. 29, Issue: 2-3, Elsevier Science B.V. 2000.

[2] Kato S.; Tsugawa S.: *Cooperative driving of autonomous vehicles based on localization, inter-vehicle communications and vision systems*. JSAE Review. No 22. JSAE and , Elsevier Science B.V. 2001

[3] Podstanický I., Liščák Š., Droździel P.: *Modern method of fuel consumption measurement in vehicle transport*. Eksploatacja i Niezawodność, nr 1 (25), Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne, Polska Akademia Nauk w Oddział Lublinie, Lublin, 2005.

[4] White Paper: *Preparation of the Associated Countries of Central and Eastern Europe for Integration into the Internal Market of the Union*. COM(95) 163, May 1995.



**Ing. Jaroslav GREGUŠ**

Head of Transport Department
Regional Authority Prešov
Námestie mieru 208001 Prešov, Slovakia
jaroslav.gregus@po.kud.gov.sk

Tomáš LACK
Juraj GERLICI
Vladimír HLAVŇA

# THE VEHICLE COMFORT CASE STUDY

*The paper relates closely to theoretical considerations of vehicle comfort assessment published in the journal Horizonty dopravy – special No. 2006 under the title „ Evaluation of Ride Comfort for Passengers". It can be understood as application of the mentioned theoretical considerations - as a case study. Influence of vibration on a standing and sitting person is assesed in the case study.*

***Keywords**: vehicle, ride comfort, passenger, measurement, assessment, weighting curves, index*

## 1. Introduction

The paper considers only that part of the comfort influenced by the dynamic behaviour of the vehicle. This part of the comfort is described as Ride Comfort or as Comfort. The European standard summarises the relevant works taking into account the effects on ride comfort for passengers from the vibration exposure measured on the car body floor (the simplified method for Mean Comfort evaluation), taking into account the vibration exposure measured on the interfaces (the complete method for evaluation) and taking into account the effects on Ride Comfort for passengers of discrete events (Comfort Discrete Events) and running on curve transitions (Comfort on Curve Transitions).

The quantification of Ride Comfort for passengers is performed through indirect measurements, i.e. measuring and post-processing the relevant parameters (accelerations and angular velocity, they were measured in the carbody). Other types of tests and evaluation, such as a direct test based on the direct assessment of the perceptions of tested passengers, and combined tests including both direct and indirect tests are possible as well, but they are not quantified in [1, 2]. The indirect measurements are classified as simplified or complete if the measurements are taken respectively on relevant points of the carbody floor, or also on the interfaces.

## 2. Case study

Comfort is a complex sensation produced during the application of oscillations and/or inertia forces, via the whole-body transmission caused by vehicle –frame movements. It is defined and measured through comfort indexes as [3, 4]:

⇒ **Mean comfort**: a mean feeling, continuously adjusted, as evaluated through a measurement following the procedures for comfort index $N_{MV}$ and indexes $N_{VA}$ and $N_{VD}$.

⇒ **Comfort on Curve Transition**: discomfort, due to a perceived curve entry or reverse transition, quantified by the recommended procedure indicated as comfort index $P_{CT}$.

⇒ **Comfort on Discrete Events**: discomfort, due to a perceived transient oscillation on a straight track, curves and curve transitions, qualified by the recommended procedure indicated as comfort index $P_{DE}$.

Two methods are available for the assessment of the passenger perception of Mean Comfort:

⇒ A simplified method based on measurement of acceleration on the floor ($N_{MV}$)

⇒ A complete method based on measurement of acceleration at the interface between the passengers and the vehicle ($N_{VA}$ and $N_{VD}$)

There are measured accelerations in the directions of separate coordinate axe $a_x$, $a_y$, $a_z$. We know the measure frequency of $f_n$. On the base of the frequency we state a number of samples which we scan within the time interval of 5 seconds. At the scan frequency of 100 Hz we acquire 200 samples in five seconds. On the base of occurrence samples condition in 5 – second – time interval we divide the complete time of scanning (acquisition of samples) into 5– second – time intervals following each other. Each interval has in time strictly determined its begin $T_1$ and the end $T_2$.

In this way we have stated a number of data blocks. On the base of sampling frequency and time of 5 seconds we determine a number of scans which should be present in the given interval. For a further numerical elaboration it is necessary that this value be a multiple of two. In the case that it is not the above mentioned multiple we substitute it by the nearest higher value which is the multiple of two.

We do the Fast Fourier Transformation (FFT) for a file of data in each time interval defined by $T_1$ and $T_2$.

We do the computation *CAW* for the frequency range from 0.4 Hz to 80 Hz.

We apply the weighting filter w in dependence on the type of evaluation (floor, standing, seated).

$$C = w \cdot (Re, Im)$$

$$C^* = w \cdot (Re, -Im)$$

$$CAW = \sqrt{\frac{\sum_{f=0,4Hz}^{80Hz} \left| C \cdot C^* \right|}{2}} = \sqrt{\frac{\sum_{f=0,4Hz}^{80Hz} \left| w \cdot [\mathrm{Re}, \mathrm{Im}] \times [\mathrm{Re}, (-\mathrm{Im})] \right|}{2}} \quad (1)$$

In a statistical way we evaluate acceleration values modified by the weighting function in corresponding directions and we determine summating functions in histograms.

From the histograms for the values of 95% and 50% of the summating function we find out the acceleration values $aWx_{95}$, $aWy_{50}$, $aWy_{95}$, $aWz_{50}$, $aWz_{95}$.

$$Wx = W_d \cdot W_a = W_{ad}$$

$$Wy = W_d \cdot W_a = W_{ad}$$

$$Wz = W_b \cdot W_a = W_{ab}$$

$$Wd = W_c \cdot W_a = W_{ac}$$

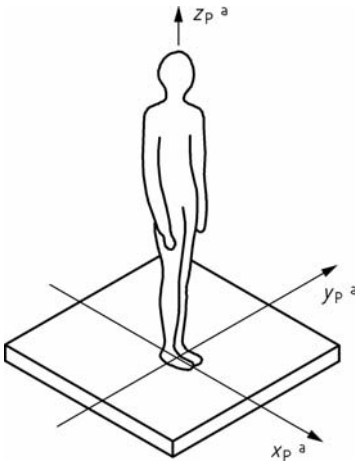



*Fig.1 Standing position*

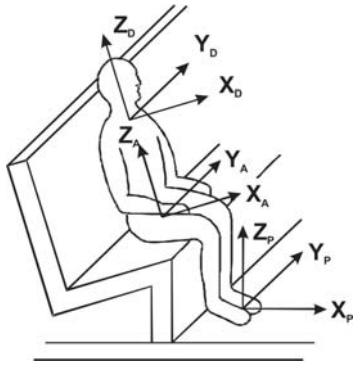
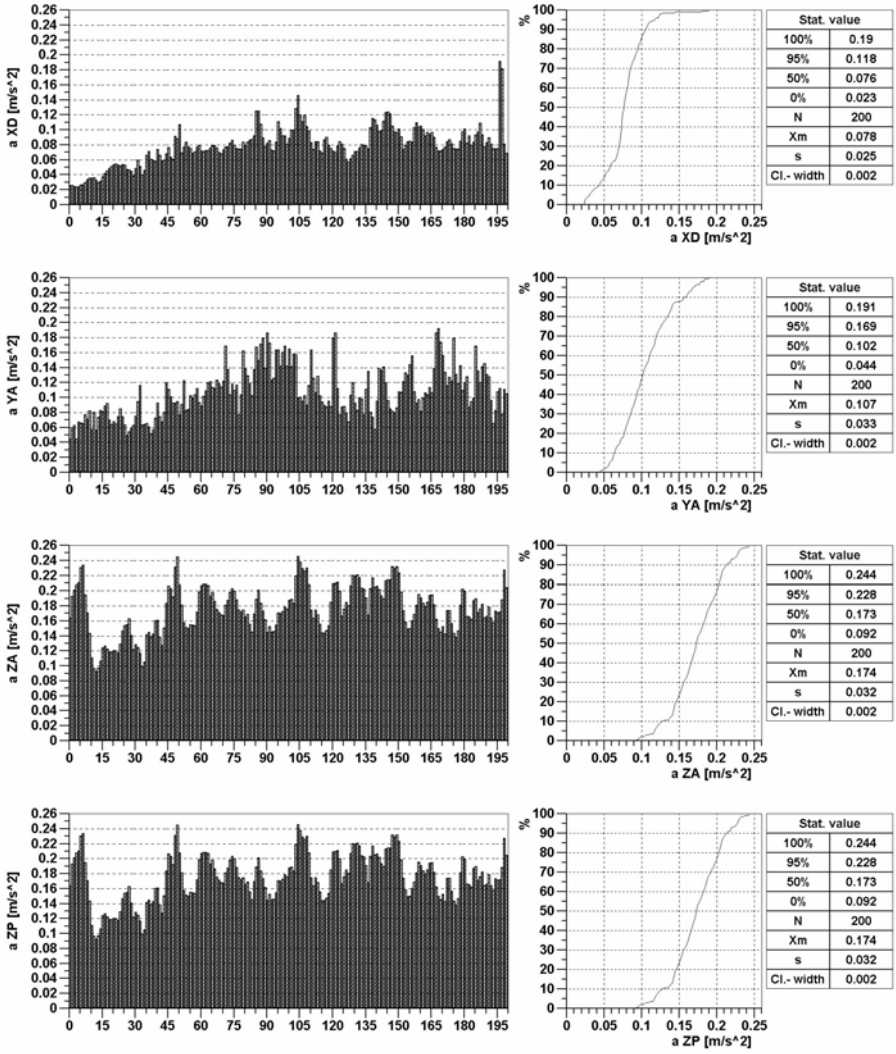



*Fig.2 A sitting person*




$$N_{VA} = 4\cdot\left(a^{W_{eb}}_{ZP95}\right) + 2\cdot\sqrt{\left(a^{W_{ed}}_{YA95}\right)^2 + \left(a^{W_{eb}}_{ZA95}\right)^2} + 4\cdot\left(a^{W_{ec}}_{XD95}\right) = 1.949$$

| | |
|---|---|
| N < 1 | very comfortable, |
| 1 <= N < 2 | comfortable, |
| 2 <= N < 4 | average, |
| 4 <= N < 5 | uncomfortable, |
| N >= 5 | very uncomfortable. |

*Fig. 3. The acceleration spectrum in the coordinates axe directions is depicted. The coordinate systems are connected with sitting person. The right graphs column are histograms with acceleration summating functions, the tables on the right side of the picture contain statistical values of measurements and assessments*

$aWx_{50}$= acceleration value in the direction $x$ multiplied by the weighting function $Wx$ at 50% quantile of the summating function.

We state the final values of ride comfort indexes for passengers from the following formulae.

**Floor**: $N_{MV}$

$$N_{MV} = 6 \cdot \sqrt{aWx_{95}^2 + aWy_{95}^2 + aWz_{95}^2} \quad (2)$$

The other record in accordance with the figure depiction:

$$N_{MV} = 6 \cdot \sqrt{\left(a_{XP95}^{W_{ab}}\right)^2 + \left(a_{YP95}^{W_{ad}}\right)^2 + \left(a_{ZP95}^{W_{ab}}\right)^2} \quad (3)$$

**A standing position**: $N_{VD}$

$$N_{VD} = 3 \cdot \sqrt{16 \cdot aWx_{50}^2 + 4 \cdot aWy_{50}^2 + aWz_{50}^2} + 5 \cdot aWy_{95}^2 \quad (4)$$

The other record in accordance with the figure depiction:

$$N_{VD} = 3 \cdot \sqrt{16 \cdot \left(a_{XP50}^{W_{ab}}\right)^2 + 4 \cdot \left(a_{YP50}^{W_{ad}}\right)^2 + \left(a_{ZP50}^{W_{ab}}\right)^2} + 5 \cdot \left(a_{YP95}^{W_{ad}}\right) \quad (5)$$

**For sitting position**: $N_{VA}$

$$N_{VA} = 4 \cdot aWz_{95} + 2 \cdot \sqrt{aWx_{95}^2 + aWy_{95}^2} + 4 \cdot aWd_{95}^2 \quad (6)$$

The other expression

$$N_{VA} = 4 \cdot \left(a_{ZP95}^{W_{ab}}\right) + 2 \cdot \sqrt{\left(a_{YA95}^{W_{ad}}\right)^2 + \left(a_{ZA95}^{W_{ab}}\right)^2} + 4 \cdot \left(a_{XD95}^{W_{ac}}\right) \quad (7)$$

*Tab.1 Comfort scale*

| | | | |
|---|---|---|---|
| *N<1* | *Very comfortable* | *4≤N<5* | *Uncomfortable* |
| *1≤N<2* | *Comfortable* | *N>5* | *Very uncomfortable* |
| *2≤N<4* | *Medium* | | |

## 3. Conclusion

The aim of comfort evaluation procedures by the indirect method (acceleration measurements) and by statistical evaluation is to achieve a concrete number, a comfort index which, when doing the analysis, takes into consideration the quality of the couple vehicle /track and it is not influenced by subjective feelings of individual passengers.

Vehicle properties from the point of view of comfort have an essential influence on the reliability of vehicle parts which are placed on the vehicle –frame.

## 4. References


[1] Ahokas J., Kosonen S.: *Dynamic Behaviour of Tractor-trailer Combination during Braking*, Biosystems Engineering 2003/86 (LF 1537-5110)

[2] DIN V ENV 12299:1999 Fahrkomfort für Fahrgäste, Messung und Auswertung.

[3] Knothe, K., Wille, R., Zastrau, W., B.: *Advanced contact mechanics – road and rail*. In: Vehicle system dynamics 2001, Vol.35, No4-5, pp. 361-407. Swets & Zeitlinger 2001..

[4] STN. Železnice. Jazdný komfort cestujúcich. Meranie a vyhodnotenie. STN P ENV 12299. 73 6361. Národná predbežná norma preložená z nemeckého originálu Bahnanwendungen- Fahrkomfort für Fahrgäste – Messung und Auswertung, Februar 1999. Apríl. 2001



**********

*The contribution was created within the framework of the project No. 1/3169/06 and in the project No. 1/2116/05, which is supported by the Scientific Grant Agency of the Ministry of Education of the Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences.*

**********



**Ing. Tomáš LACK, Ph.D.**
**Doc. Dr. Ing. Juraj GERLICI,**
**Prof. Ing. Vladimír HLAVŇA, Ph.D.**
University of Zilina
Universitna 1, 010 26 Žilina, Slovakia
e-mail: Tomas.lack@fstroj.utc.sk
e-mail: Juraj.gerlici@fstroj.utc.sk
e-mail: Vladimir.Hlavna@fstroj.utc.sk

Anton FREIWALD

# POSSIBILITIES OF IMPROVEMENT OF AUTOMOBILE ENGINES PERFORMANCE PARAMETERS WITHOUT NEGATIVE IMPACTS ON FUEL CONSUMPTION AND EXHAUST FUMES EMISSION LIMITS

*In its introduction, the article deals with the control unit of the combustion engine – the possibility of the software modification (chip – tuningom). It states the reasons why, since its fabrication, the control unit is not programmed in order to gain the maximum power in the course of gaining the emission norms. The next part contains the brief description of the work in the process of performing the chip-tuning and its possible difficulties. In conclusion, there are the demonstrations of the measurments on two vehicles with a positive result.*

***Keywords***: *power parameters of automobile vehicles, modification of the control unit, emission limits, method of chip – tuning, defficulties of chip – tuning, results of measurments after chip-tuning.*

## 1. Introduction

Improvement of performance parameters of automobile combustion engines is nowadays becoming an actual subject for research and development not only by producers but also by adjustors – i.e. car tuning companies. In this context, the appropriately improved engine power and torsion moment is understood as a factor positively influencing the fuel consumption and at the same time as the factor eliminating production of harmful emissions contained in exhaust fumes.

## 2. The chosen problems of the chip tuning

The process consists in the exchange of EPROM memory, i.e. an electronic memory unit with a serially supplied programme is exchanged for an identical EPROM memory with the programme already modified. Modern engine vehicles are computerized by ECU (Electronic Control Unit) influencing the injected amount of fuel according to the operating condition of the engine. Serial producers have to configure these programmes according to certain criteria with significant reserves. The motor vehicle equipped by these standards must function in the same way e.g. in the Nevada desert and in the Siberian winter. In the program "data field", there must be the space for low quality fuel as well as for hostile operation conditions of the engines, and even for economic efficiency when compared with the concurrence.

Every individual producer optimizes the control unit in order to comply with all regulations valid in the countries where the vehicle shall be used. Except for the two contradictory requirements – high performance of the engine – low fuel consumption, the engine has to correspond with the limits of exhaust fumes as well as different kinds and range of quality of gasoline in particular countries. Therefore, the engine has to be set for the "most favourable" conditions that can occur in the course of using the vehicle. In case, the vehicle is used in a country with a good quality of fuel, the engine can be re-programmed and thus optimized for the conditions it is used in. The control functions are usually designed with reserves and thus the entire engine potential is not used. Nowadays, mechanically identical engines with nearly the same construction and different power variations are offered by almost all producers. The more powerful performance variation of mechanically nearly identical engines, which is usually more expensive, is often achieved by modified software in the control unit.

In the past, the more powerful variations were offered one or two years following the sales start, in order to motivate the existing customers to buy a new vehicle. In this respect, marketing departments considerably influence production and the market. The vehicle maintained regularly disposes of relatively high performance potential; however its economy with fuel is decreased in the course of full performance. This is the reason why the so called tuners are involved in order to secure the considerable enhancement of hierarchic control of all components in the entire engine system. The spectre of influence on the control units consists in the possibilities of the injection characteristics optimalization.

As it can be derived from the name itself, chip tuning is the tuning of micro processor. The effect of chip tuning is not identical with every single engine. The main precondition for a good dynamics of a motor vehicle (vehicle below) consists in the correspondent ratio between the motor power and the vehicle weight. The two types of vehicle – Škoda Octavia and Škoda Felicia – equipped by the engine of 1600 kg and the power of 55 kW can be considered as an example. Škoda Octavia weighing 1300 kg (depends on construction) has the engine power of 55 kW. It follows that 1kg of weight corresponds to 0.04 kW of engine power and vice versa, 1 kW of engine power corresponds to 23,6 kg. In contrast, Škoda Felicia weighing 1000 kg, with the engine power of 55kW has 1 kg corresponding to 0.055 kW and 1 kW corresponding to 18.1 kg. It is therefore obvious that Felicia has a better ratio of engine performance and weight and thus disposes of better dynamics. In Octavia, the higher weight is corrected by better gearing. After tuning, Octavia shall have the engine power e.g. 62 kW, 1 kg of weight thus corresponding to 0.047 kW and 1 kW corresponding to 20.96 kg. However, these parameters are still worse than those of Felicia.

As it follows from the name, chip – memory i.e. control module, tuning – set, tune (as stated above) is tuning of the operation programme of the engine control unit – ECU, which controls the entire engine as well as further functions of the vehicle. The engine is controlled on the ground of the information received from sensors placed in the car (engine temperature, temperature of the air taken in, altitude, lambda probe, speed, engine revolutions, position of the accelerator, the gear shifted etc.). These information constitute "maps" out of which, the unit chooses the needed values according to the values measured. In terms of chip tuning, the interest is called upon the control module containing control programme or data tables. Thus the tables storing the

data on the engine control are modified. According to the type of engine, the maps of advance, fuel, supercharge pressure etc. are modified. The needed parameters are therefore possible to be achieved by the appropriate alteration.

Due to the alteration of these parameters, improvement of the engine power, reduction of the fuel consumption, reduction of exhausts etc. can be achieved.

*In practice, the procedure of a current tuning process is the following*:

- the control unit of the vehicle in entirely good order is dismantled,
- the data of the control unit are calculated and checked,
- according to the type of the control programme, either a debugged or a newly created software pursuant to the customer's demands is used,
- the modified data are saved to the control unit, the control unit being mounted again (the original data are archived in case the new saving to the control unit was needed),
- the control unit is installed into the vehicle,
- the new setting is tested.

Except for the process described above, there exists another method of chip tuning which is possible in case of new control units and which consists in re-programming through the diagnostic port. Such a specialized device enables the modification of software without opening the control unit. This system is used by some of the vehicle services in the process of diagnostics. Of course, within the process they use only the programme which they receive from the producer and which is not modified for improving the performance.

*The complex map of the electronically programmable memory EPROM consists of the following graphs, which are being modified in the course of the control unit adjustment*:

- the graph of a fuel dose injection at partial load,
- the graph of a fuel dose injection at full load,
- the graph of a fuel dose injection at starting the engine,
- the graph of exhaust fumes recirculation,
- the graph of the torsion moment elimination,
- the graph of smoke emission elimination.

*The program menu offers as well:*

- the memory content.
- the memory content in the form of a graph.

## 3. Difficulties of solutions by chip tuning

Adjustment of the engine control unit is an intervention not only to software, but also an indirect intervention to hardware, because the alteration of the engine operation changes the functioning of mechanical parts of the engine. Thence, the "maps" of the EPROM control unit operation module may be modified only after the expiration of the engine guarantee period. Except for this, the car producing companies do not fully approve of this after-production activity, because it does not always bring any positive effect to the model and consequently to the automobile mark as a whole.

*The difficulties in using chip tuning are therefore justifiable as for the point of view of producers, since the companies practicing the modification of control units can be divided into four different quality categories as follows*:

- the first qualitative level includes several companies existing worldwide and having a direct or indirect connection to the producers of control units (Bosch, Marelli, Delphi, Siemens), as a result they know how the particular systems work and how the control unit operating system is built. Upon the information, they know the position of data fields and the function of the control function. These companies then process the relevant data and transfer it to the companies in the second category. They do not directly modify the control units, since they act like data "stores" for processing the programmes needed for the control unit modification,
- the second category includes a number of serious and responsible companies being able of using and modifying the data in order toe achieve the results needed for the adjustment of the control units,
- the third category consists of companies purchasing the already prepared software and changing it in the control units. In some cases, these companies do not seriously fulfil the customer's demands because they do not always re-programme the control unit "made to measure" which can lead to a fast devaluation of the vehicle engine,
- there exists one more category – "sub – standard" companies gaining the software illegally and trying the possibilities of its usage. Due to the developing control systems protection, this category is on decline, as the interchange of software in the control units without the authorized licences is not possible.

The third and the fourth category do not usually comply with the expectations of the automobile producers as far as serious problem solving in the area of EPROM control units operation modules modification. On the other hand, there are also companies who have certain agreements on research tasks in the field of engine operation on the ground of gathering experience in running the vehicles. Such experiences represent the most ideal knowledge about the tuning of programs for the producer who can therefore proceed in further engine control development. The Slovak market is represented by the company Motortech Ružomberok which cooperates with the mark of Seat in a similar way.

## 4. Modification of the engine operation programme while running

In order to provide objective information, two modification processes of engine control with the combination of charging pressure adjustment shall be described on two different vehicles.

**Modification of the MITSUBISHI PAJERO**

**Type of engine, engine cylinder capacity**: 3.2 DI-D, 3200 $cm^3$
**Year of production**: 2001
**Maximum power**: 119kW/3800 $min^{-1}$
**Maximum torsion moment**: 375 Nm/2300 $min^{-1}$
**Fuel, gear unit**: NM, M5
**Limit emissions**: $k_{value.}$ 3.00 $m^{-1}$, SMOKE 73 %
**Combined consumption**: 8.5 l/ 100 km

A power box programmed by the company MOTORTECH Ružomberok was installed in the engine of the tested vehicle behind the engine control unit. Power box is a supplementary control unit modifying the control unit output data. Therefore, it can be understood as a kind of chip tuning on the vehicle engine. Prior to measurements, the power box was deactivated in order to perform the engine testing without control correction using the original parameters from the producer. Afterwards, the power box was activated again and measurements with the corrected

control programme were performed. There were three different measurements performed on the vehicle (emission measurement of free acceleration and engine idling – according to the regulation, emission – performance measurement – on the fourth speed gear) all of these while the power box was off and the same measurements while the power box was on.

Realization of measurements in the power test room MAHA LPS 2000 has shown that the engine performance increased from 125.5 kW to 138 kW, which is not a significant increase under given circumstances, however the torsion moment increased substantially – from 379 Nm to 468 Nm. The measurements of the emission parameters values in particular experiments have shown that the emissions are on higher level as for quality when the power box is on, even in case of measurement of performance in full load, the emissions make up a half of the maximum tolerable value as determined by the producer in engine idling speed ( $k_{value}$1.54 $m^{-1}$, SMOKE 48.5%), therefore the power box with this software is convenient for the correction of engine control in a given vehicle in respect of the ecologically – legal point of view.

In respect of the fact that a vehicle dealt with was equipped with a big capacity engine, the increase of torsion moment considerably decreased fuel consumption from 8.5 l/100 km to 7.6 l/100 km and also improved the running properties of the vehicle.

As a result, it can be expressly stated that the power box disposing of the program of fuel injection control is a positive contribution as for this engine. The question is, however if the construction parts of the driving mechanism of the vehicle are proportioned to such a high torsion moment to avoid its destruction. The question should be answered after one year of the vehicle running.

**Modification of the ALFA ROMEO 156**

**Type of engine, engine cylinder capacity**: 2.4 JTD, 2400 $cm^3$
**Year of production**: 1999
**Maximum power**: 100 kW/4200 $min^{-1}$
**Maximum torsion moment**: 310 Nm/2600 $min^{-1}$
**Fuel, gear unit**: NM, M 5
**Limit emissions**: $k_{value}$. 1.10 $m^{-1}$, SMOKE 38 %
**Combined consumption**: 6.7 l/100 km

The vehicle was imported from Italy, where control unit adjustment was performed and a mechanically adjustable valve for the turbocompressor intake was installed. The valve can regulate the maximum pressure of supercharging to cylinders from 0.9 bar to 1.3 bar. In the course of testing, the controlling software of the vehicle engine control unit was modified several times and the supercharged turbocompressor pressure was set in order to reach the best vehicle parameters in full compliance with the emission limits. In total, 17 measurements at 7 different operation modes, different ways of chip tuning and different charging pressure of the turbocompressor were performed.

*The measurements were realized under the following modification modes:*

1. The control unit (only CU below) is modified by an Italian company, the charging pressure of the turbocompressor is set to the serial value of maximum 0.9 bar (serial pressure of Alfa Romeo).
2. The modification (serial software Alfa Romeo) is uninstalled on the CU, the charging pressure of the turbocompressor is set to the serial value of maximum 0.9 bar (Alfa Romeo serial pressure).
3. The modification (serial software Alfa Romeo) is uninstalled on the CU, the charging pressure of the turbocompressor is set to the value of maximum 1.2 bar.
4. CU is modified by the Slovak company MOTORTECH Ružomberok, the charging pressure of the turbocompressor is set to the serial value of maximum 0.9 bar (Alfa Romeo serial pressure).
5. CU is modified by the Slovak company MOTORTECH Ružomberok, the charging pressure of the turbocompressor is set to the value of maximum 1.1 bar.
6. CU is modified by the Slovak company MOTORTECH Ružomberok, the charging pressure of the turbocompressor is suet toe the value of maximum 1.3 bar (which is the maximum possible setting).
7. CU is modified by another software by the Slovak company MOTORTECH Ružomberok, the charging pressure of the turbocompressor is set to the value of maximum 1.3 bar( which is the maximum possible setting).

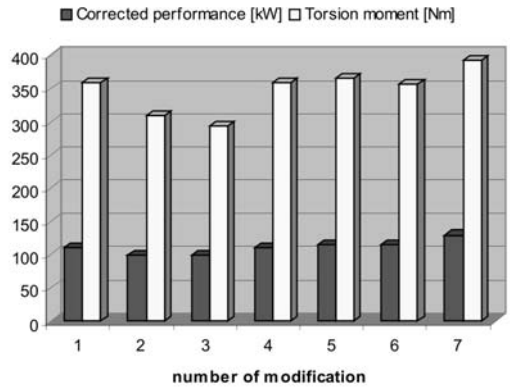



*Fig. 1. Performance parameters of the ALFA ROMEO 156 under different modifications*

As it is evident from the graph 1., the performance parameters of the vehicle have increased due to the modifications. The performance itself increased from 100 kW to 130 kW, except for this, the torsion moment increased from 310 Nm to 394 Nm.

Following all software adjustments of the engine control unit, the values of the maximum emission limits are not exceeded ($k_{value}$. 0.23 $m^{-1}$, SMOKE 9.5 %) being deeply below the maximum permitted value. According to the values measured, the given vehicle is thence fully capable of running even with a modified engine control a charging pressure, as for the ecologically – legal point of view.

Since there were several adjustments made on the vehicle at the same time, and the vehicle was tested afterwards, the combined consumption was found only after the last adjustment. The combined consumption also decreased from 6.7 l/100 km to 6.5 l/100 km. Consequently, it can be assumed that in the course of adjustments 4, 5, 6 the consumption was even lower.

## 4. Conclusions

The conclusion is similar also in this case. The control unit and charging pressure modification for the given vehicle were performed in order to increase the performance parameters as well as to improve the quality of exhaust fumes emissions and to decrease fuel consumption.

## 5. References

[1] An internet website of the company MM racing http://www.mmracing.sk/galeria.html
[2] Růžička, B.: *Jak na tuning automobilu* (*How to do the tuning*), Computer Press, Praha 2003, ISBN 80-7226-468-0.
[3] Wolf, A.: *Tuning automobilov* – diplomová práca, (*Automobile tuning* – diploma work), the University of Žilina, 2003.

**Ing. Anton FREIWALD**
Okružná 693, 022 01 Čadca, Slovakia
Tel.: 041/432 76 40
Mobil: 0903 223 121
E-mail: anton.freiwald@gmail.com, www.soustrojca.sk

Tomas KALINA
Peter PIALA

# EMISSION LIMITS OF INLAND WATERWAY VESSEL ENGINES IN ACCORDANCE WITH EU LEGISLATION

*The problems of legislation of the EU relating to gasseous and particulate pollutants from internal combustion engines installed in non – road mobile machinery deals with directive of the European Parliament and of the Council 97/68/ES reformed with directive 2004/26/ES include inland shipping vessels.*

***Keywords***: *emission, inland shipping vessels, emission elimination, Directive 97/68/EC, Directive 2004/26/EC, non road mobile machineries, diesel engines*

Community programme of policy and action in relation to the environment and sustainable development recognizes as a fundamental principle that all persons should be effectively protected against recognized health risks. One of the way how to eliminate this kind of pollution is to control emission (nitrogen oxide, carbon monoxide), solid particles ("black smoke"), even other greenhouse and acid gas (carbon dioxide, hydrocarbon…)

EC extends the Convention of Long-range, interstate air pollution accepted in July 1982.

The emission elimination is the most effective by harmonization of member countries (EC) law, which are concerned with rules of air pollution caused by non road machineries. Research proves that the transportation belong to one of the biggest polluter. Even if the biggest part of it represents the road transport, the other transportations contribute on it by increasing way, an exception is the railway transport for its electrification. The railway transportation is taken to be the most ecological transportation even with respect of it capacity.

## The aim of directive approvals

The aim of the Directive 97/68/EC is an approximation of member states juridical regulations, which are related to emission regulations and confirmation methods of non-road mobile machinery engines. The Directive 97/68//EC is also renewed by the Directive 2004/26/EC additional about inland water vessels and diesel engines assigned for railway vehicle traction.

The European Parliament and of the Council adopted a principle of two phases of diesel engines certification in accordance with member states can not decline type acceptance allocation of an engine type and can not apply another type acceptance requirements relative to air pollution of non road mobile machineries, in which is installed a diesel engine, if this engine fulfills the directive standards.

The first two phases deal with non-road mobile machineries with exception of vessels, airplanes, locomotives and road mobile machinery (any mobile machine, transportable industrial equipment or vehicle with or without body work, not intended for the use of passenger- or goods-transport on the road), therewith a type acceptance deadline of the last engine category was 31. December 2002. The date of registration allowance and product launched was 31. December 2003.

The European Parliament and of the Council prolonged a type acceptance, registration, and a date of registration allowance processes for two more phases (solved in the Directive 2004/26/EC), for the reason of a further need of an air quality improvement, a new emission reduction technologies existence, limit values correction need on the basis technological development tendencies in USA and launch emission limits need for inland navigation vessels and railway locomotives.

## Determination

Inland waterway vessels are vessels dedicated for inland waterways, that are longer than 20m and their displacement is more than 100m$^3$ specified by following formula 1, or push–tugs designed for towing , pushing or navigation of side arrangement of vessels.

$$L.B.T = displacement\ [m^3] \qquad (1)$$

where: $L$ – max. length of the hull without rudder and stem, $B$ - max. breadth of the hull measured to outer boundary of side plating (except of outer peddle wheels, rubbing stripe, …), $T$ – a vertical distance between the lowest hull, or keel point to max draft

This definition does not require:

- Vessels designed for passenger transportation –not more than 12 passengers except the crew,
- Pleasure boats not longer than 24m,
- Service vessels belonged to supervisory organizations
- Firefighting vessels,
- Military vessels
- Fishing vessels from fishing register community
- Sea ships including, towing and pushing tugs having a mother port in coastal water or operating in this location, having a valid navigation or safety certificate (SOLAS or MARPOL certificate).

## Testing method

The testing method ISO should be used for inland waterway vessel engines, as is specified by ISO 8178 – 4:2002[E] and by IMO MARPOL 73/78.

Arrangements refer to inland waterway vessel engines. Every auxiliary engine with power more than 560kW will have to be suitable with same requirements as for main engines.

## Type approval phase IIIA for propulsion engines used for inland navigation vessels

Member states refuse registration of these engine types:

- V1:1: after 31$^{st}$ December 2005 - engines 37kW or more with 0,9l fuel delivery per stroke or more,
- V1:2: after 30$^{th}$ Jun 2005 – engines with (0,9÷1,2l) fuel delivery per stroke,
- V1:3: after 30$^{th}$ Jun 2005 – engines with (1,2÷2,5l) fuel delivery per stroke or and engines 37kW ≤ V < 75kW,
- V1:4: after 31$^{st}$ December 2006 – engines with (2,5÷5l) fuel delivery per stroke,
- V2: after 31$^{st}$ December 2007 engines with 5l fuel delivery per stroke an more

If an engine does not fulfill the Directive 2004/26/EC requirements and if solid elements and gas emission from the engine does not fulfill limit amounts initiate in table 1.

### Placing on the market

Member states shall only permit placing on the market of new engines, whether or not already installed in machinery, which meet the requirements and type marks of the Directive 2004/26/EC.

For the phases IIIA - inland navigation vessel mengines

- Category V1:1: - 31st December 2006
- Category V1:2: - 31st December 2006
- Category V1:3: - 31st December 2006
- Category V1:4: - 31st December 2006
- Category V2: - 31st December 2006

Emission of carbon monoxide, hydrocarbon mixture, nitrogen oxide and solid elements can not exceed values in phase IIIA. Values are initiated in the tab.1.

The rules do not hold for engines fulfill requirements accepted by Central Commission for the Navigation on the Rhine (CCNR), because CCNR does not accept equivalency between the Directive 2004/26/EC and requirements determined by Mannheim Convention.

Member states can not refuse placing on the market of new engines suiting CCNR requirements.

- Emission limits valid till 30th Jun 2007 are initiated in Table2,
- Emission limits valid from 1st Jul 2007 till next emission limits package by a consequence of the Directive 2004/26/EC changes, Table 3

### Conclusion

Emission limits are not definite yet as emerge from directives. It is expected they will became more strictly with respect to development of new engine construction technologies and development on fuel market. Certain deficiency carry over because requirement equivalency of EC directives and strangers. For example exceptions of engines accepted in accordance with CCNR.

*Tab. 1. Engines and machineries of inland navigation vessels.*

| Category: fuel delivery per stroke/power [SV/P], [litres per stroke/kW] | carbon monoxide [CO], [g/kWh] | Hydrocarbon and nitrogen oxide mixture [HC+$NO_x$], [g/kWh] | Solid elements [PT], [g/kWh] |
|---|---|---|---|
| V1:1 SV <0.9 ; P ≥ 37kW | 5.0 | 7.5 | 0.40 |
| V1:2 0.9 ≤ SV < 1.2 | 5.0 | 7.2 | 0.30 |
| V1:3 1.2 ≤ SV < 2.5 | 5.0 | 7.2 | 0.20 |
| V1:4 2.5 ≤ SV < 5 | 5.0 | 7.2 | 0.20 |
| V2:1 5 ≤ SV < 15 | 5.0 | 7.8 | 0.27 |
| V2:2 15 ≤ SV < 20a | 5.0 | 8.7 | 0.50 |
| V2:3 15 ≤ SV < 20 | 5.0 | 9.8 | 0.50 |
| V2:4 20 ≤ SV < 25 | 5.0 | 9.8 | 0.50 |
| V2:5 25 ≤ SV < 30 | 5.0 | 11.0 | 0.50 |

*Tab. 2. CCNR phases I*

| PN (kW) | CO (g/kWh) | HC (g/kWh) | $NO_x$ (g/k/Wh) | PT (g/kWh) |
|---|---|---|---|---|
| 37 ≤ PN < 75 | 6,5 | 1,3 | 9,2 | 0,85 |
| 75 ≤ PN < 130 | 5,0 | 1,3 | 9,2 | 0,70 |
| P ≥ 130 | 5,0 | 1,3 | n ≥ 2 800 tr/min = 9,2<br>500 ≤ n < 2 800 tr/min = 45 x $n^{(-0,2)}$ | 0,54 |

*Tab. 3. CCNR phases II*

| $P_N$ (kW) | CO (g/kWh) | HC (g/kWh) | $NO_x$ (g/kWh) | PT (g/kWh) |
|---|---|---|---|---|
| 18 ≤ $P_N$ < 37 | 5,5 | 1,5 | 8,0 | 0,8 |
| 37 ≤ $P_N$ < 75 | 5,0 | 1,3 | 7,0 | 0,4 |
| 75 ≤ $P_N$ < 130 | 5,0 | 1,0 | 6,0 | 0,3 |
| 130 ≤ $P_N$ < 560 | 3,5 | 1,0 | 6,0 | 0,2 |
| $P_N$ ≥ 560 | 3,5 | 1,0 | n ≥ 3150 $min^{-1}$ = 6,0<br>343 ≤ n < 3150 $min^{-1}$ = 45 x $n^{(-0,2)}$ −3<br>n < 343 $min^{-1}$ = 11,0 | 0,2 |

### References


[1] DIRECTIVE 97/68/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

[2] DIRECTIVE 2004/26/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

[3] Sosedova,J. et al.: Project VEGA MŠ SR 1/3831/06 Transport – Juridical Conditions of Inland Shipping and their Economic Consequences for Carriers after the Entrance of the Slovak Republic to the European Union, Žilina University, 2006



**Ing. Tomáš KALINA**
**Peter PIALA**

The University of Zilina
Univerzitna 8215/1 Zilina 010 26, Slovakia
e-mail: tomas.kalina@fpedas.utc.sk

Bogdan ANTOSZEWSKI
Wojciech ŻÓRAWSKI

# WPŁYW TECHNOLOGII INŻYNIERII POWIERZCHNI NA ROZWÓJ MOTORYZACJI

# INFLUENCE OF SURFACE TECHNOLOGY FOR EVOLUTION OF MOTORISATION

*W opracowaniu przedstawiono wybrane osiągnięcia z zakresu inżynierii powierzchni mające istotny wpływ na postęp w motoryzacji. W szczególności odniesiono się do rozwiązań stosowanych w silnikach samochodowych szerzej skupiając się na skojarzeniu pierścień tłokowy – tuleja cylindrowa.*

***Słowa kluczowe**: Inżynieria powierzchni, motoryzacja, pierścień tłokowy*

*This paper shows chosen achievements in the area of surface engineering, which significantly influenced on development of motorization. Developments applied in car engines included association of piston ring and cylinder sleeve are shown in details.*

***Keywords**: Surface engineering, motorization, piston ring*

## Wprowadzenie

Motoryzacja jest jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin życia współczesnych cywilizacji. Decydują o tym spełnianie i akceptacja oczekiwań społecznych oraz poszerzający się rynek obszarów dostępności samochodów. Postęp w rozwoju motoryzacji nie byłby możliwy bez rozwoju technologii inżynierii powierzchni. Inżynieria powierzchni jest angażowana w dwóch sytuacjach: pierwsza dotyczy potrzeby zwiększenia trwałości i odporności na działanie różnych czynników, a druga wiąże się z potrzebą obniżenia kosztów wytwarzania wyrobu. Najbardziej efektywne rozwiązania stosowane są w obszarze ochrony przed korozją elementów nadwozia. Współczesne nadwozie posiada elektrochemiczną powłokę cynkową, a coraz częściej stopową cynkowo-metalową Zn-Fe (ok.20%), Zn-Ni (ok.12%), co stanowi doskonałe zabezpieczenie przed korozją i udarami mechanicznymi. Proces nakładania powłok na blachy karoseryjne realizowany jest w automatach galwanizerskich wmontowanych w hutniczy proces technologiczny. Części samochodu odlewane, odkuwane i wytłaczane chronione są powłokami Fe-Co (ok. 1%), Zn-Fe (ok.5%), Zn-Ni (7-12%), komory silnikowe powłokami Fe-Ni, a części układów hamulcowych Zn-Fe.

Stosowanie technologii inżynierii powierzchni umożliwia spełnianie postulatu, że skoro nie każdy fragment detalu jest narażony na duże obciążenia, więc nie koniecznie musi być cały wykonany z tak drogiego materiału. W efekcie takiego podejścia wykonuje się elementy ze stosunkowo tanich materiałów i jednocześnie posiadających w wybranych miejscach odpowiednie warstwy powierzchniowe. Zgodnie z taką filozofią występują powłoki na widełkach synchronizatora skrzyni biegów, trzonkach i grzybkach zaworów silnikowych czy też obudowach alternatora. W dalszej części opracowania uwagę skoncentrowano na niektórych rozwiązaniach technologii inżynierii powierzchni stosowanych w budowie silników spalinowych.

## Introduction

Motorization belongs to the most dynamically developing areas of modern society, which is mainly due to the greater availability of vehicles as well as higher and higher expectations of users. The advances in motorization apparently coincide with the evolution of surface engineering technologies. Efficient solutions are designed and implemented whenever there is a need for increased durability and resistance of vehicle parts and lower production costs. The aims of the close collaboration of surface and automotive industry engineers include better protection of a vehicle body against corrosion and mechanical shocks. This is achieved by applying various coatings such as electrochemical zinc or zinc-metal coatings containing approximately 20% of Zn-Fe or 12% of Zn-Ni.

Generally, the whole body and other metal sheet components are electroplated automatically during the manufacturing process. Other car parts, whether cast, forged or extruded, are coated with Fe-Co (approx. 1%), Zn-Fe (approx. 5%) and Zn-Ni (7-12%). Engine chambers, for instance, require Fe-Ni coatings, while brake system components Zn-Fe coatings.

Elements which are not exposed to high loads as a whole can be made of relatively cheap materials. Special coatings are deposited on areas where better strength and resistance are required. New surface engineering technologies are used to protect, for example, the gear box synchronizer fork, engine valve stems and heads, and automotive alternator casing.

The paper discusses also some of the surface engineering solutions for internal combustion engines.

## Technologie inżynierii powierzchni w silnikach pojazdów samochodowych

Trzy grupy zadań dotyczą inżynierii powierzchni w odniesieniu do silników spalinowych pojazdów samochodowych:

## Surface engineering technologies for motor vehicle engines

Surface engineering tasks aiming at the improvement of internal combustion engine efficiency for motor vehicles can be divided into three groups:

- podwyższenie odporności elementów silnika na zużycie tribologiczne,
- podwyższenie odporności elementów silnika na zużycie korozyjne i kawitacyjne,
- podwyższenie ogólnej sprawności silnika przez podwyższenie sprawności mechanicznej i cieplnej.

Silnik spalinowy jest maszyną termodynamiczną którego sprawność ogólna może być wyrażona jako iloczyn sprawności cieplnej $\eta_c$ i sprawności mechanicznej $\eta_m$. Poprawa sprawności mechanicznej której wartość wynosi 0,75 – 0,9 jest możliwa poprzez zmniejszenie oporów ruchu w układzie tłokowo korbowym oraz w innych układach silnika np. układ zasilania paliwem, układ chłodzenia i inne. Około 30 - 50 % ogółu strat tarcia w silniku zachodzi w węźle tarcia tuleja cylindrowa – pierścienie tłokowe. Stąd największe możliwości zmiany dotyczą elementów tego węzła. Wymagania dotyczące materiałów na tuleje cylindrowe i pierścienie tłokowe są bardzo zróżnicowane (Tabela 1), toteż trudno je spełnić wybierając jeden rodzaj materiału. Dlatego w odniesieniu do tych elementów stosuje się zasadę, że rdzeń materiału zabezpiecza własności wytrzymałościowe, a powierzchnia własności tribologiczne i ochronne.

Dla przykładu ewolucji konstrukcji i technologii pierścienia tłokowego należy uwzględnić następującą sekwencję działań dla osiągnięcia rozwiązania współcześnie optymalnego: - pierścień tłokowy żeliwny lub stalowy, - zahartowany pierścień żeliwny lub stalowy, - pierścień jak wyżej z galwaniczną powłoką chromową, - pierścień jak wyżej z natryskiwaną powłoką Mo, stopu Mo lub twardych związków (np. azotek tytanu) natryskiwanych cieplnie lub nakładanych innymi technikami np. CVD, PVD. Rozwiązaniem alternatywnym do chromowania jest wykonanie na powierzchni uszczelniającej pierścienia powłoki metodą natrysku cieplnego. Znane są przykłady zastosowania tej technologii przez czołowego producenta pierścieni tłokowych firmę Geotze w postaci pierścieni natryskiwanych molibdenem. Rastegar [6] przeprowadził wszechstronne badania przydatności plazmowo i technologią HVOF[1] natryskiwanych pierścieni tłokowych. Oprócz powłok molibdenowych przedmiotem badań były również powłoki z $Cr_2O_3$, $Cr_3C_2$, NiCrAlY. Porównawcze testy tribologiczne wykonane na testerze Camerona – Plinta wykazały, że najmniejsze zużycie pierścieni miało miejsce dla próbek pokrytych $Cr_3C_2$ metodą HVOF, natomiast najniższe zużycie współpracującej z pierścieniem próbki uzyskano dla pierścieni pokrytych stopem molibdenu z żelazem. Mając na uwadze zarówno zużycie pierścienia jak i współpracującej z nim gładzi najkorzystniejszy rezultat osiągnięto również dla pierścieni pokrytych stopem molibdenu z żelazem. Interesujące jest, że według cytowanych badań drugą pozycje pod względem odporności na zużycie zajmują pierścienie z powłoką z $Cr_2O_3$ natryskiwaną plazmowo. Nadspodziewanie dobrze powłoka ta znosiła testy promieniowego rozginania pierścieni. W innych źródłach podaje się informacje o wykorzystaniu metody łukowej do nanoszenia CrN, a w jeszcze innych podkreśla się zalety pierścieni z powłoką TiN nanoszonej metodami PVD [3, 4].

- those increasing the tribological wear resistance of engine elements
- those increasing the corrosive and cavitation wear resistance
- those increasing the total efficiency of an engine by increasing its mechanical and thermal efficiency.

Internal combustion engines are thermodynamic devices whose overall efficiency can be expressed as the product of thermal and mechanical efficiency, $\eta_c$ and $\eta_m$ respectively. An increase in the mechanical efficiency of the order of 0.75-0.9 is possible by reducing the resistance to motion in the crankshaft-piston assembly and other engine systems, including fuel supply and cooling. About 30-50% of the total losses in friction occur in the cylinder sleeve-piston ring pair, thus its modifications are most desirable. As the requirements concerning the materials for cylinder sleeves and piston rings are quite varied (Table 1), they are difficult to meet if only one material is selected. Design engineers need to assume, therefore, that the material matrix is responsible for the element strength whereas the outer layer determines its tribological and protective properties.

Today's optimal design of the piston ring is a result of several improvements to material. First, steel or cast iron was used. Later, these were hardened and chrome plated. Now piston rings are made of hardened steel or cast iron coated with Mo or Mo alloys. Sometimes, coatings containing hard compounds (e.g. titanium nitride) are deposited by thermal spraying or other techniques, such as CVD or PVD. Chrome plating can also be replaced by coatings thermally sprayed over the ring sealing surface. Geotze, the leading producer of piston rings, is known to apply molybdenum coatings.

A detailed report on the suitability of piston rings with plasma- and HVOF-sprayed coatings was produced by Rastegar [6]. Even though the analysis was concerned with molybdenum coatings mainly, it provided results about $Cr_2O_3$, $Cr_3C_2$, NiCrAlY coatings as well. The comparative tribological study conducted with a Cameron-Plint tester shows that the lowest wear is reported for rings coated with HVOF-sprayed $Cr_3C_2$. The lowest wear of the specimen being in contact with the ring is obtained for a ring with a molybdenum-iron alloy coating. If both the ring wear and the wear of the mating bearing surface are considered, the best results are reported for rings coated with a molybdenum-iron alloy. It should be noted that in all the above-mentioned studies, the second position is occupied by rings with plasma-sprayed $Cr_2O_3$ coatings. The coating functioned surprisingly well even when subjected to radial bending. Other sources state that the arc method can be applied to deposit CrN coatings. Still others emphasize the advantages of rings with TiN coatings deposited by the PVD methods [3, 4].

The tests conducted at the Kielce University of Technology focused on the development of a production technology of piston rings with thermally sprayed molybdenum coatings [1]. The thermal spray process can be divided into three stages: melting the material, particle flight and coating formation. Each of the

[1] *HVOF – system natryskiwania cieplnego w którym prędkość gazów w palniku przewyższa prędkość dźwięku*
*HVOF – High Velocity Oxygen Fuel thermal process is a system of thermal spray where gas velocity exceeds the speed of sound*



Table 1. Demanded properties of materials for piston rings and

*Tab. 1. Wymagane własności materiału na pierścienie tłokowe i tuleje cylindrowe.*

| *Wymagania stawiane materiałom na pierścienie tłokowe* | *Wymagania stawiane materiałom na tuleje cylindrowe* |
|---|---|
| *Wytrzymałościowe:*<br>- *wysoka wytrzymałość na zginanie i ściskanie,*<br>- *wysoka granica sprężystości,*<br>- *wysoka wytrzymałość zmęczeniowa,*<br>- *wysoka udarność.*<br>*Dotyczące powierzchni i inne:*<br>- *niski i stabilny współczynnik tarcia przy współpracy z materiałem tulei,*<br>- *dobre własności przeciwzatarciowe,*<br>- *samosmarowość,*<br>- *wysoka twardość,*<br>- *wysoka gładkość powierzchni,*<br>- *skłonność do utrzymywania oleju,*<br>- *dobra zwilżalność olejem,*<br>- *odporność na zużycie tribologiczne i korozyjne,*<br>- *skłonność do szybkiego i prawidłowego docierania się do gładzi cylindrów,*<br>- *dobra obrabialność.* | *Wytrzymałościowe:*<br>- *wysoka wytrzymałość na rozciąganie,*<br>- *wysoka wytrzymałość zmęczeniowa,*<br>- *zdolność tłumienia drgań,*<br>- *stabilność własności przy zmiennych temperaturach i obciążeniach.*<br>*Dotyczące powierzchni i inne:*<br>- *dobre własności przeciwzatarciowe,*<br>- *odporność na zużycie tribologiczne, korozyjne i kawitacyjne,*<br>- *dobra przewodność cieplna zwłaszcza dla silników chłodzonych powietrzem,*<br>- *dobre własności technologiczne w procesie odlewania i obróbki skrawaniem,*<br>- *zdolność do tłumienia drgań.* |

*Tab. 1. Desired properties of the piston ring and cylinder sleeve materials.*

| *Requirements for piston ring materials* | *Requirements for cylinder sleeve materials* |
|---|---|
| *Strength:*<br>- *high bending and compressive strength,*<br>- *high limit of elasticity,*<br>- *high fatigue strength,*<br>- *high impact resistance.*<br>*Surface and other properties:*<br>- *low and stable coefficient of friction when in contact with the sleeve material,*<br>- *good antiseizure properties,*<br>- *self-lubrication,*<br>- *high hardness,*<br>- *high surface smoothness,*<br>- *good lubrication,*<br>- *good oil wettability,*<br>- *resistance to tribological and corrosive wear,*<br>- *susceptibility to quick and correct grinding in to the cylinder bearing surface,*<br>- *good machineability.* | *Strength:*<br>- *high tensile strength,*<br>- *high fatigue strength,*<br>- *damping capacity,*<br>- *stability of properties at chanageable temperatures and loads*<br>*Surface and other properties:*<br>- *good antiseizure properties,*<br>- *resistance to tribological, corrosive and cavitation wear,*<br>- *good thermal conductivity especially for air-cooled engines,*<br>- *good technological properties in the casting and cutting processes,*<br>- *damping capacity.* |

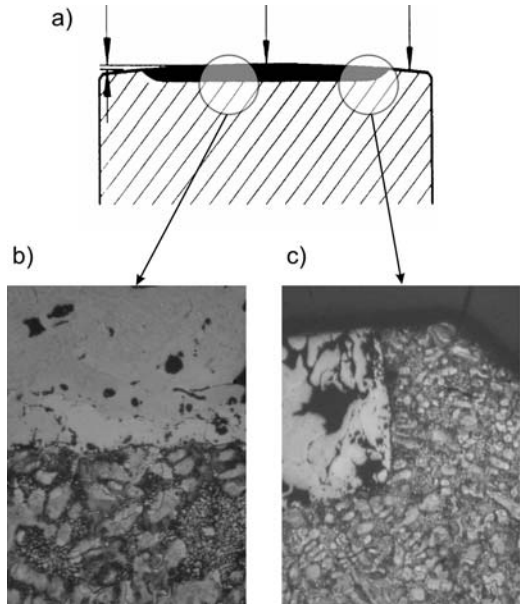
W Politechnice Świętokrzyskiej prowadzono badania nad opracowaniem technologii wytwarzania pierścieni tłokowych z natryskiwanymi cieplnie powłokami molibdenowymi [5]. Proces natryskiwania cieplnego, w wyniku którego otrzymujemy powłokę można podzielić na trzy etapy: topienie materiału, lot cząstki oraz tworzenie się warstwy. W każdym z tych etapów występuje szereg czynników decydujących o właściwościach powłoki. W cytowanych badaniach ograniczono się do określenia wpływu rodzaju płomienia przy natryskiwaniu. Stwierdzono, że najkorzystniejsze własności powłoki pod względem odporności na zużycie osiąga się przy natryskiwaniu płomieniem obojętnym. Zwiększona ilość twardych tlenków powstająca przy natryskiwaniu płomieniem utleniającym osłabia spoistość warstwy, co z kolei prowadzi do wykruszania ziaren powłoki w procesie zużycia. Intensywne wykruszanie ziaren powłoki występuje również przy natryskiwaniu płomieniem redukującym. W tym przypadku uzyskuje się słabą spoistość niezupełnie stopionych ziaren molibdenu. Powłoka natryskiwana płomieniem obojętnym charakteryzuje się występowaniem umiarkowanej ilości twardych tlenków oraz por spojonych dominującymi ziarnami molibdenu. Próby poprawy własności powłoki poprzez jej wygrzewanie w atmosferze argonu przy temperaturze 800 °C przez okres 1 h prowadzą do zmniejszenia się ilości tlenków oraz wyraźnego zmniejszenia porowatości powłoki. Tym zmianom towarzyszy jednak spadek twardości powłoki, co skutkuje zmniejszeniem odporności na zużycie. Uzyskane wyniki przekonują, że wysoka odporność powłok molibdenowych na zużycie jest uzależniona od obecności w strukturze powłoki twardych tlenków molibdenu. Skuteczność pokrycia pierścienia molibdenem badano doświadczalnie poprzez porównanie zużycia tulei cylindrowej współpracującej z omawianym pierścieniem i pierścieniem z powłoką galwaniczną Cr.

Na rysunku 1 przedstawiono fragment przekroju poprzecznego pierścienia tłokowego z zaczernioną powłoką molibdenową. Powłoka molibdenowa o grubości 0,3 mm znajduje się w specjalnie wyprofilowanym kanałku i nie obejmuje całej szerokości pierścienia. Takie usytuowanie powłoki eliminuje możliwość wykruszania się jej krawędzi i zapewnia bardzo

three stages depends on a number of factors, which determine the coating properties.

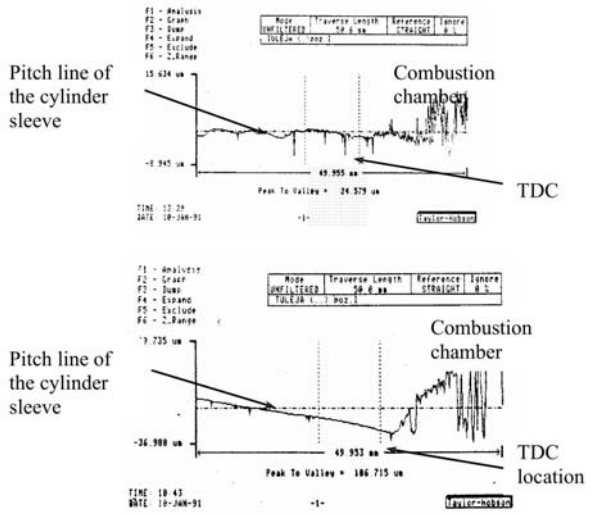
This study discusses only the effect of the flame type. It has been found that the best wear resistance is achieved if the coating is applied with a neutral flame. An increase in the number of hard oxides resulting from the application of an oxidizing flame causes a reduction in the coating cohesion and, finally, grain chipping due to wear. Intensive chipping will be observed also after a reducing flame is used. The poor cohesion must be owing to incomplete combustion of the molybdenum particles. A coating deposited with a neutral flame is characterized by the occurrence of a moderate number of hard oxides and pores interconnected by predominant molybdenum particles. Attempts to improve the coating properties by holding it for 1 hour at a temperature of 800 °C in the presence of argon will result in a smaller number of oxides and far worse porosity. These changes will be accompanied by a decrease in the coating hardness and, consequently, lower wear resistance. The results show that the high wear resistance of a molybdenum coating is conditioned by the presence of hard molybdenum oxides in the coating structure. The efficiency of a molybdenum coating deposited over a ring was studied empirically by comparing the wear of the cylindrical sleeve being in contact with the ring or one co-acting with the chrome plated ring.

Figure 1 shows part of a cross-section of the piston ring with a molybdenum coating (marked in black). The 0.3mm thick molybdenum coating does not cover the whole ring width; it is deposited only over a specially profiled channel, which prevents edge chipping and assures very good adhesion to the substrate. Piston rings for engine 357 obtained by applying this technology were tested in motion with an HWZ-3 test bed. The tests were conducted in accordance with the Polish standard PN-79/1374-04 concerning automotive engines, test bed technologies and reliability tests. In the engine analysis, molybdenum-coated rings were fitted on cylinders 2, 4 and 6 in the piston unit, whereas chrome-plated rings were fitted on cylinders 1, 3 and 5. The tests involved observing the engine operation, controlling the oil consumption and pressure, preparing the engine characteristics,




*Rys. 1. Widok powłoki molibdenowej na pierścieniu tłokowym a) schemat, b) pow. 300X, c) pow. 200X*

*Fig. 1. Piston ring with molybdenum coating: a) scheme, b) mag. 300x, c) mag. 200x*




*Rys.2. Profilogram otoczenia GZP tulei cylindrowej współpracującej z pierścieniem: a) z powłoką molibdenową, b) z powłoką galwanicznego Cr*

*Fig. 2. Profilograpf of cylinder sleeve collaborated with: a) molybdenum coating, b) chrome plating coating*

dobrą przyczepność do podłoża. Wykonane wyżej wymienioną technologią pierścienie do silnika 359 posłużyły do ruchowych prób stanowiskowych na hamowni HWZ-3 . Próby przeprowadzono według normy PN-79/1374-04 „Silniki samochodowe, badania stanowiskowe, badania niezawodności". W badanym silniku w zespole tłokowym na II, IV i VI cylindrze zamontowano pierścienie z powłoką molibdenową, natomiast na I, III i V cylindrze pierścienie chromowane. W trakcie badań prowadzono obserwacje pracy silnika, kontrolowano zużycie i ciśnienie oleju, sporządzano jego charakterystyki oraz próby sprężania w poszczególnych cylindrach. Nie stwierdzono odstępstw od przyjętych norm.

Ocena zużycia gładzi cylindrowej wykonana metodą profilografowania po rozmontowaniu silnika wykazała istotnie różny profil zużycia dla obydwu badanych rodzajów pierścieni tłokowych. Z analizy mikro i makrogeometrii powierzchni gładzi cylindrowej po próbie stanowiskowej wynika, że zużycie tulei w otoczeniu górnego punktu zwrotnego (GPZ) jest do sześciu razy mniejsze dla tulei współpracującej z pierścieniami pokrytymi powłoką molibdenową niż dla tych które współpracowały z pierścieniami chromowanymi.

Ewolucja konstrukcji tulei cylindrowych w zakresie inżynierii materiałowej prowadzi od stosowania żeliwa szarego przez stopowe do stali hartowanej i azotowanej, aż do tulei wykonanych ze stopów aluminium (Al.-Si). Powierzchnie wewnętrzne niektórych współczesnych tulei cylindrowych natryskiwane są cieplnie proszkami na bazie żelaza. Uzyskana powłoka po obróbce ma grubość 70 – 150 μm, porowatość 2%, zawartość tlenków 2% i twardość $HV_{0,3}$ 350-650. Takie rozwiązanie gwarantuje bardzo dobre własności tarciowe głównie dzięki wykorzystaniu cech smaru stałego jakie posiadają tlenki żelaza tworzące się w procesie natrysku [2, 5].

and testing compression in each cylinder. No departure from the standard was reported.

The cylinder bearing surface wear was measured by means of a profilograph after dismantling the engine. The results show that the wear profile for the two types of piston rings differs. The micro- and macroanalyses of the cylinder bearing surface after the bed test show that the wear in the top dead centre (TDC) location is up to six times smaller for a sleeve mating with molybdenum-coated rings than for one cooperating with chrome plated rings.

The evolution of the cylinder sleeve design has been possible thanks to the advances in materials science and engineering. Sleeves made of grey cast iron were replaced by ones made of alloy cast iron, then hardened and nitrided steel, and, finally, of aluminum alloys (Al-Si). The inner surface of some of the modern cylinder sleeves is coated with thermally sprayed iron-based alloy powders. The coating after machining is 70 – 150 μm in thickness, its porosity being 2%, oxide content 2%, and hardness $HV_{0.3}$ 350-650. This solution guarantees very good friction properties relating to the formation of iron oxides during the spray process acting as solid oil [2, 5].

## Podsumowanie

Opierając się na analizie podanych przykładów należy zauważyć, że zachodzący postęp w motoryzacji był możliwy dzięki rozwojowi inżynierii powierzchni. Rozwiązania powstałe dzięki tej technologii wielokrotnie zwiększyły trwałość elementów pojazdów i wydłużyły przebiegi pomiędzy naprawami głównymi. Jednocześnie obserwuje się stymulujące oddziaływanie techniki motoryzacyjnej na rozwój inżynierii powierzchni. Takie współdziałanie w niedalekiej przyszłości umożliwi pracę silników na wyższych parametrach i pozwoli wyeliminować kolejne „słabe" punkty.

## Conclusion

Studying the selected examples, one can notice that the development of motorization has been possible thanks to the advances in surface engineering. Numerous successfully implemented solutions have resulted in better durability of motor vehicle components and longer failure-free performance periods. The needs of the automotive industry stimulate surface engineers to invent better materials and more efficient technologies. The results of this cooperation will include better operation parameters of engines and further elimination of weak points.

## References


[1] Antoszewski G.: *Własności laserowo i plazmowo modyfikowanych ślizgowych węzłów tarcia na przykładzie uszczelnień czołowych*. Politechnika Świętokrzyska Seria Monografie 17 Kielce 1999.

[2] Barbezat G.: *The State of the art of the internal plasma spraying on cylinder bore in AlSi cast alloys*. Journal of Automotive Technology, Vol2, pp.47-52.

[3] Han D., Lee J.: *Analisis of the piston ring lubrication with a new boundary condition*, Tribology International 31(12), 1998.

[4] Kaźmierczak A.: *Wybrane kierunki działań tribologii w silniku spalinowym,* Zagadnienia Eksploatacji Maszyn Z.3(123) 2000.

[5] Vander Kolk G.J. , Hieke A., Hurkmans T., Tobler M., Lieblich J.: *Carbon–based coatings used for high loaded automotive parts* – Inżynieria Powierzchni nr 2/2005.

[6] Rastegar F.: *Ring Coatings for a low Heat Rejection Engine*. 11th ITSC Orlando USA 1992.



**Dr hab. inż. Bogdan ANTOSZEWSKI, prof PŚk**
**Dr inż. Wojciech ŻÓRAWSKI**

Katedra Inżynierii Eksploatacji
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Politechnika Świętokrzyska
25-314 Kielce ul. Al. 1000-lecia PP 7
e-mail: korba@tu.kielce.pl, ktrwz@tu.kielce.pl