SPIS TREŚCI

Karol NADOLNY, Zbigniew CHMIELEWSKI, Jan NIKONIUK

Prognozowanie trwałości silnika spalinowego na podstawie zmian własności fizykochemicznych oleju silnikowego
Forcasting durability of ic engine on the basis of changes of physical and chemical properties of engine oil 5

Vladimír JURČA, Tomáš HLADÍK

Maintenance data evaluation 15

Tomasz KOPECKI, Jan ZACHARZEWSKI

Trwałość zmęczeniowa oraz analiza stanu naprężenia cienkiej płyty ze szczeliną w warunkach cyklicznego rozciągania
Fatigue life and stress state analysis of cracked thin-walled plate under cycles axial tension 19

Paweł LONKWIC, Jerzy LIPSKI

Ocena wpływu stopnia zużycia rowków linowych na wartość emisji sygnału akustycznego
Assessment of influence of degree waste rope grooves on value of emission of acoustic signal 27

Mariusz WALCZAK, Jarosław BIENIAŚ, Barbara SUROWSKA

Wielowarstwowy układ tytan – powłoka zol-żel – porcelana dentystyczna do zastosowań w protetyce stomatologicznej
Multilayered system titanium – sol-gel coating – dental porcelain in dental prosthetics applications 35

Bartosz ŁUKASIK, Florin BREABAN, Mirosław WENDEKER, Pierre BOULET

Laser scanning vibrometry applied to evaluate the quality of valve plates in LPG injection system ... 41

Leonas Povilas LINGAITIS, Gediminas VAIČIŪNAS

Determining the efficient service life of traction rolling stocks 45

Jacek HUNICZ, Eliasz WAC, Jerzy KABAŁA

Badania porównawcze nowych konstrukcji świec zapłonowych
Comparative Research of New Designs of Spark Plugs 51

Grzegorz DZIENISZEWSKI, Wiesław PIEKARSKI

Wybrane problemy zasilania silników Diesla nisko przetworzonym olejem rzepakowym
The selected problems of feeding Diesel engines with low-processed rape oil 58

Boleslav KADLEČEK, Ladislav PEJŠA, Miroslav RŮŽIČKA, Miroslav SVÍTEK, Tomas TVRZSKÝ

The possibilities of electronic toll's utilization in relation to environment conservation and road safety 66

NADOLNY K., CHMIELEWSKI Z., NIKONIUK J.: **Prognozowanie trwałości silnika spalinowego na podstawie zmian własności fizykochemicznych oleju silnikowego**; EiN nr 3/2006, s. 5-14.
W pracy przedstawiono nową metodę prognozowania trwałości układu tłok-pierścienie-cylinder (TPC) silnika spalinowego w oparciu o obserwowane zmiany własności fizykochemicznych eksploatowanego oleju silnikowego. Dotychczas stosowane metody oceny trwałości skojarzenia TPC wymagały zebrania informacji o chwilach osiągnięcia stanu granicznego układu bądź wykorzystywały modele kinetyki zużycia opracowane na podstawie badań przyspieszonych obiektów rzeczywistych. W zaproponowanej metodzie do oceny trwałości tulei cylindrowych silnika wykorzystuje się informacje pochodzące z badań eksploatowanego w silniku oleju. Przebieg zmian zaproponowanego wskaźnika intensywności zmian lepkości kinematycznej oleju w temperaturze $100^0C - C_{V100}$ pozwala oszacować trwałość skojarzenia TPC silnika spalinowego. Uzyskaną wartość pozytywnie zweryfikowano z wykorzystaniem metody prognostycznej związanej z kryterium technicznym opartym na ocenie intensywności zużycia.

NADOLNY K., CHMIELEWSKI Z., NIKONIUK J.: **Forcasting durability of ic engine on the basis of changes of physical and chemical properties of engine oil**; EiN nr 3/2006, s. 5-14.
The paper presents a new method of forecasting the durability of piston-rings-cylinder (PRC) liner assembly of the internal combustion engine on the basis of observed changes of physical and chemical properties of engine oil. Methods used so far for the durability evaluation of the PRC group required collecting information about the moments when the assembly reached its boundary state or used kinetic models of wear designed using accelerated research of real objects. In the proposed method, for the evaluation of durability of engine cylinders information gathered form engine oil is used. Course of changes of the proposed index of change intensity of kinematic viscosity at the temperature of 100 °C – C_{V100} allows for evaluation of the durability of PRC assembly of an IC engine. Obtained value was positively verified using forecasting method related to the technical criteria based on the assessment of the wear intensity.

JURČA V, HLADÍK T: **Maintenance data evaluation**; EiN nr 3/2006, s. 15-18.
The paper briefly describes and demonstrates the possibilities of processing, utilization and evaluation of computer maintenance system based data with the aim of increasing of quality and effectiveness of maintenance system. The data in the example were obtained from machine works which uses computer maintenance management for last three years. The presented example is focused on evaluation of maintenance records from point of view of maintenance management system. An emphasis is put on continuous corrections of the maintenance system resulting in its improvement and elimination of weak points.

KOPECKI T., ZACHARZEWSKI J.: **Trwałość zmęczeniowa oraz analiza stanu naprężenia cienkiej płyty ze szczeliną w warunkach cyklicznego rozciągania**; EiN nr 3/2006, s. 19-26.
Przedmiot badań stanowi cienka, prostokątna płyta ze szczeliną o grubości 0.7mm poddana cyklicznie zmiennemu obciążeniu rozciągającemu. Wskutek tego rodzaju obciążenia następuje propagacja szczeliny w czasie, aż do osiągnięcia długości krytycznej. W trakcie obciążania obserwuje się w obszarze szczeliny zjawisko lokalnej utraty stateczności, zwane marszczeniem konstrukcji (wrinkling). W wyniku, w obszarze szczeliny oprócz wywołanego rozciąganiem błonowego stanu naprężenia pojawia się stan giętny. Nie pozostaje to bez wpływu na proces propagacji szczeliny, rozkład naprężeń na jej froncie, a w konsekwencji na trwałość zmęczeniową.. Celem niniejszej pracy jest jakościowa i ilościowa analiza wspomnianych powyżej zjawisk, zmierzająca do określenia krytycznej długości szczeliny, a tym samym trwałości zmęczeniowej konstrukcji. Płyta wykonana jest z poliwęglanu o znanych: charakterystyce natychmiastowej oraz właściwościach polaryzacyjno-optycznych. Równolegle z badaniami doświadczalnymi przeprowadzono obliczenia numeryczne metodą elementów skończonych mające na celu określenie rozkładu naprężeń w warunkach wyboczenia, począwszy od szczeliny o długości 30mm oraz dla dalszych zaawansowanych stanów deformacji. W celu rozwiązania geometrycznie i fizycznie nieliniowego zadania wykorzystano procedurę Riksa w programie ABAQUS. Obliczenia przeprowadzono dla trzech stanów deformacji odpowiadających długościom szczeliny: 30mm, 50mm, 70mm.

KOPECKI T., ZACHARZEWSKI J.: **Fatigue life and stress state analysis of cracked thin-walled plate under cycles axial tension**; EiN nr 3/2006, s. 19-26.
The object of investigation constitutes rectangular, cracked thin-walled the plate subjected to axial cycles tension. As a result of such loading follows the crack propagation in time, all the way to critical length achieve. In the middle of cycles changing tension the plate sustains the local buckling (wrinkling), as a result apart of membrane stress appears bending state as well. Growth of the crack length in time causes increasing of wrinkling area. It has an influence on the value of the stress, and in result on the speed of crack propagation and fatigue life. The purpose of the paper is qualitative and quantitative analysis of above described phenomene, since assumed an initial length to the critical value.
The plate is made of polycarbonate, known of instantaneous characteristics and photo-elastics properties. At the same timewerede termineted, numerical calculations of critical loading and stress distribution in the buckling state, for initial crack 30mm and the next steps of deformation were det. Contemporaneous to experiments, numerical calculation were executed by FEM method. For the purposethe the geometricallynonlinear problemswas applied the Riks procedure by using ABAQUS program. Computations were carried out for three phases of deformation, at three next lengths of the crack: 30mm, 50mm, 70mm. Forms of deformation and effective stress distribution are presented.

LONKWIC P., LIPSKI J.: **Ocena wpływu stopnia zużycia rowków linowych na wartość emisji sygnału akustycznego**; EiN nr 3/2006, s. 27-34.
W artykule przedstawiono wpływ stopnia zużywania się rowka koła ciernego dźwigu elektrycznego na stopień emisji sygnału wibroakustycznego. Do celów badawczych został wybudowany specjalny szyb dźwigowy, imitujący dźwig o napędzie ciernym, który został wyposażony w dwa czujniki akustyczne oraz dwa czujniki wibracyjne. W czasie badań wykonano szereg pomiarów mających na celu uwidocznieni problemu zawartego w temacie opracowania.

LONKWIC P., LIPSKI J.: **Assessment of influence of degree waste rope grooves on value of emission of acoustic signal**; EiN nr 3/2006, s. 27-34.
The article presents the effect of frictional wheel rope groove wear degree in an electric on the vibrating-acoustic signal degree. For research purposes a special lift shaft was built, imitating a frictional-drive. It was equipped with two acoustic and two vibration sensors. During the studies a range of measurements was performed in order to reveal the problem contained in the subject of this paper.

WALCZAK M., BIENIAŚ J., SUROWSKA B.: **Wielowarstwowy układ tytan – powłoka zol-żel – porcelana dentystyczna do zastosowań w protetyce stomatologicznej**; EiN nr 3/2006, s. 35-40.
W pracy przedstawiono rezultaty badań powłok przejściowych SiO_2-TiO_2 nanoszonych na podłoże tytanowe metodą zol-żel oraz napalanej niskotopliwej porcelany dentystycznej Triceram. Analizowano mikrostrukturę połączenia powłok zol-żel i wykonano badania przyczepności warstwy ceramicznej w oparciu o normę PN-EN ISO 9693. Na postawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie powłok przejściowych zol-żel pomiędzy metalem podłoża: tytanem i jego stopem Ti6Al4V ELI a porcelaną dentystyczną powoduje wzrost wytrzymałości połączenia od 25% do 28% w porównaniu do metalu bazowego poddanego jedynie konwencjonalnej obróbce-piaskowania. Uzyskany układ kompozytowy metal – powłoka pośrednia zol-żel – porcelana spełnia wymagania jakościowe stawiane implantom stomatologicznym umożliwiając podniesienie ich jakości, trwałości i wytrzymałości i może być stosowany w laboratoriach stomatologicznych.

WALCZAK M., BIENIAŚ J., SUROWSKA B.: **Multilayered system titanium – sol-gel coating – dental porcelain in dental prosthetics applications**; EiN nr 3/2006, s. 35-40.
In this work the results of the study of SiO_2-TiO_2 intermediate coatings on titanium substrate, produced by sol-gel method and low-fusing Triceram dental porcelain were presented. The microstructure of joint sol-gel coatings and adhesion tests of ceramic coatings according to PN-EN ISO 9693 standards were examined. The above studies led to the conclusion that the application of sol-gel intermediate coatings between metal substrate: titanium and Ti6Al4V ELI alloy and dental porcelain cause the increase of bond strength of metal-porcelain joint from 25% to 28% in comparison with metal substrate after sand blasting conventional treatment. The obtained metal – intermediate coating sol-gel – porcelain composite structure met the qualitative demands of dental implants enabling increasing their quality, durability and strength and may be used in the dental laboratories.

ŁUKASIK B., BREABAN F., WENDEKER M., BOULET P.: **Laser scanning vibrometry applied to evaluate the quality of valve plates in LPG injection system**; EiN nr 3/2006, s. 41-44.
The article presents the basics of laser vibrometry and basics of introducing LPG injection system into ordinary car engine. It also shows examples of research results conducted using laser vibrometry in order to evaluate the quality of LPG injection bus. All the measurements where taken using Polytec vibrometer and this article presents the principles of conducting research using this equipment.

LINGAITIS L. P., VAIČIŪNAS G.: **Determining the efficient service life of traction rolling stocks**; EiN nr 3/2006, s. 45-50.
To maintain and renew traction rolling stocks, the causes of their deterioration which are closely connected with operational conditions should be identified. For this purpose, such parameters of rolling stocks as the performed work, speed, acceleration, mass, etc. should be properly determined. The first objective is to develop mathematical models to evaluate integrated criteria describing the deterioration of freight and passenger locomotives from technical and economical perspectives. The second goal is to compare the main criteria describing the process of deterioration of freight and passenger locomotives and the respective differences in the strategies of their renewal. Fuel consumption, engine oil consumption and terminal delays due to off-schedule locomotive maintenance were investigated. Each of these parameters may be used to determine the locomotive state (quality) from a particular perspective.

HUNICZ J., WAC E., KABAŁA J.: **Badania porównawcze nowych konstrukcji świec zapłonowych**; EiN nr 3/2006, s. 51-57.
W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań porównawczych świec zapłonowych według opracowanej procedury. W ramach badań określono zdolność świec zapłonowych do zainicjowania spalania w ekstremalnych warunkach oraz zdolność świec zapłonowych do samooczyszczania izolatora. Analizie poddano trzy zestawy świec zapłonowych: świece standardowe z jedną elektrodą boczną, świece U-super, z rowkiem w elektrodzie bocznej oraz świece ze specjalnie zmodyfikowanym izolatorem. Na podstawie przeprowadzonych badań określono wpływ zmian konstrukcyjnych na parametry eksploatacyjne świec zapłonowych.

HUNICZ J., WAC E., KABAŁA J.: **Comparative Research of New Designs of Spark Plugs**; EiN nr 3/2006, s. 51-57.
The paper presents chosen results of spark plugs comparative research which was done according to a newly elaborated procedure. The research project covered analysis of ignition feasibility under extreme conditions and ability to burn out carbon and combustion chamber deposits from the insulator. Three types of spark plugs were examined: standard spark plug with single ground electrode, U-super with groove in a ground electrode and special design with modified shape of an insulator. Influence of proposed design modifications on working parameters was established on the grounds of the research.

DZIENISZEWSKI G., PIEKARSKI W.: **Wybrane problemy zasilania silników Diesla nisko przetworzonym olejem rzepakowym**; EiN nr 3/2006, s. 58-65.
Przedstawiono własności nisko przetworzonego (tzw. surowego) oleju rzepakowego pod kątem stosowania do napędu silników spalinowych. Opracowano koncepcję układu dwupaliwowego dzięki, któremu możliwa jest prawidłowa praca silnika zasilanego olejem rzepakowym. Zaprezentowano dotychczasowe wyniki badań trakcyjnych i laboratoryjnych. Wskazano na problemy techniczne i prawne stosowania oleju rzepakowego do napędu pojazdów.

DZIENISZEWSKI G., PIEKARSKI W.: **The selected problems of feeding Diesel engines with low-processed rape oil**; EiN nr 3/2006, s. 58-65.
The properties of low-processed (the so called 'raw') rape oil in view of its use for combustion engines feeding were presented. A concept of a bi-fuel system was worked out enabling the correct working of an engine fed with rape oil. The results obtained so far in traction and laboratory tests were presented. The technical and legal issues connected with rape oil use for vehicle driving were pointed out.

Boleslav KADLEČEK B., PEJŠA L., RŮŽIČKA M., SVÍTEK M., TVRZSKÝ T.: **The possibilities of electronic toll's utilization in relation to environment conservation and road safety**; EiN nr 3/2006, s. 66-71.
Current electronic toll should start to play the important role not only in charging for the road use but it is chance to use it as the promoting element in environment conservation and road safety activities. The paper describes the toll system proposal that instead of to a usual way of vehicles' per kilometre charging takes into account harmful environmental impacts and road safety as well. The purpose of proposal is charging according to every specific vehicle's harmful environmental impacts and road safety per particular road section. The proposal is recently researched and results of a theoretical analysis are presented in the paper that includes the basic experimental engine's evaluation and telematic part.

Dr inż. Andrzej KAMIŃSKI, Eur Ing

1948-2006

Żegnamy naszego serdecznego kolegę, członka Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego, przewodniczącego Komisji Audytowania Eksploatacji, uczynnego i wrażliwego człowieka, otwartego na potrzeby innych ludzi, twórczego, pełnego inicjatyw i jakże skutecznego w działalności zawodowej w obszarze kolejnictwa w kraju i zagranicą. Kompetencje zawodowe i znajomość języków obcych pozwalały Mu na łatwe i szerokie nawiązywanie kontaktów osobistych i oficjalnych.

Był między innymi dyrektorem Biura Współpracy z Zagranicą w Dyrekcji Generalnej PKP (przez 2 lata), dyrektorem Sekretariatu Prezydenta Międzynarodowego Związku Kolei UIC w Paryżu (przez 2 lata), członkiem Rady Nadzorczej Europejskiego Instytutu Kolejnictwa ERRI w Utrechcie (przez 3 lata), członkiem Podkomisji 45 A „Wagony osobowe" Międzynarodowego Związku Kolei UIC (przez 4 lata). Od stycznia 2003 r. był ekspertem niemieckiego Federalnego Urzędu Kolejnictwa (EBA) w Bonn w zakresie badania pojazdów szynowych pod względem ochrony przeciwpożarowej.

Tę szeroką działalność zagraniczną poprzedzały wieloletnie badania i zdobyte doświadczenia krajowe, w szczególności w zakresie bezpieczeństwa w kolejnictwie. Przez trzy lata pracował w Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa na stanowisku zastępcy dyrektora do spraw badań i rozwoju.

W ostatnich latach podjął działalność gospodarczą tworząc spółkę AFK International oraz wchodząc w spółkę z Rail Consult Polska.

Przy swoich jakże czasochłonnych obowiązkach zawodowych znajdował czas na aktywne uczestnictwo w inżynierskim i naukowym środowisku specjalistów transportu. Był członkiem SITK, PNTTE, Sekcji Technicznych Środków Transportu Komitetu Transportu PAN.

W roku 1971 ukończył studia na Wydziale Chemii Politechniki Warszawskiej, a następnie uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Inżynierii Lądowej tej uczelni. Był też stypendystą rządu USA (FULBRIGHT) w Ośrodku Systemów Transportowych Departamentu Transportu w Cambrige (Mass.). Od r. 1991 uzyskał tytuł inżyniera europejskiego (Eur Ing) nadany prze EFANI. Opublikował 78 prac naukowych, prezentował 56 referatów na seminariach i konferencjach oraz opracował 14 patentów.

Środowisko Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego głęboko poruszone śmiercią Doktora Andrzeja Kamińskiego wyraża podziw dla Jego osobowości i twórczej drogi życiowej oraz dla Jego dorobku służącemu ludziom i gospodarce transportowej. Cześć Jego pamięci.

Eugeniusz Olearczuk

NAUKA I TECHNIKA

Karol NADOLNY
Zbigniew CHMIELEWSKI
Jan NIKONIUK

PROGNOZOWANIE TRWAŁOŚCI SILNIKA SPALINOWEGO NA PODSTAWIE ZMIAN WŁASNOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH OLEJU SILNIKOWEGO

FORCASTING DURABILITY OF IC ENGINE ON THE BASIS OF CHANGES OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF ENGINE OIL

W pracy przedstawiono nową metodę prognozowania trwałości układu tłok-pierścienie-cylinder (TPC) silnika spalinowego w oparciu o obserwowane zmiany własności fizykochemicznych eksploatowanego oleju silnikowego. Dotychczas stosowane metody oceny trwałości skojarzenia TPC wymagały zebrania informacji o chwilach osiągnięcia stanu granicznego układu bądź wykorzystywały modele kinetyki zużycia opracowane na podstawie badań przyspieszonych obiektów rzeczywistych. W zaproponowanej metodzie do oceny trwałości tulei cylindrowych silnika wykorzystuje się informacje pochodzące z badań eksploatowanego w silniku oleju. Przebieg zmian zaproponowanego wskaźnika intensywności zmian lepkości kinematycznej oleju w temperaturze100^{0}C – C_{V100} pozwala oszacować trwałość skojarzenia TPC silnika spalinowego. Uzyskaną wartość pozytywnie zweryfikowano z wykorzystaniem metody prognostycznej związanej z kryterium technicznym opartym na ocenie intensywności zużycia.

Słowa kluczowe: *trwałość silnika, prognozowanie, badania eksploatacyjne*

The paper presents a new method of forecasting the durability of piston-rings-cylinder (PRC) liner assembly of the internal combustion engine on the basis of observed changes of physical and chemical properties of engine oil. Methods used so far for the durability evaluation of the PRC group required collecting information about the moments when the assembly reached its boundary state or used kinetic models of wear designed using accelerated research of real objects. In the proposed method, for the evaluation of durability of engine cylinders information gathered form engine oil is used. Course of changes of the proposed index of change intensity of kinematic viscosity at the temperature of 100 °C – C_{V100} allows for evaluation of the durability of PRC assembly of an IC engine. Obtained value was positively verified using forecasting method related to the technical criteria based on the assessment of the wear intensity.

Keywords: *engine durability, forecasting, operational research*

1. Wstęp

Przy opracowywaniu nowych jednostek napędowych do pojazdów samochodowych coraz większą uwagę zwraca się na ich trwałość w założonych warunkach eksploatacji. Trwałość jako element ogólnie pojętej jakości wyrobu często determinuje decyzję

1. Introduction

During automotive engine design phase more and more attention is paid to its durability in complex conditions of operation. Durability as a component of generally understood quality of the product, very often determines decision of the future owner regarding se-

potencjalnego użytkownika o wyborze właśnie tej konstrukcji czy modelu. Istnieje zatem potrzeba oceny trwałości wyrobu – pojazdu, silnika lub innych elementów – by rzetelnie przedstawić jego zalety. W przypadku pojazdu samochodowego elementem istotnym z punktu widzenia jego trwałości jest układ tłok-pierścienie-cylinder (TPC) silnika napędowego. Zużycie tego układu decyduje o osiągnięciu przez silnik stanu granicznego (SG) [1]. Zużycie układu TPC utożsamiane jest przede wszystkim ze wzrostem wewnętrznej średnicy tulei cylindrowej. W miarę jej wzrostu następuje nie tylko utrudniony rozruch czy spadek możliwej do uzyskania mocy silnika – kryteria techniczne SG – ale także wzrost zużycia paliwa i oleju silnikowego. Wzrost zużycia oleju, przy surowych normach dotyczących toksyczności spalin, powoduje, że dany silnik (pomimo spełnienia innych kryteriów) nie nadaje się już do dalszego użytkowania – kryteria ekonomiczne i ekologiczne SG.

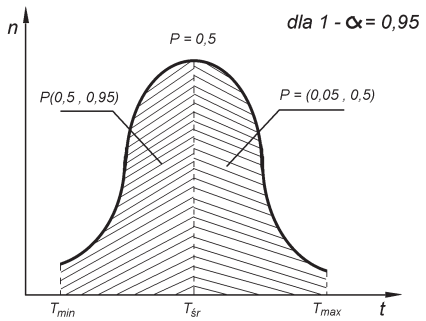
Z punktu widzenia możliwości oceny trwałości skojarzenia tarciowego (obiektu technicznego) rozpatrywane mogą być dwa warianty metodyczne [2]:

1. Dokonuje się analizy czasu pracy obiektu (np. układu TPC) do osiągnięcia stanu granicznego. Dysponując wynikami badań dla dostatecznie dużej, jednorodnej populacji obiektów można wyznaczyć dla dowolnej chwili czasu t rozkład zużyć z uwzględnieniem zużycia średniego, maksymalnego i minimalnego. Szczególnym czasem eksploatacji jest chwila osiągnięcia przez układ zużycia dopuszczalnego warunkującego osiągnięcie stanu granicznego, odpowiadającemu trwałości obiektu. Rejestracja chwil osiągania stanu granicznego pozwala na wyznaczenie trwałości średniej $T_{śr}$ minimalnej T_{min} i maksymalnej T_{max} dla danej populacji. Tego typu metoda (a'posteriori) w przypadku układu TPC jest trudna do zastosowania. Badania te pozwalają na ustalenie charakterystyk funkcyjnych i liczbowych (punktowych i przedziałowych) z określonym prawdopodobieństwem. Są one jednak kosztowne i długotrwałe, a uzyskane wyniki badań dają się przenosić na podobnej klasy

lection of given construction or model. There is also a need to assess durability of the product – vehicle, engine and other components – so as to reliably present its advantages. In case of an automotive vehicle, a component very important taking into account car's durability is a piston-rings-cylinder (PRC) assembly. Wear of this assembly directly influences reaching by the engine its boundary state (SG) [1]. Wear of the PRC group is mostly identified with the increase of the internal diameter of the cylinder liner. As the diameter increases, engine start becomes more difficult and engine delivers less power – these are technical criteria of boundary state SG. Moreover, engine consumes more fuel and lubricating oil. Increase in oil consumption, with severe regulations concerning exhaust emissions, results in the fact, that the engine (even fulfilling other criteria) can not be used any longer – these are economic and ecologic criteria of SG.

Considering possibilities of durability evaluation of the frictional couple (of the technical object), two methodical variants can be considered [2]:

1. An analysis of object's operation time (e.g. PRC assembly) till reaching boundary state. Having results of research for sufficiently high, homogenous population of objects, it is possible to estimate for any time moment t wear distribution taking into account average, maximum and minimum wear. A particular time of operation is the moment when the system reaches boundary wear, conditioning boundary state which corresponds to the durability of the object. Recording the particular moments of reaching boundary state allows for establishing the average durability $T_{śr}$, minimum T_{min} and maximum T_{max} for the given population. This method (a'posteriori) in case of PRC assembly is difficult to realize. Such type of research allows for determination of numerical and functional characteristics (point and range) with given probability. This method is however costly and time consuming, and obtained results can be transferred on objects of similar class only with certain approximation. Fig. 1 presents



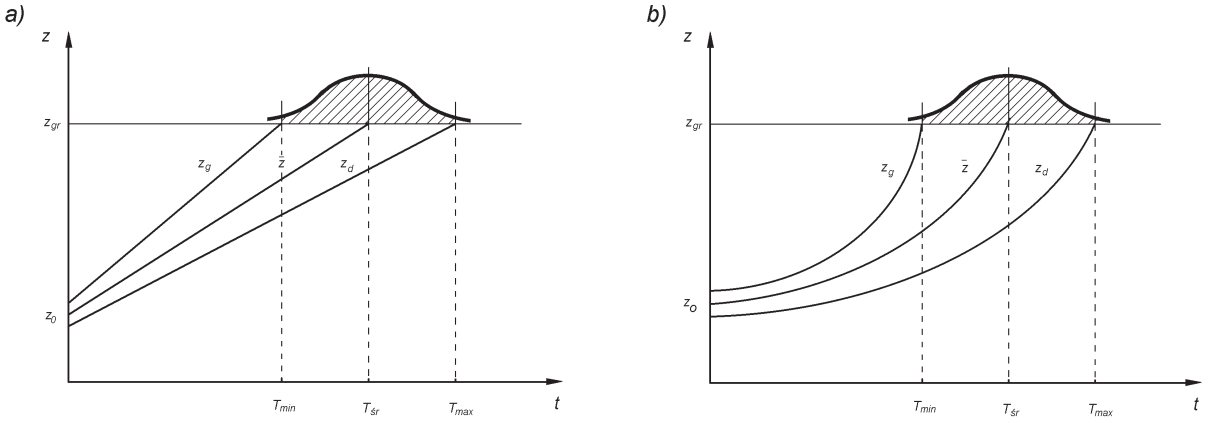
Rys. 1. Sposób wyznaczania trwałości metodą a'posteriori
Fig. 1. Determination of durability using a'posteriori method

obiekty tylko z pe-wnym przybliżeniem. Sposób określania trwałości obiektu z wykorzystaniem tej metody przedstawia rys.1.

2. Druga z metod pozwala na znaczne skrócenie badań oraz stwarza możliwości prognozowania trwałości a'priori. W przypadku tej metody badania prowadzone są w czasie krótszym od resursu danego obiektu. Na podstawie analizy kinetyki indywidualnych realizacji procesu zużycia dokonywana jest ocena tendencji przebiegu zjawiska (otrzymujemy modele teoretyczne). Wykorzystując informacje dotyczące stanu granicznego, dokonuje się oceny trwałości obiektu. Warunkiem poprawności przeprowadzonej oceny jest wyznaczenie tendencji wartości średniej zużycia jak też możliwych w rzeczywistości realizacji minimalnej i maksymalnej procesu dla wybranego poziomu istotności lub ufności. Tego typu doświadczalno – teoretyczne metody oceny trwałości należą do metod badań przyspieszonych, gdyż z założenia nie wymagają prowadzenia prób do czasu osiągnięcia przez obiekt stanu granicznego. Uzyskane informacje o kinetyce zmian charakterystyk zużycia (modele kinetyki zużycia) pozwalają je wykorzystać do prognozowania trwałości na podstawie teoretycznych modeli niezawodnościowych rozkładu czasu poprawnej pracy. Ideę prowadzenia tego typu oceny przedstawiono na rys.2a, 2b.

the determination of object's durability using the method described above.

2. Second of methods allows for significant shortening of research time and creates possibility to forecast durability a'priori. In case of this method, research is done in a shorter time than object's service life. It includes an analysis of individual realizations of wear process and estimation of tendencies in the course of phenomena (theoretical models are obtained). Having information regarding boundary state, an assessment of object's durability can be done. The condition of correctness of the estimation is the calculation of tendencies of average wear and possible minimum and maximum values for the given confidence level. This theoretically-experimental methods of durability estimation belong to the group of accelerated research, as – from the assumption – they do not require any tests till the object reaches its boundary state. Gathered information about the kinetics of changes of wear characteristics (models of wear kinetics) allow for forecasting durability on the basis of theoretical reliability models of the distribution of correct time of operation. The idea of such type of assessment is shown on figs. 2a, 2b.



Rys. 2. Ideowy schemat oceny trwałości obiektu metodą a'priori
Fig. 2. Schematic presentation of durability assessment using a'priori method

2. Istota metody

Stosowane dotychczas metody oceny trwałości skojarzenia TPC wymagają prowadzenia badań aż do chwili osiągnięcia stanu granicznego obiektu (metody a'postriori), bądź też wymagają ingerencji w układ tribologiczny celem oszacowania resursu prawidłowej pracy obiektu np.: mikrometraż, metoda sztucznych baz, metody izotopowe. Przedstawiona poniżej nowa metoda eliminuje te wady.

2. Essence of the method

For the evaluation of the durability of the PRC assembly, methods used so far require research till the object reaches its boundary state (methods a'posteriori), or require intervention in the tribological system so as to determine object's regular service time, e.g. micro measurements, method of artificial bases, isotopic methods. A new method described below eliminates these disadvantages.

Do oceny trwałości tulei cylindrowych silnika wykorzystuje bowiem informacje pochodzące z badań eksploatowanego w silniku oleju. Spełnia on ważne funkcje tworząc z silnikiem system tribologiczny [3]. Zmiany własności fizykochemicznych oleju wynikają z oddziaływania systemu i wiążą się nierozerwalnie z jego stanem technicznym tj. zużyciem tulei cylindrowych. Spośród elementów systemu tribologicznego TPC olej silnikowy podlega najszybszym zmianom na poziomie makroskopowym, a jego wybrane wskaźniki fizykochemiczne spełniają wymogi sygnału diagnostycznego. Prezentowana metoda oceny trwałości tulei cylindrowych silnika w swych założeniach przeznaczona jest do wykorzystania przez szerokie grono użytkowników nie dysponujących bogatym zapleczem technicznym i diagnostycznym. Wykorzystuje zatem okresową wymianę oleju w silniku, prowadzoną w ramach obsług technicznych, do zebrania informacji o:

1) parametrach oleju świeżego,
2) parametrach oleju przepracowanego,
3) czasu eksploatacji oleju w silniku.

Na podstawie tych danych można określić wartość wskaźnika intensywności zmian własności oleju C_w (1):

$$C_w = \frac{W_p - W_k}{t_{ol}} \quad \text{dla } t > 0 \qquad (1)$$

gdzie: W_p – wartość mierzonego wskaźnika oceny stanu oleju dla oleju świeżego, W_k – wartość mierzonego wskaźnika oceny stanu oleju dla oleju przepracowanego (w chwili wymiany), t_{ol} – czas pracy oleju w silniku do wymiany, C_w –wskaźnik intensywności zmian własności oleju.

Wskaźnik ten niesie ze sobą uśrednioną informację na temat intensywności oddziaływania silnika na olej. Nie uwzględnia okresowych zmian wartości mierzonego parametru oleju, lecz odzwierciedla długotrwałą tendencję obserwowanych zmian. Okresowe zmiany kontrolowanego wskaźnika mogą wynikać m.in. z faktu stosowania dolewek na skutek ubytków oleju (wycieki, spalanie). Szczegółowa analiza zmian wartości wskaźnika w takim przypadku wprowadzałaby zafałszowania w uzyskiwanej informacji diagnostycznej. Długotrwała obserwacja wartości wskaźnika oceny stanu oleju i zaobserwowane w ten sposób jego zmiany pozwalają sądzić, że przyczyną takich zmian są procesy zużyciowe zachodzące w silniku. Graficzną interpretację tych zjawisk przedstawiono na rys.3.

Krzywe 1, 2, 3,...,n obrazują zmiany obserwowanego wskaźnika oceny stanu oleju W_{ol} w czasie między wymianami t_1, t_2, t_3,..., t_n oleju. Szczegółowa analiza chwilowych wartości wskaźnika dla czasów t_{11}, t_{12}, t_{21}, t_{22},..., t_{n1} i wyliczone na tej podstawie chwilowe wartości wskaźnika intensywności zmian własności

For the durability evaluation of cylinder liners information gathered from engine oil is used. Engine oil has important function forming with the engine a tribological system [3]. Changes in physical and chemical properties of oil result from the influence of the system and are strictly related to its technical condition, i.e. wear of cylinder liners. Components of the tribological system PRC influence engine oil, which is subject to most rapid changes on the macroscopic level, and its chosen physical and chemical indexes fulfill requirements for diagnostic signals. The method of durability evaluation of engine cylinders presented here, in general assumption is designed for the use by a wide group of users who do not have sufficient technical and diagnostic resources. Therefore oil exchange service can be used to gather information about:

1) parameters of new oil,
2) parameters of used oil,
3) oil operation time in an engine

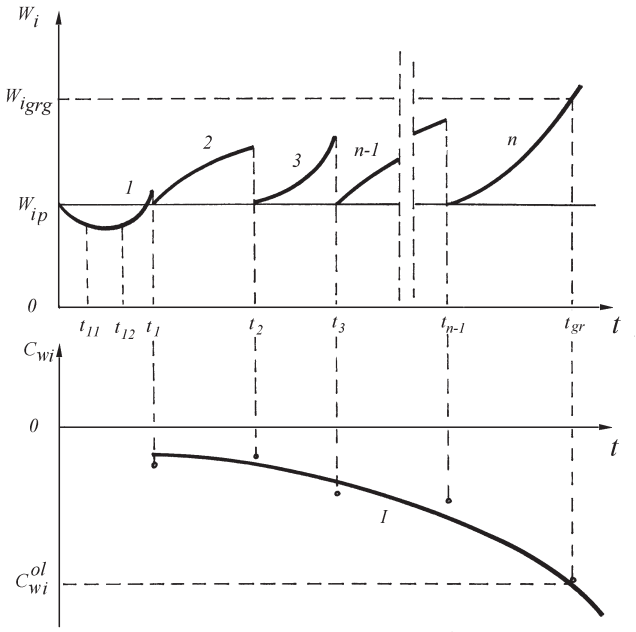
On the basis of above data it is possible to determine value of index of change intensity of oil properties C_w (1):

$$C_w = \frac{W_p - W_k}{t_{ol}} \quad \text{for } t > 0 \qquad (1)$$

where: W_p – value of the measured index of oil technical condition for the new oil, W_k – value of the measured index of oil technical condition for the used oil (at exchange), t_{ol} – oil operation time in the engine (till exchange), C_w – index of change intensity of oil properties.

This index brings averaged information about intensity of engine impact on the oil. It does not take into account periodic changes in the value of measured oil parameter, and reflects long term tendency in observed changes. Periodic changes of measured index can result from, among others, the fact of topping up oil as a effect of oil loss (leaks, combustion). Detailed analysis of index changes in such case would lead to erratic evaluation of diagnostic information. Long term observation of index of change intensity of oil properties and observed its changes allow to conclude, that the reason of these variations are wear processes occurring in the engine. Graphic interpretation of described phenomena is shown on fig. 3.

Curves 1, 2, 3, ..., n represent changes of observed index of oil technical condition W_{ol} in the time between oil changes t_1, t_2, t_3,..., t_n. Detailed analysis of momentary index values for the time points t_{11}, t_{12}, t_{21}, t_{22},..., t_{n1} and calculated on this basis momentary values of index of change intensity of oil properties $C_{w.ch}$ do not carry any important diagnostic information in the sense of technical condition – engine wear. They result from



Rys. 3. Graficzna interpretacja zmian wskaźnika oceny stanu oleju w czasie: W_p – początkowa wartość wskaźnika stanu oleju, W_{k1}, W_{k2},..., W_{kn} – końcowa wartość wskaźnika stanu oleju w chwili 1, 2,..., n wymiany oleju, t_1, t_2,..., t_n – chwile wymiany oleju w silniku, C_w – wskaźnik intensywności zmian własności

Fig. 3. Graphic interpretation of changes in the index of change intensity of oil properties: W_p – preliminary index value, W_{k1}, W_{k2},..., W_{kn} – end value of index of oil technical condition at the moment 1, 2,..., n of oil change, t_1, t_2,..., t_n – moments of oil change in the engine, C_w – index of change intensity of oil properties

oleju $C_{w\,ch}$ nie niosą ze sobą ważnych informacji diagnostycznych w aspekcie stanu technicznego – zużycia silnika. Są bowiem wynikiem oddziaływania wymuszeń chwilowych bądź krótkotrwałych na silnik (zwiększenie obciążenia, przeprowadzona obsługa techniczna, itp.) lub bezpośrednio na olej (dolewka świeżej porcji, zanieczyszczenia z zewnątrz na skutek uszkodzenia filtra, itp.). Jednak analiza zmian własności w dłuższym cyklu badawczym (tj. od wymiany do wymiany oleju) pozwala zaobserwować długotrwałą tendencję zmian – krzywa I. Wartości wskaźników C_{w1}, C_{w2}, C_{w3},..., C_{wn} wykazują tendencję malejącą (wynikającą ze wzrostu wartości końcowej obserwowanej własności oleju względem jej wartości początkowej W_{k1}, W_{k2},..., $W_{kn} > W_p$) co wskazuje na intensyfikację zmian zobrazowanej własności oleju wraz z przebiegiem silnika. Tego typu zmiany mogą być tylko wynikiem zużycia układu TPC i wynikającego stąd większego oddziaływania silnika na olej. Konsekwencją tego jest szybsza zmiana jego własności fizycznych i chemicznych odzwierciedlona w zmianie wartości wskaźnika C_w. Na rys. 6.3. oznaczono też chwilę osiągnięcia granicznej wartości obserwowanego wskaźnika. Stanowi ona punkt przecięcia krzywej *I* z wartością odpowiadającą dolnej dopuszczalnej wartości wskaźnika intensywności zmian własności oleju C_w. W tym przypadku wartość ta związana jest z osiągnię-

the influence of momentary or short term inputs acting on the engine (increase of load, technical service) or directly on the engine oil (topping up new oil, outside impurities resulting from filter damage). However analysis of changes in the longer research period (between oil changes) permits to observe long term tendency of changes – curve I. Values of indexes C_{w1}, C_{w2}, C_{w3},..., C_{wn} show decreasing tendency (resulting from the increase of end value of observed value of the measured index of oil technical condition in comparison to its initial value W_{k1}, W_{k2},..., $W_{kn} > W_p$) what indicates intensification of changes of a given oil property along the engine mileage. Changes of this type can be only result of PRC assembly wear and higher influence of the engine on the oil. In consequence, more rapid changes of oil physical and chemical properties which take place are reflected in changes of C_w index. Fig. 3 shows also marked position of index boundary value. It is a intersection of curve I with the value corresponding to the lower permissible value of index of change intensity of oil properties C_w. In this case, it is related to the reaching of the upper permissible value of observed index of oil condition W – value resulting from accepted criteria of boundary state. In situation, when value of the observed index of oil condition decreases (W_{k1}, W_{k2},..., $W_{kn} < W_p$), reaching boundary state will result from crossing

ciem górnej dopuszczalnej wartości obserwowanego wskaźnika oceny stanu oleju W – wartość wynikająca z przyjętych kryteriów stanu granicznego. W sytuacji gdy wartość obserwowanego wskaźnika oceny stanu oleju maleje ($W_{k1}, W_{k2},..., W_{kn} < W_p$) osiągnięcie stanu granicznego wynikać będzie z przekroczenia górnej wartości granicznej wskaźnika C_w związanej z dolną dopuszczalną wartością dla obserwowanego wskaźnika oceny stanu oleju W.

Na rysunku 3 przedstawiono hipotetyczną realizację (zmiany wartości wskaźnika oceny własności oleju) odnoszącą się do pojedynczego eksploatowanego obiektu (silnika).

W rzeczywistości dla każdego indywidualnego obiektu z badanej próby z populacji otrzymuje się wyniki rozproszone. Stąd zależność opisująca zmienność wskaźnika intensywności zmian własności w populacji może być tylko zależnością stochastyczną – korelacyjną.

Obszar rozproszenia ograniczają funkcje regresji $C_{wi\,max}$ i $C_{wi\,min}$ odpowiadające górnej i dolnej granicy przedziału ufności. Konkretne wartości zależą od arbitralnego przyjęcia poziomów ufności (dla celów technicznych 0,9; 0,95; 0,99) – rysunek 4.

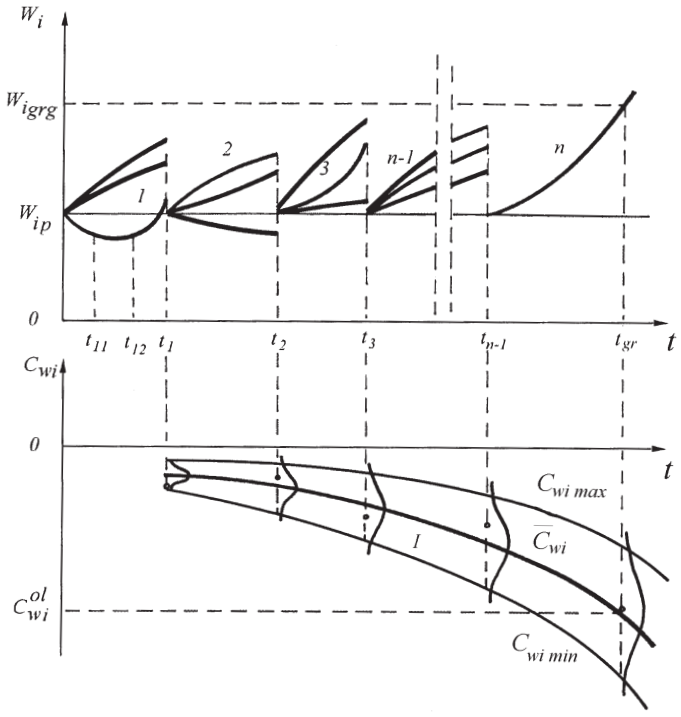
upper boundary value of index C_w, related to lower permissible value of the index of oil condition W.

Fig. 3 shows hypothetical realization (changes of values of oil properties index) related to the single object (engine) under operation.

In reality, for every individual object from the investigated sample from the population obtained results are scattered. Therefore the dependence describing variability of the index of change intensity of oil properties can be only of stochastic value – correlative.

The dispersion area is limited by regression curves $C_{wi\,max}$ and $C_{wi\,min}$ corresponding to the upper and lower border of confidence interval. Specific values depend from the arbitrary assumption of confidence interval (for technical purposes 0.9; 0.95; 0.99) – fig. 4.

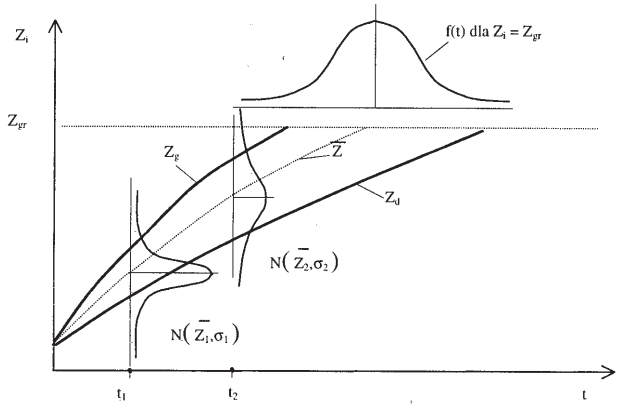
Changes in engine oil presented on figs. 3 and 4 take place parallel to the wear of cylinder liners of the engine. Mathematical description of this phenomena is created by three curves reflecting expected value of changes $\underline{z}$ (calculated on the basis of operational research), upper border of realization of the stochastic wear z_g and lower border of the wear course z_d. These three equations all together create statistic model of wear process of cylinder liners (fig. 5).



Rys. 4. Graficzna interpretacja zmian wskaźnika oceny stanu oleju w czasie dla populacji obiektów: W_p – początkowa wartość wskaźnika stanu oleju, $W_{k1}, W_{k2},..., W_{kn}$ – końcowa wartość wskaźnika stanu oleju w chwili 1, 2,..., n wymiany oleju, t_1, $t_2,..., t_n$ – chwile wymiany oleju w silniku, C_w – wskaźnik intensywności zmian własności

Fig. 4. Graphic interpretation of changes in the index of change intensity of oil properties for the population of objects: W_p – preliminary index value, $W_{k1}, W_{k2},..., W_{kn}$ – end value of index of oil technical condition at the moment 1, 2,..., n of oil change, $t_1, t_2,..., t_n$ – moments of oil change in the engine, C_w – index of change intensity of oil properties

Przedstawione na rysunkach 3 i 4 zmiany zachodzące w oleju silnikowym następują równolegle z procesem zużywania tulei cylindrowych silnika. Matematyczny opis tego procesu tworzą trzy krzywe odzwierciedlające wartość oczekiwaną zmian $\overline{z}$ (wyznaczoną na podstawie badań eksploatacyjnych), górną granicę realizacji procesu losowego zużycia z_g oraz dolną granicę przebiegu procesu zużycia z_d. Te trzy równania łącznie tworzą statystyczny model procesu zużycia tulei cylindrowych (rys.5).



Rys. 5. Graficzna interpretacja matematycznego modelu procesu zużycia tulei cylindrowych
Fig. 5. Graphic interpretation of mathematical model of wear process of the cylinder liners

Taki opis procesu zużycia pozwala dla dowolnej chwili czasu t określić szerokość przedziału ufności na poziomie ufności β, w którym znajdują się rzeczywiste realizacje procesu losowego. Wybór poziomu ufności jest zagadnieniem decyzyjnym. Granice przedziału ufności dla wyników odnoszących się do czasu prowadzenia obserwacji t_1 można zapisać w postaci:

$$z_1^g = \overline{z_1} + q_\beta \cdot \sigma_1 \qquad (2a)$$

$$z_1^d = \overline{z_1} - q_\beta \cdot \sigma_1 \qquad (2b)$$

gdzie: q_β – współczynnik proporcjonalności.

Wartość współczynnika q_β należy ustalić (w zależności od liczności rozpatrywanej próby wyników) zgodnie z zasadami budowy estymatorów przedziałowych.

Wykorzystanie oleju silnikowego jako źródła informacji do prognozowania trwałości silnika jest możliwe jedynie wtedy, gdy wykaże się, że kinetyka zmian wybranych własności fizykochemicznych eksploatowanego oleju silnikowego odzwierciedla zmiany zużyciowe występujące w obserwowanej parze kinematycznej TPC. Potwierdzeniem takiej korelacji jest m.in. uzyskanie porównywalnych wartości szacowanej trwałości tulei cylindrowych silnika z wykorzystaniem metody zużyciowej jak i „olejowej". W tym celu należy przeprowadzić badania eksploatacyjne, celem wyznaczenia przebiegu krzywych *I*. (rys.4) oraz $\overline{z}$ (rys.5)

Such description of wear process permits – for any time moment t – to determine width of confidence interval on the confidence level β, where real realizations of the stochastic process are located. Choice of confidence interval is a matter of decision. Boundaries of the confidence interval for the results related to the time of observation t_1 can be written as follows:

$$z_1^g = \overline{z_1} + q_\beta \cdot \sigma_1 \qquad (2a)$$

$$z_1^d = \overline{z_1} - q_\beta \cdot \sigma_1 \qquad (2b)$$

where: q_β – proportionality coefficient.

Value of the coefficient q_β should be determined (in relation to the batch size of the results set) according to the rules of building the range estimators.

Making use of engine oil as a source of information for forecasting engine durability is possible only when it can be proved, that the kinetics of changes of chosen physical and chemical properties of the oil reflects wear changes taking place in the analyzed PRC assembly. Confirmation of such correlation can be done on the basis of comparable values of estimated durability of the cylinder liner with the use of "wear" as well as "oil" method. Operational research should be done, so as to determine course of curves I (fig.4) and $\overline{z}$ (fig. 5).

3. Badania eksploatacyjne

Weryfikacji metody dokonano na populacji 5-ciu silników 359M eksploatowanych w samochodach STAR 1142. Są to silniki o zapłonie samoczynnym, wtrysku bezpośrednim, rzędowym układzie cylindrów i mocy 110 [kW]. Samochody użytkowane były przez Zakład Transportu Samochodowego Poczty Polskiej w Lublinie. Przebiegi dzienne samochodów wynosiły od 240 do 350 [km]. Samochody eksploatowano w warunkach jazdy miejskiej i na trasach pozamiejskich. Wszystkie obsługi techniczne wykonywane były zgodnie z zaleceniami producenta.

Dla wyznaczenia przebiegu krzywej $\bar{z}$ w eksploatowanych silnikach wykonywano okresowo mikrometraż tulei cylindrowych zgodnie z zaleceniami Normy Branżowej [4]. Dodatkowo w trakcie wykonywania okresowych obsług technicznych połączonych z wymianą oleju w silniku pobierano próbki oleju poddając je analizie fizykochemicznej. Oznaczano podstawowe wskaźniki fizykochemiczne i funkcjonalne oleju przepracowanego. Analiza przeprowadzana była w Centralnym Laboratorium Naftowym w Warszawie. Podobnej analizie poddano olej świeży eksploatowany w silnikach. W całym okresie prowadzonych badań we wszystkich silnikach używano tego samego oleju silnikowego tj. JASOL 9 produkowanego przez Podkarpackie Zakłady Rafineryjne w Jaśle. Zebrane informacje posłużyły do wyznaczenia przebiegu krzywej I (rys.4). Szczegółowe informacje dotyczące metodyki, warunków oraz zakresu badań zawiera praca [5].

3. Research during operation

Verification of the method was done using five 359M engines used in STAR 1142 medium trucks. These are diesel engines, with direct injection, 6 cylinders in-line and rated power 110 [kW]. Trucks were used by Transport Department of Polish Postal Services in Lublin. Daily mileages of vehicles were between 240 and 350 [km]. Trucks were used in conditions of urban and extra-urban driving. Technical maintenance was done according to the manufacturer's instructions.

So as to determine course of the curve $\bar{z}$ in used engines, periodically micro-measurements of cylinder liners was done, according to the standard recommendation of the branch norm [4]. Additionally during obligatory technical inspections united with oil change service, oil samples were taken from the engine and put under physical and chemical analysis. Basic physical, chemical and functional indexes of the used oil were determined. The analysis was done in the Central Oil Laboratory in Warsaw. Similar analysis was done for the new oil used in these engines. During the whole period of research, in all engines the same oil type was used, i.e. JASOL 9, manufactured by Podkarpackie Zakłady Rafineryjne in Jaslo. Gathered information was later used for the determination of the curve I (fig.4). Detailed information regarding methodology, conditions and scope of the research can be found in [5].

4. Wyniki badań

Na podstawie zebranych informacji wyznaczono równania wartości oczekiwanej oraz dolnej i górnej granicy realizacji procesu zużycia. Pełny matematyczny opis procesu zużycia tulei cylindrowych dla okresu eksploatacji $t > t_d$ (t_d – okres docierania) przedstawia układ równań (3):

4. Results of experiments

On the basis of gathered information it was possible to obtain equations for the expected value and for the lower and upper boundaries of the wear process realization. Full mathematical description of the wear process of the cylinder liners for the period of operation $t > t_d$ (t_d – running-in) is shown by the set of equations (3):

$$\bar{z} = (0{,}000132)\cdot t + 43{,}961 \tag{3a}$$

$$z_d = min\{(0{,}000105)\cdot t + 43{,}961, (0{,}000132)\cdot t + 38{,}466\} \tag{3b}$$

$$z_g = max\{(0{,}000159)\cdot t + 43{,}961, (0{,}000132)\cdot t + 49{,}456\} \tag{3c}$$

gdzie: t – czas pracy silnika (przebieg) [km].

Podobnej analizie poddano wyniki badań oleju przepracowanego. Stwierdzono [5], na podstawie analizy teoretycznej jak też analizy statystycznej wyników badań, że najlepszym wskaźnikiem oceny zmian własności oleju jest lepkość kinematyczna w temperaturze 100^0C i odpowiadający jej wskaź-

where: t – engine operation time (mileage) [km].

Similar analysis was made in case of research results obtained for the used oil. It was concluded [5] – on the basis of theoretical analysis and statistical analysis of research results, that the best index for the evaluation of changes in oil properties is kinematic viscosity at the temperature of 100 °C and correspon-

nik intensywności zmian lepkości kinematycznej w temperaturze 100^0C – C_{V100} (wzór (1)). Przebieg zmian wskaźnika C_{V100} względem czasu eksploatacji przedstawia zależność (4):

$$C_{v100} = (3,277) - (2,142) \cdot t^{(0,033)} \qquad \left[\frac{mm^2}{s \cdot km}\right] \quad (4)$$

gdzie: t – czas pracy silnika (przebieg) [km].

Na podstawie zależności (3) i (4) oszacowano trwałość skojarzenia TPC silnika 359M. W przypadku kryterium technicznego trwałość układu wynika z osiągnięcia dopuszczalnej wartości zużycia tulei cylindrowej. Wartość tę przyjęto na podstawie pracy [6]. W przypadku kryterium „olejowego" wartości graniczne lepkości kinematycznej v_{100} przyjęto na podstawie normy BN-77/0535-46 [7]. Na tej podstawie wyliczono graniczną wartość wskaźnika C_{V100gr}, która posłużyła do wyznaczenia trwałości tulei cylindrowych silnika w oparciu o kryterium olejowe. Wyniki obliczeń zawiera tabela 1.

ding index of change intensity of kinematic viscosity at 100 °C – C_{V100} (equation (1)). Course of C_{V100} changes in a function of operation time is given by the dependence (4):

$$C_{v100} = (3,277) - (2,142) \cdot t^{(0,033)} \qquad \left[\frac{mm^2}{s \cdot km}\right] \quad (4)$$

where: t – engine operation time (mileage) [km].

Using equations (3) and (4) durability of PRC assembly for the 359M engine was determined. In case of technical criterion, durability of the system results from reaching permissible value of cylinder liner wear. This value was accepted on the basis of work [6]. In case of "oil" criterion, boundary values of kinematic viscosity v_{100} were accepted using the norm BN-77/0535-46 [7]. Then boundary value of C_{V100gr} index was calculated, which was later used for the determination of cylinder liners durability on the basis of oil criterion. Results of calculations are presented in table 1.

Tabela 1. Zestawienie prognoz trwałości tulei cylindrowych silnika 359M
Table 1. Comparison of forecasts of cylinder liners durability of the 359M engines

L.p. No.	Źródło danych Data source	Rodzaj kryterium Criterion type	Parametr stanu granicznego Parameter of technical condition		Trwałość ×10³ [km] Durability ×10³ [km]		
			Opis parametru Description	Wartość graniczna Boundary value	T_{min}	$T_{śr}$	T_{max}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1.	własne own	techniczne technical	zużycie $\bar{z}$ tulei cylindrowej na głębokościach 20, 35, 50, 95 [mm] w płaszczyźnie A-A i B-B wear $\bar{z}$ of the cylinder liner on the depth of 20, 35, 50, 95 [mm] in the plane A-A i B-B	126 [µm]	516,0	621,5	781,3
2.	własne own	olejowe oil	wskaźnik intensywności zmian lepkości kinematycznej oleju silnikowego w temperaturze $100^0C - Cv_{100}$ index of change intensity of the kinematic viscosity of engine oil at $100\,°C - Cv_{100}$	-0,066 [mm^2/s km]	---	630,2	---

5. Wnioski

Przedstawione kryterium olejowe uwzględnia możliwość prawidłowej oceny współpracy elementów złożenia TPC ze względu na rodzaj występującego tarcia. Warunkiem występowania tarcia płynnego jest m.in. zachowanie odpowiedniej szczeliny między trącymi elementami w stosunku do lepkości stosowanego środka smarowego. Wzrost luzu między elementami układu TPC powoduje intensyfikację procesów degradacji zachodzących w oleju, a tym samym szybszą zmianę jego lepkości. Zaproponowana metoda prognozowania trwałości tribologicznej z wykorzystaniem wyników bieżącej (w sensie kinetycznym) oceny

5. Conclusions

Presented oil criterion takes into account possibilities of correct evaluation of mating of components in the PRC assembly with regard to the type of friction. One of conditions of fluid friction is, for instance, existence of appropriate crevice between mating components in relation to the viscosity of used lubricant. Increase of clearance between components of PRC assembly intensifies degradation processes taking place in engine oil, and thus, faster change of its viscosity. Proposed method of forecasting tribological durability using results of current (in kinetic sense) assessment of oil properties, gives

zmian własności oleju daje porównywalne (zgodne) wyniki co do trwałości średniej oszacowanej według założeń metody prognostycznej związanej z kryterium technicznym (opartym na ocenie intensywności zużycia). Średnie wartości trwałości prognozowanej wynoszą $621{,}5 \cdot 10^3$ km przy wykorzystaniu kryterium technicznego i $630{,}2 \cdot 10^3$ km dla przypadku stosowania kryterium olejowego. Zatem opierając się na informacjach opisujących stan eksploatowanego środka smarowego można bez konieczności ingerencji w monitorowany układ tłok-pierścienie-cylinder, za pomocą nieskomplikowanych metod pomiarowych prowadzonych poza obiektem technicznym, bez wyłączania go z eksploatacji, (na przyjętym poziomie ufności) dokonać oceny trwałości tulei cylindrowych eksploatowanego silnika.

Opracowana metoda ma charakter uniwersalny i może być wykorzystywana do oceny trwałości tribologicznej tulei cylindrowych eksploatowanych silników spalinowych z zapłonem samoczynnym. Wymaga jedynie wyznaczenia przebiegu krzywej opisującej zmiany wskaźnika intensywności lepkości kinematycznej w $100^0C - C_{V100}$ eksploatowanego oleju (4) i prawidłowego wyboru granicznej wartości tego wskaźnika stosownie do klasy jakościowej i lepkościowej oleju.

results regarding average durability which are comparable with results determined according to the forecasting method related to the technical criterion. Values of forecasted durability average $621.5 \cdot 10^3$ km using technical criterion and $630.2 \cdot 10^3$ km for the oil criterion. So, basing on the information describing technical condition of the used lubricant it is possible, with no need of interference in the monitored PRC assembly, to determine durability of the cylinder liners (on the accepted confidence level). Moreover simple measurement methods away from the investigated object are used, and with no need of taking the engine out of service.

Developed method has all-purpose character and can be applied for the evaluation of tribological durability of cylinder liners of used diesel engines. It requires only establishing courses of dependences describing index changes of kinematic viscosity at $100°C - C_{V100}$ of used oil (4) and correct choice of boundary values of the index, accordingly to the quality and viscosity class of the oil.

6. Literatura

[1] Niewczas A.: *Trwałość zespołu tłok-pierścienie tłokowe-cylinder silnika spalinowego.* WNT, Warszawa 1998.
[2] Nadolny K.: *Modele kinetyczne procesu zużywania.* W: *Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach maszyn.* pod red. W. Zwierzyckiego, PWN, Warszawa – Poznań 1990.
[3] Łuczak A., Mazur T.: *Fizyczne starzenie elementów maszyn*. WNT, Warszawa 1981.
[4] Norma BN-79/1374-04. *Silniki samochodowe. Badania stanowiskowe. Badania niezawodności.*
[5] Chmielewski Z.: *Trwałość tulei cylindrowych silnika spalinowego jako funkcja stanu oleju smarowego podczas eksploatacji.* Rozprawa doktorska, Politechnika Radomska, Radom 2001.
[6] Niewczas A., Chmielewski R., Chmielewski Z., Wronka G.: *Analiza przebiegów do naprawy głównej oraz zużycia granicznego tulei cylindrowych samochodów STAR 200.* Raport wykonany dla ZS STAR S.A.
[7] Norma BN-77/0536-46. *Ocena stopnia przepracowania olejów do silników z zapłonem samoczynnym.*

Dr hab. inż. Karol NADOLNY, prof. PP
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań
e-mail: karol.nadolny@put.poznan.pl

Dr inż. Zbigniew CHMIELEWSKI
Politechnika Radomska
ul. Chrobrego 45, 26-600 Radom
e-mail: zbigniew.chmielewski@pr.radom.pl

Mgr inż. Jan NIKONIUK
ppup Poczta Polska
Oddział Regionalny Centrum Usług Transportowych w Łodzi
ul. Obywatelska 121/129, 94-104 Łódź
e-mail: dyrektor@zts.lodz.pl

Vladimír JURČA
Tomáš HLADÍK

MAINTENANCE DATA EVALUATION

The paper briefly describes and demonstrates the possibilities of processing, utilization and evaluation of computer maintenance system based data with the aim of increasing of quality and effectiveness of maintenance system. The data in the example were obtained from machine works which uses computer maintenance management for last three years. The presented example is focused on evaluation of maintenance records from point of view of maintenance management system. An emphasis is put on continuous corrections of the maintenance system resulting in its improvement and elimination of weak points.

***Keywords**: Maintenance; Maintenance Data Evaluation*

1. Introduction

Implementation of maintenance quality management system into businesses in the Czech Republic brings among others unprecedented possibilities of data analysis, which are documented and electronically stored within the maintenance management system. The basic requirement for the maintenance quality system is the complete documentation of all essential system information – it must be clearly stated when, who, how and with what tools and instruments is any particular maintenance operation to be performed, the information on who and when performed the maintenance and the costs records of particular maintenance operations must be traceable etc. The stored maintenance data are routinely used for maintenance planning and various operational analyses of maintenance system – e.g. for analysing cost-efficiency, labour consumption or length and quantity of downtimes of selected object in reviewed time period, for calculation of total monthly maintenance costs for individual departments or production lines in the company, for analysing failure rates of individual machines in order to eliminate causes of frequent failures etc.

2. Example of Company Maintenance System Evaluation

The data obtained from a machinery engineering company's maintenance management are evaluated in the presented example. The company commenced to establish a quality system in the beginning of the year 2000. The maintenance management software was purchased in spring of the following year and the maintenance department started to use it after the implementation period on a regular basis in autumn 2001. Following data were collected during a year period from March 2002 to February 2003. As it can be seen from the below mentioned data, although the maintenance department was intensively using the maintenance management software, the data were not analysed with the aim of feedback and system correction. This is an example of undesirable maintenance system development.

The maintenance system evaluation is then performed by assessment of expected system benefits, which we require of the effective system in first years after its implementation. The main benefits of the system can be summarized in the following points:

a) the ratio of not planned to planned repairs will change significantly to the benefit of planned repairs
b) thus in a long-term horizon the total maintenance costs will decrease and production efficiency will increase because of the increase of machinery availability, elimination of downtimes etc.
c) this is related to the expected decrease of downtimes and need of expensive spare parts, which are used extensively after breakdowns
d) the significant reduction of repeated failures resulting from the documented data of machine failures and their analysis
e) the expected growth of the production equipment's total efficiency related to b), c) and d)

The total of 5562 maintenance events were recorded to the database of performed maintenance events during an evaluated season (5475 events not planned and 87 planned). The database concerned maintenance events of 326 machines and 48 maintenance workers employed in the company. It is already obvious from this general data, that maintenance system is not properly adjusted – planned maintenance events are rather exception amounting roughly 1,5 % (it is the case of revisions and inspections performed externally in the company). In average 15 failures were fixed by

maintenance events everyday. The basic information on maintenance events in the reviewed period are given in the Tab. 1.

conclude, that just a very small number of all provided maintenance events is documented in the system.

Furthermore, let us try to analyse a trend of partial

Tab. 1 Information on maintenance events in the reviewed period

	3_2002	4_2002	5_2002	6_2002	7_2002	8_2002
Maintenance costs	260 073	237 320	355 520	487 222	344 147	917 740
Number of maintenance events	342	381	456	552	539	592
Planned maintenance events	6	6	0	3	2	12
Maintenance labour consumption	845	862	798	1 075	1 116	1 399

9_2002	10_2002	11_2002	12_2002	1_2003	2_2003	Total
779 700	1 021 080	1 176 005	814 023	1 317 060	966 242	8 676 132
527	529	543	507	473	434	5 875
5	17	4	6	20	6	87
1 265	1 335	1 270	924	1 531	1 051	13 471

At first, from the presented data it is evident, that it took quite a long time before the maintenance workers started to input data into the system really seriously – all performed maintenance events were certainly not recorded until May 2002 and even until July 2002 the information about the used material was not input together with the maintenance event record, which results in low values of maintenance costs, although the number of corrective maintenance events is comparable. For this reason it is not possible to seriously evaluate the trend of maintenance costs for the whole reviewed period, because the cost data are not correct at least until 7/02. The costs slowly rise during the period from 8/02 to 2/03; considering the trend of labour consumption and number of maintenance events we can see the reason in the gradually improving approach of the maintenance workers to the completeness of the maintenance events recordings in the database.

The major problem of the described maintenance system is that there is not even a slight shift from corrective maintenance towards planned maintenance. Therefore maintenance costs, labour consumption and number of maintenance events do not show required trends. The maintenance costs (if we do not consider the already discussed initial period) are still around 1 million CZK a month.

The figures of maintenance labour consumption fluctuate around 1200 hours a month, expected declining trend is hardly evident. The average monthly labour consumptions of documented maintenance events offer also further useful information about how the data was input into the system – when dividing an average monthly labour consumption by a number of maintenance workers (there were 48 maintenance workers employed in the company), each maintenance worker worked out just 25 hours a month. We can

downtimes, which started to be monitored in the company at the end of the year 2002. Downtimes (in hours) during monitored months are showed in Fig. 1.

From the presented downtimes data it is obvious, that maintenance or organizational downtimes do not indicate the expected decreasing trend. The impact of changed warehouse management system in July 2002, which caused chaos of stock items delivery for two months, can be seen in the graph. It is evident, that although the downtimes were quite truly documented in the databases, the data were not analysed by the maintenance department and no necessary actions to reduce the downtimes were carried out. The downtimes trend is of course related to the already mentioned fact, that corrective maintenance are still prevailing in the company.

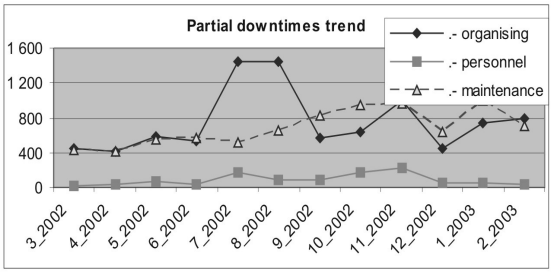


Fig. 1 Partial downtimes trend

Another possible way of processing the long-term documented maintenance data is the failure mode analysis (especially of repeated failures) focused on their considerable reduction. In Tab. 2 are presented the most significant failures from the cost point of view, Tab. 3 presents the failure frequencies.

Tab. 2 Costs of elimination of causes of selected failures

quarter:	2Q 2002	3Q 2002	4Q 2002	1Q 2003	total
Main hydraulics	47 160	2 374	105 521	15 432	170 487
Mechanical failure - generally	124 330	489 120	385 050	338 900	1 337 400
Electro failure - generally	79 080	439 180	184 418	499 940	1 202 618
Mechanical - spindle	121 290	216 350	282 780	60 230	680 650
Control electronics	40 790	12 904	64 380	21 370	139 444
Position sensors	88 711	39 680	119 100	102 690	350 181
Electro motors	33 360	63 440	88 820	62 940	248 560
Not classified failures	6 370	16 680	208 511	2 737	234 298
Total costs of monitored failures	541 091	1 279 728	1 438 580	1 104 239	4 363 638
Costs of all failures	854 210	2 016 320	2 785 230	2 756 200	8 411 960
% of costs of monitored failures out of the total failures costs	63,3 %	63,5 %	51,7 %	40,1 %	51,9 %

When we leave aside "general" causes of failures (Mechanical failure – generally, Electro failure – generally), which include a number of further not specified failures, the most unfavourable failures from the costs point of view are indicated as "Mechanical – spindle" and "Position sensors". If the maintenance system is analysed properly, the head of the maintenance department should deal particularly with these failures and introduce adequate measures to decrease substantially the occurrence of these costly failures. Especially the cost effects of the "Mechanical – spindle" failure are very high despite of relatively low occurrence. As can be seen from the presented tables and graph, this kind of failures was finally reduced in the beginning of 2003. In the reviewed period the causes of the "Position sensors" failure were not evidentially identified nor reduced. In the end of 2002 the maintenance manager focused on the monitored failures and the situation was partially amended (see the last row of Tab.2 "% of costs of monitored failures out of the total failures costs"), however, according to the fluctuations of costs and failure occurrence, the need for more efforts in this area is evident. The maintenance manager's active effect on maintenance workers, aiming to more specific classification of a given failure in the failure code list, is evident from the rows "not classified failures", "mechanical failure – generally" and "electro failure generally". There are just 2 not classified failures in the first quarter 2003 and the number of failures with "general" causes also gradually declines.

For the most important machines, according to their failure rate, the more detailed view, with the focus on causes of the repeated failures of a particular machine, is of great importance. Machines, which need to be inspected this way, can be easily filtered out by listing out machines in descending order according to the amount of the costs of not planned maintenance events in a specific period. The records of machines with the highest costs need to be analysed – it is necessary to verify particularly not only the assigned failures codes, but also the added notes referring to the maintenance events. A fragment of more detailed maintenance descriptions of one of the machines are stated in Tab. 4 – often simple notes of maintenance workers are published without any corrections.

The table shows rather frequent case in the company, that the corrective maintenance is concerned on repairing of constantly repeating failures, while the primary cause is not being solved in time. In the

Tab. 3 Occurrence of monitored failures

	2nd q.2002	3rd q.2002	4th q.2002	1st q.2003	total
Main hydraulics	41	6	31	22	100
Mechanical failure - gen.	191	564	442	320	1 517
Electro failure - generally	240	669	329	240	1 478
Mechanical - spindle	**17**	**26**	**29**	**13**	**85**
Control electronics	39	14	14	3	70
Position sensors	**61**	**22**	**82**	**45**	**210**
Electro motors	29	40	55	26	150
Not classified failures	12	14	17	2	45
Monitored failures in total	630	1 355	999	671	3 655
				Total number of failures:	5 476

Tab. 4 Extract of the maintenance workers' notes about carried out maintenance

date	*17.11.2002*	*19.11.2002*	*21.11.2002*	*24.11.2002*	*28.11.2002*	*13.12.2002*	*17.12.2002*	*11.1.2003*
worker's note	*water in oil of spindle hydraulics*	*shortage of oil in hydraulics*	*shortage of oil in hydraulics*	*shortage of oil in hydraulics...*	*oil filled in...*	*low oil level, oil refilled*	*water in hydraulics, filter exchange, tank cleaned*	*water in hydraulics, filter and oil exchange, tank cleaned*

given example the maintenance workers were eight times repairing a failure in hydraulics of a particular machine, without dealing with the cause of the failure (it seems that the maintenance worker wanted to say "as usually" by dots at the end of the notes made on 24.11. and 28.11.). However, according to the maintenance documentation, the cause was finally eliminated on 22. 1. 2003, when the note says: "Exchange of rotten hydraulic hose and seal ring". The failure does not repeat again since this maintenance was performed; however, it could have been eliminated 2 months earlier.

3. Conclusion

The purposeful processing of long-term documented maintenance data can provide plenty of information not only about a machine's history, but also about its maintenance system. The main objective of data analysis is to continually improve the maintenance efficiency, which is closely related to improvements in dependability and overall productivity of the production equipment. Further examples of evaluation of maintenance management data can be found in [2].

4. References:

[1] JurčaV., Hladík T., Aleš Z.: *Možnosti využití a zpracování dat z řízení údržby (Possibilities of utilizing and processing of maintenance data)*. Monograph, Czech Society for Quality, Prague, 2004, ISBN 80-02-01595-9.

[2] Legát V., Jurča V.: *Management jakosti v údržbě (Quality Management in Maintenance)*. Monograph, Czech Society for Quality, Prague, 1999.

Doc. Vladimír JURČA, Ing. C.Sc.
Dr Tomáš HLADÍK, Ing. Ms.C.
Czech University of Agriculture in Prague, Technical Faculty
Department of Quality and Dependability of Machines
Kamycka 129
165 21 Praha 6 - Suchdol
Czech Republic

Tomasz KOPECKI
Jan ZACHARZEWSKI

TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA ORAZ ANALIZA STANU NAPRĘŻENIA CIENKIEJ PŁYTY ZE SZCZELINĄ W WARUNKACH CYKLICZNEGO ROZCIĄGANIA

FATIGUE LIFE AND STRESS STATE ANALYSIS OF CRACKED THIN-WALLED PLATE UNDER CYCLES AXIAL TENSION

Przedmiot badań stanowi cienka, prostokątna płyta ze szczeliną o grubości 0.7mm poddana cyklicznie zmiennemu obciążeniu rozciągającemu. Wskutek tego rodzaju obciążenia następuje propagacja szczeliny w czasie, aż do osiągnięcia długości krytycznej. W trakcie obciążania obserwuje się w obszarze szczeliny zjawisko lokalnej utraty stateczności, zwane marszczeniem konstrukcji (wrinkling). W wyniku, w obszarze szczeliny oprócz wywołanego rozciąganiem błonowego stanu naprężenia pojawia się stan giętny. Nie pozostaje to bez wpływu na proces propagacji szczeliny, rozkład naprężeń na jej froncie, a w konsekwencji na trwałość zmęczeniową.. Celem niniejszej pracy jest jakościowa i ilościowa analiza wspomnianych powyżej zjawisk, zmierzająca do określenia krytycznej długości szczeliny, a tym samym trwałości zmęczeniowej konstrukcji.
Płyta wykonana jest z poliwęglanu o znanych: charakterystyce natychmiastowej oraz właściwościach polaryzacyjno-optycznych.
Równolegle z badaniami doświadczalnymi przeprowadzono obliczenia numeryczne metodą elementów skończonych mające na celu określenie rozkładu naprężeń w warunkach wyboczenia, począwszy od szczeliny o długości 30mm oraz dla dalszych zaawansowanych stanów deformacji. W celu rozwiązania geometrycznie i fizycznie nieliniowego zadania wykorzystano procedurę Riksa w programie ABAQUS. Obliczenia przeprowadzono dla trzech stanów deformacji odpowiadających długościom szczeliny: 30mm, 50mm, 70mm.

***Słowa kluczowe**: zmęczenie, szczelina, wyboczenie, badania elastooptyczne metoda mory analiza numeryczna.*

The object of investigation constitutes rectangular, cracked thin-walled the plate subjected to axial cycles tension. As a result of such loading follows the crack propagation in time, all the way to critical length achieve. In the middle of cycles changing tension the plate sustains the local buckling (wrinkling), as a result apart of membrane stress appears bending state as well. Growth of the crack length in time causes increasing of wrinkling area. It has an influence on the value of the stress, and in result on the speed of crack propagation and fatigue life. The purpose of the paper is qualitative and quantitative analysis of above described phenomene, since assumed an initial length to the critical value.
The plate is made of polycarbonate, known of instantaneous characteristics and photo-elastics properties. At the same timewerede termineted, numerical calculations of critical loading and stress distribution in the buckling state, for initial crack 30mm and the next steps of deformation were det. Contemporaneous to experiments, numerical calculation were executed by FEM method. For the purposethe the geometricallynonlinear problemswas applied the Riks procedure by using ABAQUS program. Computations were carried out for three phases of deformation, at three next lengths of the crack: 30mm, 50mm, 70mm. Forms of deformation and effective stress distribution are presented.

***Keywords**: fatigue, crack, wrinkling, photo-elasticity, moiré method, FEM analysis.*

1. Wprowadzenie

Trwałość cienkościennych konstrukcji determinują różne formy uszkodzenia, jak np. szczeliny, pęknięcia wykroje itp.,. Lokalne efekty, choć same w sobie nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla konstrukcji, mogą w pewnych warunkach prowadzić do przedwczesnego ich zniszczenia. W przypadku płyt i powłok, których grubości są małe w porównaniu z wymiarami charakterystycznymi w sąsiedztwie pęknięć, szczelin lub wykrojów mogą pojawiać się zjawiska lokalnego wyboczenia, również w procesie ich rozciągania. Pojawienie się lokalnego wyboczenia określanego jako zmarszczenie konstrukcji (wrinkling) wywołanego powstawaniem lokalnych stref ściskania powoduje zmianę stanu naprężenia w strefie zaburzonej geometrii, bowiem oprócz stanu błonowego panującego w płycie pojawia się również lokalnie stan giętny.

W niniejszej pracy przedmiot badań stanowi prostokątna cienka płyta z centralnie rozmieszczoną szczeliną o długości początkowej 30 mm poddana cyklicznie zmiennym obciążeniom rozciągającym w zakresie: $P_{min} = 0, P_{max} = 1500$ N. W miaę wzrostu liczby cykli obciążenia następuje propagacja szczeliny, aż do osiągnięcia długości krytycznej. Wzrost długości szczeliny w czasie wywołuje powiększanie się strefy lokalnego wyboczenia, co nie pozostaje bez wpływu na prędkość propagacji szczeliny

Celem niniejszej pracy jest jakościowa i ilościowa analiza zjawiska propagacji szczeliny w obecności wspomnianego zjawiska lokalnego wyboczenia.

2. Badania eksperymentalne

Będącą przedmiotem badań płytę prostokątną o grubości 0.7 mm wykonano z poliwęglanu, dla którego charakterystykę natychmiastową (wykres rozciągania) przedstawia rys. 1.

Badany materiał wykazuje wyraźne cechy sprężysto-plastycznej deformacji. W istocie zjawisko ma charakter sprężysto-lepki. Jednakże ze względu na bardzo długi czas relaksacji, w rozważanych badaniach materiał ten może być traktowany jako sprężysto-plastyczny.

Badania przeprowadzono na stanowisku umożliwiającym realizację założonych obciążeń oraz

1. Introduction

Thin-walled plates and shells belong to elements of the structures of damage endangered for various kinds.The time o life of thin-wall structures is being determined with operational life having basic influence of her elements for integral destruction of load-carrying structure. Local destruction whom a global process is being started from, they are initiating every kind of discontinuity, whom slots possess first-class importance among. When plate's thickness is sufficiently small with respect to other dimensions, plates are susceptible to buckling under compression. The buckling phenomena of plate can also occur in the case of tension loading. It is going in situations when the plate contains in its area defects so like cracks or holes. When the buckling load is reached it causes to local buckling in compressed regions located in the proximity of mentioned imperfections.

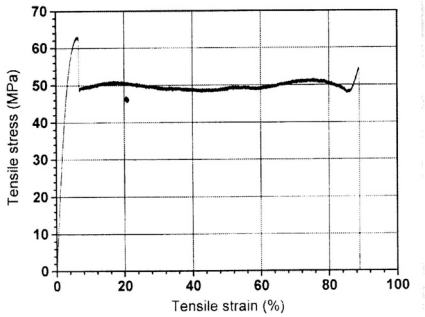
Existence of the crack in the structure doesn't mean neither its destruction nor too them is posing grounds for limiting of more operating. Showing up cracks in structures require the default observation during operating of the design. At the same time we assume that a critical length is known is following the achievement sudden its increase, in practice leading to total destruction.

In this paper the object of investigation constitutes rectangular, cracked thin-walled plate subjected to cycles changing tension in the range: $P_{min} = 0$, $P_{max} = 1500$ N. As a result of such loading follows the crack propagation in time, all the way to critical length achieve. In the middle of cycles changing tension the plate sustains the local buckling, as a result apart of membrane stress appears bending state as well. Growth of the crack length in time causes increasing of buckling area. It has an influence on the value of the stress, and in result on the speed of crack propagation and fatigue life. The purpose of the paper is qualitative and quantitative analysis of above described phenomenon, since assumed initial length to critical value.

2. Experimental investigation

A thin rectangular plate made from polycarbonate constituted the subject of examinations. Fig.1 presents instantaneous characteristics of the material.

The material demonstrates the clear zone of viscoelastic deformations. In the face of the short times, like in the case of the fatigue test, these deformations are being treated as a plastic. Examinations were carried out in the stand making the realization of the assumed pulsing load and boundary conditions (see fig.3) The load was being realized on the hydraulic device, the increase ensuring the constant value of the load amplitude to the crack increasing in time.



Rys.1. Wykres rozciągania poliwęglanu
Fig. 1. Instantaneous characteristic of material

przyjętych warunków brzegowych (brzegi długie – swobodne, brzegi krótkie – obciążone równomiernie rozłożoną siłą rozciągającą). Niezależnie od długości szczeliny charakter przyjętego obciążenia zapewniał układ elektroniczno-hydrauliczny. W trakcie eksperymentu kontrolowano poziom i charakter obciążenia oraz długość szczeliny w funkcji ilości cykli. Oznaczenia wymiarów płyty, jej obciążenie oraz lokalizację szczeliny przedstawia rys. 2. (L = 300mm, $2w$ =250 mm, $2a$ =30 mm - wymiar początkowy).

Stanowisko do badań zmęczeniowych płyty przedstawia rys. 3..

Wykorzystując polaryskop do światła odbitego zarejestrowano obrazy izochrom w strefie frontu szczeliny. W tym celu badaną płytę pokryto jednostronnie warstwą farby odblaskowej. Stwarza to możliwość identyfikacji wytężenia wg hipotezy Treski oraz lokalizacji strefy plastycznej.

Rys. 4 przedstawi pola izochrom w trzech stanach zaawansowania procesu propagacji szczeliny.

Ze wzrostem liczby cykli obciążenia rośnie długość szczeliny oraz maleje sztywność płyty. Wyrazem tego staje się widoczny wzrost efektu wrinklingu.

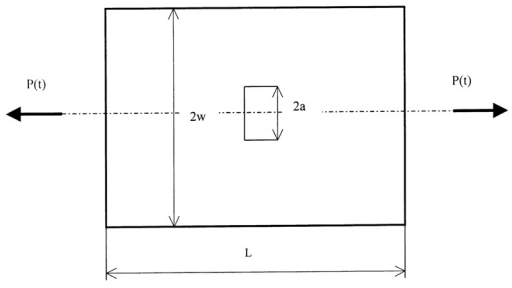
The level and the character of the loading and the length of the crack in the function of the number of cycles was being controlled during examinations. Dimensions of the tested plate, crack location and the loading method (Fig. 2) are: L = 300mm, $2w$ = 250mm, $2a$ = 30mm (initial step).

Station to the fatigue examination of the plate presents fig. 3.

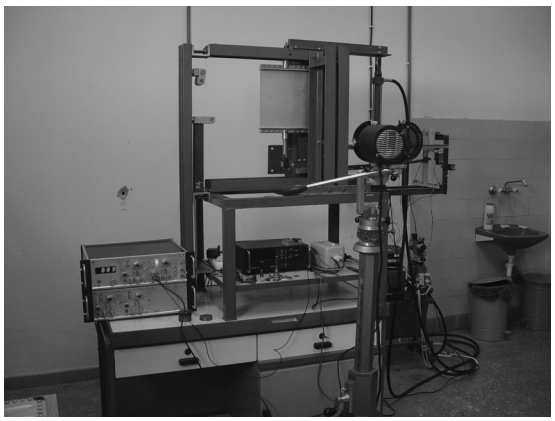
Using the reflective polariscope the field of isochromatics in zones of the crack front was being watched. For the purpose the tested plate was oneside painted with the layer of the fluorescent paint. It was making the default observation of the effective stress distribution in accordance to the Tresca theorem and observation of the plastic zone at the crack front. Fig. 4 presents the field isochromatics in three, the successive stages of propagation process.

The crack length increase executed the change of the plate rigidity, moderately to increase of the loading cycles numbers. It was manifesting itself in the form of local wrinkling, successively to the growing amplitude.

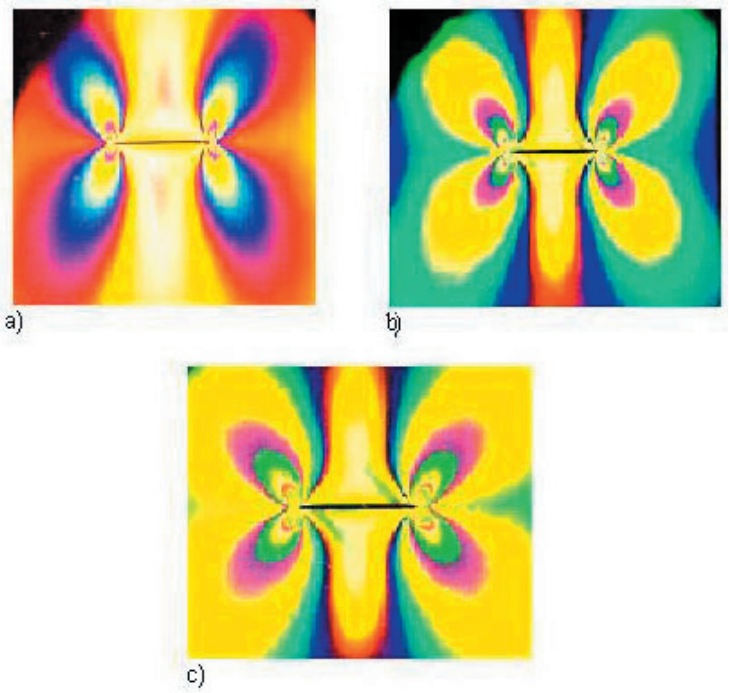
In order quantitative determining of the state of transverse deformation being the consequence sho-



Rys. 2. Wymiary, lokalizacja szczeliny oraz schemat obciążenia płyty
Fig. 2. Dimensions, crack location and loading of the plate



Rys. 3. Stanowisko do badań zmęczeniowych płyty
Fig. 3. Station to the fatigue examination of the plate



Rys. 4. Pole izochrom dla trzech długości szczeliny: a) – 30 mm, b) – 50 mm, c) – 70 mm
Fig. 4. Field of isochromatics for three stages of length of the crack: a) – 30 mm, b) – 50 mm, c) – 70 mm

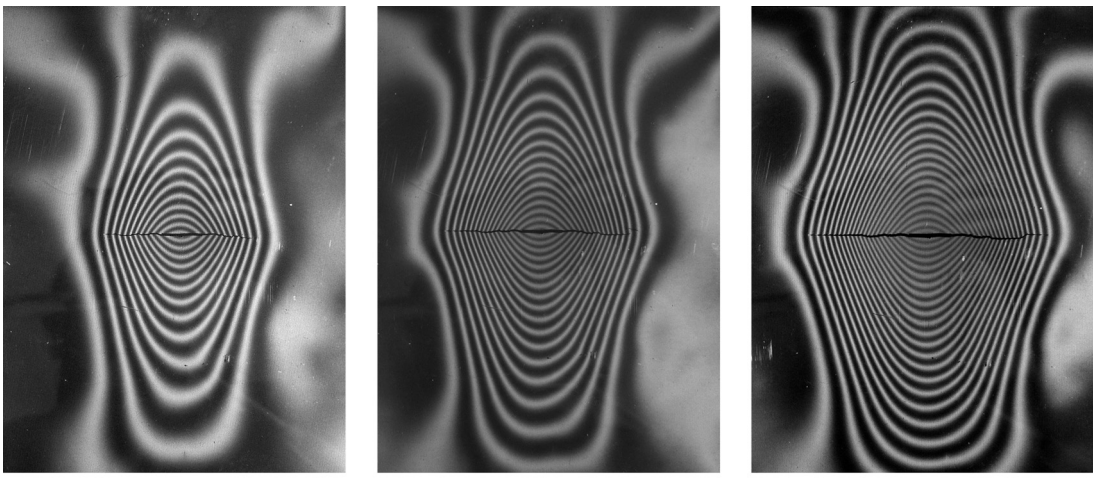
Rys. 5. Jakościowy obraz zjawiska marszczenia w strefie szczeliny (2a = 70 mm)
Fig. 5. Qualitative picture of local wrinkling in proximity of the crack (length – 2a = 70 mm)

W celu ilościowego określenia deformacji poprzecznej (ugięć) w poszczególnych fazach deformacji zastosowano metodę mory cieniowej.

Rys. 6 przedstawia warstwice jednakowych wartości ugięć w strefie wyboczenia. Odległość pomiędzy sąsiednimi liniami odpowiada ugięciu 0,26 mm. Tak więc maksymalne ugięcia wynoszą odpowiednio: 3,12 mm, 4,42 mm, 5,72 mm.

wing up of local wrinkling, examinations of deflection distribution were carried out applying the shadow moiré method.

Fig. 6 is presenting the contour lines of the constant deflections in proximity of the crack. Distance between adjacent contour plane in our case is equal 0.26mm. And so they are maximum value of deflections respectively: 3.12 mm, 4.42 mm, 5.72 mm.

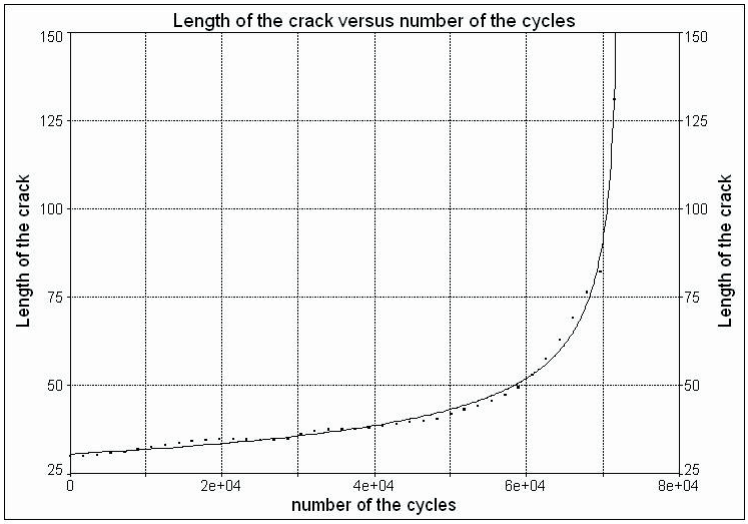


a) 2a=30mm *b) 2a=50mm* *c) 2a=70mm*

Rys.6. Obrazy prążków mory ilustrujące ilościowy charakter deformacji poprzecznych
Fig. 6. Moiré fringes illustration Quantitative of deflections in proximity of the crack

Na rysunku 7 przedstawiono zależność pomiędzy liczbą cykli a długością szczeliny, aż do zniszczenia płyty.

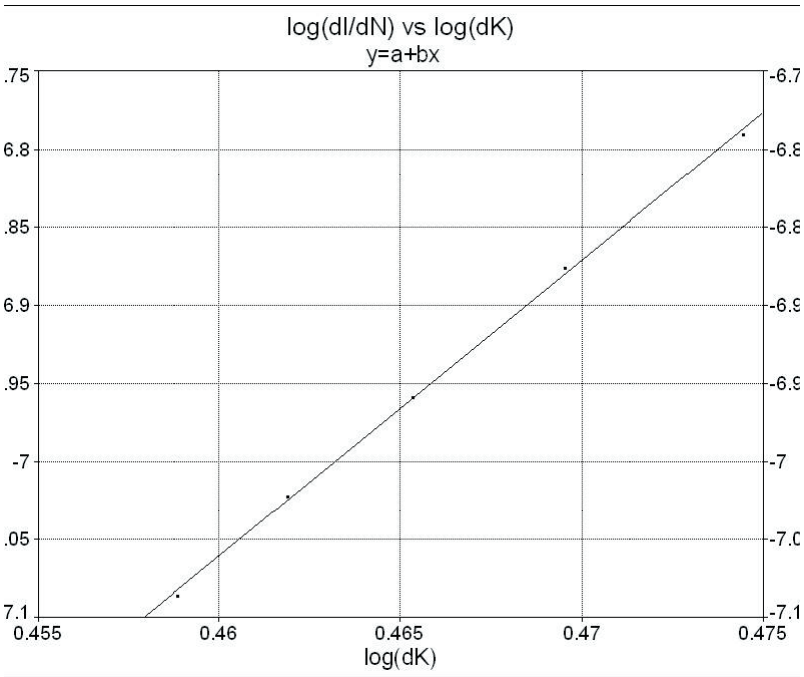
Examination results are permitting to present of the dependence between crack length and number of cycles up to structure collapse (Fig.7).



Rys.7. Zależność pomiędzy liczbą cykli a długością szczeliny
Fig. 7. Dependence length of the crack vs number of cycles

Na podstawie powyższej zależności przedstawionej w formie graficznej można wykonać wykres: $\log \frac{da}{dN}$ w funkcji $\log \Delta K$,

On the basis of above-mentioned dependence it is possible to make the plot : $\log \frac{da}{dN}$ versus $\log \Delta K$,



Rys.8 Zależność : $\log \frac{da}{dN}$ w funkcji ΔK

Fig.8 Dependence : $\log \frac{da}{dN}$ versus ΔK

gdzie

$$\Delta K = K_{max} - K_{min}, \quad K_{max} = \sigma_{max}\sqrt{\pi \cdot a}\cdot\beta$$

$$K_{min} = \sigma_{min}\sqrt{\pi \cdot a}\cdot\beta \qquad (1)$$

$$\beta = \left[1 + 0.128\frac{a}{w} - 0.288\left(\frac{a}{w}\right)^2 + 1.529\left(\frac{a}{w}\right)^3\right] \qquad (2)$$

Liniowy character powyższej zależności (przedstawionej w skali logarytmicznej) można wyrazić jako prawo Parisa – Erdogana [8]

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \qquad (3)$$

gdzie C and m są stałymi materiałowymi.

Na podstawie przedstawionego wykresu jesteśmy w stanie określić obie stałe materiałowe. Dla rozpatrywanego poliwęglanu wynoszą one: C = 1,71 10^{-16}, m = 18,92.

Po scałkowaniu równania 3 możemy otrzymać liczbę cykli niezbędną do wyznaczenia krytycznej długości szczeliny a^*

$$N_f = \frac{2}{(m-2)C(\Delta\sigma)^m \pi^{0.5m}}\left[\frac{1}{a_0^{0.5(m-2)}} - \frac{1}{a^{*\,0.5(m-2)}}\right] =$$

$$= 7{,}2 \text{ E4 cykli} \qquad (6)$$

Tutaj a^* = 105 mm - oznacza długość krytyczną szczeliny.

3. Obliczenia numeryczne

Równolegle z badaniami eksperymentalnymi przeprowadzono obliczenia numeryczne metodą elementów skończonych. W celu rozwiązania fizycznie i geometrycznie nieliniowego zadania zastosowano procedurę Riksa w programie ABAQUS. Obliczenia przeprowadzono dla trzech faz deformacji odpowiadających trzem długościom szczeliny: 30 mm, 50 mm, 70 mm. Rozkłady ugięć oraz warstwice obrazujące poziomy wytężenia wg hipotezy Misesa przedstawiono na rys. 9.

Otrzymane na drodze numerycznej rozkłady naprężeń zredukowanych są w swym charakterze w pełni zbieżne z wynikami badań eksperymentalnych. Zadowalającą zgodność wykazują również obliczone oraz pomierzone deformacje poprzeczne w strefie lokalnego wyboczenia.

Rozkłady naprężeń zredukowanych w środkowej i zewnętrznej powierzchni płyty zgodnie z hipotezą Misesa (N/cm^2) oraz ugięcia (wyrażone w centymetrach) we wspomnianych trzech fazach deformacji przedstawia rys. 9.

where

$$\Delta K = K_{max} - K_{min}, \quad K_{max} = \sigma_{max}\sqrt{\pi \cdot a}\cdot\beta$$

$$K_{min} = \sigma_{min}\sqrt{\pi \cdot a}\cdot\beta \qquad (1)$$

$$\beta = \left[1 + 0.128\frac{a}{w} - 0.288\left(\frac{a}{w}\right)^2 + 1.529\left(\frac{a}{w}\right)^3\right] \qquad (2)$$

The linear range of the above dependence (presented in logarithmic scale) can be described by Paris - Erdogan equation [8]

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \qquad (3)$$

Here C and m denote constants material.

On the basis of the presented plot we are able to determine both material constants. For considered polycarbonate were received: C = 1.71 10^{-16}, m = 18.92

After integrated eq. 3 we obtain the number of cycles, necessary to receive the crack equal a^*:

$$N_f = \frac{2}{(m-2)C(\Delta\sigma)^m \pi^{0.5m}}\left[\frac{1}{a_0^{0.5(m-2)}} - \frac{1}{a^{*\,0.5(m-2)}}\right] =$$

$$= 7.2 \text{ E4 cycles} \qquad (6)$$

Here a^* =105 mm - denotes the critical length of crack.

3. Numerical calculations

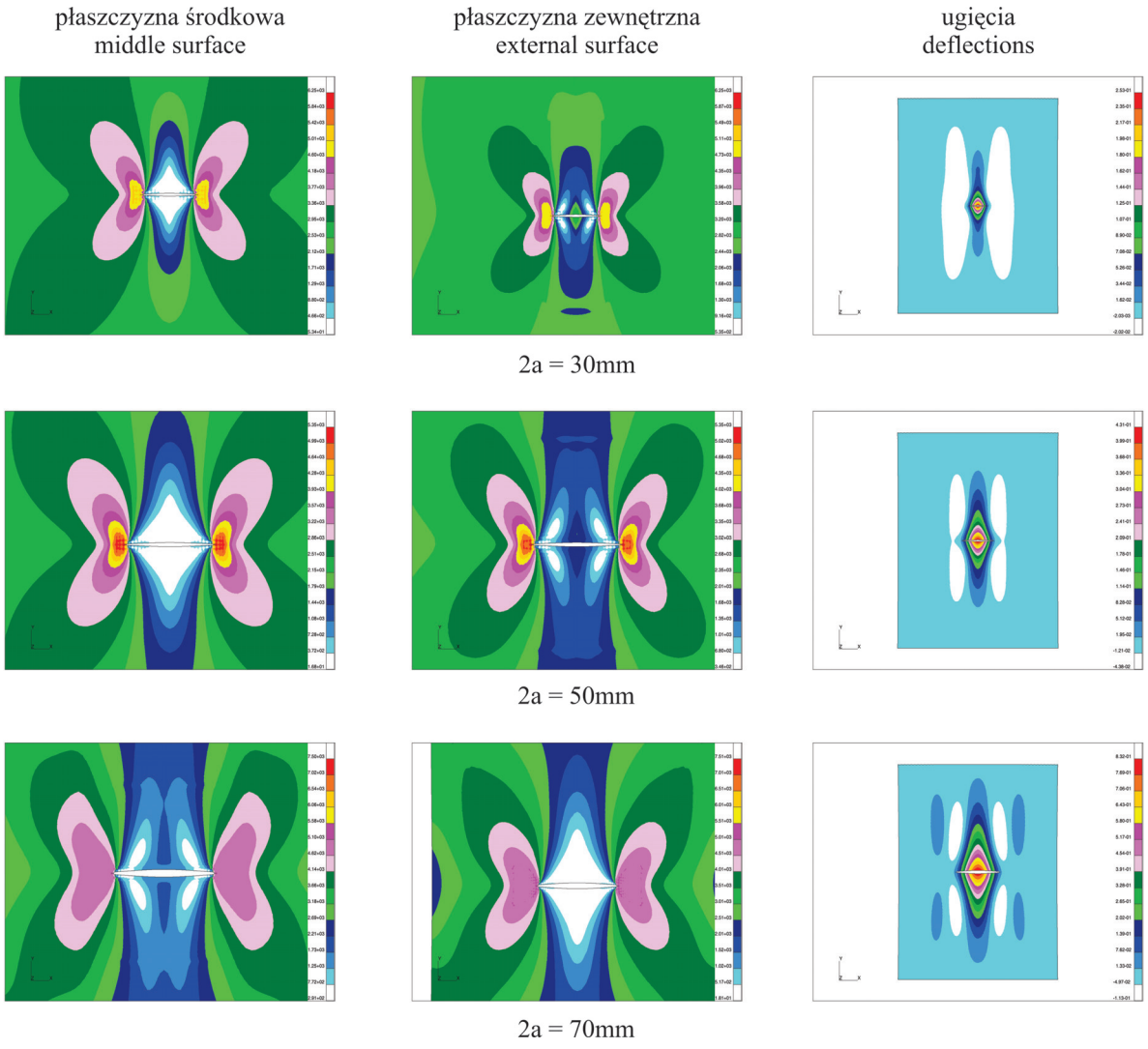
Contemporaneous to experiments, numerical calculation were executed by FEM method. For the purpose Riks procedure for solving of physically and geometrically nonlinear problems were applied using ABAQUS program. Computations were carried out for three phases of deformation, at three next lengths of the crack: 30 mm, 50 mm, 70 mm. Forms of deformation and effective stress distribution in accordance to the von Mises criterion are presented below. Received on the numerical way effective stress distributions at the front of the crack have the compatible character to experimental results. Good compatibility is also showing the character of structure deformation arising as a result of wrinkling.

The effective stress distributions of the middle and external surface according to von Mises criterion (N/cm^2) and deflections (cm) in the mentioned of three deformation phases are presented on the Fig.9.

It is possible on the basis of received effects to infer that in effective stress distribution in proximi ty of the crack, in both surfaces, middle and external,

Z porównania wyników przedstawionych na rys. 9 można wnioskować, że różnice w rozkładzie naprężeń zredukowanych w strefie frontu szczeliny, w obu płaszczyznach, środkowej i zewnętrznej bardziej widoczne są w początkowej fazie tworzenia się marszczenia konstrukcji. W miarę wzrostu szczeliny strefa uplastycznienia staje się bardziej jednorodna wzdłuż grubości płyty. W fazie tej maleją również gradienty ugięć, co wskazuje na przechodzenie płyty w stan błonowy.

meaning dissimilarities are perceptible in the wrinkling initial phase. To the measure of the increase in the crack plastics zone is growing homogeneous along thickness. Deflection's gradients are decreasing at the same time. He is proving it of arising in the plate of only the membrane stress state.



Rys. 9. Rozkłady wytężenia wg hipotezy Misesa oraz ugięcia w strefie szczeliny
Fig. 9. Effective stress distribution according to von Mises criterion and deflections in crack proximity

4. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie szeregu konkluzji o – jak się wydaje – istotnym znaczeniu poznawczym i utylitarnym.

Proponowana metodyka, polegająca na dokonywaniu analizy numerycznej stanu naprężenia

4. Conclusion

Examinations carried out made it possible to formulate few conclusions - how it is appearing - about significant cognitive importance and utilitarian. The proposed methodology relying on making the numerical analysis of stress and strain state in the area

i odkształcenia w obszarze propagującej szczeliny w trakcie badań zmęczeniowych, przy jednoczesnej rejestracji pola izochrom oraz deformacji poprzecznych (ugięć) w tym obszarze, umożliwia dokonywanie szczegółowych analiz i ocen zarówno jakościowej jak i ilościowej strony badanego zjawiska. Dotyczy to w głównej mierze oceny poprawności modelu oraz adekwatności procedur numerycznych przyjętych dla rozwiązania fizycznie i geometrycznie nieliniowego zagadnienia.

Wyniki badań doświadczalnych pozwalają na identyfikację stałych materiałowych, niezbędnych do określania czasu bezpiecznej eksploatacji konstrukcji, z jednoczesnym wykorzystaniem prawa konstytutywnego, np. prawa Parisa – Erdogana [8]. Uzasadnia to celowość podejmowania prac nad zagadnieniem rozszerzania otrzymywanych wyników badań zmęczeniowych na obiekty wykonane z materiałów innych niż materiał rozważany, jednakże o podobnej charakterystyce natychmiastowej, z zachowaniem praw podobieństwa modelowego.

of the crack propagation during fatigue tests with simultaneous registration of the isochromatics field and of transverse deformation in this area is enables to make detailed analyses and estimations of both quality and quantitative page examined phenomena. It refers to the estimation of correctness of the model in the main measure and of adequacy of numeric procedures, accepted for the solution of the considered physically and geometrically nonlinear problem. Effects of experimental examinations make identification of material constants, necessary to determine the time of safe life structure, with the simultaneous usage of constitutive equation, for example of Paris - Erdogan law [8]. Usefulnessbases to take up of work above the issue of widening of results of the fatigue investigation for objects executed from other kind of the materials than considered one, but about similar instantaneous characteristics with affirming rights of the model similarity.

5. References

[1] Guz A. N. , Dyshel M. Sh.: *Fracture and buckling of thin panels with edge crack in tension*. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 36, 2001.

[2] Brighenti R.: *Buckling of cracked thin-plates under tension or compression*. Thin-Walled Structures 43, 2005.

[3] Baryt A., Madenci E., Britt V. O. Starnes J.H.: *Buckling of a thin, tension-loaded, composite plate with an inclined crack*. Engineering Fracture Mechanics 58, 3, 1997.

[4] Mróz Z. Seweryn A.: *Damage description with related crack initiation and propagation conditions*. J. de Physique (6) 1996.

[5] Seweryn A., Tomczyk A., Mróz Z.: *Opis rozwoju szczeliny w warunkach jednoosiowych obciążeń zmęczeniowych*. Przegląd Mechaniczny Zeszyt 7-8/2002.

[6] Forman R.G., Kearney V.E., Engle R.M.: *Numerical analysis of crack propagation in cycles loaded structures*, Journal of Basic Engineering, Trans. ASME, 89, 1967.

[6] Kocańda S., Szala J.: *Podstawy obliczeń zmęczeniowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.

[7] Paris P., Erdogan F.: *A critical analysis of crack propagation laws*. Journal of Basic Engineering, Trans. ASME 1963.

Dr inż. Tomasz KOPECKI
Dr inż. Jan ZACHARZEWSKI

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
35-959 Rzeszów Al. Powstańców Warszawy 8
Tel.0178651220, fax 0178543116
e-mail: tkopecki@prz.edu.pl, jzacharz@prz.edu.pl

Paweł LONKWIC
Jerzy LIPSKI

OCENA WPŁYWU STOPNIA ZUŻYCIA ROWKÓW LINOWYCH NA WARTOŚĆ EMISJI SYGNAŁU AKUSTYCZNEGO

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF DEGREE WASTE ROPE GROOVES ON VALUE OF EMISSION OF ACOUSTIC SIGNAL

W artykule przedstawiono wpływ stopnia zużywania się rowka koła ciernego dźwigu elektrycznego na stopień emisji sygnału wibroakustycznego. Do celów badawczych został wybudowany specjalny szyb dźwigowy, imitujący dźwig o napędzie ciernym, który został wyposażony w dwa czujniki akustyczne oraz dwa czujniki wibracyjne. W czasie badań wykonano szereg pomiarów mających na celu uwidocznieni problemu zawartego w temacie opracowania.

Słowa kluczowe: *Dźwig cierny, dźwig elektryczny, sygnał akustyczny, sygnał wibroakustyczny, zużycie rowków linowych, akustyka*

The article presents the effect of frictional wheel rope groove wear degree in an electric on the vibrating-acoustic signal degree. For research purposes a special lift shaft was built, imitating a frictional-drive. It was equipped with two acoustic and two vibration sensors. During the studies a range of measurements was performed in order to reveal the problem contained in the subject of this paper.

Keywords: *Traction elevator, elevator, acoustic signal, vibro-acoustic signal, wearing of grooves, acoustic*

1. Wstęp

Zasada działania wszystkich dźwigów ciernych jest taka sama i jest oparta na zjawisku cierności pomiędzy kołem ciernym i linami nośnymi. Proces zużywania się współpracujących elementów przebiega w różny sposób w zależności od konfiguracji urządzenia, zrównoważania układu, typu rowka linowego oraz sposobu wykonania rowka (rowek utwardzony lub nieutwardzony).

Próby diagnozowania procesu zużycia rowków linowych były przeprowadzane przez wiele firm dźwigowych tj.: Thyssen, Otis, Schindler. Monitorowanie stanu technicznego urządzeń dźwigowych sprowadza się do połączenia sterownika dźwigu poprzez sieć internetową do ekip, które nadzorują pracę urządzenia znajdującego się w budynku. Jednakże informacje przesyłane do jednostek sprawujących nadzór nad stanem technicznym są ubogie w informacje. Nie informują o stanie technicznym poszczególnych podzespołów, ale o wystąpieniu awarii w określonym miejscu i o określonym stanie.

Dzięki rozwijającej się technice komputerowej istnieją sposoby diagnozowania współpracujących

1. Introducation

The principle according to which all friction s work is the same. It is based on the phenomenon of friction between the friction wheel and lifting ropes. The process of wearing out of the cooperating elements takes different courses, depending on the appliance configuration, system balancing, rope groove type and on how was the grove made (hardened or non-hardened groove).

Many manufacturers have made attempts at diagnosing rope groove wear process, i.e.. Thyssen, Otis, Schindler. Monitoring the technical condition of lifting appliances involves connecting the controller through the Internet to the crews that supervise the work of an appliance that is in the building. However, the information sent to the units that supervise the technical condition is quite poor. They do not inform about the technical condition of the particular sub-assemblies, but about the occurrence of a breakdown in a particular place and condition.

Thanks to the development of computer technology, there are ways of diagnosing the cooperating

podzespołów co stwarza możliwości do opracowania systemów monitorujących [4].

Artykuł przedstawia nowatorski sposób diagnozowania procesu zużycia rowków linowych, który będzie się odbywał poprzez zapisanie emitowanego dźwięku przy wychodzeniu liny z rowka, a następnie porównanie go z pasmem wzorcowym. Dzięki temu, po zainstalowaniu w sterowaniu dźwigu specjalnego urządzenia pozwalającego na diagnozę porównawczą istnieje, możliwość opracowania całego systemu sprawującego nadzór na współpracującym kołem i linami [4].

Napęd cierny dźwigu elektrycznego jest jednym z dwóch stosowanych napędów w tych urządzeniach. Ruch kabiny dźwigu jest przekazywany poprzez liny nośne, które opasują koło cierne znajdujące się na reduktorze (rys. 1.). Średnica lin oraz koła ciernego są zależne od konfiguracji całego urządzenia.

Na rysunku 2 przedstawiony jest podział dźwigów ze względu na stosowane konfiguracje:

Obecnie w 45% montowanych urządzeń stanowią dźwigi o przełożeniu 1:1 z pojedynczym opasaniem. Urządzenia te są środkami transportu obsługującymi określone poziomy.

Dźwigi posiadają kabinę prowadzoną w prowadnicach, której ciężar wraz z udźwigiem jest równoważony przez masę równoważącą o masie stanowiącej od 40 – 60 % udźwigu i masy kabiny z ramą. Pozostała część niezrównoważenia jest realizowana przez siły cierności pomiędzy kołem ciernym i linami nośnymi.

Dźwigi można podzielić na:
a) elektryczne (o napędzie ciernym),
b) hydrauliczne

sub-assemblies, which makes it possible to develop monitoring systems. [4].

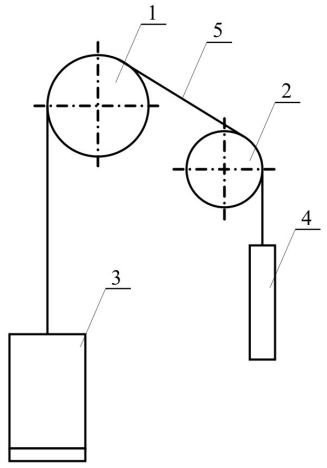
The article presents an innovative manner of diagnosing rope groove wear process, which will be performed through recording the emitted sound when the rope leaves the groove, and then comparing it to the model band. Thanks to that, after installing in the lift control a special appliance allowing for a comparative diagnosis, there is a possibility of developing a whole system supervising the cooperating wheel and ropes [4].

The friction drive of an electric is one of the two drives applied in these appliances. The movement of cab is transmitted through the carrying ropes that gird the friction wheel, which is situated on the reducer (fig. 1.). The diameters of the ropes and friction wheel depend on configuration of the whole appliance.

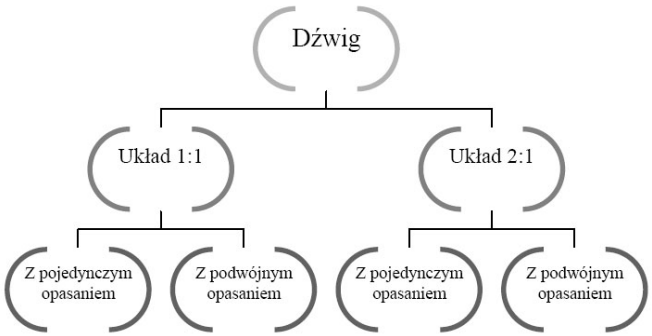
At present 45% of the assembled appliances are with purchase (leverage) 1:1 and single girding. They are means of transport for specific levels.

Elevators have cabs led in shears. The cab weight, together with lifting capacity are counterbalanced by the balancing bulk, whose weight constitutes 40 – 60 % of lifting capacity and mass of the cab with frame. The remaining part of non-balancing is accomplished by friction forces between the friction wheel and carrying ropes.

Elevators can be divided into:
a) electrics (with friction drives),
b) hydraulics



Rys. 1. Model napędu ciernego dźwigu elektrycznego [2]: 1 – koło cierne, 2 – koło zdawcze, 3 – kabina, 4 – przeciwwaga, 5 – liny nośne
Fig. 1. Model of trction elelvator [2]: 1 – sheave, 2 – pulley, 3 – car, 4 – counterweight, 5 – ropes



Rys. 2. Podział dźwigów ze względu na stosowane konfiguracje (opracowanie autorskie)
Fig. 2. Partition of elevator for the sake on configurations (author elaborate)

Napędy dźwigów ciernych składają się z: silnika elektrycznego, przekładni ślimakowej oraz hamulca. Przeniesienie napędu realizowane jest za pomocą przekładni linowej. W czasie eksploatacji urządzenia następuje proces zużywania rowków linowych. Proces zużywania powoduje, że współpraca lin z kole może być nierównomierna oraz zakłócana przez zjawisko zakleszczenia liny w rowkach. Na proces zakleszczenia liny w rowkach linowych mają wpływ następujące czynniki:

a) niejednorodność przekroju poprzecznego liny, wynikająca z długiego czasu eksploatacji,
b) niejednorodność przekroju poprzecznego liny, wynikająca z większego zarysu rowka na kole zdawczym,
c) naturalnego zużycia rowków linowych, co prowadzi do zmiany kształtu rowka.

Zjawisko zakleszczenia liny w rowkach linowych jest zjawiskiem powszechnym i znanym. Jednakże z uwagi na względy ekonomiczne oraz trudności związane z warunkami otoczenia nie zostały podjęte próby stworzenia systemu monitorującego stan rzeczywisty pary ciernej koło – lina.

Dźwigi o napędzie ciernym są urządzeniami, które są konfigurowane w różny sposób w zależności od: udźwigu, prędkości, umieszczenia podzespołów w szybie oraz innych warunków. W związku z tym, w kołach ciernych są używane cztery typy rowków (rys. 3). Najbardziej podatne na nadmierne zużycie są rowki podcięte, z uwagi na specyficzny kształt. W montowanych dźwigach z napędem ciernym 75% stanowią konfiguracje, w których zastosowany jest rowek klinowy podcięty.

Geometrycznie rowek klinowy podcięty wyznaczają kąty: γ – jako kat rozwarcia ścian bocznych i β – kąt środkowy. Zmiany geometryczne parametrów profilu rowka pociągają za sobą zmiany pozornego współczynnika tarcia f oraz zmianę maksymalnego nacisku p_{max}, który występuje na powierzchni zatknięcia liny z powierzchnią rowka [2].

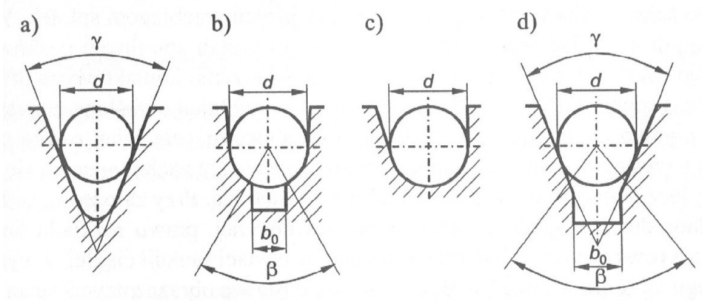
The drives of friction s consist of: an electric motor, a worm gear and a brake. Drive transmission is accomplished by means of a rope gear. During the appliance operation the process of rope groove wear is taking place. This process can make the cooperation between the ropes and friction wheel non-uniform (uneven) and it may be disturbed by the phenomenon of rope seizure in the grooves. The process of rope seizure in the rope grooves is influenced by the following factors:

a) heterogeneity of the rope cross-section, resulting from long operation time,
b) heterogeneity of the rope cross-section, resulting from larger groove profile on the delivery wheel,
c) natural wear of rope grooves, leading to change of groove shape.

The phenomenon of rope seizure in rope grooves is common and well known. However, due to economic considerations and difficulties related to the surrounding conditions, no attempts have been made at creating a system that could monitor the actual condition of the friction pair: wheel-rope.

Friction driven s are machines configured in different ways, depending on: lifting capacity, velocity, placing sub-systems in the shaft, and other conditions. That is why four types of grooves are used in friction wheels (fig. 3.). Undercut grooves are most susceptible to excess wear, due to their specific shapes. In the assembled friction-driven s 75% are configurations, where cut key-slots are applied.

Geometrically, a cut key-slot is determined by the following angles: γ – as the included (groove) angle of the lateral walls and β – the central angle. The geometrical changes of groove profile parameters cause changes of the apparent friction factor f and the change of maximum pressure p_{max}, which occurs on the surface where the rope contacts the groove surface [2].



Rys. 3. Typy rowków linowych [2], [6]: 1 – klinowy, 2 – półokrągły podcięty, 3 – półokrągły, 4 – klinowy podcięty
Fig. 3. Types of grooves [2], [6]: 1 – V-groove, 2 – U-groove undercut, 3 – U-groove, 4 – V-groove undercut

2. Metoda badań

Zbadano i porównano własności geometryczne oraz widma emitowanych dźwięków i wibracji powstałych na zbudowanym modelu dźwigu elektrycznego. Do badań wykorzystano koła wykonane z żeliwa szarego, na których został nacięty jeden rowek linowy o geometrii pozwalającej na współpracę z liną o średnicy 6 mm.

Do rejestracji danych posłużono się analizatorem dźwięku i drgań SVAN 912E, który był wyposażony w czterokanałową przystawkę SV08A z podłączonymi dwoma torami pomiaru drgań za pomocą czujników 3185 firmy DYTRAN oraz z dwoma torami do pomiaru natężenia dźwięku za pomocą mikrofonów SV02 z przedwzmacniaczami SV01A. Wyjścia analogowe przystawki SV08A podłączone były do czterokanałowego przetwornika analogowo – cyfrowego QuantaFire 610 (fot. 1, 2). Za pomocą analizatora były mierzone widma dźwięku i drgań, a za pomocą przetwornika analogowo – cyfrowego podłączonego do komputera rejestrowane były przebiegi czasowe zarówno dźwięku drgań [7].

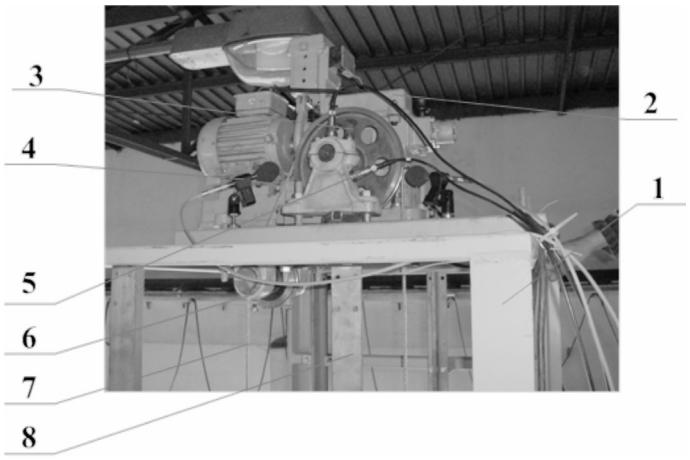
Pomiary miały na celu uchwycenie różnic w widmach dźwięku i drgań generowanych przez linę współpracującą z kołem ciernym. W tym celu wykonano 14 próbek kół ciernych, na których zostały nacięte rowki klinowe podcięte, z zasymulowanym różnym stopniem zużycia. W czasie pomiarów model windy wykonywał ruch góra – dół, w czasie którego następowała rejestracja danych.

2. Method of reserch

We examined and compared the geometrical properties and spectra of emitted sounds and vibrations that were created on the electric model we had built. For the research purposes we used wheels made of gray cast iron, on which one rope groove was cut, whose geometry allowed for cooperation with a rope of the diameter of 6 mm.

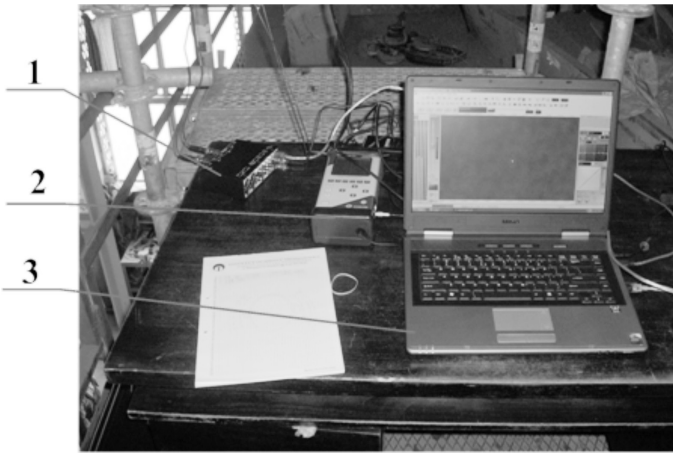
For data registration we used sound and vibration analyzer SVAN 912E, equipped with the four-channel attachment SV08A, connected with two slotted lines for vibration measurement by means of sensors 3185 manufactured by DYTRAN and two slotted lines for sound intensity measurement by means of SV02 microphones with SV01A preamplifiers. The analog outputs of SV08A attachment were connected to the four-channel analog-digital converter QuantaFire 610 (photo 1, 2). By means of an analyzer we measured the spectra of sound and vibrations, and by means of an analog-digital converter, connected to a computer, we simultaneously recorded the time courses of sound and vibrations [7].

The measurements were aimed at grasping the differences in the spectra of sound and vibrations generated by the rope cooperating with the friction wheel. For this purpose we made 14 samples of friction wheels on which we undercut the cut key-slot with simulated various wear degree. During the measurements a lift model made up and down movement, during which the data were registered



Fot. 1. Widok stanowiska pomiarowego [3]: 1 – szyb, 2 - zespół napędowy, 3 – koło cierne, 4 – mikrofon kierunkowy typu SV02, 5 – czujnik drgań typu 3185, 6 – zawieszenie koła zdawczego, 7 – lina nośna, 8 – prowadnice

Fig. 1. View of measuring station [3]: 1 – shaft, 2 - gear, 3 – sheave, 4 – type SV02 microfon, 5 – type 3185 vibration sensor, 6 – suspension of pulley, 7 – rope, 8 – guide rails



Fot. 2. Widok stanowiska pomiarowego [3]: 1 – czterokanałowy przetwornik cyfrowo-analogowy QuantaFire 610, 2 – analizator dźwięku i drgań SVAN 912AE, 3 – komputer

Fig. 2. View of measuring station [3]: 1 – four - channel analog - digital conventer of type QuantaFire 610, 2 – sound and vibration analyzer of type SVAN 912AE, 3 – computer

3. Otrzymane wyniki

W celu lepszej analizy otrzymanych wyników, dokonano zapisu danych w czasie poruszającej się kabiny, rozpoczynając od kierunku do góry, następnie w kierunku dół.

Na poniższych rysunkach przedstawione są wyniki pomiarów. Pomiary były przeprowadzone w warunkach ustalonych. Otrzymane wyniki zostały przetworzone do postaci cyfrowej i przedstawione na poszczególnych wykresach. Na rysunku 4 przedstawione są otrzymane charakterystyki dla poszczególnych kół. Na rys 4 i 5 przedstawione są charakterystyki dźwięku dla kół o numerach parzystych K2 - K10 w czasie ruchu do góry.

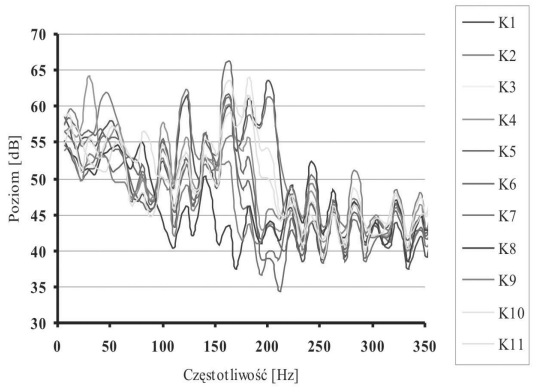
Na powyższych wykresach przedstawione są widma otrzymane na podstawie badań nad wpływem zagłębiania się liny w roku linowym w kole

3. Received results

For better analysis of the obtained results we recorded the data during cab movement starting from going up and then going down.

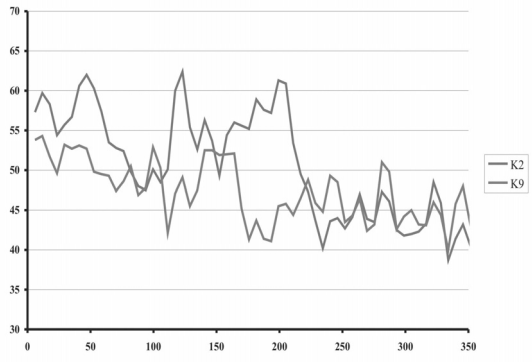
The figures below show measurement results. The measurements were performed in established conditions. The obtained results were processed to the digital form and presented on particular graphs. Figure 4 shows the obtained characteristics for particular wheels. In figures 4 and 5 we presented sound characteristics for subsequent even wheel pairs K2 – K10 during movement upwards.

The graphs above present the spectra obtained on the basis of studies on the effect of the rope sinking into the rope groove of a friction wheel. Due to the fact that the phenomenon of the rope sinking into the grooves occurs at random and unevenly, it was



Rys.4. Widma emitowanego dźwięku w czasie jazdy do góry [3]

Fig. 4. The phantom of emitted sound in time of drive to top [3]

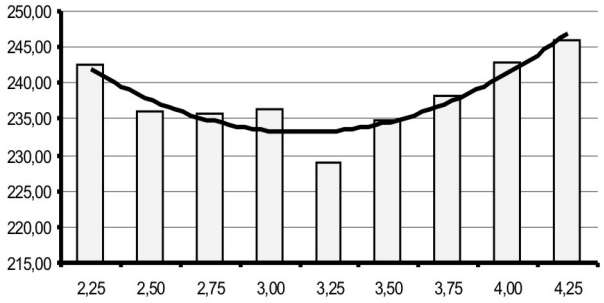


Rys.5. Widma emitowanego dźwięku w czasie jazdy do góry dla kół nr 2 i 9 [3]

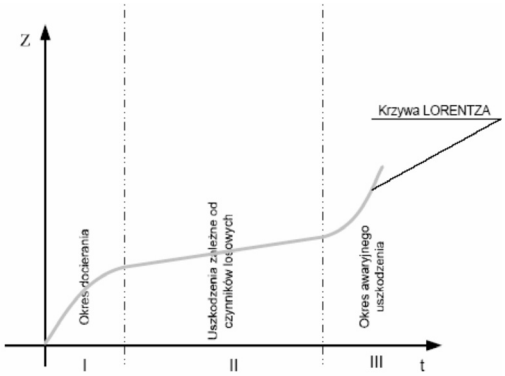
Fig. 5. The phantom of emitted sound in time of drive to top for wheels of No. 2 and 9 [3]

ciernym. Z uwagi na to, że zjawisko zagłębiania się liny w rowkach występuje losowo oraz nierównomiernie, wynika z tego, że zasadne było podjęcie badań w tym kierunku. Powyższe wykresy pokazują różnice jakie występują w czasie ruchu do góry i ruchu w dół kabiny oraz różnice wynikające z zagłębienia się liny w rowku na różną głębokość. Na rysunku 4 przedstawione są widma zarejestrowane dla 11 kół, gdzie lina zagłębiała się co 0,25 mm w głąb rowka. Na rysunku 5 pokazane są dwa widma dla kół nr 2 oraz nr 9. Różnica w widmach pokazuje zakres, dla którego w dalszych badaniach można analizować wpływ zużycia wieńca koła oraz powiązanie otrzymanych widm z procesem zakleszczenia lin w rowkach. Na rysunku 5 przedstawiona jest linia trendu dla postępu zużywania się rowka w stosunku do odległości wektorów w przestrzeni euklidesowej. Na rysunku 7 przedstawiona jest krzywa zużycia obiektów technicznych (krzywa LORENTZA). Jeżeli założymy, że krzywą trendu przedstawioną na rysunku 6 „rozciągniemy" w czasie, wówczas otrzymamy zbliżoną krzywą do krzywej zużycia w II i III etapie eksploatacji obiektów technicznych. Punkt łagodnego przejścia krzywej trendu przy zagłębieniu liny na odległość między 3,5 a 3,75 mm, można traktować jako punkt załamania krzywej Lorentza między II, a III obszarem. Wówczas analizując zużycie rowków linowych powyżej 3,5 mm, otrzymujemy sygnał świadczący o zbliżającym się okresie regeneracji koła lub wymiany.

justifiable to undertake studies in this direction. The graphs above show the differences that occur during the cabs upward and downward movements, as well as the differences resulting from the fact that the rope sinks into the groove at different depths. Figure 4 shows the spectra recorded for 11 wheels where the rope sank into the groove every 0.25 mm. Figure 5 presents two spectra for wheels number 2 and number 9. The difference in the spectra shows the range for which, in our further studies, we could analyze the influence of wheel rim wear and the relationship of the obtained spectra to the process of rope jamming in the grooves. Figure 5 presents the trend line for the progress of groove wear in relation to the distance between vectors in Euclidean space. Figure 7 presents the technical objects wear curve (LORENTZ'S curve). If we assume that the trend curve, presented in figure 6 can be „stretched" in time, then we will obtain a curve that is similar to wear curves in stages II and III of technical object operation. The point where the trend curve smoothly passes at the distance between 3.5 and 3.75 mm, the rope being sunk, can be treated as the Lorentz's curve refraction point between areas II and III. Then, analyzing the rope groove wear above 3.5 mm, we receive a signal indicating the approaching wheel regeneration or replacement period.



Rys. 6. Czujnik M1 rejestrujący w kierunku do góry [3]
Fig. 6. Sensor recording in direction to mountain M1 [3]



Rys. 7. Krzywa zużycia obiektów technicznych [3]
Fig. 7. Curve of wearing of technical objects [3]

4. Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono metodę pomiaru stanu technicznego parę kinematyczna koło-lina z wykorzystaniem sygnału akustycznego. Zastosowanie opracowanej metody pozwoliło otrzymać wyniki, które posłużyły do wyznaczenia widm poszczególnych częstotliwości emitowanego dźwięku. Metody monitorowania stanu technicznego pary kinematycznej koło-lina nie były w Polsce dotychczas stosowane oraz wdrażane.

4. Recepitulation

The paper presents a method of technical condition measurement through the wheel-rope kinematical pair, with the use of an acoustic signal. Application of the developed method made it possible to obtain results that later served for the determination of the spectra for particular frequencies of the emitted sound. The methods of monitoring the technical condition of the wheel-rope kinematical pair have not been hitherto applied and implemented in Poland.

Wyniki prac badawczych pozwolą na opracowanie metody monitorowania stanu technicznego pary kinematycznej koło-lina z wykorzystaniem sygnału akustycznego. Do badań wykorzystano model windy, który był wykonany odpowiednio w skalach zapewniających odwzorowanie dźwigu osobowego o udźwigu 450 kg. Badania przeprowadzono na 11 próbkach w postaci kół ciernych z naciętymi rowkami o różnym stopniu zużycia. Podczas prób badawczych otrzymano wyniki, które wstępnie potwierdziły tezy pracy.

5. Wnioski

Systemy sprawujące nadzór nad stanem technicznym urządzeń stają się coraz bardziej powszechnym zjawiskiem w dziedzinach wytwarzania oraz zarządzania.

Systemy monitorujące posiadają aspekty ekonomiczne oraz eksploatacyjne. Do aspektów ekonomicznych można zaliczyć:

- zwiększenie niezawodności, bezpieczeństwa oraz gotowości urządzenia dźwigowego,
- obniżenie kosztów utrzymania całego systemu transportowego,
- poprawy systemów logistycznych związanych z zapewnieniem podzespołów zamiennych w minimalnych ilościach,
- zredukowanie awarii, przestojów oraz strat spowodowanych powyższymi czynnikami.

Do aspektów eksploatacyjnych zaliczają się:

- możliwość diagnozowania stanu technicznego urządzenia w czasie rzeczywistym,
- wcześniejsze ustalenie wystąpienia uszkodzenia,
- możliwość ustalenia wartości granicznych, dla których urządzenie jest w stanie bezawaryjnie pracować,
- zapobieganie powstawaniu skutków uszkodzeń.

Otrzymane wyniki pozwolą na opracowanie metody monitorowania stanu technicznego pary ciernej dźwigu, co pozwoli na zapobieganie powstawania uszkodzeń układu oraz w przypadku wystąpienia sygnałów świadczących o występowaniu zjawiska zakleszczania liny w rowku, możliwość wcześniejszej regeneracji koła oraz sprawdzenie stanu technicznego cięgien nośnych. Do analizy danych w czasie rzeczywistym, może posłużyć z dużym powodzeniem sieć samoorganizująca Kohonena, która została opracowana przez Kohonena w latach 1979 – 82 [1]. Jest to sieć typu WTA, z uczniem bez nauczyciela. Odwzorowanie N - wymiarowych danych wejściowych sieci na M - wymiarowy wektor wyjściowy odbywa się, przy niejawnie zadanych próbkach uczących. Sieć uczy się ciągłego odwzorowania wejścia – wyjścia poprzez zastosowanie odpowiednio dobranych próbek wejściowych [5].

The results of research works will make it possible to develop a method of monitoring the technical condition of wheel-rope kinematical pair with the use of an acoustic signal.. For our studies we used a lift model, which had been made respectively in the scales securing the representation of a passenger lift with hoisting capacity of 450 kg. The studies were performed on 11 samples in the form of friction wheels with cut grooves of various wear degrees. During the research assays we obtained results that initially confirmed the arguments of this paper.

5. Conclusions

The systems that supervise the technical condition of appliances are more and more common phenomena in the domains of production and management.

The monitoring systems have some economic and operational aspects. The economic aspects can include:

- increase of reliability, safety and readiness of the lifting appliance,
- decrease of maintenance costs for the whole transport system,
- improvement of logistic systems related to securing replaceable sub-assemblies in minimum quantities,
- reducing failures, shutdowns and losses caused by the above factors.

The operational aspects include:

- possibility of diagnosing the appliance's technical condition in the actual time
- earlier establishment of the defect occurrence,
- possibility of establishing limiting values in which an appliance can work without failure,
- preventing the effects of damages.

The obtained results will make it possible to develop a method of monitoring the technical condition of the lift friction pair. This will allow for system damage prevention and, when the signals indicating the phenomenon of rope seizure in the groove occur, there will be a possibility of earlier wheel regeneration and checking the technical condition of carrying strings. Data analysis in the actual time can be quite successfully performed by Kohonen self-organizing network, developed by Kohonen in the years 1979 – 82 [1]. It is a WTA –type network, with student without teacher. The representation of N – dimensional network input data on the M - dimensional output vector takes place at secretly asked teaching samples. The network learns continuous input-output representation through the application of appropriately matched input samples [6].

6. Literatura

[1] Kohonen T.: *Self-organization and Associative Memory*, Wyd. Springer Verlag, Berlin 1988.
[2] Kwaśniewski J.: *Dźwigi osobowe i towarowe,* Wyd. UWND, Kraków 2004.
[3] Lonkwic P.: *Identyfikacja procesu zużycia pary kinematycznej koło – lina z wykorzystaniem sygnału akustycznego* – autoreferat, Politechnika Lubelska, Lublin 2005.
[4] Lonkwic P.: *Wpływ procesu zużycia pary kinematycznej koło – lina na zjawisko zakleszczania liny nośnej dźwigu elektrycznego*, Eksploatacja i Niezawodność, Lublin 2005.
[4] Osiński S.: *Sieci neuronowe*, Wyd. OWPW, Warszawa 1994.
[6] Polska Norma PN EN 81.1:2002: Przepisy bezpieczeństwa dotyczące konstrukcji i instalowania dźwigów osobowych i towarowych oraz dźwigów towarowych małych.
[7] www.svantec.com.pl

****

Artykuł został napisany dzięki środkom uzyskanym w ramach projektu „Intensyfikacja działań innowacyjnych regionu poprzez system stypendiów doktorskich (działanie 2.6) nr Z/2.06/II/2.6/5/04

****

Mgr inż. Paweł LONKWIC
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji
e-mail: plonkwic@poczta.onet.pl

Dr hab. inż. Jerzy LIPSKI, prof. PL
Politechnika Lubelska
Wydział Zarządzania
Katedra Organizacji Przedsiębiorstw
e-mail: j.lipski@pollub.pl

Mariusz WALCZAK
Jarosław BIENIAŚ
Barbara SUROWSKA

WIELOWARSTWOWY UKŁAD TYTAN – POWŁOKA ZOL-ŻEL – PORCELANA DENTYSTYCZNA DO ZASTOSOWAŃ W PROTETYCE STOMATOLOGICZNEJ

MULTILAYERED SYSTEM TITANIUM – SOL-GEL COATING – DENTAL PORCELAIN IN DENTAL PROSTHETICS APPLICATIONS

W pracy przedstawiono rezultaty badań powłok przejściowych SiO_2-TiO_2 nanoszonych na podłoże tytanowe metodą zol-żel oraz napalanej niskotopliwej porcelany dentystycznej Triceram. Analizowano mikrostrukturę połączenia powłok zol-żel i wykonano badania przyczepności warstwy ceramicznej w oparciu o normę PN-EN ISO 9693. Na postawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie powłok przejściowych zol-żel pomiędzy metalem podłoża: tytanem i jego stopem Ti6Al4V ELI a porcelaną dentystyczną powoduje wzrost wytrzymałości połączenia od 25% do 28% w porównaniu do metalu bazowego poddanego jedynie konwencjonalnej obróbce-piaskowania. Uzyskany układ kompozytowy metal – powłoka pośrednia zol-żel – porcelana spełnia wymagania jakościowe stawiane implantom stomatologicznym umożliwiając podniesienie ich jakości, trwałości i wytrzymałości i może być stosowany w laboratoriach stomatologicznych.

***Słowa kluczowe**: metoda zol-żel, tytan, porcelana dentystyczna, trzypunktowe zginanie*

In this work the results of the study of SiO_2-TiO_2 intermediate coatings on titanium substrate, produced by sol-gel method and low-fusing Triceram dental porcelain were presented. The microstructure of joint sol-gel coatings and adhesion tests of ceramic coatings according to PN-EN ISO 9693 standards were examined. The above studies led to the conclusion that the application of sol-gel intermediate coatings between metal substrate: titanium and Ti6Al4V ELI alloy and dental porcelain cause the increase of bond strength of metal-porcelain joint from 25% to 28% in comparison with metal substrate after sand blasting conventional treatment. The obtained metal – intermediate coating sol-gel – porcelain composite structure met the qualitative demands of dental implants enabling increasing their quality, durability and strength and may be used in the dental laboratories.

***Keywords**: sol-gel, titanium, dental ceramics, three-point bending*

1. Wprowadzenie

W protetyce stomatologicznej stosowanych jest szereg materiałów metalowych i niemetalowych [1]. W grupie materiałów metalowych stosowane są m. in. stopy złota, platyny, srebra z palladem, a także stopy kobaltu i niklu oraz stopy tytanu. Obecnie coraz bardziej popularnymi materiałami stały się tytan i jego stopy [1,2]. Tytan posiada bardzo korzystne właściwości takie jak: odporność na korozję, niski ciężar właściwy, dobre właściwości mechaniczne i wysoką biozgodność [3]. Z tytanu w protetyce stomatologicznej w szerokim zakresie wykonywane

1. Introduction

In dental prosthetics are used series of metal and non-metal materials [1]. In the group of metallic materials are used: Au based alloys, Pt based alloys, Ag-Pd alloys, Co and Ni alloys, and titanium alloys. Nowadays, titanium and its alloys became the most popular materials [1,2]. Titanium have very attractive properties, such as: corrosion resistance, low density, good mechanical properties and high biocompatibility [3]. In dental prosthetics from titanium are wide range manufactured prosthetic apparatus, which are faced by low-fusing dental porcelain [4]. At present the manufacturing of titanium prosthetic apparatus

są aparaty protetyczne trwale licowane niskotopliwą porcelaną dentystyczną [4].

Wykonywanie tytanowych aparatów protetycznych pokrywanych porcelaną, obecnie w skali laboratoryjnej jest procesem trudnym, ze względu na różnice w charakterze wiązań chemicznych cechujących obydwa materiały. Natura wiązań chemicznych zmienia się skokowo na granicy metal-ceramika, przy przejściu od sieci metalicznej do jonowo-atomowej. Na etapie przygotowania powierzchni w protetyce stomatologicznej stosuje się tradycyjne piaskowanie, co nie zapewnia trwałego połączenia metalu z porcelaną [4-6]. Metoda ta obecnie jest w powszechnym użyciu, jednak w praktyce obserwuje się dość częste przypadki uszkodzeń struktury ceramicznej wynikające z niedoskonałości poszczególnych etapów wykonania w warunkach laboratoryjnych jak i klinicznych [7]. Obserwuje się przypadki odpryśnięcia ceramiki od powierzchni struktury metalowej. Pod tym względem badania kliniczne wykazują 16% niepowodzeń po trzyletnim użytkowaniu [8].

Powyższy fakt skłonił autorów pracy do podjęcia badań w tym temacie. Celem pracy było ukształtowanie warstwy wierzchniej metalowych biomateriałów przez wytworzenie układu wielowarstwowego złożonego z wewnętrznej warstwy ceramicznej wykonanej metodą zol-żel i warstwy zewnętrznej z porcelany stomatologicznej, tak aby uzyskać trwałe połączenie. W artykule przedstawiono rezultaty badań powłok przejściowych SiO_2-TiO_2 nanoszonych na podłoże tytanowe metodą zol-żel oraz napalanej niskotopliwej porcelany dentystycznej Triceram.

2. Metodyka badań

Materiał podłoża stanowił czysty technicznie tytan (ASTM – grade II) oraz jego stop Ti6Al4V ELI (ASTM – grade V). Próbki miały postać prostopadłościennych płytek o wymiarach 25×3×0,5 mm zgodnie z wymogami normy PN-EN ISO 9693. Na tytanowe próbki nanoszono powłokę SiO_2-TiO_2 metodą zol-żel. Zol SiO_2-TiO_2 otrzymano przez hydrolizę propoksylowej pochodnej $Ti(C_3H_7O)_4$ i czteroetoksysilanu $Si(OC_2H_5)_4$ (TEOS) z dodatkiem HCl jako katalizatora. Końcowe stężenie $TiO_2 + SiO_2$ wynosiło 7,63 % wagowych.

Próbki tytanu pokrywano techniką wynurzeniową ze stałą prędkością wynoszącą 3.3 mm/s, a grubość powłoki regulowano przez stosowanie wielokrotnego wynurzania. Po nałożeniu filmu próbki suszono i wygrzewano przy temp. ok. 550°C w atmosferze argonu. Centralnie na tytanowe blaszki nałożono niskotopliwą porcelanę dentystyczną Triceram (firmy Dentaurum Co) o wymiarach 8×3×1 mm zgodnie z normą PN-EN ISO 9693 [9].

covered with porcelain is a difficult process in laboratory conditions on account of the differences in the character of chemical bonds that characterize both materials. The nature of chemical bonds has a tendency to change jerkily on the interface of metal-ceramic during the transition from metallic to ionic-atomic structure. In the process of surface preparation in dental prosthetics, conventional sand blasting is used, which does not provide the durable metal-porcelain joint [4-6]. Although this method is in common use, frequent defects of ceramic structure are observed resulting from imperfections of particular stages of manufacturing in both laboratory and clinical conditions [7]. Clinical investigations show 16% the defect of dental porcelain after three-year-old use [8].

The above mentioned facts have induced the authors of this work to undertake the research in this field. The main aim of the study was to form the surface layer of biomaterials by creating the multilayered system consisting of internal ceramic layer produced, with the use of sol-gel method and external porcelain layer, so as to obtain a durable joint. In this article the results of the study of SiO_2-TiO_2 intermediate coatings on titanium substrate, produced by sol-gel method and low-fusing Triceram dental porcelain were presented.

2. Experimental

Commercially pure titanium (ASTM – grade II) and Ti6Al4V ELI alloy (ASTM –grade V) were used. The samples had the figure of plates about dimensions 25 × 3 × 0,5 mm in agreement with requirements of norm PN-EN ISO 9693. Coatings of SiO_2-TiO_2 on titanium substrate were deposited using sol-gel method. SiO_2-TiO_2 sol was prepared by the hydrolysis of titanium propoxide $Ti(OC_3H_7)_4$ and TEOS with the addition of HCl as a catalyst. The final concentration of TiO_2+SiO_2 was 7.63 wt.%.

Deposition of the layers consisted of withdrawing the metal samples from sol solution with a constant rate of 3.3 mm/s. Thickness of the deposit was controlled by multiple dipping. After the completion of deposition, the as-deposited coatings were carefully dried and annealed in 550°C an argon atmosphere. In the middle part of samples (8×3×1mm) Triceram (Dentaurum) low-fusing dental porcelain were fired (according to PN-EN ISO 9693 [9]).

Trzypunktowemu zginaniu poddano próbki z powłoką przejściową zol-żel oraz próbki bez powłoki pośredniej, ale z zastosowaniem piaskowania powierzchni przed procesem wypalania ceramiki. Posuw wynosił 1,5 mm/min przy obciążeniu 0,6 N. Siła zrywająca była rejestrowana jako maksimum siły w „krzywej wyporności siły". Testy przyczepności wykonano na maszynie wytrzymałościowej Zwick Z100.

Wytrzymałość połączenia (τ_b) określono z zależności [9]:

$$\tau_b = k \cdot F_{fail} \quad (1)$$

gdzie: k jest współczynnikiem zależnym od grubości metalu bazowego i modułu Younga, a F_{fail} jest siłą powodującą utratę połączenia metal-ceramika.

Do badań mikrostruktury powłok zol-żel oraz do analizy próbek po testach wytrzymałościowych wykorzystano mikroskop skaningowy LEO 1430VP z EDX – Roententec. Pomiary chropowatości powłok zol-żel wykonano przy użyciu profilometru Perthometer M2.

3. Rezultaty i dyskusja

Mikrostrukturę powłok SiO_2-TiO_2 wytworzonych metodą zol-żel na czystym technicznie tytanie cp-Ti i jego stopie Ti6Al4V ELI przedstawia rysunek 1. Uzyskano korzystną strukturę kompozytową powłoki zol-żel składającą się z cząsteczek SiO_2 w osnowie TiO_2. Struktura powłok zol-żel jest zwarta i jednorodna chemicznie. Grubość powłok przejściowych zol-żel waha się od 3 do 5 μm. Wysokość chropowatości powierzchni powłoki SiO_2-TiO_2 wynosi R_z=7,48 μm. Dla porównania chropowatość powierzchni tytanu po piaskowaniu korundem szlachetnym o ziarnie 50 μm wynosi R_z=4 μm [10]. Porcelana wnika w drobne nierówności powierzchni metalu tworząc mikroszczepienia, które sprzyjają uzyskaniu wyższej trwałości połączenia układu metal-ceramika, co stanowi dodatkowym mechanizm zwiększający przyczepność porcelany do chropowatej powierzchni powłoki zol-żel.

Wyniki przeprowadzonych badań przyczepności układu metal-porcelana dentystyczna przedstawia tabela 1. Zgodnie z normą PN-EN ISO 9693 [9] porcelana dentystyczna napalana na metalowe podłoże powinna osiągnąć wartość minimalną wytrzymałości połączenia wynoszącą 25 MPa. Najwyższe wartości wytrzymałości połączenia metal-porcelana uzyskano stosując na stopie Ti6Al4V ELI warstwę przejściową SiO_2-TiO_2, najniższe natomiast w przypadku tytanu poddanemu jedynie konwencjonalnemu przygotowaniu podłoża-piaskowaniu. Przy zastosowaniu powłoki SiO_2-TiO_2 na cp-Ti uzyskano 25% wzrost wytrzymałości połączenia w stosunku do układu

The bond strength of samples with SiO_2-TiO_2 intermediate coatings and samples after sand blasting conventional treatment were measured using a three-point bend test. Force 0.6 N was applied at a crosshead speed of 1.5 mm/min until fracture. The maximum in the force displacement curve was recorded as the breaking force. The bond test was performed with the use of Zwick Z100 universal testing machine.

The bond strength (τ_b) was calculated using the equation [9]:

$$\tau_b = k \cdot F_{fail} \quad (1)$$

where: the coefficient k is a function of the thickness of the metal substrate and the value of Young's modulus. Then F_{fail} is fracture force causing the loss of joint of metal-porcelain.

The microstructure of the sol-gel coatings and samples after three-point bending test was examined using the scanning electron microscope LEO 1430VP with an EDX-Roentec attachment. The mean surface roughness of sol-gel coatings was measured using the Taylor Hobson Profilometer.

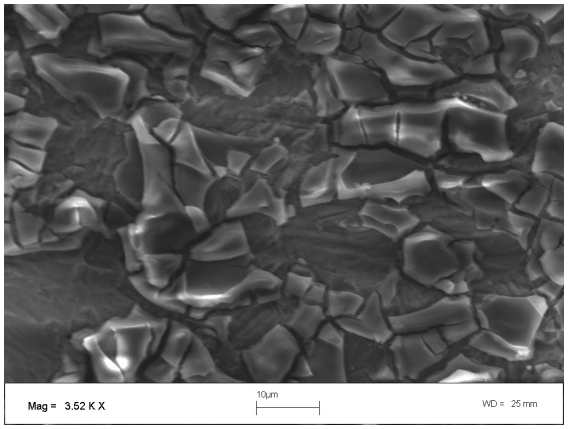
3. Results and discussion

The microstructures of the SiO_2-TiO_2 coatings on cp-Ti and Ti6Al4V ELI alloy are presented in Fig. 1. In the SiO_2-TiO_2 coating was obtain the composite structure of SiO_2 particles in the TiO_2 matrix. The SiO_2-TiO_2 coatings are compact and chemically homogeneous. The thickness of the intermediate coatings were about 3-5 μm. The mean surface roughness R_z of SiO_2-TiO_2 coating average about 7.48 μm. Titanium surface roughness after sand blasting conventional treatment (value grain Al_2O_3 50 μm) average R_z=4 μm [10]. The porcelain penetrate into the surface roughness and create points of "mechanical interlocking" to promote osteintegration, which increase of bond strength between substrate metals and dental porcelain.

Results of the three-point bending test of metal-dental porcelain are presented in Table 1. According to PN-EN ISO 9623 standards [9], the bond strength of the ceramic should be greater than 25 MPa. The highest value of bond strength of metal-dental porcelain, was observed with the use of SiO_2-TiO_2 intermediate coating, on Ti6Al4V ELI alloy, whereas, in the case sand blasted titanium alloy the lowest value were observed. In the case of cp-Ti/SiO_2-TiO_2/Triceram system, 25% increase of bond strength was achieved in comparison with cp-Ti-dental porcelain without intermediate coatings. Whereas in the case of Ti6Al4V ELI/SiO_2-TiO_2/Triceram the increase of 28% was observed.

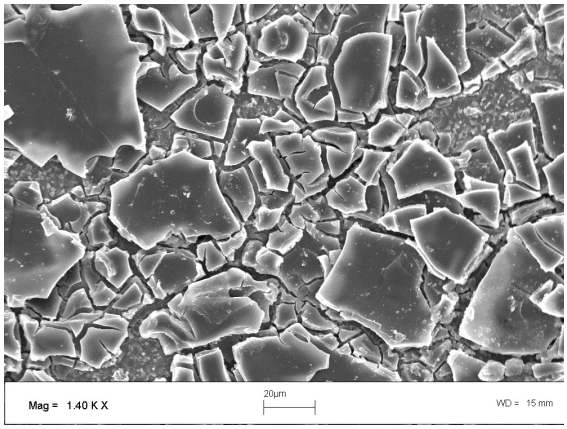
Ti-porcelana bez warstw przejściowych. Natomiast w przypadku stopu Ti6Al4V ELI z powłoką zol-żel wzrost ten wynosi 28%.

a)



Garbelini et al. [11] investigated of bending test of Ti/Triceram and Ti6Al4V/Triceram systems with sand blasting of metal substrate before faced by

b)



Rys. 1. Mikrostruktura powłok SiO_2-TiO_2 na: (a) cp-Ti; (b) Ti6Al4V ELI
Fig 1. Microstructure of SiO_2-TiO_2 coatings on: (a) cp-Ti; (b) Ti6Al4V ELI

Garbelini i współ. [11] prowadzili badania przyczepności Ti/Triceram oraz Ti6Al4V/Triceram z zastosowaniem tradycyjnego piaskowania powierzchni metalu przed procesem napalania porcelany. Jednak uzyskali oni mniejsze wartości wytrzymałości połączenia (dla Ti/Triceram 26,6±3,1 MPa oraz dla Ti6Al4V/Triceram 25,53±3,8 MPa). Podobną wytrzymałość dla układu połączenia Ti/Triceram uzyskali Carlsson i współ. [12]. Odnotowali oni wytrzymałość rzędu 26,7±3 MPa.

Özcan i Uysal [13] proponują nakładanie cienkich warstw przejściowych z SiO_2 (rzędu 500 nm) metodą rozpylania jonowego, na podłoże tytanowe celem zwiększenia przyczepności porcelany. Uzyskano wzrost przyczepności porcelany dentystycznej do tytanowego podłoża przy zastosowaniu powłoki krzemionkowej dla porcelany Triceram z 23,31 MPa do 24,91 MPa. Jednakże nie osiągnięto wymaganej (zgodnie z normą ISO 9693) minimalnej wytrzymałości połączenia 25 MPa.

Jednak analizując powyższe wyniki można z całą pewnością stwierdzić, że warstwy zol-żel zwiększają przyczepność porcelany do tytanowego podłoża.

Według badań własnych autorów oraz danych literaturowych [14-16] powłoki SiO_2-TiO_2 wykonane me-

porcelain. However, they obtained the smaller values of bond strength (for Ti/Triceram 26,6±3.1 MPa and for Ti6Al4V/Triceram 25.53±3.8 MPa). Carlsson et al. [12] got the similar bond strength for systems Ti/Triceram [12]. They got bond strength about 26.7 ± 3 MPa.

Özcan and Uysal [13] proposed that the production of SiO_2 intermediate coating (500 nm) by ion sputtering method may provide durable joint between titanium and porcelain. In the case of SiO_2 coating and Triceram porcelain, increase of bond strength was achieved (from 23.31 MPa to 24.91 MPa). The minimum bond strength (25 MPa) according ISO 9693 standards was not obtained. The analysis of these studies confirms that the sol-gel coatings influence on increase of durable joint between dental porcelain and titanium substrate.

According to the author's study and literature data [14-16], SiO_2-TiO_2 coatings manufactured by sol-gel method show diffusive character, which has a positive influence on the adhesion to metal substrate.

The higher value of the roughness of SiO_2-TiO_2 coatings has an influence on the increase of bond strength of metal-intermediate coating-porcelain. What positively affects the durability of joint

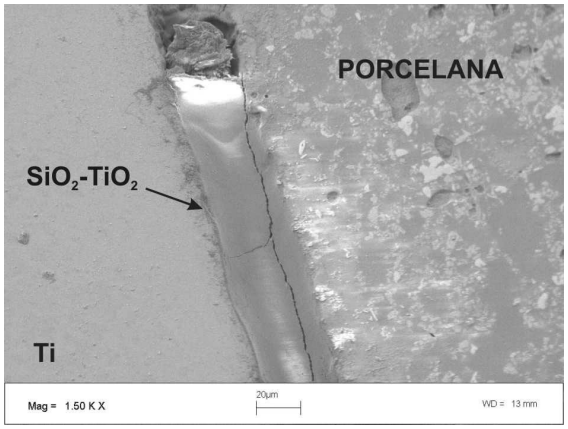
Tabela1. Wyniki badań przyczepności układu metal-porcelana dentystyczna
Table 1. Results of the three-point bonding test metal-dental porcelain

Układ połączenia *Bonding system*	*Wartość siły F_{fail} [N]* *Force F_{fail} [N]*	*Wytrzymałość połączenia $_b$ [MPa]* *Bond strength τ_b [MPa]*
Ti/Triceram	*4,52 ±0,35*	*23,04 ±1,78*
Ti/SiO_2-TiO_2/Triceram	*5,66 ±0,23*	*28,84 ±1,17*
Ti6Al4V ELI/Triceram	*6,01 ±0,79*	*28,24 ±3,71*
Ti6Al4V ELI/SiO_2-TiO_2/Triceram	*7,68 ±0,55*	*36,09 ±2,57*

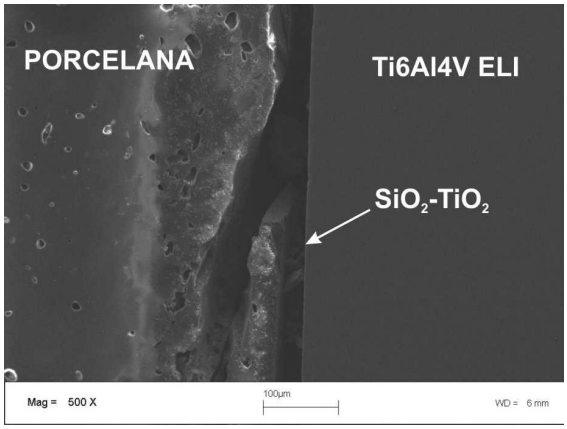
todą zol-żel wykazują charakter dyfuzyjny, co wpływa pozytywnie na osiągnięcie dobrej przyczepności do powierzchni metalu. Ponadto uzyskanie większej chropowatości w przypadku powłok SiO_2-TiO_2 wpływa na wzrost wytrzymałości połączenia układu tytan-powłoka przejściowa-porcelana. Korzystną cechą wpływającą na otrzymanie trwałego połączenia układu Ti6Al4V ELI/SiO_2-TiO_2/porcelana wydaje się być także uzyskanie struktury kompozytowej warstwy przejściowej SiO_2-TiO_2 składającej się z cząsteczek SiO_2 w osnowie TiO_2. Obserwacje SEM (rys. 2) po przeprowadzonych badaniach przyczepności wskazują na uzyskanie połączenia o dobrych właściwościach adhezyjnych układu metal-ceramika. Utratę połączenia (pęknięcia) odnotowano na powierzchni rozdziału powłoka zol-żel – porcelana dentystyczna (opaker).

Ti6Al4V ELI/SiO_2-TiO_2/poprcelain could be caused by the composite structure of SiO_2-TiO_2 containing SiO_2 particles in the TiO_2 matrix. SEM analysis (Fig. 2), after three-point bending test, indicate that joint with good adhesion properties of metal-ceramic system was obtained. The loss of joint (cracks) was observed on sol-gel coating-porcelain (opacer) interface.

a)



b)



Rys. 2. Struktura połączenia po badaniach przyczepności: (a) Ti/SiO_2-TiO_2/porcelana, (b) Ti6Al4V ELI/SiO_2-TiO_2/porcelana
Fig 2. Structure of joint after three-point bending test: (a) Ti/SiO_2-TiO_2/porcelain, (b) Ti6Al4V ELI/SiO_2-TiO_2/porcelain

4. Wnioski

1) Zastosowanie powłok przejściowych SiO_2-TiO_2 wytworzonych metodą zol-żel na tytanie i stopie Ti6Al4V ELI wpływa korzystnie na zwiększenie wytrzymałości połączenia metal-porcelana w porównaniu do tytanu poddanego standardowej obróbce piaskowania. Wzrost ten wynosi 25% dla czystego technicznie tytanu, a dla stopu tytanu 28%.
2) Na zwiększenie wytrzymałości połączenia tytan-powłoka przejściowa-porcelana wpływa topografia powierzchni (m.in. chropowatość), a także kompozytowa struktura powłok przejściowych SiO_2-TiO_2.
3) Metoda zol-żel pozwala uzyskiwać stosunkowo cienkie i jednorodne powłoki, które mogą być przydatne w protetyce stomatologicznej. Ze względu na stosunkowo prostą technikę wytwarzania mogą być wykorzystywane powszechnie w gabinetach protetycznych.

4. Conclusions

1) The application of SiO_2-TiO_2 intermediate coatings produced by sol-gel method on titanium and Ti6Al4V ELI alloy has an advantageous influence on the increase of bond strength of metal-porcelain in comparison with titanium alloy after sand blasting. This increase of bond strength was observed: 25% for commercially pure titanium and 28% for titanium alloy.
2) The increase of bond strength of titanium/intermediate coating/porcelain was dependent on the surface topography (roughness) and the composite structure of intermediate coating SiO_2-TiO_2.
3) The coatings deposited by sol-gel method are characterised by low thickness and high structural homogeneity, which they may be used in the dental laboratories. Sol-gel method for reason on comparatively easy the technique of production may be used in dental prosthetics.

5. References

[1] Niinomi M.: *Recent research and development in titanium alloys biomedical applications and healthcare goods*, Science and Technology of Advanced Materials, No. 4, 2003, pp.445-454.

[2] Niinomi M.: *Mechanical properties of biomedical titanium alloys*, Materials Science and Engineering, No. A243, 1998, pp. 231-236.

[3] Walczak M., Waśkowicz M., Bieniaś J.: *Charakterystyka mikrostrukturalna wybranych materiałów tytanowych stosowanych w protetyce stomatologicznej*. Eksploatacja i Niezawodność, Nr 2, Vol. 18, 2003, s. 70-74.

[4] Surowska B., Bieniaś J., Walczak M., Sangwal K., Stoch A.: *Microstructure and mechanical properties of ceramic coatings on Ti and Ti –based alloy*. Applied Surface Science, Vol. 238, 2004, pp. 288-294.

[5] Surowska B., Walczak M., Bieniaś J.: *The ceramic SiO_2 and SiO_2-TiO_2 coatings on biomedical Ti6Al4V ELI tianium alloy*. Inżynieria Materiałowa, Vol. 140, Nr 3, pp. 273-276.

[6] Matraszek H., Stoch A., Brożek A.,. Długoń E, Paluszkiewicz Cz.: *Wykorzystanie metody zol-żel do wzmocnienia wiązania tytan-ceramika w technice dentystycznej i implantoprotetyce*. Implantoprotetyka, Nr 4, Vol. 12, 2003, s. 2-5.

[7] Matraszek H., Stoch A., Paluszkiewicz Cz., Brożek A., Długoń E.: *Zastosowanie metody zol-żel w praktyce dentystycznej*. Inżynieria Biomateriałów, Nr 23-25, 2002, s. 72-74.

[8] Walter M., Böning K., Reppel P.: *Clinical Performance of machined titanium restorations*. Journal of Dentistry, Vol. 22, No. 6, 1994, pp. 346-348.

[9] PN-EN ISO 9693:2002, *Ceramika dentystyczna do napalania na metalowe materiały*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002, Metal-ceramic dental restorative systems, 2nd ed. Switzerland, International Organization for Standardization, ISO 9693:1999.

[10] Nergiz I. Schmage P., Herrmann W., Õzcan M.: *Effect of alloy type and surface conditioning on roughness and bond strength of metal brackets*. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 125, No. 1, 2004, pp. 42-50.

[11] Garbelini W.J., Henriques G.E.P., Tróia Jr. M.G., Dezan C.C.: *Evaluation of low-fusing ceramic system combined with titanium grades II and V by bending test and scanning electron microscopy*. Journal of Applied Oral Science, Vol. 11, No. 4, 2003, pp. 354-360.

[12] Carlsson R., Fondell B., HHerrero A., Sierraalta M., Razzoog M.E.: *Bond strength of porcelain to grade II titanium.* The 32nd Annual Meeting and Exhibition of the AADR, San Antonio, March 12-15, 2003.

[13] Özcan I., Uysal H.: *Effects of silicon coating on bond strength of two different titanium ceramics to titanium*. Dental Materials, Vol. 21, No. 8, 2005, pp. 773-779.

[14] Michalik R.: Łaskawiec J., Klisch M.: *Powłoki ochronne wytwarzane metodą zol-żel na implantach*. Inżynieria Materiałowa, Nr 5, 2002, s. 372-375.

[15] Paluszkiewicz Cz., Stoch A.: *FT-IR microscopic imaging of metal-ceramics joint*. Vibrational Spectroscopy, Vol. 35, 2004, pp. 183-187.

[16] Sprawozdanie z projektu badawczego nr 4 T08A 045 23, Lublin – Kraków 2005.

****

Praca wykonana: w ramach projektu badawczego nr 4T08A04523 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2002/2005 oraz w ramach projektu nr Z/2.06/II/2.6/05/04 – Intensyfikacja Działań Innowacyjnych Regionu poprzez System Stypendiów Doktorskich.

****

Dr inż. Mariusz WALCZAK
Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych
Dr inż. Jarosław BIENIAŚ
Dr hab. Barbara SUROWSKA prof. PL
Katedra Inżynierii Materiałowej
Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
tel. +48 (081) 538-15-82
e-mail: m.walczak@pollub.pl, j.bienias@pollub.pl, b.surowska@pollub.pl

Bartosz ŁUKASIK
Florin BREABAN
Mirosław WENDEKER
Pierre BOULET

LASER SCANNING VIBROMETRY APPLIED TO EVALUATE THE QUALITY OF VALVE PLATES IN LPG INJECTION SYSTEM

The article presents the basics of laser vibrometry and basics of introducing LPG injection system into ordinary car engine. It also shows examples of research results conducted using laser vibrometry in order to evaluate the quality of LPG injection bus. All the measurements where taken using Polytec vibrometer and this article presents the principles of conducting research using this equipment.

***Keywords**: LPG injection, laser vibrometry*

1. LPG injection basics

The LPG injection systems are built because of increasing popularity of this fuel. They are not designed to replace the standard gas installation just to complement and give alternative [1]. Unfortunately using that kind of fuel comes with difficulties. The volume of the gas in its liquid state is 120 times smaller than in the aeriform. Because of that the LPG injection buses have big diameters of fuel tubes. The big mass of the components of such buses creates the problem of inertia of the elements. Good LPG supply system must have very good dynamic characteristic but also recurrent opening and closing times for the valves. Opening of the valve is conducted in two steps. In the first big current is supplied to the coil in order to open the valve fast, in the second step the current is decreased to the level that is enough to keep the valve opened what prevents the electromagnet from overheating. The proper bus design and controller might significantly decrease these problems [2].

The whole LPG injection system is controlled by the separate computer. The relationship between this one and the central computer of the car is "parasitical" that means that CPU doesn't know that the current fuel supplied to the injection system is LPG and not regular gasoline. Control of the injection requires:

- measuring the time of the gasoline injection
- conversion of the signal to the data for the LPG CPU
- synchronization of the injector opening time between gasoline and LPG injectors

In order to conduct effective control LPG system CPU requires to know the following parameters:

- time of injection
- adjustment to the characteristic of the gas injector
- adjustment to the voltage in car's electrical installation
- correction for the change of gas density

It is also important to include in the design the delays in signal propagation between car's computer and the LPG CPU. Those delays are smaller than milliseconds but even such small differences may cause problems. If the time of opening of LPG injector valves is shorter than for fuel injectors there might be problems on idle gear. When it is too long the engine might not achieve full power.

The proper valves opening time is based on the value given by the car's computer and is modified to include an adjustment for the gas temperature and pressure and also a correction for individual characteristics of the bus. The LPG computer has safety procedures built in to protect the car engine against working in unfavorable conditions. When the oxygen sensor signal tells that there might be something wrong, there is a pressure or temperature decrease the CPU will switch back to gasoline and turn on the alarm in the cabin.

2. Laser vibrometry principles

Laser vibrometry is based on the principle of detecting the Doppler shift in the laser beam [3, 4]. Light of the laser is scattered on the surface of the test subject and the phenomenon of the Doppler frequency shift allows to estimate vibrations. It is achieved by measuring the velocity component lying along the laser beam. The strength of light interference pattern between the measuring and reference beam is measured in order to obtain measurements because direct demodulation of the laser light is impossible. Frequency is equal to the difference between the original

and reference beam. The laser beam is divided into measure and reference beam. The photo detector measures the intensity of the light in the point where two beams interfere. The light intensity varies periodically and a phase change corresponds to a displacement. The rate of phase change is proportional to the velocity of vibration of the tested surface *v*. This leads to the Dopler formula.

The detector signal is sinusoidal and that is the reason why the direction of vibration is ambiguous. There are two possible solutions in order to get directional sensitivity:

- adding an optical frequency shift in one arm of the interferometer to obtain virtual velocity offset
- adding polarization components and an additional photo receiver in such a way, that at the interferometer output a second homodyne signal occurs being in quadrature to the primary photo detector output

The most common is the first solution which is introduced to the interferometer design by adding to one of the arms a Bragg Cell (an acoustic optic modulator) running at frequencies 40Mhz or higher, which generates the carrier signal at RF drive. This type of interferometer is called heterodyne interferometer (Fig. 1).

And now the equitation for the intensity is:

$$I(t) = I_R I_M R + 2K\sqrt{I_R I_S R}\cos(2\Pi[f_B - f_D]t + \Phi)$$

That design of interferometer has a big advantage there Is no disturbance from an ambient noise and hum.

The other design is the quadrature homodyne interferometer (Fig. 2). It is built by adding wave retardation plates, a polarizing beam splitter and a second detector in the manner that is shown on the figure below.

The linear polarized laser is used to give a 45° polarization state. The light of the reference beam passes eight times through retardation plate in order to come back to the beam splitter circularly polarized. That is the sum of two orthogonal polarization states which are separated into two by the polarizing beam splitter situated in front of the detectors. This kind of interferometer is simpler to design and built but the non-linear behavior of the components causes harmonic distortions of the measurement signal.

The process of decoding signals from the interferometer takes place in the modulator block which generates a modulated RF carrier with the help of an oscillator at the frequency f_B.

For signal decoding one can process the phase to produce a displacement output or carry out an FM demodulation to provide the vibration velocity

3. The measurements, applying laser scanning vibrometry

The goal is to measure micro vibrations on the surface of valve plates in LPG injection system. In order to achieve that a transparent plate was introduced to the (Fig. 3) bus design and the laser beam was projected onto the vibrating valve plates.

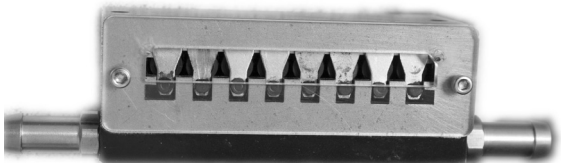


Fig. 3. Bus with introduced transparent plate

It is believed that by measuring the micro vibrations it will be possible to introduce some changes to the design of the valve elements in order to improve its performance by changing dynamic features.

During the measurements two methods were used Fast Fourier Transformation and Fast Scan.

First one allows scanning the whole range of frequencies but is significantly slower than the other that only takes measurements around a certain value.

The LPG system was set two the following parameters when measurements were taken:

- 3000 RPM
- 2 ms time of injection
- simultaneous time of valve opening

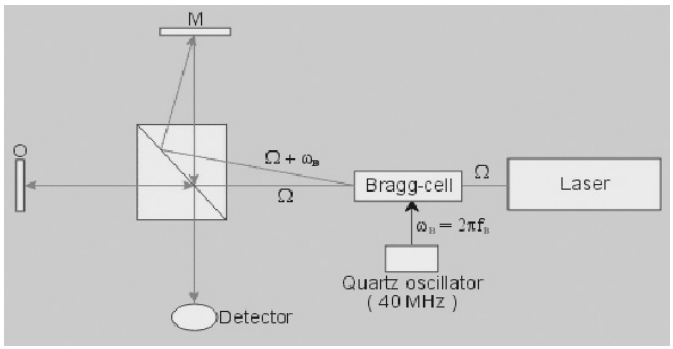


Fig. 1. Heterodyne interferometer

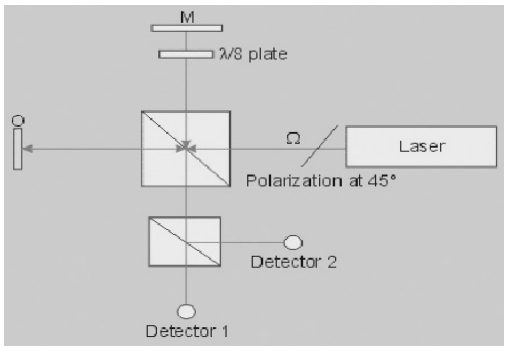


Fig. 2. Quadrature homodyne interferometer

At these parameters velocity of moving plates goes up to 50 mm/s (Fig. 4).

The method of measuring micro displacements in the whole construction might be applied in quality check process. The proper installation of the system might enable a very fast verification of every produced bus. In Fast Scan mode the measurement time was around 1 minute but when the mesh is simplified it is believed that the time might be decreased significantly.

During the research process one more aspect has been discovered. There were big differences in the values obtained what shows how manual assembly process might influence the characteristics of the device. The construction is very gentle and very vulnerable to the slightest change what might be observed on the results from the series of measurements taken after disassembly of the bus each time. The construction of the device includes the suspension for the valve plates that is built from the rubber band and a metal spring. Slightest change in position of those two elements influenced the results a lot. These differences might be seen on the picture below (Fig. 5). The moment is the same.

The vibrometer software allows displaying color maps of displacement magnitude, an example is shown on Fig. 5.

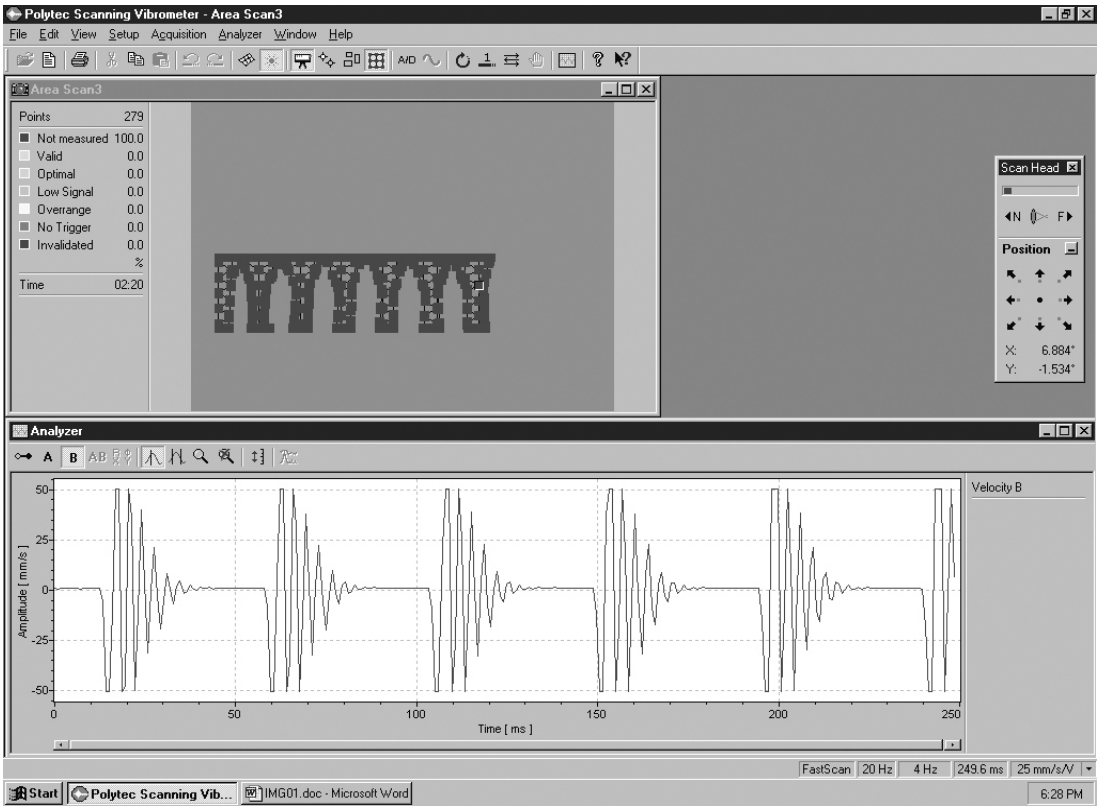


Fig. 4. Amplitude of the valve plate

a) b)

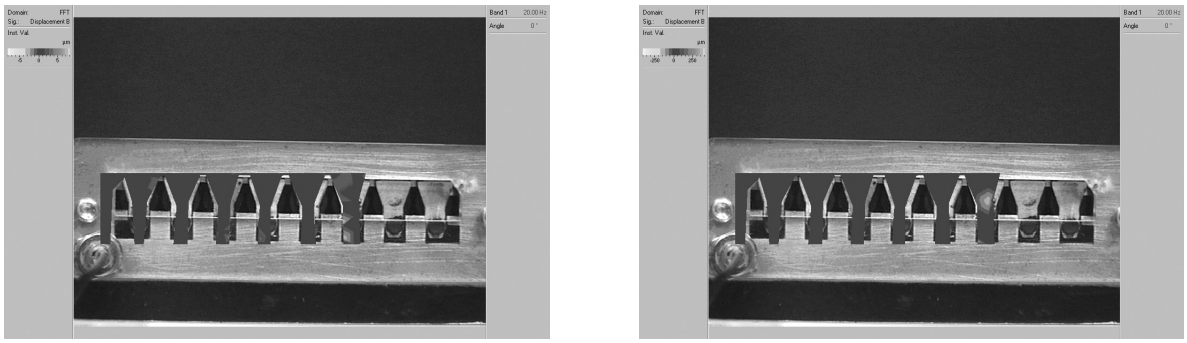


Fig. 5. Differences a) before b) after disassembling and assembling

4. Conclusions

For the parameters used the most interesting range of frequencies was around 20 Hz. However using the Fast Fourier Transformation mode of scanning enables to see the displacement of the plates in other range of frequencies. On the pictures 6 and 7 the magnitude of displacement is shown at frequency of 25 Hz. The amplitude is measured in μm and at for example 571 Hz it is nm.

a) b)

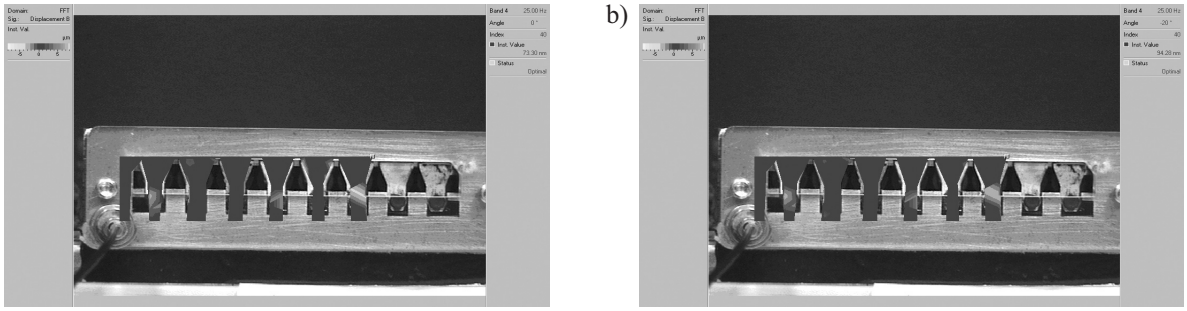


Fig. 6. Displacement magnitude at 25Hz a) beginning of the cycle b) end of the cycle

a) b)

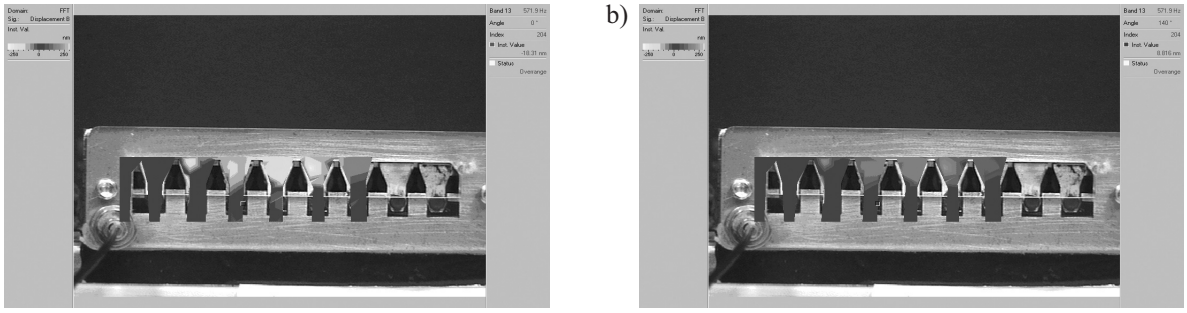


Fig. 7. Displacement magnitude at 571Hz a) beginning of the cycle b) middle cycle

5. References

[1] Wendeker M., Niewczas A., Mazurkiewicz D.: Gaseous Sequential Injection in Spark Ignition Internal Combustion Engines. Maintenance and Reliability, Nr 3/1999, pp. 29-35.

[2] Wendeker M.: Experimental Investigations of Power Electronics Components for Digital Controlled LPG Injection. Power Electronics Technology, Exhibition & Conference, Baltimore, USA, 25-27.10.2005.

[3] P. Hariharan, Optical Interferometry, Elsevier 2003.

[4] Polytec Internet Vibrometer University -http://www.polytec.com/eur/158_942.asp?highlightSubMenu=Vibrometer%20University&highlightPopupMenu=

Dr inż. Pierre BOULET
Dr hab. inż. Florin BREABAN
Bethune Institute of Technology, Artois University,
S2T-Laser Vibrometry and Holography Laboratory, CRITT-M2A.
Tel. 0033 (0)3 21 63 23 05, Fax : 0033 (0)3 21 52 02 69
e-mail: pierre.boulet@univ-artois.fr, florin.breaban@.univ-artois.fr
Mgr inż. Bartosz ŁUKASIK
Prof. dr hab. inż. Mirosław WENDEKER
Technical University of Lublin, Mechanical Faculty
Department of Combustion Engines and Transport
e-mail: m.wendeker@pollub.pl, b.lukasik@pollub.pl

Leonas Povilas LINGAITIS
Gediminas VAIČIŪNAS

DETERMINING THE EFFICIENT SERVICE LIFE OF TRACTION ROLLING STOCKS

To maintain and renew traction rolling stocks, the causes of their deterioration which are closely connected with operational conditions should be identified. For this purpose, such parameters of rolling stocks as the performed work, speed, acceleration, mass, etc. should be properly determined. The first objective is to develop mathematical models to evaluate integrated criteria describing the deterioration of freight and passenger locomotives from technical and economical perspectives. The second goal is to compare the main criteria describing the process of deterioration of freight and passenger locomotives and the respective differences in the strategies of their renewal. Fuel consumption, engine oil consumption and terminal delays due to off-schedule locomotive maintenance were investigated. Each of these parameters may be used to determine the locomotive state (quality) from a particular perspective.

Keywords*: Traction rolling stocks, locomotives, fuel consumption*

1. Introduction

To maintain and renew traction rolling stocks, the causes of their deterioration which are closely connected with operational conditions should be identified. For this purpose, such parameters of rolling stocks as the performed work, speed, acceleration, mass, etc. should be properly determined. As shown by testing, rolling stock mass has a great effect on the rate of its deterioration [1]. Masses determine loads applied to the major units of locomotives (e.g. engine power or revolutions per minute, brake operation, loads acting on the suspension). Because of various rolling stock masses (which may differ tenfold) the operational conditions of freight and passenger locomotives differ considerably. This allows us to assume that their deterioration has some specific features as well, implying that the management of their parks and the renewal strategy should also differ. These strategies should be developed taking into account the deterioration peculiarities of freight and passenger locomotives.

1.1. Goals and objectives of the research

The first objective is to develop mathematical models to evaluate integrated criteria describing the deterioration of freight and passenger locomotives from technical and economical perspectives. These criteria may be used for determining if the particular locomotives could be further employed. The second goal is to compare the main criteria describing the process of deterioration of freight and passenger locomotives and the respective differences in the strategies of their renewal.

1.2. Research methods

Fuel consumption, engine oil consumption and terminal delays due to off-schedule locomotive maintenance were investigated. Each of these parameters may be used to determine the locomotive state (quality) from a particular perspective. For describing the locomotives from various perspectives, a special qualitative criterion relating to the above-mentioned aspects should be developed. For this purpose, mathematical relationships between fuel consumption and the age of the locomotives were established. They were used as a basis for developing this integrated criterion. In this way, an integrated dimensionless qualitative criterion, with the value not exceeding the unity, which could be used for describing the locomotives, was obtained. If the value of the above criterion for a particular locomotive is more than unity, this locomotive should not be further employed.

2. Investigating fuel consumption

Fuel consumption is a basic qualitative characteristic of locomotives [2]. Usually, fuel consumption is expressed as a relative value, i.e. the amount of fuel consumed per 1000 or 10000 tkm (relative fuel consumption). The relationship between relative fuel consumption and the age of passenger and freight locomotives is analysed. Five freight and six passenger locomotives are tested. The engine power of freight locomotives reaches 2940 kW, the mass is about 238 ton and the highest speed is 100km/h, while the engine power of passenger locomotives ranges from 2205 to 2940 kW, the mass is about 128 ton and the highest speed is 160 km/h.. The relationships between relative

fuel consumption of the considered locomotives and their age based on the available statistical data are shown in Fig 1.

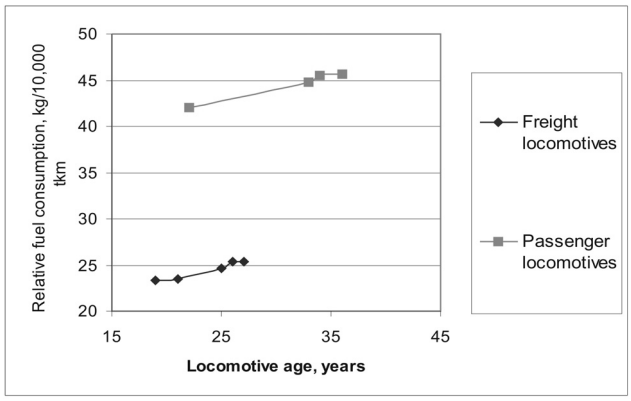


Fig 1. The relationship between relative fuel consumption of the locomotives and their age

As shown by the graphs in Fig 1, the critical age for freight locomotives is around 22 years because at this point fuel consumption starts growing. This may be accounted for by considerable wearing of the locomotive's engine and other units. By approximating the relationship between relative fuel consumption and the locomotive age with the help of the least square method, it was expressed as a quadratic equation:

$$d_H = 0.0042 \cdot x^2 - 0.164 \cdot x + 3.9605 \qquad (1)$$

where: x – is the locomotive age, years; d – is relative fuel consumption, kg/ 10,000 tkm (H means a freight locomotive, while P stands for a passenger locomotive).

For the locomotives with the age ranging from 19 to 27 years, about 80 % of experimental data may be described by equation (1) within the interval of solution making ±2%.

In mathematical terms, the relationship between relative fuel consumption and the passenger locomotive age may be expressed as a linear equation:

$$d_P = 0.687 \cdot x + 21.46 \qquad (2)$$

On approximation, about 80% of experimental data on passenger locomotives fit within the solution interval of ±2% of the above equation (2).

3. The analysis of oil consumption

In addition to fuel consumption, many other materials, such as rubber, plastics, thick and engine oil, are used in locomotives. Engine oil consumption largely depends on the locomotive state. Engine oil is not a source of power, therefore, the increased consumption indicates a poor state of the locomotive engine or other units. Engine oil consumption will be compared for the locomotives of various age as it was done in investigating fuel consumption. The relationship between relative engine oil consumption and the locomotive age is shown in Fig 2.

As shown by the graphs in the above figure depicting engine oil consumption in freight as well as passenger locomotives, the relationship analysed is described in mathematical terms as a straight line. For the freight locomotives it is expressed as follows:

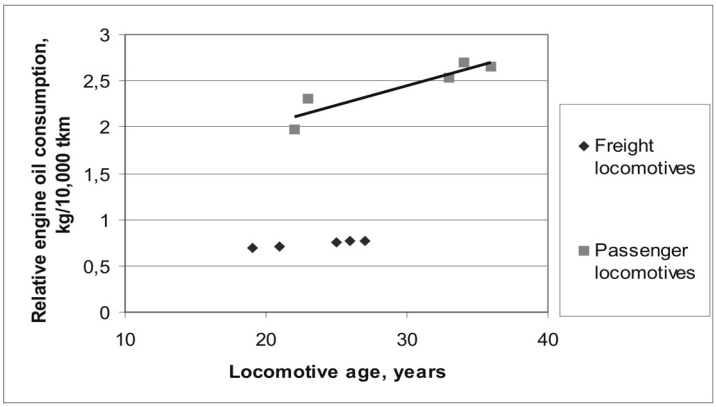


Fig 2. The relationship between relative engine oil consumption of the locomotives and their age

$$a_H = 0.00631 \cdot x + 0.5846 \quad (3)$$

where: a – relative engine oil consumption, kg/10,000 tkm.

It may be observed that, in addition to the locomotive age, some other factors (e.g. the run of the locomotive, overhaul standards, mass of traction rolling stocks, etc.) may influence the results. These parameters usually do not affect the relationship qualitatively, but may cause the spread of experimental data values. Within the range of 19-27 years of service, 80 % of experimental data values were found to be in the solution interval of ±3.5% of equation (3).

A mathematical relationship between relative engine oil consumption and passenger locomotive age is as follows:

$$a_P = 0.069 \cdot x + 0.238 \quad (4)$$

Approximately 85 % of experimental data values obtained for passenger locomotives were found to be in the solution interval of ±2% of the equation (4).

The line direction coefficients of passenger and freight locomotive fuel consumption are of the same order (0.00631 and 0.0069).

4. The analysis of repair costs

Maintenance and repair costs may be determined in terms of the time of terminal delays due to failures (in hours). This method is chosen because the delay hours can be easily calculated and the obtained data are easily handled. Another problem concerns the accuracy of this assessment technique. Statistical data show that terminal delays of locomotives (in hours) are proportional to their costs. This means that, if we consider the relationship between the delay (idle) time and the locomotive age, it will correlate with the respective cost relationship. The relationships between relative terminal delays and the locomotive age are presented in Fig 3.

By approximating [3] the relationship of relative freight locomotive terminal delays in Fig 3 we will get the following regression equation:

$$p_H = 0.00219 \cdot x + 0.02177 \quad (5)$$

where: p – relative terminal delay, h/10,000 tkm.

Terminal delays for passenger locomotives will be expressed by the following regression equation:

$$p_P = 0.0035 \cdot x - 0.067 \quad (6)$$

The graphs in Fig 3 show that relative terminal delay time of freight and passenger locomotives is linearly increasing with the increase of locomotive age, however the coefficient of line direction is by 5.5 times lower for passenger locomotives. Therefore, it can be stated that the number of passenger locomotive failures is less dependent on their age than it is for freight locomotives. It may be accounted for by the fact that the conditions of operation for passenger locomotives are better (rolling stock mass is smaller). Therefore, the number of passenger locomotive failures grows slower than in freight locomotives.

Based on the analysis of the obtained statistical data, it may be stated that:

1. relative fuel consumption of freight locomotives increases according to a quadratic equation (1);
2. the consumption of other maintenance materials increases according to linear equations (2)-(6) for all locomotives;
3. given the relationships describing the consumption of maintenance materials for rolling stocks, it is possible to generate integrated criteria to assess their quality and to compare them.
5. Generating integrated qualitative criteria describing the locomotives

The following qualitative integrated criterion is used to determine fuel and oil consumption as well as the repair costs of the locomotives. It is expressed as:

$$K = d \cdot I_d + a \cdot I_a + r \cdot I_r \quad (7)$$

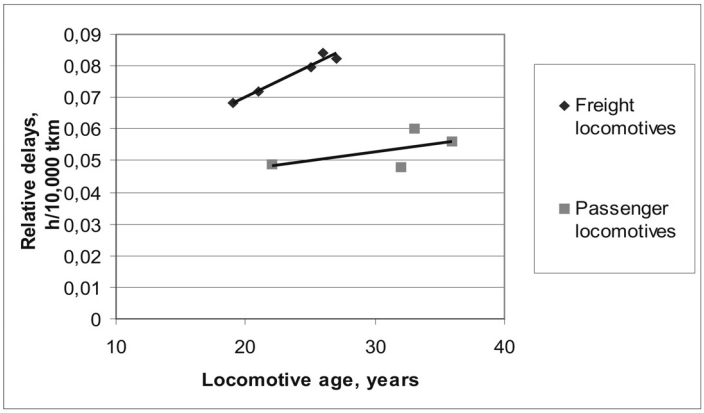


Fig 3. The relationship between relative delays of locomotives and their age

where: K – integrated qualitative locomotive criterion, Eur/10,000 tkm; d – relative fuel consumption, kg/10,000 tkm; a – relative oil consumption, kg/10,000 tkm; r – relative time of off-schedule repairs, h/10,000 tkm; I_d – costs of fuel per unit of quantity, Eur/kg; I_a – costs of oil per unit of mass, Eur/kg; I_r – costs of off-schedules repairs, per unit, Eur/h.

An integrated criterion K may be expressed for every locomotive by the formula (7), with the formulas (1) – (6) substituted into it.

For freight locomotives, an integrated criterion K_H will be of the form:

$$K_H = (0.042 \cdot x^2 - 1.64 \cdot x + 39.6) \cdot I_d + \\ +(0.00631 \cdot x + 0.5846) \cdot I_a + \\ +(0.00219x + 0.02177) \cdot I_p \quad (8)$$

where: x – is the locomotive age, years.

For passenger locomotives the expression of the criterion K_P will be as follows:

$$K_P = (0.687 \cdot x + 21.46) \cdot I_d + \\ +(0.069 \cdot x + 0.238) \cdot I_a + \\ +(0.0035 \cdot x - 0.0672) \cdot I_p \quad (9)$$

6. Graphical representation of the relationship between a qualitative integrated criterion and the locomotive age

Based on the formulas (8) and (9) as well as the costs of fuel, engine oil and repairs (which currently make 0.483 Eur/kg and 0.248 Eur/kg, respectively, in Lithuania), the graphs representing the relationships between integrated qualitative locomotive criteria and the locomotive age are plotted.

The relationship between the integrated qualitative locomotive criterion and the locomotive age is given in Fig 4.

It may be expressed by the following equation:

$$K_H = 0.00585 \cdot x^2 - 0.225 \cdot x + 12.765 \quad (10)$$

The integrated qualitative criterion relating to passenger locomotives may be described by the equation:

$$K_P = 0.3897 \cdot x + 9.4615 \quad (11)$$

Since the point of the beginning of sharp increase of the integrated criterion value should be determined, a mathematical analysis (10), (11) of the graphs presented above should be made.

The relationship between the integrated qualitative criterion and passenger locomotive age may be described by a quadratic equation (10). The point at which the criterion value begins to rise sharply will be that at which the derivative of the quadratic equation is equal to zero. The derivative of the equation (10) is expressed as follows:

$$K'_H = 0.0117 \cdot x - 0.225 \quad (12)$$

Based on the equation (11), the criterion K_P relating to passenger locomotives with service life of 12-13 years can be calculated. It will be equal to 21.3 Eur/10,000 tkm. It is the ordinate of the graph's break point for the criterion K_P relationship with the locomotive age. Let us calculate the abscissa of this point based on the equation (12). It is ***x=29.6*** years. The relationships relating to the criteria $\boldsymbol{K_H}$ and $\boldsymbol{K_P}$ with the break points of the graphs are presented in Fig.5.

Fig 5 shows that the average value of K_H for freight locomotives of up to 19 years of service life is about 12 Eur/10,000 tkm, while after 20 years of service it begins to grow according to the quadratic equation. For freight locomotives of about 30 years of service the value of the criterion K_P is approximately equal to 21.3 Eur/10,000 tkm, while when this age is exceeded, this value begins to grow.

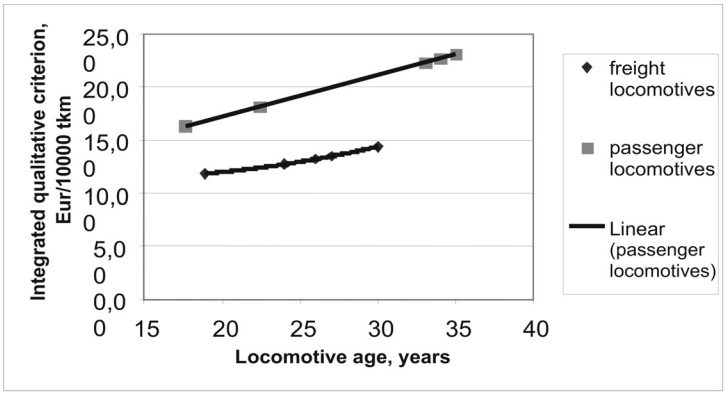


Fig 4. The relationship between the integrated qualitative criterion of the locomotive and its age

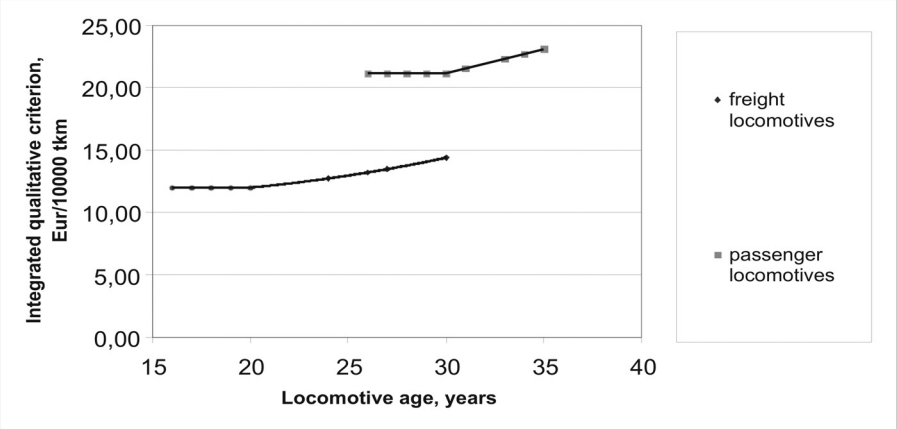


Fig 5. The relationships of K_H and K_P with the break points

7. Generating the dimensionless criteria

In order to apply qualitative criteria of the locomotives independently of their quantitative criteria describing the financial aspects related to maintenance costs of the locomotives, the former should be dimensionless. The value of the qualitative criterion at the break point is assumed to be equal to unity. Then, the integrated qualitative criterion of the locomotives depending on their age is described by the following equations:

$$k_H = 0.00169 \cdot x^2 - 0.0645 \cdot x + 1.619 \qquad (13)$$

$$k_P = 0.0176 \cdot x + 0.466 \qquad (14)$$

The relationship of the model described by the equations (13) and (14) is presented in Fig 6.

The relationships presented in Fig 6 can be used independently of the dimensions relating to maintenance costs. It can be observed that the guaranteed life of passenger locomotives expressed in years is 1.5 times that of freight locomotives. This may be accounted for by better maintenance conditions and use of passenger locomotives.

8. Conclusions

1. Taking into account the current prices of the locomotive oil and other maintenance materials as well as the repair costs in Lithuania, freight locomotives should be used until the value of the criterion K_H is not higher than 12 Eur/10,000 tkm, i.e. their service life should be equal to 19 years. When this age is reached, the value begins to increase according to a quadratic equation.
2. Passenger locomotives should be employed until the value of the criterion K_P is not higher than 21.3 Eur/10,000 tkm, which corresponds to 29 years of service life. When this age is reached, the costs start to increase considerably.
3. The dimensionless criteria for the locomotives are: $K_H \leq 1.0$, when the locomotive service life is not more than 19 years or the run is about 2 mln km and the average annual run – 105 thous. km; and $K_P \leq 1.0$, when passenger locomotive service life is not more than 29 years, or the run is 3.92 mln km, with the average annual run of 135 thous. km.
4. The guaranteed life of passenger locomotives expressed in years is 1.5 times that of freight locomotives.

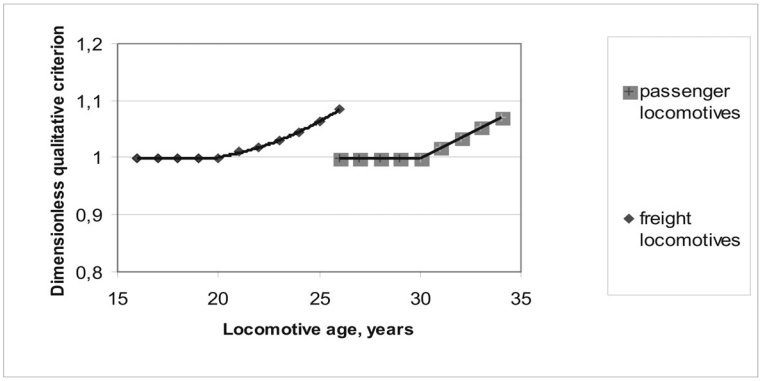


Fig 6. Dimensionless qualitative criteria of the locomotives

9. References

[1] Vaičiūnas G., Lingaitis L.P.: *Making up and renovation of trains*. Transport: journal of Vilnius Gediminas Technical University and Lithuanian Academy of Sciences. Vilnius Gediminas Technical University, Lithuanian Academy of Sciences. ISSN 1648-4142. 2002, vol. XVII, no. 6, pp. 241-243.

[2] Vaičiūnas, G., Lingaitis, L.P., Bureika, G.: *The determination of a complex criterion for assessing the performance of traction rolling stocks*. Transport: journal of Vilnius Gediminas Technical University and Lithuanian Academy of Sciences. Vilnius Gediminas Technical University, Lithuanian Academy of Sciences. ISSN 1648-4142. 2004, Vol. XIX, no. 2, pp. 63-68.

[3] Kalitkin N.N., Alshina E.A., KoryakinP.V.: *Diagnostic of exact soliution singularity by calculations on embedded grids*. Computation Matematics and Matthematical Physics. 45 (10), 2005.

Prof. habil. dr. Leonas Povilas LINGAITIS
Assoc. prof. dr. Gediminas VAIČIŪNAS
Department of Railway Transport
Vilnius Gediminas Technical University
J. Basanavičiaus st.28,
LT-03224 Vilnius, Lithuania.
E-mail: E-mail: leonasl@ti.vtu.lt, vaic@ti.vtu.lt

Jacek HUNICZ
Eliasz WAC
Jerzy KABAŁA

BADANIA PORÓWNAWCZE NOWYCH KONSTRUKCJI ŚWIEC ZAPŁONOWYCH

COMPARATIVE RESEARCH OF NEW DESIGNS OF SPARK PLUGS

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań porównawczych świec zapłonowych według opracowanej procedury. W ramach badań określono zdolność świec zapłonowych do zainicjowania spalania w ekstremalnych warunkach oraz zdolność świec zapłonowych do samooczyszczania izolatora. Analizie poddano trzy zestawy świec zapłonowych: świece standardowe z jedną elektrodą boczną, świece U-super, z rowkiem w elektrodzie bocznej oraz świece ze specjalnie zmodyfikowanym izolatorem. Na podstawie przeprowadzonych badań określono wpływ zmian konstrukcyjnych na parametry eksploatacyjne świec zapłonowych.

***Słowa kluczowe**: silnik spalinowy, świeca zapłonowa*

The paper presents chosen results of spark plugs comparative research which was done according to a newly elaborated procedure. The research project covered analysis of ignition feasibility under extreme conditions and ability to burn out carbon and combustion chamber deposits from the insulator. Three types of spark plugs were examined: standard spark plug with single ground electrode, U-super with groove in a ground electrode and special design with modified shape of an insulator. Influence of proposed design modifications on working parameters was established on the grounds of the research.

***Keywords**: spark ignited engine, spark plug*

1. Wprowadzenie

Świece zapłonowe ewoluują równolegle z systemami spalania i konstrukcjami silników spalinowych. Dążenie do podnoszenia średnich ciśnień indykowanych w silnikach powoduje pogorszenie warunków pracy elementów tworzących komory spalania. W związku z tym świece zapłonowe do współczesnych silników muszą charakteryzować się wzmożoną odpornością na ekstremalne warunki pracy.

Innym, niezwykle ważnym aspektem branym pod uwagę podczas konstruowania świec zapłonowych jest zapewnienie powtarzalnej pracy silnika w warunkach minimalnych obciążeń. W świetle obowiązujących norm toksyczności spalin, nawet jeden cykl pracy silnika bez spalania występujący w trakcie testu przesądza o przekroczeniu dopuszczalnego stężenia węglowodorów w spalinach. Dlatego też konstrukcja świecy zapłonowej musi zapewniać stuprocentową skuteczność zainicjowania płomienia w cylindrze.

Producenci świec zapłonowych poza zadaniem, jakim jest nadążanie za rozwojem systemów spalania i stale zaostrzającymi się przepisami dotyczącymi emisji spalin, oferują także nowe konstrukcje przeznaczone dla starszych typów silników, niekiedy znacznie zużytych.

1. Introduction

Spark plugs evolve in parallel with both combustion systems and engines' designs. Pursuing higher mean indicated pressures in engines causes worsening of combustion chambers' parts working conditions. Accordingly, spark plugs used in contemporary engines have to be distinguished by resistance to extreme service conditions.

Another essential aspect considered in engineering process of spark plug design is providing stable engine operation in low load conditions. Under the new exhaust emission regulations even one misfire during the test determines exceeding hydrocarbons emission limit.

That is why the spark plug design has to guarantee absolute certainty of flame initiation in a combustion chamber.

Spark plugs manufacturers, apart from the main aim which is keeping pace with combustion systems technological advance and continuously developing exhaust emission standards, have to provide parts designed specially for obsolete engines, sometimes substantially deteriorated.

Another group of products existing on the spark plugs market is oriented towards vehicles retrofit-

Kolejna grupa produktów to świece zapłonowe przeznaczone do samochodów wyposażonych w instalacje zasilane gazem propan-butan. Poza nieco odmiennymi warunkami podczas spalania paliwa gazowego, układy zasilania LPG charakteryzują się większym rozrzutem składu mieszanki niż układy zasilania benzyną. Dlatego też ważne jest, aby konstrukcja świec zapłonowych umożliwiała zainicjowanie płomienia w szerokim zakresie nadmiaru powietrza w cylindrze.

2. Wymagania stawiane świecom zapłonowym

Jednym z głównych elementów układu zapłonowego silnika spalinowego jest świeca zapłonowa. Podstawowym zadaniem świecy zapłonowej jest zrealizowanie we wnętrzu komory spalania wyładowania elektrycznego o wymaganym charakterze. Do podstawowych parametrów wyładowania elektrycznego należą napięcie iskry elektrycznej oraz energia iskry. Wyładowanie występuje pomiędzy elektrodą centralną a jedną bądź kilkoma elektrodami bocznymi świecy. Do wywołania tego zjawiska niezbędne jest wystąpienie pewnej minimalnej wartości napięcia wtórnego. Wartość tego napięcia zależna jest od odległości między elektrodami świecy, medium, przez które przeskakuje iskra oraz ciśnienia. Wyindukowane w uzwojeniu wtórnym cewki zapłonowej napięcie obecne między elektrodami świecy zapłonowej powoduje jonizację lawinową w przestrzeni międzyelektrodowej, w wyniku, której tworzy się kanał zjonizowany o zmniejszonej impedancji a jednocześnie wzrasta natężenie prądu przepływającego pomiędzy elektrodami świecy zapłonowej [2]. Aby doprowadzić do zapłonu ładunku w cylindrze, ilość ciepła dostarczonego do mieszanki paliwowo-powietrznej musi być dostatecznie duża, aby zainicjować reakcję spalania w objętości na tyle dużej, aby płomień zaczął się samorzutnie rozwijać. Intensywne zawirowania ładunku w cylindrze silnika często doprowadzają do wygaszenia płomienia [1].

Przebieg opisanej powyżej fazy spalania zwanej okresem rozwoju jądra płomienia odpowiada za ilość pracy indykowanej uzyskanej w cyklu pracy silnika oraz za cykliczną powtarzalność spalania.

Charakterystykę cieplną świecy zapłonowej określają dwie wartości temperatury: temperatura samooczyszczania się oraz temperatura żarzenia. Pierwsza wartość jest to minimalna temperatura, poniżej której nie zachodzi proces samooczyszczania się świecy, co prowadzi do jej mostkowania. Po osiągnięciu tej temperatury następuje wypalenie z powierzchni izolatora osiadłych zanieczyszczeń złożonych głównie z cięższych węglowodorów oraz sadzy. Substancje osadzające się na izolatorze zmniejszają jego rezystancję tworząc tzw. mostek przewodzący.

ted with LPG fuelling systems. Apart from slightly different gaseous fuel combustion conditions in comparison to gasoline LPG feeding systems can not guarantee constant and stable air-fuel ratio in combustion chamber.

2. Requirements concerning spark plugs

Spark plug is one of the main parts of engine ignition system. The primary function of a spark plug is transmitting electrical energy which is able to create a spark in combustion chamber. The spark discharge is described by such parameters like voltage and spark energy. The spark discharge takes place between central electrode and one or more ground electrodes. In order do initiate a spark discharge it is necessary to supply sufficient amount of voltage by ignition coil. This minimum voltage is determined by the spark plug gap, surrounding atmosphere and pressure. Voltage induced in secondary coil of ignition transformer causes cumulative ionization in volume between the electrodes. As a result, an ionized channel is created which is distinguished by lowered impedance. It causes a passage of increased current between the electrodes [2].

In order to pass to the next stage of combustion process called flame kernel development, amount of energy dissipated in air fuel mixture must be sufficient to cover heat losses and allow flame to propagate through combustion chamber. High swirl rates in combustion chambers often result in blowing flame kernel and termination of combustion process [1].

Parameters of flame kernel development process determine both amount of in-cylinder working energy obtained as a result of combustion process and irrepeatability of consecutive cycles of engine operation.

Thermal performance of the spark plug is described by two values of temperature: self-cleaning temperature and glowing temperature. Below the first value the process of self-cleaning can not take place, what leads to insulator fouling. When the spark plug temperature reaches the self-cleaning threshold value, oil and carbon deposits are gradually burning out.

Exciding of the glowing temperature by the most protruding spark plug parts provides hot spots and can result in pre-ignition.

Spark plug correctly designed and fit to an engine should keep its tip temperature between two mentioned borders i.e. from 500 to 850 °C in the whole range of engine operation conditions.

Przekroczenie przez najbardziej wysunięte do komory spalania elementy świecy temperatury żarzenia powoduje samorzutne, niekontrolowane zapłony mieszanki.

Prawidłowo skonstruowana i dobrana do silnika świeca zapłonowa powinna pracować pomiędzy wymienionymi powyżej wartościami temperatury tj. w granicach od 500 do 850 °C w całym zakresie pracy silnika [3].

3. Stanowisko badawcze i plan badań

Badania porównawcze przeprowadzono na trzech rodzajach świec zapłonowych produkcji firmy ISKRA Zakłady Precyzyjne: standardowych z jedną elektrodą boczną, U-super – z rowkiem w elektrodzie bocznej oraz eksperymentalnej konstrukcji świec zapłonowych o zmodyfikowanym kształcie izolatora. Modyfikacja izolatora polegała na zastąpieniu tradycyjnego, stożkowego kształtu bryłą obrotową o tworzącej w kształcie sinusoidy. Celem wprowadzenia tej modyfikacji było wydłużenie drogi upływu prądu w wyniku zanieczyszczenia izolatora.

W celu weryfikacji wprowadzonych zmian konstrukcyjnych zaproponowano następujący plan badań:

- sporządzenie charakterystyk prędkościowych silnika samochodowego,
- sporządzenie charakterystyk regulacyjnych kąta wyprzedzenia zapłonu i składu mieszanki paliwowo-powietrznej na jednocylindrowym silniku badawczym,
- określenie zdolności do samooczyszczania świec zapłonowych.

Charakterystyki prędkościowe sporządzono na 4-cylindrowym silniku 170A1.046 o pojemności skokowej 903 cm^3. Silnik zamontowany był na hamowni silnikowej wyposażonej w elektronicznie sterowany elektrowirowy hamulec silnikowy.

Pozostałe badania przeprowadzono na zbudowanym na Politechnice Lubelskiej stanowisku do badań dynamometrycznych wyposażonym w jednocylindrowy silnik badawczy. Silnik posiada objętość skokową cylindra 390 cm^3 i stopień sprężania 8,8. Silnik połączony jest z hamulcem elektrowirowym wyposażonym w kompletny system automatycznego sterowania. Do kontroli pracy układu zapłonowego oraz układu zasilania silnika w paliwo wykorzystany został autorski system sterowania silnikiem.

4. Wyniki badań eksperymentalnych

Pierwsza część planu badań obejmowała sporządzenie charakterystyk prędkościowych na czterocylindrowym silniku trakcyjnym. Charakterystyki sporządzono przy pełnym otwarciu przepustnicy.

3. Test stand and plan of the experiments

The research was conducted using three types of spark plugs manufactured by ISKRA Zakłady Precyzyjne: standard spark plug with single ground electrode, U-super with u-shaped groove in a ground electrode and special design with modified shape of an insulator. Modification of an insulator consisted in the replacement of typical cone shape with body of revolution with sinusoidal shape of generator. The aim of this modification was to lengthen current leak path resulting from carbon deposits.

In order to verify new designs a following research plan was proposed:

- comparison of automotive engine performance characteristics,
- comparison of ignition advance and air-fuel ratio regulation characteristics obtained on single cylinder research engine,
- evaluation of self-cleaning abilities.

Engine performance characteristics were obtained with the use of 4-cylinder mass production engine 170A1.046 with displacement of 903 cm^3. The engine was mounted on a test bed equipped with an electronically controlled eddy-current dynamometer.

The rest of the research was conducted on a special test bed built in Lublin University of Technology. The test bed is equipped with single cylinder research engine with displacement of 390 cm^3 and compression ratio of 8,8. The engine is coupled with eddy-current dynamometer equipped with complete automatic control system. Operation of ignition and fuelling system is governed by precise dedicated control system.

4. Results of the experiments

The first stage of the research covered analysis of performance characteristics obtained on the 4-cylinder vehicle engine. The characteristics were made at

W trakcie badań rejestrowano prędkość obrotową, moment obrotowy oraz godzinowe zużycia paliwa. Uzyskane wartości zostały skorygowane do warunków normalnych. Wyniki badań zaprezentowano na wykresie (rys. 1.)

Przy prędkości obrotowej 3000 obr/min, przy której silnik osiąga maksymalny moment obrotowy, w przypadku świec standardowych oraz U-super uzyskano wartość momentu około 65 Nm, co odpowiada znamionowym parametrom badanego silnika. W przypadku eksperymentalnych świec zapłonowych ze zmodyfikowanym izolatorem wartość momentu maksymalnego była o około 1 Nm mniejsza. Przy wyższych prędkościach obrotowych, powyżej 3000 obr/min, obserwowano jeszcze większy spadek momentu w porównaniu do pozostałych, badanych typów świec.

Dalsze badania na silniku jednocylindrowym zmierzały do określenia działania świec zapłonowych w ekstremalnych warunkach pracy silnika. W tym celu sporządzono charakterystyki regulacyjne składu mieszanki i kąta wyprzedzenia zapłonu. W trakcie badań rejestrowano moment obrotowy, godzinowe zużycie paliwa oraz objętościowy skład spalin.

Charakterystyki kąta wyprzedzenia zapłonu wykonano przy prędkości obrotowej 2500 obr/min i stechiometrycznym składzie mieszanki palnej. Miarą obciążenia silnika była wartość współczynnika napełnienia cylindra, którą ustalono na 0,315 (małe obciążenie), a następnie na 0,65 (duże obciążenie). Przykładową charakterystykę regulacyjną przedstawiono na rysunku 2.

Analizując przebieg momentu obrotowego nie zaobserwowano istotnych różnic dla badanych typów

full load of the engine. During the research rotational speed, torque, and fuel consumption were recorded. Obtained results were corrected to normal temperature and pressure conditions. Figure 1. presents the results.

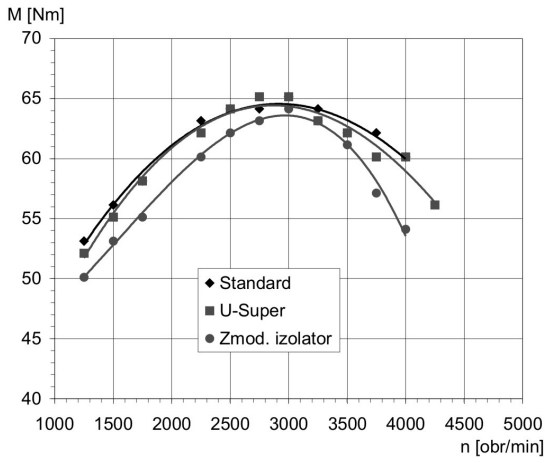
At rotational speed of 3000 rpm at which the engine delivers its maximum torque for standard and U-super spark plugs torque at level of 65 Nm was recorded. This value meets a nominal performance of the engine. In case of spark plugs with modified insulator maximum torque was 1 Nm smaller. At higher rotational speed decrease of torque was even more significant.

Research conducted on single-cylinder engine was aimed at evaluation of spark plugs performance under extreme engine operation conditions. In order to achieve this goal regulation characteristics of ignition advance and air-fuel ratio were made. During the research torque, fuel consumption and volumetric composition of exhaust gases were measured.

Ignition timing characteristic was made at rotational speed of 2500 rpm and at stoichiometric air-fuel ratio. Engine load was determined by volumetric efficiency, set at 0.315 (low load) and 0.65 (high load). Figure 2 presents exemplary comparative characteristic.

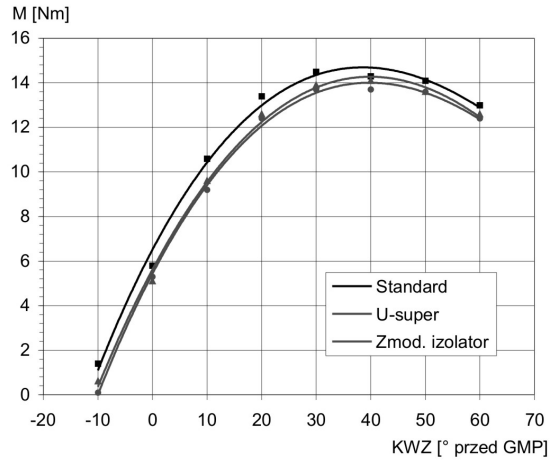
Analysis of torque curves for three types of spark plugs does not show any considerable differences. Similarly, specified fuel consumption and exhaust composition do not differ.

The next research method was based on comparison of air-fuel ratio regulation characteristics. Injection time at constant volumetric efficiency of the engine was varied in order to provide demanded amount of



Rys. 1. Zestawienie charakterystyk zewnętrznych momentu obrotowego dla różnych świec zapłonowych

Fig. 1. Comparison of torque characteristics for different types of spark plugs



Rys. 2. Charakterystyka regulacyjna kąta wyprzedzenia zapłonu przy współczynniku napełnienia cylindra 0,315 i stechiometrycznym składzie mieszanki

Fig. 2. Regulation characteristic of ignition advance at volumetric efficiency of 0,315 and stoichiometric air-fuel ratio

świec zapłonowych. Podobnie, nie stwierdzono zmian jednostkowego zużycia paliwa oraz składu spalin.

Kolejną, zastosowaną metodą badawczą była realizacja charakterystyk regulacyjnych składu mieszanki. Przy stałym napełnieniu cylindra zmieniano czas otwarcia wtryskiwacza w celu uzyskania zmian ilości paliwa dostarczanego do cylindra. Współczynnik nadmiaru powietrza określany był na podstawie składu spalin. Badania prowadzono w szerokim zakresie składu mieszanki, aby określić granice palności przy zastosowaniu świec zapłonowych różnych typów. Pomiary wykonano dla prędkości obrotowej silnika 2500 obr/min, kąta wyprzedzenia zapłonu 20 °OWK przed GMP oraz współczynnika napełnienia cylindra $\eta_v = 0{,}65$. Zbiorczą charakterystykę składu mieszanki przedstawiono na rysunku 3.

Przy zastosowaniu świec zapłonowych U-super uzyskano największe wartości momentu obrotowego w zakresie mieszanek ubogich. Emisja węglowodorów w przypadku tych świec jest niemal w całym zakresie najniższa. Na uwagę zasługuje fakt, że granica, przy której występuje nagły wzrost emisji niespalonych węglowodorów przesunęła się w kierunku mieszanki ubogiej o wartość $\lambda = 0{,}1$. Oznacza to, że modyfikacja elektrody bocznej spowodowała rozszerzenie zakresu palności mieszanki w cylindrze silnika.

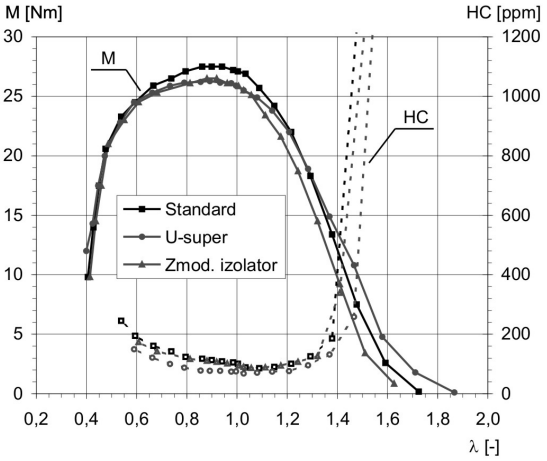
W celu sprawdzenia zdolności świec do samooczyszczania zaproponowano próbę polegającą na realizacji zadanej liczby cykli pracy silnika przy bardzo bogatej mieszance a następnie przy mieszance stechiometrycznej. Całą próbę przeprowadzono przy prędkości obrotowej 2500 obr/min i częściowym obciążeniu silnika. Przy składzie mieszanki $\lambda = 0{,}5$ silnik pracował przez 300 sekund, następnie zadano skokową zmianę składu mieszanki na stechiometryczny i po upływie kolejnych 45 sekund zatrzymano dopływ paliwa. Po przeprowadzeniu prób świece zapłonowe

injected fuel. The accurate air-fuel ratio coefficient was obtained on the base of exhaust composition analysis. In order to assess burning limits with the use of different spark plugs the research was conducted in wide range of air excess ratio. Measures were held at 2500 rpm and ignition timing of 20 deg. of crankshaft angle before top dead center and at volumetric efficiency $\eta_v = 0.65$. Comparative characteristic of torque and HC concentration in domain of air-fuel ratio is presented at figure 3.

With engine equipped with U-super spark plugs the highest values of torque were obtained in lean mixture region. Emission of unburned hydrocarbons was smaller in almost whole range of analyzed air-fuel ratio. It should be mentioned that lean burn limit, distinguished by dramatic rise of hydrocarbons emission, was shifted towards leaner mixtures by the value of $\lambda = 0.1$. It means that modification of ground electrode resulted in widening of air-fuel mixture burning limits.

In order to evaluate spark plugs self-cleaning ability a new test procedure was proposed. The test consists on realization of prescribed number of engine work cycles under very rich mixture and subsequent work under stoichiometric mixture. The test was held at rotational speed of 2500 rpm and part load of the engine. At first the engine was fed with rich air-fuel mixture ($\lambda = 0{,}5$) for 300 seconds and then mixture strength was switched to stoichiometry. After next 45 seconds fuel delivery was stopped. Afterwards spark plug was dismantled in order to assess amount of deposits on the insulator. Exemplary results are presented at photographs 1 and 2.

In case of U-super spark plugs considerable amount of soot deposit on the insulator was observed as a result of self-cleaning test. In contrast, on side surface of modified insulator a total self-cleaning



Rys. 3. Charakterystyka regulacyjna składu mieszanki przy współczynniku napełnienia cylindra 0,65 i kącie wyprzedzenia zapłonu 20 °OWK

Fig. 3. Air-fuel ratio regulation characteristic at volumetric efficiency of 0,65 and ignition advance 20 deg. before TDC

były wymontowywane z silnika w celu oceny stopnia zanieczyszczenie izolatora. Przykładowe fotografie świec zapłonowych po próbie samooczyszczania przedstawiono na fotografiach 1 i 2.

W wyniku przeprowadzenia próby samooczyszczania w przypadku świec U-super zaobserwowano dużą ilość sadzy pokrywającej izolator świecy. Dla odmiany na powierzchni bocznej zmodyfikowanego izolatora nastąpiło całkowite usunięcie osadów. Kolejne powtarzanie prób dowiodło, że zmiana kształtu izolatora korzystnie wpływa na przebieg procesu samooczyszczania.

process took place. Further repetition of tests proved that insulator shape modification facilitates the self-cleaning process.

Fot. 1. Świeca zapłonowa U-super po przeprowadzeniu próby samooczyszczania
Phot. 1. U-super spark plug after the self-cleaning test

Fot. 2. Świeca zapłonowa ze zmodyfikowanym izolatorem po przeprowadzeniu próby samooczyszczania
Phot. 2. Spark plug with modified insulator after the self-cleaning test

5. Podsumowanie

Wprowadzenie rowka w elektrodzie bocznej świecy zapłonowej U-super korzystnie wpływa na przebieg zapłonu ładunku w cylindrze. Świadczy o tym większy zakres palności mieszanki w porównaniu ze świecami zapłonowymi o tradycyjnym kształcie elektrod. Cecha ta predysponuje taką konstrukcję do zastosowań w silnikach o dużych wahaniach współczynnika nadmiaru powietrza w cylindrze. Spodziewana jest także poprawa stabilności pracy silnika przy niewielkich obciążeniach oraz na biegu jałowym.

Modyfikacja kształtu izolatora świecy zapłonowej znacznie przyspiesza proces samooczyszczania, czego dowiodły wyniki zaproponowanej próby. Powodem takiego działania tego izolatora może być intensyfikacja zawirowań ładunku omywającego izolator o nieregularnym kształcie. Jednakże, jak wykazały badania na silniku trakcyjnym, intensyfikacja zawirowań jest przyczyną obniżenia momentu obrotowego silnika szczególnie przy wyższych prędkościach obrotowych. W zawiązku z tym, konieczna jest optymalizacja tej konstrukcji zmierzająca do obniżenia wpływu kształtu izolatora na intensywność zawirowań przy jednoczesnym zachowaniu założonej, dłuższej drogi upływu prądu.

5. Conclusions

Introduction of grove in a ground electrode of U-super spark plug advantageously influences process of air-fuel mixture ignition in a combustion chamber. It was confirmed by wider range of mixture burning in comparison with sparkplugs with traditional shapes of electrodes. This feature is in favour of using such spark plugs in engines characterized by large excursions of air-fuel ratio.

Modification of insulator shape substantially accelerates self-cleaning process. It was verified with the use of proposed self-cleaning test. The reason of such insulator performance could be intensification of swirl rate near the spark plug caused by its irregular shape. However, according to research done on the automotive engine such high swirl rate causes decrease of engine torque especially at higher rotational speeds. According to the obtained results, optimization of the insulator shape has to be done. It is needed to lower swirl rate while maintaining the lengthened current leakage path at the same time.

6. References

[1] Kowalewicz A. : *Wybrane zagadnienia samochodowych silników spalinowych*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Inżynierskiej, Radom 1996.
[2] Ozdor N., M. Dulger, Sher E.: *Cyclic Variability in Spark Ignition Engines*. SAE Technical Paper 940987.
[3] Materiały prasowe firm BOSCH, ISKRA, NGK.

Dr inż. Jacek HUNICZ
Mgr inż. Eliasz WAC
Katedra Silników Spalinowych i Transportu
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
e-mail: j.hunicz@pollub.pl, e.wac@pollub.pl
Inż. Jerzy KABAŁA
ISKRA Zakłady Precyzyjne Sp. z o.o.
25-709 Kielce, ul. Mielczarskiego 47

Grzegorz DZIENISZEWSKI
Wiesław PIEKARSKI

WYBRANE PROBLEMY ZASILANIA SILNIKÓW DIESLA NISKO PRZETWORZONYM OLEJEM RZEPAKOWYM

THE SELECTED PROBLEMS OF FEEDING DIESEL ENGINES WITH LOW-PROCESSED RAPE OIL

Przedstawiono własności nisko przetworzonego (tzw. surowego) oleju rzepakowego pod kątem stosowania do napędu silników spalinowych. Opracowano koncepcję układu dwupaliwowego dzięki, któremu możliwa jest prawidłowa praca silnika zasilanego olejem rzepakowym. Zaprezentowano dotychczasowe wyniki badań trakcyjnych i laboratoryjnych. Wskazano na problemy techniczne i prawne stosowania oleju rzepakowego do napędu pojazdów.

Słowa kluczowe: *paliwa alternatywne, silniki spalinowe, charakterystyka zewnętrzna, eksploatacja*

The properties of low-processed (the so called 'raw') rape oil in view of its use for combustion engines feeding were presented. A concept of a bi-fuel system was worked out enabling the correct working of an engine fed with rape oil. The results obtained so far in traction and laboratory tests were presented. The technical and legal issues connected with rape oil use for vehicle driving were pointed out.

Keywords: *alternative fuels, combustion engines, external characteristics, exploitation*

1. Wprowadzenie

Zagadnienie wykorzystania oleju rzepakowego do napędu silników pojazdów samochodowych należy analizować w czterech aspektach: technicznym, ekologicznym, geopolitycznym, ekonomiczno – społecznym.

Kwestie techniczne wymagają opracowania takiej konstrukcji układów paliwowych, aby możliwe było prawidłowe spalanie oleju poddanego jak najmniejszej liczbie zabiegów uszlachetniających, gdyż ma to wpływ na ekonomikę całego przedsięwzięcia. Estryfikacja oraz inne zabiegi chemiczne, którym poddawany jest olej przeznaczony do celów „trakcyjnych" są energochłonne, a zatem kosztowne. Dlatego też ważkie wydają się prace zmierzające w kierunku spalania oleju otrzymywanego bezpośrednio z tłoczni.

Zagadnienia proekologiczne związane z olejem rzepakowym jako paliwem są uzasadnione: bardzo dobrą biodegradowalnością, zerową emisją związków siarki w spalinach, niską zawartością wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w spalinach, niską emisją niespalonych węglowodorów oraz zmniejszeniem zadymienia spalin.

Aspekty geopolityczne stosowania oleju rzepakowego jako paliwa wynikają ze światowych problemów

1. Introduction

The problem of rape oil use for automobile engines driving should be analysed in four aspects: technical, ecological, geo-political and socio-economic.

The technological demands call for such a construction of fuel systems which enables the correct combustion of the possibly rawest oil, since the economy of the whole enterprise relies on that. Esterification and other chemical processes applied to 'traction purposes' oil are highly energy-consuming and consequently expensive. That is why research aiming at the combustion of oil obtained straight from the press seems to be significant.

Pro-ecological character of using rape oil as fuel is well-grounded by: very good bio-degradability, zero emission of sulphur compounds, low contents of polynuclear aromatic hydrocarbons in exhaust gases, low emission of unburnt hydrocarbons and lower smokiness of exhaust gases.

Geo-political aspects of rape oil use as fuel are involved with the world problems concerning oil fuels. On the one hand this raw material's resources are already substantially exploited, on the other hand the oil fuels market is strongly influenced by politics. Application of rape oil results in a certain independence as well as renewability of the energy source.

z paliwami ropopochodnymi. Z jednej strony zasoby surowca są już mocno nadwerężone, natomiast z drugiej strony rynek paliw ropopochodnych jest silnie zależny od polityki. Stosowanie oleju rzepakowego zapewnia swoistą niezależność oraz odnawawialność źródła energii.

Specyfika gospodarki naszego kraju sprawia, że dużą rolę odgrywa czynnik ekonomiczno – społeczny. Warunkiem jakichkolwiek działań ukierunkowanych na wdrażanie biopaliw jest opłacalność przedsięwzięcia, która jest oczywista, gdyż olej rzepakowy jest o połowę tańszy od oleju napędowego. Ponadto stosowanie oleju do napędu pojazdów nakręca koniunkturę w gospodarce rolnej, a tym samym rozwiązuje problemy producentów związane z opłacalnością produkcji oraz ze zbytem.

2. Cel i zakres

Celem prezentowanych badań jest empiryczna ocena możliwości zasilania silnika o zapłonie samoczynnym olejem rzepakowym otrzymywanym bezpośrednio z tłoczni. Nowatorskie ujęcie problemu polega na wdrożeniu koncepcji silnika dwupaliwowego i przeprowadzeniu badań w zakresie wpływu zasilania olejem rzepakowym na parametry silnika oraz na jego trwałość.

Zakres prowadzonych prac jest szeroki i obejmuje badania trakcyjne ciągników rolniczych i samochodu osobowego oraz badania laboratoryjne silnika samochodu dostawczego oraz ciągnika rolniczego.

3. Metodyka badań

Badaniami trakcyjnymi objęto: ciągniki Ursus C-360 (rys.1), Ursus 902 (silnik Z 8401) (rys.2), oraz samochód Volkswagen Golf (silnik 1600) (rys.3). Badaniami laboratoryjnymi objęto silniki 4c90 oraz silnik ciągnika Ursus C-360.

Metodyka badań obejmuje badania eksploatacyjne w warunkach typowego użytkowania pojazdów oraz wykonanie charakterystyk porównawczych dla silnika zasilanego olejem napędowym i olejem rzepakowym

4. Istota zasilania silnika nisko przetworzonym olejem rzepakowym

Własności fizykochemiczne oleju rzepakowego są dla większości parametrów zbliżone do własności oleju napędowego (tab.1)

Jak wynika z danych zawartych w tab. 1 istnieje parametr, który szczególnie uniemożliwia prawidłowe zasilanie silnika nisko przetworzonym olejem rzepakowym. Tym parametrem jest lepkość, która w tempe-

Due to the specific character of our country's economy, an important role is played by the socio-economic factor. Any action towards application of biofuels has to be economically efficient, which in case of rape oil is quite obvious as it is twice cheaper than engine oil. Moreover, the use of oil for vehicle driving boosts the agricultural sector's economy and thus solves the problems of producers connected with the economic efficiency of production and demand for their crops.

2. Aim and scope

The presented research aims at an empirical evaluation of a possibility of feeding a self-ignition engine with rape oil obtained straight from the press. The pioneer character of this concept consists in an endorsement of a bi-fuel engine and testing an influence of rape oil feeding on an engine's parameters and its durability.

The scope of investigations is wide and includes traction tests on agricultural tractors and an automobile as well as laboratory tests on an engine of a van and an agricultural tractor.

3. Research methods

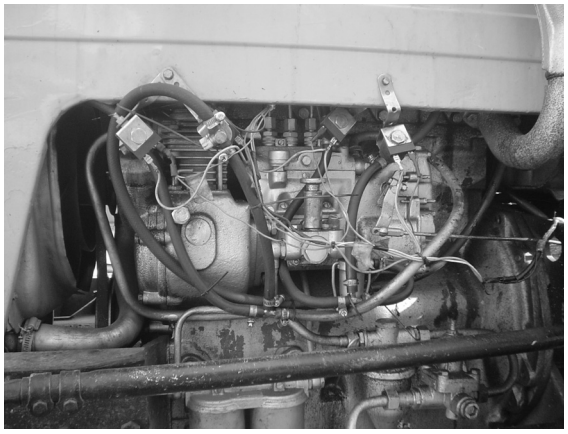
Traction tests were carried out on: tractors Ursus C-360 (Fig. 1), Ursus 902 (engine Z84010 (Fig. 2), and an automobile Volkswagen Golf (engine 600) (Fig. 3). Laboratory tests were carried out on engines 4c90 and an engine of a tractor Ursus C-360.

The applied methods involve exploitation tests in the conditions of the typical work of a vehicle as well as making out the comparative characteristics for engines fed with engine oil and those fed with rape oil.

4. Feeding an engine with low-processed rape oil

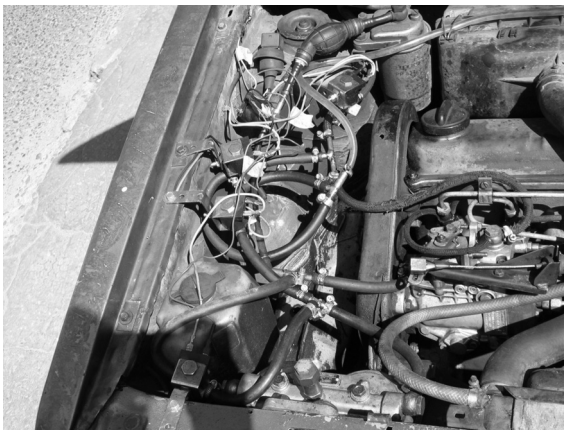
Physical and chemical properties of rape oil are for a majority of parameters similar to those of engine oil (Table 1).

As Table 1 data show, there exists a parameter which especially prevents the correct engine feeding with low-processed rape oil. The parameter in question is viscosity, which at 40'C is about twelve times higher for rape oil than for engine oil.



Rys. 1. Widok dwupaliwowego układu zasilania silnika ciągnika Ursus C-360
Fig. 1. View of a bi-fuel feeding system of an engine in a tractor Ursus C-360

Rys. 2. Widok dwupaliwowego układu zasilania silnika ciągnika Ursus 902
Fig. 2. View of a bi-fuel feeding system of an engine in a tractor Ursus 902



Rys. 3. Widok dwupaliwowego układu zasilania silnika samochodu Volkswagen Golf
Fig. 3. View of a bi-fuel feeding system of an engine in an automobile Volkswagen Golf

raturze 40^0C jest około dwunastokrotnie większa dla oleju rzepakowego niż dla oleju napędowego.

Tak duża różnica lepkości nie tylko czyni niemożliwym rozruch silnika w temperaturze około 5^0C lecz także uniemożliwia prawidłową pracę aparatury wtryskowej w wyższych temperaturach. Duża lepkość zwiększa średnice kropel wtryskiwanego paliwa, powoduje dużą penetrację strugi oraz osiadanie paliwa na ściankach cylindra. Nieoptymalne warunki spalania powoduję wzrost zadymienia spalin oraz przenikanie niespalonego oleju rzepakowego do oleju smarowego. Praca silnika nie jest możliwa, gdyż podnosi się temperatura w obiegu a olej smarowy traci swoje własności. Ponadto następuje „koksowanie" wtryskiwaczy oraz powstają duże ilości nagaru w komorze spalania. Takie warunki pracy prowadzą bardzo szybko do uszkodzenia silnika.

Such a big viscosity difference not only makes it impossible to start an engine at about 5'C but also does not allow for the correct work of the injection system in higher temperatures. High viscosity enlarges the diameters of the injected fuel drops, causes high jet penetration and results in forming fuel sediments on he cylinder's walls. Non-optimal combustion conditions result in the growth of exhaust gases smokiness and penetrating of the unburnt rape oil to lubricating oil. The work of an engine is stopped as the circulation temperature rises and the lubricating oil loses its properties. Moreover, the 'coking' of the injectors follows and large quantities of nagar are formed in the combustion chamber.

These working conditions immediately lead to engine damage.

However, rape oil is characterized by strong viscosity dependency on temperature (Fig. 4). This very

Tab.1. Wybrane parametry oleju rzepakowego i oleju napędowego
Table 1. The selected parameters of rape oil and engine oil

Parametr *Parameter*	*Olej rzepakowy** *Rape oil**	*Olej napędowy* *Engine oil*
Gęstość w temp.15^{0}C [kg/m^3] *Density at 15 'C [kg/m^3]* *(PN-EN ISO 12185:2002)*	*918,3*	*min. 820-max. 845* *(Wg PN-EN 590:2005(U))*
Lepkość kinematyczna [m^2/s] *Kinematic viscosity [m^2/s]* *(PN-EN ISO 3104:2004)*	*36,09*	*min. 2,00 – max. 4,50* *(Wg PN-EN 590:2005(U))*
Smarność w temp.60^{o}C [µm] *Lubrication ability at 60'C [µm]* *(PN-EN ISO 12156-1:2001)*	*144*	*max. 460* *(Wg PN-EN 590:2005(U))*
Wartość opałowa [MJ/kg] *Fuel value [MJ/kg]*	*38*	*42-44*
Skład elementarny [%] *Element contents [%]* *C* *H* *O* *S*	 *78* *12* *10* *0*	 *87* *12,8* *0* *0,2*
Zawartość wody [% mas.] *Water contents [% mas.]*	*0,07*	*0*
Liczba cetanowa LC *Cetane number LC*	*41*	*45-50*

** - olej rzepakowy z tłoczni KUŹNIAR*
** - rape oil from the press KUŻNIAR*

Olej rzepakowy ma jednak silną zależność lepkości od temperatury (rys. 4). Właśnie ta cecha jest podstawą opracowania układu dwupaliwowego, który eliminuje wszystkie wymienione uprzednio niekorzystne zjawiska.

Silnik dwupaliwowy pracuje według koncepcji polegającej na tym, że rozruch następuje na oleju napędowym. Po osiągnięciu przez ciecz chłodzącą temperatury około 80^{0}C następuje przełączenie na zasilanie olejem rzepakowym, który jest podgrzewany w wymienniku ciepła ogrzewanym przez ciecz chłodzącą. Konstrukcja wymiennika musi zapewniać osiągniecie przez olej rzepakowy temperatury około 70^{0}C. Przed wyłączeniem silnika należy przełączyć do na zasilanie olejem napędowym i uwzględnić konieczność „wypalenia" ilości oleju znajdującej się w pompie wtryskowej.

Koncepcję układu dwupaliwowego prezentuje schemat przedstawiony na rys.5, natomiast układy dwupaliwowe zabudowane w pojazdach przedstawiają rys.1, rys. 2, rys.3.

Silnik ciągnika Ursus C-360 wyposażono, ze względu na nietypową konstrukcję układu chłodzenia, w wymiennik specyficznej konstrukcji (rys.6).

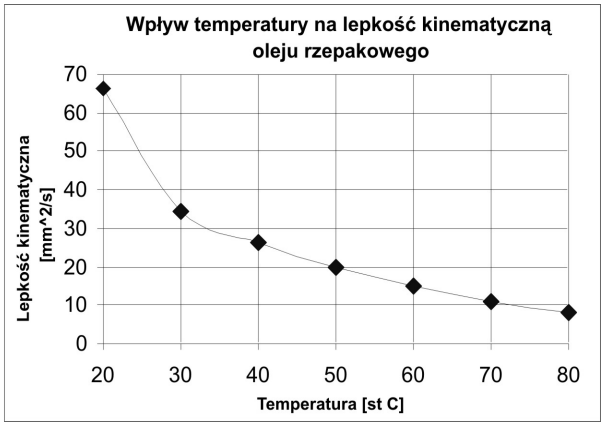
characteristics lies at the basis of the bi-fuel system concept, which eliminates all the above-mentioned drawbacks.

A bi-fuel engine works according to the idea of starting it with engine oil. After the cooling liquid reaches circa 80'C, the engine is switched to feeding with rape oil , heated in the heat converter by the cooling liquid. The converter's construction must make it possible for the rape oil to reach the temperature of about 70'C. Before the engine is turned off it should be switched to engine oil feeding, with the possibility of 'burning out' all the oil present in the injection pump.

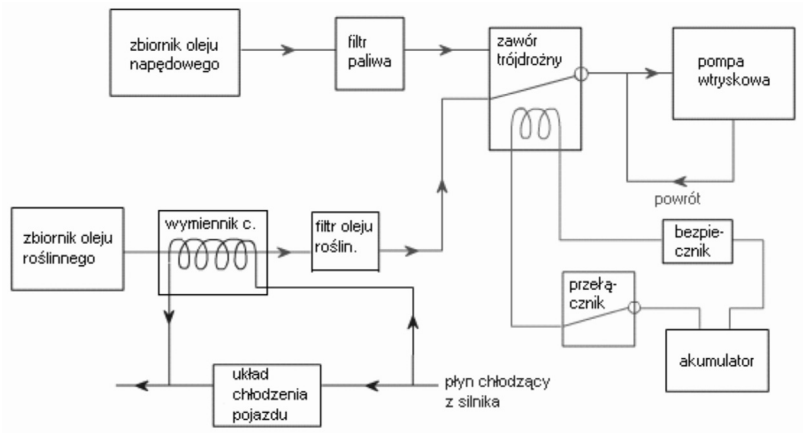
The concept of a bi-fuel system is presented on the draft in Fig. 5, and the bi-fuel systems built into vehicles are presented in Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3.

The engine of an Ursus - C360 tractor, because of its unique cooling system construction, was equipped with a specially constructed converter (Fig. 6).

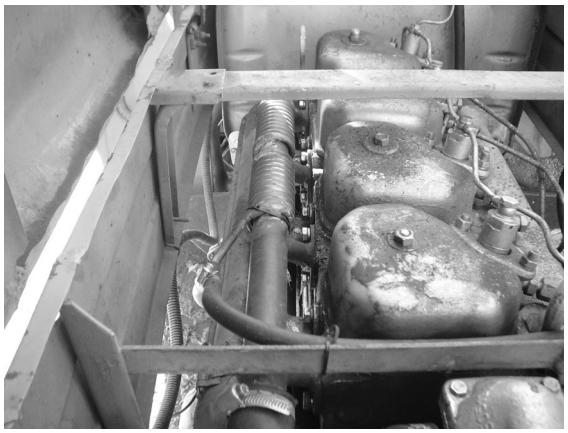
Both in an engine of the Ursus 902 tractor (engine Z 8401) and in an engine of the VW Golf car similarly constructed converters were applied (Fig. 7).



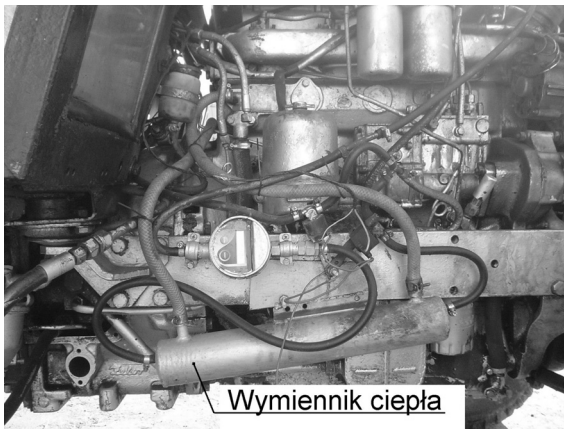
Rys. 4. Zależność lepkości oleju rzepakowego od temperatury
Fig. 4. Dependency of rape oil viscosity on temperature



Rys. 5. Schemat blokowy układu dwupaliwowego
Fig. 5. A block draft of the bi-fuel system



Rys. 6. Wymiennik ciepła typu woda-olej rzepakowy ciągnika Ursus C-360
Fig. 6. A heat converter of the water - rape oil type in the Ursus C - 360 tractor



Rys. 7. Konstrukcja i umieszczenie wymiennika ciepła w ciągniku Ursus 902
Fig. 7. Construction and localization of a heat converter in the Ursus 902 tractor

Natomiast w silniku ciągnika Ursus 902 (silnik Z 8401) oraz w silniku samochodu VW Golf zastosowano wymienniki o zbliżonej konstrukcji (rys. 7).

5. Charakterystyka silnika zasilanego nieprzetworzonym olejem rzepakowym

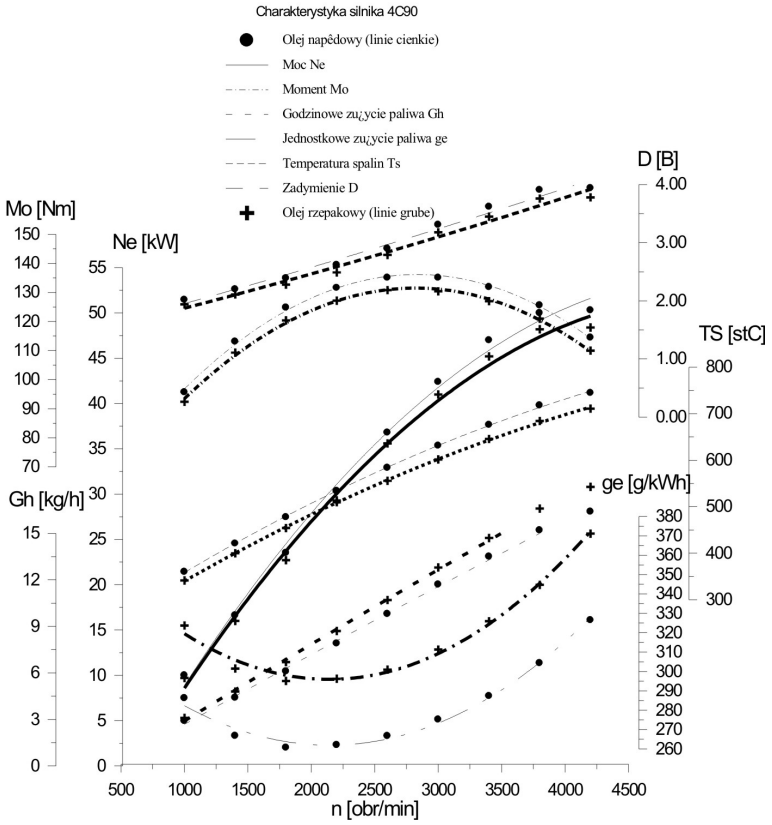
Celem precyzyjnego określenia wpływu rodzaju paliwa na parametry silnika wykonano charakterystykę porównawczą (rys. 8) dla silnika 4C90 zasilanego olejem napędowym oraz olejem rzepakowym o parametrach przedstawionych w tab. 1.

Silnik 4c90 pracował w układzie dwupaliwowym, temperatura oleju rzepakowego na wejściu do pompy wtryskowej wynosiła około 80^0C. Do podgrzewania oleju rzepakowego zastosowano wymiennik ciepła o konstrukcji analogicznej do wymiennika przedstawionego na rys. 7.

5. The characteristics of an engine fed with crude rape oil

In order to precisely define an influence of a fuel's kind on an engine's parameters a comparative characteristics was worked out (Fig. 8) for the 4C90 engine fed with engine oil and fed with rape oil of the parameters as in Table 1.

The 4C90 engine worked in a bi-fuel system, the temperature of rape oil entering the injection pump was circa 80'C. The rape oil was heated by a heat converter constructed analogically to the converter presented in Fig. 7.



Rys. 8. Charakterystyka porównawcza dwupaliwowego silnika 4c90
Fig. 8. A comparative characteristics of the bi-fuel engine 4C90

6. Wyniki analizy i dyskusja

Wszystkie pojazdy badane w warunkach trakcyjnych nie wykazują (w subiektywnej ocenie eksploatujących) zmiany parametrów trakcyjnych przy zasilaniu olejem rzepakowym. Okresowa kontrola wtryskiwaczy nie wykazuje odkładania się laków na końcówkach. Występuje zwiększone o około 8% zużycie oleju rzepakowego. Zadymienie spalin utrzymuje się na poziome właściwym dla sprawnego silnika.

6. Results of the analysis and discussion

None of the vehicles tested in traction conditions show (according to the subjective evaluation by their users) any change of the traction parameters while fed with rape oil. Periodic control of injectors does not detect any depositing of wax on the ends. The consumption of rape oil is about 8% higher. Exhaust fumes smokiness stays at the proper level for an efficient engine.

Samochód osobowy (eksploatowany przez autora artykułu) przejechał dotychczas 15 tys. km natomiast ciągniki (eksploatowane w Zakładzie Doświadczalnym Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Ożańsku) przepracowały po około 500 motogodzin.

Olej rzepakowy odznacza się większą agresywnością w odniesieniu do elementów wykonanych z miedzi; zauważalny jest nalot na miedzianych rurkach wymiennika. Problemy związane z destrukcyjnym działaniem oleju rzepakowego na elementy gumowe i polimerowe dotychczas nie zostały ujawnione; przewody i uszczelnienia wykazują szczelność.

Niedogodnością wynikającą z faktu zasilania silnika nisko przetworzonym olejem rzepakowym jest konieczność częstszej wymiany filtrów paliwowych. Trudno mówić na chwilę obecną o tym zjawisku jako o typowym, gdyż występują duże rozbieżności w czystości i jakości oleju dostarczanego przez różnych producentów. Przykładowo olej z tłoczni **Kuźniar** miał zerową zawartość wody i niską zawartość fosforu (nie występowały problemy z utartą sprawności filtrów) natomiast olej z tłoczni **Fus** zawierał około 8% wody, 500 ppm fosforu i powodował intensywną korozję miedzi oraz konieczność częstej wymiany filtrów paliwa.

Badania trakcyjne są zbieżne z badaniami laboratoryjnymi. Z charakterystyki porównawczej (rys. 8) wynika, że w niewielkim zakresie zmniejsza się moc silnika w zakresie prędkości maksymalnych, moment obrotowy ulega obniżeniu, zużycie paliwa jest większe o około 10%, natomiast niewielkiemu obniżeniu ulega zadymienie oraz temperatura spalin. Większe zużycie paliwa przy jednoczesnym spadu temperatury spalin i ich zadymienia można tłumaczyć znaczną ilością tlenu zawartego w paliwie.

7. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone dotychczas badania dowodzą, że możliwe jest stosowanie do napędu silników spalinowych nisko przetworzonego (tzw. surowego) oleju rzepakowego. Warunkiem koniecznym dla prawidłowej pracy silnika jest wyposażenie do w dwupaliwowy układ zasilania zapewniający rozruch silnika na oleju napędowym oraz podgrzanie oleju rzepakowego do odpowiedniej temperatury. Aspekty techniczne i wstępne doświadczenia eksploatacyjne wskazują na możliwość szerokiego wdrożenia prezentowanej koncepcji. Aby wykluczyć przypadkowość otrzymywanych wyników należy przeprowadzić jeszcze szereg badań trakcyjnych mających charakter badań trwałościowych.

Wydaje się jednak, że poważniejszym problemem od zagadnień technicznych jest właściwe unormowanie sytuacji prawnej, gdyż na chwilę obecną wszelkie

The automobile (used by the author of this paper) has so far made 15 thousand km, and the tractors (exploited at the Experimental Station of Plant Growing and Acclimatization in Ożańsk) have been working for about 500 driving hours each. Rape oil is characterized by higher aggression level in relation to elements made of copper; the copper converter tubes are covered with a noticeable coating. Problems connected with the destructive effects of rape oil on rubber and polymer elements have not been revealed so far; wires and seals are tight.

A drawback of feeding an engine with low-processed rape oil is the necessity of a more frequent change of fuel filters. This phenomenon can hardly be described as typical at present, as purity and quality of oil from various producers differs very much. For instance oil from the Kużniar press contained no water and only small quantity of phosphorus (it did not cause any problems concerning filters efficiency), and oil from the Fus press contained about 8% water, 500 ppm phosphorus and caused intensive copper corrosion and the necessity of frequent filter change.

The traction tests have given similar results to the laboratory tests. The comparative characteristics (Fig. 8) has shown that an engine's power drops insignificantly in the maximum velocities range, the torque decreases, fuel consumption increases by about 10%, and there is a small decrease in smokiness and exhaust fumes temperature. A higher fuel consumption simultaneous to the drop in the exhaust fumes temperature and their smokiness can be explained by a significant quantity of oxygen contained in the fuel.

7. Conclusions

The research conducted so far has proved that it is possible to use a low-processed (the so-called 'crude') rape oil to drive combustion engines. A necessary condition for an engine's correct work is to equip it with a bi-fuel feeding system, enabling an engine's start on Diesel oil and heating rape oil to a proper temperature. The technical aspects and initial exploitation experiments point out at an ability of a wide application of the presented concept. In order to rule out any random character of the obtained results a number of traction tests should follow in order to complete the endurance evaluation.

substancje stosowane do napędu pojazdów są paliwami i jako takie powinny podlegać opłatom skarbowym przewidzianym dla paliwa. W myśl powyższego wywodu „przestępstwo" popełnia rolnik, który z własnego rzepaku otrzymuje olej, którym następnie napędza ciągnik pracujący w jego gospodarstwie.

8. References

[1] Bugajski S.: *Wpływ paliwa ekologicznego z rzepaku na wybrane elementy gumowe i polimerowe stosowane w silnikach Ursus*. Prace PIMR,3, 1997.
[2] Piekarski i inni.: *Rzepak z pola do baku*, PWRiL, Warszawa, 2004.
[3] Szlachta Z.: *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, WKiŁ, Warszawa, 2002.

Dr inż. Grzegorz DZIENISZEWSKI
Instytut Techniki
Uniwersytet Rzeszowski
Prof. dr hab. inż. Wiesław PIEKARSKI
Akademia Rolnicza w Lublinie
Wydział Inżynierii Produkcji
Katedra Energetyki i Pojazdów

Boleslav KADLEČEK
Ladislav PEJŠA
Miroslav RŮŽIČKA
Miroslav SVÍTEK
Tomas TVRZSKÝ

THE POSSIBILITIES OF ELECTRONIC TOLL'S UTILIZATION IN RELATION TO ENVIRONMENT CONSERVATION AND ROAD SAFETY

Current electronic toll should start to play the important role not only in charging for the road use but it is chance to use it as the promoting element in environment conservation and road safety activities. The paper describes the toll system proposal that instead of to a usual way of vehicles' per kilometre charging takes into account harmful environmental impacts and road safety as well. The purpose of proposal is charging according to every specific vehicle's harmful environmental impacts and road safety per particular road section. The proposal is recently researched and results of a theoretical analysis are presented in the paper that includes the basic experimental engine's evaluation and telematic part.

Keywords: *electronic toll, environment conservation, road safety, engine vehicles, telematics*

1. Introduction

The nowadays systems of electronic toll can significantly increase efficiency of solving problems of the sustainable development of motorway, road and urban traffic. Up to now usually applied electronic toll is designed in different modifications but with the same basic aim to charge vehicle's drive per concrete road section. The purpose of the charge is to obtain financial means for a road maintenance and construction. Above mentioned the only contemporary electronic toll systems' aim was used by authors in their more complex proposal as one part so called economy toll part. Beside this part another two parts are proposed i.e. ecological and safety ones. The principle of presented electronic toll proposal is based on individual and technically validated payment for the harmful vehicle's environmental and safety impacts instead of a basic payment for vehicle's drive only. The proposal's purpose is to promote driver's behaviour to maintain his vehicle's correct technical conditions (minimizing harmful emissions) and to keep regardful and safe drive. The paper contains only a part of the mentioned task i.e. engine's problems linked with the ecological part of electronic toll. It is technical reasons of individually aimed charge of harmful emission mass production in different sections of a transport infrastructure. To achieve this aim it is necessary to monitor an every vehicle involved into the system from the point of the instantaneous production of single harmful emission fractions. It requires some specific smaller changes as in a way of the homologation measurement as in some more principle changes in the content of regular emission inspections. The relatively simple indirect measurement within the whole vehicle's operation is linked with these changes.

2. Problems of the driven vehicle's emission measurement

2.1. Principle of proposed way of indirect emission measurement of driven vehicle

The production quantification of single emission fraction of an every single vehicle during the whole operational period on specified road sections is possible to solve technically. But it would be extremely expensive to equip a vehicle by small physical and chemical laboratory installed e.g. in the engine's exhaust design section. This equipment is usual in US's or Japan's market but their initial price can exceed the luxury car's price and it is the reason of their wider operational non-acceptance. In case these equipments' price would not be decreased in future by way of some radical invention it is possible to say that their utilisation remain in a applicable research area or in vehicles' homologation measuring system.

In virtue of above mentioned statements authors concentrated on the indirect operational measurement of engine vehicles in their proposal i.e.:

- The "standard" emission characteristics will be determined by precise methods during homologation measurement of every specific type of vehicle's engine. These characteristics describes the instantaneous value of mass production of single

harmful emission fractions and it is in dependence on the set of specific engine's operational modes that is possible to take into account.

- The operational modes of vehicles' combustion engines use to be defined by two independent quantities i.e. revolutions n [1.min.$^{-1}$] and the useful torque of crankshaft M [Nm]. The emission characteristics are described by 3D – dependences under usual conditions where every instantaneous mass production Q_i of every *i-th* emission fraction is quantity depending on n_i and M_i. Authors accepted conclusions that at modern engines, mainly at compressor and electronically operated combustion ones, is necessary to define their operational modes by more independent quantities for this purpose.
- With the regard to the gradual operational engines' wear-out the above mentioned "standard" characteristics are updated during vehicles' periodical emission inspections. These updated characteristics are derived from "inherited" basic shapes of "standard" characteristics where the modification is carried out on important areas by updating measurement only. By authors' proposed quasi-static measuring method likes to be suitable for the periodical measurement. The method requires low investment and operational costs and it provides the adequate preciseness.
- During the whole vehicle's drive and under any changing operational conditions the sequence of operational engine's modes is only monitored and saved into a memory in time dependence. Consequently the sequence of mass production of instantaneous emission values is assigned to operational modes by updated emission characteristics. The integration in time determines total production values of single harmful emission fractions at any chosen road section.
- According to authors' proposal the methods of telematics are possible to utilize and to monitor every single vehicle involved into the system at all over the Czech Republic or even Europe. This way of electronic toll is rightful and significantly promoting the ecological behaviour. The appreciation of vehicle measured harmful impact per unit stays as the only problem here. In financially hierarchal localities the *economy's* toll per kilometre is possible to determine and its ecological toll's fraction (done by the vehicle's unfavourable impact on the environment) as well.

2.2. Form choice of dynamic and emission characteristics

The instantaneous and total production of single emission fractions is possible to determine in virtue of measured engine modes' sequence with the support of power and emission stated engine's characteristics. The engine's torque becomes derived (calculated) quantity i.e. indirectly measured output quantity of engine's power characteristics and this torque is dependent directly on measured input quantities under the proposed system of operational measurement. Directly measured input quantities of the computation are in principle chosen the same as for the torque as for the instantaneous production values of every single emission fraction.

In proceeded proposal the unified form of power and emission characteristics was chosen. The "4D" dependence of every single output quantity on three input quantities i.e. revolutions n, indicator of the fuel supply *uPa* and indicator of the air supply *uV* . Fig. 1 shows useful torque as the chosen output quantity but it is the only one possibility from the other quantities' set (chosen mainly in a form of single emission fractions). Experiments were carried out with a four-stroke diesel compressor engine ŠKODA LIAZ ML 635.

Directly measured input quantities of computation i.e. *n*, *uPa* and *uV* is generally possible to measure in relatively easy way. This measurement is possible carried out continually during the whole vehicle's drive. For example the attitude of injection pump's ratchet within the bounds 0 – 100% was chosen as the fuel supply indicator *uPa* and input air pressure into the engine (behind a turbo-blower) within the bounds 1.3 – 1.7 bar was chosen as the air supply indicator *uV.*

Fig. 1 shows the example of general relation in a shape of the skew surface *M(n, uPa, uV)*, presented for the only one chosen value of input quantity *uV* = 1.7 bar.

Similarly **z** – axis can be used for another quantities in different characteristics e.g. engine's operation characterized by fuel supply *dPa*[mg/s], emissions *CO*[mg/s], CO_2[mg/s], *NOx*[mg/s], *HC*[mg/s], solid particles *PM*[mg/s] etc.

The advantage of further analysis is done by mathematical expression and its charting. The researched particular dependencies are charted by the same way and it is possible to carry out computable or graphical comparisons e.g. by the overlapping of two researched quantities on **z**-axis when axis **x** and **y** are constant.

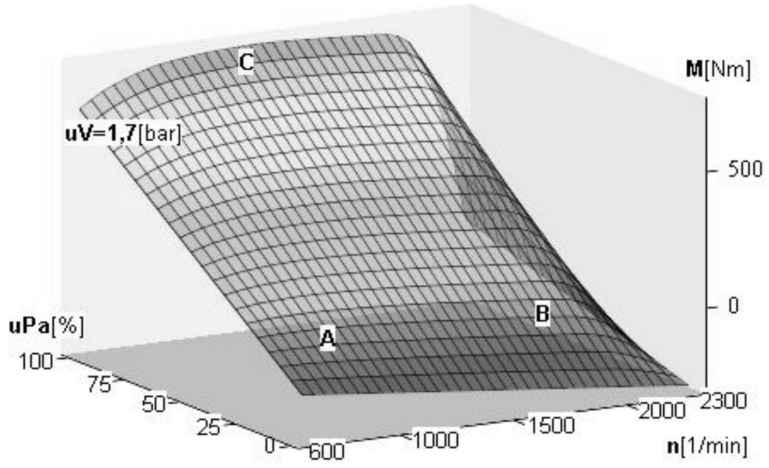


Fig.1. Example: 4D characteristics of diesel compressor engine. The indirectly measured useful torque M is charted in dependence on revolutions n and the fuel supply indicator uPa and the air supply indicator uV. The only one surface is shown uV=1,7 bar (from the measure range 1,3 - 1,7 bar)

2.3. Ways of characteristics' periodical actualization

It is proposed that the shown characteristics' form (see Fig. 1) will be determined in its "standard view" on the needed graduate levels *uV* at homologation measurements. These characteristics could be valid for the first three years of new vehicle's operation. After it, during the first and next regular technical and emission inspections the applied characteristics' update could be carried out. In principle The measurement could be carried at three points (see Fig. 1) marked as **A**, **B** and **C**.

The principle of expectation is that characteristics' updated quantity surfaces of gradually wear-out engine keep the basic features of "standard" characteristics. Every single standard characteristics obtained at the homologation is possible only to "shift and rotate" onto the position done by points **A**, **B** and **C**. This method is evaluated by authors and obtained preliminary results are favourable. In case of need it would be possible to enlarge number of measured points and the single characteristics preciseness' update would radically improve. The characteristics' surface could change into anomaly skew one that could express the results of engine's gradual wear-out precisely. The update could be carried out by simpler and cheaper way e.g. quasi-static method that is described in another paper. The schema of proceed is following:

- The vehicle's driven wheels are placed on freely rotating cylinders. The suitable gear is shifted (usually low) and the engine is operated with adjusted revolutions on value adequate to measured points e.g. point **A**. The later repeated measurement should do the same but with points **B** and **C**.
- The engine is loaded by unmeasured brake' torque for short time e.g. by vehicle's brake or by electric or hydraulic retarder. The value of load torque must be app. adequate to pre-chosen point e.g. **A**.
- During app. two minutes of constant and in this moment not measured load all required output parameters are measured in form of single emission fraction production
- Then it is necessary to clutch down smartly and at this moment the engine gets into full free acceleration and during several initial milliseconds [ms] the useful torque is measured by angle acceleration. In this way measured value is highly precise and it is adequate to stabile torque (by what the engine was loaded during former two minutes).
- At pre-chosen measured points **A**, **B** and **C** is possible to keep the pre-adjusted revolutions nevertheless the load torque is not possible to adjust precisely. It influences the real points **A**, **B** and **C** attitude form the general required slightly differ. It is quite principally unimportant from the point of computational possibilities.

2.4. Example of the measurement and vehicle engine power characteristics' computation

The updated 4D – characteristics are possible to obtain in the form of continuous functions immediately usable to computation. Clearly it possible to imagine this function as the set of quantities' surfaces that is shown in Fig. 2. The example shown in Fig.1 was developed hereby: shown surfaces gradually stepped by one tenth of 1 bar *uV* and they are gradually shifted on the vertical axis but it was only done for clear presentation. The scales of presented shifts are not drawn in Fig. 2 for a greater clarity. If the specific vehicle engine's characteristics exist in practice, where

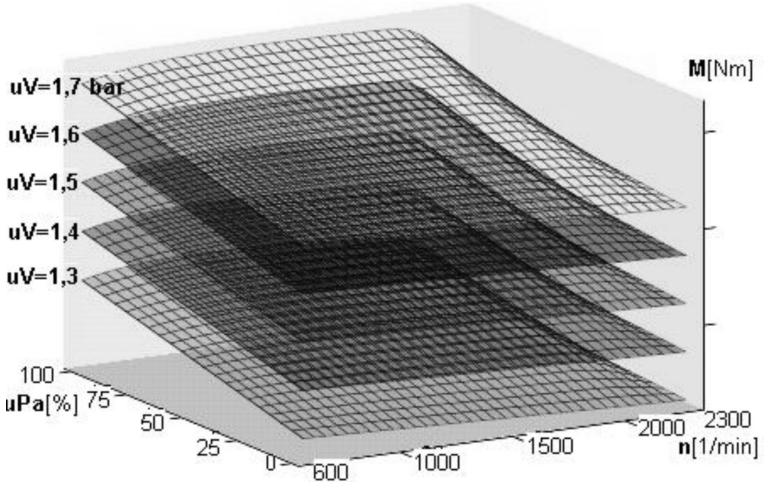


Fig. 2. Example of power characteristics of diesel engine. M is engine's useful torque in dependence on regulations n, fuel supply indicator uPa and air supply indicator uV within the bounds uV=1,3 - 1,7 bar

on the vertical axis **z** is torque and on the others are single emission fractions, then is possible to observe vehicle's power and emission operation without nay problems during the whole drive.

2.5. Example of the measurement and vehicle engine's emission characteristic computation

As an example of the quantitative expression of diesel engines' exhaust gas solid particles the quantity called "quantified opacity" (working name) is applied here; using a symbol Q[m^3/s] and representing air volume disqualified by the engine (in m^3 per second) on the proposed hygienic limit e.g. 5% opacity.

The presented hygienic limit was selected as the preliminary one to clearly show the way of computation and it will be necessary to detachedly determine it in collaboration with a health research. If the engine intake is e.g. 0.2 m^3 .s^{-1} of air under the detachedly defined operational mode and the measured opacity is 30% at exhaust pipe i.e. disqualified air volume on to hygienic limit 5% will be app. higher then 1 m^3.s^{-1} that is possible to express by Beer-Lambert's law and state equation of gases.

2.6. The possibility of characteristics' utilisation to optimise engine's working modes and vehicle

Signals of directly measured quantities i.e. n_i [1/min], uPa_i [%], uV_i [bar] and the instantaneous vehicle's speed v_i [km/h] are saved into the board computer at every i-th moment of its drive (at time intervals e.g. $\Delta t = 0{,}01$ [s]). In virtue of this saved data and the above mentioned actualised characteristics the value of use-

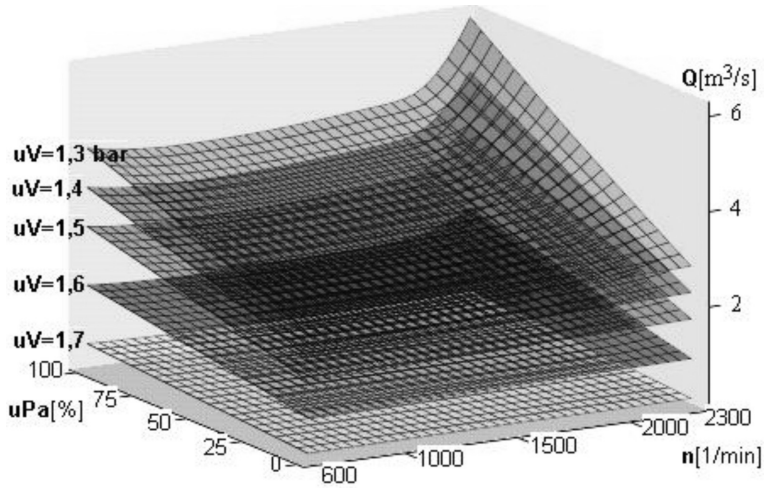


Fig. 3. Example of diesel engine's emission characteristics. Q[m^3/s] is quantified opacity (air volume in m^3.s^{-1}, disqualified on hygienic limit 5% of opacity), in dependence on revolutions n, fel supply indicator uPa and air supply indicator uV within the bounds 1.3 -1,7 bar

ful torque M_i [Nm] is computed in real time at every i –th moment (as the basic data to analyse vehicle's instantaneous dynamic properties):

$$M_i\left(n_i, uPa_i, uV_i\right) \tag{1}$$

and other data of every inspected emission fraction e.g. the above defined quantified opacity Q_i [m^3/s]:

$$Q_i\left(n_i, uPa_i, uV_i\right) \tag{2}$$

Then it is easy to compute different emission quantities in real time with chosen sample frequency that are possibly usable to optimise vehicle's drive economy and ecology. For example it can be instantaneous specific opacity Qm_i [m^3/kWh] that determines disqualified air volume [m^3] above the hygienic opacity limit as a result of engine's useful work 1 kWh:

$$Qm_i = \frac{1{,}08 \cdot 10^8}{\pi} \cdot \frac{Q_i}{M_i \cdot n_i} \tag{3}$$

Likewise every other instantaneous value of the inspected emission quantity production is possible to continually determine. The possibility of continual evaluation from the point of view of economy and ecology is evident. The aim of the continual evaluation is to instantaneously operate the engine's modes and the way of vehicle's drive. The optimization criterion of this operating is the complex technical and economy point of view that includes as the fuel financial costs (determined in virtue of emission gases' carbon molecules) as the financial appreciation of single emission fractions' harmfulness.

2.7. The possibility of characteristics' utilisation in the fair ecological taxation

The vehicle, included into the proposed electronic toll system, is driven in time sequence Δt [s] on geodetically defined road sections ΔS_i [m]. Indirectly measured values of single harmful emission fractions of instantaneous production are linked with these sections e.g. by quantified opacity Q_i [m^3/s]. Example: the vehicle was driven at the moment $i=a$ into the especially observed urban area and at moment $i=b$ left the area.

At every single i-th road section the optimisation criterion of vehicle's driving mode is defined by a support of measured data. This can be stated e.g. as the instantaneous production Qv_i [m^3/m]of the inspected emission fraction related to 1 meter of road:

$$Qv_i = \Delta t \cdot \frac{Q_i}{\Delta S_i} \tag{4}$$

Then the criterion of ecological tax is obtained by the data summarisation within the bounds of $i=a$ and $i=b$. This can be described by e.g. total production Qs of the specified emission fraction during the vehicle's operation on the inspected road section:

$$Qs = \sum_{i=a}^{b} Qv_i \cdot \Delta t_i \tag{5}$$

Presented quantities Qvi and Qs, multiplied by charging rate that expresses a measure of environmental degradation, compose the proposal of ecology and economy criterion for continual technical operating optimal vehicles' drive mode with regard to its load, time and geodetically defined crossed locality.

3. The proposal principles of telematics' part

From the telematics' point of view the original conception of on-board unit (OBU) is proposed to solve the above specified problems. The OBU's functionality includes not only known telematics' applications e.g. electronic toll, digital speed recorder, vehicles' position and costs monitoring etc. but it is enlarged by vehicle's information module. Information are processed and verified there and the computation of driving properties and emission parameters is carried out to use the obtained information mainly for electronic toll determination. Except of the presented elementary application the utilisation of obtained information in further telematic applications will be derived e.g.: monitoring of dangerous load transport where the condition of safe realisation is good knowledge about vehicle's technical situation, driving characteristics and safety.

The result of on-board unit analysis is the definition of elementary functions which should be fulfilled in the electronic toll system. The analysis determined single information relations and their interconnection and mainly information relations linked with outside subsystems as vehicle's electronics and vehicle's driving property sensors. The final analysis stems from European project MISTER (Minimum Interoperability Specification for Tolling on European Roads) and from prepared standard CEN 17 575 that solved a OBU's technical specification in future electronic toll systems.

The further used source was national project's results (MD ČR 802/210/108 ITS) characterising national ITS's architecture (includes system of electronic toll) under conditions of a transport and a telecommunication in the Czech Republic.

4. Conclusion

The presented proposal of modern electronic toll conception stems from the principle of road transport sustainable development. The form of aimed influence at vehicle's user was proposed to promote user's

activities in way of the vehicle's correct technical maintenance (minimizing harmful emissions) and the keeping of regardful and safe drive.

From the point of telematics' view the proposal is linked with principals of current electronic toll systems that fulfil economy part only up to now. Two other parts of toll are proposed in the paper i.e. ecological and safety toll.

From the point of engines the system that continually quantifies harmful impacts of every individual vehicle during the whole operation and on the specified "tolled" roads (sections) was proposed. The instantaneous production of single emission fractions are related to "length meter" of road and it enables to determine taxes promoting the vehicle user's proper behaviour.

5. References

[1] Project MD CR č. 1F44G/092/120, *Economy, ecological and safety solution of electronic toll*. Annual report 2004, 2005 Prague.

[2] European project COST 346.10: *Measuring Method on the free rollers for lorries, tractors and special vehicles and its utilization at the emission, fuel consumption and technical state test,* Annual report 2003, 2004, TF CUA Prague.

[3] Sanger, R.P.: *Motor vehicle emission regulations and fuel specifications part 2 detailed information and historic review* (1970-1996) Ó CONCAWE Brussels March 1997

[4] Hickman, A. J.: *Methodology for calculating transport emissions and energy consumption project report* SE/491/98 Copyright Transport Research Laboratory 1999.

[5] Samaras Z., Zachariadis,T.: *The Inspection of In-Use Cars in Order to Attain Minimum Emissions of Pollutants and Optimum Energy Efficiency Task 1.1*: Review of short tests LAT Report 9502 Thes Saloniki, January 1998

[6] Samaras, Z. and others.: *The Inspection of In-use Cars in Order to Attain Minimum Emissions of Pollutants and Optimum Energy Efficiency*. LAT Report No.: 9803 Thessaloniki, April 1998

[7] Joumard, R.- Sérié, E.: *Modelling of cold start emissions for passenger cars* INRETS report n° LTE 9931 December 1999, 86 pages

****

This paper is supported by 1. Ministry of Transport Czech Republic (project No. 1F44G/092/120), 2. Ministry of Education, Youth and Sports (Project No. MSM6046070905)

****

Doc. Ing. Boleslav KADLECEK, CSc.
Ing. Miroslav RUZICKA, CSc.
Department of vehicles and ground transport
TF CUA, 165 21 Prague 6 -Suchdol, Czech Republic
tel. +420 224 383 313, +420 224 383 106
e-mail : kadlecek@tf.czu.cz, ruzicka@tf.czu.cz

Prof.Ing.Ladislav PEJSA, DrSc.
Department of machines' quality and reliability
TF CUA, 165 21 Prague 6 – Suchdol, Czech Republic
tel. +420 224 383 275
e-mail : pejsa@tf.czu.cz

Doc. Dr. Ing. Miroslav SVITEK
Ing. Tomas TVRZSKY
e-mail : svitek@lss.fd.cvut.cz, tvrzsky@telematix.cz

SŁOWNIK

Rada Naukowa i Redakcja Kwartalnika „Eksploatacja i Niezawodność” przedstawiają Czytelnikom słownik angielsko-polski i polsko-angielski z zakresu niezawodności obiektów technicznych. Słownik zawiera około 2000 haseł i będzie drukowany w częściach zamieszczanych w kolejnych numerach kwartalnika począwszy od numeru 3/206.

Słownik został opracowany przez profesora Zbigniewa Smalko wybitnego specjalistę w dziedzinie projektowania niezawodnych maszyn i urządzeń mechanicznych, członka Prezydium komitetu Transportu Polskiej Akademii Nauk. Profesor Zbigniew Smalko obchodził w ubiegłym roku jubileusz 75-lecia urodzin i 50-lecia pracy naukowej.

Prof. dr hab. inż. Andrzej NIEWCZAS

SŁOWNIK
ANGIELSKO - POLSKI

A.
ability - zdolność do działania,
abort - niesprawność systemu, nagła przerwa w działaniu,
abruption - złamanie, urwanie,
abuse - niepoprawne użytkowanie,
acceptability - akceptacja, możliwość odbioru,
acceptable - nadający się (możliwy) do przyjęcia,
acceptance test - badanie kwalifikujące,
acceptance - przyjęcie, akceptacja, zgoda, odbiór,
accessibility - wygoda, łatwość obsługiwania, dostępność, podatność obsługowa,
accident - awaria, wypadek, niepożądane zdarzenie,
accident - **free** - bezawaryjny,
accident - **prone situation** - sytuacja sprzyjająca wypadkom,
accuracy - dokładność, prawidłowość, dbałość,
action - działanie, praca, oddziaływanie, wpływ,
activity - działalność, proces technologiczny, operacja (PERT),
adjustability - podatność regulacyjna, możliwość regulowania,
admissibility - dopuszczalność, możliwość,
advisability - celowość,
ageing - starzenie, zużywanie, pogorszenie jakości,
agreement - zgoda, uzgodnienie, umowa,
allocation - alokacja, lokalizacja, rozkład (w próbce, niezawodności, ..)
amelioration - ulepszenie, podniesienie jakości,
analysis - analiza, badanie,
anticorrosive - antykorozyjny,
approach - podejście, dostęp,
approval - zaakceptowanie, wyrażenie aprobaty,
arrangement - właściwe rozmieszczenie, kompozycja, klasyfikacja,
assembly - składanie, montaż, zespół, zbiór elementów, komplet, agregat,
assay - badanie, próbka, oznaczanie
assessment - oszacowanie, ocena,
assignable cause - przyczyna wyznaczalna,
assumption - propozycja, przypuszczenie, założenie
assurance - gwarancja
attack - korozja, niszczenie,
attendance - obsługiwanie, utrzymywanie, dozór
attribute - charakterystyka jakościowa, cecha jakościowa,
automatic control –autoregulacja,
availability - gotowość eksplotacyjna, dostępność, cenzus, osiągalność,
availability factor - współczynnik gotowości,
average - wartość oczekiwana, średnia,
averaging - uśrednianie, uśredniony,
avoid - unikać, ochronić się,
awkwardly - **placed** - niewygodnie skomponowany (rozmieszczony),

B.
badness - brak, niepełnocenność, niedokładność, niepoprawność,
barrier - przeszkoda, zakłócenie,
bath - partia (wyrobów), grupa, kąpiel
behavioral - odnoszacy sie do danych okoliczności,
behavior - **regime** - (reżym pracy), zachowanie się (systemu), przebieg procesu, stan, charakter zmian,
bend - zginanie,
bias - odchyłka,
blunder - gruby błąd,
boost - wzmocnienie,
both A and B - zarówno A, jak i B,
bounding analysis - analiza wartości skrajnych,
bound - granica, ograniczenie, przedział,
boundary - granica podziału,
break - zniszczenie, złamanie, rozerwanie, oberwanie, rozdwojenie,
breakdown - awaria, niesprawność, uszkodzenie, rozbiórka (na części),
buffer - zapas, rezerwa,
bug - defekt, usterka techniczna,
built - zbudowany,
bulk - zbiorowość, wielkość, masa, zbiór wymagań,
burden - obciążenie, ogólny wskaźnik kompromisowego obciążenia,
burn - **in** - starzenie, wygrzewanie wstępne
burn - badanie niszczące,
by - **effect** - efekt uboczny,

C.
call - sygnał, wezwanie, wymaganie,
cancellation - anulowanie,
capability - zdolność, wydajność, podatność, możliwość (naprawy),
capacity - zdolność, maksymalna wydajność, przepustowość,
careful - staranny (obliczenia),
carelessness - niedokładność, niedbałość,
carrying - nośny,
case - zdarzenie, przypadek, przykład,
casualty - nieszczęśliwe zdarzenie, katastrofa, awaria,
catastrophe - katastrofa,
cause assignable - przyczyna wyznaczalna
cause - **consequence diagram** - diagram konsekwencji zdarzeń,
cause - przyczyna,
caution - ostrzeżenie, ostrożność,
certain - określony, niezmienny, niewątpliwy,
certainty - wiarygodność, niewątpliwość,
chain - sekwencja, związek, łańcuch, sieć,
challenge - złożone zadanie, problem,
challenging - złożony, trudny,
change - zmiana, przejście, przemiana, przekształcenie,
characteristic - chrakterystyka, parametr, właściwość,
charge - obciążenie, obowiązki, odpowiedzialność,
chargeability - możliwość przekazania odpowiedzialności,
check - kontrola, sprawdzenie,
checking - kontrolowanie, sprawdzanie,
checklist - specyfikacja badań, spis kontrolny
checkup - przegląd techniczny,
choice - wybór, ocena alternatywna,
cleaning - oczyszczanie,
clearing - usunięcie (usterek, niedokładności),
closed - **loop system** – układ ze sprzężeniem zwrotnym,
closeness - dokladność (oszacowania) .
code - przepisy, kod, klucz, szyfr,
cognitive - dotyczący świadomości, poznawczy
collapsed - w stanie niezdatnośći,
collect - zbierać, gromadzić,
common causes - wspólne przyczyny,
commonly - zwykle, zazwyczaj,
compatibility - współzamienność, porównywalność, zbieżność, odpowiedniość,
complement - dopełnienie,
component - element (część systemu wypełniająca określoną funkcję), składnik, element składowy wyrobu, węzeł, zespół,
comprise - zawierać,
concomitant - odpowiedni, towarzyszący
condition - sytuacja, warunek, stan,
confirmation - potwierdzenie,
confounding - uwikłanie, łączenie, mieszanie (statystyka),
connection - związek, połączenie, włączenie,

consequences (**to a system**) - konsekwencje (dla układu),
considered - pomyślany,
consignment - dostawa,
consistency - stałość, stabilność, niezmienniczość,
constraint - ograniczenie, presja, wymuszenie, skrępowanie ruchów,
contamination - zanieczyszczenie,
contingency - sprzężenie właściwośći, ewentualność
control - regulacja, sterowanie, dozorowanie, monitoring,
convenience - dogodność (obsługi),
convergence - zbieżność,
converse - przeciwstawność,
conversion - przeróbka, przebudowa,
crack - szczelina, przełom,
cripple - uniezdatniać,
criterion - kryterium
critical incident technique - metoda oceny stopnia krytyczności zdarzeń,
curtail - skracać,
customer - klient, nabywca.
cutout - bezpiecznik (topikowy),

D.
damage - uszczerbek, szkoda, poszkodowanie, strata, uszkodzenie,
data - dane, informacja, chrakterystyka, wyniki,
deal - postępować,
debugging - dopracowanie, dotarcie, usuwanie usterek,
decision making - podejmowanie decyzji,
decreasing - ubywanie,
decrement - zmniejszenie, ubytek,
default - nieprzestrzeganie (norm),
defect - brak, niedokładność, niesprawność,
defect - free - bezbrakowy,
deficiency - niedostatek, brak, deficyt, niepełnocenność,
degradation - degradacja, (stopniowe) pogorszenie właściwości,
delay - opóźnianie, zatrzymywanie, przerwa w pracy,
delivery - dostawa, zaopatrzenie,
demand - zamówienie, potrzeba,
demerit - niepożądana właściwość, negatywna cecha,
demonstration - dowodzenie, udowodanianie, potwiedzenie,
denomination - nazwa, klasa, typ, kategoria,,
density free - nieparametryczny,
dependability - niezawodność, współczynnik gotowości,
depletion - wyczerpanie, wymęczenie,
depreciation - amortyzacja, zużywanie, zużycie fizyczne, moralne, spadek wartości,
derating - granica dopuszczalnych warunków użytkowania, zmniejszenie obciążenia, niedociążenie, obniżanie wartości znamionowych
design control - sterowanie projektowaniem,
design reviews - sprawdzanie (przegląd) projektu,
design - planowanie, projektowanie, konstruowanie, rysunek,
desk - stół probierczy,
destroyable - niewytrzmały, podatny na zniszczenie,
destructiveness - stopień zniszczenia,
detectability - rozpoznawalność, wyjawnialność, podatność na wykrycie,
detection - wykrywanie,
deterioration - pogaraszanie się, starzenie, zużywanie,
development - rozwój, doskonalenie, opracowanie,
deviation - odchylenie,
device - oprzyrządowanie, mechanizm, przyrząd,
diagnosability - diagnozowalność,
diagnosis - diagnoza,
dimensionless - bezwymiarowy,
disablement - wyjście ze stanu zdatności, stan niezdatności,
disadvantage - niedostatek, ujemna cecha,
disapproval - odrzucenie rozwiązania,
disarrangement - rozregulowanie, rozstrojenie,
disabled - niesprawny, poszkodowany,
discriminating - specyficzny, odróżniający się, osobliwy,
display - przekaźnik informacji, wyświetlacz
disrepair - stan niezdatności, nie nadający się do użytku,
disruption - zerwanie, naruszenie biegu spraw,
distortion - skażenie, zniekształcenie, wykorbienie, przekoszenie,
distortionless - nieskażony itd.,
distress - stan zgrożenia, sytuacja awaryjna, awaria, poszkodowanie,
disused - nie nadający się do użytku, wyszedł z użytku,
division - podział, kategoria, oddział,
doged - **up** (???) znajdujący się w stanie zdatności,
double - **duty** - podwójnego przeznaczenia,
down - niesprawny, pogarszający się,
downtime - wymuszony przestój, wymuszony czas przestoju,
drawing - pobieranie próbki,
drifting - odchylenie charakterystyki,
dud - bubel, uszkodzenie, niesprawność, niezadziałanie,
due - winny, powodujący, należny,
durability - trwałość, wytrzymałość, odporność, stateczność,
duty - warunki pracy, obciążenie, wydajność, moc, norma,
duty cycle - cykl roboczy,
dynamic (**tailored**) **quality control** - dynamiczne selekcjonujące sterowanie jakością
dynamic (**tailored**) **stress screening** - dynamiczne selekcyjne badania wytrzymałościowe na skręcanie,

E.
easy - łatwy,
eaten - przerdzewiały,
effective - efektywny, działający, użyteczny,
effectiveness - efektywność,
efficiency - współczynnik sprawności, współczynnik wykorzystania,
eligible for repair - nadający się do naprawy,
embed - wbudować, ulokować,
emergency - krytyczna sytuacja, nieprzewidziane zdarzenie, awaryjny przypadek,
emphasis - akcentowanie, podkreślenie,
employ - używać,
endogenous - wewnątrz systemowy,
endurance - wytrzymałość zmęczeniowa,
ensemble - zbiorowość, system,
environment - środowisko, warunki zewnętrzne,
equipment - urządzenie, oprzyrządowanie, aparatura,
equivation (?) - zawodność, nieokreśloność, rozbieżność z oczekiwanym wynikiem,
ergonomics - ergonomia,
erroneous - błędny,
error correction - korekta, wykrycie i usunięcie usterki
error - **likely person** –osoba podatna na popełnianie błędów,
error - **likely situation** - sytuacja sprzyjająca popełnianiu błędów,
error of commission - błąd działania,
error of omission - zaniedbanie, niewykonanie, przeoczenie,
error - błąd (**bias** - systematyczny),
estimability - dopuszczalne oszacowanie,

estimate - ocena, oszacowanie,
established - ustalony, ustanowiony
evaluation - ocenianie, oszacowywanie,
event - zdarzenie,
everlasting - wytrzymały, długotrwały,
evidence - dane, oświadczenia, zeznania,
exaggerated - przesadny, wygórowany
examination - badanie, przegląd, ekspertyza,
exclusion - wykluczenie,
expendable - rozhodowany, jednorazowego użytku,
exposure - narażanie na zewnętrzne czynniki, nieodizolowanie,
extend - przedłużać, prolongować,
extent - zasięg, zakres, obszar, skala, przestrzeń,
external – zewnętrzny,
external event – działanie (wydarzenie) zewnętrzne,
extinction - przerwanie, wygasanie, wyrodzenie,
extra - **heavy** - bardzo wytrzymały,
extraneous act, **action, or activity** – działanie uboczne,

F.
facilities - urządzenia,
facility - lekkość, łatwość, oprzyrządowanie, środki,
factor - czynnik, wskaźnik, współczynnik,
factorial - badanie czynnikowe,
fading - stopniowe pogarszanie właściwości,
fail - **safe** - zachowujący bezpieczność (zdatność) przy uszkodzeniu poszczególnych elementów,
failure cause detection - wykrywanie przyczyn uszkodzeń,
failure - **free** - bezuszkodzeniowy,
failure mode - rodzaj niezdatności, postać uszkodzenia,
failure modes and effect analysis - analiza rodzajów i przyczyn uszkodzeń,
failure path – ścieżka niezdatności,
failure reporting and corrective action - informowanie o uszkodzeniach i środki zaradcze,
failure - uszkodzenie, niesprawność, przerwa w działaniu, nieudane działanie, niewykonanie zadania,
fail - uszkadzać się, tracić zdatność,
fallacy - błąd, niepoprawne wnioskowanie, błędne rozumowanie,
fallibility - błędność, podatność na popełnianie błędów,
fashion - metoda, sposób,
fastness - wytrzymałość, odporność,
fast - operating szybko działający,
fatigue - zmęczenie (materiału),
fault - brak, błąd, uszkodzenie,
feasibility - fizyczna realizowalność, wykonalność, możliwość,
feedback - sprzężenie zwrotne,
field - **proven** sprawdzony w eksploatacji,
finding - odnalezienie, odszukanie, wyjawienie,
finished item reliability control - sterowanie niezawodnością wyrobów finalnych
fitting - dobór krzywej empirycznej, przybliżone przedstawienie, aproksymacja,
flaw - defekt, usterka, wada, brak, pęknięcie, uszkodzenie, uszkodzenie powierzchniowe i podpowierzchniowe,
flaw identification - identyfikacja (weryfikacja) usterek,
flexibility - giętkość, elastyczność,
flaw control - sterowanie jakością, poziomem usterkowości,
flow - strumień (zdarzeń),
fluctuation - fluktuacja, wahanie,
forecasting - prognozowanie, predykcja,
forgetfulness - słaba pamięć, zapominanie
foul - (po) brudzić,
fouling - niesprawność, nieład, zabrudzenie, zaśmiecenie,
fracturing - tworzenie szczelin, pękanie,
fragility - niewytrzymałość, nieodporność, nietrwałość, chrupkość,
framework - program działania, podstawa, struktura, budowa,
frayed - zużyty,
fretting - zużycie powierzchniowe,
functionability - zdolność do funkcjonowania, zdatność do działania,
furthermore - dalej, ponadto, dodatkowo,

G.
ga (**u**) **ge** - miara, skala, wymiar,
galling - mechaniczne uszkodzenie powierzchni, korozja tarciowa, powierzchniowe zużycie,
game - pomysł, plan, gra,
given - ustalony, uwarunkowany, zadany, określony,
goal - cel, zadana wartość,
go - **no** - **go** - kwalifikacja: dobry lub zły,
goodness - dobra jakość,
go - pracować, działać, funkcjonować, nadawać się, być zdatnym,
grouping - grupowanie, klasyfikacja przedziałowa,
growth - podnoszenie (niezawodności)
guard - ochrona, odgrodzenie ochronne,
guesstimate - przybliżona ocena,
guidance - poradnictwo, informacja, kierownictwo, pokierowanie, przewodnictwo,

H.
half - **life** - połowa oczekiwanego okresu użytkowania,
handling - eksploatacja, obsługiwanie techniczne, utrzymanie,
hardware - aparatura, wyposażenie, część/element konstrukcyjny,
hazard - zagrożenie, ryzyko, niebezpieczna sytuacja, ryzyko,
high - test odpowiadający wysokim wymaganiom, bardzo wytrzymały, wysokiej jakości,
homogeneous - jednorodny,
human error - błąd człowieka
human factor - czynnik ludzki,
human outputs - praca wykonywana przez człowieka,
human reliability - niezawodność człowieka,
hunting - znalezienie, umiejscowienie, lokalizacja,

I.
identification - identyfikacja, utożsamianie, wyjawianie,
idle - w przestoju, w bezruchu,
impact - wpływ, oddziaływanie,
impairment - pogorszenie,
imperfection - niedokładność, nieprecyzyjność, brak,
implicitly - domyślnie, bezwarunkowo,
improvement - polepszenie, udoskonalenie, uściślenie,
inaccuracy - niedokładność, zawodność,
inaction - przerwanie działania, odmowa działania, brak działania,
inapplicability - nieprzydatność, nie nadawanie się, nieodpowiedniość,
incompatibility - niekompatybilność, niezamienność,
incorrigible - nie dający się do poprawienia, niepoprawialny,
increment - przyrost,
indeterminate - nieokreślony,
index - współczynnik, indeks, wskaźnik, zsyłacz,
indifference point - punkt neutralny,
induced - wywołany, wymuszony, nabyty
inefficiency - nieefektywność, niewystarczalność,
infallibility - bezuszkodzeniowość, nieuszkadzalność,

bezbłędność,
influence - wpływ, oddziaływanie,
infringement of rules - naruszenie zasad (przepisów),
inherent - właściwy danemu przedmiotowi, własny, wrodzony,
initiating event - zdarzenie początkowe,
innocuous - nieszkodliwy, bezpieczny,
inoperability - stan niezdolności do pracy,
inspection - kontrola, przegląd, sprawdzenie, brakowanie, zbadanie, kontrolowanie,
instability - niestabilność, niestateczność, nietrwałość,
instant - chwila, bieżący, niezwłoczny, terminowy,
instrumentation - przyrządy kontrolno - pomiarowe,
intentional error - błąd zamierzony,
interchangeability - zamienność, wymienność,
intermittent - z przerwami (w działaniu), zatrzymujący się okresowo,
interruption - chwilowa przerwa, zatrzymanie się na pewien czas,
into - do, na, w,
inventory - zapas (y), chronione materiały i narzędzia, inwentarz,
inventory control - sterowanie zapasami,
investigation - badanie, sprawdzenie, kontrolowanie,
irregularity - odstępstwo od normy, nieregularność,
itemize - spisywać kolejno, sporządzać spis,
item - wyrób, wyodrębniony przedmiot, obiekt,

J.
job and task instructions - instrukcja działania,
job - praca, zadanie do wykonania,
jobbing - niewielka naprawa
jump - skok, nagła zmiana,
jury - awaryjny, chwilowy (sytuacja awaryjna)

K.
keeping - przechowywanie (zapasów),
keep - trzymać się (przepisów), przestrzegać (przepisów), przeprowadzać (operację),
key - kluczowy, ważny, podstawowy,
kind - rodzaj, właściwość,
kit - zestaw, komplet,
knock - przerwa (w pracy),
knock - **down** - rozbieralny, demontowalny,
know - **how** - umiejętność, doświadczenie, informacja techniczna,
knowledge - base behaviour – zachowanie w oparciu o znajomość systemu,
kurtosis - eksces, przesunięcie,

L.
labelling - oznaczanie, etykietowanie,
labmanship - sztuka laboratoryjnego eksperymentu (badania),
lack - niedostatek, brak,
lapse - błąd, niedokładność, odstępstwo (od normy),
last - **come** - **first** - **served** - ostatni na wejściu - pierwszy obsłużony,
lastingness - długotrwałość, czas dotrwania,
lay - położenie, rozmieszczenie, plan, ustalanie (zasad),
leak - **tested** - badany pod względem przeciekania,
level - poziom, znajdujący się na tym samym poziomie,
liable - podatny,
life cycle - cykl życia,
life - trwałość, zasób, okres użytkowania, czas życia wyrobu, wytrzymałość,
lifelength - trwałość, zasób,
life - **saving safety** - nie zagrażanie życiu,
life - **shortening** - zmniejszający trwałość (zasób)
lifetime - okres użytkowania, czas życia,
limitation - ograniczenie, brak (metody),
line - **up** - kolejka,
link analysis – analiza więzów,
link - ogniwo, więź,
list - spis, rejestr,
live - działający, rzeczywisty, dynamiczny, pod obciążeniem,
load - graniczne obciążenie,
loading - przyłożenie obciążenia,
location - umiejscowienie, rozmieszczenie,
logic - logika, schemat logiczny,
logistics - logistyka, zaopatrzenie materiałowo - techniczne, kwatermistrzostwo
longevity - długotrwałość,
loss - strata, ubytek, uszczerbek, utrata,
low - **duty** - lekkie warunki pracy,
low - **loss** - małe straty,
low - niedostateczny (zapas),
low - **tolerance** - małe odchyłki,

M.
machine - maszyna, urządzenie, obrabiarka,
magnaflux - diagnozowanie magnetycze,
maintainability - podatność naprawcza, technologiczność naprawcza, eksploatacyjna niezawodność, prawdopodobieństwo odtworzenia stanu zdatności, prawdopodobieństwo odtworzenia własności
maintenance - obsługa techniczna, utrzymanie w zdatności, koszt utrzymania,
malfunction - niepoprawne działanie, błąd, chwilowa niesprawność, samonaprawialna usterka,
man - machine system - system człowiek - maszyna,
management - sterowanie, kierowanie, administracja,
man - **hour** - człowieko - godzina,
manifestation - wykrywanie, odsłonięcie,
man - **machine interface** – interfejs systemu człowiek - maszyna,
manner - sposób, metoda,
manufacturing control - sterowanie produkcją,
mathematical tools with nonconstant rates - matematyczne modele (narzędzia) opisujące zmienną intensywność uszkodzeń,
maximum likelihood - maksymalne prawdopodobieństwo,
mean - średnia,
measure - miara, kryterium, wskaźnik,
meditation (**s**) - przemyślenia,
medium - środowisko, sposób, umiarkowany, średni,
method - metoda, sposób, podejście,
mid - **square** - metoda najmniejszych kwadratów,
misapplication - nieprawidłowe użytkowanie,
misfit - nieodpowiedniość,
miss - przepuścić, nie zauważyć,
modulus - moduł, współczynnik,
mongrel - pośredni,
mortality - awaryjność, psucie się,
moving - ruchomy, przejmujący,
multiple - **function** - wielofunkcyjny, uniwersalny,
mutability of property –zmienność własności,
muster - przegląd,

N.
nature - przyroda, charakter, typ,
near - **critical** - bliski krytycznemu,
neat - czysty, klarowny, bez dodatków,
need (**s**) - konieczność,
negative feedback - ujemne sprzężenie zwrotne,
net - sieć, wynikowy, łączny, netto,
network - sieć, łańcuch, schemat,

non - clogging - nie zanieczyszczający się,
no - cost error - niegroźny błąd człowieka,
node - węzeł,
nominal human error - nominalny błąd człowieka,
nominal value - wartość nominalna,
non - acceptance - nieakceptowalność,
non - conformance - niezgodność,
non - compatibility - niekompatybilność, niezamienialność, niepasowanie,
nonconformity - niezgodność,
noncurrent - przestarzały, starej generacji,
nonoperation - bezruch, spoczynek,
non - removable - nie dający się usunąć,
non - reparable - nienaprawialny,
nonserviceable - nie nadający się do użytku,
nonuniformity - niejednorodność, nierównomierność,
normal operating conditions –normalne warunki użytkowania,
notched - nadcięty, z karbem,
notification - ogłoszenie, powiadomienie, ostrzeżenie,
nuisance - zakłócenie, szkodliwe działanie, uszczerbek,
numerical reliability analysis - liczbowa analiza niezawodności,
numeric - liczbowy, numeryczny

O.
obey - spełniać, odpowiadać (wymaganiom), podporządkowywać się,
objectionable - nie do przyjęcia, budzący zastrzeżenia,
objective - cel, zadanie,
observation - obserwowanie, badanie, mierzenie, określanie eksperymentalne, wynik obserwacji,
observational - eksperymentalny,
occasional - przypadkowy
occupancy - zajętość,
officer - urzędnik, pracownik,
off - performance - odchylenie charakterystyki roboczej,
offset - przemieszczenie, nie nakładanie się,
off - time - czas przestoju,
on position - położenie robocze,
one - use - jednokrotnego użytku,
on - off - włączony - wyłączony,
operability - przydatność do wykonania zadania,
operate - pracować, działać, oddziaływać,
operating - działający, będący w użytkowaniu,
operation - operacja, działanie, praca,
operations support systems - system utrzymywania gotowości
operative - wykwalifikowany pracownik, pracujący, operatywny,
operator - kierownik, operator,
open loop system –system otwarty (bez sprzężenia zwrotnego),
opportunistic - koniunkturalny,
optional - nieobowiązujący, fakultatywny,
ordering - uporządkowanie, rozmieszczanie,
order - porządek, kolejność, rozmieszczenie, sprawność, nakaz, pożądany stan,
obsolescence - bycie przestarzałym, żywotność,
outcome - wynik,
out - nie nadający się do użytku,
out - of - commission - w stanie niezdatności,
out - of - operation - wyłączony, nie działający, w stanie spoczynku,
output - wydajność, przepustowość,
outwear - zużywać się, tracić zdatność,
overage - przewyższający nominalny okres eksploatacji, przestarzały,
overall - całkowity, łączny, ogólny, gabarytowy,
overdriven - przeciążony,
overflow - przepełnienie,
overhaul - naprawa główna,
overmaintenance - nadmiernie pracochłonna obsługa techniczna,
oversight - niedopatrzenie,
overvalue - przecenienie, ocena z nadmiarem,
overwork - praca w nadgodzinach, przeciążenie,

P.
package - zespół, agregat,
panel - komisja, panel,
paper - artykuł, referat, opracowanie,
parallel system – system równoległy,
parameter - parametr,
partition - podział, rozdzielenie,
part - element, część, węzeł, podział, rozpadać się na części,
particular - osobista własność, szczegół,
parts menagement - zarządzanie (gospodarka) częściami,
party - grupa, brygada, partia,
par - norma,
path - ścieżka, fizyczne właściwości wykonania zadania,
pattern - wzorzec, szablon, forma, model, typ, diagram, schemat,
payload - użyteczne obciążenie,
peak - pik, maksimum, wierzchołek,
penalization - wybrakowywanie,
penalty - kara (pieniężna),
penetration - przenikanie, głębokość przełomu,
perceptual unit - element percepcyjny,
perfection - doskonalenie,
performability - zdolność do pracy (użytku),
performance - działanie, poprawna praca maszyny, charakterystyka (robocza), właściwości eksploatacyjne, dane taktyczno - techniczne,
performance shaping factor - czynnik ludzkiego działania,
period - okres, odcinek czasowy,
permanent - stały, niezmienny, długotrwały,
permit - zezwolenie, dopuszczenie,
perturbation of regime - ostra zmiana warunków (pracy),
phase - faza, stadium, okres, etap,
physics of failure - fizyka uszkodzeń,
physics of flaw failure - fizyka usterkowości,
piece - sztuka, kawałek,
pilot - doświadczalny, próbny, eksperymentalny, sterowalny,
pinpoint - wyjawiać (uszkodzenie), ustalać przyczynę (uszkodzenia),
pitting - kruszenie się powierzchni, korozja pittingowa,
place - miejsce, położenie, postawić, rozmieścić,
plant - fabryka, przedsiębiorstwo,
plate - płytka,
plot - grafik, schemat, grafik,
point - kropka, punkt, chwila,
policy - polityka, strategia, metodyka, zasady (przepisy),
pool - zapas, wsad, połączenie (środków),
population - zbiorowość,
position - pozycja, położenie,
power - moc, wydajność,
practice - praktyka, zastosowanie w praktyce, ustanowiony porządek,
precaution - ostrożność, miary bezpieczeństwa (podjęte),
precede - poprzedzać,
precision - miara dokładności, precyzja,
predictor - wzór wstępny,
prediction - prognozowanie, przewidywanie,

preemptive - wywłaszczający, wyprzedzający,
premature - przedwczesny,
premium - pierwszego gatunku, pierwszorzędny,
prevention - uprzedzenie, zapobieganie,
previous - poprzedni, dotychczasowy,
principle - zasada, przepis, prawo, podstawa,
probability - prawdopodobieństwo,
procedure - procedura, metodyka, technika (działania), proces technologiczny, operacja, kolejność działań,
process - proces, sposób, metoda, podejście,
procurement - wejście w posiadanie, otrzymanie,
product - wyrób, produkt, fabrykat, wynik, iloczyn,
productive - produkcyjna,
proficiency - umiejętność, doświadczenie,
profitability - dochodowość, rentowność,
programming - programowanie,
projection - przewidywana wartość, warunkowa wartość oczekiwana, projektowanie,
proofing - testowanie,
property - własność,
proportion - proporcja, stosunek, współwymiarowość,
proposal - propozycja,
protection - ochrona, zabezpieczenie,
provide - zapewniać, dostarczać,
psychological stress – stres emocjonalny,
punishment - kara,
put - ustawiać, umieszczać, wyrażać, formułować, uzasadniać,

Q.
qualification - kwalifikacja, sprawdzanie, ocena, określenie, charakterystyka,
qualification test - badania kwalifikacyjne,
quality assurance - zapewnienie jakości,
quality control - sterowanie jakością,
quality - jakość, cenność, specyficzna właściwość,
qualmation (?) - automatyczne określenie jakości,
quantitative - ilościowy,
quantity - ilość, wielkość, parametr,
queue - kolejka, jednokanałowy system obsługi masowej,
queueing - praca systemu obsługi masowej, tworzenie kolejek,
quiescent - niedziałający,
quite - zupełnie, całkiem,
qualitative error - błąd jakościowy,
quotient - udział, część, stosunek,

R.
radix - podstawowa liczność próbki,
randomization - randomizacja, losowe rozmieszczenie, równoprawdopodobne losowanie,
randomness - losowość, bezładność,
range - obszar zmienności, szerokość rozkładu, rozstęp rozkładu, odległość, przedział,
rank - ranga, kategoria, porządkować, szeregować, klasyfikować,
rated - nominalny, znamionowy,
rate - norma, prędkość, wskaźnik, tempo, intensywność, stopień; koszt, ocena; kategoria, klasa, poziom, klasyfikowanie; stosunek, współczynnik,
rating - nominalna (znamionowa) charakterystyka, ocena, zdejmowanie charakterystyki, klasa, poziom,
ratio - stosunek, proporcja ;stopień, współczynnik,
ratten (?) - uszkadzać,
readiness - gotowość,
reading - dane do odczytu, pokazania, wskaźniki,
read - odczytywać wskazania, zdejmować charakerystyki,
ready - gotowy, przygotowany, znajdujący się w stanie gotowości,
realizability - realizowalność, wykonalność, urzeczywistnialność,
rearrangement - uporządkowanie, wprowadzenie porządku, przeróbka, przegrupowanie
reasonable - do przyjęcia, dopuszczalny,
reason - przyczyna, podstawa,
rebuilding - odnowa, naprawa główna,
recall - zwrot,
receivable - gotowy do odbioru,
recheck - powtórne sprawdzenie,
reclaim - usprawniać, uzdatniać, naprawiać,
recognition - rozpoznanie (niezdatności), ustalenie istnienia niesprawności,
reconditioning - odnowienie, naprawa, przywrócenie wymaganego stanu,
recontrol - ponowny przegląd (kontrola, sprawdzenie),
record - zapis, rejestr, protokół,
recover - odnawiać, powracać (do określonego stanu), utylizować,
rectification - oczyszczanie, usunięcie wad (niesprawności, błędów),
reduction - zmniejszenie, obniżenie, przetworzenie (danych),
redundantized - rezerwowany,
redundancy application - zastosowanie rezerwowania,
redundancy - rezerwowanie, nadmiarowość,
redundant - rezerwowy,
redundantly – z rezerwowaniem.
reference - norma, warunki początkowe,
refine - doskonalić, polepszać,
reform - usprawnienie, ulepszenie, przeróbka,
refuse - brak, resztki, odpady,
registration - rejestracja, spis,
regression - regresja,
regressand - zmienna zależna, regresata,
regulation - regulacja, przepis prawny, nastawienie, przepis, ujednolicenie,
rejection - odrzucenie,
release - zezwolenie, rezygnować, wytwarzać,
relation - relacja, zależność, stosunek, więź,
relationship - zależność, stosunek,
relevant - istotny, odnośny, stosowny,
reliability demonstration - wykazywanie poziomu niezawodności,
reliability growth - podnoszenie poziomu niezawodności,
reliability methods - metody niezawodnościowe,
reliability prediction - prognozowanie niezawodności,
reliability - nieuszkadzalność, niezawodność, prawdopodobieństwo bezawaryjnego działania,
reliance - zaufanie,
rel - variance stosunek wariancji do wartości oczekiwanej,
remaking - przeróbka,
removal - zamiana, usunięcie, zlikwidowanie,
renovation - odnowa, rekonstrukcja, modernizacja,
reoperate - odnawiać,
repair - naprawa, odnowienie, usprawnienie,
repeatability - powtarzalność (wyników),
replaceability - wymienialność, zamienialność, zamienność,
replicate - powtarzać,
report - powiadomienie, poinformowanie,
representative - reprezentatywny,
representativeness - reprezentatywność,
repudiation - anulowanie zamówienia, zabrakowanie,
request - zamówienie, zapotrzebowanie,
requirement - wymaganie, niezbędne warunki, warunki techniczne,
requisite - wymagany, niezbędny,
rerating - przegląd charakterystyk znamionowych,

resilience - podatność na odtworzenie zdatności do pracy,
resource - resurs, zasób, środek, sposób,
response - odpowiedź, reakcja, wrażliwość, charakterystyka,
responsiveness - sposób reagowania,
restorability - odnawialność,
rest - przerwa, stan spoczynku,
restriction - ograniczenie, przeszkoda,
result - wynik, rezultat,
retention - przechowywanie,
retirement - spisanie, zdjęcie ze stanu,
returnability - możliwość wielokrotnego użytku,
return - zwrócenie, oddanie;dochód, zysk,
reusability - możliwość powtórnego użytku,
reveal - ujawniać,
revenue - dochód,
review - przegląd,
review - rozpatrzenie, analiza, sprawdzenie,
revise - sprawdzenie, przegladanie,
rework - przeróbka, usprawnienie,
risk management - zarządzanie ryzykiem.
risk - ryzyko, niebezpieczeństwo, zagrożenie,
robustness - wytrzymałość,
rogue - nadający się do odrzucenia, posiadający wady,
route - przebieg,
routine - rutyna, praca według harmonogramu, planowa kolejność, bieżący,
ruggedness - zdolność do pracy w ciężkich warunkach,
rule - zasada, sposób postępowania, kryterium,
running - praca maszyny, eksploatacja, na chodzie, działający,
run - partia, seria, praca, średni gatunek, wyskok (na grafiku), okres, postać grafiku,
rupture - przełom, rozerwanie, zniszczenie, szczelina, przepalenie (izolacji),
rusting - rdzewienie,
rustless - nierdzewny,
rust - preventing - antykorozyjny,

S.
safe - bezpieczny, dopuszczalny, w granicach akceptowalności,
safekeeping period - dopuszczalny okres przechowywania,
safety margin - zapas bezpieczeństwa (wytrzymałości),
safety - bezpieczność, bezpieczeństwo, brak zagrożenia,
salvage - resztki i odpady nadające się do przeróbki,
salvageable - naprawialny,
sample - próbka, wzorzec, porcja, szablon,
sampler - szablon, przymiar, model, wzorzec,
sampling - metoda pobierania próbek, kontrola wyrywkowa,
saving - oszczędzanie, ekonomiczność,
scattering - rozrzut,
schedule - plan, harmonogram, program działania, opis, wykaz, specyfikacja,
scheme - schemat, plan, projekt, procedura,
scope - program, rozstęp, granice (możliwości), przedział,
score - wskaźnik liczbowy, suma punktów, wskazanie na skali, zbiór,
screen - brakowanie, sortowanie,
screening - pełna kontrola, stuprocentowa kontrola,
scuffing - zużycie, zużywanie, skażenie powierzchni roboczej,
search - poszukiwanie, badanie, wybór wariantu, otrzymywanie,
section - odcinek, część, przekrój, cięcie, sekcja, profil,
secure - bezpieczny, odporny, niedostępny, zabezpieczony, zagwarantowany,
security - bezpieczność, zabezpieczenie, gwarancja, poręczenie,
seeking - poszukiwanie,
selection - wybór,
self repair - samonaprawianie,
self - healing - samoodnowienie, samoodnawiający się,
self - restorability - samoodnawialność, podatność naprawcza,
self - sufficiency - samodzielność, autonomiczność, niezależność,
self - supervisory - samokontrolujący się,
semi - durable - wyrób z ograniczonym okresem użycia,
semi - expendable - jednorazowego użytku,
sensibly - praktycznie, wystarczająco, w zasadzie, w granicy dokładności pomiarów, w granicy dopuszczalnej dokładności,
sensitivity - wrażliwość,
separable - oddzielny, odejmowalny, składowy, rozłączalny,
separation - sortowanie, podział na grupy, klasyfikacja,
sequence - kolejność, porządek badania, szereg, ustanawiać kolejność,
sequencing - kolejność wykonania prac, kolejność operacji, rezerwowanie,
serial - porządkowy, kolejny, seryjny, następujący po sobie,
serviceability (serviceableness) - nadawanie się do eksploatacji, przydatność do użytku, sprawność, niezawodność eksploatacyjna, jakość eksploatacyjna, podatność obsługowo - naprawcza, efektywność obsługiwania, zdatność do pracy,
service - obsługiwanie, obsługiwać, działanie, eksploatacja, utrzymywanie, wykonywanie obsługi technicznej, okres użytkowania, warunki robocze,
service - free bezobsługowy,
servicing - obsługiwanie,
set - urządzenie, agregat, system; komplet, asortyment; zbiorowość; kolejność, seria pomiarów; nastrajać, włączać, ustawiać (w żądanym położeniu) ; rozmieszczać, układać; umocować,
setting - regulowanie, nastrajanie, ustawianie, uruchamianie,
setup - urządzenie, przyrząd; składanie, plan; struktura, organizacja; zestaw danych, rozmieszczenie,
shakedown - sprawdzanie w ruchu,
shakeproof - odporny na wibracje,
share - część, udział, rozdzielać, brać udział, akcja,
sheet - informacja, formularz, schemat, wykres,
shelving - długotrwałe przechowywanie,
shield - urządzenie ochraniające, zabezpieczenie, zabezpieczać,
shielded - zabezpieczony, ekranowany,
shift - przemieszczenie, przejście od czegoś do czegoś,
shoddy - niskiej jakości (materiał, praca, produkcja),
short - krótkie spięcie, odpady produkcyjne, resztki, wybrakowane wyroby,
shortage - brak, niedobór,
shortcut - najkrótsza ścieżka, skrót, skrócone (badania),
short - dated (short - term) - krótkotrwały, niedługi,
short - lived - nietrwały, z małym zasobem (resursem),
shorting - poszukiwanie (lokalizowanie) uszkodzenia, wykrycie uszkodzenia,
show - wskazywać, wyjawiać, przejawiać,
shutdown - zatrzymywanie, wyłączanie, unieruchamianie, niesprawność, usterka, pusty bieg, przestój,
shutoff - wyłączenie, odłączenie, odczep,
sign - znak, symbol ;symptom, objaw,
signal - sygnał, sygnałowy,
signature - właściwość, charakterystyczna właściwość,

significance - wartość, sens,
significant - znaczący, wartościowy, ważny, godny uwagi,
similar - podobny, analogiczny, zbieżny,
similarity - podobieństwo, zbieżność, analogia,
simplification - uproszczenie,
simulate - modelować, symulować, sprawdzać na modelu,
simulation - modelowanie, symulowanie,
simulator – symulator,
simultaneity - jednoczesność, synchronizacja,
simultaneous - jednoczesny, łączny,
single - purpose - specyficzny, ograniczonego zastosowania,
single - valued - jednoznaczny,
single - vertex - jednoczesny,
sister - parzysty, sprzężony, bliźniaczy,
situation - sytuacja, stan, okoliczności; położenie, miejsce znajdowania się,
situational characteristics - charakterystyka sytuacyjna człowieka,
size - wielkość, rozmiar, sortować ze względu na wymiary, doprowadzać do odpowiedniego wymiaru, kalibrować,
sizing - wyznaczenie wartości, klasyfikowanie pod względem wymiaru, kalibrowanie,
skew - asymetria, skos, przesunięcie,
skill based activities, behaviours, or tasks - postępowanie oparte na doświadczeniu,
skilled - doświadczony, wykwalifikowany, posiadający umiejętności,
slack - przestój, bezruch, opieszałość, niedbałość (w pracy),
slope - nachylenie, tangens kąta nachylenia, współczynnik kątowy,
sloshing - antykorozyjne pokrycie smarem,
smooth - równy, gładki, wyrównywać, wygładzać, dokładna (obróbka),
smoothing - wygładzanie, wyrównywanie,
sneak circuit analysis - analiza nieujawniających się uszkodzeń,
software - oprogramowanie, wspomaganie matematyczne,
sojourn - czas przebywania w systemie,
solution - rozwiązanie, wynik,
sound - cały, nieuszkodzony, wytrzymały, o wysokiej jakości,
space - przestrzeń, objętość, miejsce, powierzchnia, odległość, przedział,
spacing - ustalenie przedziałów, ograniczanie, rozmieszczanie,
span - obszar, przedział, obejmować, przedzialik czasowy (**life - span**), zapas, resurs, granice rozrzutu trawałości,
spare - zapas, rezerwa; nieobciążony, oszczędzać, obchodzić się delikatnie,
specification - specyfikacja, detalizacja, konkretyzacja; wykaz, wymagania techniczne, charakterystyka techniczna, opis patentowy,
specified - określony, zadany, nominalny, znamionowy; zgodny z wymaganiami technicznymi, uzgodniony, przewidziany (w umowie),
spectrum - spektrum, obszar, przestrzeń możliwych wartości,
splitting - rozmieszczenie, rozdzielenie, rozbicie, rozgałęzienie,
spot - piętno, miejsce, punkt; posiadany, znajdujący się w magazynie,
spottiness - niestabilność jakości,
spread - rozrzut, granice odchyłek, rozstęp, odległość, rozprzestrzenienie, rozrost, rozprzestrzenie się,
square - kwadrat,
stability - stabilność, niezmienność,
stage - stadium, etap, faza, cykl, okres, krok, skok,
stamina - zapas zdolności do pracy,
standard - norma, normatyw, typowy, ogólnie przyjęty, wzorzec, wymagania techniczne,
standby - rezerwa nieobciążona,
standing - nieruchomy, nieprzemieszczalny, nie działający, w przestoju,
standpoint - stanowisko,
standstill - przestój, bezruch, zatrzymanie się, przerwa,
start - start, uruchomienie, początek,
state - stan, położenie, sytuacja, struktura, kształt, ustrój, reżim; wyrażać, formułować,
statement - oficjalny dokument, sformułowanie, powiadomienie,
state - of - the - art - aktualny stan, poziom rozwoju,
station - stacja, punkt, posterunek, miejsce,
stationary - stacjonarny, stały, niezmienny, nieruchomy, nieprzemieszczalny,
statistical techniques - metody statystyczne,
statistics - statystyka, zbiór metod statystycznych oraz/lub danych statystycznych,
status - aktualny stan rzeczy, obecna sytuacja,
steady - stacjonarny, stały, w stanie spoczynku,
step - etap, stadium, poziom, skokowy, skok, operacja,
sticker - instrukcja, przywieszka,
stipulation - umowa, warunki,
stock - out - brak zapasów, deficyt,
stock - zapas, tworzyć zapas, surowiec,
stoppage - zatrzymanie się, przerwa, przestój,
storage - magazyn, zbiornik, pojemność,
storekeeping - sterowanie zapasami,
store - zapas, gromadzić, majątek, środki materialne,
strategy - strategia, polityka, kierunek działania,
stratum - warstwa,
stream - strumień (zdarzeń),
strengthener - element wzmacniający,
strength - siła, moc, wytrzymałość, granica wytrzymałości, intensywność,
stress evaluation - analiza naprężeń,
stress strength - wytrzymałość
stress - naprężenie, ciśnienie, nacisk, reakcja, obciążenie, napięcie, wymuszenie,
stress screening - pełna kontrola pod obciążeniem, brakowanie niszczące,
stressor - czynnik stresujący,
stringent - dokładny,
structure - budowa, struktura, konstrukcja, kształt, postać, system, urządzenie,
study - uczenie się, badanie, analizować, obmyślać, przedmiot nauczania, obszar wiedzy, praca naukowa,
subassembly - podzespół, wstępny montaż,
subcase - pojedynczy przypadek,
subclassification - podział na klasy (podklasy),
subsequent - kolejny, następny,
subset - podzbiór, podgrupa,
subsidiary - pomocniczy, dodatkowy, rezerwowy, drugorzędny, podporządkowany,
substitute - zamiana, zmiennik, podstawiona wielkość, zastępcza wielkość,
subtask - część zadania, działanie dodatkowe,
subtest – częściowe badanie,
subtolerance - poniżej wartości wymaganej,
subuniverse - podzbiór,
succession - kolejność, szereg,
suddenness - nagłość,
suffer - poddawać się (oddziaływaniu), narażać się,
sufficiency - dostateczność,
suitability - przydatność,
sum - suma, wynik, zadanie arytmetyczne,

superficial - nieistotny, łatwy do usunięcia,
superfluous - zbędny, niepotrzebny,
superverse (?) - szczególnie ciężkie (warunki),
supervision - nadzór, dozór, przegląd, kontrola, inspekcja,
supplier controls - kontrola odbiorcza,
supply - zaopatrzenie, dostawa, dostarczanie, doprowadzanie, zapas,
surface - powierzchnia,
surroundings - otoczenie, środowisko,
surveillance - przegląd, zbadanie, dozór techniczny,
survey - przegląd (ogólny), wykonywać przegląd, kontrolowanie, przeprowadzanie inspekcji,
survivability - stan zdatności,
survival - długotrwałość, nieuszkadzalność, bezawaryjność, skuteczne działanie,
susceptibility - wrażliwość, odczuwalność,
sustain - wytrzymać (obciążenie), być poddawanym obciążeniu,
swarf - produkty zużycia, odpady,
symptom - objaw, symptom,
synthesis - synteza,
system - system, agregat, urządzenie, zbiór, rodzina, zbiorowość, plan, schemat,

T.
table - tablica, tabela, tekst,
tabulation - zestawianie wyników, tablicowanie,
tail - ogon (krzywej), obszar dużych odchyłek, kolejka (TMO),
take - przyjmować wartość, przybierać wartość, przedsięwziąć,
talk - through, **walk - through** - analiza oparta na wywiadzie z operatorem,
tamperproof - zabezpieczony przed nieumiejętnym stosowaniem,,
target - zadanie, plan, planowy, cel, celowanie,
task load - obciążenie człowieka,
task - zadanie,
team - brygada, grupa,
teammate - członek grupy,
technician - specjalista (w dziedzinie techniki), technik,
technique - technika (zespół metod), metodyka, metoda, sposób, procedura, technologia, wyposażenie techniczne, aparatura,
technology - technika, metoda, metodyka,
technonomy (?) - zasady produkcji przemysłowej,
tenacity – wytrzymałość na zerwanie,
tend - dążyć do, ukierunkować się na, realizować, urzeczywistniać,
tenuous - cienki, niewytrzymały, słaby,
tensile - wytrzymały na rozciąganie,
tentative - wstępne badanie, eksperymentalny, próbny, chwilowy, przygotowawczy,
tenuity - niewytrzymałość, słabość,
term - człon (równania),
termination - kończenie, zatrzymanie,
test - badanie, sprawdzenie, próba, prowadzić badania, analiza, doświadczenie, sprawdzanie, sprawdzian, test, wskaźnik, kryterium, objaw,
testability - podatność badawcza,
tested - zbadany, sprawdzony,
tester - tester, aparatura badawcza,
testing - przeprowadzanie badań, badanie, sprawdzanie, kontrolowanie,
theorem - twierdzenie, teoremat,
theory - teoria,
thereafter - odtąd, od tego czasu,
time - consuming wymagający dużo czasu,
time - czas, okres, chwila, termin, mierzyć czas, czas pracy, czas użytkowania,
time - dependent - zależny od czasu, nieustalony,
time - expired - po upływie czasu gwarancji,
time - independent - niezależny od czasu,
time - ordered - uporządkowany w czasie,
time - proved - po badaniach w czasie,
time - varying - zależny od czasu,
time - average - średni w czasie,
time - out - przerwa,
time - proof - długotrwały, z dużym zasobem (resursem),
time - saving - pozwalający zaoszczędzić czas,
timetable - harmonogram,
tolerable - dopuszczalny, możliwy do przyjęcia,
tolerance - tolerancja, dopuszczalna odchyłka, wytrzymałość,
tool - narzędzie, instrument,
tooling - wyposażenie technologiczne,
tortuosity - zawiłość,
towards - w kierunku, do
trace - wykrywać (uszkodzenia),
tracer - wykrywacz uszkodzeń,
trade - off - kompromis, kompromisowe rozwiązanie.
traditional stress screening - selekcyjne badania wytrzymałościowe,
traffic - obciążenie,
train - szereg, seria, kolejność,
training - trenowanie (akumulatora), wyregulowanie,
transformation - transformacja, przekształcenie, przetworzenie,
transient - przechodni, nieustalony, niestacjonarny,
transition - przejście,
treatment - traktowanie, leczenie, działanie, kuracja, podejście do czegoś - kogoś,
tree - drzewo (zdarzeń),
trial - badania statystyczne, badania, sprawdzanie, próba, doświadczanie, doświadczalny,
trim - gotowość, stan gotowości, wprowadzać w stan gotowości,
trouble - niesprawność, uszkodzenie, poszkodowanie, przerwa, powodowanie przestoju w trakcie pracy, rozregulować tok pracy,
trouble - proof - zabezpieczony, z ochroną,
trouble - free - bezawaryjny, nieuszkadzalny,
troubleshooter - urządzenie do umiejscawiania uszkodzeń, defektoskop,
truing - dokładne uregulowanie,
true - dokładny, prawidłowy, wierny, dokładnie ustalać,
trueness - dokładność,
trust - dowierzanie,
trustworthy - zasługujący na ufność,
trusty - godny uwierzenia,
try - próba, eksperyment,
turnaround - okres międzynaprawczy,
type - typ, typowy, wzorzec, rodzaj, kategoria,

U.
ultimate - wynik końcowy, ostatni, graniczny, podstawowy, krańcowy,
ultrapurity - nadzwyczajna czystość,
ultrareliable - nadzwyczaj niezawodny,
unaffected - niepodatny, niezależny,
unaged - nie starzejący się,
unattackable - nie korodujący, nie poddający się oddziaływaniu agresywnego środowiska,
unattended - bezoperatorowy, bezzałogowy,
unavailability - przestój, niegotowość, niedostępność, nieprzydatność, nie spełnianie wymagań,
uncertainty - nieokreśloność, niewiarygodność, zawodność, niepewność,

incompatibility - niekompatybilność, bycie niepodobnym,
unconditional - bezwarunkowy, nieuwarunkowany,
uncorrelated - nieskorelowany, nieuzgodniony,
undamaged - nieposzkodowany,
undependable - zawodny,
underdesigned - niedostatecznie wytrzymały,
underrate - niedoceniać, podawać zaniżone oceny,
unintentional error - błąd niezamierzony,
unrecoverable error - błąd nieodwracalny,

V.
versus - przeciw,
vigilance effect - efekt przestrzegania przepisów,
visual interference - rzeczywiste zakłócenia,

W.
warranty - gwarancje,
weak item - osłabiony, niewytrzymały, nietrwały wyrób (obiekt),
weakness - niewytrzymałość, osłabienie, słabe ogniwo, wada, defekt,
wear life - czas zużycia,
worthiness - zdatność, stan zdatności,
worthy - zdatny,
written procedures - ustalone procedury,

Z.
zone of acceptable (rejectable) - process - obszar przyjęć (odrzuceń) w procesie,
zone - obszar,

SŁOWNIK
POLSKO - ANGIELSKI
w zakresie niezawodności i bezpieczeństwa

A

akceptacja - acceptability, acceptance
akcja - action, operation, plot, suit,
aktualny stan - status, state - of - the - art.
alokacja - allocation,
amortyzacja - depreciation,
analiza naprężeń - stress evaluation,
analiza nieujawniających się uszkodzeń - sneak circuit analysis,
analiza rodzajów i przyczyn uszkodzeń - failure modes and effect analysis,
analiza wartości skrajnych - bounding analysis,
analiza więzów - link analysis,
analiza - analysis, review, test,
analizować - study,
analogia - similarity, analogy, parallel, parity,
analogiczny - similar, analogical, analogous,
antykorozyjne pokrycie smarem -sloshing,
antykorozyjny - rust - preventing, anticorrosive
anulowanie zamówienia - repudiation
anulowanie - cancellation, abatement, discount, repeal,
aparatura - equipment, hardware,
aproksymacja -fitting,
artykuł - paper,
asortyment - set,
asymetria - skew,
automatyczne określenie jakości - qualmation (?),
autonomiczny - self - sufficient, independent,
autoregulacja - automatic control,
awaria - breakdown, casualty, accident, distress,
awaryjny przypadek - emergency,
awaryjny - jury,

B

badania kwalifikacyjne - qualification test,
badania statystyczne - trial,
badania wytrzymałościowe na skręcanie - tailored stress screening,
badania - trial, search,
badanie czynnikowe - factorial test,
badanie kwalifikujące - acceptance test,
badanie niszczące - burn,
badanie - search, assay, analysis, examination, inquiry, inspection, investigation, probe, proof, study, test, obse-rvation,
bardzo wytrzymały - extra - heavy, high - test,
bez dodatków - neat,
bezawaryjność - survival,
bezawaryjny - trouble - free, accident - free,
bezbłędność - infallibility
bezbrakowy - defect - free,
bezładność - randomness,
bezobsługowy - service - free,
bezoperatorowy - unattended,
bezpieczeństwo - safety, protection, security,
bezpiecznik (topikowy) - cutout,
bezpieczność - security,
bezpieczny - safe, secure, innocuous
bezruch - slack, standstill, nonoperation, idleness,
bezuszkodzeniowość - infallibility,
bezuszkodzeniowy - failure-free,
bezwarunkowo - implicitly,
bezwarunkowy - unconditional,
bezwymiarowy - dimensionless,
bezzałogowy - unattended,
bieżący - instant, routine,
błąd - bias, error,
błąd człowieka - human error,
błąd działania - error of commission,
błąd - error, fallacy, lapse, malfunction, fault,
błąd gruby -blunder,
błąd jakościowy - qualitative error,
błąd nieodwracalny - unrecoverable error,
błąd niezamierzony - unintentional error,
błąd zamierzony - intentional error,
błędne rozumowanie - fallacy,
błędność - fallibility,
błędny - erroneous,
bliski krytycznemu - near - critical,
bliski - near, close,
bliźniaczy - sister,
brać udział - share,
brak działania - inaction,
brak skutków - ineffectiveness,
brak zagrożenia - safety,
brak zapasów - stock - out
brak (metody) - limitation,
brak - lack, flaw, badness, defect, fault, refuse, shortage, deficiency, imperfection,
brakowanie (selekcja) niszczące - stress screening,
brakowanie - screen - inspection,
brygada - team, party,
budowa - structure, framework,
budzący zastrzeżenia - objectionable,
być poddawanym obciążeniu - sustain,

C

całkiem - quite,
całkowity -overall,
cały - sound,
cel - goal, destination, objective, target, intent,
celowo - deliberately, intentionally, on purpose, purposely,
celowość - advisability,
cenność - quality,
charakter - character, nature, capability, mettle, fibre,
charakter zmian - behavior-regime,
charakterystyczna właściwość - signature,
charakterystyka - characteristic, attribute, feature, quality,
charakterystyka sytuacyjna człowieka - situational characteristics,
charakterystyka techniczna - specification,
charakterystyka (robocza) - performance,
chrupkość - fragility,
chwila - time, point, instant, moment, while, jiffy,
chwilowa niesprawność - malfunction,
chwilowa sytuacja awaryjna - jury,
chwilowy - tentative,
cięcie -cut, slashing, section,
cienki - tenuous,
ciśnienie - stress,
cykl -course, cycle, period, round, series, stage,
cykl roboczy - duty,
cykl życia - life cycle,
czas dotrwania - lastingness,
czas pracy - work time,
czas przebywania w systemie - sojourn, stay,
czas - time,
czas użytkowania - operation time,
czas zużycia - wear life, life time,
część - spare, part, quotient, section,
część zadania - subtask,
częściowe badanie - subtest,
człon - link, segment, term, clause, element,
członek grupy -teammate,
czynnik ludzki - human factor,
czynnik oddziaływujący na wydajność - performance shaping factor,
czynnik stresujący -stressor,

czynnik - factor,
czynność dodatkowa -subtask,
czysty - net,

D
dalej - down, farther, furthermore, then,
dane do odczytu - reading,
dane - data, evidence,
dążyć do - aim, aspire, point at(towards), strive,
dbałość - care, accuracy, solicitude,
defektoskop - troubleshooter,
deficyt - deficiency, deficit, shortage, stock - out,
degradacja - degradation,
demontowalny - knockdown,
detalizacja - specification,
diagnosta - diagnostician,
diagnoza - diagnosis,
diagnozowalność - diagnosability,
diagnozowanie magnetycze - magnaflux
diagram konsekwencji zdarzeń - cause - consequence diagram,
diagram - diagram, graph, plot,
długotrwały - long - drawn, everlasting, permanent, time - proof
długotrwałe przechowywanie - shelving,,
długotrwałość - lastingness, longevity, survival, sustenance,
długotrwały - unending
do przyjęcia, uzasadniony - reasonable,
dobór krzywej empirycznej - fitting,
dochodowość - profitability,
dochód - revenue,
dodatkowo - extra, further, furthermore,
dodatkowy - additional, extra, further, supplementary, subsidiary,
dogodność (obsługi) - convenience,
dokładna (obróbka) - smooth,
dokładne uregulowanie - truing,
dokładnie ustalać - true,
dokładnie - accurately, carefully, correctly, exactly, precisely, thoroughly, true,
dokładność - accuracy, closeness, exactitude, exactness, precision, thoroughness,
dokładny - accurate, careful, close, exact, narrow, precise, strict, thorough, stringent, domyślnie - implicitly,
dopełnienie - complement,
dopracowanie - debugging,
doprowadzać do odpowiedniego wymiaru - size,
dopuszczalna odchyłka - tolerance,
dopuszczalność - admissibility, acceptability, permissibility,
dopuszczalny - admissible, permissible, possible, reasonable, tolerable,
dopuszczalny okres przechowywania - safekeeping period,
dopuszczenie - admission, admittance, permit,
doskonalenie - development, cultivation, perfecting, perfection, refinement,
dostarczać - provide, supply,
dostarczanie - delivery, procurement, supply,
dostateczność - sufficiency,
dostawa - consignment, delivery, supply,
dostęp - access, admission, approach, accessibility,
dostępność - accessibility, attainability, availability,
doświadczalny - pilot, trial,
doświadczenie - experiment, know - how, proficiency, test, trial,
doświadczony - skilled, practiced,
dotarcie - debugging,
dotychczasowo - previously,
dowierzanie - trust,
dozór techniczny - surveillance
dozorowanie - inspection, supervision, tenting,
dozór - supervision,
drugorzędny - subsidiary,
drzewo niezdatności - fault events tree,
działać - operate,
działający - effective, live, operating, running,
działalność - activity
działanie - activity, action effect, function, impact, influence, operation, performance, service, treatement, work, working,
działanie uboczne - extraneous act(action or activity),

E
efekt przestrzegania przepisów - vigilance effect,
efektywność - effectiveness, efficiency,
efektywny - effective,
ekonomiczny - economic, economical, sparing, thrifty,
ekranowany - shielded,
ekspertyza - examination,
eksperyment - experiment, test, trial, try,
eksperymentalny - observational, pilot, tentative,
eksploatacja - service, handling, running,
eksploatacyjna jakość - serviceability (serviceableness)
eksploatacyjna niezawodność - maintainability, serviceability, serviceableness,
elastyczność - flexibility,
element - component, part, unit
element rezerwowy - redundant,
element składowy wyrobu - component,
elastyczność - flexibility,
ergonomia - ergonomics,
etap - step, stage, phase,
etykietowanie - labelling,

F
fabryka - plant,
fakultatywny - optional,
faza - phase, stage,
fizyczna realizowalność - feasibility
fizyka uszkodzeń - physics of failure, physics of flaw failure
fluktuacja - fluctuation
forma - pattern,
formularz - sheet,
formułować - put, state,
funkcjonować - go,

G
gabarytowy - overall
gładki - smooth,
głębokość przełomu -penetration,
glif - splay, embrasure,
gotowość eksplotacyjna - availability,
gotowość - readiness, trim,
gotowy do odbioru - receivable,
gotowy - ready,
grafik - plot,
gra - game,
granica - bound,
granica dopuszczalnych warunków użytkowania - derating,
granica podziału - boundary,
granica wytrzymałości - strength,
granice odchyłek - spread,
granice (możliwości) - scope,
graniczne obciążenie - load,

graniczny - ultimate,
gromadzić - collect, store,
grupa - party, bath, team,
grupowanie - grouping,
gwarancja - assurance, security, warranty,

H
harmonogram - schedule, timetable,

I
identyfikacja (weryfikacja) usterek - flaw identification,
identyfikacja - identification,
iloczyn - product,
ilościowy - quantitative
ilość - quantity,
indeks - index,
informacja - data, guidance, sheet,
informacja techniczna - know - how,
informowanie o uszkodzeniach - failure reporting
inspekcja - inspection, supervision, examination, review, survey,
instrukcja działania - job and task instructions
instrukcja - sticker,
instruktaż - instruction
instrument - tool
intensywność - rate, strength,
interfejs - interface
inwentarz - inventory
istotny - relevant

J
jakościowa cecha - attribute
jakościowa charakterystyka - attribute
jakość - quality
jałowy bieg - shutdown
jednoczesność - simultaneity
jednoczesny - simultaneous, single - vertex,
jednokanałowy system masowej obsługi - queue,
jednokrotnego użytku - one - use, expendable, semie-xpendable,
jednorodny - homogenous,
jednoznaczny - single - valued,

K
kalibrować - size,
kalibrowanie - sizing,
kara (pieniężna) - penalty
katastrofa - casualty, catastrophe,
kategoria - denomination, division, rank, type,
kierowanie - management,
kierownictwo - guidance,
kierunek działania - strategy,
klarowny - neat,
klasa - rate, denomination
klasyfikacja przedziałowa - grouping,
klasyfikacja - arrangement, separation,
klasyfikować - rank,
klasyfikowanie pod względem rozmiaru - sizing,
klasyfikowanie - rate,
klucz - code, key,
kod - code,
koincydencja - offset,
kolejka - tail, lineup, queue,
kolejność operacji - sequencing
kolejność - order, sequence, set, succession, train,
kolejny - serial, subsequent,
komisja - panel,
komplet - assembly, kit, set,
kompozycja - arrangement,
kompromis - trade - off,
kończenie - termination,
konieczność - need(s),
koniunkturalny - opportunistic
konkretyzacja - specification,
konsekwencje - consequences,
konstrukcja - structure,
konstruowanie - design,
kontrola odbiorcza - supplier controls,
kontrola wyrywkowa - sampling,
kontrola - check, inspection, supervision,
kontrolowanie - checking, inspection, investigation, survey, testing,
korekta - error correction,
korozja tarciowa - galling,
korozja - attack,
koszt utrzymania - maintenance cost,
krańcowy - ultimate,
krok - stage,
kropka - point,
krótkie spięcie - short,
krótkotrwała przerwa - interruption,
krótkotrwały - short - dated (short term)
kruszenie się powierzchni - pitting
kryterium - criterion, power, measure, rule, test,
krytyczna sytuacja - emergency
kuracja - treatment
kwalifikacja: dobry lub zły - go - no - go
kwalifikacja - qualification

L
leczenie - treatment,
lekkie warunki pracy - low - duty
lekkość - facility
liczbowa analiza niezawodności - numerical reliability analysis
liczbowy - numerical
logika - logic
logistyka - logistics
lokalizacja - allocation, hunting,
losowe rozmieszczenie - randomization
losowość - randomness,

Ł
łączny - net, overall, simultaneous,
łączenie - confounding
łańcuch - chain, network,
łatwo dostepny - easy
łatwość - facility
łatwość obsługiwania - accessibility
łatwy do usunięcia - easily removable

M
magazyn - storage, store, storehouse, storeroom
majątek - property, possessions
maksimum - peak
maksymalna wydajność - capacity
małe odchyłki - low - tolerance
małe straty - low - loss
masa - mass, bulk
maszyna - machine
matematyczne modele (narzędzia) - mathematical tools
niskiej jakości (materiał) - shoddy
mechaniczne uszkodzenie powierzchni - galling
mechanizm - device
medium - medium
metoda najmniejszych kwadratów - mid - square
metoda oceny krytyczności zdarzeń - critical incident

technique
metoda pobierania próbek - sampling
metoda - fashion, manner, method, process, technique, technology,
metody statystyczne - statistical techniques
metodyka - technique, technology,
metodyki niezawodnościowe - reliability methods,
miara dokładności - precision,
miara - measure
miary bezpieczeństwa (podjęte) - precaution
mierzenie - observation
mierzyć czas - time
mieszać (statystyka) - confound
moc - duty, power, strength
modelować - simulate
model - pattern, sampler,
modernizacja - renovation
moduł - modulus
monitoring - control
montaż - assembly
moralne - moral
możliwość odbioru - acceptability
możliwość powtórnego użytku - reusability
możliwość regulowania - adjustability
możliwość wielokrotnego użytku - returnability
możliwość (naprawy) - capability
możliwość - admissibility, feasibility,
możliwy do przyjęcia - tolerable,

N
na chodzie - running
nabyty - acquired
nabywca - customer
nachylenie - slope
nacisk - stress
nadający się do odrzucenia - rogue
nadający się (możliwy) do przyjęcia - acceptable
nadawać się - go,
nadawanie się do eksploatacji - serviceability (serviceableness),
nadcięty - notched,
nadmiarowość - redundancy,
nadmiernie pracochłonna obsługa techniczna - overmaintenance
nadzór - supervision
nadzwyczaj niezawodny - ultrareliable
nadzwyczaj wytrzymały - ultra - resistant
nagła przerwa w działaniu - abort
nagła zmiana - jump
nagłość - suddenness
najkrótsza ścieżka - shortcut
należny - due
napięcie - stress
naprawa główna - overhaul, rebuilding, reconditioning, repair,
naprawiać - repair
naprawialność, podatność naprawcza - maintainability, self - restorability
naprawialny - salvageable
naprawiony błąd - recovered error,
naprężenie - stress
narażać się - suffer
narażanie na zewnętrzne czynniki - exposure
naruszenie biegu spraw - disruption
naruszenie zasad (przepisów) - infringement of rules
narzędzie - tool
nastawienie - regulation
następny - subsequent
następujący po sobie - serial
nastrajanie - setting
nazwa - denomination
negatywna cecha - disadvantage, demerit,
nie dający się do poprawienia - incorrigible
nie dający się usunąć - nonremovable
nie do przyjęcia - objectionable
nie działający - out - of - operation
nie nadający się do użytku - disrepair, disused, out, inapplicable,
nie nakładanie się - offset
nie pasujący do - non - compatible
nie zagrażanie życiu - life - saving safety
nie zauważyć - miss
nieakceptowalność - non - acceptance
niebezpieczeństwo - risk
niebezpieczna sytuacja - hazard
niedbałość (w pracy) - slack
niedługi - short - dated (short term)
niedobór - shortage
nie doceniać - underrate
niedociążenie - derating
niedogodnie skomponowany, (rozplanowany) - awkwardly placed
niedokładność - defect, badness, carelessness, imperfection, inaccuracy, lapse,
niedopatrzenie - oversight
niedostatecznie wytrzymały - underdesigned
niedostateczny (zapas) - low
niedostatek - deficiency, disadvantage, lack,
niedostępność - unavailability
niedostępny - secure
niedziałający - quiescent, standing
nieefektywność - inefficiency
niegroźny błąd człowieka - no - cost error
nieistotny - superficial
niejednorodny - non - uniform
niekompatybilność - incompatibility
niekompatybilny - non - compatible, incompatible,
niekorodujący - unattackable,
niekorygowalny - incorrigible
nieład - fouling,
nienadający się do użytku - non - serviceable
nienaprawialny - non - reparable
nieobowiązujący - optional
nieodporność - fragility
nieodpowiedni - non - conformable
nieodpowiedniość - inapplicability, misfit,
nieokreśloność - indeterminacy, uncertainty,
nieokreślony - indeterminate
nieparametryczny - density - free
niepełnocenność - badness, deficiency,
niepewność - uncertainty
niepodatny - unaffected
niepodobny - incompatible
niepoprawne działanie - malfunction
niepoprawne użytkowanie - abuse
niepoprawne wnioskowanie - fallacy
niepoprawność - badness
nieposzkodowany - undamaged
niepotrzebny - superfluous
niepożądana właściwość - demerit
niepożądane zdarzenie - accident
nieprawidłowe użytkowanie - misapplication
nieprecyzyjność - imperfection
nieprzemieszczalny - standing, stationary,
nieprzestrzeganie (norm) - default
nieprzewidziane zdarzenie - emergency
nieprzydatność - inapplicability, unavailability,
nierdzewny - rustless

nieregularność - irregularity
nierównomierny - non - uniform
nieruchomy - standing, stationary,
nieskażony itd. - distortionless
nieskorelowany - uncorrelated
niespełnianie wymagań - unavailability
niesprawność systemu - abort
niesprawność - breakdown, bug, defect, dud, failure, fouling, shutdown, trouble,
niesprawny - disabled, down,
niestabilność - instability
niestabilność jakości - spottiness
niestacjonarny - transient
niestarzejący się - unaged
niestateczność - instability
nieszczęśliwe zdarzenie - casualty
nieszkodliwy - innocuous
nietrwałość - fragility, instability
nietrwały wyrób (obiekt) - weak item
nietrwały - short - lived
nieudane działanie - failure
nieustalony - time - dependent, transient
nieuszkadzalność - infallibility, reliability, survival,
nieuszkadzalny - trouble - free
nieuszkodzony - sound
nieuwarunkowany - unconditional
nieuważność - carelessness
nieuzgodniony - uncorrelated
niewątpliwość - certainty
niewątpliwy - certain
niewiarygodność - uncertainty
niewielka naprawa - jobbing
niewykonanie zadania - failure,
niewykonanie - error of omission
niewystarczalność - inefficiency
niewytrzymałość - fragility, tenuity, weakness,
niewytrzymały - destroyable, tenuous, weak (item)
niezadziałanie - dud
niezależny od czasu - time - independent, time - unvarying
niezależny - self - sufficient, unaffected,
niezamienialny - non - compatible
niezamienność - incompatibility
niezanieczyszczający się - non - clogging
niezawodność człowieka - human reliability
niezawodność - dependability, reliability
niezbędne warunki - requirement(s)
niezbędny - requisite
niezgodność - nonconformity
niezmienniczość - consistency
niezmienność - stability
niezmienny - certain, permanent, stationary
niezwłoczny - instant
niszczenie - attack
nominalna (znamionowa) charakterystyka - rating
nominalny błąd człowieka - nominal human error
nominalny - rated, specified,
norma - duty
normalne warunki użytkowania - normal operating conditions
norma - rate, reference, standard
normatyw - standard
nośny - carrying

O
obchodzić się delikatnie - spare
obciążenie - burden, charge, duty, stress, traffic,
obejmować - span
oberwanie - break
obiekt - item
objaw - sign, symptom,
objętość - bulk, space
obmyślać - study
obniżenie - reduction
obowiązki - charge
obrabiarka - machine
obraz - fashion
obserwowanie - observation
obsługa techniczna - maintenance
obsługiwać - service
obsługiwanie techniczne - handling
obsługiwanie - attendance, service, servicing
obszar dużych odchyłek - tail
obszar - extent, span, spectrum, zone,
obszar wiedzy - study,
obszar zmienności - range,
ocena alternatywna - choice
ocena - assessment, estimate, qualification, rating,
ocena kategorii - rate,
ocena z nadmiarem - overvalue,
ocenianie - evaluation
ochrona - guard,
ochronić się - avoid,
oczekiwana wartość - average,
oczyszczanie - cleaning, purification,
od tego czasu - thereafter,
odbiór - acceptance,
odchylenie charakerystyki - drifting,
odchylenie charakterystyki roboczej - off - performance,
odchylenie - deviation,
odchyłka - bias,
odcinek czasowy - period,
odcinek - location, section,
odczep - shutoff
odczuwalność - susceptibility
odczytywać wskazania - read
oddział - division,
oddziaływać - operate,
oddziaływanie - action, impact, influece
oddzielany - separable
odgrodzenie ochronne - guard,
odłączenie - shutoff
odległość - range, space, spread,
odmowa działania - inaction
odnalezienie - finding
odnawiać - recover, reoperate,
odnawialność - restorability
odnośny - relevant,
odnoszacy sie do danych okoliczności - behavioral,
odnowa - rebuilding, renovation,
odnowienie - reconditioning, repair
odpady - short, refuse, swarf,
odporność - durability, fastness,
odporny na oddziaływanie agresywnego środowiska - unattackable
odporny na wibracje - shakeproof
odporny - secure,
odpowiadać (wymaganiom) - obey,
odpowiadający wysokim wymaganiom - high - test,
odpowiedni - concomitant,
odpowiedniość - compatibility,
odpowiedzialność - charge, chargeability, responsiveness,
odpowiedź - response
odróżniający się - discriminating
odrzucenie rozwiązania - disapproval
odrzucenie - rejection

odsłonięcie - manifestation
odstępstwo od normy - irregularity, lapse
odszukanie - finding
odtąd - thereafter
oficjalny dokument - statement
ogłoszenie - notification
ogniwo - link
ogólnie przyjęty -standard,
ogólny wskaźnik dopuszczalnego obciążenia - burden,
ogólny - overall,
ogon (krzywej) - tail
ograniczanie - spacing, constraint, limitation, restriction,
ograniczonego zastosowania - single - purpose
okoliczności; położenie - situation
okres międzynaprawczy - turnaround
okres użytkowania - life, lifetime, service
określanie eksperymentalne - observation,
określony - certain, given, specified,
okres - period, phase, run, stage, time,
operacja - operation, activity, step,
operator - operator
operatywny - operative
opieszałość - slack
opis patentowy - specification
opis - schedule
opóźnianie - delay
opracowanie - framework, development, paper,
oprogramowanie - software
oprzyrządowanie - device, equipment, facility,
organizacja; zestaw danych - setup
osiągalność - availability,
osłabienie - weaknees,
osłabiony wyrób - weak item,
osoba podatna na popełnianie błędów - error - likely person,
osobliwy - discriminating,
ostatni jest pierwszy obsłużony - last - come - first - served,
ostatni - ultimate,
ostra zmiana warunków (pracy) - perturbation of regime,
ostrożność - caution, precaution
ostrzeżenie - caution, notification,
oświadczenia - evidence
oszacowanie - assessment, estimate, evaluation,
oszczędność - economy, frugality, saving, thriftiness,
oszczędzać - spare
oszczędzanie - saving
otoczenie - surroundings
otrzymanie - procurement
otrzymywanie - getting, receiving
oznaczanie - labelling

P
panel - panel
parametr - characteristic, parameter, quantity,
partia (wyrobów) - bath
partia - party, run,
parzysty - sister
pawidłowość - accuracy
pękanie - fracturing
pęknięcie - flaw
pełna kontrola pod obciążeniem - stress screening
pełna kontrola - screening
pierwszorzędny - premium
piętno - spot
pik - peak
pittingowa korozja - pitting
plan - game, setup, lay, plot, schedule, scheme, system, target
planowa kolejność - routine
planowanie - design,
planowy - target
po badaniach w czasie - time - proved
po upływie czasu gwarancji - time - expired
pobieranie próbki - drawing
pobrudzić się - foul
początek - start
pod obciążeniem - live
podatność badawcza - testability
podatność na odtworzenie zdatności do pracy - resilience
podatność na popełnianie błędów - fallibility
podatność obsługowa - accessibility, serviceability (serviceableness)
podatność regulacyjna - adjustability
podatność - capability,
podatny na zniszczenie -destroyable,
podatny - liable,
poddawać się (oddziaływaniu) - suffer
podejmowanie decyzji - decision making
podejście do czegoś - treatment,
podejście - approach, method, process,
podgrupa - subset
podkreślenie - emphasis
podniesienie jakości - amelioration
podnoszenie poziomu niezawodności - reliability growth,
podobieństwo - similarity
podobny - similar
podporządkowany - subsidiary
podporządkowywać się - obey
podstawa - principle, reason,
podstawiona wielkość - substitute
podstawowa liczność poróbki - radix,
podstawowy - key, ultimate,
podwójnego przeznaczenia - double - duty
podzbiór - subset, subuniverse,
podzespół - subassembly
podział na grupy - separation
podział na klasy (podklasy) - subclassification
podział -parition, division, part,
pogarszanie się - deterioration
pogarszający się - down
pogorszenie - impairment,
pogorszenie jakości - ageing, plot,
poinformowanie - report,
pojedynczy przypadek - subcase
pojemność - storage
pojętny - clever, quick - witted
pokazania - reading
pokierowanie - guidance
połączenie - connection
polepszać - refine
polepszenie - improvement
polityka - policy, strategy,
połączenie - pool
połowa oczekiwanego okresu użytkowania - half - life
położenie - situation, place, space, spot, station, lay, position, state,
pomocniczy - subsidiary
pomyślany - considered
pomysł - game
ponadto - furthermore
poniżej wartości wymaganej - subtolerance
ponowny przegląd (kontrola) - recontrol
poprawna praca maszyny - performance
poprzedni - previous

poprzedzanie - precedence
poradnictwo - guidance
porcja - sample
poręczenie - security
porównywalność - compatibility
porządek badania - sequence
porządek - order,
porządkować - rank
porządkowy - serial
posiadający umiejętności - skilled
posiadający wady - rogue
pośredni - mongrel
postać grafiku - run
postać uszkodzenia - failure mode
postać - structure
postawić - place
postępować - deal
postępowanie oparte na doświadczeniu - skill based activities, behaviours, or tasks
posterunek - station
poszkodowanie - damage, distress, trouble,
poszkodowany - victim
poszukiwanie (lokalizowanie) uszkodzenia - shorting
poszukiwanie - search, seeking
potrzeba - demand
potwiedzenie - demonstration, confirmation
powiadomienie - notification, report, statement
powierzchnia - space, surface
powierzchniowe zużycie - galling
powodowanie przestoju w trakcie pracy - trouble
powodujący - due
powracać (do określonego stanu) - recover
powtarzać - replicate
powtarzalność (wyników) - repeatability
powtórne sprawdzenie - recheck
pożądany stan - order
poziom rozwoju (bieżący) - state - of - the - art.
poziom usterkowości - flaw level
poziom - level, rate, rating, step
pozwalający zaoszczędzić czas - time - saving
pozycja - position
praca maszyny - running
praca naukowa - study
praca niskiej jakości - shoddy work
praca systemu masowej obsługi - queueing
praca w nadgodzinach - overwork
praca według harmonogramu - routine
praca wykonywana przez człowieka - human outputs
praca - action, job, operation, run,
pracować - go, operate,
pracownik - officer
pracujący - operative
praktycznie - sensibly
praktyka - practice
prawdopodbieństwo - likelihood, probability,
prawdopodobieństwo bezawaryjnego działania - reliability
prawdopodobieństwo odtworzenia stanu zdatności,
prawdopodobieństwo odtwarzalności własności - maintainability
prawidłowo - accurately
prawidłowy - true
prawo - principle
precyzja - precision
prędkość - rate
predykcja - forecasting
presja - constraint
prezentacja - pattern
priorytetowy - preemptive
próba - test, trial, try
próbka - assay, sample
problem - challenge
próbny - pilot, tentative
procedura - procedure, scheme, technique,
proces technologiczny - activity
proces - process
produkcja niskiej jakości - shoddy production
produkcyjna - production, productive
produkt - product
produkty zużycia - swarf
profil - section
prognozowanie niezawodności - reliability prediction
prognozowanie - forecasting, prediction
program działania - framework, schedule
program - scope
programowanie - programming
projektowanie - design, projection
projekt - scheme
prolongować - extend
proporcja; stopień - ratio
proporcja - proportion
propozycja - assumption, proposal
protokół - record
prowadzić badania - test
przebieg procesu - behavior - regime
przebieg - route
przebudowa - conversion
przechodni - transient
przechodzący do stanu niezdatności - collapsed
przechowywane narzędzia - inventory,
przechowywanie (zapasów) - keeping
przechowywanie - retention
przeciążenie - overwork
przeciążony - overdriven
przeciwstawność - converse
przeciw - versus
przedłużać - extend
przedmiot nauczania - study
przedsiębiorstwo - plant
przedsięwziąć - take
przedwczesny - premature
przedział - bound, range, scope, space, span,
przedzialik czasowy - span
przegląd (ogólny) - survey
przegląd techniczny - checkup
przegląd znamionowych charakterystyk - rerating
przegladanie - revise
przegląd - examination, inspection, muster, supervision, surveillance, review
przegrupowanie - rearrangement
przejawiać - show
przejmujący - moving
przejście od czegoś do czegoś - shift
przejście - transition, change
przekaźnik informacji - display
przekoszenie - distorion
przekrój - section
przekształcenie - change, transformation
przełom - crack, rupture
przemiana - change
przemieszczenie - offset, shift
przenikanie - penetration
przecenienie - overvalue
przeoczenie - error of omission
przepalenie (izolacji) - rupture
przepełniony - overflow
przepis prawny - regulation
przepis - principle, code, regulation

przeprowadzać (operację) - keep
przeprowadzanie badań - testing
przeprowadzanie inspekcji - survey
przeprowadzka - move
przepuścić - miss
przepustowość - capacity, output
przerdzewiały - eaten
przeróbka - conversion, rearrangement, reform, remaking, rework
przerwa (w pracy) - knock
przerwa w działaniu - failure
przerwa w pracy - delay
przerwanie działania - inaction
przerwanie - extinction
przerwa - rest, standstill, stoppage, time - out, trouble
przestarzała generacja - obsolete generation
przestarzały moralnie - morally obsolete
przestarzały - non - current, overage
przestój - idleness, off - time, shutdown, slack, standstill, stoppage,
przestrzegać (przepisów) - keep
przestrzeń możliwych wartości - spectrum
przestrzeń - extent, space
przesunięcie - kurtosis, offset, skew,
przeszkoda - barrier, restriction
przetworzenie (danych) - reduction
przetworzenie - transformation
przewidywana wartość - projection
przewidywanie - prediction
przewidziany (w umowie) - specified
przewodnictwo - guidance
przewyższający nominalny okres eksploatacji - overage
przybierać (wartość) - take
przybliżona ocena - guesstimate
przybliżone przedstawienie - fitting
przyczyna - cause, reason
przyczyna wyznaczalna - assignable cause
przydatność do użytku - serviceability (serviceableness)
przydatność - suitability
przydatny do wykonania zadania - operable
przygotowany - ready
przygotowawczy - tentative
przyjęcie - acceptance
przyjmować (wartość) - take
przykład - case
przyłożenie obciążenia - loading
przymiar - sampler
przypadek - case
przypadkowy - occasional
przypuszczenie - assumption
przyroda - nature
przyrost - increment
przyrząd - device
przyrządy kontrolno - pomiarowe - instrumentation
przystępność - approach
przywieszka - sticker
przywrócenie wymaganego stanu - reconditioning
punkt neutralny - indifference point
punkt widzenia - standpoint,
punkt - point, station, spot
randomizacja - randomization
ranga - rank
rdzewienie - rusting
reakcja - response, reaction,
realizować - realize, execute
realizowalność - realizability
referat - paper
regresja - regression
regulacja - control, regulation,
regulowanie - setting
rejestracja - registration
rejestr - list, record
rekonstrukcja - renovation
relacja - relation
rentowność - profitability
reprezentatywność - representativeness
reprezentatywny - representative
resurs - resource
resztki i odpady nadające się do przeróbki - salvage
resztki - refuse, short,
rezerwa nieobciążona - standby, spare
rezerwa - buffer
rezerwowanie - redundancy, redundancy application, sequencing,
rezerwowany - redudantized
rezerwowy - subsidiary
rezultat - result
rezygnować - release
reżym pracy - behavior - regime
reżym - state
robocze położenie - on - position
roboczo godzina - man - hour,
rodzaj niezdatności - failure mode
rodzaj - kind, type
rodzina - system
równoprawdopodobne losowanie - randomization
równy - smooth
rozbicie - splitting
rozbieralny - knockdown
rozbieżność z oczekiwanym wynikiem - divergence, discrepancy
rozbiórka (na części) - breakdown
rozhodowany - expendable
rozdwojenie - break
rozdzielać - share
rozdzielenie - parition, splitting
rozerwanie - break, rupture
rozgałęzienie - splitting
rozkład w próbce - allocation
rozłączalny - separable
rozmiar - size
rozmieścić - place
rozmieszczać - set
rozmieszczanie - ordering, spacing, lay
rozmieszczenie - order, location, setup, splitting
rozpadać się na części - part
rozpatrzenie - review
rozpoznanie (niezdatności) - recognition
rozpoznawalność - detectability
rozprzestrzenianie się - spread
rozregulować tok pracy - trouble
rozregulowanie - disarrangement
rozrost - spread
rozrzut - scattering, spread
rozstęp rozkładu - range
rozstęp - scope, spread
rozstrojenie - disarrangement
rozwiązanie - solution
rozwój - development
ruchomy - moving
rutyna - routine
rysunek - design
ryzyko - hazard, risk
rzeczywiste zakłócenia - visual interference
rzeczywisty - live
samonaprawialna usterka - malfunction
samoodnawiający się - self - healing

samodnawialność - self - restorability
samokontrolujący się - self - supervisory
samonaprawianie - self - repair
samowystarczający - self - sufficient
schemat logiczny - logical scheme
schemat - pattern, network, scheme, plot, sheet, system
schemat roboczy - working scheme
ścieżka niezdatności - failure path,
ścieżka - path,
sekcja - section
sekwencja - chain
selekcyjne badania wytrzymałościowe - traditional stress screening
sens - significance
seria pomiarów; nastrajać - set
seria - run, train
seryjny - serial
sformułowanie - statement
sieć - chain, net, network
siła - strength
skala - extent, ga(u)ge,
skaza - flaw, blemish, spot, stain, taint, barb,
skażenie powierzchni roboczej - scuffing
skażenie - distortion
składanie - setup, assembly
skład - composition, constitution; depot, dump
składnik - component
składowy - separable
skok -stage, jump, step, skew
skokowy - step
skracać - curtail
skrępowanie ruchów - constraint
skrócone (badania) - shortcut
skrót - shortcut
skuteczne działanie - survival
skuteczność - efficiency
słabe ogniwo - weaknees
słabość - tenuity
słaby - tenuous
sortować ze względu na wymiary - size
sortowanie - separation, screen,
spadek wartości - depreciation
specjalista (w dziedzinie techniki) - technician
specyficzna właściwość - quality
specyficzny - discriminating, single - purpose
specyfikacja badań - checklist,
specyfikacja - specification, schedule,
spektrum - spectrum,
spełniać - obey,
spisanie (wycofanie) - retirement,
spis - list,
spisywać kolejno - itemize,
spoczynek - non - operation,
sporządzać spis - itemize,
sposób postępowania - rule,
sposób wykonania zadania - path,
sposób - process, technique, manner, method, medium, fashion, resource,
sprawdzać na modelu - simulate,
sprawdzanie (przegląd) projektu - design reviews,
sprawdzanie w ruchu - shakedown,
sprawdzanie - checking, qualification, trial, testing, test
sprawdzenie - inspection, revise, investigation, check, review, recontrol,
sprawdzian - test,
sprawdzony w eksploatacji - field-proven,
sprawdzony - tested,
sprawność - serviceability, serviceableness, order,
sprężyście - elastically,
sprostowanie błędów - rectification
sprzężenie zwrotne - feedback
sprzężenie właściwości - contingency,
sprzężony - sister,
średni gatunek - run,
średni w czasie - time - average,
średnia - mean, average,
środek - resource
środki materialne - store,
środki zaradcze - corrective action,
środki - facility
środowisko - environment, surroundings, medium,
stabilność - consistency, stability
stacja - station,
stacjonarny - stationary, steady,
stadium - step, phase, stage,
stałość - consistency,
stały - stationary, steady, permanent,
stan aktualny - status,
stan gotowości - trim,
stan niezdatności - disablement, disrepair,
stan niezdolności do pracy - inoperability,
stan spoczynku - rest,
stan zdatności - survivability, worthiness,
stan zagrożenia - distress,
stan - state, situation, condition, behavior - regime,
stara (generacja) - non - current,
staranny - accurate, careful, exact, neat
start - start,
starzenie - burn - in, deterioration, ageing,
stateczność - durability,
statystyka - statistics,
stawka - rate
sterować - pilot,
sterowanie jakością na drodze selekcji - tailored quality control,
sterowanie jakością - flaw control, quality control,
sterowanie niezawodnością wyrobów - finished item reliability control,
sterowanie produkcją - manufacturing control,
sterowanie projektowaniem - design control,
sterowanie zapasami - inventory,
sterowanie zapasami - storekeeping,
sterowanie - control,
stół probierczy - desk,
stopień - degree, grade, rate
stopień zniszczenia - destructiveness
stopniowe pogarszanie właściwości - fading,
stopniowe pogorszenie właściwości - degradation,
stosowny - relevant,
stosunek wariancji do wartości oczekiwanej - rel - variance
stosunek - proportion, quotient, ratio, relationship, relation, rate,
stracony czas - wasted time
strata - damage, loss,
strategia - policy, strategy
stres emocjonalny - psychological stress,
struktura - structure, framework, state,
strumień (zdarzeń) - stream, flow,
stuprocentowa kontrola - screening
suma punktów - score,
suma - sum,
surowiec - stock,
świadomość - consciousness,
sygnał - call,
sygnalny - signal,
symbol - badge, symbol
symptom - sign, symptom,

symulator - simulator,
symulować - simulate,
symulowanie - simulation
synchronizacja - simultaneity
synteza - synthesis
system człowiek maszyna - man - machine system,
system otwarty (bez sprzężenia zwrotnego) - open loop system,
system równoległy - parallel system,
system - system
system utrzymywania gotowości - operations support system,
system ze sprzężeniem zwrotnym - closed loop system,
system - system, structure, ensemble,
sytuacja awaryjna - distress,
sytuacja sprzyjająca popełnianiu błędów - error - likely situation,
sy**tuacja wypadkowa** - accident - prone situation,
sytuacja - condition, situation, state,
szablon - pattern, sampler, sample,
szansa - chance,
szczególnie ciężkie (warunki) - extra - difficult
szczelina - crack, rupture,
szeregować - rank,
szereg - train, sequence, succession,
szerokość rozkładu - range,
szkoda - damage,
szkodliwe działanie - nuisance,
poddawanie badaniom laboratoryjnym - labmanship,
sztuka - piece,
szybko działający - fast - operating,
szyfr - code,

T
tabela - table
tablicowanie - tabulation,
tajemnica - secret
taktyczny - tactical
tangens kąta nachylenia - slope,
technika - technique
technik - technician,
technika (zespół metod) - technique,
technologia - technique, technology,
technologiczność naprawcza - maintainability,
tempo - rate,
teoremat - theorem,
teoria - theory,
terminowy - premium, instant,
termin - time limit,
tester - tester,
testowanie - proofing,
test - test,
tolerancja - tolerance,
tracić zdatność - fail, outwear
traktowanie - treatment,
transformacja - transformation,
trenowanie (akumulatora) - training,
trudny - challenging,
trwałość - durability, life, lifelength,
trzymać się (przepisów) - keep
twierdzenie - theorem,
tworzenie kolejek - queueing,
tworzenie szczelin - fracturing,
tworzyć zapas - stock,
typowy - standard, type,
typ - type, pattern, nature, denomination
uboczny efekt - by - effect,
ubytek -loss,
ubywanie - decreasing, decrement,
uczenie się - study,
udawadnianie - demonstration,
udoskonalenie - improvement,
udowodanianie - demonstration,
udział - quotient, share,
ujawnianie się usterek - manifestation,
ujednolicenie - regulation,
ujemne sprzężenie zwrotne - negative feedback,
ukierunkować się na - trend,
układać się - negotiate, parley, to pan out,
układać - arrange, compose, draft, place, stack, train,
ulepszenie - amelioration, reform
ulokować - embed,
umiarkowany - medium
umiejętność - know - how, proficiency,
umiejscowienie - hunting, location,
umieralność - mortality
umieszczać - put,
umocować - set,
umowa - stipulation, agreement,
unieruchamianie - shutdown,
uniezdatniać - cripple,
unikać - avoid,
uniwersalny - multiple - function,
uporządkowanie - rearrangement, ordering,
uporządkowany w czasie - time - ordered,
uproszczenie - simplification,
uprzedzenie - prevention,
uruchamianie - setting,
uruchomienie - start,
urwanie - abruption,
urządzenia - facilities, equipment, set, setup, system, structure, machine,
urządzenie do umiejscawiania uszkodzeń - trouble-shooter,
urządzenie ochraniające - shield,
urzeczywistniać - implement, realize,
urzeczywistnialność - realizability,
urzędnik - officer,
uściślenie - improvement,
usprawniać - rationalize, improve
usprawnienie - reform, rework, repair,
uśrednianie - averaging,
ustalać przyczynę (uszkodzenia) - pinpoint,
ustalanie (zasad) - lay,
ustalenie przedziałów - spacing,
ustalone procedury - written procedures,
ustalony - established, given,
ustanawiać kolejność - sequence,
ustanowiony prządek - practice,
ustanowiony - established,
ustawiać - put
ustawiać (w żądanym położeniu) - set
ustawianie - setting,
usterka techniczna - bug
usterka - flaw, shutdown,
ustrój - state,
usunięcie wad (niesprawności) - rectification,
usunięcie (usterek) - clearing, debugging
usunięcie - removal,
uszczerbek - nuisance, damage, loss,
uszkadzać się - fail
uszkadzać - damage, impair
uszkodzenie - failure, trouble, breakdown, flaw, dud, fault, damage,
uszkodzenie powierzchniowe i podpowierzchniowe - flaw,
utożsamianie - identification,
utrata - loss,

utrzymanie izolowania - exposure,
utrzymanie w zdatności - maintenance
utrzymanie - handling,
utrzymywanie - attendance, service,
utylizować - recover,
uwarunkowany - given
uzasadniać - put,
uzdatniać - reclaim,
uzgodnienie - agreement,
uzgodniony - specified,
użyteczne obciążenie - payload,
użyteczny - effective,
użytkowany - operating,
użytkownik - customer,
używać - employ,

W
w granicach akceptowalności ryzyka - safe,
w granicy dopuszczalnej dokładności - sensibly
w przestoju -standing,
w stanie niezdatności - out - of - commission,
w stanie spoczynku - steady, out - of - operation,
w zasadzie - sensibly,
wahanie - fluctuation,
wada - defect, failing, fault, flaw, imperfection, weakness,
warstwa - stratum,
wartość nominalna - nominal value,
wartościowy - significant
wartość - significance,
warunek - condition,
warunki początkowe - reference,
warunki pracy ciężkie - difficult working conditions
warunki pracy - duty,
warunki robocze - service,
warunki - stipulations, conditions,
warunki techniczne - requirement,
warunki zewnętrzne - environment,
wątpliwość - doubt,
ważny - key, significant
wbudować - embed,
wejście w posiadanie -procurement,
wewnątrz systemowy - endogenous
węzeł - package, part, node, component,
wezwanie - call,
wiarygodność - certainty
wiarygodny - trusty,
wielkość - quantity
wielkość - bulk, size,
wielofunkcyjny - multiple - function
wierny - true,
wierzchołek - peak,
więź - link, relation,
winny - due,
włączać - set,
włączenie - connection,
włączony - on,
właściwe rozmieszczenie - arrangement,
właściwości eksploatacyjne - performance,
właściwość - signature, characteristic
właściwy danemu przedmiotowi -inherent,
własność osobista - particular,
własność - property,
własny - inherent,
wpływ - influence, action, impact,
wprowadzać w stan gotowości - trim,
wprowadzenie porządku - rearrangement,
wrażliwość - sensitivity, susceptibility, response,
wrodzony - inherent
wsad - pool
wskazanie na skali - score,
wskaźnik liczbowy - score
wskaźniki - reading
wskaźnik - rate, factor, index, test,
wskazywać - show,
współczynnik gotowosci - dependability factor, availability factor,
współczynnik kątowy - slope
współczynnik niegotowości - unavailability factor
współczynnik przestoju - unavailability factor,
współczynnik sprawności - efficiency factor,
współczynnik wykorzystania - efficiency factor,
współczynnik - coefficient, ratio, rate, index, modulus, factor,
wspólna przyczyna - common cause,
współwymiarowość - proportion,
współzamienność - compatibility,
wspomaganie matematyczne - software,
wstępne badanie - tentative test,
wstępny montaż - subassembly,
wybór wariantu - choice of variant,
wybór - choice, selection,
wybrakowane (wyroby) - short,
wybrakowywanie - penalization,
wyczerpanie - depletion,
wydajność - output, capability, power, duty
wygasanie - extinction,
wygładzać - smooth
wygładzanie - smoothing
wygoda - accessibility,
wyjawiać (uszkodzenie) - pinpoint,
wyjawiać - show,
wyjawianie - identification,
wyjawienie - finding,
wyjawialność - detectability,
wyjście ze stanu zdatności - disablement,
wykaz - schedule, specification
wykazywanie poziomu niezawodności - reliability demonstration,
wykluczenie - exclusion,
wykonalność - feasibility, realizability
wykonywać przegląd - survey,
wykonywanie obsługi technicznej - service,
wykorbienie - distortion,
wykres - diagram, drafting, plot, chart,
wykrycie i usunięcie błędu - error correction,
wykrycie uszkodzenia - shorting,
wykrywać (uszkodzenia) - trace,
wykrywacz uszkodzeń - tracer,
wykrywalność - detectability
wykrywanie przyczyn uszkodzeń - failure cause detection,
wykrywanie - detection,
wykwalifikowany pracownik - operative,
wykwalifikowany - skilled,
wyłączanie -shutdown,
wyłączenie - shutoff,
wyłączony - out - of - operation
wymagający dużo czasu - time - consuming
wymagający naprawy - eligible for repair
wymagania techniczne - specification
wymaganie - call, requirement,
wymagany - requisite
wymiar - ga(u)ge
wymienialność - replaceability
wymienność - interchangeability
wymuszenie - stress, constraint,
wymuszony czas przestoju - downtime
wymuszony przestój - downtime

wymuszony - induced
wynik końcowy - ultimate,
wynik obserwacji - observation,
wyniki - data,
wynikowy - net,
wynik - sum, outcome, result, solution, effect, product
wyodrębniony przedmiot - item,
wypadek - accident,
wyposażenie techniczne - technical equipment,
wyposażenie technologiczne - tooling,
wyposażenie - hardware,
wyrażać -put,
wyrażenie aprobaty - approval
wyregulowanie - training
wyrób z ograniczonym okresem użycia - semidurable product,
wyrób - item, product
wyrodzenie - extinction
wyrównywać - smooth,
wyrównywanie - smoothing,
wyskok (na grafiku) - run,
wysoka jakość - goodness, high quality,
wysoka jakość - soundness
wysoki ranking - high ranking,
wysokiej jakości - high - test,
wystarczająco - sensibly,
wyszedł z użytku - disused,
wytrzymać (obciążenie) - sustain,
wytrzymałość na zerwanie - tenacity,
wytrzymałość zmęczeniowa - endurance,
wytrzymałość - durability, strength, life, fastness, robustness
wytrzymały na rozciąganie - tensile
wytrzymały - sound, tolerance, everlasting,
wytwarzać - release
wywiad techniczny - talk trough, walk trough,
wywołany - induced
wyznaczenie wartości - sizing
wzmacniający element - strengthener
wzmocnienie - boost
wzorzec - pattern, type, sample, sampler, standard,

Z
z dużym zasobem (resursem) - time - proof
z karbem - notched
z małym zasobem (resursem) - short - lived
z ochroną - trouble - proof
z przerwami (w działaniu) - intermittent
z rezerwowaniem - redundantly
zaakceptowanie - approval
zabezpieczać - shield
zabezpieczenie - shield, security,
zabezpieczony przed nieumiejętnym stosowaniem - tamperproof
zabezpieczony - shielded, trouble - proof
zabrakowanie - repudiation
zabrudzenie - fouling
zachowanie się (systemu) - behavior - regime
zachowanie w oparciu o znajomość systemu - knowledge - based behaviour
zachowawczość - safety
zachowujący bezpieczność (zdatność) przy uszkodzeniu poszczególnych elementów - failsafe
zadana wartość - goal
zadanie do wykonania - job
zadanie - objective, target, task
zadany -specified, given,
zagrożenie - hazard, risk
zagwarantowany - secure
zajętość - occupancy
zakaz - ban, prohibition
zakłócenie - nuisance, barrier,
zakres - extent
zależność - relationship, relation
zależny od czasu - time - dependent
zamiana - removal, substitute
zamienialność - replaceability,
zamienność - interchangeability, replaceability,
zamówienie - demand
zanieczyszczenie - contamination
zaniedbanie - error of omission
zaniżanie oceny -underrating,
zaopatrzenie - logistics, supply, delivery,
zapas bezpieczeństwa (wytrzymałości) - safety margin,
zapas zdolności do pracy - stamina,
zapas(y) - inventory,
zapas - spare, supply, buffer, stock, store, pool
zapewniać - provide
zapewnienie jakości - quality assurance
zapis - record, registration
zapobieganie - prevention,
zapotrzebowanie - request,
zarówno - both,
zarządzanie ryzykiem - risk management,
zarządzanie(gospodarka) częściami - parts management,
zarządzanie - management
zasada - principle, rule
zasady produkcji przemysłowej - technonomy,
zasady (przepisy) - policy,
zasięg - extent,
zasługujący na ufność - trustworthy
zaśmiecenie - fouling
zasób - life, life - length, resource
zastępcza wielkość - substitute
zastosowanie w praktyce - practical application
zatrzymanie się na pewien czas - interruption
zatrzymanie się - stoppage, standstill
zatrzymanie - termination
zatrzymujący się okresowo - intermittent
zatrzymywanie - shutdown, delay
zaufanie - reliance
zawierać - comprise,
zawodność - unreliability, inaccuracy, uncertainty
zawodny - undependable
zazwyczaj - commonly
zbadanie - surveillance, inspection
zbadany - tested
zbędny - superfluous
zabezpieczony - secure
zbierać - collect
zbieżność - compatibility, convergence, similarity
zbieżny - similar
zbiór elementów - assembly,
zbiór metod statystycznych oraz/lub danych statystycznych - statistics,
zbiór wymagań - bulk,
zbiornik - storage
zbiorowość - system, bulk, ensemble, population, set, system, score
zbiór - set, package, assembly
zbudowany - built,
zdarzenie początkowe - initiating event
zdarzenie zewnętrzne - external event,
zdarzenie - case, event
zdatność do działania - functionability
zdatność - worthiness

zdatny - worthy, fit, suitable
zdejmować charakerystyki - read
zdejmowanie charakterystyki - rating
zdjęcie ze stanu - retirement
zdolność do działania - ability
zdolność do funkcjonowania - functionability
zdolność do pracy w ciężkich warunkach - ruggedness
zdolność do pracy (użytku) - performability
zdolność - capability, capacity,
zerwanie - disruption
zespół - package, assembly, set
zestawianie wyników - tabulation
zestaw - kit,
zewnętrzny - external
zeznania - evidence
zezwolenie - permit, release
zginanie - bend
zgoda - agreement, acceptance
zgodny z normą - par
zgodny z wymaganiami technicznymi - specified
złamanie - break, abruption
złe wykonanie - fouling
zlikwidowanie - removal
złożone zadanie - challenge
złożony - challenging
zmęczenie - depletion
zmęczenie - fatigue
zmiana - change
zmienna intensywność uszkodzeń - non - constant rate,
zmienna niezależna - predictor
zmienna zależna - regressand
zmiennik - substitute
zmienność własności - instability of property
zmniejszający trwałość (zasób) - life - shortening
zmniejszanie - decrement,
zmniejszenie obciążenia - derating,
zmniejszenie - reduction,
zamówienie - request,
znaczący - significant,
znajdowanie - finding,
znajdujący się na tym samym poziomie - level,
znajdujący się w magazynie - spot,
znajdujący się w niesprzyjających warunkach - exaggerated,
znajdujący się w stanie gotowości - ready,
znajdujący się w stanie zdatności - usable,
znak - sign,
znalezienie - hunting
znamionowy - rated, specified
zniekształcenie - distortion
zniszczalność - tortuousity
zniszczenie - break, crack, rupture
zsyłacz - index
zupełnie - quite
zużycie fizyczne - depreciation
zużycie powierzchniowe - fretting
zużycie - scuffing
zużyty - frayed
zużywać się - outwear
zużywanie - scuffing, ageing, depreciation, deterioration
związek - connection, chain
zwrócenie - return
zwrot; dochód - return,
zwrot - recall
zwykle - commonly
zysk - return