
SPIS TREŚCI

Nauka i Technika

Krzysztof PAŁKA, Andrzej WERONSKI

Stereologia struktury elementów ze stali austenitycznych z dogniataną warstwą wierzchnią
The stereology of the microstructure of stainless steel's elements with burnished surface layer 4

Miron CZERNIEC, Cyprian KOMORZYCKI

Badanie styku wewnętrznego elementów cylindrycznych o porównywalnych średnicach z małymi odchyłkami od kształtu kołowego
Inner contact investigation of cylinders having comparable diameters in case of small out-of-roundness..... 13

Wiesław PIEKARSKI, Sławomir JUŚCIŃSKI

Rozwój sektora usług: transport – spedycja – logistyka w polsce po wstąpieniu do unii europejskiej
Development of services: transportation - shipping - logistics in poland after the european union accession 20

Karol NADOLNY, Zbigniew CHMIELEWSKI, Jan NIKONIUK

Bezinwazyjna metoda oceny zużycia tulei cylindrowych silnika ZS
Non-invasive estimation of cylinder wear in a diesel engine 30

Victor LYUMKIS

Methods of estimation of activity efficiency to increase reliability of products outcome 38

Štefan LIŠČÁK, Alica KALAŠOVÁ

Quo vadis Electronic Fee Collection..... 41

Wiesław PIEKARSKI, Sławomir JUŚCIŃSKI

Centra logistyczne w polsce po wejściu do unii europejskiej
Logistic centers in poland after accession to the european union 46

Włodzimierz FIGIEL, Jerzy TARNOWSKI

Badania współczynnika tarcia rurociągu i gruntu na terenach górniczych w obecności wstrząsów
Investigation of friction coefficient of pipeline and ambient soil ground on mainning area with tremblor attendance..... 55

PAŁKA K., WEROŃSKI A.: Stereologia struktury elementów ze stali austenitycznych z dogniatanią warstwą wierzchnią; EiN nr 4/2005, s. 4-12.

W referacie opisano zmiany strukturalne w warstwie wierzchniej elementów ze stali austenitycznych, związane z procesem dogniatania rotacyjnego. Obróbka ta, efektywna i ekonomiczna, w sposób istotny podwyższa właściwości mechaniczne tych elementów, ponadto zwiększa gładkość powierzchni, bardzo istotną w odporności korozyjnej. Do scharakteryzowania stereologii struktur wykorzystano oprogramowanie Image-Pro Plus. W charakterystyce ilościowej przyjęto następujące parametry: powierzchnia ziarna, kąt między główną osią ziarna i pionem, średnica ziarna, średnica Fereta, obwód ziarna, okrągłość. Na podstawie uzyskanych wyników przeanalizowano wpływ dogniatania na zmiany parametrów stereologicznych.

CZERNIEC M., KOMORZYCKI C.: Badanie styku wewnętrznego elementów cylindrycznych o porównywalnych średnicach z małymi odchyłkami od kształtu kołowego; EiN nr 4/2005, s. 13-19.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań styku wewnętrznego elementów cylindrycznych z małymi odchyłkami od kształtu kołowego. Wszystkie znane prace z tej dziedziny nie podejmują problemu wpływu małych odchyłek od kształtu kołowego. Wyprowadzone zostało podstawowe równanie opisujące ten styk i przedstawiono przybliżone jego rozwiązanie metodą kollokacji. Obliczenia numeryczne przeprowadzone zostały dla typowych odchyłek od kształtu kołowego jak np. odchyłek eliptyczności i różnych rodzajów graniastoci, a wyniki przedstawiono w postaci wykresów. Odchyłki od kształtu kołowego mają istotny wpływ na wartości i rozkład nacisków. Wielkości odchyłek od kształtu kołowego przyjmują wartości przemieszczeń sprężystych, a nawet je przewyższają co zmienia zasadniczo idealizowany schemat styku. Dlatego ilościowa ocena tego wpływu jest ważna ze względów praktycznych. Otrzymane wyniki obliczeń wskazują na wpływ niedokładności wykonawczych na podstawowe charakterystyki wytrzymałościowe, znacząco się różniących od wyników otrzymanych w/g klasycznej teorii Herta.

PIEKARSKI W., JUŚCIŃSKI S.: Rozwój sektora usług: transport – spedycja – logistyka w polsce po wstąpieniu do unii europejskiej; EiN nr 4/2005, s. 20-29.

W artykule przedstawiono charakterystykę rynku przewozów towarowych w Polsce po wstąpieniu do Unii Europejskiej. Omówiono strukturę transportu samochodowego i wymagania wobec firm przewozowych. Zamieszczono analizę opłacalności usług w sektorze spedycyjno – transportowym. Przedstawiono rynek usług kurierskich, kierunki jego rozwoju oraz wymagania wobec operatorów logistycznych. Podsumowanie zawiera prognozę i warunki długofalowego rozwoju branży transport – spedycja - logistyka w Polsce.

NADOLNY K., CHMIELEWSKI Z., NIKONIUK J.: Bezinwazyjna metoda oceny zużycia tulei cylindrowych silnika ZS; EiN nr 4/2005, s. 30-37.

W pracy zaprezentowano nową metodę oceny zużycia tulei cylindrowych silnika ZS wykorzystującą informacje pochodzące z eksploatowanego w silniku oleju. Zmiany własności fizykochemicznych oleju w czasie eksploatacji odzwierciedlają m.in. stan techniczny układu tłok-pierścienie-cylinder. Zjawiska degradacji i odświeżania oleju w czasie eksploatacji powodują zmiany wartości wskaźników opisujących jego stan. Zaproponowany wskaźnik intensywności zmian własności oleju C_w niesie ze sobą uśrednioną informację na temat intensywności oddziaływania silnika na olej, jednocześnie odzwierciedla długotrwałą tendencję obserwowanych zmian. Obliczona wartość wskaźnika dla oleju w chwili jego wymiany pozwala określić zużycie tulei cylindrowych eksploatowanego silnika. Przydatność metody zweryfikowano w badaniach eksploatacyjnych.

LYUMKIS V.: Methods of estimation of activity efficiency to increase reliability of products outcome; EiN nr 4/2005, s. 38-40.

The paper is devoted to comparative analysis of efficiency of one or another activity carried out with the purpose of the improvement of needed characteristics of products. In mathematical aspect, the problem can be reduced to the task of the hypothesis testing regarding the activity efficiency to increase products reliability after their finishing. The details of consideration are presented for the Weibull distribution under the II type censoring conditions.

LIŠČÁK S., KALAŠOVÁ A.: Quo vadis Electronic Fee Collection; EiN nr 4/2005, s. 41-45.

Electronics Fee Collection (EFC) is among priority elements of transport telematics. According to categorization of basic services of ITS (Intelligent Transport Systems) defined by European project KAREN, EFC is the part of financial services and transport control groups, emergency, and demand which is one of the main services in wide portfolio of IDS users needs. Fee collection is a typical transport service highly dependent on identification of vehicle type and position. In our contribution we would like to concentrate on transport performance payments.

PIEKARSKI W., JUŚCIŃSKI S.: Centra logistyczne w polsce po wejściu do unii europejskiej; EiN nr 4/2005, s. 46-54.

W artykule przedstawiono definicję i funkcje centrów logistycznych oraz warunki ich powstania i rozwoju. Zamieszczono charakterystykę nowoczesnych powierzchni magazynowych w centrach logistycznych. Omówiona została klasyfikacja sektorowa i raport o stanie parków logistycznych oraz podano zestawienie największych centrów logistycznych w Polsce. Przedstawiono wiodące inwestycje realizowane obecnie w kraju. Podsumowanie zawiera prognozę rozwoju centrów logistycznych w Polsce.

FIGIEL W., TARNOWSKI J.: Badania współczynnika tarcia rurociągu i gruntu na terenach górniczych w obecności wstrząsów; EiN nr 4/2005, s. 55-63.

W pracy przedstawiono badania współczynnika tarcia gazociągu i niestabilnego gruntu. Pod wpływem eksploatacji górniczej złóż, dochodzi do obniżenia terenów, w których zagłębione są sieci gazowe. Dodatkowym elementem mającym wpływ na środowisko jest obecność drgań podłoża, pochodzących od wstrząsów para-sejsmicznych. Brak dokładnych obliczeń gazociągów, stawia konieczność badań parametrów wymaganych do projektowania sieci w przedstawionych w pracy warunkach.

PAŁKA K., WEROŃSKI A.: The stereology of the microstructure of stainless steel's elements with burnished surface layer; EiN nr 4/2005, s. 4-12.

In this paper there were presented structural changes in surface layers of austenitic stainless steels after rotary burnishing process. The rotary burnishing process is effective and economical method of strengthening and smoothing stainless steels, it's also increases the corrosion resistance. The characterization of structures has been made with the Image-Pro Plus software. Such stereological parameters as: area, angle, diameter, Feret, perimeter and roundness has been used to quantitative description of influence of burnishing on the steel structure.

CZERNIEC M., KOMORZYCKI C.: Inner contact investigation of cylinders having comparable diameters in case of small out-of-roundness; EiN nr 4/2005, s. 13-19.

In the paper contact problem of the cylindrical elements having small excecutory deviations from circular shape is investigated. All known solutions of such contact problems do not take into account small deviations from circular shape. Basic equation describing the problem is introduced and its asymptotic solution obtained by collocation method is presented. Numerical calculations of quantities characterizing contact for typical deviations from circular shape, like ellipticity, trilobing and tetralobing were presented in graphical way. Out – of – roundness of element contours has an effect on magitude and distribution of the contact pressurer. Admissible values of out – of – roundnesses are comparable with elastic strains of bodies in contact, and even exceed them, what changes idealised scheme of contact mating. Therefore quantitative estimation of that effect is very important for practical reasons. Obtained numerical results point to greate influence of inaccuracy during production on main quantities characterizing contact, compared with results of classic Hertz problem.

PIEKARSKI W., JUŚCIŃSKI S.: Development of services: transportation – shipping – logistics in poland after the european union accession; EiN nr 4/2005, s. 20-29.

The article presents the characteristics of freight business in Poland after the European Union accession. The structure of car transportation and the requirements from shipping firms are discussed. An analysis of services profitability in the shipping – transportation business is shown. The courier services market is presented as well as its prospects and the requirements from logistic operators. The conclusion involves prognosis as well as conditions for a long-term development of the transportation – shipping – logistics business in Poland.

NADOLNY K., CHMIELEWSKI Z., NIKONIUK J.: Non-invasive estimation of cylinder wear in a diesel engine; EiN nr 4/2005, s. 30-37.

The paper presents a new method of estimation of cylinder liner wear in a diesel engine. The method uses data obtained from lubricating oil used in the investigated engine. Changes of physical and chemical properties of oil during operation reflect technical condition of an piston-ring-cylinder assembly. Effects of degradation and renewing of oil during operation cause changes of index values which describe condition of oil. Proposed index of change intensity of oil properties C_w brings averaged information about the impact intensity of engine on the oil. At the same time it reflects long term tendency of observed changes. Calculated value of index for oil at the moment of its change allows for evaluation of wear of the cylinder liners of the investigated engine. Usability of the method was verified during operational research.

PIEKARSKI W., JUŚCIŃSKI S.: Logistic centers in poland after accession to the european union; EiN nr 4/2005, s. 46-54.

The article presents the definition and functions of logistic centers as well as the conditions of their creation and development. A characteristics of modern storage areas in logistic centers was included. Sector classification and report on the condition of logistic parks were discussed and the survey of the largest logistic centers in Poland was presented. The leading investments currently realized in our country were mentioned. The conclusion involves a prognosis for the prospects of logistic centers development in Poland.

FIGIEL W., TARNOWSKI J.: Investigation of friction coefficient of pipeline and ambient soil ground on mainning area with tremblor attendance; EiN nr 4/2005, s. 55-63.

In the paper has been presented the results of investigations to determine the coefficient of static friction pipeline and ambient unstable ground. As a result of a underground stratum exploitation and other mining activity it is occurred ground depression, with gas pipeline in the pan. Additional environment element is ground vibration presence as a result of para seismic shocks. Lack of an accurate calculations construction gas pipelines, arise some necessity to research a pipelines parameters, required to construction design in specified in the paper conditions.

W roku 2005 decyzją Zarządu PNTTE do Rady Naukowej kwartalnika „Eksplatacja i Niezawodność” zaproszono kolejną osobę, aktywnie współpracującą z Towarzystwem. Jest nią prof. Zbigniew Smalko (Politechnika Warszawska). Poniżej prezentujemy krótką notkę biograficzną nowego członka Rady Naukowej naszego wydawnictwa.



Prof. dr hab. inż. Zbigniew SMALKO

Urodził się 9 listopada 1930 roku w Gdyni. Prof. Zbigniew Smalko jest specjalistą w zakresie budowy i eksploatacji maszyn oraz transportu. Główna tematyka zainteresowań naukowych Profesora to niezawodność, diagnostyka i utrzymanie gotowości technicznej maszyn.

Profesor Zbigniew Smalko jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Dniepropietrowsku (mgr inż. mech. 1955). Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w Politechnice Częstochowskiej w 1960 r., doktora habilitowanego w Politechnice Poznańskiej w 1974 r., tytuł naukowy profesora w 1989 roku.

Profesor Zbigniew Smalko był członkiem Komitetu Budowy Maszyn PAN w latach 1976-80. W latach 1972-89 pełnił funkcję przewodniczącego (a od roku 1990 wiceprzewodniczącego) Rady Programowej Zimowych Szkół Niezawodności Sekcji Podstaw Eksploatacji. Od 1990 roku jest członkiem Polskiego Stowarzyszenia Jakości. Od 1994 roku jest wiceprzewodniczącym Komisji Problemowej ds. Niezawodności Polskiego Komitetu Normalizacji, a od 1999 r. redaktorem naczelnym „Archives of Transport” (kwartalnik Komitetu Transportu PAN). Profesor Zbigniew Smalko jest również członkiem Rady Nauki Ministerstwa Nauki i Informatyzacji.

Najważniejsze publikacje książkowe profesora Zbigniewa Smalki to: „Podstawy projektowania niezawodnych maszyn i urządzeń mechanicznych” 1972; „Ocena niezawodności pojedynczych obiektów mechanicznych” 1974; „Inżynieria materiałowa w problematyce niezawodności maszyn” (red. i współautor) 1976; „Przyspieszone badania maszyn rolniczych” (współautor) 1977; „Podstawy eksploatacji technicznej pojazdów” 1987.

Krzysztof PAŁKA
Andrzej WEROŃSKI

STEREOLOGIA STRUKTURY ELEMENTÓW ZE STALI AUSTENITYCZNYCH Z DOGNIATANĄ WARSTWĄ WIERZCHNIĄ

THE STEREOLOGY OF THE MICROSTRUCTURE OF STAINLESS STEEL'S ELEMENTS WITH BURNISHED SURFACE LAYER

W referacie opisano zmiany strukturalne w warstwie wierzchniej elementów ze stali austenitycznych, związane z procesem dogniatania rotacyjnego. Obróbka ta, efektywna i ekonomiczna, w sposób istotny podwyższa właściwości mechaniczne tych elementów, ponadto zwiększa gładkość powierzchni, bardzo istotną w odporności korozyjnej. Do scharakteryzowania stereologii struktur wykorzystano oprogramowanie Image-Pro Plus. W charakterystyce ilościowej przyjęto następujące parametry: powierzchnia ziarna, kąt między główną osią ziarna i pionem, średnica ziarna, średnica Fereta, obwód ziarna, okrągłość. Na podstawie uzyskanych wyników przeanalizowano wpływ dogniatania na zmiany parametrów stereologicznych.

Słowa kluczowe: stereologia, stal austenityczna, dogniatanie, warstwa wierzchnia

In this paper there were presented structural changes in surface layers of austenitic stainless steels after rotary burnishing process. The rotary burnishing process is effective and economical method of strengthening and smoothing stainless steels, it's also increases the corrosion resistance. The characterization of structures has been made with the Image-Pro Plus software. Such stereological parameters as: area, angle, diameter, Feret, perimeter and roundness has been used to quantitative description of influence of burnishing on the steel structure.

Keywords: stereology, austenitic stainless steel, burnishing, surface layer

Wprowadzenie

Dogniatanie jest jedną z metod umacniania stali austenitycznych. Obróbka plastyczna na zimno w całej objętości jest często niecelowa i zbyt kosztowna, natomiast umocnienie samej warstwy wierzchniej pozwala m.in. na zwiększenie wartości granicy plastyczności z 230 MPa do ok. 450 MPa [3,4]. Ponadto stosując dogniatanie uzyskuje się znaczne wygładzenie powierzchni [3,7], co ma bardzo istotne znaczenie w odporności korozyjnej [3,4] i wytrzymałości zmęczeniowej [4]. Proces ten wywołuje bardzo niewielkie zmiany wymiarowe [4,7]. Jest to więc bardzo korzystna obróbka wykańczająca, o bardzo

Introduction

The burnishing process is a method of strengthening the stainless steel. The cold work in whole volume is often aimless and too expensive. The surface layer's strengthening enables increasing of yield stress from 230 MPa to 450 MPa. [3,4]. Moreover, it's possible to obtain a smooth surface [3,7] which is very important in corrosion resistance [3,4] and fatigue strength [4] besides dimensional changes are minimal [4,7]. Therefore, this finishing process is very advantageous on maintenance, durability and reliability of machine elements (fig. 1) especially working

pozytywnym wpływie na eksploatacyjne cechy elementów oraz ich trwałość i niezawodność (rys. 1).

Celem badań było ilościowe określenie zmian stereologii struktury w wyniku obróbki powierzchniowej dogniataniem. Wyniki analizy pozwolą w dalszym etapie badań na powiązanie cech strukturalnych z parametrami procesu obróbki.



Rys. 1. Dogniatany zawór homogenizujący

Fig. 2. Burnished homogenizing valve

Metodyka badań

Materiałem do badań była stal gatunku X5CrNi 18-10 w postaci płytek o wymiarach 15×150 mm i grubości 4 mm. Dogniatanie wykonano na frezarce górnwrzecionowej z zamontowaną głowicą obrotową z dwoma kulkami stalowymi hartowanymi, przy następujących parametrach: siła dogniatająca: 1600 N i 3000 N, posuw 20 mm/min, obroty wrzeciona 60 obr/min. Wykonano dogniatanie dwukrotne w kierunkach wzajemnie prostopadłych.

Próbki do badań mikrostrukturalnych wycięto poprzecznie do głównej osi elementu, mikrostrukturę ujawniono stosując trawienie wodą królewską. Badania mikrostruktur pod kątem charakterystyk ilościowych i jakościowych wykonano wykorzystując oprogramowanie Image-Pro Plus. Do oceny mikrostruktur przyjęto następujące parametry [1,2,5,6]:

- powierzchnia ziarna,
- kąt między główną osią ziarna i pionem,
- średnica ziarna – określona jako średnia wartość długości odcinków przechodzących przez środek ziarna, poprowadzonych w odstępach co 2°,
- Feret – największy lub najmniejszy wymiar prostokąta opisanego na ziarnie, wyznaczono wartość średnią,
- obwód ziarna,
- okrągłość – określona jako stosunek kwadratu obwodu do powierzchni pomnożonej przez 4π ; wartość 1 oznacza idealny okrąg.

Fotografie mikrostruktur poddane były obróbce, mającej na celu wyróżnienie granic ziarn. Dokonano skalowania, umożliwiającego pomiar parametrów w jednostkach długości (μm). Do analizy wybrano fragment fotografii zawierający kilkaset ziarn. Jako wyniki przedstawione zostały wartości średnie analizowanych parametrów. Charakteryzowano tylko warstwy przypowierzchniowe, ponieważ w tych rejonach obserwowano największe różnice w stosunku do struktury podstawowej. Zaprezentowano

in conditions of intense wear, e.g. in food processing industries.

The quantitative description in microstructure changes was the main aim of this study. Obtained results will make possible in following studies to know the correlation between stereology parameters and burnishing parameters.

The research methodology

The object of research was the stainless steel type X5CrNi 18-10 used as plates 15×150 mm and 4 mm thick. The burnishing process was conducted on milling machine with rotation head equipped with 2 hardened balls. Parameters of the process were: burnishing load 1600N and 3000 N, feed 20 mm/min; head rotation 60 rpm. Specimens were burnished twice in reciprocally perpendicular direction.

Microstructural specimens were cut out crosswise to major axis, then grinded, polished and etched with nitrohydrochloric acid. The quantitative study of microstructures was performed using the Image-Pro Plus software. In studies there were used following parameters [1,2,5,6]:

- the area of the grain,
- the angle between the major axis and the vertical,
- the diameter of the grain – specified as the average length of diameters measured at 2 degree intervals and passing through object centroid;
- the Feret – average caliper length
- the perimeter of the grain,
- the roundness – specified as $\text{area}^2/4\pi \cdot \text{perimeter}$; value “1” means perfect circle.

Micrographs were processed to discriminate grains boundaries. Also the calibration was performed to obtain results in length units (μm). A fragment contain a few hundreds of grains was chosen to analyze. Average values of stereology parameters were presented as a result. Only subsurface layers were characterized, because there were greatest changes in this area in comparison to basic structure. There were presented the quantitative and the qualitative effects of burnishing the steel X5CrNi 18-10 with load of 1600N and 3000N. As a comparison there were shown results obtained for the same type steel after hyperquenching.

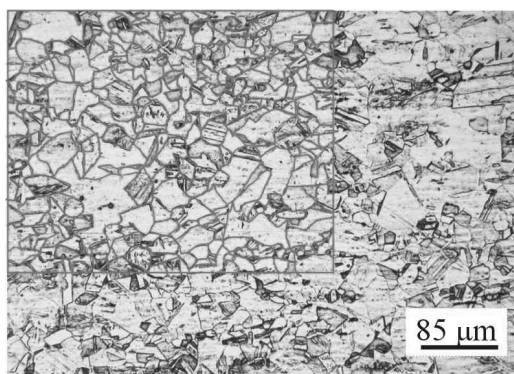
ilościowe i jakościowe efekty dogniatania dla stali X5CrNi 18-10 przy zastosowaniu dwóch wartości sił dogniatających: 1600N i 3000N. Dla porównania przedstawiono wyniki analizy dla stali przesycaanej.

Wyniki badań i ich analiza

Fotografie mikrostruktur wraz z obszarem pomiarowym i ekstrakcją granic ziarn oraz klasyfikacją wielkości ziarn przedstawiono na rysunkach: na rys. 2 – stali przesycaanej, rys. 5 – dogniatanej z siłą 1600 N i na rys. 8 – dogniatanej z siłą 3000 N. Wyniki analiz ilościowych wraz z odziałem na klasy wg wielkości powierzchni zamieszczono w tablicach, odpowiednio 1, 2 i 3.

W stanie przesyconym widoczny jest nieodkształcony austenit z wydzieleniami pierwotnymi oraz bliźniakami (rys. 2). Widoczny jest pewien rozrzut wielkości ziarn spowodowany obróbką cieplną. Po umocnieniu obserwuje się wydłużenie i odkształcenie ziarn oraz bliźniaki odkształcania (rys. 5 i 8) Ponadto obserwowano wzrost ilości pasm poślizgu i gęstości dyslokacji w odkształconych ziarnach.

Przesycaana stal X5CrNi 18-10 (rys. 2) charakteryzuje się średnią wielkością ziarna 213,7 μm², przy czym występuje duży rozrzut wielkości – od ok. 3 μm² do ponad 3000 μm². Ziarna nie posiadają określonej orientacji przestrzennej, kąt między główną osią i pionem zawiera się w zakresie 0,15÷179°. Większość ziarn charakteryzuje się równoosiowością, wskaźnik okrągłość przyjmuje wartości



Rys. 2. Mikrostruktura stali X5CrNi 18-10 po przesycaaniu z obszarem pomiarowym wraz z ekstrakcją granic ziarn

Fig. 2. Microstructure of X5CrNi 18-10 stainless steel after hyperquenching with measure area and grain boundaries extraction

Results and discussion

Micrographs with area of interest and grain boundaries extraction and also grain size classification were presented on figures: fig. 2 – steel after hyperquenching, fig. 5 – steel after rotary burnishing with load of 1600 N and fig. 8 – steel after rotary burnishing with load of 3000 N. Results of quantitative analysis with class partition by area size were presented in tables 1, 2 and 3 respectively.

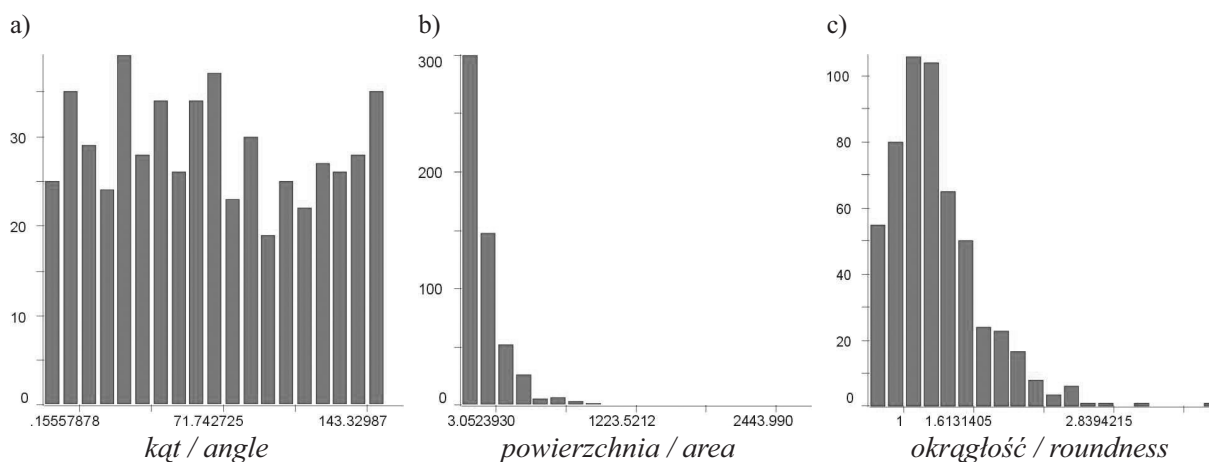
After hyperquenching in the structure there were observed equiaxial grains of austenite with primary precipitations and annealing twins (fig. 2). After strengthening there was observed elongation and deformation of grains and also deformation twins (fig. 5 and 8). Moreover, increasing of slip bands and dislocation density there were revealed in deformed grains.

The average size of grains in the steel after hyperquenching (fig. 2) had a value of 213.7 μm² with the range from about 3 to over 3000 μm². Grains had not been spatial oriented, the angle between major axis and the vertical had a range 0.15÷179°. Most of grains were equiaxial, the roundness had a value between 1.43 and 1.66. Geometrical parameters such as the diameter, the perimeter and the Feret had approximately the

Tab. 1. Wyniki pomiarów dla przesycaanej stali X5CrNi 18-10 (wymiar w μm)

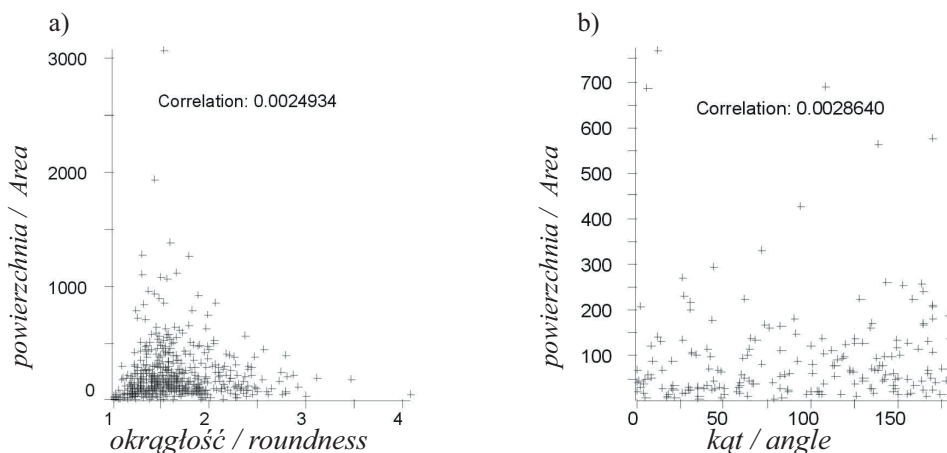
Tab. 1. Measurements for hyperquenching X5CrNi 18-10 stainless steel (dimensions in μm)

Klasa	Ilość ziarn	% ziarn	Powierzchnia		Kąt	Średnica	Obwód	Okrągłość	Feret
			średnia	% udziału	średnia	średnia	średnia	średnia	
			Area		Angle	Diameter	Perimeter	Roundness	Feret
Class	number of grains	% of grains	average	%	average	average	average	average	average
1	152	27,839	88,610	11,54	74,049	9,631	39,260	1,572	11,432
2	133	24,359	171,818	19,58	22,692	13,574	55,182	1,619	15,887
3	136	24,909	135,288	15,76	152,583	11,974	48,798	1,585	14,135
4	3	0,549	1304,186	3,35	52,165	40,381	159,438	1,558	44,068
5	120	21,978	442,523	45,50	102,952	22,702	92,547	1,661	25,946
6	1	0,183	1933,386	1,66	88,584	48,805	186,431	1,431	56,574
7	1	0,183	3054,224	2,61	126,802	61,448	241,648	1,521	70,011
suma total	546	100	116 722,6	100					



Rys. 3. Histogramy kąta, powierzchni i okrągłości dla przesycanej stali X5CrNi 18-10

Fig. 3. Histograms of the angle, the area and the roundness for hyperquenched X5CrNi 18-10 steel



Rys. 4. Wybrane zależności parametrów stereologicznych dla przesycanej stali X5CrNi 18-10

Fig. 4. Selected relationships of stereological parameters for hyperquenched X5CrNi 18-10 steel

z zakresu 1,43 do 1,66. Parametry geometryczne – średnica, obwód, Feret wykazują rozkład zbliżony do rozkładu Gaussa (rys. 3). Okrągłość ziarn wykazuje maksimum przy wartości ok. 1,6, jednakże największa część analizowanego zbioru zawiera się w zakresie zbliżonym do idealnie okrągłego (wartość bliska 1 – rys. 3). Można stwierdzić, że badana stal posiada równoosiowe ziarna o średniej średnicy 14,38 μm i pewnym rozrzucie wielkości spowodowanym obróbką cieplną – szczególnie w przypadkach 5 największych ziarn.

Wykresy zależności pomiędzy kątem głównej osi a powierzchnią oraz okrągłością a powierzchnią, zaprezentowano na rys. 4. Analiza uzyskanych wyników wskazuje na brak korelacji pomiędzy tymi parametrami. Brak jest jednoznacznej orientacji przestrzennej ziarn oraz związku między powierzchnią ziarna i jego okrągłością. Kształt ziarn jest zatem przypadkowy i nie związany z wielkością (rys. 4).

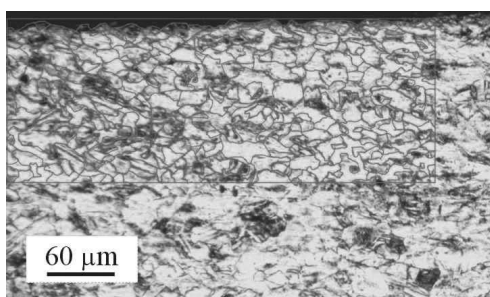
Stal X5CrNi 18-10 poddana dogniataniu z siłą 1600N (rys. 5) w warstwie podpowierzchniowej charakteryzuje się średnią wielkością ziarna 53,38 μm^2 ,

Gaussian distribution (fig. 3). The roundness had a maximum sample size at value of 1.6, but the largest analyzed range had values near 1 (grain looks like almost a perfect circle – fig. 3). It may be said, that examined steel had an equiaxial grains with average diameter of 14.38 μm and a little dispersion of averages caused by heat treatment – especially in cases of the 5 largest grains.

Charts of relationships between the angle and the area and also the roundness and the area were presented on fig. 4. Analysis of results showed a lack of correlation between those parameters. Grains weren't unequivocally spatial oriented. Grains shapes were not dependent from the area, so the shape was quite random (fig. 4).

The steel after burnishing with the load of 1600N (fig. 5) had an average grain area of 53,38 μm^2 with the range from 2.1 μm^2 to 455 μm^2 in subsurface layer. Over 96% of analyzed section has been created of grains with the area less than 143.599 μm^2 . The wide range of angle was observed: from 0° to 178°, besides

przy czym rozrzut wielkości wynosi od $2,1 \mu\text{m}^2$ do $455 \mu\text{m}^2$. Ponad 96% powierzchni stanowią ziarna o polu nie większym niż $143,599 \mu\text{m}^2$. Obserwuje się szeroki zakres wartości kąta między osią główną ziarna i pionem – od 0° do 178° , przy czym ponad 75% analizowanych ziarn jest wydłużona w kierunku poziomym (w kierunku odkształcania). Kąt głównej osi ma rozkład Gaussa z maksimum przy ok. 90° , ziarna są więc odkształcone w kierunku równoległym do powierzchni elementu obrabianego (rys. 6). Jest to również widoczne na zamieszczonej na rys. 5 fotografii struktury – ziarna są wyraźnie odkształcone i wydłużone w poziomie. Średnica, Feret i obwód wykazują rozkład zbliżony do roz-



Rys. 5. Mikrostruktura stali X5CrNi 18-10 po dogniataniu z siłą 1600 N z naniesionym obszarem pomiarowym i ekstrakcją granic ziarn

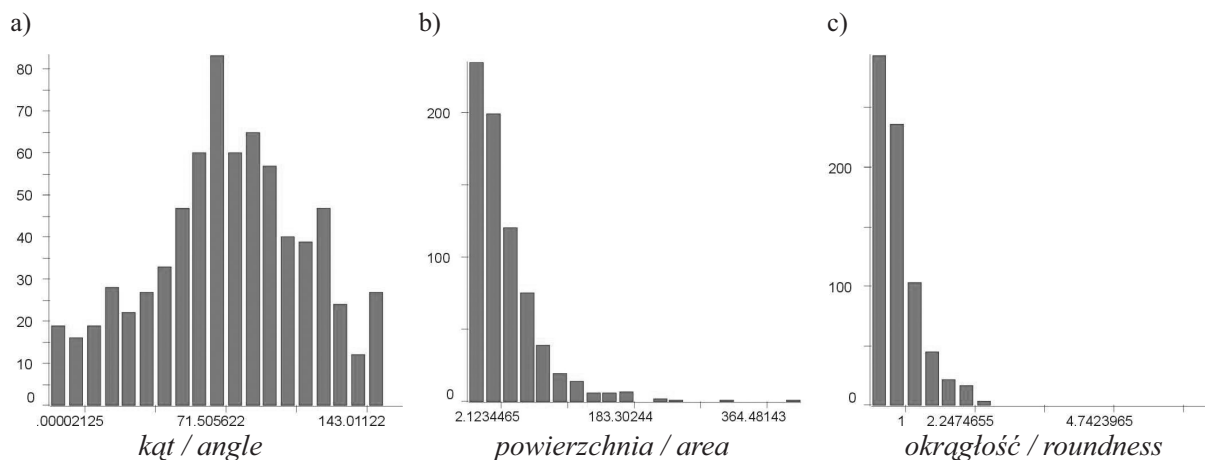
Fig. 5. Microstructure of X5CrNi 18-10 stainless steel after rotary burnishing with load of 1600 N with measure area and grain boundaries extraction

over 75% of analyzed grains was horizontally elongated. The angle of major axis had the Gaussian distribution with the maximum at 90° , so grains were deformed in parallel to treated surface. It was also shown on fig. 5 – grains were deformed and horizontally elongated. Diameter, Feret and perimeter had approximately the Gaussian distribution with the maximum moved to lower values (Fig. 6). Rest of stereological parameters distribution, such as area and roundness had maximums for the least grains and the distribution hyperbolically decreasing. Roundness had a values in range from 1.42 to 2.266, which show the deformation range in comparison to basic structure.

Tab. 2: Wyniki pomiarów dla stali X5CrNi 18-10 dogniatanej z siłą 1600 N (wymiary w μm)

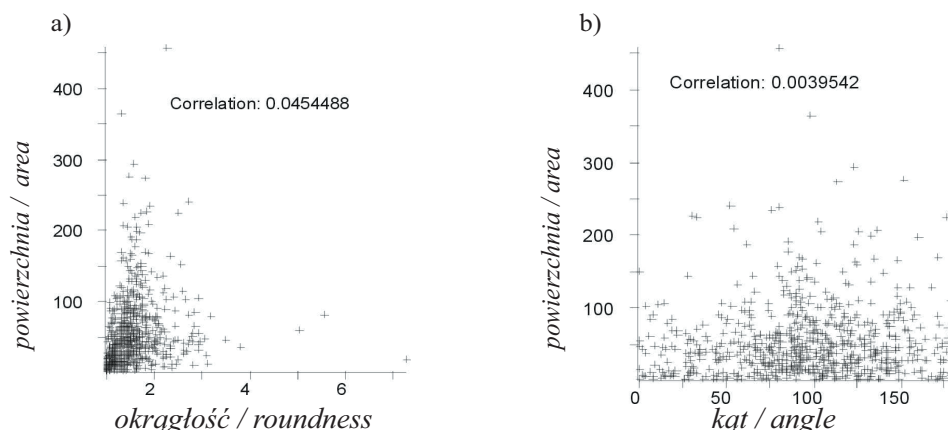
Tab. 2: Measurements for burnished X5CrNi 18-10 stainless steel (load of 1600 N; dimensions in μm)

Klasa	Ilość ziarn	% ziarn	Powierzchnia		Kąt	Średnica	Obwód	Okrągłość	Feret
			średnia	% udziału	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia
Class	number of grains	% of grains	Area		Angle	Diameter	Perimeter	Roundness	Feret
			mean	%	mean	mean	mean	mean	mean
1	345	47,586	26,008	23,18	71,697	5,280	20,703	1,474	6,323
2	2	0,276	225,249	1,16	31,927	16,419	78,022	2,164	20,305
3	91	12,552	143,599	33,76	95,306	13,445	54,476	1,701	15,854
4	111	15,310	72,352	20,76	90,074	9,367	38,519	1,694	11,368
5	174	24,000	42,301	19,02	144,936	6,708	26,047	1,420	7,901
6	1	0,138	365,069	0,94	98,389	20,847	77,742	1,317	23,387
7	1	0,138	455,071	1,18	80,727	23,865	113,827	2,266	28,422
suma total	725	100	38 702,35	100					



Rys. 6. Histogramy kąta, powierzchni i okrągłości dla dogniatanej stali X5CrNi 18-10 (siła 1600 N)

Fig. 6. Histograms of the angle, the area and the roundness for burnished X5CrNi 18-10 steel (load 1600 N)



Rys. 7. Wybrane zależności parametrów stereologicznych dla dogniatanej stali X5CrNi 18-10 (siła 1600 N)
 Fig. 7. Selected relationships of stereological parameters for burnished X5CrNi 18-10 steel (load 1600 N)

kładu Gaussa z maksimum przesuniętym w kierunku niskich wartości. Pozostałe parametry geometryczne – *powierzchnia* i *okragłość* mają maksimum dla najmniejszych ziarn, a rozkład hiperbolicznie malejący. *Okragłość* ziarn przyjmuje wartości z zakresu 1,42 do 2,266, co świadczy o znacznym odkształceniu ziarn w stosunku do struktury podstawowej.

Dogniatanie rotacyjne z siłą 1600 N powoduje znaczne rozdrobnienie ziarn, średnia powierzchnia ziarna jest 4-krotnie mniejsza niż w przypadku stali przesycaanej. Ziarna w strefie podpowierzchniowej są odkształcone wzdłużnie do powierzchni elementu, jednakże odkształcenie nie jest znaczne, na co wskazują wyniki pomiaru okragłości ziarn.

Wykresy przedstawione na rys. 7 przedstawiają zależności pomiędzy *kątem* głównej osi *powierzchnią* oraz *okragłością* a *powierzchnią*. W porównaniu do stali przesycaanej obserwuje się nieznacznie lepszą korelację analizowanych parametrów. Duży rozrzut wyników wskazuje na przypadkowość rozkładu powierzchni w funkcji kąta (rys. 7). Jednakże histogram kąta jednoznacznie wskazuje na zorientowanie przestrzenne ziarn.

Stal X5CrNi 18-10 poddana dogniataniu z siłą 3000 N w warstwie podpowierzchniowej charakteryzuje się średnią powierzchnią ziarna $110,7 \mu\text{m}^2$, przy czym rozrzut wielkości wynosi od $3,35 \mu\text{m}^2$ do $1129 \mu\text{m}^2$, a ponad 57% powierzchni stanowią ziarna o średniej *powierzchni* $203,349 \mu\text{m}^2$. Obserwuje się szeroki zakres wartości *kąta* między osią główną ziarna i pionem – od 1° do 179° . *Kąt* głównej osi ma rozkład Gaussa z maksimum przy ok. 90° przy czym ponad 98% ziarn (23% więcej niż w przypadku dogniatania z siłą 1600 N) jest odkształconych równoległe do powierzchni obrabianego elementu (rys. 9). Jest to również widoczne na zamieszczonej na rys. 8 fotografii struktury – ziarna są wyraźnie odkształcone i wydłużone w poziomie. Histogram *kąta* jest płaski z maksimum dla wartości ok. 90° , wskazuje

The burnishing process conducted with load of 1600 N caused considerably size reduction. The average grain *area* is 4 times less than in hyperquenched steel. In subsurface layer there were observed longitudinal deformation of grains, however this deformation wasn't meaningful, which was proved in *roundness* results.

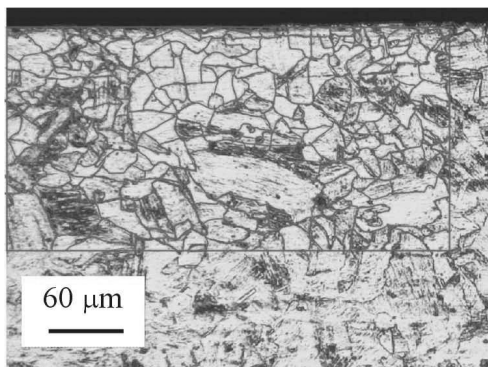
Charts presented on fig. 7 showed relations between *the angle* and *the area* and also *the roundness* and *the area*. In comparison to hyperquenched steel there were observed insignificant better correlation of analysed parameters. A large dispersion of results indicated that there was a random distribution of *the area* as a function of *the angle* (fig. 7). However, *the angle* histogram unequivocally pointed on orientation of grains.

The structure of steel after burnishing with the load of 3000 N (fig. 8) in subsurface layer had an average grain *area* of $110.7 \mu\text{m}^2$ with the range from $3.35 \mu\text{m}^2$ to $1129 \mu\text{m}^2$, beside over 57% of analyzed section has been created of grains with the average *area* $203.349 \mu\text{m}^2$. The wide range of *angle* was observed: from 1° to 179° . *The Angle* had the Gaussian distribution with the maximum at 90° (fig. 9), beside over 98% of analyzed grains was horizontally elongated (it was 23% more in comparison to burnishing with 1600 N load). It was also shown on micrograph on fig. 8 – grains were deformed and horizontally elongated. *The angle* histogram was flat in shape with max values for 90° . It showed that grains were variously oriented with dominant direction in parallel to the surface. Such a dispersion of *the angle* values pointed at two-directional deformation of grains as effect of rotary burnishing.

The diameter, *Feret* and *perimeter* had approximately the Gaussian distribution with the maximum moved to lower values. Rest of stereological parameters – *the area* and *roundness* had maximums for the least grains and the distribution hyperbolicly

to różne zorientowanie przestrzenne ziarn z dominującym kierunkiem równoległym do powierzchni. Taki rozrzut wartości kąta świadczy o dwukierunkowym odkształceniu ziaren w wyniku rotacyjnego dogniatania.

Średnica, Feret i obwód wykazują rozkład podobny do rozkładu Gaussa z maksimum przesuniętym w kierunku niskich wartości. Pozostałe parametry geometryczne – powierzchnia i okrągłość mają maksimum dla najmniejszych ziarn i rozkład hiperbolicznie malejący. Okrągłość ziarn wykazuje maksimum przy wartości bliskiej 1,0 (największa liczność zbioru), natomiast wartość średnia wynosi 1,547.



Rys. 8. Mikrostruktura stali X5CrNi 18-10 po dogniataniu z siłą 3000 N z naniesionym obszarem pomiarowym i ekstrakcją granic ziarn

Fig. 8. Microstructure of X5CrNi 18-10 stainless steel after rotary burnishing with load of 3000 N with measure area and grain boundaries extraction

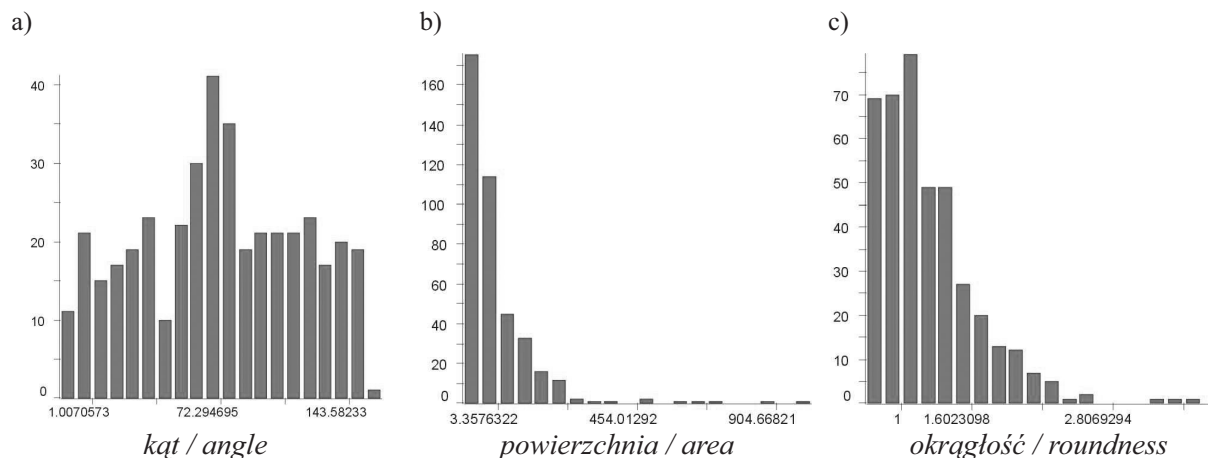
decreasing. The roundness distribution had a maximum value near 1.0 (greatest sample size), whereas the average value was 1.547.

Charts presented on fig. 10 showed relations between selected stereological parameters. There were observed insignificant correlation between the roundness and the area, which points at relation between the shape and the size of grains. A large dispersion of results indicated that there was a random distribution of the area as a function of the angle (fig. 10). However, the angle histogram unequivocally pointed on orientation of grains.

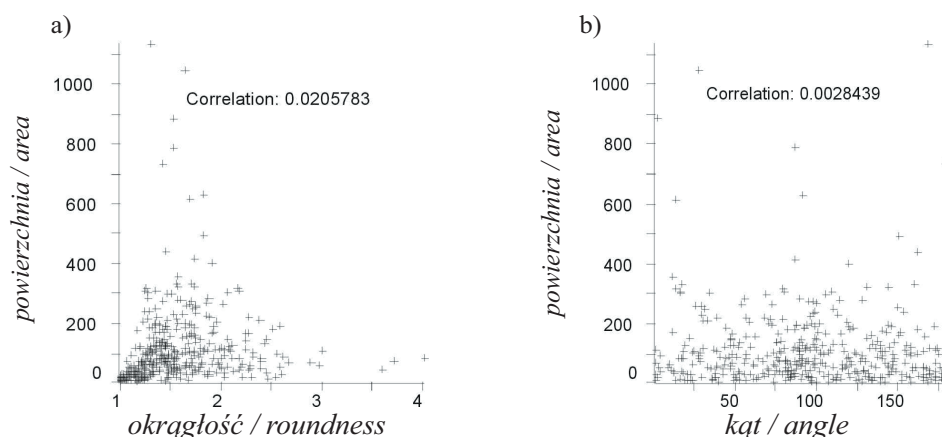
Tab. 3. Wyniki pomiarów dla stali X5CrNi 18-10 dogniatanej z siłą 3000 N (wymiar w μm)

Tab. 3. Measurements for burnished X5CrNi 18-10 stainless steel (load of 3000 N, dimensions in μm)

Klasa	Ilość ziarn	% ziarn	Powierzchnia		Kąt	Średnica	Obwód	Okrągłość	Feret
			średnia	% udziału	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia
			Area		Angle	Diameter	Perimeter	Roundness	Feret
Class	number of grains	% of grains	mean	%	mean	mean	mean	mean	mean
1	273	67,242	51,519	31,27	96,734	7,389	29,583	1,493	8,744
2	1	0,246	610,479	1,36	14,108	27,152	114,107	1,697	31,098
3	1	0,246	627,267	1,39	91,595	27,448	119,997	1,827	31,858
4	127	31,282	203,349	57,43	89,007	15,526	63,464	1,660	18,121
5	1	0,246	788,128	1,76	86,555	31,648	123,437	1,538	34,153
6	1	0,246	882,752	1,96	2,866	32,964	130,632	1,538	38,960
7	1	0,246	1042,697	2,32	27,446	36,850	146,391	1,636	42,289
8	1	0,246	1129,996	2,51	168,898	37,874	136,700	1,316	41,340
suma total	406	100	44 971,33	100					



Rys. 9. Histogramy kąta, powierzchni i okrągłości dla dogniatanej stali X5CrNi 18-10 (siła 3000 N)
Fig. 9. Histograms of the angle, the area and the roundness for hyperquenched X5CrNi 18-10 steel



Rys. 10. Wybrane zależności parametrów stereologicznych dla przesycającej stali X5CrNi 18-10 (siła 3000 N)
 Fig. 10. Selected relationships of stereological parameters for for burnished X5CrNi 18-10 steel (load 3000 N)

Wykresy przedstawione na rys. 10 przedstawiają zależności wybranych parametrów stereologicznych. Pomiedzy *okrągłością* a *powierzchnią* zaznacza się nieznaczna korelacja, co świadczy o pewnym powiązaniu kształtu z wielkością. Natomiast brak jest istotnego związku pomiędzy *kątem* głównej osi a *powierzchnią*, czyli występuje przypadkowość rozkładu powierzchni w funkcji kąta (rys. 10).

Podsumowując można stwierdzić, że dogniatanie z siłą 3000 N powoduje mniejsze rozdrobnienie ziarn niż dogniatanie z siłą 1600 N. Średnia powierzchnia ziarna w przypadku siły dogniatania 3000 N jest 2-krotnie mniejsza niż w przypadku stali przesycającej. Ziarna w strefie podpowierzchniowej są odkształcone wzdłużnie do powierzchni elementu, jednakże odkształcenie nie jest znaczne, na co wskazuje histogram *okrągłości* ziarn.

Dogniatanie rotacyjne głowicą z dwoma kulkami powoduje dwukrotne odkształcenie powierzchni w kierunkach wzajemnie prostopadłych, przy czym prawdopodobnym jest zniwelowanie uzyskanego w pierwszym przejściu odkształcenia, w wyniku czego ziarna odzyskują częściowo pierwotny kształt (mała zmiana wskaźnika *okrągłość*). Ponadto duże siły dogniatania podczas dwukrotnego oddziaływania głowicy na materiał powodują zmniejszenie ilości granic ziarn, w efekcie czego powstają duże równoosiowe ziarna, odkształcone i ukierunkowane równoległe do powierzchni. Prawdopodobnie rozdrobnienie ziarn następuje w pierwszym przejściu głowicy, natomiast w drugim przejściu drobne ziarna łączą poprzez zanikanie granic ziarn na skutek silnego gniotu. W przypadku stali dogniatanej z siłą 3000 N ponad 57% udziału powierzchni stanowią ziarna o średniej powierzchni ok. $203 \mu\text{m}^2$, a więc 4-krotnie większej niż pozostałe i niemal 2-krotnie większej niż ziarna o największym udziale w stali dogniatanej siłą 1600 N – odpowiednio

Summarize, it might be said that burnishing with 3000 N load causes less size reduction than burnishing with 1600 N load. The average *area* of grain in case of 3000 N load is twice less than in the hyperquenched steel. Grains in subsurface layer were horizontally deformed; however deformation wasn't big which was shown on *the roundness* histogram.

The burnishing process conducted with rotation head equipped in 2 balls caused twice deformation in reciprocally perpendicular direction. The probability is that the first pass deformation is liquidated by the second pass in which grains recover its original shape (small change of *roundness*). Moreover, big loads in double impact of rotation head causes reduction of grain borders, as effect of this there are created big equiaxial grains slightly deformed and oriented parallel to surface. It's most probably that grain size reduction occurs in first pass of burnished head, in second pass small grains join by boundaries decay. In case of steel burnished with 3000 N load over 57% of analyzed section has been created of grains with the average *area* $203.349 \mu\text{m}^2$ – it's 4 times more than the rest and almost twice more than the bigger fraction of grains in steel burnished with 1600 N load – 33.76% of analyzed section has an *area* of $143.599 \mu\text{m}^2$ respectively.

33,76% udziału stanowią ziarna o średniej powierzchni 143,599 μm^2 .

Wnioski

Na podstawie analizy wyników badań i obliczeń sformułowano następujące wnioski:

- Rozdrobnienie ziarn jest bardziej intensywne przy dogniataniu z mniejszą siłą. Przy sile 1600 N średnia średnica ziarna była 2-krotnie mniejsza niż przy dogniataniu z siłą 3000 N.
- Dogniatanie rotacyjne powoduje odkształcenie ziarn w kierunku równoległym do powierzchni obrabianej, przy czym ze wzrostem siły obserwuje się większe ukierunkowanie ziarn.
- Dogniatanie rotacyjne z dużą siłą sprzyja procesowi łączenia drobnych ziarn, w wyniku czego powstają ziarna o kształcie zbliżonym do równoosiowego, przy czym obserwuje się niejednorodne ukierunkowanie tak odkształconych ziarn.
- Wskazana jest optymalizacja procesu dogniatania ze względu na wymagane właściwości wytrzymałościowe i odporność korozyjną, ważną szczególnie w przypadku elementów maszyn pracujących w środowisku korozyjnym.

Literatura

- [1] Kurzydłowski K.J., Ralph B.: *The quantitative description of the microstructure of materials*. Boca Raton, CRC Press, 1995.
- [2] Latała Z., Wojnar L.: *Computer-aided versus manual grain size assessment in a single phase material*. *Materials Characterization* 46 (2001) 227– 233.
- [3] Pałka K., Weroński A.: *Efekty stosowania powierzchniowej obróbki plastycznej stali austenitycznych w budowie maszyn spożywczych*. Inżynieria Rolnicza, nr 9, PAN, Warszawa 2002.
- [4] Przybyłowicz K.: *Strukturalne aspekty odkształcania metali*. WNT Warszawa 2002.
- [5] Ryś. J.: *Stereologia materiałów*. Wyd. Fotobit Design, Kraków 1995.
- [6] Wojnar L. *Image analysis. Applications in materials engineering*. Boca Raton, CRC Press, 1998.
- [7] Wyrzykowski J., Pleszakow E., Sieniawski J.: *Odształcanie i pękanie metali*. WNT Warszawa 1999.

Summary

On the analyze of the results the following conclusions have been made:

- The size reduction is more intensive in burnishing with less load. The average diameter was twice less in burnishing with 1600 N load in comparison to 3000 N.
- The rotary burnishing process causes deformation of grains in parallel to treated surface, besides increasing of load causes bigger orientation of grains.
- A big loads during burnishing causes joining of small grains; as effect of this there are created big and almost equiaxial grains, besides there was inhomogeneous orientation of grains of that deformation.
- There's a need an optimisation of burnishing process to obtain require properties and corrosion resistance, which is important especially in case of elements working in corroding medium.

Dr inż. Krzysztof PAŁKA
Prof. zw. dr hab. inż. Andrzej WEROŃSKI

Katedra Inżynierii Materiałowej
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: k.palka@pollub.pl

BADANIE STYKU WEWNĘTRZNEGO ELEMENTÓW CYLINDRYCZNYCH O PORÓWNYWALNYCH ŚREDNICACH Z MAŁYMI ODCHYŁKAMI OD KSZTAŁTU KOŁOWEGO

INNER CONTACT INVESTIGATION OF CYLINDERS HAVING COMPARABLE DIAMETERS IN CASE OF SMALL OUT-OF-ROUNDNESS

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań styku wewnętrznego elementów cylindrycznych z małymi odchyłkami od kształtu kołowego. Wszystkie znane prace z tej dziedziny nie podejmują problemu wpływu małych odchyłek od kształtu kołowego. Wyprowadzone zostało podstawowe równanie opisujące ten styk i przedstawiono przybliżone jego rozwiązanie metodą kollokacji. Obliczenia numeryczne przeprowadzone zostały dla typowych odchyłek od kształtu kołowego jak np. odchyłek eliptyczności i różnych rodzajów graniastości, a wyniki przedstawiono w postaci wykresów.

Odchyłki od kształtu kołowego mają istotny wpływ na wartości i rozkład nacisków. Wielkości odchyłek od kształtu kołowego przyjmują wartości przemieszczeń sprężystych, a nawet je przewyższają co zmienia zasadniczo idealizowany schemat styku. Dlatego ilościowa ocena tego wpływu jest ważna ze względów praktycznych.

Otrzymane wyniki obliczeń wskazują na wpływ niedokładności wykonawczych na podstawowe charakterystyki wytrzymałościowe, znacząco się różniących od wyników otrzymanych w/g klasycznej teorii Hertza.

Słowa kluczowe: kontakt mechaniczny, elementy cylindryczne, tolerancja okrągłości

In the paper contact problem of the cylindrical elements having small executory deviations from circular shape is investigated. All known solutions of such contact problems do not take into account small deviations from circular shape.

Basic equation describing the problem is introduced and its asymptotic solution obtained by collocation method is presented. Numerical calculations of quantities characterizing contact for typical deviations from circular shape, like ellipticity, trilobing and tetralobing were presented in graphical way.

Out – of – roundness of element contours has an effect on magnitude and distribution of the contact pressurer. Admissible values of out – of – roundnesses are comparable with elastic strains of bodies in contact, and even exceed them, what changes idealised scheme of contact mating. Therefore quantitative estimation of that effect is very important for practical reasons. Obtained numerical results point to greate influence of inaccuracy during production on main quantities characterizing contact, compared with results of classic Hertz problem.

Keywords: mechanical contact, cylindrical elements, deviations from circular shape, non-Hertzian contact, collocation method

1. Introduction

In contact strength problem of the cylindrical joints (slide bearings, bolted and articulated joints, guides, chains, brakes, chucks), computational scheme for circular elements [2,4,5] is used. All well-known solutions of such contact problems do not take into account small deviations from circular shape (ellipti-

city, ovality, lobing) resulting from inaccuracy during production of mentioned joints. Out-of-roundness of element contours has an effect on magnitude and distribution of the contact pressures. Admissible values of out-of-roundnesses are comparable with elastic strains of bodies in contact, and even exceed them, what changes idealised scheme of contact mating. Therefore quantitative estimation of that effect is very important

for practical reasons. Problem was stated in the same way in monograph [3], where basis of its solution well-known earlier [1,2], were described in details. In case of ideal contours, problems of the contact strength are the classic ones [2 and others].

In the present article, only authors original results were presented. Quotation of earlier known solutions was limited to indispensable minimum.

2. Problem formulation

Let us consider the following plane contact problem of linear theory of elasticity. In the hole of elastic infinite plane isotropic shield 1, the elastic disk 2 is situated (Fig.1). Contours L_1 (hole) and L_2 (disk) differ somewhat from circles $L^{(1)}$ and $L^{(2)}$ having similar nominal radii R_1 and R_2 . Characteristics $\delta_k(\alpha) \ll R_k$ (Fig. 1) of initial out-of roundness forming of owing of inaccuracy execution may be presented in following way:

$$\delta_k(\alpha) = (-1)^k [R^{(k)}(\alpha) - R_k] \quad (1)$$

where: α - polar coordinate of the contour point, $R^{(k)}(\alpha)$ - radius-vector contour of the hole ($k=1$) and the disk ($k=2$).

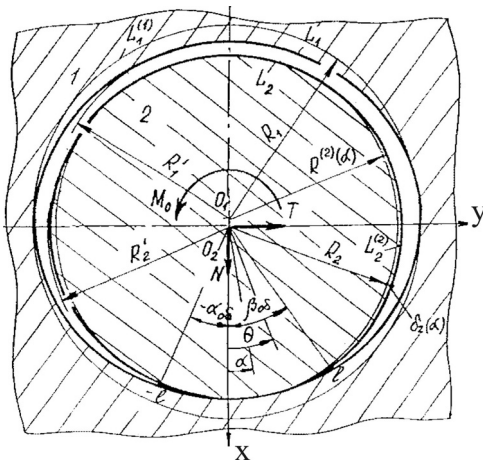


Fig. 1. Computational scheme of the cylindrical joint for elements with small out-of-roundness

Interaction of the elements in contact is caused by static forces N, T and couple of forces having moment M_o . In the contact zone, normal contact stresses $\sigma_r(\alpha, \delta)$ and tangent ones $\tau_{ra}(\alpha, \delta)$ occur. Problem consists in determining distribution of the radial contact pressures $p(\alpha, \delta) = -\sigma_r(\alpha, \delta)$ and the contact zone limited by the angles $\alpha_{o\delta}$ and $\beta_{o\delta}$ (Fig.1), assuming that elements 1 and 2 remain in static equilibrium, and in the zone of point of junction $-\alpha_{o\delta} \leq \alpha \leq \beta_{o\delta}$ take place contact of outlines L_1 and L_2 without separations.

Boundary conditions on hole and the disk contours take the form:

$$\begin{aligned} \tau_{ra}^{(1)}(\alpha, \delta) &= \tau_{ra}^{(2)}(\alpha, \delta) = 0, \\ \sigma_r^{(1)}(\alpha, \delta) &= \sigma_r^{(2)}(\alpha, \delta) = 0 \\ &(\beta_{o\delta} \leq \alpha \leq 2\pi - \alpha_{o\delta}); \\ \tau_{pa}^{(1)}(\alpha, \delta) &= \tau_{pa}^{(2)}(\alpha, \delta) = -f \cdot p(\alpha, \delta), \\ \sigma_\rho^{(1)}(\alpha, \delta) &= \sigma_\rho^{(2)}(\alpha, \delta) = -\pi(\alpha, \delta), \\ &(-\alpha_{o\delta} \leq \alpha \leq \beta_{o\delta}) \end{aligned} \quad (2)$$

where: f - coefficient of sliding friction.

3. Derivation of basic equation of the problem

Let us assume that in contact zone $-\alpha_{o\delta} \leq \alpha \leq \beta_{o\delta}$ contact of contours L_1 and L_2 without separation appears. Equation for $p(\alpha, \delta)$ has been established using condition of curvatures equality for strained element contours 1 and 2 in the contact zone

$$K_{1*}(\alpha, \delta) = K_{2*}(\alpha, \delta) \quad (3)$$

Contours parametric equations of L_1 (hole) and L_2 (disk) after straining are as follows:

$$\begin{aligned} x_k(\alpha, \delta) &= x_k(\alpha) + u(\alpha) + f_{kx}(\alpha) \\ y_k(\alpha, \delta) &= y_k(\alpha) + v(\alpha) + f_{ky}(\alpha) \end{aligned} \quad (4)$$

where: $x_k(\alpha), y_k(\alpha)$ - components of the initial circles before strain, $k=1$ - circle circumscribed round the hole contour, $k=2$ - circle inscribed in the disk contour; $u(\alpha), v(\alpha)$ - projections of displacement vectors for contour points of elements in contact on axes Ox and Oy ; $f_{kx}(\alpha), f_{ky}(\alpha)$ - parameters describing deviation of contour L_1 (hole, $k=1$) and L_2 (disk, $k=2$) from given principal circles.

Introducing (4) into well-known formula for curvature of the flat line and omitting quantities of higher order $(u)^2, (v)^2, f_{kx}^2, f_{ky}^2$, we obtain formula for real contour curvatures (with deviations):

$$K_{k*}(\alpha, \delta) = K_{ko}(\alpha) + K_k(\alpha, \delta) \quad (5)$$

where:

$$\begin{aligned} K_{ko}(\alpha) &= \frac{1}{\left[(x_k')^2 + (y_k')^2 \right]^{3/2}} \left[x_k'' y_k' - x_k' y_k'' + x_k' y_k'' + y_k' u_k'' \right. \\ &\left. - x_k'' v_k' - y_k'' u_k' - 3 \frac{x_k' y_k'' - x_k'' y_k'}{(x_k')^2 + (y_k')^2} (x_k' u_k' + y_k' v_k') \right], \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} K_k(\alpha, \delta) &= \frac{1}{\left[(x_k')^2 + (y_k')^2 \right]^{3/2}} \left[x_k'' f_{ky}' - x_k' f_{ky}'' - y_k'' f_{kx}' \right. \\ &\left. - y_k' f_{kx}'' - 3 \frac{x_k' y_k'' - x_k'' y_k'}{(x_k')^2 + (y_k')^2} (x_k' f_{kx}' + y_k' f_{ky}') \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Signs ‘ and ’’ denote α derivatives.

In case of classic contact of elements with round contours, while determining governing equation, derivatives of displacement vector components $u(\alpha)$, $v(\alpha)$ for contour points of the hole and the disk should be expressed by sought contact stresses $\sigma_r(\alpha)$. Governing equation for $p(\alpha) = -\sigma_r(\alpha)$ is obtained according to (6) and using equality curvature of real outlines (3), which at $K_k(\alpha, \delta) = 0$ takes the form $K_{10}(\alpha) = K_{20}(\alpha)$.

It has been assumed that contours L_1 and L_2 differ somewhat from circles. One may prove that in case of elastic strain, projections of the displacement vectors $u(\alpha)$, $v(\alpha)$ of these contours differ from projections of the displacement vectors of adequate points on initial circles in quantity of higher order $f_{kx}^2(\alpha)$, $f_{ky}^2(\alpha)$. Therefore to simplify the problem, we replace the displacement vectors of body contours by the displacement vectors of their initial circles. Expressing derivatives (6) of vector components by contact stresses in [1] and using (3), we obtain equation enabling evaluating mentioned contact stresses. Assuming that $\tau(\alpha, \delta) = f\sigma_r(\alpha, \delta)$, we obtain equation for $p(\alpha, \delta)$ [3]:

$$k_1 \int_{-\alpha_{os}}^{\beta_{os}} \text{ctg} \frac{\alpha - \theta}{2} [p'(\theta, \delta) + fp(\theta, \delta)] d\theta = k_2 [p(\alpha, \delta) - fp'(\alpha, \delta)] + k_3 \int_{-\alpha_{os}}^{\beta_{os}} p(\alpha, \delta) d\alpha + k_4 (N \cos \alpha + T \sin \alpha) + \frac{R_1 - R_2}{R_1 R_2} - \sin \alpha \left\{ 2 \left[\frac{f'_{1x}(\alpha)}{R_1^2} - \frac{f'_{2x}(\alpha)}{R_2^2} \right] - \left[\frac{f''_{1y}(\alpha)}{R_1^2} - \frac{f''_{2y}(\alpha)}{R_2^2} \right] \right\} + \cos \alpha \left\{ 2 \left[\frac{f'_{1y}(\alpha)}{R_1^2} - \frac{f'_{2y}(\alpha)}{R_2^2} \right] + \left[\frac{f''_{1x}(\alpha)}{R_1^2} - \frac{f''_{2x}(\alpha)}{R_2^2} \right] \right\} \quad (8)$$

where: $k_1 = \frac{1}{8\pi} \left(\frac{1 + \kappa_1}{G_1 R_1} + \frac{1 + \kappa_2}{G_2 R_2} \right)$; $k_2 = \frac{1}{4} \left(\frac{1 - \kappa_1}{G_1 R_1} - \frac{1 - \kappa_2}{G_2 R_2} \right)$;

$k_3 = \frac{1 + \kappa_1}{8\pi G_1 R_1}$; $k_4 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\kappa_1}{G_1 R_1} + \frac{1}{G_2 R_2} \right)$; $p'(\theta, \delta) = dp(\theta, \delta) / d\theta$;

$$\begin{Bmatrix} N \\ T \end{Bmatrix} = - \int_{-\alpha_{os}}^{\beta_{os}} \sigma_r^{(2)}(\alpha, \delta) \begin{Bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{Bmatrix} \mp \tau_{ra}^{(2)}(\alpha, \delta) \begin{Bmatrix} \sin \alpha \\ \cos \alpha \end{Bmatrix} d\alpha$$

$$f_{kx}(\alpha) = x_k^*(\alpha, \delta) - x_k(\alpha),$$

$$f_{ky}(\alpha) = y_k^*(\alpha, \delta) - y_k(\alpha); \quad (9)$$

where: $\kappa = 3 - 4\nu$ - for plane state of strain; $\kappa = (3 - \nu) / (1 + \nu)$ - for plane state of stress; ν - Poisson ratio, G - shear modulus, x_k^* , y_k^* - parametric equations of elements out - for displacements f round contours before strain.

4. Contact of cylinders with ellipticity

Deviations from circular shape may be described in different way. The simplest description presents equation of the out-of-round contour in the canonical form, for example as an ellipse equation. We assume that friction does not occur in the contact zone ($f=0$) and elements are made of the same material ($G_1 = G_2$, $\chi_1 = \chi_2$). Contact mating of elements in the joint is

determined only by force N , hence $\alpha_{os} = \beta_{os}$. Semi-axes of elliptic elements (Fig.1) are equal: $a_1 = R_1$, $b_1 = R_1$, $a_2 = R_2$, $b_2 = R_2$, and $a_1 > b_1$, $a_2 > b_2$. Elements radii are similar, i.e., but radial clearance $\varepsilon = R_1 - R_2 > 0$.

Parametric equations of the elliptic elements contours (placed like in Fig.1) are described by well-known formulas:

$$x_k^*(\alpha, \delta) = X_k \cos \alpha; \quad y_k^*(\alpha, \delta) = Y_k \sin \alpha \quad (10)$$

for $k=1$: $X_1 = b_1$, $Y_1 = a_1$; for $k=2$: $X_2 = b_2$, $Y_2 = a_2$.

Equation of the initial circles:

$$x_k(\alpha) = A_k \cos \alpha; \quad y_k(\alpha) = A_k \sin \alpha \quad (11)$$

for $k=1$, $A_1 = R_1$; for $k=2$, $A_2 = R_2$.

Taking (9), (10), (11) and admitted assumptions into account, equation for considered case takes the form:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\alpha_{os}}^{\alpha_{os}} \text{ctg} \frac{\alpha - \theta}{2} p'(\theta, \delta) d\theta = \frac{2}{\pi} \cos \alpha \int_{-\alpha_{os}}^{\alpha_{os}} p(\alpha, \delta) \cos \alpha d\alpha + \frac{1}{2\pi} \int_{-\alpha_{os}}^{\alpha_{os}} p(\alpha, \delta) d\alpha + \frac{4\varepsilon G}{R(1 + \kappa)} \left[1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} D_1(\alpha) - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon} D_2(\alpha) \right] \quad (12)$$

where: $D_1(\alpha) = \cos^2 \alpha$, $D_2(\alpha) = \sin^2 \alpha$, $\varepsilon_1 = \delta_1 - 2\delta_2$, $\varepsilon_2 = 2\delta_1 - \delta_2$ - characterise contour shape deviations and their mutual orientation; $\delta_1 = a_1 - b_1$, $\delta_2 = a_2 - b_2$ - maximal deviations of elliptic elements from circles $\delta_1 \leq \varepsilon$, $\delta_2 \leq \delta_1$.

In the second joint scheme two elements contact each other by the vertices in the direction of longer semi-axes. Then in (10) for $k=1$: $X_1 = a_1$, $Y_1 = b_1$; for $k=2$: $X_2 = a_2$, $Y_2 = b_2$ and in (12) $\varepsilon_1 = \delta_2 - 2\delta_1$, $\varepsilon_2 = 2\delta_2 - \delta_1$ and $\delta_1 \leq \delta_2$, $\delta_2 \leq \varepsilon$.

In the third joint scheme the hole is situated like in the Fig.1 and the disk touches its contour vertically by the ellipse vertex. Then for $k=1$: $X_1 = b_1$, $Y_1 = a_1$; for $k=2$: $X_2 = a_2$, $Y_2 = b_2$; $\varepsilon_1 = (\delta_1 + \delta_2)$, $\varepsilon_2 = 2(\delta_1 + \delta_2)$, and $|\varepsilon_j| \leq \varepsilon$.

Equation (12) is solved using approximate collocation method and distribution of the contact pressures $p(\alpha, \delta)$ is chosen in the following form [2]:

$$p(\alpha, \delta) \cong \left(C_0 + C_2 \text{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \right) \sqrt{\text{tg}^2 \frac{\alpha_{os}}{2} - \text{tg}^2 \frac{\alpha}{2}} \quad (13)$$

where: C_0 , C_2 - collocations coefficients.

Substituting in (12) $\text{tg} \alpha / 2 = \xi$, $\text{tg} \theta / 2 = z$, we obtain

$$\frac{1}{\pi} \int_{-d_o}^{d_o} \frac{p'(2 \arctg z)}{z - \xi} dz = - \frac{2}{\pi} \frac{1 - \xi^2}{1 + \xi^2} \int_{-d_o}^{d_o} \frac{(1 - \xi^2) p(2 \arctg \xi)}{(1 + \xi^2)^2} d\xi - \frac{1}{2\pi} \int_{-d_o}^{d_o} \frac{p(2 \arctg \xi)}{1 + \xi^2} d\xi + \frac{1}{\pi} \int_{-d_o}^{d_o} \frac{\xi p'(2 \arctg \xi)}{1 + \xi^2} d\xi - \frac{2G\varepsilon}{R(1 + \kappa)} \left[1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} D_1(\xi) - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon} D_2(\xi) \right] \quad (14)$$

where: $d_o = \text{tg} \alpha_{os} / 2$.

Integrating (14), we obtain equations which enable determination of un-known coefficients C_o, C_2 :

$$C_o A_{o1}(\xi_1) + C_2 A_{21}(\xi_1) = -\frac{\varepsilon G}{R(I+\kappa)} \left[I - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} D_1(\xi_1) - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon} D_2(\xi_1) \right]$$

$$C_o A_{o2}(\xi_2) + C_2 A_{22}(\xi_2) = -\frac{\varepsilon G}{R(I+\kappa)} \left[I - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} D_1(\xi_2) - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon} D_2(\xi_2) \right] \quad (15)$$

where: $\zeta_j=0, \zeta_2=0,65d_o$ - collocation nodes,

$$C_o = \frac{A_{21}(\xi_1)K_2(\xi_2, \delta) - A_{22}(\xi_2)K_1(\xi_1, \delta)}{A_{o1}(\xi_1)A_{22}(\xi_2) - A_{o2}(\xi_2)A_{21}(\xi_1)} \frac{\varepsilon G}{R(I+\kappa)}$$

$$C_2 = \frac{A_{o2}(\xi_2)K_1(\xi_1, \delta) - A_{o1}(\xi_1)K_2(\xi_2, \delta)}{A_{o1}(\xi_1)A_{22}(\xi_2) - A_{o2}(\xi_2)A_{21}(\xi_1)} \frac{\varepsilon G}{R(I+\kappa)} \quad (16)$$

where:

$$K_1(\xi_1, \delta) = I - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} D_1(\xi_1) - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon} D_2(\xi_1)$$

$$K_2(\xi_2, \delta) = I - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon} D_1(\xi_2) - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon} D_2(\xi_2)$$

$$A_{oj}(\xi_j) = -0,25(1+\xi_j^2) + 0,25(\bar{b}-1) + (\bar{b}-1)(1-\xi_j^2) [\bar{b}(1+\xi_j^2)]^{-1}$$

$$A_{2j}(\xi_j) = 0,125(d_o - 6\xi_j^2)(1+\xi_j^2) + 0,125(\bar{b}-1)^2 + [4d_o^2 - (d_o^2+6)\bar{b} + 6] (1-\xi_j^2) [2\bar{b}(1+\xi_j^2)]^{-1} \quad j=1,2 \quad (17)$$

Quantities $D(\xi_j), D_2(\xi_j)$, taking change of variables according to (12) into account, are determined as follows:

$$D_1(\xi_j) = \frac{(1-\xi_j^2)^2}{(1+\xi_j^2)^{-2}}, \quad D_2(\xi_j) = \frac{4\xi_j^2}{(1+\xi_j^2)^{-2}} \quad (18)$$

In the case when $G_1 \neq G_2$ and $\kappa_1 \neq \kappa_2$, term $G/(I+\kappa)$ has not been into account in (16), but they will be used in $A_{oj}(\xi_j), A_{2j}(\xi_j)$. Respectively:

$$A_{oj}(\xi_j) = \pi R \left\{ -k_1(1+\xi_j^2) + \frac{k_2}{\pi} \sqrt{d_o^2 - \xi_j^2} + 2k_3(\bar{b}-1) + 2k_4(\bar{b}-1)(1-\xi_j^2) [\bar{b}(1+\xi_j^2)]^{-1} \right\}$$

$$A_{2j}(\xi_j) = \pi R \left\{ \frac{k_1}{2}(d_o^2 - 6\xi_j^2)(1+\xi_j^2) + \frac{k_2}{\pi} \xi_j^2 \sqrt{d_o^2 - \xi_j^2} + k_3(\bar{b}-1)^2 + k_4 [4d_o^2 - (d_o^2+6)\bar{b} + 6] (1-\xi_j^2) [2\bar{b}(1+\xi_j^2)]^{-1} \right\}$$

The contact angle will be determined using equilibrium condition of forces applied on the disk:

$$N = R \int_{-\alpha_{os}}^{\alpha_{os}} p(\alpha, \delta) \cos \alpha d\alpha \quad (19)$$

Substituting $p(\alpha, \delta)$ according to (13) and integrating, we obtain equation for α_{os} in the form:

$$N = 2\pi R (C_o \bar{A}_o + C_2 \bar{A}_2) \quad (20)$$

where:

$$\bar{A}_o = I - \bar{b}^{-1}, \quad \bar{A}_2 = 0,5\bar{b}^{-1} [d_o^2(4-\bar{b}) + 6(1-\bar{b})]$$

Equations system (15) is solved together with equation (20) in order to search roots for assumed N .

5. Simplified way of characteristics calculation for contact of round and prismatic elements

Elements of cylindrical joints are manufactured with particular tolerance. Therefore, the radial clearance ε is different in individual joint. Method, presented above, enables to determine magnitude of the maximal pressures $p(0)$ or $p(0, \delta)$ and their distribution (angle α_o or $\alpha_{o\delta}$) for each ε . Analysing numerical solutions, one can draw conclusion that under assumption $R = \text{const}$ and $N = \text{const}$, values of $p(0), p(0, \delta)$ and $\alpha_o, \alpha_{o\delta}$ when clearances ε change may be evaluated easily.

In the joints of round elements, $p(0)$ and α_o may be evaluated from

$$p(0)_{\varepsilon^-} \equiv p(0)_{\varepsilon^+} \tilde{\varepsilon}_p \quad (21)$$

$$\alpha_{o\varepsilon^-} \equiv \alpha_{o\varepsilon^+} \tilde{\varepsilon}_\alpha \quad (22)$$

here: $p(0)_{\varepsilon^+}$ - known value of the maximal contact pressure $p(0)$ for certain value of clearance $\varepsilon = \varepsilon^+$ determined according to given method; $p(0)_{\varepsilon^-}$ - searched the maximal contact pressure for other value of clearance $\varepsilon = \varepsilon \neq \varepsilon^+$; denotations for the angles $\alpha_{o\varepsilon^+}$ and $\alpha_{o\varepsilon^-}$ are similar; $\tilde{\varepsilon}_p = \sqrt{\varepsilon^- / \varepsilon^+}, \tilde{\varepsilon}_\alpha = \tilde{\varepsilon}_p^{-1} = \sqrt{\varepsilon^+ / \varepsilon^-}$. For the joints of prismatic elements, formulas (21), (22) take the form:

$$p(0)_{\delta\varepsilon^-} \equiv p(0)_{\varepsilon^-} \tilde{\varepsilon}_{p\delta} \equiv p(0)_{\varepsilon^+} \tilde{\varepsilon}_p \tilde{\varepsilon}_{p\delta} \quad (23)$$

$$\alpha_{o\delta\varepsilon^-} \equiv \alpha_{o\varepsilon^-} \tilde{\varepsilon}_{\alpha\delta} \equiv \alpha_{o\varepsilon^+} \tilde{\varepsilon}_\alpha \tilde{\varepsilon}_{\alpha\delta} \quad (24)$$

where: $\tilde{\varepsilon}_{\alpha\delta} = \tilde{\varepsilon}_{p\delta}^{-1}$.

Comparison of the contact pressures magnitude and the contact areas, calculated according to presented method and formulas (21) - (24), shows their good correlation for $0.05 \leq \varepsilon \leq 0.4 \text{ mm}$. In the case when $\varepsilon < 0.5 \text{ mm}$ the difference between them increases visibly.

6. Joints with ellipticity. Numerical solution and analysis of results

For the case of plane state of strain, calculations of the contact characteristics were carried out for the following data: $\varepsilon = 0.05; 0.1; 0.2; 0.4 \text{ mm}$; δ_1 and $\delta_2 = 0.05; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4 \text{ mm}$; $\nu = 0.3; N = 0.1; 1.0, 5.0 \text{ MN}$; $R = 0.1 \text{ m}$; $G = 8.1 \cdot 10^4 \text{ MPa}$.

Calculation results for chosen cases are presented as variation Plotss (Fig. 2,3,4) $\tilde{p} = p(0, \delta) / p(0)$ of the maximal pressures $p(0, \delta)$ according to the ellipticity δ_1, δ_2 , radial clearance ε and load N . Maximal pressures for contact of the circular bodies are denoted by $p(0)$. The mentioned-below table presents denotations for Fig.2 and the next ones.

Figs.2 and 3 show $\tilde{p} \sim \delta_2$ plots for assumed ε ($\varepsilon = 4 \cdot 10^{-4} m$ - thickened solid line, $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-4} m$ - thickened dashed line). Fine lines show boundary

curves of \tilde{p} variation areas according to the value of clearance ε .

Plots for the first case (Fig.2) point out that an

Table 1

Area denotation \tilde{p}	Value of parameter	Number of curve	Value of δ_1 parameter
Σ_1	= 0.4 mm	1	$\delta_1 = 0.4$ mm
Σ_2	= 0.2 mm	2	$\delta_1 = 0.3$ mm
Σ_3	= 0.1 mm	4	$\delta_1 = 0.2$ mm
Σ_4	= 0.05 mm	5	$\delta_1 = 0.1$ mm
Σ_5	= 0	6	$\delta_1 = 0.05$ mm
		7	$\delta_1 = 0$

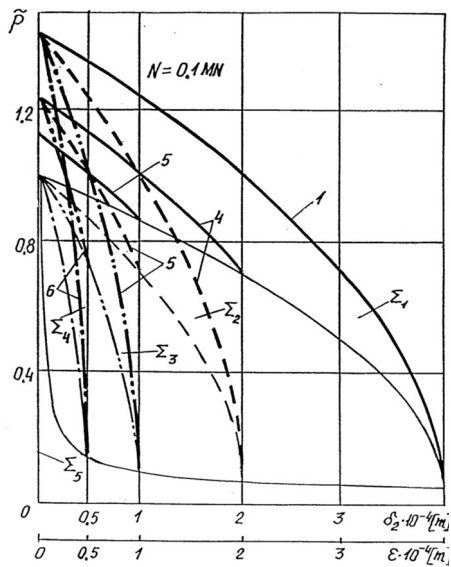


Fig. 2. Plots of relative variations of the maximal pressures for the joint scheme: $\delta_1 \leq \varepsilon, \delta_2 \leq \delta_1 (\delta_1 = a_1 - b_1, \delta_2 = a_2 - b_2, \varepsilon = R_1 - R_2 = a_1 - b_2)$

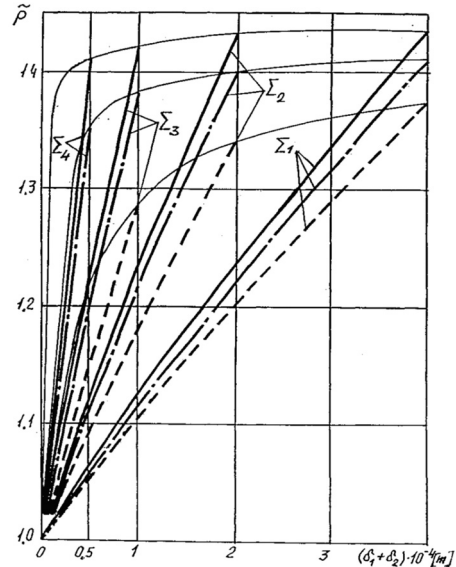


Fig. 4. Plots of relative variations of the maximal pressures for the joint scheme: $\delta_1 + \delta_2 \leq \varepsilon$

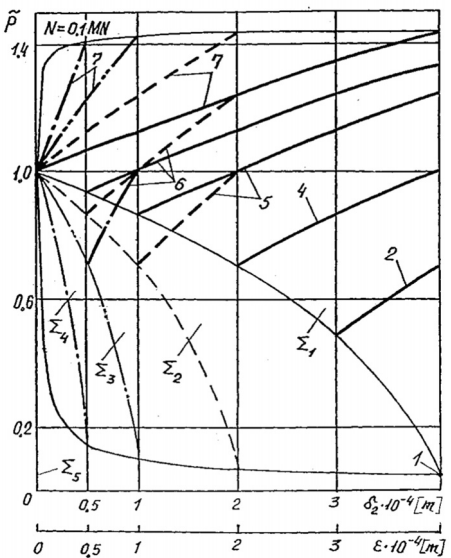


Fig. 3. Plots of relative variations of the maximal pressures for the joint scheme: $\delta_2 \leq \varepsilon, \delta_1 < \delta_2$

increase in the value of elements ellipticity results in \tilde{p} for every value of clearance ε . It is worth noticing that relative pressures \tilde{p} decrease for every $\delta_1 = const$ as δ_2 increases.

In the second case of contact (Fig.2), an increase in the value of δ_1 results in \tilde{p} reduction for $\delta_2 = const$. For $\delta_1 > const$ an increase in the value of δ_2 results in growth of \tilde{p} . Plots shows that-according to $\delta_1, \delta, \varepsilon$ - the contact favourable conditions remain in comparison with the contact of the circular elements, i.e. $\tilde{p} < 1,0$ and for other $\tilde{p} > 1,0$.

In the third case (Fig.4) the ellipticity of the element contours causes an increase in the pressures \tilde{p} . Values of \tilde{p} depend on the sum $\delta_1 + \delta_2$. The influence of load N on the variation of \tilde{p} also was investigated. Solid lines concern case when $N = 0.1$ MN, dot-and-dash lines -when $N = 1.0$ MN and dashed lines -when $N = 5$ MN.

Theoretical investigations concerning contact problem for bodies with small ellipticity testify to

considerable influence of out-of-roundness on the contact pressures. According to mutual orientation of elements in the joint, one can observe an increase in $p(\theta, \delta)$ (Fig.4), a decrease (Fig.2) or both cases (Fig.3). Therefore it is obvious that deviations of the cylindrical elements from circular shape should be taken into account as a factor which considerably influences magnitude of the contact pressures. Also Figs. 5, 6, 7 show variation Plots $\bar{\alpha} = \alpha_{0\delta} / \alpha_0$ of the contact semi-angle $\alpha_{0\delta}$ according to $\delta_1, \delta_2, \varepsilon$. The angle α_0 is the semi-angle of cylinders contact without ellipticity. Plots point out considerable influence of ellipticity on the distribution of the contact pressures.

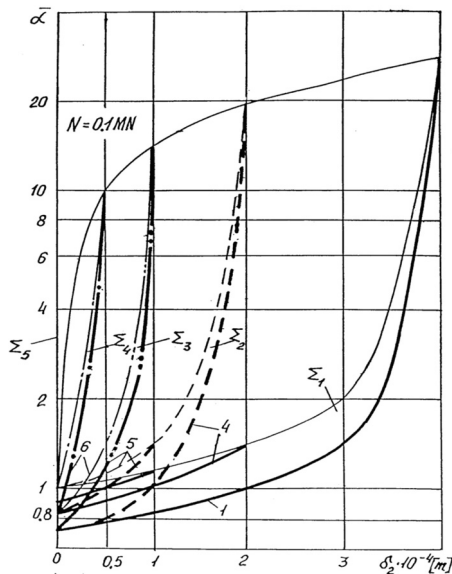


Fig. 5. Plots of relative variations of the contact area for the joint scheme: $\delta_1 \leq \varepsilon, \delta_2 < \delta_1$

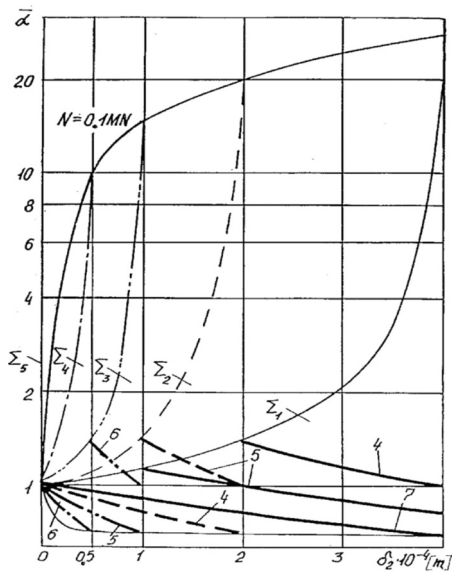


Fig. 6. Plots of relative variations of the contact area for the joint scheme: $\delta_2 \leq \varepsilon, \delta_1 < \delta_2$

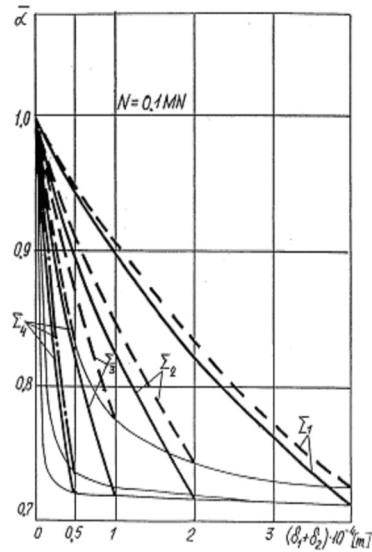


Fig. 7. Plots of relative variations of the contact area for the joint scheme: $\delta_1 + \delta_2 \leq \varepsilon$

Obtained results indicate that different kinds of out-of-roundnesses have considerable effect on distribution of the contact pressures. An increase or decrease of the contact zone is possible, depending on mutual orientation of elements in the joint, radial clearance, parameters of contours out-of-roundness and load.

Taking more collocation nodes in formula (13) than two is not necessary. That shows following results (Fig. 1; $\alpha_0 = \frac{5}{18} \pi$) $\frac{p(\alpha)}{\varepsilon E / R}$ for exactly solution

(1), solution for two nodes (2) and solution for three nodes (3):

α	(1)	(2)	(3)
0	0,4341	0,4339	0,4339
$\pi/18$	0,4249	0,4247	0,4246
$\pi/9$	0,3954	0,3953	0,3951
$\pi/6$	0,3423	0,3419	0,3420
$2\pi/9$	0,2536	0,2525	0,2535
$5\pi/16$	0	0	0

Difference between solutions (2) and (3) amounts less than 1% of the exactly results.

9. Conclusions

Calculation results (Fig. 2, 3, 4) presents effect out-of-roundness of element contours, cylindrical joints on magnitude and distribution of the contact pressures.

Plots of relative variations of the contact are shows Fig. 5÷7.

10. References

- [1] Muscheliszwili H., M.: *Some basic problems of the theory mathematical of elasticity*. Moscow, Nauka, 1949 (in Russian). (translated in English, 1953, Noordhoff, Groningen)
- [2] Panasiuk W. W., Teplyj M.J.: *Review of the contact problems in the theory of elasticity*. Kiev, Naukowa Dumka, 1975 (in Ukrainian).
- [3] Andrejkiw A.E., Czerniec M.W.: *Description of contact interaction between rubbing machine elements*, Kiev, Naukowa Dumka, 1991 (in Russian).
- [4] Person A.: *On the Stress Distribution of Cylindrical Elastic Bodies in Contact*. Dissertation Chalmers Tekniska Hogskola, Goteborg, 1964.
- [5] Gladwell G.: *Contact problems in the Classical Theory of Elasticity*. Alphen an den Rijn. Sijthoff and Hordhoff, 1980.

*Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004 – 2005
jako projekt badawczy*

Prof. dr hab. inż. Miron CZERNIEC

Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: m.czerneic@pollub.pl

Dr inż. Cyprian KOMORZYCKI

Katedra Mechaniki Stosowanej
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: c.komorzycki@pollub.pl

ROZWÓJ SEKTORA USŁUG: TRANSPORT – SPEDYCJA – LOGISTYKA W POLSCE PO WSTĄPIENIU DO UNII EUROPEJSKIEJ

DEVELOPMENT OF SERVICES: TRANSPORTATION - SHIPPING - LOGISTICS IN POLAND AFTER THE EUROPEAN UNION ACCESSION

W artykule przedstawiono charakterystykę rynku przewozów towarowych w Polsce po wstąpieniu do Unii Europejskiej. Omówiono strukturę transportu samochodowego i wymagania wobec firm przewozowych. Zamieszczono analizę opłacalności usług w sektorze spedycyjno – transportowym. Przedstawiono rynek usług kurierskich, kierunki jego rozwoju oraz wymagania wobec operatorów logistycznych. Podsumowanie zawiera prognozę i warunki długofalowego rozwoju branży transport – spedycja – logistyka w Polsce.

Słowa kluczowe: sektor usług TSL, usługi logistyczne, usługi transportowe i spedycja, usługi kurierskie

The article presents the characteristics of freight business in Poland after the European Union accession. The structure of car transportation and the requirements from shipping firms are discussed. An analysis of services profitability in the shipping – transportation business is shown. The courier services market is presented as well as its prospects and the requirements from logistic operators. The conclusion involves prognosis as well as conditions for a long-term development of the transportation – shipping – logistics business in Poland.

Keywords: TSL services, logistic services, transportation and shipping services, courier services

1. Wprowadzenie

Podpisanie układu stowarzyszeniowego Polski z Unią Europejską w 1991 r. rozpoczęło szereg procesów integracyjnych, które miały przygotować kraje kandydackie do wymagań wspólnego rynku. Sektor usług *Transport – Spedycja – Logistyka* (TSL) z natury mając charakter międzynarodowy, szybciej niż inne branże zaczął dostosowywać się do standardów w krajach „Piętnastki”. Systematyczna koncentracja handlu hurtowego w nowoczesne centra, silna konkurencja na rynku krajowym i rosnąca świadomość korzyści wynikających z outsourcingu spowodowały, że w ostatnich latach firmy produkcyjne i handlowe coraz powszechniej korzystają z usług specjalistycznych operatorów sektora TSL.

2. Kondycja rynku przewozów towarowych

Rynek usług transportowo – logistycznych jest zależny wprost proporcjonalnie od koniunktury gospodarczej. Poszerzenie Unii zlikwidowało granice i bariery celne w wymianie towarowej, a to silny stymulator wzrostu obrotów handlowych między krajami członkowskimi (rys. 1). Od momentu akcesji dziesięciu nowych członków rynek usług TSL uległ

1. Introduction

The Polish accession to EU treaty in 1991 started a number of integration processes which were to prepare the candidate countries for the requirements of the common market. The services of Transportation – Shipping – Logistics (TSL), being international by nature, were quicker to adapt to the standards of the „fifteen countries” than other kinds of businesses. Systematic concentration of wholesale trade into modern centers, high competition on the home market and the growing recognition of benefits resulting from outsourcing have made the services of specialist TSL operators increasingly popular with manufacturers in the last years.

2. Evaluation of the freight market

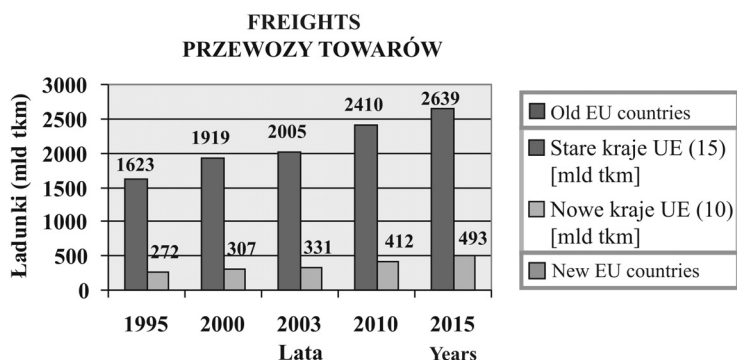
The transportation – logistic services market is closely related to the economic growth. The EU enlargement has eliminated borders and customs barriers in goods exchange, which is a strong stimulus for trade turnover growth among the member states (Fig. 1). Since the accession of the ten new member states the TSL services market has significantly changed in all

znaczącym zmianom we wszystkich państwach UE. Uproszczenie procedur administracyjnych i dostęp do przewozów kabotażowych spowodowały wzrost ilości ładunków, ale jednocześnie nastąpiło drastyczne obniżenie stawek frachtowych na obszarze Unii. Potencjał polskich firm transportowych pozwala na równorzędną konkurencję i przejmowanie zleceń przewozowych na obszarze starych krajów członkowskich. Rynek transportowy we Francji i Hiszpanii ma podobną strukturę do polskiego, ale znacznie wyższe koszty pracy. Wynagrodzenie francuskiego kierowcy jest trzykrotnie większe od płacy jaką otrzymuje Polak. Koszty obsługi technicznej ciężarówek są u nas także niższe przy porównywalnej wydajności firm wykonujących przewozy międzynarodowe. Należy pamiętać, że atuty okresu przejściowego w dłuższej perspektywie ulegną waloryzacji.

Na przestrzeni roku od daty akcesji widoczna jest zmiana w strukturze ładunków. Maleje ilość ładunków całopojazdowych na korzyść drobnicy. Zatarciu ulegają różnice pomiędzy ładunkami drobnicowymi i kurierskimi. W przewozach międzynarodowych widać wyraźny wzrost zainteresowania przewozami na kierunku wschodnim: kraje nadbałtyckie i południowym: Ukraina, Czechy i Słowacja. Część firm rozpoczęła ekspansję w sektorze kabotażowym pomiędzy krajami UE, do którego dopuszczono od 1 maja 2004 roku kraje nowo wstępujące.

the EU countries. The simplification of administrative procedures and wide access to cabotage freights have caused an increase in loads number, but at the same time freight fees in the EU have dropped drastically. The potential of Polish transport firms allows for equal competition and overtaking transport orders in the old member countries. Transport market in France and Spain has a similar structure to the Polish one but much higher labour costs. The wages of a French driver are three times as high as those of a Polish one. The costs of lorries technical servicing are also lower in our country, at a comparable efficiency of international freight companies. It should be remembered, however, that the advantages of the transition period will undergo valorization in a longer perspective.

Within one year from the accession date a change can be seen in the loads structure. There are fewer whole-car loads and more small loads. The difference between small loads and courier dispatches becomes obliterated. In international freights there is a significant growth of interest towards transport to the east: the Baltic countries and to the south (Ukraine, Czech, Slovakia). Some firms started expansion towards cabotage transport among the EU countries, which on May 1, 2004 opened to the newly included countries.



Rys. 1. Przewidywany rozwój przewozów towarowych [w mld tkm] wg. Raportu ProgTrans „European Transport Report (ETR) 2004”

Fig. 1. The prospective freights development [in mld km] acc. to the ProgTrans report “European Transport Report (ETR) 2004”

3. Struktura transportu samochodowego

Transport samochodowy w Polsce pomimo swojego rozdrobnienia i rozproszenia wykonuje 80% przewozu ładunków, a jako branża daje 10% produktu krajowego brutto i zatrudnia około miliona pracowników. Koniunktura gospodarcza ubiegłej dekady spowodowała bardzo głębokie zmiany na polskim rynku transportowym. Rozpoczął się proces wymiany zużytego taboru na nowe pojazdy. Powszechne wykorzystanie umów leasingowych dało przewoźnikom możliwości nabycia pojazdów w wiodących firmach motoryzacyjnych. Kilkuletni wzrost gospodarczy spowodował, że park polskiego transportu drogowego

3. The structure of car transport

The car transport in Poland, in spite of its dispersion and heterogeneity, performs 80% freights, provides 10% GDP and employs about one million workers. The economic trends of the previous decade have caused profound changes on the Polish freight market. The process of replacing the worn out stock with the new one has begun. General access to leasing agreements has allowed to purchase vehicles in the leading motor industry firms. The economic growth in the last couple of years has resulted in the fact that the Polish road transport stock used in international freights has reached the level of the former Fifteen co-

używany w przewozach międzynarodowych osiągnął poziom państw dawnej Piętnastki. Ponad 70% taboru w momencie integracji spełniało rygorystyczne wymagania ekologiczne obowiązujące na obszarze UE. Po przystąpieniu Polski do Unii nastąpiła liberalizacja dostępu do zawodu przewoźnika międzynarodowego, co spowodowało gwałtowny wzrost liczby pojazdów w zdecydowanie gorszym stanie technicznym. Biuro Obsługi Transportu Międzynarodowego podaje, że 40% wszystkich środków transportu stanowią samochody wyprodukowane w latach 1995 – 1999, natomiast ponad 10 – letnich samochodów jest około 28% [Fechner, Szyszka 2004].

Struktura usług w transporcie drogowym wg Instytutu Badania Opinii i Rynku PENTOR (2003 r.) była następująca:

- 81% firm świadczyło usługi w transporcie międzynarodowym i krajowym;
- 19% firm świadczyło usługi tylko w transporcie krajowym.

Transport samochodowy w kraju zdominowany jest przez małe firmy przewozowe. Podmioty wykonujące przewozy międzynarodowe posiadają od 3 do 7 samochodów (37%), natomiast przewoźnicy krajowi to zazwyczaj właściciele 1 lub 2 samochodów (46%) [PENTOR 2003].

Rekordowa sprzedaż nowych samochodów ciężarowych (rys. 2) uległa wyraźnemu zahamowaniu w pierwszym kwartale br. W ostatnich pięciu latach wśród kupowanych przez firmy przewozowe samochodach dominowały marki: MAN, VOLVO, Mercedes i Renault Trucks. Środek stawki stanowią: DAF, Scania i Iveco. Wyraźnie zmalało zainteresowanie pojazdami marki: STAR, JELCZ i KamAZ (rys. 3).

Charakterystyczna jest dominacja segmentu ciężarówek dalekiego transportu o ładowności powyżej 16 ton. Ciągniki siodłowe stanowią ponad 50% ogólnej liczby użytkowanych pojazdów.

Over 70% of the stock at the moment of the integration fulfilled the strict EU ecology requirements. After the Polish accession to the Union the access to the occupation of an international hauler has become much more liberal which caused a growing number of vehicles in poor technical condition on the roads. The International Freight Service Office reports that 40% of all the means of transport are cars produced in the years 1995 – 1999, and the ratio of cars over 10 years old is about 28% [Fechner, Szyszka 2004].

The structure of services in road transport acc. to the Institute of Public Opinion and Market Surveys PENTOR (2003) was as follows:

- 81% firms provided services in home and international transport;
- 19% firms provided services only in home transport.

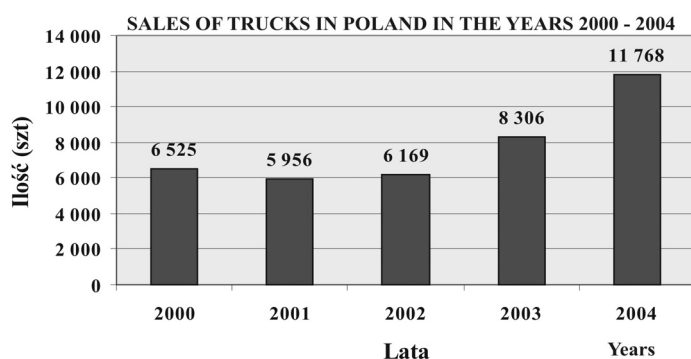
The home car transport is dominated by small freight firms. The units dealing with international transport have got from 3 to 7 cars (37%), and the home haulers usually own 1 or 2 cars (46%) (PENTOR 2003).

The soaring sales of new trucks (Fig. 2) clearly slowed down in the first quarter of this year. In the last five years the haulers mainly bought cars of the makes: MAN, VOLVO, Mercedes and Renault Trucks. There was medium interest for: DAF, Scania and Iveco. Evidently less popular were vehicles of the makes: STAR, JELCZ and KamAZ (Fig. 3).

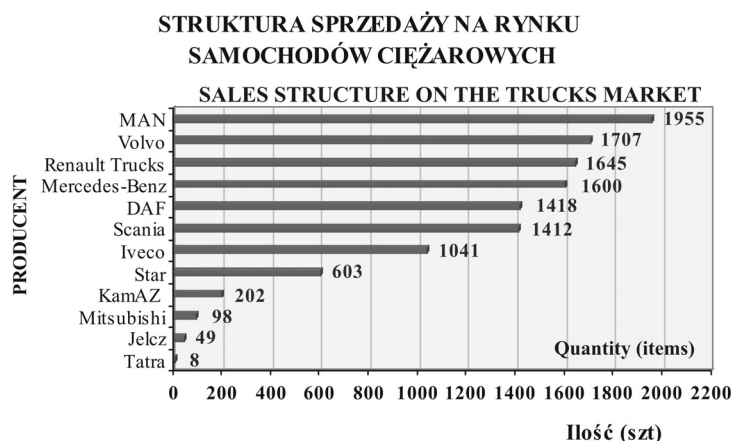
The prevalence of the far transport trucks with capacity above 16 tons is characteristic. Truck tractors constitute over 50% of the total number of used vehicles.

The Association of International Road Haulers (ZMPD) reports, that at the end of 2003 the number of vehicles of Polish haulers in the international road transport exceeded 41 000 and at the end of 2004 it reached the level of 58 000 vehicles.

SPRZEDAŻ SAMOCHODÓW CIĘŻAROWYCH W POLSCE
W LATACH 2000 - 2004



Rys. 2. Sprzedaż samochodów ciężarowych w Polsce o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 6,1 tony w latach 2000 – 2004, wg danych producentów
Fig. 2. Sales of trucks in Poland at the permissible total mass above 6.1 tons in the years 2000-2004, as reported by the producers



Rys. 3. Struktura sprzedaży na rynku samochodów ciężarowych w Polsce o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 6,1 tony w 2004 roku, wg danych producentów

Fig. 3. Sales structure on the Polish market of trucks with permissible total mass above 6.1 tons in 2004, as reported by the producers

Zrzeszenie Międzynarodowych Przewoźników Drogowych (ZMPD) podaje, że na koniec 2003 roku liczba pojazdów polskich przewoźników w międzynarodowym towarowym transporcie drogowym przekroczyła 41 000, natomiast na koniec 2004 roku osiągnęła poziom 58 500 pojazdów.

Znacząco wzrosła również liczba polskich firm działających w branży transportowej:

- 9 757 – styczeń 2004 rok;
- 11 585 – grudzień 2004 roku.

Rozwój branży transportowej miał charakter ekstensywny, rosnące przewozy realizowała rosnąca liczba przewoźników. Akcesja wywołała nowy kierunek zmian charakteryzujący się przejściem od etapu rozwoju ilościowego do etapu konkurencji jakościowej oraz konsolidacji branży.

Wzrost liczby firm przewozowych ograniczają wymagania stawiane przez ustawę o transporcie drogowym i przepisy administracyjne:

- przewoźnik musi wykazać się odpowiednią sytuacją finansową w postaci gwarancji – 9 tys. euro na pierwszy i 5 tys. euro na każdy następny samochód;
- przynajmniej jedna z osób w firmie transportowej musi posiadać certyfikat kompetencji zawodowych wydawany przez Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie;
- od 01 maja 2004 roku przewoźnicy muszą uzyskać licencję obowiązującą w UE, wydawaną przez Biuro Obsługi Transportu Międzynarodowego;
- funkcjonowanie firm należy dostosować do wymagań zawartych w rozporządzeniach Rady EWG nr 3820/85 w sprawie przepisów socjalnych w transporcie drogowym (czas pracy kierowców) oraz nr 3821/85 w sprawie urządzeń rejestrujących w samochodach.

The number of Polish firms in the freight business has also risen significantly:

- 9 757 – January 2004
- 11 585 – December 2004

The development of freight business had an extensive character, the growing number of freights was performed by a growing number of haulers. The accession caused a new direction of changes, which was characterized by a passage from the quantitative development phase to the quality competition phase and the consolidation of the business.

The growth of haulers' number is limited by the requirements of the Road Transport Act and by administrative regulations.:

- a hauler must prove his financial stability by a guarantee – 9 thousand euro for the first vehicle and 5 thousand euro for each consecutive one;
- at least one of the employees in a transport firm must have the certificate of professional competence, issued by the Institute of Car Transport in Warsaw;
- since May 1, 2004 haulers have to obtain a license valid in the EU, issued by the International Freight Service Office;
- the activity of the firms must be adapted to the requirements contained in the decree of the EEC Council nr 3820/85 about the social regulations in road transport (time of drivers' work) and nr 3821/85 about the recording equipment in cars.

4. Opłacalność usług spedycyjno – transportowych

Skokowy wzrost potencjału polskich firm transportowych w ostatnim roku doprowadził do przewyższenia popytu, czego efektem były sukcesywnie malejące stawki przewozowe. Cena za przewóz palety na terenie Polski oraz w obszarze przygranicznym kształtuje się na poziomie 50 – 60 zł, podczas gdy w 2004 roku wynosił 80 – 90 zł. Zrzeszenie Międzynarodowych Przewoźników Drogowych podaje, że cena za kilometr w przewozach na obszarze UE to 0,6 – 0,65 euro, podczas gdy same koszty przejazdu, czyli paliwo i opłaty za autostrady sięgają 0,35 – 0,4 euro. Różnica tych kwot służy do opłacenia podatków, wynagrodzenia kierowcy, rat leasingu i pozostałych kosztów ogólnych i pośrednich związanych z funkcjonowaniem firmy. Trudna sytuacja wymusza świadczenie usług na granicy opłacalności lub poniżej ponoszonych kosztów, czego rezultatem jest ubożenie przewoźników i perspektywa bankructwa, małych firm transportowych. Nadpodaż usług transportowych, mocna pozycja polskiej waluty, podatek MAUT nakładany od 1 stycznia 2005 roku na przewoźników na terenie Niemiec, powodujący wzrost kosztów transportu o 5 – 7 % oraz wysokie ceny paliwa rodzą patologie w sektorze firm przewozowych, które stosując dumpingowe stawki za przewozy tankują olej opałowy lub nie opłacają składek ZUS kierowcom.

Ranking firm transportowo – spedycyjno – logistycznych w 2004 roku objął ponad sto firm działających na terenie kraju. Trzy największe firmy na polskim rynku generują prawie jedną czwartą przychodów wszystkich spółek, oferując kompleksowe usługi w zakresie TSL (rys. 4). Dynamika przychodów w firmach z kapitałem polskim w 2004 r. wynosiła ponad 120%, a z kapitałem zagranicznym 114%.

Wartość przychodów ze sprzedaży podstawowej w firmach z sektora transportu drogowego wyniosła 8,3 mld zł [Brdulak 2005].

Ważnym problemem przy dynamicznych zmianach w branży TSL jest brak uregulowań prawnych dotyczących działalności spedycyjnej. Badania rynku transportowego dowiodły, że ponad 75% przewoźników usługi logistyczne związane z powierzonym towarem pozostawiało w gestii spedytorów [PENTOR 2003].

Zasadnym wydaje się stanowisko Zrzeszenia Międzynarodowych Przewoźników Drogowych o potrzebie wprowadzenia specjalnej licencji, która regulowałaby dostęp do zawodu spedytora. Profesjonalne firmy spedycyjne to gwarancja kompetencji w organizacji i obsłudze łańcucha logistycznego. Polska Izba Spedycji i Logistyki (PISiL) reprezentuje stanowisko odrzucające nadmierne ograniczenia nakładane ustawowo na spedytorów, wychodząc z założenia, że gospodarka rynkowa w sposób naturalny

4. Profitability of shipping – transport services

A sudden growth of the Polish freight firms potential in the last year has led to overcoming the demand, which resulted in the successive drop of freight fares. The price of a transport of pallet within Poland and in the border area ranges from 50 to 60 PLN, at 80 to 90 in 2004. The Association of International Road Haulers informs that the price for 1 km in freights within EU is from 0.6 to 0.65 euro, whereas the costs of drive themselves, i.e. fuel and highway fares reach 0.35 to 0.4 euro. The difference is used for taxes, a drivers wage, leasing payments and other general and indirect costs involved in the working of the firm. The difficult situation makes the haulers provide services on the border of profitability or even below the involved costs, which results in the pauperizations of haulers and the perspective of bankruptcy of small transport firms. Oversupply of transport services, stability of the Polish currency, the MAUT tax imposed since January 1, 2005 on haulers within the area of Germany, which increases the costs of transport by 5-7%, as well as high fuel prices cause pathologies in the freight business. Transport firms apply dumping fares and use fuel oil, or do not pay insurance for their drivers.

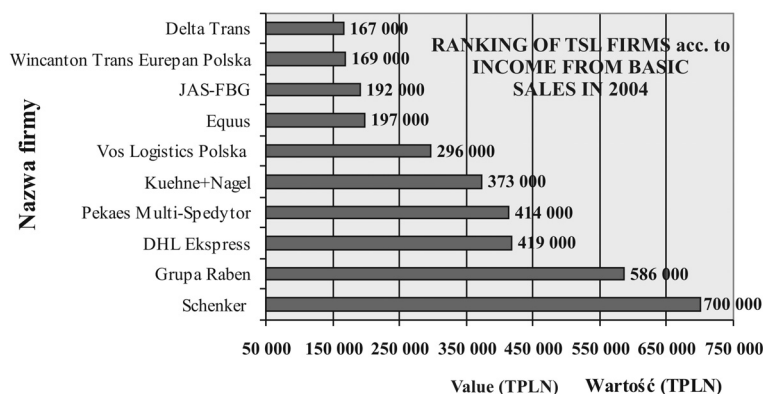
The ranking of transport – shipping – logistic firms in 2004 involved over 100 firms active in Poland. The three largest firms on the Polish market generate almost one fourth of all the firms' income, offering joint TSL services (Fig. 4). The income dynamics in the firms with Polish capital in 2004 was over 120%, and in those with foreign capital 114%.

The value of income from the basic sales in firms from the road transport branch was 8.3 mln PLN [Brdulak 2005].

An important problem involved in the dynamic changes in the TSL branch is lack of legal regulations concerning shipping activities. Research on the transport market has proved that over 75% of haulers submit the logistic services concerning the transported goods to shippers [PENTOR 2003].

The standpoint of the Association of International Road Haulers as to the need of introducing a special license for the profession of a shipper seems to be a valid one. Professional shipping firms guarantee high efficiency in the organization and servicing of the logistic chain. The Polish Chamber of Shipping and Logistics (PISiL) represents the standpoint rejecting excessive limitations imposed by law on shippers, assuming that the free market economy in a natural way will verify the reputation and credibility of the subjects providing shipping services.

**RANKING FIRM TSL wg PRZYCHODÓW
ZE SPRZEDAŻY PODSTAWOWEJ W 2004 r.**



Rys. 4. Ranking firm TSL wg przychodów ze sprzedaży podstawowej w 2004 r., opracowany wg [Brdulak 2005]

Fig.4. Ranking of TSL firms acc. to income from basic sales in 2004 worked out acc. to [Brdulak 2005]

zweryfikuje reputację i wiarygodność finansową podmiotów świadczących usługi spedycyjne.

5. Rynek usług kurierskich

Sektor usług kurierskich, tak jak cała branża TSL zdynamizował rozwój dostosowując swoją ofertę do wymagań zjednoczonej Europy. Na krajowym rynku liczba paczek w obrocie ekspresowym sięga 40 mln sztuk rocznie, czyli jedna paczka przypada średnio na statystycznego obywatela. W krajach UE ten wskaźnik wynosi ponad 5 sztuk na obywatela. Aby ocenić olbrzymie możliwości, jakie daje rozszerzona Unia, należy pamiętać, że jest to zintegrowany rynek ponad 450 mln mieszkańców. Procesy integracji intensyfikują wymianę towarową, czego przykładem może być Austria, gdzie po wejściu do Unii liczba wysyłanych paczek wzrosła dziesięciokrotnie.

Konsolidacja branży kurierskiej trwa już od kilku lat, a jej efektem jest łączenie się firm typowo kurierskich z logistyczno – spedycyjnymi lub z innymi zagranicznymi inwestorami strategicznymi w branży TSL. Wartość usług kurierskich na rynku krajowym stale wzrasta lecz istnieją bardzo małe szanse na powstanie całkiem nowych podmiotów. Funkcjonowanie w obecnej branży TSL wymaga olbrzymich inwestycji rzędu dziesiątek milionów euro już w momencie uruchamiania działalności. Liderem pod względem kwot przeznaczonych na rozwój na rynku polskim jest DHL Ekspres, który zainwestował ponad 200 mln złotych.

Rosnące wymagania klientów zmuszają małe firmy do fuzji z potentatami na rynku usług przewozowych. W 2002 roku Servisco zostało wykupione przez Deutsche Post, która wcześniej wykupiła światową markę DHL International – powstało DHL Ekspres. Euroad został w 2003 roku przejęty przez holenderską Grupę Vos, co spowodowało powstanie Vos Logistics Polska. Od końca 2004 roku Spedpol działa w barwach światowego koncernu logistycznego

5. Courier services market

The branch of courier services as well as the whole TSL business has undergone dynamic changes and adapted its offer to the requirements of the united Europe. On the home market the number of parcels in priority turnover reaches 40 mln of items a year, which means an average of one parcel per a statistic citizen. In the EU countries this factor is over 5 items per citizen. In order to evaluate the great possibilities of the enlarged Union it should be remembered that it is an integrated market of over 450mln inhabitants. The integration processes intensify freight exchange, which can be exemplified by Austria, where after the accession to the EU the number of the dispatched parcels grew ten times.

The consolidation of courier businesses has already lasted a few years and its effect is the joining of specialised courier firms with logistic – shipping firms or with other foreign strategic investors in the TSL branch. The value of courier services on the home market is growing continually but chances for an establishing of quite new subjects are very small.

Activity in the current TSL branch needs enormous investments of the order of tens of millions euro already at the start. The leader as to the sums invested into development on the Polish market is DHL Ekspres which has invested over 200 mln PLN.

Growing demands of customers make small firms join the tycoons on the freight market. In 2002 Servisco was bought by Deutsche Post, which had earlier bought the world trademark DHL International – in this way DHL Ekspres came into being. Euroad was overtaken in 2003 by the Dutch group Vos, which caused the establishment of Vos Logistics Polska. Since the end of 2004 Spedpol operates in the colours of the worldwide logistic concern Schenker. An

Schenker. Wydarzeniem 2005 roku na rynku kurierskim jest przejęcie Messenger Service Stolica przez gigantyczny amerykański koncern pocztowy United Parcel Service (UPS).

Największym udziałowcem na rynku przesyłek dostarczanych dzień po nadaniu jest DHL Express mający 25% udział. W tym segmencie Stolica przed przejęciem, zajmowała drugie miejsce z udziałem 22%, na trzeciej pozycji plasował się Masterlink Express przed United Parcel Service.

Przesyłki ekspresowe na rynkach lokalnych (tzw. City nad Same Day) zdominowane były przez Stolicę z udziałem 25%, przed Masterlink Express i DHL Express. Natomiast ekspresowe usługi kurierskie na rynku międzynarodowym to segment opanowany w 25% przez United Parcel Service, przed TNT Express Poland oraz DHL Express.

Szybkie tempo rozwoju gospodarczego i rosnące wymagania klientów powodują, że klasyczne usługi kurierskie polegające na gwarantowanym dostarczeniu przesyłek w następnym dniu roboczym lub też w określonych godzinach we wskazane miejsce wg systemu „od drzwi do drzwi” to już zbyt uboga oferta. Światowe firmy kurierskie stopniowo przeobraziły się w integratorów logistycznych, poszerzając swoją ofertę w nowych obszarach usług o wysokim stopniu specjalizacji.

Operatorem logistycznym możemy nazwać firmę transportowo – logistyczną, która spełnia warunki:

- organizacji kompleksowego i efektywnego łańcucha dostaw od producenta do ostatecznego odbiorcy;
- świadczy usługi w oparciu o nowoczesne rozwiązania IT (technologie informatyczne), które gwarantują terminowość, płynność oraz konkurencyjność przewozów;
- buduje swoje kontakty i relacje z klientem na długoterminowych umowach.

Rozwój branży operatorów logistycznych odbywa się w dwóch kierunkach. Część firm, szczególnie tych, które posiadają ograniczone możliwości inwestycyjne, nie poszerza swojej oferty, ale inwestuje w ściśle określone narzędzia i dopracowuje w szczegółach świadczone usługi. Strategia operatorów logistycznych opiera się w tym przypadku na specjalizacji i doświadczeniu w ramach wąskiego segmentu usług.

Drugi kierunek rozwoju, tylko pozornie sprzeczny z pierwszym, stawia na uniwersalność w działaniu. Firmy poszerzają wachlarz świadczonych usług, zmierzając w kierunku koncepcji „one – stop – shopping”, która pozwoli klientowi uzyskać różnorodne usługi TSL u jednego dostawcy. Potentaci na rynku usług logistycznych inwestując w uniwersalność, wydzielają jednocześnie w swoich strukturach specjalistyczne segmenty.

important event of 2005 on the courier services market was the overtaking of Messenger Service Stolica by the gigantic American Post concern United Parcel Service (UPS).

The greatest share-holder on the market of parcels delivered one day after dispatch is DHL Express with 25% share. In this business Stolica before its overtaking held the second position with the share of 22% and the third place was taken by Masterlink Express before United Parcel Service.

Priority local dispatches (the so called City and Same Day) were dominated by Stolica with 25% share, before Masterlink Express and DHL Express. And the priority courier services on the international market are a business controlled in 25% by United Parcel Service, before TNT Express Poland and DHL Express.

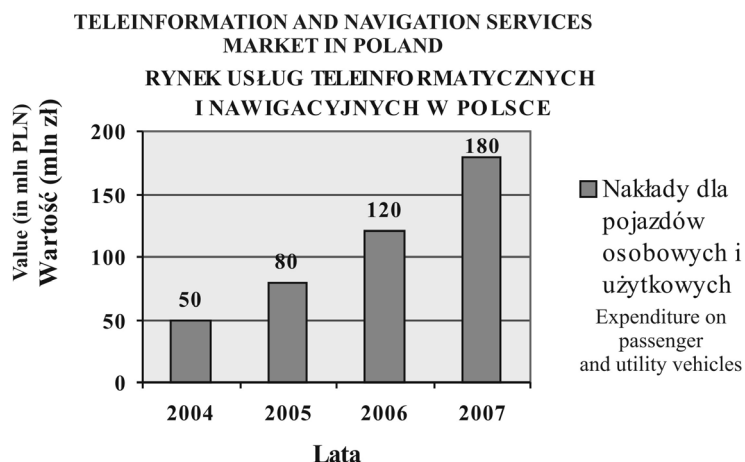
The fast pace of economic development and growing demands of customers have made unattractive the classic offer of courier services, i.e. the guaranteed delivery of parcels on the next working day or in specified hours to the appointed place according to the system „from door to door”. International courier firms have gradually transformed themselves into logistic integrators, extending their offer into a new range of highly specialized services.

In order to be called a logistic operator a transport - logistic firm has to fulfill the following conditions:

- to organize a comprehensive and effective delivery chain from the producer to the final receiver;
- to provide services based on modern IT solutions (information technology), which guarantee punctuality, liquidity and competitiveness of freights;
- to develop its contacts and relations with a client on a long-term basis.

The development of logistic operators business takes place in two directions. Some firms, especially those with limited investment possibilities, do not offer a wider offer, but invest in particular tools and work out the provided services in detail. Thus, in this case, the logistic operators' strategy is based on specialization and experience in a narrow service range.

Another development direction, only apparently contradictory to the first one, is based on the universality of activities. Firms widen the range of the provided services, aiming at the concept of ‘one – stop – shopping’, which will allow a client to get different kinds of services from one provider. The tycoons on the logistic services market invest in the universality but at the same time create specialist departments in their structures.



Rys. 5. Nakłady na rynku usług teleinformatycznych i nawigacyjnych w Polsce dla pojazdów osobowych i użytkowych, wg danych PPWK

Fig. 5. Expenditure on the teleinformation and navigation market in Poland for passenger and utility cars acc. to the data from PPWK

Przyszłość logistyki to systemy technologii informatycznych (IT), wspomagające działalność operacyjną oraz systemy wymiany informacji (EDI) pomiędzy partnerami handlowymi i operatorem logistycznym (rys. 5).

Rozbudowane systemy zarządzania relacjami z klientem (CRM) dają możliwość opracowywania zleceń oraz struktury kosztów. Operatorzy oferują możliwość składania zleceń na stronach internetowych, a następnie umożliwiają klientowi w czasie rzeczywistym, śledzenie na jakim etapie przygotowań jest konkretna przesyłka. Funkcją ta dotyczy wszystkich etapów wykonywanej usługi w łańcuchu logistycznym.

Redakcja czasopisma „Eurologistics” w ubiegłym roku przeprowadziła trzecią edycję rankingu firm logistycznych „Operator logistyczny 2004”. Ranking opierał się na informacjach uzyskanych drogą ankietową od klientów firm logistycznych. Rozwój branży logistycznej jest na tyle zaawansowany, że możliwa stała się ocena jakości świadczonych usług przy użyciu narzędzi marketingowych takich jak program badania satysfakcji klientów.

Najlepszą firmą logistyczną na polskim rynku jest w opinii klientów DHL Express, który zdobył *Złote Godło*. *Srebrne Godło* operatora logistycznego przypadło firmie Schenker, a brązowe Delta Trans. Ranking wykazał również, że pomimo wzrostu wymagań klientów i większej konkurencji, w ocenie klientów nastąpił wzrost jakości świadczonych usług logistycznych.

6. Podsumowanie

Okres roku jaki minął od rozszerzenia UE był dla branży TSL czasem trudnym i w wielu przypadkach pokazał, że optymizm przed akcesyjny przewoźników był nadmiernie rozbudowany. Dostęp do zintegrowanego rynku zwiększył ilość zleceń, ale

The future of logistics are information technology systems (IT), assisting the operational activities and electronic data interchange systems (EDI) among trade partners and logistic op

The highly developed CRM (Customer Relationship Management) structures allow to work out the orders and costs structure. Operators offer the possibility to submit orders via the internet and then enable a client to follow the route of his dispatch in real time. This function applies to all the stages of the provided service in the logistic chain.

The editors of the periodical “Eurologistics” last year organized the third edition of logistic firms ranking “The logistic operator 2004”. The ranking was based on information obtained from surveys of logistic firms clients. The development of logistic business is advanced enough to enable an assessment of the quality of the provided services by means of marketing tools such as a program of client satisfaction testing.

According to clients the best logistic firm on the Polish market is DHL Express, the winners of the Gold Emblem. The Silver Emblem of the logistic operator was won by the firm Schenker, and the brown one by Delta trans. The ranking also showed, that in spite of clients being more demanding and of the growing competition, according to the public opinion the quality of the provided services improved.

6. Conclusion

The span of one year since the EU enlargement was a difficult time for the TSL business and in many cases it turned out that the pre-accession optimism of haulers had been too far-fetched. An access to the integrated market increased the number of orders, but

także gwałtownie obniżył ceny frachtów powodując kłopoty finansowe wielu firm. Z drugiej strony sektor spedycyjno – logistyczny może rozbudowywać swój potencjał oferując klientom bardzo niskie stawki przewozowe. Rewolucyjne zmiany okresu przejściowego przewartościowały wiele z opinii na temat branży TSL. Pomimo spowolnienia wzrostu gospodarczego Polski, rokowania na temat kondycji usług transportowo – spedycyjno – logistycznych w opinii ekspertów są optymistyczne. Długofalowa strategia rozwoju jest uzależniona od pozytywnej realizacji zagadnień:

1. Wypracowanie spójnej polityki transportowej państwa i wprowadzenie jej w życie poprzez modyfikację uregulowań prawnych, tak aby służyły zrównoważonemu rozwojowi rynku TSL, zabezpieczając przed opanowaniem branży przez kilka dużych firm z państw zachodnich. Konsultowany obecnie projekt głównych założeń polskiej polityki transportowej na lata 2005 – 2025 jest kontrowersyjny i budzi zastrzeżenia w wielu środowiskach.
2. Konieczność nowelizacji ustawy o transporcie drogowym i utworzenie zapisów o spedycji, regulujących zasady postępowania przewoźników i spedytorów, zakres ich kompetencji i odpowiedzialności.
3. Pilna potrzeba zjednoczenia wysiłków i wypracowania silnego lobby przez przedstawicieli 32 organizacji transportu drogowego działających w kraju.
4. Doskonałe położenie geopolityczne Polski w Europie Środkowej gwarantuje przebieg szlaków dystrybucyjnych i rozwój branży TSL, ale pod warunkiem szybkich i zdecydowanych zmian ilościowych i jakościowych w infrastrukturze drogowej. Powstanie sieci autostrad i dróg szybkiego ruchu, to warunek funkcjonowania korytarzy transportowych przebiegających przez Polskę.
5. Ograniczenie nadmiernych obciążeń fiskalnych nakładanych na firmy transportowe: m.in. niesłusznie pobierany VAT, podwójne opłaty za korzystanie z autostrad, wysokie ceny paliwa.
6. Regulacja na drodze administracyjnej kwestii minimalnej stawki za fracht jako element walki z dumpingiem.

7. References

- [1] Fechner J, Szyszka G. I red.: *Logistyka w Polsce - Raport 2003*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2004.
- [2] Fechner J.: *Centra logistyczne Cel – Realizacja - Przyszłość*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2004.
- [3] Brdulak H.: *Ranking firm transportowo – spedycyjno – logistycznych*, Logistyka Transport Spedycja Nr 2/2005.
- [4] Kij M.: *Ciężarówka w Polsce 2005*, Auto Transport Nr 6/2005.

also caused a sudden drop of freight prices driving a lot of firms into financial trouble. On the other hand the shipping – logistic branch can develop their potential offering their clients very low transport prices. The revolutionary changes of the transition period have refuted a lot of opinions on the TSL business. In spite of a slower economic growth in Poland at the moment, according to experts the prospects for the condition of transportation – shipping – logistics services are good. A long-term development strategy depends on the effective realization of the following problems:

1. Working out of a consistent transport policy of the State and its realization by a modification of legal regulations so that they serve a balanced development of the TSL market, protecting it from the monopoly of a few big firms from the west. The currently discussed project of the main assumptions for the Polish transport policy in the years 2005 – 2025 is controversial and broadly criticized.
2. Necessity of an amendment to the Road Transport Act and addition of items about shipping, regulating the principles of haulers and shippers conduct, range of their competence and responsibility.
3. An urgent need to join efforts and establish a strong lobby of the representatives of 32 road transport organizations in Poland.
4. A perfect geopolitical localization of Poland in Central Europe guarantees distribution routes and development of TSL business, but under the condition of fast and decisive qualitative and quantitative changes in road infrastructure. The building of motorways and highways network is a condition for the functioning of transport corridors across Poland.
5. Limitation of excessive taxation imposed on transport firms , e.g. the unjustly required VAT, double payments for using motorways, high fuel prices.
6. Administrative regulation of the minimum freight price as an element of fight against dumping.

- [5] www.biznespolska.pl
- [6] www.laj.pl
- [7] www.eurologistyka.pl
- [8] www.autotransport.com.pl
- [9] www.pisil.pl
- [10] www.polskitraker.pl

Prof. dr hab. inż. Wiesław PIEKARSKI
Mgr inż. Sławomir JUŚCIŃSKI

Wydział Techniki Rolniczej
Katedra Energetyki i Pojazdów
Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin
wieslaw.piekarski@ar.lublin.pl

BEZINWAZYJNA METODA OCENY ZUŻYCIA TULEI CYLINDROWYCH SILNIKA ZS

NON-INVASIVE ESTIMATION OF CYLINDER WEAR IN A DIESEL ENGINE

W pracy zaprezentowano nową metodę oceny zużycia tulei cylindrowych silnika ZS wykorzystującą informacje pochodzące z eksploatowanego w silniku oleju. Zmiany własności fizykochemicznych oleju w czasie eksploatacji odzwierciedlają m.in. stan techniczny układu tłok-pierścienie-cylinder. Zjawiska degradacji i odświeżania oleju w czasie eksploatacji powodują zmiany wartości wskaźników opisujących jego stan. Zaproponowany wskaźnik intensywności zmian własności oleju C_w niesie ze sobą uśrednioną informację na temat intensywności oddziaływania silnika na olej, jednocześnie odzwierciedla długotrwałą tendencję obserwowanych zmian. Obliczona wartość wskaźnika dla oleju w chwili jego wymiany pozwala określić zużycie tulei cylindrowych eksploatowanego silnika. Przydatność metody zweryfikowano w badaniach eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: zużycie silnika, olej silnikowy, badania eksploatacyjne

The paper presents a new method of estimation of cylinder liner wear in a diesel engine. The method uses data obtained from lubricating oil used in the investigated engine. Changes of physical and chemical properties of oil during operation reflect technical condition of an piston-ring-cylinder assembly. Effects of degradation and renewing of oil during operation cause changes of index values which describe condition of oil. Proposed index of change intensity of oil properties C_w brings averaged information about the impact intensity of engine on the oil. At the same time it reflects long term tendency of observed changes. Calculated value of index for oil at the moment of its change allows for evaluation of wear of the cylinder liners of the investigated engine. Usability of the method was verified during operational research.

Keywords: engine wear, engine oil, operational research

1. Wstęp

Istotnym problemem w praktyce eksploatacyjnej jest ocena stanu technicznego silnika, a co z tym związane, określenie zużycia elementów układu tłok-pierścienie tłokowe-cylinder (TPC). Stosowane dotychczas powszechnie metody wymagają częściowego demontażu elementów silnika celem dokonania stosownych pomiarów. Do tej grupy metod należy m.in. mikrometraż elementów silnika, a także metody pozwalające pośrednio określić stopień zużycia układu TPC np. pomiar ciśnienia sprężania. W tym przypadku należy zdemontować niektóre elementy układu wtryskowego silnika. Odrębną grupę stanowią metody pozwalające na ciągłą obserwację procesu zużywania elementów współpracujących tarciowo. Stosowane w tym przypadku np. metody izotopowe są kosztowne i wymagają specjalistycznego przygotowania jak też

1. Introduction

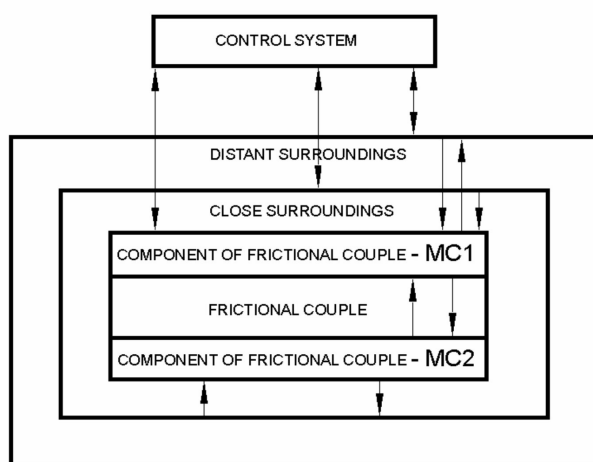
Substantial problem during service practice is related to the evaluation of the technical condition of an engine, and therefore, with determination of wear of piston-ring-cylinder (PRC) components. Methods used commonly so far require partial disassembly of engine in order to perform required measurements. Micrometric measurements of engine components belong to this group of methods, as well as methods which enable indirect determination of wear ratio of PRC assembly, like measurement of compression pressure. In this case some components of engine injection system need to be disassembled. A separate group is created by the methods which enable constant observation of wear processes in components with frictional mating. Methods which are used for such purposes, like isotopic, are expensive and require

oprzyrządowania stąd nie są powszechnie wykorzystywane w diagnostyce technicznej.

Analiza układu tłok-pierścienie tłokowe-cylinder jako systemu tribologicznego wskazuje, że istotnym źródłem informacji może być znajdujący się w nim środek smarowy. Spośród wszystkich elementów systemu tribologicznego [1] olej silnikowy podlega najintensywniejszym zmianom fizycznym i chemicznym w czasie eksploatacji. Wynika to z oddziaływania systemu na olej [2]. Model systemu tribologicznego przedstawiono na rys. 1.

special preparation and equipment. That is why they are not widespread in technical diagnostics.

Analysis of PRC assembly as a tribological system shows, that a lubricating medium can be an important source of information. Among all components of the tribological system [1] engine lubricating oil is subject to the most intense physical and chemical changes during operation. It results from the influence which system exerts on the oil [2]. The model of tribological system is shown on fig. 1.



Rys. 1. Model systemu tribologicznego
Fig. 1. Model of the tribological system

Wielkość wymuszeń działających na olej silnikowy związana jest m.in. ze stanem technicznym układu TPC. Od wielkości luzu w tym skojarzeniu zależy ilość spalin przedostających się do skrzyni korbowej, ilość oleju przedostającego się do komory spalania oraz ilość niespalonego paliwa przedostającego się do miski olejowej. Zjawiska te powodują, że wskaźniki opisujące stan oleju silnikowego ulegają intensywnym zmianom w czasie. Kinetyka tego procesu uzależniona jest od występujących zjawisk tribologicznych oraz zużycia układu TPC. Istnieje zatem możliwość dokonania oceny stanu zużycia układu TPC silnika na podstawie obserwacji zmian zachodzących w składzie fizycznym i chemicznym eksploатованego w nim oleju silnikowego.

2. Opis metody

Przy opracowywaniu nowej metody oceny zużycia układu TPC szczególny nacisk położono na możliwość jej stosowania przez szerokie grono użytkowników pojazdów. Dodatkowo metoda ta nie powinna wymagać ingerowania w układ tribologiczny czy też silnik pojazdu, a wszelkie pomiary powinny być wykonywane poza pojazdem. Takie podejście

Magnitude of input functions which act on engine oil is related to the technical condition of PRC assembly. Clearance in this assembly influences the volume of exhaust gasses entering the crankcase, amount of oil entering the combustion chamber and amount of unburnt fuel entering the oil sump. This effects cause, that parameters describing condition of engine oil change in great intensity within time. Kinetics of the process depends on the tribological phenomena taking place and on the wear of PRC assembly. Therefore there is a possibility to evaluate wear ratio of the PRC assembly on the basis of observation of changes which take place in physical and chemical composition of engine oil used in the investigated engine.

2. Method description

During elaboration of the new method used for evaluation of the PRC assembly wear a particular emphasis was put on the possibility of its employment by wide group of vehicle users. Moreover, this method should not require interference with the tribological system or engine of the vehicle. All the measurements should be done away from the vehicle. Such approach

wymagało rozwiązania dwóch zasadniczych problemów: wyboru sposobu oceny zużycia układu TPC oraz opracowania metodyki badań eksploатовanego oleju silnikowego.

Pierwsze zagadnienie jest stosunkowo proste do rozwiązania. Przeprowadzona analiza literaturowa wykazała, że zużycie układu TPC utożsamiane jest przede wszystkim ze wzrostem wewnętrznej średnicy tulei cylindrowej. Zgodnie z Normą Branżową [3] zużycie cylindrów oblicza się, zestawiając wyniki pomiarów mikrometrycznych średnicy wewnętrznej cylindra wykonanych po obserwowanym okresie pracy silnika z górnym wymiarem tej średnicy podanym w dokumentacji konstrukcyjnej.

W badaniach trwałości silników w ujęciu statystycznym, zwłaszcza w warunkach eksploatacyjnych, dąży się do uproszczenia pomiarów. Zużycie cylindra traktuje się wtedy jako wskaźnik zużycia całego zespołu TPC [4].

W przypadku metodyki badań oleju silnikowego zagadnienie wymagało głębszej analizy.

Olej silnikowy i opis jego stanu jako środka smarowego nie może być dokonany w oderwaniu od systemu tribologicznego. Stan oleju charakteryzują makroskopowe właściwości układu jak też wielkości związane z wypełnianiami w systemie funkcjami. Opis stanu jest zatem odzwierciedleniem właściwości indywidualnych i funkcjonalnych (zespołowych) środka smarowego. W praktyce najczęściej własności te ocenia się poprzez pomiar wartości konkretnych parametrów – wskaźników ujętych w normach przedmiotowych, dotyczących środków smarowych. Zestawienie najczęściej stosowanych wskaźników przedstawiono na rys. 2.

Przyjęta w założeniach dostępność stosowania nowej metody przez szerokie grono użytkowników wyznaczała konieczność wyboru spośród prezentowanych wskaźników jednego, najlepszego. Ograniczono w ten sposób koszty dokonywanej oceny. Ponadto zmiany eksploatacyjne wybranego wskaźnika musiały zadowalająco korelować ze zmianami zachodzącymi w układzie TPC tj. postępującym zużyciem tulei cylindrowych. Inaczej intensywność obserwowanych zmian powinna wzrastać wraz z re-

quired solving two main problems: selection of procedures of wear assessment in a PRC assembly and development of research methodology of the engine lubricating oil.

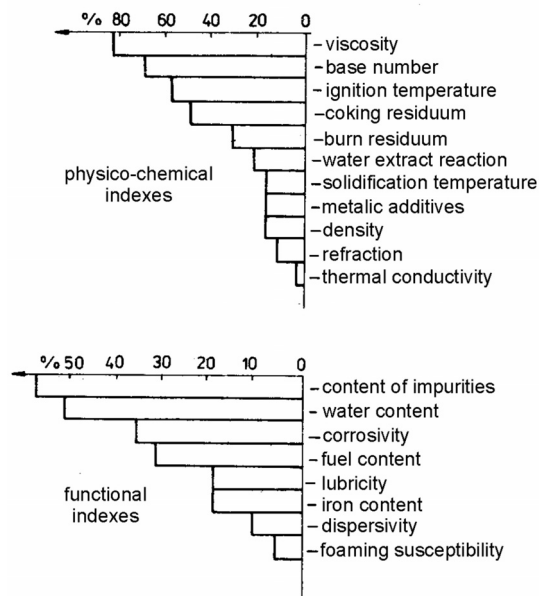
The first question is relatively simple to solve. Analysis of the literature shows, that the wear of the PRC assembly is identified mainly by the increase of the external diameter of the cylinder liner. According to the Branch Norm [3], cylinder wear is calculated on the basis of micrometric measurements of the inner diameter of the cylinder, performed after observed time of engine operation, and matching them with upper dimension of the diameter given in a technical documentation.

In statistical approach to engine durability research, especially in operational conditions, a tendency in reduction of measurements can be observed. Wear of the cylinder is treated as an index of the total wear of the PRC assembly [4].

In case of engine oil research methodology, the problem required more complex approach. Engine lubricating oil and its condition can not be described with separation from the tribological system. Condition of oil can be characterized by macroscopic properties of the system, as well as quantities related to the functions fulfilled in the system. Description of the state is reflected by individual properties and functional (collective) properties of the lubricating medium. In practice, most often these properties are evaluated by measurement of the values related to specific parameters – indexes included in subject norms,

concerning lubricating mediums. Summary of indexes used most commonly is shown on fig. 2.

Availability of the method for wide group of users which was accepted in the general assumptions, required selection of one, best index between all the presented. This also limited costs of evaluation. Moreover, operational changes of the chosen index had to sufficiently correlate with changes taking part in the PRC assembly, i.e. advancing wear of cylinder liners. Intensity of observed changes should increase with recorded engine (vehicle) mileage. Preliminary selection of indexes fulfilling



Rys. 2. Częstość stosowania wskaźników oceny zmian jakości oleju w badaniach eksploatacyjnych [5]
 Fig. 2. Usage frequency of the evaluation indexes related to the oil quality in operational research [5]

jestrowanym przebiegiem silnika (pojazdu). Wstępnej selekcji wskaźnika odpowiadającego tym kryteriom dokonano na drodze analizy teoretycznej.

Warunki współpracy elementów tłok, pierścienie tłokowe, tuleja cylindrowa determinowane są przede wszystkim lepkością znajdującego się między nimi środka smarowego. Decyduje ona o charakterze tarcia zarówno w zimnym jak i ciepłym silniku. Ma też znaczenie w czasie rozruchu silnika. Ponadto lepkość oleju silnikowego ulega znacznym zmianom w czasie jego eksploatacji. Związane jest to m.in. ze zjawiskiem przedostawania się niespalonego paliwa do miski olejowej silnika, co z kolei warunkowane jest w dużym stopniu szczelnością (zużyciem) skojarzenia TPC. Obserwowany wraz z przebiegiem pojazdu – silnika wzrost luzu między tłokiem, a tuleją cylindrową sprzyja przedostawaniu się coraz większych ilości paliwa i szybszemu rozcieńczaniu oleju silnikowego. Występujące jednocześnie procesy powodujące wzrost lepkości oleju nie neutralizują powyższej tendencji, a ponadto ich intensywność nie jest ściśle skorelowana z postępującym zużyciem układu TPC. Ich występowanie związane jest przede wszystkim z procesami starzeniowymi oleju zachodzącymi w strefie wysokotemperaturowej silnika tj. warstwie smarowej na gładzi tulei cylindrowej [6]. Obserwuje się zatem proces rozcieńczania oleju silnikowego w czasie eksploatacji przy czym intensyfikuje się on wraz z przebiegiem pojazdu. Kinetykę zmian lepkości oleju odzwierciedla zatem funkcja malejąca o przyrostach bezwzględnych rosnących wraz z przebiegiem pojazdu.

Jednak zmiany zachodzące w eksploatowanym oleju to nie tylko jego degradacja, na skutek oddziaływania systemu, ale także zjawisko odświeżania poprzez „dolewki”. Obraz stanu fizykochemicznego eksploatowanego oleju tuż po dolewce jest mocno zniekształcony. Porcja świeżego oleju polepsza własności środka smarowego, zbliżając je do wartości początkowych. Stąd też ważnym zagadnieniem jest chwila dokonywanej analizy.

Rzeczywisty stan eksploatowanego oleju obserwujemy w chwili jego wymiany. Obserwacje zachowania użytkowników wskazują, że nie dokonują oni dolewek oleju przed planowaną wkrótce jego wymianą. Zatem stan oleju silnikowego w chwili jego wymiany dobrze odzwierciedla wypadkową wymuszeń nań działających.

Rozważenia wymaga jeszcze kwestia sposobu porównania procesu zużywania tulei cylindrowych, będącego procesem ciągłym i obserwowanym dla tej samej pary kinematycznej, z procesem degradacji oleju odbywającym się dla kolejnych, nowych porcji oleju po każdej jego wymianie. Ponadto rzeczywisty czas eksploatacji oleju może być różny dla kolejnych wymian, choć statystycznie, przy wysokiej kulturze

above requirements was done on the theoretical basis.

Conditions of collaboration between piston, piston rings and cylinder liner are mostly determined by viscosity of present lubricating medium. Viscosity determines the type of friction both for the cold and warm engine and is of significance during engine start-up. Moreover, oil viscosity changes during engine operation. It is connected with a phenomena of penetration of unburnt fuel to the crankcase, what is conditioned in high extent by the leaktightness (wear) of PRC group. An increase of clearance between the piston and cylinder liner which can be observed with the increasing mileage fosters penetration of higher amount of fuel and quicker dilution of the engine oil. Simultaneous processes which cause increase of oil viscosity do not neutralize the described tendency, and their intensity is not strictly correlated with the progressive wear of the PRC group. Their presence is connected mostly with oil ageing processes which take place in the high-temperature zones of the engine, i.e. lubricating layer on the cylinder liner surface [6]. So the process of oil dilution during engine operation can be observed, which intensifies with vehicle mileage. Kinetics of viscosity changes is reflected by the decreasing function with absolute increments increasing with vehicle mileage.

However changes taking place in the used oil are not only related to its degradation because of the system's influence, but also the effect of renewing by “topping up”. Physical and chemical condition of oil shortly after “topping up” is strongly distorted. A portion of fresh oil upgrades properties of lubricating medium, making them close to the initial values. Therefore, an important issue is when the analysis should be made.

Real condition of used oil is observed during its change. Observation of user's behaviour show, that they do not renew oil short before planned change, so condition of changed oil reflects a resultant of all affecting inputs.

It should be considered how the process of cylinder wear, which is constant and observed for the given kinematic pair, can be compared to oil degradation process which takes place for consecutive, new portions of oil after every change. Real time of oil usage can be different for consecutive changes, although statistically, with high maintenance culture, its expected value will be close to the producer's recommendations.

obsługi, jego wartość oczekiwana będzie zbliżona do zalecanej przez producenta.

Rozwiązaniem jest zastosowanie w prezentowanej metodzie nowego wskaźnika intensywności zmian własności oleju C_w [6]. Scharakteryzowany jest on zależnością (1):

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

gdzie: W_p – wartość mierzonego wskaźnika oceny stanu oleju dla oleju świeżego, W_k – wartość mierzonego wskaźnika oceny stanu oleju dla oleju przeprosowanego (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. Graficzną jego interpretację przedstawiono na rys. 3.

Przeprowadzone badania eksploatacyjne wykazały, że najlepszym dla potrzeb prezentowanej metody jest wskaźnik intensywności zmian lepkości kinematycznej w 100°C – C_{V100} [6].

Ostatnim etapem jest wyrażenie zużycia obserwowanego w układzie TPC przy pomocy rejestrowanego w eksploatacji wskaźnika intensywności zmian lepkości kinematycznej C_{V100} .

In the described method, a new index of change intensity of oil properties C_w is proposed [6], which can be a good solution to the problem outlined above. The index is given by the following formula (1):

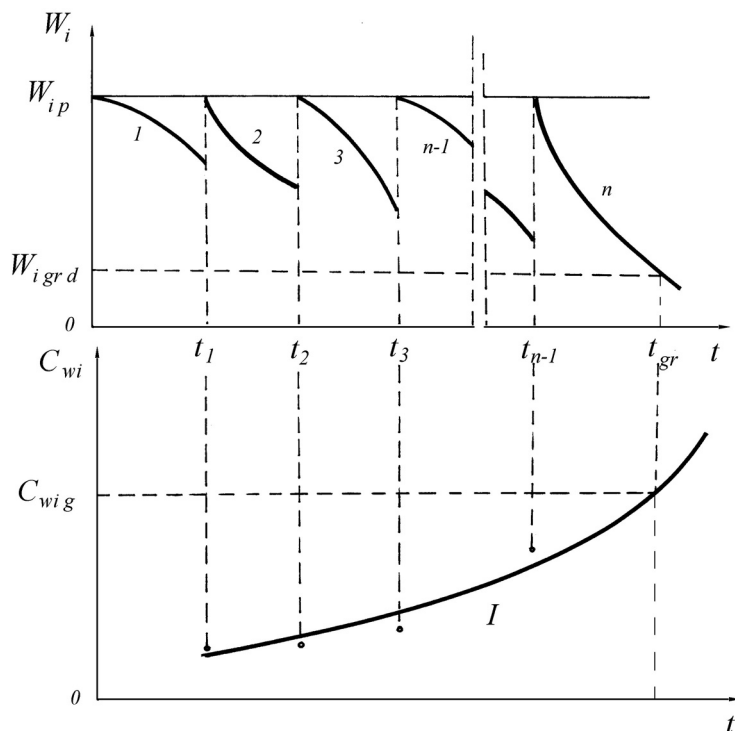
$$C_w = \frac{W_p - W_k}{t_{ol}} \quad \text{for } t > 0 \quad (1)$$

where: W_p – measured index of evaluation of the oil conditions for the fresh oil, W_k – measured index of evaluation of the oil conditions for the used-up oil (at the moment of change), t_{ol} – time of engine operation till the change of oil, C_w – index of change intensity of oil properties.

The index brings averaged information about the intensity of engine impact on the oil and does not take into account periodic changes of measured oil parameters but reflects long term trend of observed changes. Graphic presentation of index C_w is given on fig. 3.

Operational research have shown, that the best index for the presented method is based on the change intensities of the kinematic viscosity at 100°C – C_{V100} [6].

The last phase of the research is to express wear observed in the PRC assembly using the viscosity change intensity index C_{V100} , which is recorded during engine operation.



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. Changes of the oil condition index as a function of time: W_p – initial value of condition indexes, W_{k1} , W_{k2} , ..., W_{kn} – final value of condition index at the moment of 1, 2, ..., nth oil change, t_1 , t_2 , ..., t_n – moments of oil change, C_w – index of change intensity of the oil properties

Ponieważ zarówno zużycie z jak i zmiany wskaźnika C_{V100} są funkcją czasu eksploatacji (krzywa I na rys. 3) zatem rozwiązując układ równań względem czasu otrzymano poszukiwaną zależność (2):

$$z = f(C_{V100}) \quad (2)$$

Celem określenia analitycznej postaci zależności (2) przeprowadzono badania eksploatacyjne.

3. Badania eksploatacyjne

Badania eksploatacyjne przeprowadzono na grupie 5 – ciu silników 359M eksploatowanych w samochodach STAR 1142. Są to silniki wysokoprężne, 6 – cio cylindrowe o rzędownym układzie cylindrów, pojemności skokowej 6,482 [dm³], mocy znamionowej 110 [kW] i momencie obrotowym 440 [Nm] przy prędkości obrotowej 1800 – 2100 [obr/min]. Samochody eksploatowane były w cyklu miejskim oraz pozamiejskim. Badania prowadzono dla przebiegu 0 ÷ 110 [tys.km].

W trakcie prowadzonych badań dokonywano [6]:

- 1) pomiarów zużycia tulei cylindrowych silników,
- 2) oznaczenia własności fizykochemicznych oleju świeżego,
- 3) oznaczenia własności fizykochemicznych oleju pracowanego w chwili jego wymiany.

Oznaczano następujące wskaźniki stanu oleju:

- lepkość kinematyczną w temperaturze 40°C,
- lepkość kinematyczną w temperaturze 100°C,
- liczbę zasadową,
- pozostałość po spoieleniu,
- temperaturę zapłonu,
- liczbę koksowania,
- zawartość wapnia, cynku i fosforu
- zawartość żelaza, miedzi i ołowiu (tylko dla oleju pracowanego).

Analiza statystyczna uzyskanych wyników badań w odniesieniu do zmian własności oleju silnikowego potwierdziła, że jedynie kinetyka zmian lepkości kinematycznej oleju w temperaturze 100°C odpowiada zmianom zużyciowym obserwowanym na powierzchni tulei cylindrowych [6]. Uwzględniono jednocześnie, że charakter procesów zużyciowych zachodzących w okresie docierania silnika jest nieco odmienny, stąd też w analizie wyodrębniono dwa etapy eksploatacji: pierwszy związany z okresem docierania silnika ($t \leq t_d$) i drugi normalnego zużycia ($t > t_d$) [6]. Z punktu widzenia użytkownika, istotniejszą jest ocena stanu zużycia silnika w drugim okresie eksploatacji dlatego poniżej przedstawiono wyniki badań dla tego etapu użytkowania.

As both wear z and changes of C_{V100} index are functions of operation time (curve I, fig. 3), solving a set of equations relative to time gives desired dependence (2):

$$z = f(C_{V100}) \quad (2)$$

So as to define analytical form of the dependence (2) experiments during operation were made.

3. Operational research

Operational research was done using 5 engines of 359M type which were used in Star 1142 trucks. That are 6-cylinder in-line diesel engines, with capacity of 6.48 [dm³], rated power 110 [kW] and rotational torque 440 [Nm] at 1800 - 2100 [rpm]. Trucks were used in a city driving conditions and in inter-city distribution. Research covered the mileage from 0 to 110.000 [km]. During the research following tasks were done [6]:

- 1) wear measurements of the cylinder liners,
- 2) determining physical and chemical properties of fresh engine oil,
- 3) determining physical and chemical properties of used-up engine oil during its change.

Following indexes of oil condition were measured:

- kinematic viscosity at 40°C,
- kinematic viscosity at 100°C,
- base number,
- residuum after burn,
- ignition temperature,
- coking number,
- content of Ca, Zn and P
- content of Fe, Cu, Pb (only for used-up oil).

Statistical analysis of gathered results in regard to the changes of properties of engine oil has confirmed, that only kinetics of changes of the kinematic viscosity of at 100 °C correlates well with wear changes observed on the cylinder surface [6]. Because characteristics of wear processes during engine running-in differs from the rest of operation time, analysis consisted of two usage phases: first for to the running-in period ($t \leq t_d$), and second for the normal usage and wear ($t > t_d$) [6]. From the user's point of view, evaluation of engine wear in the second phase is more important, therefore only results for this period of operation are presented below.

Na podstawie zebranych danych wyznaczono następujące zależności (3):

$$\bar{z} = (0,000132) \cdot t + 43,961 \quad \text{dla } t > t_d \quad (3a)$$

$$C_{v100} = (3,277) - (2,142) \cdot t^{(0,033)} \quad \text{dla } t > t_d \quad (3b)$$

gdzie: t – czas pracy silnika wyrażony w [km] przebiegu pojazdu, t_d – chwila zakończenia procesu docierania [km], \bar{z} – wartość średnia zużycia tulei cylindrowej [μm], C_{v100} – wskaźnik intensywności zmian lepkości kinematycznej w temperaturze 100°C [$\text{mm}^2/\text{s} \cdot \text{km}$],

oraz poszukiwaną zależność $z = f(C_{v100})$ (4):

$$\bar{z} = (0,000132) \cdot \left[\frac{(3,277) - C_{v100}}{(2,142)} \right]^{\frac{1}{0,033}} + (43,961) \quad (4)$$

dla $t > t_d$

W ten sposób dla dowolnej chwili czasu $t > t_d$ można określić na podstawie zmian lepkości kinematycznej oleju silnikowego w temperaturze $100^\circ\text{C} - v_{100}$, na poziomie ufności $1 - \alpha = 0,5$, średnią wartość zużycia tulei cylindrowych silnika. Zwiększenie poziomu ufności takiej oceny wymagałoby przeprowadzenia dodatkowych badań na większej populacji obiektów. Badania takie, dosyć kosztowne, byłyby celowe w przypadku perspektywy szerokiego wykorzystania proponowanej metody prognostycznej w praktyce.

4. Wnioski

Warunkiem koniecznym dokonania oceny zużycia tulei cylindrowych silnika na podstawie zmian lepkości oleju jest zebranie następujących informacji:

- 1) wartości lepkości kinematycznej w temperaturze $100^\circ\text{C} - v_{100}$ dla oleju świeżego,
- 2) wartości lepkości kinematycznej w temperaturze $100^\circ\text{C} - v_{100}$ dla oleju przepracowanego (w chwili jego wymiany),
- 3) czasu pracy oleju – przebiegu pojazdu od chwili ostatniej wymiany.

Przedstawiona metoda pozwala na przyjętym poziomie ufności dokonać oceny dla silnika 359M i silników o zbliżonej konstrukcji. Zależność ta nie jest uniwersalna i zastosowanie jej do silników innego typu wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań weryfikujących. Jednak charakter zjawisk zachodzących w oleju silnikowym i ich zależność od stopnia zużycia układu TPC pozwalają przypuszczać, że charakter zależności będzie podobny. Różnice występować będą jedynie w wartościach współczynników krzywej opisującej związek między zużyciem \bar{z} a wskaźnikiem C_{v100} .

On the basis of gathered data following formulas were determined (3):

$$\bar{z} = (0,000132) \cdot t + 43,961 \quad \text{dla } t > t_d \quad (3a)$$

$$C_{v100} = (3,277) - (2,142) \cdot t^{(0,033)} \quad \text{dla } t > t_d \quad (3b)$$

where: t – engine operation time in [km] of vehicle mileage, t_d – end of running-in phase [km], \bar{z} – mean value of cylinder wear [μm], C_{v100} – index of change intensity of kinematic viscosity at 100°C [$\text{mm}^2/\text{s} \cdot \text{km}$],

and desired dependence $z = f(C_{v100})$ (4):

$$\bar{z} = (0,000132) \cdot \left[\frac{(3,277) - C_{v100}}{(2,142)} \right]^{\frac{1}{0,033}} + (43,961) \quad (4)$$

for $t > t_d$

In such a way, for the desired time $t > t_d$ with the confidence level of $1 - \alpha = 0,5$, a mean value of wear of the cylinder can be estimated on the basis of changes in kinematic viscosity v_{100} of engine oil at 100°C . Increase of confidence level of such evaluation would require research of greater number of engines. Such investigations – rather costly – would be desirable only with wider perspective of usage of the prognostic method.

4. Conclusions

Gathering of following data is a necessary condition for the evaluation of cylinder wear on the basis of viscosity changes of engine oil:

- 1) value of kinematic viscosity at 100°C for the fresh oil,
- 2) value of kinematic viscosity at 100°C for the used oil (at the moment of change)
- 3) time of oil usage – vehicle mileage from the last oil change.

Described method allows for, at a given confidence level, evaluation of wear for the 359M engines and similar constructions. The derived dependence is not universal and its application for the engines of other types would require more detailed verification research. However, character of the effects which take place in the engine oils and their dependence on the wear of PRC group, allows for assumption that general type of the dependence would remain the same. Differences can be expected in regard to the values of fitting coefficients of the curve describing the relation between wear z and C_{v100} index.

4. References

- [1] Łuczak A., Mazur T.: *Fizyczne starzenie elementów maszyn*, WNT, Warszawa 1981.
- [2] Nadolny K.: *Niezawodnościowe problemy eksploatacyjnych zmian jakości silnikowych olejów smarowych*, Politechnika Poznańska, Rozprawy nr 164, Poznań 1985.
- [3] Norma BN-79/1374-04. Silniki samochodowe. Badania stanowiskowe. Badania niezawodności.
- [4] Niewczas A.: *Trwałość zespołu tłok-pierścienie tłokowe-cylinder silnika spalinowego*, WNT, Warszawa 1998.
- [5] Nadolny K., Zwierzycki W.: *Cele i sposoby prowadzenia eksploatacyjnych badań olejów*, II Sesja Naukowa Wydziału Maszyn Roboczych i Pojazdów PP, Politechnika Poznańska, Poznań 1979.
- [6] Chmielewski Z.: *Trwałość tulei cylindrowych silnika spalinowego jako funkcja stanu oleju smarowego podczas eksploatacji*, Rozprawa doktorska, Politechnika Radomska, Radom 2001.

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

METHODS OF ESTIMATION OF ACTIVITY EFFICIENCY TO INCREASE RELIABILITY OF PRODUCTS OUTCOME

The paper is devoted to comparative analysis of efficiency of one or another activity carried out with the purpose of the improvement of needed characteristics of products. In mathematical aspect, the problem can be reduced to the task of the hypothesis testing regarding the activity efficiency to increase products reliability after their finishing. The details of consideration are presented for the Weibull distribution under the II type censoring conditions.

Keywords: Weibull distribution, parameters, finishing efficiency, hypothesis testing

1. Introduction

Increase of efficiency of finishing activities remains an important task in different applications, for example, in aviation, where crucial is to increase after control activity aviation equipment operating time before failure. Often, the task of such kind appears during the development of aircraft, when, due to the finishing done in the construction and technology of each product manufacturing, its quality is changed, as well as the product reliability and aircraft in whole. So, special laboratory and bench tests of various parts of highly reliable products will be the sources of product life span information. In constructing the efficiency criteria we will rely below on such information, although the same criteria may be used for the evaluation of various activities, which efficiency should be evaluated on the basis of the product exploitation results.

Let's consider that initial information is the union of two samplings of observation obtained as a result of tests before and after the controllable activity (CA). Samplings, generally, are censored with censoring of the II type, i.e. they look like

$$\begin{aligned} x_1, x_2, \dots, x_r, \\ y_1, y_2, \dots, y_s, \end{aligned} \quad (1)$$

where r, s - is a number of observations, which appearance causes termination of tests being carried out before and after the CA, n, m - is a corresponding general number of simultaneously tested products [1, 2].

Such performance is rather natural, because due to the duration of fatigue experiments the laboratory tests are continuing only till the r or s failure.

Let us present below a mathematical formulation of the problem of evaluation of activities efficiency for reliability growth. Let us assume, that independent random values (r.v.) $X_i, i=1, \dots, n$, which represent natural logarithms of time before product failure before the

CA, have distribution function (d.f.) with the location and scale parameter like

$$F_{X_i}(u) = \dot{F}_X\left(\frac{u - \theta_{0X}}{\theta_1}\right) \quad (2)$$

and independent r.v. $Y_i, i=1, \dots, m$, which are natural logarithms of time until the appearance of failure after the CA, have the distribution function like

$$F_{Y_i}(u) = \dot{F}_Y\left(\frac{u - \theta_{0Y}}{\theta_1}\right) \quad (3)$$

Let's notice that the transition to logarithm representation is related to the fact that there is an opportunity in this case to operate with distributions which have the location and scale parameters. Further, we will assume that the CA leaves without change the scale parameter θ_1 , but changes the location parameter θ_0 - the value which is closely connected to the mathematical expectation r.v. $X_i, i=1, \dots, n$. Indeed, if to consider r.v. X and Y , having representation like $X = \theta_{0X} + \theta_1 \cdot \dot{X}$, $Y = \theta_{0Y} + \theta_1 \cdot \dot{Y}$, it is clear then that with the invariable θ_1 increase θ_{0X} for $d = (\theta_{0Y} - \theta_{0X}) > 0$ is equivalent to the increase in the natural scale of mathematical expectation r.v. e^X in $k = e^d$ times. It is obvious then in our case to perform the testing of the hypothesis about the inefficiency of the CA type H: $\theta_{0X} = \theta_{0Y}$, while the alternative if the statement about the increase θ_{0X} , i.e. K: $\theta_{0Y} > \theta_{0X}$ [1].

2. Algorithms for the Weibull distribution

Very often we have to obtain point evaluations of aviation products reliability, which technical parameters have double exponential (Weibull) distribution. Let's consider that independent r.v. $X_i, i=1, \dots, n$, has f.d. like [3,4]

$$F_{X_i}(u) = 1 - \exp(-\exp(-(u - \theta_{0X})/\theta_1)), \quad (4)$$

and independent r.v. $Y_i, i=1, \dots, m$, obeys the distribution

$$F_{Y_i}(u) = 1 - \exp(-\exp(-\exp((u - \theta_{0Y})/\theta_1))), \quad (5)$$

According to the observation of the double sampling (1) by the method of maximum likelihood it is possible to evaluate the distribution parameters, while the maximum likelihood function looks like

$$\frac{n!}{(n-r)!} \frac{m!}{(m-r)!} \prod_{i=1}^r \frac{1}{\theta_1} f\left(\frac{x_{(i)} - \theta_{0X}}{\theta_1}\right) \prod_{j=1}^m \frac{1}{\theta_1} f\left(\frac{y_{(j)} - \theta_{0Y}}{\theta_1}\right) * \\ * (1 - F\left(\frac{x_{(r)} - \theta_{0X}}{\theta_1}\right))^{n-r} * (1 - F\left(\frac{y_{(s)} - \theta_{0Y}}{\theta_1}\right))^{m-s} \quad (6)$$

where $F(u) = 1 - \exp(-\exp(-\exp(u)))$, $f(u) = F'(u)$.

The evaluations of parameters as usual are defined from the equations set

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \theta_1} = 0, \quad \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_{0X}} = 0, \quad \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_{0Y}} = 0.$$

In our case, the equations set looks like

$$\begin{cases} \hat{\theta}_{0X} = \hat{\theta}_1 \left(\ln \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r v_i \right) \right) \\ \hat{\theta}_{0Y} = \hat{\theta}_1 \left(\ln \left(\frac{1}{s} \sum_{j=1}^m w_j \right) \right) \\ \sum_{i=1}^n v_i x_{(i)} + s \sum_{j=1}^m w_j y_{(j)} - (r+s) \hat{\theta}_1 - \sum_{i=1}^r x_{(i)} - \sum_{j=1}^s y_{(j)} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

where

$$v_i = \begin{cases} \exp(x_{(i)} / \hat{\theta}_1), & 1 \leq i \leq r, \\ \exp(x_{(r)} / \hat{\theta}_1), & r < i \leq n, \end{cases}$$

$$w_j = \begin{cases} \exp(y_{(j)} / \hat{\theta}_1), & 1 \leq j \leq s, \\ \exp(y_{(s)} / \hat{\theta}_1), & s < j \leq m, \end{cases}$$

$$x_{(i)} = \begin{cases} x_{(i)}, & i \leq r, \\ x_{(r)}, & i > r, \end{cases} \quad y_{(j)} = \begin{cases} y_{(j)}, & j \leq s, \\ y_{(s)}, & j > s. \end{cases}$$

Estimator $\hat{\theta}_1$ is determined from the latest equation of the set, and estimators $\hat{\theta}_{0X}$, $\hat{\theta}_{0Y}$ are calculated after putting $\hat{\theta}_1$ in the first and second equations.

For the above formulated task of the hypothesis testing about the inefficiency of the CA type H: $\theta_{0X} = \theta_{0Y}$, against K: $\theta_{0Y} > \theta_{0X}$ let's use the criterion V , based on statistics

$$V = \frac{\hat{\theta}_{0Y} - \hat{\theta}_{0X}}{\hat{\theta}_1}$$

where the above calculated estimators of the method of maximum likelihood are used.

With the known scale parameter θ_1 instead of statistics V it is possible to use statistics

$$U = \frac{\hat{\theta}_{0Y} - \hat{\theta}_{0X}}{\theta_1}$$

The use of regular estimator's properties, in particular, the properties of method of maximum likelihood estimator's allows to notice that the distribution of statistics V , U does not depend on the unknown parameters when the tested hypothesis is true. Really, in this case we have

$$\hat{\theta}_{0Y} = \theta_{0Y} + \theta_1 \hat{\theta}_{0Y} \quad \hat{\theta}_{0X} = \theta_{0X} + \theta_1 \hat{\theta}_{0X} \quad \hat{\theta}_1 = \theta_1 \hat{\theta}_1 \\ V = \frac{\hat{\theta}_{0Y} - \hat{\theta}_{0X}}{\hat{\theta}_1} = \frac{\hat{\theta}_{0Y} - \hat{\theta}_{0X} + \delta}{\hat{\theta}_1} \\ U = \frac{\hat{\theta}_{0Y} - \hat{\theta}_{0X}}{\theta_1} = \hat{\theta}_{0Y} - \hat{\theta}_{0X} + \delta \quad (8)$$

where: $\hat{\theta}_{0Y}$, $\hat{\theta}_{0X}$, $\hat{\theta}_1$ - estimators of parameters θ_{0X} , θ_{0Y} , θ_1 for observations $\dot{x}_{(1)}, \dots, \dot{x}_{(r)}$, $\dot{y}_{(1)}, \dots, \dot{y}_{(s)}$, having corresponding standard distribution with parameters $\theta_{0X} = \theta_{0Y} = 0$, $\theta_1 = 1$, $\delta = (\theta_{0Y} - \theta_{0X})/\theta_1$ and $\delta = 0$, when the hypothesis is true. In properties (8) it is obvious that with the increase $\delta = (\theta_{0Y} - \theta_{0X})/\theta_1$ statistics V , U grow that allows choosing the critical domain where the hypothesis of the following type is denied

$$V > C, \quad U > C,$$

where: C is determined from the condition of the first type error limitation or selection of criterion size of the α significance level.

With the truth of alternative from the same properties (8) it is obvious that the distribution of statistics V , U depends only on δ .

Note that situations when time of appearance of r.v. $Y_{(k)}$, $k \geq 1$, becomes extremely prolonged, are possible. Then for the evaluation of the CA performance the following statistics are used

$$V_l = \frac{Y_{(l)} - \hat{\theta}_{0X}}{\hat{\theta}_1} \quad U_k = \frac{Y_{(k)} - \hat{\theta}_{0X}}{\theta_1} \quad (9)$$

i.e. testing of m samples after the CA carrying out is terminated when there is at least one failure $Y_{(l)}$.

Natural generalization of these statistics with $k > 1$ are

$$V_K = \frac{Y_{(k)} - \hat{\theta}_{0X}}{\hat{\theta}_1} \quad U_k = \frac{Y_{(k)} - \hat{\theta}_{0X}}{\theta_1} \quad (10)$$

Let's notice as well, that for the use of criteria (9), (10) it is necessary to evaluate parameter according to one sampling. The corresponding equations set is a particular case of the earlier considered set (7) with substitution of θ_{0X} to θ_0 with $s = m = 0$ and it looks like

$$\begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n v_i x_{(i)}}{\sum_{i=1}^n v_i} - r\hat{\theta}_1 - \sum_{i=1}^r x_{(i)} = 0 \\ \hat{\theta}_{0X} = \hat{\theta}_1 \left(\ln \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^n v_i \right) \right) \end{cases}$$

where

$$v_i = \begin{cases} \exp(x_{(i)} / \hat{\theta}_1), & 1 \leq i \leq r, \\ \exp(x_{(r)} / \hat{\theta}_1), & r < i \leq n, \end{cases} \quad x_{(i)} = \begin{cases} x_{(i)}, & i \leq r, \\ x_{(r)}, & i > r. \end{cases}$$

Let's pay attention to the opportunity of approximation getting for the random values distribution V , U , V_k , U_k . Their approximations may be obtained from the use of normal distribution that surely may become a subject of separate consideration.

3. Conclusions and example of algorithm use

Before to formulate conclusions, let's consider the following example. Let time before the appearance of the product failures in the natural scale has the Weibull distribution. We assume that $r = s = 4$, $n = m = 20$ and we have the following observations – numbers of cycles to the fatigue destruction of some products in the natural scale before the CA: $t_{(1)} = 523371$, $t_{(2)} = 577957$, $t_{(3)} = 690711$, $t_{(4)} = 705383$.

After the CA: $t'_{(1)} = 844627$, $t'_{(2)} = 1284670$, $t'_{(3)} = 1427800$, $t'_{(4)} = 1620820$.

After the transition to the natural scale we will obtain observation before and after the CA correspondingly:

$$x_{(1)} = 13.163, x_{(2)} = 13.627, x_{(3)} = 13.445, x_{(4)} = 13.466; \\ y_{(1)} = 13.647, y_{(2)} = 14.066, y_{(3)} = 14.172, y_{(4)} = 14.298.$$

4. References

- [1] Paramonov Yu. M.: *Methods of the Mathematical Statistics in Problems, Which is Connected with Estimator and Ensuring Reliability Fatigue Durability of the Aviation Constructions*, Riga, RKIIGA, 1994.
- [2] Zacks Sh.: *The Theory of Statistical Inference*. M.: Mir, 1975. 776 p.
- [3] Bain L. J., Engelhardt M.: *Statistical Analysis of Reliability and Life-testing Models*. New York, 1991.
- [4] Андронов А.М., Копытов Е.А., Гринглаз Л.Я.: *Теория Вероятностей и Математическая Статистика: Учебник для вузов*. СПб:Питер, 2004, 461с.

For the above formulated task of the testing of hypothesis $H: \theta_{0X} = \theta_{0Y}$, against the alternative $K: \theta_{0Y} > \theta_{0X}$ we will use the criterion V_r , based on statistics

$$V_r = \frac{Y_{(1)} - \hat{\theta}_{0X}}{\hat{\theta}_1}$$

while the parameter estimators for the first sampling have values $\hat{\theta}_1 = 0.148$, $\hat{\theta}_{0X} = 13.174$. Then, the observed value of statistics is $V_r = 3.196$. After the numerical experiment for the determination of confidence level 0.9 of statistics V_r with the truth of the hypothesis, we determine the value of the regulatory limit $C = -1.911$. Since $V_r = 3.196$ exceeds the regulatory limit, the CA should be recognized as the efficient one.

So we can formulate the most significant conclusions:

- for highly reliable products with high cost of experimental research, when the use of the Weibull distribution is needed, the unified method of the activities efficiency evaluator for the reliability growth is offered;
- the efficiency evaluator criteria comes to the hypotheses testing criteria about the efficiency of the products finishing;
- construction of criteria is based on the maximum likelihood method estimators concerning the product failure information before and after the controllable activity;
- the considered algorithms are accompanied by the necessary software aids for the evaluation of the maximum likelihood method parameters and realization of criteria.

Dr. sc. ing., Assoc. Professor Victor LYUMKIS

Transport and Telecommunication Institute

Lomonosova 1, Riga, LV-1019, Latvia

tel:+371 7 416731

e-mail: vlyumkis@yahoo.com

QUO VADIS ELECTRONIC FEE COLLECTION

Electronics Fee Collection (EFC) is among priority elements of transport telematics. According to categorization of basic services of ITS (Intelligent Transport Systems) defined by European project KAREN, EFC is the part of financial services and transport control groups, emergency, and demand which is one of the main services in wide portfolio of IDS users needs. Fee collection is a typical transport service highly dependent on identification of vehicle type and position. In our contribution we would like to concentrate on transport performance payments.

Keywords: *Electronic Fee Collection, GPS, On Board Unit, GNSS, Galileo*

Transport forms inevitable condition for management and effective working of the economics and the society as a whole. Its wide range of use and quick extension are often considered to be the main reasons of undesirable side effects on environment. Growing number of cars on roads and highways contributes much to the air pollution. Therefore the international and national organizations are trying to find ways and mechanisms how to improve the environment together with the extension of traffic network.

The accumulative problems need to solve the unfriendly impacts of transport to environment. The problems are solving with active approach, which is oriented on prevention or early elimination. The solving of this problem exact of Resort of Transport and Environment. It is necessary to focus on this way before the solving after-effects [1].

The challenge of the EU in this area is to reduce the emissions and the energy consumption due to transport activities, in order to avoid or to reduce the related environmental impacts (mainly the air pollution in urban areas, with the consequent effects on human health and on local and regional environment, and the production of greenhouse gases), without affecting the economic growth. In other terms the challenge is a sustainable growth of transport [2].

Influences and impacts of transport on the environment

The environmental impact of increased road traffic can be seen in local, regional and even global merit. Basic negative factors are the production of harmful smokes from internal combustion engines, pollution of the air, water and soil, the noise and vibrations from traffic operation, always increasing number of accidents, and among the others also the taking up of valuable soil for transport connected buildings.

One of the most significant factors affecting increase in road transport safety is reduction of external costs. External costs are described as follows.

When consumers decide to purchase an item or take a trip, they examine the price of a given option and compare it to the gain or satisfaction they expect to derive from the item or trip. For instance, an individual wishing to get from A to B will consider the price (of using public transport or his/her private car) and quality of the service provided before opting for a given transport mode. Users are willing to accommodate a whole array of parameters (speed, frequent/regular service, quality, flexibility, etc.) in the transport price they pay.

Conversely, consumers of goods or services do not generally foot the full bill for the costs their decision imposes on society and the environment. Such costs are defined as external because they are not reflected in the price paid by users and are not factors in the market. The main sources of external cost in the transport sector are accidents, congestion, air pollution, noise and climate change. Individuals using a given form of transport are not generally aware of the external cost generated and indeed it is possible that some of these costs have never been defined.

Nonetheless, external costs do exist and since they are not met by the parties responsible, they must be borne by society as a whole.

Significant external costs are: [1]

- accidents, when transport systems are used, accidents occur, generating a whole range of costs which are only partly covered by mutual risk insurance schemes (loss of life, medical care and disabilities sustained by victims, loss of production, etc.),
- air pollution, emission of particulate matter, carbon monoxide, lead, volatile organic compounds, nitrogen oxides and sculpture dioxide, damaging health, the environment and buildings,

- climate change, greenhouse gases (mainly carbon dioxide – CO₂) have an enduring impact on the earth's climate, resulting in increased desertification, raised sea levels, serious harm to agriculture and other destructive environmental and health-related side-effect,
- noise, transport generates noise, which adversely affects humans in a variety of ways, causing disturbances, stress and more serious health problems,
- congestion, more vehicles are being added to already dense traffic flows, particularly car traffic flows, paralysing the system and leading to substantial wastage for all users. Congestion makes the entire transport system inefficient.

The Environment problems in countries of EU caused by transport recall the need of political measures, e. g. fee collection for usage of the transport road. Its quick and effective implementation is necessary. Electronic Fee Collection (EFC) is not only the source of fair incomes, where performance is paid, but it is also an efficient regulator because it enables the use of progressive payments, which can be raised multiply if driver goes to the town centre and does not use means of public transport. It is also supposed that transits through certain road sections (e.g. tunnels) will be paid.

That way can to consider external costs caused by operation vehicles (air pollution, accidents, climatic changer, noise and vibrations, influence on environment, ect.). That is to say that users pays precisely for what they cause. Modern transport system must be stabilized not only from economical an social, but also from environmental point view.

Main advantages of electronic pricing systems

- possibility of differentiated fees according to different vehicle characteristics and wide range of transport and environmental criteria,
- possibility of quick money transaction and the fee collection without stopping of the car,
- greater effectively in lowering the external costs.

If we want to solve the problems of environmental impacts of road transport with a pricing, it is inevitable, that all external costs must be taken into account. However, their rating is very problematic. Most of foreign researches had considered the road transport to be the main source of negative environmental impacts. It is necessary to determine the so-called Zero point, from which up we can speak of damage. Under the limits of tolerance we understand admissible norms, which undergo a continuous change due to the technical progress and increasing environmental awareness of the society [5].

The external costs as such demand their rating into financial categories. Two ways of rating are known:

- rating of external costs on the basis of the resources used, i.e. external costs are understood as the effective expenses arisen,
- rating of external costs on the basis of the decreasing value of capital, i.e. external costs cause the decrease of resources.

This can be seen in relation to individual preferences, e.g. the benefit from the silence as an absence of noise. It relates also to human capital, which, due to the loss in car accident can not take part in the reproductive process of the population

Baseline components

Electronic fee collection systems are composed of three basic system components: the collection of information, a monitoring system, and the processing of information:

1. *Collection* of information is the first component about the movement of vehicles along the toll-charged transport infrastructure. This infrastructure is a selected network of roads and motorways, historical parts of towns, bridges, tunnels, etc. The basic task is to identify and localize vehicles. Positioning is either monitored continuously, e.g. via a GPS system, or is detected only at certain points,
2. *Monitoring* (enforcement) systems, which are used for the oversight of EFC activities. By means of fixed monitoring gateways or by means of mobile monitoring stations, the registration plate is scanned or information is read from the vehicle unit remotely. The monitoring system makes sure that the information obtained by the vehicle unit matches the current situation in the traffic infrastructure,
3. *The processing of information* includes the initial registration of vehicles, their technical specifications, contact information about their owners and users (address, bank account, etc.), the processing of information about vehicle movements over the toll-charged infrastructure, and the transfer of this information to specific payments, payment settlement, and any claims.

Technology

Nowadays we know possibilities of EFC systems as follows: [3, 4, 5]

DSRC (Dedicated Short Range Communication) technology transmits identification information from the vehicle unit located in the vehicle to the check point. The check point is also fitted with a monitoring system, which can identify the registration numbers

of vehicles. If the registration number does not tally with the electronic information, the data are sent to the processing centre.

DSRC technology is nowadays profiled in Europe like this: (existing system based on DSRC or system in construction): Austria, Denmark, Sweden, France, Norway, Italy, Slovenia, Spain, Portugal, Greece, Great Britain.

Such a toll system only makes sense for defined road routes and is not at all suitable for complicated networks.

GNSS-CN (Global Navigation Satellite System – Cellular Network) - this technology identifies a paid section of transport infrastructure by means of satellite localization. The number of kilometers traveled on the toll-charged infrastructure is measured in the vehicle unit. After a certain number of kilometers are reached, the information on the number of kilometers traveled (or information on the corresponding amount to be paid) is sent to the centre via a mobile network (GSM, GPRS). Because the vehicle unit is fixed to the vehicle and has its own intelligence (for example, it can recognize attempts at tempering), there is no need for a large number of monitoring point.

The German toll system has been in use since January 1, 2005, and is compulsory for trucks weighing over 12 tones. It is the first toll system to use satellite technology to such a high degree. The On-Board Unit (OBU) receives satellite signals, matches them up with stored geo-data, acquires the driven segments and transfers them to a control centre by means of SMS.

LSVA (Swiss system), technology is based on intelligent OBU, which reads distance from electronic tachometer and can use distance correction from GPS.

London system – this system is based on manual time payments, e.g. at kiosks, where the registration number of the paying vehicles is also entered. Came-

ras are installed at the entrance and exits of the parts of the city subject to the fee. These cameras record the registration numbers of vehicles and if a payment is not made by certain time (usually midnight) the vehicle is identified as a defaulter.

Intelligent On Board Unit (OBU)

As every electronic system has to have its own OBU, the future is one intelligent OBU that could monitor driving properties and emission parameters of the vehicles. It is possible to process related data real-time and evaluate them individually in OBU. So we obtain exact them information of vehicle environment impacts (production of external costs). This information could be a base for assessment of toll (electronically) with all related facts as: achievement of demanded level of reliability and demonstrability of specified emission parameters.

The information channel between OBU and vehicle electronics allows operation of telematic services that can have relation to vehicle driving parameters. By delivering those services engine and vehicle emission and dynamic characteristics are made full use of. In this way we can model ecological and safety impacts of vehicle drive. In this case it is sufficient to measure just the parameters as: speed, acceleration, rpm etc., which can be measured from vehicle CAN bus [6, 7].

The outlook in Europe

For Europe and all the other participating nation (e.g. the People's Republic of China, South Korea, Australia, Brazil), the introduction of the Galileo satellite system from 2008 onwards will open up new possibilities. In EU directive 2004/52 EC, the satellite-based toll technology was named as an important application for the system to be created.

Galileo will offer the users a range of new services – “value-added services”. There is no reason why it should not be possible to provide these services by means of an OBU installed in the vehicle. Galileo will therefore not only ensure greater availability, increased accuracy and higher integrity, it will also be able to supply additional services for:

- haulage companies, Galileo means automatic toll charging, more information, the possibility of fleet tracking (transport of hazardous goods) and real-time statistics,
- road operators, one of the great benefits is that real-time information can be gathered regarding the condition of the roads and the degree of utilization. It will also be possible for them to make forecasts,

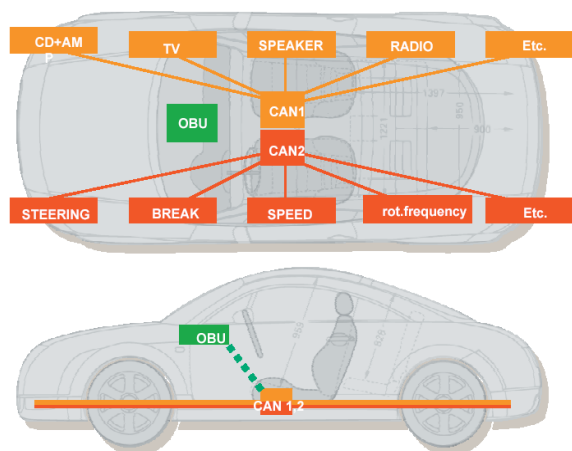


Fig. 1. Information connection between OBU and electronic equipment of vehicle

- the automotive industry, it will be possible to diagnose and service vehicles remotely as well as to provide specific assistance for specific problems that drivers are faced with,

In 2003 with the Resolution of SR 523/2003 the legislative preparation for the establishment of supervisory body for routes and highways was brought forward. This state independent association should provide the management, maintenance and development of highways and routes, also the manufacturing and distribution of highway vignettes. Its role should be also to monitor the system and transparency of future EFC incomes.

Before deciding for a particular technology, our politicians and experts intending to introduce a toll collection system should analyze precisely the experience from other countries and realize which targets the system of heavy truck fees should be aimed at.

Besides choosing EFC technology the high number of road owners complicates the situation in Slovakia. The table shows that up to 3000 subjects participate in road administration and that local self-governments administrate over 90% of the roads.

Slovakia

The European Commission had decided to stimulate member states to develop and put into usage the universal strategy of EFC system. According to the integration of SR into European structures, it is necessary to develop systems of such type and quality, that would be possible to interconnect with the systems of other member states. EFC systems offer the best possibility for greater fee differentiation, what contributes to the effectivity of transport operation. In comparison to highway vignettes, this system will price the vehicles according to the real distance traveled.

Currently the usage of insulated highway and transport route sections is in SR possible after paying the flat-rate fee in the form of a highway vignette

for one year. The way of marking the sections, usage of which is paid, as well as the vignette model and its placement on the vehicle are determined by the Ordinance of MDPT SR 185/1996. There are three international categories of vehicles and motor sets. (to 3.5 t, 3.5t - 12 t, over 12 t). When considering the negative environmental impacts of transport and the problems of externalities, the system of flat-rate fee hardly seem to be the best solution. It does not price vehicles for their real distance traveled, and the type differentiation is too little to consider all real environmental influences of different types of vehicles.

Conclusion

In The first phase in the time horizon to 2005 there is an assumption to prepare the pricing for load vehicles over 3,5 t. This is currently in use in Germany, Austria and Czech Republic. After 2008 there is an expectation to widen the EFC to other motor vehicles [5].

The introduction of an electronic toll system will not give rise merely to an instrument for the Collection of fees for use of the transport infrastructure, but will also give us a tool that can be used for the creation of an active transport policy by the government, regions, and municipalities. The amount of the toll will affect vehicle movements and the price of the product price. Data from the EFC system can be used to model transport networks, estimate journey times, provide navigation services, prevent and eliminate the effects of traffic accidents, and monitor the transportation of hazardous cargoes, and can be used automatic emergency call systems.

The implementation of EFC is a complicated technical/organizational/legislative process where efforts could be impaired if any of the above-mentioned components are underestimated. As has been said many times in the past, you cannot buy EFC, you have to build it up long term and systematically.

Administrator	number of subjects	network length (km)*	share (%)
Supervisory body for roads and highways	1	318	0.73
Road administration office of the Slovak Republic	1	3335	7.76
Regional authority	8	14124	32.85
Municipalities and towns	2928	25220	58.66

* source: SSC position as per January 1st, 2004

References

- [1] Schreyer Ch., Schneider Ch.: *External costs of transport update study*, International Railway Union, October 2004, Paris, ISBN 2-7461-0891-7
- [2] Office for official publications of the european communities: *White paper – European transport policy for 2010 time to decide*, Luxemburg, 2001, ISBN 92-894-0341-1
- [3] Kevický D., Kalašová A.: *Satelitné navigačné systémy*, EDIS – vydavateľstvo ŽU, 2004, ISBN 80-8070-295-0.
- [4] European commission, ESA: *GALILEO Mission High Level Definition*, September 2002
- [5] Kalašová A., Holub J., Paľo J.: *Požiadavka na interoperabilné technológie pre pohodlnú jazdu Európou*, III medzinárodná konferencia LOADO 2005, 8.-10.6.2005, Vysoké Tatry, ISSN 1451-107 X
- [6] Svitek M., Pejša L., Tvrzský T.: *Ekonomické, ekologické a bezpečnostné riešenie elektronického mýtného*, konferencia Intelligent Transport Systems, Prague 2005, ISBN 80-239-4447-9
- [7] Cajchan J., Konečný V.: *Vodič ako rizikový faktor v cestnej doprave*, zborník príspevkov 10 medzinárodnej vedeckej konferencie „Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí“, Žilina 22.-23.6.2005, EDIS – vydavateľstvo ŽU, Žilina 2005, ISBN 80-8070-424-4

Prof. Ing. Štefan LIŠČÁK, CSc.

Doc. Ing. Alica KALAŠOVÁ, CSc.

Žilinská Univerzita v Žiline

Fakulta Prevádzky a Ekonomiky Dopravy a Spojov

e-mail: stefan.liscak@fpedas.utc.sk

e-mail: alica.kalasova@fpedas.utc.sk

CENTRA LOGISTYCZNE W POLSCE PO WEJŚCIU DO UNII EUROPEJSKIEJ

LOGISTIC CENTERS IN POLAND AFTER ACCESSION TO THE EUROPEAN UNION

W artykule przedstawiono definicję i funkcje centrów logistycznych oraz warunki ich powstania i rozwoju. Zamieszczono charakterystykę nowoczesnych powierzchni magazynowych w centrach logistycznych. Omówiona została klasyfikacja sektorowa i raport o stanie parków logistycznych oraz podano zestawienie największych centrów logistycznych w Polsce. Przedstawiono wiodące inwestycje realizowane obecnie w kraju. Podsumowanie zawiera prognozę rozwoju centrów logistycznych w Polsce.

Słowa kluczowe: centra logistyczne, sieci logistyczne, usługi logistyczne, powierzchnie magazynowe

The article presents the definition and functions of logistic centers as well as the conditions of their creation and development. A characteristics of modern storage areas in logistic centers was included. Sector classification and report on the condition of logistic parks were discussed and the survey of the largest logistic centers in Poland was presented. The leading investments currently realized in our country were mentioned. The conclusion involves a prognosis for the prospects of logistic centers development in Poland.

Keywords: logistic centers, logistic networks, logistic services, storage areas

1. Wprowadzenie

Realizacja zadań logistycznych związana jest z przepływem towarów i usług, których różnorodność i złożoność, powoduje konieczność przeprowadzania ich w centrach logistycznych. W uznaniu dla istotnych funkcji gospodarczych jakie spełniają centra logistyczne, Komitet Badań Naukowych RP na zlecenie Ministerstwa Transportu i Gospodarki Morskiej rozpiął w 1998 r. konkurs na opracowanie koncepcji przestrzennego ich rozmieszczenia w Polsce. Efektem pracy zespołu naukowców było stworzenie systemu kryteriów, jakim powinny odpowiadać centra logistyczne, ich funkcje, lokalizację, przepływ informacji i zasady pracy. Konieczność ich tworzenia wynika z przesłanek ekonomicznych i zasad współpracy z krajami Unii Europejskiej, ale sfinansowanie tak złożonych projektów wymaga podjęcia wielokierunkowych działań: ułatwień dla inwestycji prywatnych, rządowych gwarancji kredytowych, zaangażowania kapitałów publicznych oraz współpracy samorządów lokalnych, szczególnie na etapie opracowania i zatwierdzania planów zagospodarowania przestrzennego.

1. Introduction

Realization of logistic tasks is connected with a flow of goods and services whose variety and complexity needs logistic centers for their servicing. In recognition of their significance for the functioning of economy, in 1998 the Scientific Research Committee of the Republic of Poland, obliged by the Ministry of Transport and Marine Economy, declared a competition for a design of logistic centers spatial distribution in Poland. The work of a team of scientists resulted in the creation of a system of criteria for logistic centers, their functions, localizations, information channels, and work principles. The necessity for their creation arises from economic premises as well as the principles of cooperation with the European Union countries, but the financing of such complex projects requires activities in many directions: facilities for private investments, governmental warranty for loans, engagement of public capital and local authorities help, especially in the phase of spatial development plans preparation and their approval.

2. Definicja i funkcje centrów logistycznych

W literaturze można spotkać różne definicje centrów logistycznych. Za jedną z najbardziej trafnych uważa się:

Centrum logistyczne to obiekt przestrzennie funkcjonalny wraz z infrastrukturą i organizacją, w którym realizowane są usługi logistyczne związane z przyjmowaniem, magazynowaniem, rozdziałem i wydawaniem towarów oraz usługi towarzyszące, świadczone przez niezależne w stosunku do nadawcy lub odbiorcy podmioty gospodarcze [Fechner, 2004].

Centra logistyczne są węzłami sieci logistycznej. W centrach zbiegają się łańcuchy dostaw, przepływy wyrobów i strumienie informacji. Funkcjonalność ich działania daje wymierne korzyści w oszczędności zasobów, zmniejsza koszty dystrybucji i znacząco ogranicza szkodliwe oddziaływanie gospodarki na środowisko.

Centra logistyczne możemy podzielić w zależności od promienia oddziaływania (tab. 1).

W działalności centrów logistycznych, można wyróżnić następujące funkcje [Fechner 2004; Golemska, 2004]:

1. Funkcje logistyczne:

- magazynowanie,
- transport,
- przeładunki na terminalu kontenerowym,
- pakowanie,
- kompletację, konfekcjonowanie,
- zarządzanie zapasami,
- zarządzanie zamówieniami.

2. Ddefinition and functions of logistic centers

The literature provides different definitions of logistic centers. A very precise one is the following:

A logistic center is a spatially functional object involving infrastructure and organization, in which there are realized logistic services connected with goods reception, storage, distribution and delivery, as well as complementary services provided by economic entities dependent neither on the sender nor on the receiver [Fechner, 2004].

Logistic centers are logistic network's junctions. In the centers delivery chains, article flows and information channels meet. Their efficiency gives measurable benefits in resources economy, it reduces distribution costs and significantly limits the harmful effects of economy on the environment.

Logistic centers can be classified according to the reach of their impact (Table 1).

The following functions can be mentioned within the activity of logistic centers [Fechner, 2004; Golemska, 2004]:

1. Logistic functions:

- storage,
- transport,
- reloading at a container terminal,
- packing,
- completion, confectioning,
- stores management,
- order management.

Tab. 1. Typy centrów logistycznych i ich charakterystyka [Abt, 2000].
Tab. 1. Logistic centers' types and their characteristics [Abt, 2000].

Typ centrum logistycznego Type of logistic center	Promień oddziaływania (km) Reach of impact (km)	Charakterystyka Characteristics
Międzynarodowe centrum logistyczne International logistic center	500 - 800	Najwyższy stopień rozbudowy organizacyjnej i funkcjonalnej, powierzchnia zagospodarowania 100 - 150 ha, rozwinięta infrastruktura logistyczna, pełny system informatyczny oraz rozbudowany serwis usług logistycznych. The highest level of organizational and functional development, an adapted area of 100 - 150 ha, highly developed logistic infrastructure, full information system and a well- developed logistic services system.
Regionalne centrum logistyczne Regional logistic center	50 - 80	Stanowi pośrednie ogniwo w kanałach logistycznych, z dobrze rozwiniętą infrastrukturą logistyczną oraz systemem informatycznym It is an intermediate link in logistic channels, with well-developed logistic infrastructure and information system.
Lokalne centrum logistyczne Local logistic center	5 - 8	Najniższy stopień w systemie centrów logistycznych, z ograniczoną infrastrukturą logistyczną. The lowest level in the system of logistic centers with limited logistic infrastructure.

2. Funkcje pomocnicze:

- spedycja,
- obsługa celna,
- ubezpieczenia,
- usługi informacyjne i informatyczne,
- obrót zbiorczymi opakowaniami transportowymi wielokrotnego użytku,
- wynajem kontenerów, palet i innych opakowań transportowych,
- promocja i marketing.

3. Funkcje dodatkowe:

- techniczna obsługa pojazdów,
- sprzedaż paliw, olejów i akcesoriów,
- naprawa kontenerów i innych opakowań transportowych,
- usługi hotelarskie,
- usługi gastronomiczne,
- usługi bankowe,
- usługi księgowo-rachunkowe,
- usługi telekomunikacyjne,
- usługi parkingowe.

Centra logistyczne ze względu na dostępność i specjalizację usług można podzielić na [Witkowski, 2002]:

- ogólnodostępne, których operatorami są firmy logistyczne,
- branżowe centra logistyczne,
- firmowe centra logistyczne, których funkcje usługowe ograniczają się do zaspokajania własnych potrzeb logistycznych firmy.

3. Warunki rozwoju centrów logistycznych

Główną przeszkodą w powstaniu dużych centrów logistycznych na terenie kraju jest bardzo niski stan infrastruktury drogowej oraz brak nowoczesnych bocznic kolejowych, warunkujących budowę terminali intermodalnych. Obecnie istniejące centra, które są własnością operatorów logistycznych w niewielkim zakresie mają dostęp do kolei. Brak wystarczających środków finansowych i uregulowań własnościowych, uniemożliwia skuteczną rozbudowę terminali kolejowych przez PKP Cargo S.A.

Ministerstwo Infrastruktury i raporty specjalistów Unii Europejskiej zgodnie twierdzą, że 1/3 dróg publicznych na terenie kraju jest nie właściwa i wymaga natychmiastowej naprawy, kolejna 1/3 będzie musiała być remontowana w najbliższych latach. Tylko 2,6% dróg w Polsce spełnia uniżny standard nacisku 115 kN/oś. Program zakończenia budowy autostrad A-1, A-2 i A-4 na przestrzeni najbliższej dekady, wobec braku wystarczających środków wydaje się być mało realny. Należy brać pod uwagę powyższe dane, przy szacowaniu dynamiki rozwoju centrów

2. Supporting functions:

- shipping,
- customs service,
- insurance,
- information and IT services,
- turnover of collective transport packaging of repeated use,
- renting containers, pallets and other transport packaging,
- promotion and marketing.

3. Additional functions:

- technical service for vehicles,
- sale of fuels, oils and accessories,
- repair of containers and other transport packaging,
- hotel services,
- catering services,
- bank services,
- accountancy services,
- telecommunication services,
- parking services.

According to services' availability and specialization logistic centers can be divided into [Witkowski, 2002]:

- generally available, operated by logistic firms,
- trade logistic centers,
- firm's logistic centers, which cater only for a given firm's logistic needs.

3. Conditions of logistic centers' development

A main obstacle in creation of large logistic centers within the area of our country is a very low standard of road infrastructure and lack of modern railway sidings, necessary for the building of inter-modal terminals. The currently existing centers, owned by logistic operators, have a very limited access to the railway. Lack of adequate financial means and ownership regulations prevents an effective development of railway terminals by PKP Cargo S.A.

The Ministry of Infrastructure and the reports of the European Union specialists agree about the fact that 1/3 of public roads in Poland is inadequate and needs immediate repair, another 1/3 will have to be renovated in the nearest years. Only 2.6% of Polish roads fulfills the Union's impact standard of 115 kN/axle. The program of finishing A-1, A-2 and A-3 highways building within the nearest decade seems to be rather unrealistic, due to lack of adequate means. The above data should be taken into consideration while assessing the dynamics of logistic centers development,

logistycznych, gdyż udział transportu drogowego w przewozach towarowych sięga 80% [Fechner, Szyszka 2004; GUS 2004].

Jednostki samorządu terytorialnego, jako naturalni partnerzy, mają decydujący wpływ na szybkość rozpoczęcia realizacji inwestycji, dlatego powinny oferować przyszłym inwestorom korzystne warunki wstępne, konieczne przy budowie centrów logistycznych. W pierwszym rzędzie należy zapewnić zatwierdzony plan zagospodarowania przestrzennego z wyznaczoną lokalizacją, a także uregulowaną własność gruntów. Ponadto udziały wkładu własnego oraz plany pozyskania środków finansowych z funduszy strukturalnych UE dla zapewnienia otaczającej centrum logistyczne infrastruktury drogowej i medialnej. Wzorcowym przykładem takich ukierunkowanych działań w pozyskaniu dużych inwestorów, jest gmina Mszczonów (woj. mazowieckie), na terenie której funkcjonują Centrum Logistyczne i Europa Park.

Należy przy tym pamiętać, że problem lokalizacji rozstrzygają w pierwszym rzędzie operatorzy wnoszący kapitał, kierując się własnymi badaniami rynku, dostępnością infrastruktury transportowej i kosztami pracy, natomiast na dalszy plan jest odsuwana koncepcja centrów logistycznych jako węzłów w krajowej sieci logistycznej.

4. Charakterystyka centrów logistycznych

Pierwsze krajowe nowoczesne centra logistyczne, zaczęły powstawać w połowie lat 90-tych ubiegłego wieku w Warszawie i na terenie województwa mazowieckiego. Były one budowane przede wszystkim na zamówienie operatorów logistycznych oraz dużych sieci handlowych, które wykorzystują je przy zaopatrywaniu swoich hipermarketów.

Z raportu opracowanego przez firmę CB Richard Ellis wynika, że na przestrzeni ostatnich lat oddana do użytku powierzchnia magazynowa w Polsce znacznie wzrosła, co przedstawia rys. 1.

as the share of road transport in freights reaches 80% [Fechner, Szyszka 2004; GUS 2004].

The entities of local authorities, as natural partners, have a decisive influence on the promptness of an investment's start, that is why they should offer the prospective investors good preliminary conditions, necessary at the building of logistic centers.

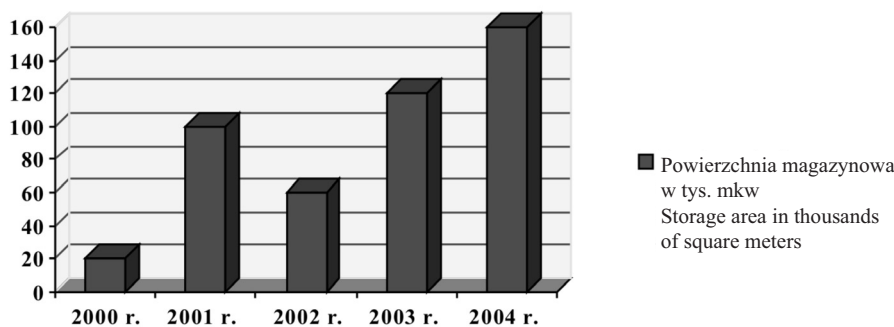
First of all an approved spatial development plan should be provided, with an appointed localization, and the legally settled area ownership. Moreover, there must be ensured the share of a company's own financing and the plans for EU structural funding obtainment, in order to provide road and medial infrastructure peripheral to the logistic center. A model exemplar of such well-aimed activities while looking for big sponsors is the commune of Mszczonów (Mazowsze voivodship), on the area of which there are the Logistic center and Europa Park.

It should be remembered, however, that the localization problem is primarily settled by operators who bring capital, basing on their own market research, availability of transport infrastructure and labour costs. The concept of logistic centers as junctions in the national logistic network is a second priority.

4. A characteristics of logistic centers

The first logistic centers in Poland started to be created in the mid-nineties of the previous century in Warsaw and on the area of Mazowsze voivodship. They were primarily commissioned by logistic operators and big trading networks for hypermarket delivery.

The report prepared by the firm CB Richard Ellis states that within the span of recent years the storage area built in Poland has significantly increased, which is presented in Figure 1.



Rys. 1. Wielkość powierzchni magazynowej oddanej do użytku w centrach logistycznych wg badań firmy CB Richard Ellis
Fig. 1. The storage area provided for use in logistic centers acc. to research by the firm CB Richard Ellis

Perspektywa wstąpienia Polski do Unii Europejskiej spowodowała wzrost inwestycji na rynku nieruchomości. W 2003 roku dwie spektakularne transakcje wynajmu powierzchni magazynowych w posiadanych centrach sfinalizował amerykański koncern ProLogis. W Centrum Logistycznym Piotrków Trybunalski, gdzie podpisał umowę najmu 42 tys. m² powierzchni z koncernem spożywczo – przemysłowym Unilever. Natomiast sieć hipermarketów Tesco wynajęła 40 tys. m² powierzchni w ProLogis Park w Teresinie.

Nowe obiekty w 80% budowane są na zamówienie (built-to-suit), gdyż realizacja inwestycji spekulacyjnych na zrównoważonym rynku wiąże się z dużym ryzykiem, że obiekt będzie stał niewykorzystany. Technologie stosowane przy budowie hal pozwalają na zamknięcie cyklu inwestycyjnego w czasie 6 miesięcy (pod warunkiem, że do działki doprowadzona jest infrastruktura), natomiast wyposażenie odbywa się zgodnie z potrzebami i życzeniami klienta.

Centra logistyczne standardowo wyposażane są w powierzchnie magazynowe klasy „A” z posadzkami o wytrzymałości 5 – 6 ton/m², dopuszczalną wysokością składowania 8 – 12 m, infrastrukturą przeładunkową, nowoczesnymi rozwiązaniami p.poż., ogrzewania i telekomunikacji. Zabudowa parków logistycznych to nowoczesne hale, które pozwalają wykonywać całą gamę różnorodnych działań, od przechowywania towarów poprzez chłodnictwo oraz magazynowanie artykułów niebezpiecznych i chemicznych, leków, szybko psującej się żywności, urządzeń precyzyjnych, części zamiennych dla przemysłu oraz towarów masowych. Wszystkie te zadania wykonywane są przy spełnieniu stosownych norm i wymagań technicznych oraz norm ochrony środowiska [Sobkowiak, 2005].

Firma *CB Richard Ellis*, wiodąca na świecie amerykańska firma doradczą ds. nieruchomości komercyjnych (posiadająca ponad 300 biur w 50 krajach), wydała raport „Przegląd rynku powierzchni magazynowo – logistycznych w Polsce, 2 kwartał 2004 r.”, z którego wynika, że utrzymuje się wzrost popytu na powierzchnie magazynowe w centrach logistycznych, maleje wskaźnik wolnych powierzchni oraz znacząco w porównaniu do lat ubiegłych obniżył się poziom cen wynajmu. W swoich analizach firma *CB Richard Ellis*, parki logistyczne, klasyfikuje w trzech sektorach (tab. 2).

Sektor 3 w najbliższych latach, typowany jest do najbardziej dynamicznego rozwoju.

Raport „Rynek Powierzchni Magazynowych i Produkcyjnych 2004” opracowany przez *Cushman & Wakefield Healey & Baker*, doradców ds. nieruchomości komercyjnych podaje, że na nowoczesne powierzchnie magazynowe w centrach logistycznych rejonu warszawskiego składa się 30 dużych obiektów i szacuje ich zasoby na 1 000 000 m² powierzchni.

The prospects for Polish accession to the EU resulted in an investment growth on the estates market. In 2003 two spectacular transactions of storage area rent in their own centers were finalized by the American concern ProLogis. In the Logistic Center Piotrków Trybunalski, their agreement was signed about the renting of 42 thousand square meters to the grocery – industrial concern Unilever. And the Tesco hypermarkets network has rented 40 thousand square meters of area in Pro-Logis Park in Teresin.

New objects are in 80% built-to-suit as the realization of speculation investments on a balanced market involves a high risk that the object will stay empty. The technologies applied at the halls construction allow for the closing of investment cycle within 6 months (provided the allotment has got infrastructure, and the equipment is suited to the needs and wishes of a client.

Logistic centers are provided with standard quality storage areas of class “A” with floors endurance 5 – 6 tons/square meter, the allowed storage height 8 – 12 meters, reloading infrastructure, modern fire precautions, heating and telecommunication systems. The logistic parks buildings are modern storehouses prepared for a whole range of different activities, from goods storage, deep-freezing, storage of dangerous and chemical substances, medicines, perishable foods, precision equipment, spare parts for industry, to mass articles. All these tasks are fulfilled observing the valid norms and technical requirements as well as environmental regulations [Sobkowiak, 2005].

The firm *CB Richard Ellis*, a leading world American consultancy firm for commercial estates (with 300 offices in 50 countries), has published a report “The survey of the storage – logistic area in Poland, 2nd quarter 2004”. It suggests that there is a stable increase of demand for storage areas in logistic centers, that the index of areas available for rent decreases and that in comparison with the previous years the rent prices are lower. The firm *CB Richard Ellis* in their analyses classifies logistic parks into three sectors (Table 2).

Sector 3 is predicted for the most dynamic development in the nearest years.

The report “*The survey of storage and production areas 2004*” worked out by *Cushman & Wakefield Healey & Baker*, consultants for commercial estates, informs that the modern storage areas in the logistic centers of the Warsaw region include 30 big objects and evaluates their potential for 1 000 000 square meters of area. The mean coefficient of unused areas in Warsaw dropped from about 14% in 2003 to 9% in 2004.

The typical storage area in demand in logistic centers ranges from 5 – 10 thousand square km. The demand in this range is created in 2/3 by fore-

Tab. 2. Klasyfikacja sektorowa parków logistycznych wg opracowań firmy CB Richard Ellis
 Tab. 2. Sector classification of logistic parks acc. to the report by the firm CB Richard Ellis

	Lokalizacja Localization	Powierzchnia Area	Stawki najmu Rent prices
Sektor 1 Sector 1	Parki magazynowo – biurowe położone do 20 km od centrum Warszawy Storage – office parks situated within 20 km from Warsaw center	Zasoby magazynowe to około 540 tys. m ² z przewagą powierzchni o najwyższym standardzie klasy „A”. The storage potential of about 540 thousand square meters with the majority of areas with the highest standard “A”	2,70 Euro/m ² do 5,00 Euro/m ² miesięcznie w zależności od standardu i wielkości wynajmowanej powierzchni 2.70 Euro/m ² to 5.00 Euro/m ² monthly depending on the standard and size of the rented surface
Sektor 2 Sector 2	Parki logistyczne w rejonie warszawskim, zlokalizowane w promieniu od 20 – 100 km od centrum stolicy. Logistic parks in the Warsaw region situated in the radius within 20-100 km from the capital's center	Zasoby magazynowe sektora to około 460 tys. m ² powierzchni. The storage potential of about 460 thousand square meters of area.	2,90 Euro/m ² do 3,40 Euro/m ² miesięcznie w zależności od wielkości wynajmowanej powierzchni 2.90 Euro/m ² to 3.40 Euro/m ² monthly depending on the size of the rented surface
Sektor 3 Sector 3	Parki logistyczne zlokalizowane w promieniu ponad 100 km od centrum Warszawy, w głównych miastach Polski Logistic parks situated in the radius over 100 km from Warsaw center in main Polish cities	Zasoby magazynowe sektora to ponad 200 tys. m ² powierzchni. The storage potential of over 200 thousand square meters of area.	3,20 Euro/m ² do 3,75 Euro/m ² miesięcznie w zależności od wielkości wynajmowanej powierzchni 3.20 Euro/m ² to 3.75 Euro/m ² monthly depending on the size of the rented surface

Zmniejszeniu uległ średni współczynnik pustostanów w Warszawie, który w 2003 r. wynosił około 14%, a w 2004 r. szacowano na 9%.

Poszukiwana powierzchnia magazynowa typowa w centrach logistycznych, waha się pomiędzy 5 – 10 tys. m². Popyt w tym przedziale kreowany jest w 2/3 przez firmy zagraniczne, a resztę wynajmują firmy krajowe. W zgodnej opinii agentów ds. nieruchomości rynek warszawski opanowany przez kilku dużych developerów i wykazuje nasycenie, dlatego inwestycje są ukierunkowane wyłącznie na rozbudowę obiektów na już posiadanych terenach.

Organizacja dystrybucji ulega rekonfiguracji po wstąpieniu Polski do UE z modelu krajowego na regionalny środkowo – europejski i należy upatrywać w tym szansy dla Polski, gdyż w porównaniu do Węgier i Czech czynsze za wynajem powierzchni w krajowych centrach logistycznych są 30 – 50% niższe.

Mapa branży logistycznej w Polsce w najbliższych latach ulegnie znaczącej modyfikacji z uwagi na duże inwestycje przemysłowe planowane w okolicach Łodzi, Wrocławia, Poznania i Katowic. Niskie koszty produkcji i tradycje przemysłowe rozstrzygają o inwestycjach w tych rejonach, a fabryki będą potrzebować nowoczesnego zaplecza magazynowo – logistycznego. Największe centra logistyczne w Polsce koncentrują się w sześciu województwach centralnej i południowo – zachodniej Polski (tab. 3).

ign companies, and the remaining part is rented by Polish firms. The estate agents agree that the market in Warsaw is controlled by a few big developers and shows saturation, that is why the investments are directed only at the development of the already existing object on the already owned areas.

The organization of distribution has undergone reconfiguration after the Polish accession to the EU, from the Polish model to the regional central –European model and a chance for Poland may be seen here, as in comparison with Hungary and Czech the prices for area rent in home logistic centers are 30-50% lower.

The map of the logistic business in Poland in the nearest years will undergo a significant modification due to big industrial investments planned nearby Łódź, Wrocław, Poznań and Katowice. Low production costs and industrial traditions speak for investments in these regions and factories will need a modern storage-logistic background. The greatest Polish logistic centers are concentrated in six voivodships of central and south-eastern Poland (Table 3).

The report by *Cushman & Wakefield Healey & Baker* stresses the privileged position of the voivodships in south-west Poland. Since the EU enlargement this region, together with the Czech, Slovakian and Hungarian regions, is perceived by the investors as a common Central –European region. Silesia, being

Tab. 3. Największe centra logistyczne w Polsce, opracowanie wg badań firmy CB Richard Ellis
 Tab. 3. The largest logistic centers in Poland, according to the report by CB Richard Ellis

Województwo Voivodship	Obiekt Object	Powierzchnia Surface [m ²]	Miejscowość Locality	Właściciel Owner
				Developer
Mazowieckie	Millenium Logistic Park	160 000	Pruszków	Bel Properties
	Aliance Logistic Centre	92 000	Błonie	Menard Doswell
	ProLogis Park Teresin	81 000	Teresin	ProLogis
	Centrum Logistyczne	70 000	Mszczonów	FM Logistic
	ProLogis Park Błonie	70 800	Błonie	ProLogis
	Europa Park	69 000	Mszczonów	Europa Distribution Centre
	Pruszków Distribution Center	60 000	Pruszków	P.W. Problem
	Zerań Park	52 000	Warszawa	Apollo - Rida
	ProLogis Park Warsaw	35 300	Warszawa	ProLogis
Wielkopolskie	Centrum Magazynowo - Dystrybucyjne	27 000	Grodzisk Mazowiecki	Raben Logistics
	Centrum Dystrybucji	61 500	Gadki	Raben Logistics
	Centrum Dystrybucji Samochodowej	60 000	Swarzędz	Volkswagen Polska
	Centrum Logistyczne	37 000	Koziegłowy k/Poznań	Intermarche
	Centrum Logistyczne	36 000	Poznań	TNT Logistic Poland
Łódzkie	ProLogis Park Poznań	26 000	Poznań	ProLogis
	IKEA	100 000	Jarosty	IKEA
	ProLogis Park Piotrków Trybunalski	57 000	Piotrków Trybunalski	ProLogis
	Auchan	35 000	Wolbórz	Auchan
Śląskie	Centrum Dystrybucji GEANT	30 000	Strykowo	GEANT Polska
	Millenium Logistic Park	77 000	Tychy	Bel Properties
Dolnośląskie	ProLogis Park Będzin	35 000	Będzin	ProLogis
	Hamilton Centrum	50 000	Wrocław	Hamilton Centrum
Małopolskie	Centrum Logistyczne	30 000	Tarnów	TC Dębica

Raport *Cushman & Wakefield Healey & Baker* podkreśla uprzywilejowaną pozycję województwa południowo – zachodniej Polski. Od momentu rozszerzenia UE rejon ten łącznie z rynkiem czeskim, słowackim i węgierskim postrzegany jest przez inwestorów jako wspólny obszar środkowo – europejski. Śląsk będąc środkiem tego obszaru oraz mając najniższe koszty obsługi logistycznej, zyskał poważnych inwestorów branży motoryzacyjnej. Po rozszerzeniu UE dużym firmom opłaca się budowa jednego centralnego magazynu w wybranym kraju i lokalnych w państwach docelowych.

5. Centra logistyczne w realizacji

5.1. Logistic City – Piotrków Distribution Center

Centrum logistyczno - biznesowe spełniające światowe normy jakości, powstające w okolicy Piotrkowa Trybunalskiego, to ogromny kompleks położony na 90 ha powierzchni. Inwestorem Logistic City – Piotrków Distribution Center, jest firma Emerson Sp. z o.o. Budowa kompleksu została rozpoczęta w I kwartale 2005 r., a przewidywany czas realizacji 6 – fazowego projektu to 8 – 10 lat. Dzięki inwestycji Logistic City – Piotrków Distribution Center za kwotę 500 mln zł, będzie najnowocześniejszym centrum logistycznym w centralnej Polsce o całkowitej powierzchni magazynowej przekraczającej 370 tys. m². Piotrków Trybunalski posiada doskonałą lokalizację komunikacyjną, leży na przecięciu trasy E67 (wsch. – zach.) z przyszłą autostradą A-1 (płn. – płd.), w pobliżu Centralnej Magistrali Kolejowej.

the center of this area and having the lowest logistic service costs, has gained important investors in the motorization business. After the EU enlargement it is profitable for large firms to build one central storehouse in a chosen country and some local ones in the destination countries

5. Logistic centers under construction

5.1. Logistic City – Piotrków Distribution Center

The logistic – business center, meeting the worldwide quality norms, under construction near Piotrków Trybunalski, is a great complex located on the area of 90 ha. The investor of the Logistic City – Piotrków Distribution Center is the firm Emerson LLC (limited liability company). The building was started in the first quarter of 2005 and the predicted time of the realization of the 6 – phase project is 8 -10 years. Due to the investment of 500 mln PLN the logistic City – Piotrków Distribution Centre is going to be the most modern logistic center in central Poland with the storage area of over 370 thousands square meters. Piotrków Trybunalski has got a perfect transport localization, it is situated at the crossroads of the motorway E67 (east – west) with the future highway A-1 (north – west), near the Main Railway Line.

5.2. Tulipan Park Stryków

Kompleks logistyczny Tulipan Park Stryków, którego developerem jest holenderska firma Grontmij Real Estate, zostanie wybudowany na powierzchni 60 ha. Docelowo na wynajem będzie oferował 275 tys. m² powierzchni magazynowych. Tulipan Park powstanie w miejscowości Stryków, leżącej na przecięciu przyszłych autostrad A-1 (płn. – płd.) i A-2 (wsch. – zach.), w odległości 50 km na płn. – zach. od Logistic City – Piotrków Distribution Center.

5.3. Poland Central

W okolicach Piotrkowa Trybunalskiego zaplanowano także realizację największego centrum logistycznego w kraju – Poland Central. Inwestycja finansowana przez kapitał prywatny z Polski i Wielkiej Brytanii, zakłada budowę ponad 500 tys. m² powierzchni magazynowej na 122 ha działce.

5.4. ProLogis Kobierzycze

Amerykański koncern ProLogis, będący właścicielem i developerem globalnej sieci obiektów logistycznych o łącznej powierzchni 29 mln m², rozpoczął budowę największego na Dolnym Śląsku centrum logistycznego w Kobierzycach. Inwestycja, której realizację zaplanowano na 5 lat, będzie oferować magazyny klasy „A” o łącznej powierzchni 165 tys. m² z pełnym zapleczem logistycznym. Ważnym atutem nowego centrum jest jego położenie na skrzyżowaniu autostrady A-4 z trasą Poznań - Wrocław - Praga i Warszawa - Wrocław - Wiedeń.

5.5. Centrum Dystrybucji Logistycznej

Portugalska firma Tiner rozpoczęła budowę Centrum Dystrybucji Logistycznej w Kątach Wrocławskich. Całkowita powierzchnia 88 tys. m² hal przeznaczona będzie pod wynajem.

6. Podsumowanie

Polska potrzebuje sieci centrów logistycznych, ponieważ oferując rozwiązania systemowe, które obniżają koszty dystrybucji i stymulują rozwój regionalny. Budowa wielkich klasycznych centrów logistycznych jest bardzo kosztowną, obciążoną ryzykiem, długofalową inwestycją, której pomyślna realizacja nie jest możliwa bez współdziałania sektora prywatnego i państwowego.

Należy przy takich inwestycjach pamiętać, że:

- a) pełne wykorzystanie istniejącego i budowanego potencjału logistyczno –magazynowego, może zapewnić wyłącznie pełna realizacja planów budowy autostrad A-1, A-2 i A-4 oraz

5.2. Tulipan Park Stryków

The logistic complex Tulipan Park Stryków, developed by a Dutch firm Grontmij real Estate will be built on the area of 60 ha. The final storage area for rent will be 275 thousand square meters. Tulipan Park will be built in Stryków, located at the crossroads of the future highways A-1 (north – south) and A-2 (east – west), in the distance of 50 km to the north –west from the Logistic City – Piotrków Distribution Center.

5.3. Poland Central

In the Piotrków Trybunalski area also the realization of the greatest Polish logistic center – Poland Central - has been planned. The investment is financed by private capital from Poland and Great Britain and assumes the building of over 500 thousand square meters of storage area on a 122 ha allotment.

5.4. ProLogis Kobierzycze

The American concern ProLogis, the owner and developer of a global logistic objects network with the total area of 29 mln square meters, has started the building of the greatest in Lower Silesia logistic center in Kobierzycze. The investment, whose realization has been planned for 5 years, will be offering class “A” storehouses with the total area of 165 thousand square meters with a full logistic background. An important advantage of the new center is its location at the crossroads of the A-4 highway with the motorway Poznań – Wrocław – Prague and Warsaw – Wrocław – Vienna.

5.5. The Logistic Distribution Center

A Portugal company Tiner has started the building of the Logistic Distribution Center in Kąty Wrocławskie. The total area of 88 thousand square meters of storehouses will be offered for rent.

6. Conclusion

Poland needs a network of logistic centers, as they offer systemic solutions which diminish distribution costs and stimulate regional development. The building of great classic logistic centers is a very expensive, high-risk, long-term investment, the success of which is impossible without a cooperation between the private and state sector.

At such investments it must be remembered that:

- a) a full exploitation of the existing and the developed logistic potential is possible only if the plans of the building of A-1, A-2 and A-3 highways are fully realized and the degradation of the present transport infrastructure stopped;

- powstrzymanie degradacji istniejącej infrastruktury transportowej;
- b) utrzymanie obecnej dynamiki rozwoju nowoczesnych kompleksów logistycznych jest warunkiem koniecznym do zapewnienia Polsce, pozycji regionalnego centrum dla Europy środkowo – wschodniej;
- c) powstanie krajowego systemu makrologistycznego wymaga wdrożenia wieloletniego programu rządowego i środków, na realizację tych zadań np. z funduszy celowych lub programów strukturalnych Unii Europejskiej;
- d) prywatne inwestycje logistyczne realizowane są wyłącznie na obszarach o dużym potencjale gospodarczym z wydajną infrastrukturą transportową;
- e) realizacja rozpoczętych obecnie inwestycji spowoduje przesunięcie logistyczno – magazynowego serca Polski w okolice geograficznego środka kraju (Piotrków Trybunalski), przewyższając powierzchnie magazynowe w centrach warszawskich.
- b) the maintenance of the current modern logistic complexes dynamics is a necessary condition for ensuring Poland the position of a regional center for East-Central Europe;
- c) the creation of the Polish macro-logistic system needs an endorsement of a long-term governmental program and financing, for the realization of these aims e.g. from target funds or structural programs of the European Union;
- d) Private logistic investments are realized only on the areas with big economic potential with a productive road infrastructure;
- e) Realization of the presently initiated investments will cause a removal of the logistic-storage heart of Poland to the area of the geographical center of Poland (Piotrków Trybunalski), overcoming the storage areas in Warsaw centers.

7. References:

- [1] Abt S. : *Logistyka ponad granicami*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2000.
- [2] Fechner J.: *Centra logistyczne Cel – Realizacja - Przyszłość*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2004.
- [3] Fechner J, Szyszka G. I red.: *Logistyka w Polsce - Raport 2003*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2004.
- [4] Gołębska E. red. : *Kompendium wiedzy o logistyce*, PWN Warszawa 2004.
- [5] Witkowski J.: *Logistyka w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Wydaw. Akademii Ekonomicznej, Wrocław 2002.
- [6] Sobkowiak A.: *Spacer po parkach logistycznych*, Logistyka a Jakość nr 1/2005.
- [7] CB Richard Ellis; Raport: *Przegląd rynku powierzchni magazynowo–logistycznych w Polsce, 2 kwartał 2004 r.*
- [8] Cushman & Wakefield Healey & Baker; Raport: *Rynek Powierzchni Magazynowych i Produkcyjnych 2004.*
- [9] www.biznespolska.pl
- [10] www.laj.pl
- [11] www.eurologistics.pl

Prof. dr hab. inż. Wiesław PIEKARSKI

Mgr inż. Sławomir JUŚCIŃSKI

Wydział Techniki Rolniczej
Katedra Energetyki i Pojazdów
Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin
wieslaw.piekarski@ar.lublin.pl

BADANIA WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA RUROCIĄGU I GRUNTU NA TERENACH GÓRNICZYCH W OBECNOŚCI WSTRZĄSÓW

INVESTIGATION OF FRICTION COEFFICIENT OF PIPELINE AND AMBIENT SOIL GROUND ON MINING AREA WITH TREMBLOR ATTENDANCE

W pracy przedstawiono badania współczynnika tarcia gazociągu i niestabilnego gruntu. Pod wpływem eksploatacji górniczej złóż, dochodzi do obniżenia terenów, w których zagłębione są sieci gazowe. Dodatkowym elementem mającym wpływ na środowisko jest obecność drgań podłoża, pochodzących od wstrząsów para-sejsmicznych. Brak dokładnych obliczeń gazociągów, stawia konieczność badań parametrów wymaganych do projektowanie sieci w przedstawionych w pracy warunkach.

Słowa kluczowe: gazociąg, grunt, obniżenie terenu, wstrząsy para-sejsmiczne, współczynnik tarcia

In the paper has been presented the results of investigations to determine the coefficient of static friction pipeline and ambient unstable ground. As a result of a underground stratum exploitation and other mining activity it is occurred ground depression, with gas pipeline in the pan. Additional environment element is ground vibration presence as a result of para seismic shocks. Lack of an accurate calculations construction gas pipelines, arise some necessity to research a pipelines parameters, required to construction design in specified in the paper conditions.

Keywords: gas pipeline, ground, depression pan, para seismic shocks, friction coefficient

1. Wprowadzenie

Podstawą rozwoju energetyki jest budowa nowych sieci przesyłowych, które mogą przebiegać przez tereny charakteryzujące się niestabilnością. Do takich zalicza się tereny objęte podziemną eksploatacją różnych złóż. W wyniku prowadzonej eksploatacji górniczej, deformujące się warstwy przypowierzchniowe gruntu ulegają pionowym przemieszczeniom oraz poddawane są wstrząsom pochodzenia parasejsmicznego.

Przemieszczający się grunt na skutek wzajemnego tarcia ziaren, powoduje na poboczniczy gazociągu powstanie znaczących sił wzdłużnych, które stanowią źródło dodatkowych naprężeń w elementach sieci przesyłowej. Określenie dodatkowych obciążeń gazociągów zagłębionych w niestabilnym podłożu jest bardzo skomplikowane. Stosowane obliczenia do ich wyznaczania mają charakter przybliżony, dlatego podjęto próbę uściślenia badań współczynnika tarcia gazociągu i przemieszczającego się gruntu, który jest podstawowym parametrem w obliczeniach dodatkowych sił i momentów obciążających rurociągi.

2. Cel badań

Głównym celem badań było wyznaczenie współczynnika tarcia statycznego na powierzchni kontaktu

1. Introduction

The base of an industrial development is building industrial networks, passing unstable area sometimes. Mining areas with subsurface layers exploitation belong to this category unstable areas. Arising from mining exploitation, near surface ground layers are vertically shifted and they are object of some para seismic bumps.

As a result of passing ground grain friction, on alongside pipeline walls arises essential forces creating additional inside strains in industrial pipeline units. Determination of an additional pipeline strain burden in unstable areas is difficult and very complicated. Calculations used to determination of the additional pipeline strain burden are approximated. It is taken out effort to state more precisely examination of a friction coefficient of pipeline and ambient ground as base parameter of the calculations additional forces, torques and bending moments burden pipelines.

2. Goal of investigations

Main goal of the investigations was to determining the coefficient of static friction on the contact surface

rurociąg – okalający grunt. Badany proces tarcia zachodził w podłożu gazociągu, które podlegało depresyjnym obniżeniom powstającym niecek obniżeniowych oraz sztucznie wymuszonym impulsom parasejsmicznym.

3. Lokalizacja miejsca badań poligonowych oraz charakterystyka obiektu

Do zaplanowanego eksperymentu wybrano stalowy gazociąg, posadowiony w miejscowości Gogołowa, na terenach objętych eksploatacją górniczą w Rybnickim Okręgu Węglowym. Obszar w którym umiejscowiony jest gazociąg, zaliczany był do 2 kategorii górniczej, charakteryzującej się następującymi wartościami spodziewanych deformacji powierzchni: odkształcenie poziome $1.5 < \varepsilon \leq 3$ mm/m, promień krzywizny $12 \leq R < 20$ km, nachylenie $2.5 < T \leq 5$ mm/m. Poprzedzająca wybór miejsca do badań poligonowych analiza, uwzględniała również podwyższony poziom awaryjności sieci gazowej w tym rejonie.

Pod wybranym do badań odcinkiem gazociągu w dalszym ciągu kontynuowana jest eksploatacja węgla kamiennego przez KWK Jastrzębie – Moszczenica, a maksymalne obniżenie terenu powstającej niecki górniczej wynosiło 1106 mm. W ciągu ostatnich dwóch lat obszar poligonu poddany był dodatkowo oddziaływaniom wstrząsów pochodzenia górniczego, których energia osiągała wartości $E = 5,7 \times 10^5$ J. Eksploatacja węgla prowadzona jest na głębokości 793 m, systemem na zawał, a miąższość wybieranych pokładów waha się w granicach od 1,6 do 3,5 m.

Gazociąg zbudowany był z rur stalowych R350, o średnicy 50 mm i grubości ścianki około 3,8 mm. Zagłębienie gazociągu wynosiło około 0,8 m. Głębokość wykopu pod budowany gazociąg wynosiła 1,0 m, a szerokość około 0,25 m. Gazociąg nie posiadał systemu kompensacji ruchów podłoża i zgodnie z obowiązującymi normami znajdował się w obsypce piaskowej, o średniej grubości 0,1m. Podłoże gazociągu stanowił piasek gliniasty, którego ciężar właściwy wynosił $\gamma = 1,82 \cdot 10^{-2}$ MN/m³.

4. Metoda i aparatura pomiarowa zastosowana w badaniach

Badany gazociąg poddano statycznemu napinaniu z równoczesnym zadawaniem uderzeń, generujących drgania w podłożu gruntowym i badanym gazociągu.

Cykl badawczy podzielono na cztery badania, w których zmienną sterowaną była wartość wstępnego napięcia gazociągu, o wartości siły wzdłużnej równej 0, 20, 100, 130 kN. Napinanie osiowe gazociągu realizowano za pomocą specjalnie zaprojektowanego siłownika śrubowego, który pozwalał na wytworze-

pipeline and ambient ground. The investigated friction process was set in a pipeline ambient ground, which was object of a depression pan and an artificial forced para seismic propulsions.

3. Localization of the investigations range and the investigations object characteristic

There was chosen to the investigation steel gas pipeline, placed in Głogowa, on mining exploitation area of Rybnik Pit Coal District (Rybnicki Okręg Węglowy). The area with the investigated pipeline is classified as 2 mining class, with expected surfaces deformation characteristic as below: horizontal deformation $1.5 < \varepsilon \leq 3$ mm/m, radius of curvature $12 \leq R < 20$ km, ground inclination $2.5 < T \leq 5$ mm/m. Analysis, antecedent investigation range choice, take account of a heightened level of gas pipeline failure in that region.

Under chosen to the investigation gas pipeline still exist a pit coal exploitation of KWK Jastrzębie – Moszczenica, and max depression of a nascent mining pan was 1106 mm. Area of the investigation range was treat by a mining exploitation bumps, with energy reaching up to $E = 5.7 \times 10^5$ J, in last two years. The pit coal exploitation is on the depth 793 m, with landslide method, and the thickness of strata fluctuates from 1.6 to 3.5 m.

The gas pipeline was built as a steel pipes R350, with radius 50 mm and wall thickness about 3.8 mm. The gas pipeline under ground immersion was about 0.8 m. The depth pipeline trench was 1,0 m, and the width about 0.25 m. The gas pipeline was without any ground movement compensation and according to the obligatory standards was in a sand coat with average thickness 0.1m. The pipeline bedding was some clayed sand with unit weight $\gamma = 1.82 \cdot 10^{-2}$ MN/m³.

4. The investigation method and the measurement instruments used in the experiment.

The scrutinized pipeline was statically strained with simultaneous force impact generating vibrations in the tested ground and the gas pipeline.

The investigation cycle was divided into four tests, with the initiative alongside pipeline force value equal 0, 20, 100, 130 kN as controlled variable. The axis pipeline stretch was fulfilled by a special constructed screw actuator witch allow generate required tangent forces on the contact surface of ambient ground and pipeline wall. The pipeline under static strain was tre-

nie określonych wartości sił stycznych na kontakcie grunt – gazociąg. Będący pod napięciem gazociąg, poddawano impulsom dynamicznym, wywoływanych udarem spadającego ciężaru $C = 12$ kN, z wysokości 2,7 m. Miejsca uderu (S1, S2, S3, S4, S5) były rozmieszczone na półokręgu o promieniu równym 10 m (rys. 1). W każdym punkcie uderu ciężar opuszczany był 5-ciokrotnie. W punkcie pomiarowym PP rejestrowano odkształcenia oraz przyspieszenia drgań gazociągu, a także dokonywano kontroli napinającej siły statycznej podczas napinania gazociągu. Punkt pomiarowy PP1 miał za zadanie rejestrację odkształceń i przyspieszeń gazociągu w odległości 18,3 m od siłownika. W punkcie pomiarowym PP2 dokonywano przy pomocy akcelerometru pomiaru przyspieszenia drgań gruntu. Pomiarzy przeprowadzano zgodnie z planem eksperymentu i rozmieszczeniem aparatury pomiarowo- rejestrującej przedstawionych na rys. nr 1.

Punkty PP, PP1 i PP2 obejmowały pomiary następujących wielkości:

A) Punkt PP – pomiar na odcinku rurociągu, bezpośrednio przy siłowniku

- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – naprężenia od sił i momentów działających w osiach X, Y, Z

- a_x, a_y, a_z – przyspieszenia drgań gazociągu w osiach X, Y, Z

B) Punkt PP1 – pomiar na odcinku gazociągu w odległości 18,3 m od punktu PP

- $\sigma_{x1}, \sigma_{y1}, \sigma_{z1}$ – naprężenia od sił i momentów działających w osiach X, Y, Z

- a_{x1}, a_{y1}, a_{z1} – przyspieszenia drgań gazociągu w osiach X, Y, Z

C) Punkt PP2 – pomiar w gruncie na odcinku pomiędzy punktami PP i PP1

- a_{x2}, a_{y2}, a_{z2} – przyspieszenia drgań gruntu w osiach X, Y, Z

Do badań zaprojektowano system pomiaru odkształceń gazociągu oraz przyspieszeń drgań gruntu i rury. Jego budowa oraz zestawienie elementów pomiarowo-rejestrujących przedstawiono w pracy [1].

Przyjęto następującą kolejność przeprowadzonych testów badawczych:

Pierwsze pomiary wykonano dla siły naciągu 20 kN, a następnie dla odprężonego gazociągu (bez siły naciągu). Następnie dokonano napinania gazociągu do 100 kN, co zarejestrowano na plikach w czasie około 500 sek. rejestracji każdy. Po tych testach przystąpiono po raz drugi do napinania gazociągu do 200 kN, ale

ated by a dynamic impact yielded by drop of weight $C = 12$ kN, from height 2.7 m. The point of dynamic weight impact (S1, S2, S3, S4, S5) were arranged on a semicircle with radius 10 m (Pic.1). The weight was dropping 5-times on each point of impact.

In each point of measurements (PP) there was registered the strain and the vibration acceleration in pipeline as well as there was verifying tangent strain forces of pipeline from the screw actuator. The measurement point PP1 was for the strain and the vibration acceleration registration in the pipeline point distant 18.3 m from actuator. In the measurement point PP2 it was measured the vibration acceleration of ground. All measurements were executed according with the experiment plan and the arrangement of instruments according to scheme represented on Pic.1.

The measurement points PP0, PP1, PP2 were executed the registration following technical quantity:

A) Point PP0 – measurement on the sector of pipeline, immediate near actuator

- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – stresses from forces and moments operating in X, Y, Z axis

- a_x, a_y, a_z – pipeline vibration acceleration in X, Y, Z axis

B) Point PP1 – measurement on pipeline in the point distant 18.3 m from point PP

- $\sigma_{x1}, \sigma_{y1}, \sigma_{z1}$ – stresses from forces and moments operating in X, Y, Z axis,

- a_{x1}, a_{y1}, a_{z1} – pipeline vibration acceleration in X, Y, Z axis

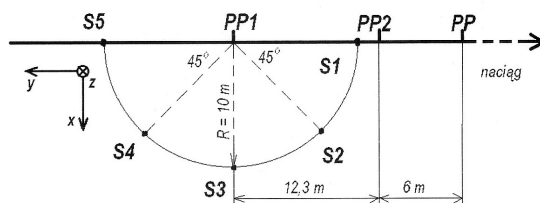
C) Point PP2 – measurement in the section of ground between point PP and PP1

- a_{x2}, a_{y2}, a_{z2} – ground vibration acceleration in X, Y, Z axis

It was constructed measurement system for the pipeline strain as well as the vibration acceleration of ground and pipeline. The measurement system construction and list of register/measurement units is represented in paper [1]. Sequence of tests was accepted as below: first measurements was done for 20 kN force strain and later for relaxed pipeline (without strain force); next, the pipeline was strained continuously up to 100 kN, what was registered in few

files during 500 s time each.

After described tests, the pipeline has been strained up to 200 kN force second time, but after reaching 180 kN force, it's occurred spontaneous strain force drop down to about 130 kN. The equilibrium of friction and strain forces were break down at this strain force



Rys. 1. Plan poligonowych badań współczynnika tarcia rurociągu i gruntu w obecności drgań

Pic.1. Layout of the ground pipeline friction coefficient research range at the vibration presence

po osiągnięciu wartości siły statycznej równej 180 kN, nastąpił samoistny spadek wartości siły napięcia do około 130 kN. Przy tej wartości siły naciągu została zerwana równowaga sił tarcia i siły naciągu. Proces napinania gazociągu do 20 kN zarejestrowano na plikach po około 1000 sek. rejestracji każdy.

W ostatnim etapie eksperymentu dokonano badania gazociągu przy samoistnie ustabilizowanej sile napięcia 130 kN.

5. Wyniki badań

Uzyskano bardzo znaczną liczbę wyników badań, które opracowano w formie graficznej. Na wykresach przedstawiono przebiegi zarejestrowanych odkształceń gazociągu, wartości składowych naprężeń kierunkowych σ_x , σ_y , σ_z w MPa, pochodzących od działających sił i momentów odpowiednio w kierunkach osi OX, OY, OZ. Dla porównania, obok przedstawiono wartości przyspieszeń drgań gazociągu a_x , a_y , a_z w jednostkach przyspieszenia ziemskiego g, zarejestrowane akcelerometrem w kierunkach osi OX, OY, OZ. Przykład zarejestrowanych przyspieszeń drgań gruntu i odpowiedzi gazociągu w postaci przebiegu odpowiadających mu naprężeń σ_y , przedstawiono na rys. 2. Przykładowy przebieg obliczonej siły napinającej gazociągu F w kN, w funkcji czasu w sek. i naprężeń σ_y w MPa, działającej wzdłuż osi gazociągu OY z zarejestrowanym obciążeniem dynamicznym, pochodzącym od wstrząsu, przedstawiono na rys. 3. Jest to wykres fazowego przesunięcia składowego naprężenia kierunkowego zarejestrowanego w kierunku osi OY.

Podobne przebiegi zmian wartości kierunkowych naprężeń składowych – σ_x , σ_y , σ_z , przyspieszeń gazociągu – a_x , a_y , a_z oraz statycznej siły napinającej – F , dla kolejnych punktów wymuszania drgań – S1, S2, S3, S4, S5, po pięć przykładowych testów dla każdego punktu S i kolejnych wartości siły napinającej 0, 20, 100, 130 kN zarejestrowano w punktach pomiarowych PP, PP1 i PP2.

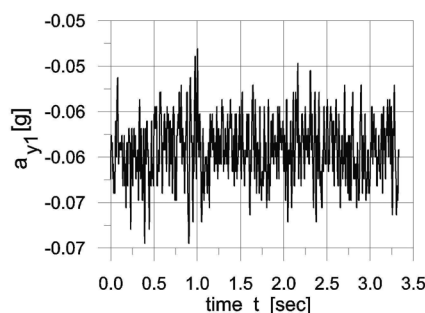
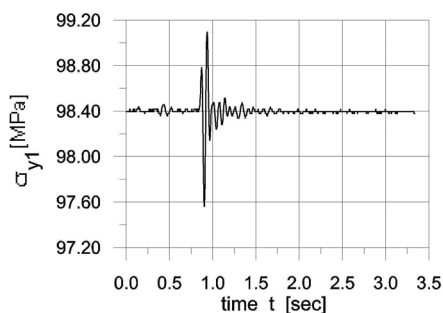
W artykule wykorzystano tylko część wyników, bezpośrednio związaną z wyznaczeniem współczyn-

value. The process of pipeline tensing to 20 kN was registered in 1000s time files each. In last step of the experiment pipeline was tested with spontaneous stabilized force strain 130 kN.

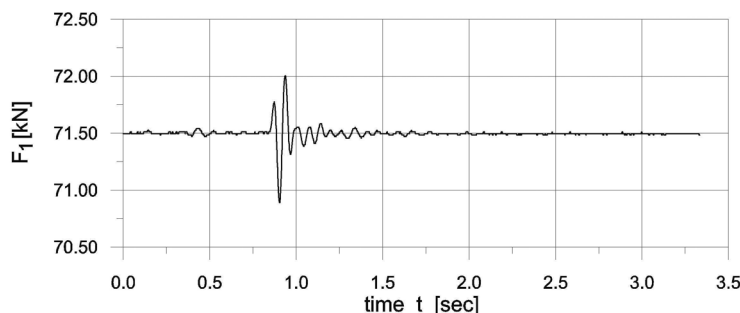
5. Results of the tests

It was obtained plentiful results set which was work out in graphical form. On the charts there were depicted registered strains of pipeline curves and the values of axis components direction stresses σ_x , σ_y , σ_z in Mpa, coming from the forces and the moments operating in axis direction OX, OY, OZ. For comparison, on side, there were depicted the pipeline vibration acceleration a_x , a_y , a_z in earth acceleration units g, registered by accelerometer in axis direction OX, OY, OZ. Example of registered ground vibration acceleration and responding pipeline stresses σ_y , depicted on pic. 2. Example of calculated strain pipeline force F expressed in kN, as a function of time in sec. and stresses σ_y in Mpa, operating in alongside axis of pipeline direction OY, with registered dynamic strain from the impacts is depicted on pic. 3. It is shifted phase chart component directed stress registered in axis OY direction.

The time pattern of the components directional stresses – σ_x , σ_y , σ_z , the pipeline vibration acceleration – a_x , a_y , a_z as well the static strain force – F , at forced vibration in points – S1, S2, S3, S4, S5, five times test each and successively next static strain forces of pipeline 0, 20, 100, 130 kN, all in measurement points PP, PP1, PP2 were registered. In the paper it was used only part of all results, directly bonded with the friction coefficient retrieval process. The data pipeline stresses σ_y , calculated on the measured pipeline strains in axis direction OY, belong to that set. It should be marked, that value of 200 kN pipeline strain force were not reached, because tangent strain limit of con-



Rys. 2. Wartości naprężeń gazociągu σ_{y1} oraz przyspieszeń drgań gruntu a_{y1} uzyskane w badaniach współczynnika tarcia
 Pic. 2. The pipeline stress values σ_{y1} and the ground vibration accelerations a_{y1} collected at the friction coefficient determination



Rys. 3. Przebiegi zmian siły napinającej $F = f(\sigma_y, t)$ z zarejestrowanym udarem dynamicznym w punkcie pomiarowym PP1
 Pic. 3. Plots of the strain forces variable $F = f(\sigma_y, t)$ with the dynamic impact registered in the measurement point PP1

nika tarcia. Należą do nich wartości naprężeń σ_y , wyliczone na podstawie zmierzonych odkształceń gazociągu w kierunku osi OY.

Należy zaznaczyć, że podczas napinania gazociągu siłą 20 kN, wartości tej nie osiągnięto, ponieważ nastąpiło przekroczenie granicznych naprężeń stycznych na kontakcie grunt-gazociąg i zerwanie styku, połączone ze zmianą tarcia statycznego na kinetyczne.

6. Identyfikacja parametrów tarcia rurociągu i gruntu

Istotnym zagadnieniem w przeprowadzonym eksperymencie jest wyznaczenie współczynnika tarcia rurociągu i gruntu. Rodzaj posiadanego materiału eksperymentalnego (danych pomiarowych) oraz informacji o warunkach eksperymentu, szczególnie o dokładnej konfiguracji terenu w obrębie strefy pomiarowej oraz o faktycznym ułożeniu rury w wykopie (krzywiznie rurociągu) zmuszają do zastosowania zaprezentowanej metody wyznaczenia współczynnika tarcia. Podstawą obliczeń jest przyjęcie, że siły działające na rurociąg w dwóch rozważanych punktach pomiarowych PP0 i PP1 muszą być zrównoważone (to znaczy w takim stanie, gdy nie następują już istotne zmiany wartości naprężenia) przez siłę tarcia, w tym wypadku – siłę tarcia statycznego.

Wyznaczanie współczynnika tarcia przeprowadzono wg następującego algorytmu:

Obliczono wartości siły działającej na rurociąg w punktach PP0 i PP1.:

Wartości siły napinającej gazociągu F , równoważonej siłami tarcia gruntu i gazociągu, wyznaczono na podstawie pomiaru, wykorzystując w mostku kanał pomiarowy B (σ_y). Po uwzględnieniu współczynnika obliczeniowego (zależny od modułu Young'a) równego $1/210$, współczynnika obliczeniowego (zależnego od liczby Poissona) równego $1,3$ oraz współczynnika uzyskanego ze skalowania równego $1/0,00852$, wartość siły wyliczono ze wzoru:

$$F = \sigma_y \times \left(\frac{1}{210} \times 1,3 \times \frac{1}{0,00852} \right) \quad (1)$$

tact ground – pipeline were overstepped, and the static friction were transferred to the kinetic one.

6. Identification of ambient ground and pipeline friction parameters

The pipeline and the ambient ground friction coefficient retrieval process is essential problem of executed experiment. Character of the acquisition experimental data (the measurement data), the data of experimental conditions, especially experimental range configuration and sculpture one, as well as the actual pipeline stratification in excavation (pipeline curvature) are reason for applied methodology of friction coefficient retrieval process. The base assumption of calculation is that the forces operating in two points PP0 i PP1 must be counterbalanced (changes of the stresses are not essential) by the friction force (static friction force in the case).

The algorithm of friction coefficient retrieval process is as below:

It was calculated the force value operating in pipeline point PP0 and PP1.:

The pipeline strain force value F , counterbalanced by ground – pipeline friction force, was measured with tensometer bridge channel B (σ_y).

After taking account of: the calculation coefficient (depending of Young's modulus) equal $1/210$, the calculation coefficient (depending of Poisson's constant) equal 1.3 and the scale coefficient equal $1/0.00852$, the force value calculated according with formula:

$$F = \sigma_y \times \left(\frac{1}{210} \times 1,3 \times \frac{1}{0,00852} \right) \quad (1)$$

where: F – stabilized pipeline strain force in [kN], σ_y – the component directional pipeline stress in axis direction OY.

gdzie: F – stabilizowana siła napinająca gazociągu [kN], σ_y – składowa kierunkowego naprężenia gazociągu, w kierunku osi OY.

Pomiędzy punktami PP0 i PP1 działa siła wyrażająca się wzorem:

$$F_T = F_{PP0} - F_{PP1} \quad (2)$$

Do celów estymacji współczynnika tarcia wykorzystywane są wartości tej siły przed i po przejściu fali sejsmicznej, a więc w chwili ustabilizowania się stanu rurociągu (rys. 4).

Wartości tej siły przed nadejściem fali i po jej przejściu różnią się w małym stopniu, a w chwilę po przejściu fali stabilizują swą wartość.

Należy zaznaczyć, że wyniki pomiaru przeprowadzone dla wstępnego naprężenia rurociągu o wartości 130 kN są do celów estymacji nieprzydatne. W wyniku procesu odciążania powstał w tym wypadku w rurociągu stan niemonotonicznego naprężenia, które nie zostaje zrelaksowane w wyniku działania fali sejsmicznej do chwili zakończenia rejestracji sygnału. Mamy zatem do czynienia z procesem dynamicznym i z tarcie dynamicznym, które jest równoważone przez mniejszą siłę.

Do zadania identyfikacji współczynnika tarcia statycznego dysponujemy wartościami siły uzyskanymi dla naciągów 0 kN, 20 kN i 100 kN.

Wartość siły F_T obliczona dla naciągu 0 kN wyraża stan naprężeń wewnętrznych rurociągu, powstałych w wyniku działań przygotowawczych przed eksperymentem (montowanie czujników, wykonywanie wykopów, itp.). Wielkość ta stanowi skalę odniesienia dla wyników uzyskanych przy innych naprężeniach i posłuży do skorygowania uzyskanego wyniku. Średnia wartość tej siły (obliczona dla wszystkich zebranych danych, tzn. 5 punktów pomiarowych i 5 serii w każdym punkcie) wyniosła 1,93 kN

Wartości siły F_T uzyskane dla naciągów 20 kN i 100 kN odpowiadają siłom tarcia statycznego, które oddziałują na rurociąg w przypadkach tych obciążeń. Uzyskane wartości różnią się od siebie, ponieważ siła tarcia wywołana jest przez dwa składniki. Pierwszym z nich jest siła nacisku gruntu na rurę (o charakterze hydrostatycznym), jednakowa w przypadku obu wartości naciągów. Drugim

Between the pipeline points PP0 and PP1 operate the force expressed by formula:

$$F_T = F_{PP0} - F_{PP1} \quad (2)$$

The value of this force is used to estimate friction coefficient as before as after seismic wave pass, so in the moment of stabilized pipeline state (pic. 4).

The values of that forces differed a little before arrival and after pass-on wave, and awhile moment after wave pass-on, the force stabilize its value.

It should be emphasized, that measurement data with initiative pipeline stress force 130 kN are not useful for estimate purpose.

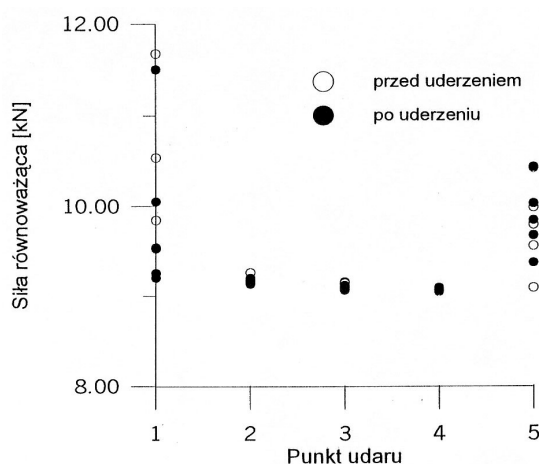
As a result of relief process, it arise the pipeline state of non monotonous stresses, which is not relaxed by seismic wave up to end of signal registration. Therefore, there is the dynamic process and the dynamic friction, counterbalanced by smaller pipeline force.

The identification task of the static friction coefficient is realized with initial strain pipeline forces 0 kN, 20 kN i 100 kN.

The force value F_T calculated at initial strain 0 kN expresses initial internal stresses in pipeline, made by initial processes before experiment (making monitoring excavations, sensor mounting etc) . The measured value constitutes reference scale and will be used to adjust obtained results. The average force value (calculated for all collected data i.e. form 5 measurement points and 5 series in each point) was equal 1.93 kN .

The force value F_T calculated at the initial strain 20 kN and 100 kN expresses the static friction forces, which interacts on pipeline with mentioned stresses at case .

Obtained results are differed to each other, because the friction forces are caused by two factors. The first is the ground pressure on a pipeline (hydrostatic character), identical in both cases of the strain values. The second component is additional force clamping pipeline into ground, arisen by the strain force in pipeline lying on curved supporting trench base (pipeline is laying on the mining activity range). Calculation of that component pipeline force is impossible, because of uncertain geometrical factors of pipeline between measurement points.



Rys. 4. Wartości siły równoważącej F_T przed i po przejściu fali sejsmicznej, dla pięciu punktów uderu i napięciu gazociągu siłą $F = 20$ kN

Pic. 4. The counterbalance force value F_T before and after seismic wave pass for five impact points and at the strain pipeline force $F = 20$ kN

składnikiem jest dodatkowa siła dociskająca rurę do gruntu, powstała w wyniku działania siły naciągającej na zakrzywiony rurociąg (leżący przecież na terenach szkód górniczych). Obliczenie wartości tej siły jest niemożliwe, ze względu na nieznajomość geometrii rury w jej odcinku między punktami pomiarowymi. O zakrzywieniu rurociągu świadczą również niezerowe wartości naprężeń σ_x i σ_z , mierzone w stanie ustalonym dla wszystkich naciągów rury. Wyeliminowanie tej siły jest możliwe przez odpowiedni zabieg rachunkowy.

W celu wyeliminowania zmiennej siły dociskającej rurociąg do gruntu wykonajmy następujące rozumowanie. Wiadomo, że siła ta zależy od wartości siły naciągu. Gdy naciąg jest równy zero – siła dociskająca nie istnieje. Ponieważ dysponujemy jedynie dwoma pomiarami (dla 20 kN i 100 kN) założmy, że siła ta zależy liniowo od wartości siły naciągającej rurociąg i ekstrapolujmy wartość siły tarcia dla naciągu 0 kN, przyjmując, że znamy wartości tej siły dla 20 kN i 100 kN.

Wynik tak zaplanowanych obliczeń przedstawiono na rys. 5. Wykorzystano w nich wszystkie dostępne pomiary, a prostą aproksymującą poprowadzono zgodnie z zasadą najmniejszych kwadratów (regresja liniowa). W wyniku uzyskano wartość siły tarcia statycznego odpowiadającą jedynie ciśnieniu hydrostatycznego gruntu na rurociąg jako $F_T = 6,32$ kN.

Ostatnim krokiem jest uwzględnienie poprawki obliczonej powyżej, co w ostatecznym wyniku daje wartość siły tarcia jako $F_T = 8,25$ kN. Ta wartość posłuży do obliczenia współczynnika tarcia statycznego gruntu i rurociągu.

Do obliczenia współczynnika tarcia potrzebna jest znajomość siły nacisku działającej na powierzchnię rurociągu pomiędzy punktami pomiarowymi. Siłę działającą na powierzchnię rurociągu możemy wyliczyć ze wzoru:

$$F_N = 2\pi r l h \rho g \quad (3)$$

Dla parametrów badanego gazociągu i gruntu o następujących wartościach liczbowych:

- średnica rury: 0,05 m (promień: $r = 0,025$ m),
- rednie zagłębienie rurociągu (od powierzchni do osi rury): $h = 0,8$ m,
- długość zagłębionego rurociągu: $l = 18,3$ m,
- gęstość materiału gruntu: $\rho = 1820$ kg/m³,
- wartość przyspieszenia ziemskiego przyjmujemy $g = 9,81$ m/s²,
- obliczona wartość siły $F_N \approx 41,03$ kN.

Wartość współczynnika tarcia statycznego τ_s obliczamy z wzoru:

$$\tau_s = \frac{F_T}{F_N} \quad \tau_s = \frac{8,25}{41,03} = 0,20 \quad (4)$$

Not null stresses value σ_x and σ_z at the static state with all initial pipeline strain betray the pipeline curvature. Towards to eliminate variable force which clamping pipeline to ground, it was made some reasoning. It is common knowledge, that this force depend of the strain force. In case the strain force is null – clamping force is zero too. Because we have only two measure results (at 20 kN and 100 kN) it was assumed linear dependency of the strain pipeline force and we extrapolate friction force value at initial strain 0 kN, assuming known value of the forces at 20 kN and 100 kN initial strain.

The results of that scheduled calculations are presented on pic.5. It was used all available measurement data, and approximation strait line was led according with minimum square principle (linear regression). As a result it was obtained the static friction force from the hydrostatic ground pressure on pipeline equal $F_T = 6.32$ kN.

The last step is to take account of correction calculated above and as the final result friction force is as $F_T = 8.25$ kN. This value is used at calculation of static friction coefficient of ground and pipeline.

It is necessary knowledge of a normal force operating on surface of pipeline between measurement points to calculate friction coefficient. That force operating on surface of pipeline can be calculate from formula:

$$F_N = 2\pi r l h \rho g \quad (3)$$

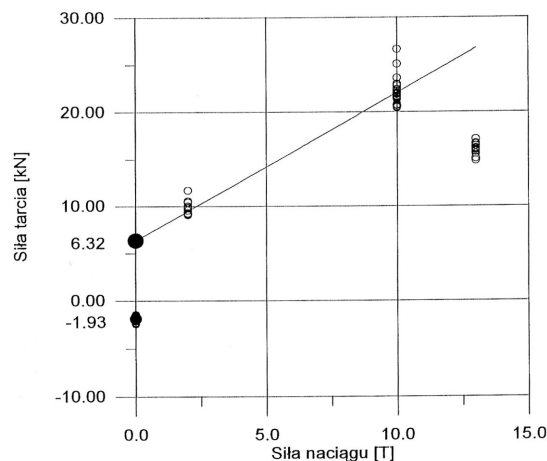
At parameters data of the ground and the pipeline as below:

- pipe diameter: 0.05 m (radius: $r = 0.025$ m);
- average pipeline immersion (from surface to pipe axis) : $h = 0.8$ m,
- length of the immersed pipeline part: $l = 18.3$ m,
- ground density: $\rho = 1820$ kg/m³,
- earth gravitation $g = 9.81$ m/s²,
- calculated force value is $F_N \approx 41,03$ kN.

The static friction coefficient value τ_s is calculated from formula:

$$\tau_s = \frac{F_T}{F_N} \quad \tau_s = \frac{8.25}{41.03} = 0,20 \quad (4)$$

The obtained calculation result corresponds to authors expectations, because some friction coefficient value obtained in analogous conditions and cited by other authors is similar. Percentage error is not too big, thanks to the facts that: the majority of parameter values are accurately known, range of applied exploration (20 kN) to the strain scale is comparatively small (force value can not changed



Rys. 5. Wykres siły tarcia T w funkcji siły napięcia gazociągu F w badaniach współczynnika tarcia w obecności drgań
 Pic. 5. Chart of the friction force T vs. the pipeline strain force F at the friction coefficient determination with vibration presence

Otrzymany wynik odpowiada oczekiwaniom, ponieważ wartości współczynnika tarcia rozpatrywanego w analogicznych zagadnieniach przez innych autorów są podobne. Za tym, że błąd (procentowy) nie jest zbyt duży przemawia fakt, iż większość parametrów występujących we wzorze dla siły tarcia jest znanych dokładnie, a zasięg ekstrapolacji (20 kN) – stosunkowo mały w porównaniu z rozpatrywanym zakresem naciągów (siła na tym odcinku nie może wykonywać zbyt gwałtownych skoków). Ponadto, siła odniesienia obliczana przy faktycznym naciągu równym 0 kN jest praktycznie stała dla wszystkich eksperymentów, co świadczy o tym, że obliczona wartość średnia tej siły jest bardzo bliska jej rzeczywistej wartości.

Jednak ze względu na przyjęte przybliżenie liniowe w celu eliminacji jednego ze składników siły tarcia oraz konieczność korekcji naprężeń własnych rurociągu, jedynie dwa stany naciągu przydatne do obliczeń, niemożność podania dokładnej długości odcinka rurociągu zagłębionego w ziemi (w wyniku jego krzywizny i konieczności wykopania studzienek w miejscu ulokowania czujników), powstaje konieczność kontynuacji podjętych badań.

7. Wnioski

1. Przeprowadzone badania potwierdziły celowość realizacji podjętego tematu badań, oraz pozwoliły na zidentyfikowanie procesów tarcia rurociągu o grunt i wpływu impulsów sejsmicznych na ten proces. W szczególności istotne było wyznaczenie współczynnika tarcia statycznego gruntu i rurociągu, który daje podstawy do określania rzeczywistych wartości obciążeń rurociągów, budowanych na terenach niestabilnych.
2. W obszarze szkód górniczych, w procesach, w których występuje tarcie istotny jest nie tylko

fiercy). Moreover, reference force calculated at the actual strain force 0 kN is practically constance for all experiments. It means, that calculated average force is very close to real value.

On account acceptance of linear approximation for elimination some component of the friction force, necessity initial inner pipeline strain correction, only two pipeline strain values accepted in calculations, not definite length of immersed part of pipeline (due to pipeline curvature and sensor wells), there is research continuation suggested.

7. Conclusions

1. Performed research on the undertaken subject acknowledged chosen purpose. Identification of the ground – pipeline friction process with the seismic impact was done. Particular essential was the static friction ground pipeline coefficient retrieval. It is base to determination of the actual pipeline (lying on unstable mining activity range) stresses.
2. The curvature of pipeline and the ground pipeline friction coefficient are essential elements

współczynnik tarcia, lecz także kształt (krzywizna) rurociągu w gruncie. Te dwie wielkości mają wpływ na całkowitą siłę tarcia działającą na rozważany odcinek rurociągu.

3. W trakcie prowadzonych badań zgromadzono duży zasób danych eksperymentalnych, które mogą posłużyć do prowadzonych w przyszłości badań – symulacji wymuszeń parasejsmicznych lub drgań konstrukcji liniowej, prowadzonych w celu określenia procesów zużycia, zmęczenia lub zniszczenia gazociągów w terenach o dużym zagrożeniu dla trwałości takich obiektów (tereny górnicze, tereny o dużym natężeniu ruchu drogowego, itp.
4. Uzyskane z badań wyniki mogą stanowić materiał przydatny do dalszych badań jako podstawa ustalania gęstości widmowych przydatnych w obliczeniach numerycznych (symulacja złożonych zjawisk parasejsmicznych i ich wpływu na gazociągi), jak również jako materiał porównawczy dla realizacji procesów parasejsmicznych symulowanych komputerowo.

in some friction processes on mining activity damages ranges. That two mentioned above variables affect total friction forces at considered part of pipeline.

3. During the executed experiment it was collected plenty of useful data. They can be useful for other research with para seismic impact simulations, the cable construction vibrations analysis, etc. with goal to determination of wear process, fatigue and destruction of pipelines on range with high level damage threat (mining activity ranges, load traffic site ect.)
4. Data acquisition as result of experiment can be useful in other research and a base to determination spectral density at numerical calculations (computer simulations of para seismic processes and their impact on gas pipelines) as well as comparison material in computer simulated para seismic processes.

8. Literatura

- [1] Gawędzki W., Tarnowski J.: *System diagnozowania i monitoringu statycznych i dynamicznych stanów odkształceń gazociągów eksploatowanych w warunkach niestabilnego środowiska*, ZEM 4/99.
- [2] Broniec Z., Czachórska E., Szybka J., Tarnowski J.: *Safety Problems of Gas Grid Maintenance on Mining Area*, The 8th International Colloquium, Haigh Pressure Pipeline Reliability after a Long Time Operation, Praga '1999.
- [3] Tarnowski J.: *Analiza wpływu tarcia na zmiany obciążenia gazociągu współpracującego z górnictwo – odkształcalnym ośrodkiem gruntowym*, 5th International Symposium INSYCONT '98, Tribologia Nr 6/98.
- [4] Doliński K., Kotulski Z.: *Localisation effect during wave pulse propagation in randomly stratified medium*, Arch.Mech. 51, 311-334, (1999).
- [5] Doliński K., Kotulski Z., Tarnowski J.: Sprawozdanie z projektu KBN Nr 9T12A04812
- [6] Kotulski Z.: *Elastic waves in randomly stratified medium*. I. Acta Mechanica 83, 61-75 (1990), II. Acta Mechanica 92, 143-163, (1992).
- [7] Ciesielski R., Maciąg E.: *Drgania drogowe i ich wpływ na budynki*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990
- [8] Tarnowski J.: *Analysis of the Effect of Friction on Changes of Loads Exerted on Gas Pipeline Cooperating with Mining-Deformable Ground*, The 8th International Colloquium, Haigh Pressure Pipeline Reliability after a Long Time Operation, Praga '1999.
- [9] Szcześniak Z.: *Modelowanie zachowania dynamicznego konstrukcji podziemnych w warunkach działania fali uderzeniowej*, Wydawnictwo WAT, Warszawa 1999.

dr inż. Jerzy TARNOWSKI

dr inż. Włodzimierz FIGIEL

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

Akademia Górniczo - Hutnicza Kraków

Aleje Mickiewicza 30

jtarnow@interia.pl

tarnow@uci.agh.edu.pl

AKTUALNOŚCI PNTTE

W dniu 23 września 2005r. w Kielcach odbyła się konferencja Pt. „Eksploatacja i zarządzanie zrównoważonym transportem” zorganizowana przy współudziale Polskiego Naukowo – Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego. Celem konferencji było omówienie problemów jakości i bezpieczeństwa pojazdów ciężarowych, autobusów oraz efektywności systemów transportu w ujęciu technicznym, organizacyjnym, ekonomicznym i ekologicznym. PNTTE w ten sposób postanowiło wesprzeć prace samorządów miast tworzących politykę komunikacyjną zgodnie z wymogami międzynarodowymi.

Konferencja odbyła się równocześnie z III Międzynarodowymi Targami Lokalnego Transportu Zbiorowego TRANSEXPO, na których prezentowane były pojazdy transportu miejskiego, podmiejskiego, międzymiastowego oraz pojazdy turystyczne.

Organizatorzy:

- **Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne,**
- Urząd Miasta Kielce,
- Targi Kielce,
- Politechnika Świętokrzyska w Kielcach.

Komitet Honorowy:

Wojciech Lubawski

Prezydent Miasta Kielce,

Wiesław Trąmpczyński

Rektor Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach,

Stanisław Adamczak

Dziekan Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej,

Tomasz Raczyński

Prezes Zarządu Targi Kielce,

Janusz Oprzędkiewicz

Profesor Politechniki Krakowskiej.

Komitet Naukowy:

Przewodniczący - Andrzej Niewczas,

Andrzej Ambrozik

Bogdan Antoszewski

Zdzisław Chłopek

Tadeusz Lisowski

Štefan Liščák

Mirosław Nader

Tomasz Nowakowski

Tomasz Otmianowski

Paweł Piec

Leszek Powierża

Tomasz Stańczyk

Jan Szybka

W dniu 20 czerwca 2005 Przewodniczący Zespołu ds. Ekspertów Towarzystwa prof. Jan Szybka przedstawił listę osób z Komisji Lubelskiej i Krakowskiej zakwalifikowanych na Ekspertów PNTTE.

Aktualna lista Ekspertów Towarzystwa:

1. Adolf Boda - *Komisja Krakowska*
2. Ewa Czachórska - *Komisja Krakowska*
3. Kazimierz Drozd - *Komisja Lubelska*
4. Mieczysław Dziubiński - *Komisja Lubelska*
5. Leszek Gardyński - *Komisja Lubelska*
6. Jerzy Zaduch - *Komisja Krakowska*
7. Wiesław Kasza - *Komisja Krakowska*
8. Henryk Komsta - *Komisja Lubelska*
9. Stanisław Krawczyk - *Komisja Krakowska*
10. Stanisław Młynarski - *Komisja Krakowska*
11. Andrzej Niewczas - *Komisja Lubelska*
12. Janusz Oprzędkiewicz - *Komisja Krakowska*
13. Marek Opielak - *Komisja Lubelska*
14. Jan Szybka - *Komisja Krakowska*
15. Marian Trybus - *Komisja Krakowska*

W dniu 21 maja 2005r. w Paryżu na Zebraniu European Federation of National Maintenance Societies Polskie Naukowo Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne zostało przyjęte do grona aktywnych członków Federacji. W spotkaniu tym uczestniczył sekretarz PNTTE dr Krzysztof Olejnik.

SMART DRIVER

17 czerwca w Jankach koło Warszawy odbyło się spotkanie zarządu Komisji Motoryzacyjnej PNTTE oraz przedstawicieli dużych przewoźników w związku z wprowadzeniem w Polsce programu SmartDriver. Program to cykl szkoleń teoretycznych i praktycznych poświęconych doskonaleniu umiejętności ekonomicznej i bezpiecznej jazdy samochodami ciężarowymi. SmartDriver jest częścią pochodzącego z Kanady programu SmartFleet, który od kilku lat jest wprowadzany w wielu krajach. Cykl szkoleń dotyczących wdrażania programu SmartDriver w Polsce zostanie uruchomiony pod patronatem Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacyjnego.