SPIS TREŚCI

Sławczo Denczew - notka biograficzna 3

Nauka i Technika

Mariusz WAŻNY

Metoda wyznaczania czasookresu przebywania wybranego urządzenia systemu nawigacyjno-celowniczego w systemie użytkowania
The method of determining the time concerning the operation of a chosen navigation and aiming device in the operation system 4

Stanisław STRZELECKI, Leszek KUŚMIERZ, Grzegorz PONIEWAŻ

Deformacje termiczne wahliwych płytek w 5-segmentowym ślizgowym łożysku poprzecznym
Thermal deformation of pads in tilting 5-pad journal bearing 12

Grzegorz ZAJĄC, Adam WĘGRZYN

Analiza zmian parametrów pracy silnika o ZS zasilanego mieszaniną oleju napędowego i estrów etylowych oleju rzepakowego
Analysis of work parameters changes of diesel engine powered with diesel fuel and faee blends 17

Sławomir JUŚCIŃSKI, Wiesław PIEKARSKI

Zarządzanie logistyczne autoryzowanym serwisem ciągników i maszyn rolniczych
Logistic management of an authorized service for agricultural tractors and machines 25

Jerzy BIENIEK, Jan BANASIAK, Grzegorz POGODA

Zastosowanie sita wielopłaszczyznowego do kombajnowego zbioru zbóż w warunkach terenów nachylonych
Application of the multi-plane sieve for the harvester-thresher cereals cropping under the conditions of sloping areas 34

Andrzej KURANC

Ekologiczny aspekt zimnego i gorącego rozruchu silnika spalinowego o zapłonie iskrowym
The ecological aspect of a cold and hot starting of a spark ignition combustion engine 40

Sławomir JUŚCIŃSKI, Małgorzata SZCZEPANIK

Przeglądy gwarancyjne ciągników rolniczych jako element logistyki dystrybucji
Guarantee service of agricultural tractors as an element of distribution logistics 45

Ľubomír ŠOOŠ

Spindle – system sztywności wrzeciona SBL 500 CNC
Spindle - housing system SBL 500 CNC 53

Aktualności PNTTE

Professional maintenance is the key success factor for every company and society 58

WAŻNY M.: **Metoda wyznaczania czasookresu przebywania wybranego urządzenia systemu nawigacyjno-celowniczego w systemie użytkowania**; EiN 2/2008, s. 4-11.

W opracowaniu przedstawiono metodę umożliwiającą wyznaczenie czasookresu przebywania głowicy celowniczej w systemie użytkowania w oparciu o analizę wartości parametrów diagnostycznych zarejestrowanych w trakcie jej eksploatacji. Przedstawiona metoda ma charakter uniwersalny pozwalający na jej zastosowanie w szerokim gronie systemów technicznych, których stan określany jest na podstawie analizy wartości parametrów diagnostycznych.

STRZELECKI S., KUŚMIERZ L., PONIEWAŻ G.: **Deformacje termiczne wahliwych płytek w 5-segmentowym ślizgowym łożysku poprzecznym**; EiN 2/2008, s. 12-16.

Ślizgowe łożyska poprzeczne z segmentami wahliwymi stosowane są w wysokoobrotowych sprężarkach oraz turbinach. Łożyska poprzeczne z płytkami wahliwymi stanowią poprawne rozwiązanie, ponieważ zapewniają bardzo dobrą stateczność hydrodynamiczną w zakresie dużych prędkości oraz są mniej wrażliwe na zmiany kierunku obciążenia oraz niewspółosiowość wału. W artykule przedstawiono deformacje segmentów wahliwego 5-segmentowego ślizgowego łożyska poprzecznego z podparciem symetrycznym wywołane polem ciśnienia oraz rozkładem temperatury w warunkach adiabatycznego filmu olejowego. Deformacje segmentów wyznaczone zostały na podstawie rozkładu ciśnienia oraz temperatury w filmie olejowym. Równania Reynoldsa, bilansu energii, geometrii szczeliny olejowej oraz lepkości oleju zostały rozwiązane metodą numeryczną przy założeniu współosiowości wału oraz panewki łożyska w stanie równowagi położenia wału.

ZAJĄC G., WĘGRZYN A.: **Analiza zmian parametrów pracy silnika o ZS zasilanego mieszaniną oleju napędowego i estrów etylowych oleju rzepakowego**; EiN 2/2008, s. 17-24.

W pracy przedstawiono analizę wpływu mieszanin paliwowych zawierających estry etylowe oleju rzepakowego (FAEE) na parametry pracy silnika o ZS. Badania przeprowadzono na silniku typu 2CA90 zainstalowanym na stanowisku dynamometrycznym. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie do zasilania mieszanek paliwowych zawierających 1-5% estrów etylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego powoduje zmianę parametrów energetycznych pracy silnika wysokoprężnego.

JUŚCIŃSKI S., PIEKARSKI W.: **Zarządzanie logistyczne autoryzowanym serwisem ciągników i maszyn rolniczych**; EiN 2/2008, s. 25-33.

W artykule zaprezentowano zarządzanie logistyczne Działem Serwisu w przedsiębiorstwie handlowo – usługowym prowadzącym autoryzowaną sprzedaż ciągników i maszyn rolniczych. Przedstawiono strukturę bazy danych o przeglądach i naprawach ciągników. Omówiono charakter działań serwisowych w aspekcie kalendarza zabiegów agrotechnicznych. Opisano procedurę weryfikacji awarii ciągników przez Dział Serwisu i lokalizacji usług naprawczych. Zaprezentowano zadania logistyczne w procedurze dostawy części zamiennych na potrzeby bieżących napraw realizowanych przez stacje serwisowe. Przedstawiono procedurę obsługi finansowej zlecenia zatwierdzonego do realizacji przez Dział Serwisu.

BIENIEK J., BANASIAK J., POGODA G.: **Zastosowanie sita wielopłaszczyznowego do kombajnowego zbioru zbóż w warunkach terenów nachylonych**; EiN 2/2008, s. 34-39.

W pracy przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych prototypowego sita wielopłaszczyznowego zastosowanego w kombajnie zbożowym NEW HOLLAND BIZON Z-058. Badania przeprowadzone w warunkach terenów nachylonych wykazały, że badane sito polepsza pracę kombajnu zbożowego ograniczając straty ziarna do 0,05% przy jego czystości zawierającej się w zakresie od 95,5% do 99,6% w zależności od ustawienia parametrów pracy sita.

KURANC A.: **Ekologiczny aspekt zimnego i gorącego rozruchu silnika spalinowego o zapłonie iskrowym**; EiN 2/2008, s. 40-44.

Artykuł przedstawia analizę wyników pomiarów emisji wybranych składników spalin w początkowym okresie pracy silnika spalinowego o zapłonie iskrowym wyposażonego w wielowtryskowy, pośredni system zasilania oraz w trójfunkcyjny konwerter katalityczny. Pomiary zostały wykonane dla dwóch stanów cieplnych silnika, tj. dla rozruchu zimnego, gdy silnik i wszystkie jego podzespoły oraz płyny eksploatacyjne posiadały jednakową temperaturę, równą temperaturze otoczenia, a także dla rozruchu gorącego, uzyskiwanego bezpośrednio po mającym miejsce wcześniej okresie pracy silnika w warunkach równowagi cieplnej. Odczyty wyników dokonywane były z krokiem jednosekundowym i mogą być przedstawiane w postaci przebiegów czasowych obrazujących charakter zmian emisji w obserwowanym okresie. Analiza emisji w aspekcie ekologicznym uwzględnia w szczególności porównanie oraz ocenę zimnego i gorącego rozruchu pod względem wielkości emisji szkodliwych składników spalin.

JUŚCIŃSKI S., SZCZEPANIK M.: **Przeglądy gwarancyjne ciągników rolniczych jako element logistyki dystrybucji**; EiN 2/2008, s. 45-52.

W artykule przedstawiono zagadnienia logistycznej obsługi klienta oraz zdefiniowano płaszczyzny, na których podlega ona realizacji. Wyjaśniono funkcje logistyki i marketingu w obszarze obsługi nabywców wyrobów. Omówiono charakterystyki przeglądów przed sprzedażą (P0) i przeglądów gwarancyjnych (P1-P4). Analiza obejmowała rozkłady ilości usług w latach 2003-2005 przeprowadzonych w Dziale Serwisu przedsiębiorstwa handlowo – usługowego będącego autoryzowanym dystrybutorem ciągników i maszyn rolniczych, m.in. marki JOHN DEERE i ZETOR. Przeprowadzono analizę statystyczną badanych usług serwisowych poprzez wyznaczenie wartości indeksów sezonowych dla badanego okresu. Usługi serwisowe (P0) i (P1-P4) analizowano w aspekcie kalendarza zabiegów agrotechnicznych.

ŠOOŠ Ľ.: **Spindle – system sztywności wrzeciona SBL 500 CNC**; EiN 2/2008, s. 53-56.

Obrotowy wrzeciennik (SH) obrabiarek odgrywa główną rolę w uzyskiwaniu wymaganej dokładności eksploatacyjnej i wydajności produkcji. Radialne łożyska kulkowe z kątowym kontaktem są obecnie coraz częściej stosowane w oprzyrządowaniu. Analiza systemu sztywności wrzeciennika - Spindle (SHS) jest bardzo złożona i skomplikowana. Kompleksowa analiza wymaga głębokiej wiedzy z matematyki, mechaniki, części maszyn, elastochydrodynamiki, techniki ruchu obrotowego i umiejętności programowania. Moduł programowy (SW) - Headstock Spindle - został zweryfikowany na Wydziale Inżynierii Produkcji przy projektowaniu precyzyjnego wrzeciona tokarki SBL 500 CNC.

WAŻNY M.: **The method of determining the time concerning the operation of a chosen navigation and aiming device in the operation system**; EiN 2/2008, s. 4-11.

The study presents the method of determining the time concerning the operation of an aiming head in the operation system. The method is based on the analysis of the values of diagnostic parameters which were registered during the operation of the aiming head. The method is of universal character. It can be used for a wide range of technical systems whose condition is described on the basis of analyzing the values of diagnostic parameters.

STRZELECKI S., KUŚMIERZ L., PONIEWAŻ G.: **Thermal deformation of pads in tilting 5-pad journal bearing**; EiN 2/2008, s. 12-16.

In high speed compressors and turbine drive trains, the tilting 5-pad journal bearings are applied. Tilting-pad journal bearings are good option because they have very good hydrodynamic stability at high speed and are less sensitive to load direction and shaft misalignment. The paper introduces thermo-elastic deformations of tilting 5-pad journal bearing with symmetric support of pads and operating at the conditions of adiabatic oil film. The deformations of pads were obtained based on the oil film pressure and temperature distributions. Reynolds, energy, geometry and viscosity equations have been solved numerically on the assumption of aligned orientation of bearing and journal axis and at static equilibrium position of journal.

ZAJĄC G., WĘGRZYN A.: **Analysis of work parameters changes of diesel engine powered with diesel fuel and faee blends**; EiN 2/2008, s. 17-24.

Analysis of influence of fuel blends containing rape oil esters (FAEE) on diesel engine work parameters were presented in this paper. Research was conducted on engine type 2CA90 installed on dynamometric stand. Relying on undertaken research it was noted that utilization of fuel blends containing 1-5% of fatty acids ethyl esters causes changes of energetic work parameters of diesel engine.

JUŚCIŃSKI S., PIEKARSKI W.: **Logistic management of an authorized service for agricultural tractors and machines**; EiN 2/2008, s. 25-33.

The article presents the logistic management of the Service Department in a trade-service company dealing with an authorized sale of agricultural tractors and machines. The structure of the database concerning services and repairs of tractors is presented. The character of service activities in view of the agricultural practices calendar is discussed. The verification procedure of tractor breakdowns and repairs localization by the Service Department is described. Logistic tasks are presented, concerning spare parts delivery for current repairs realized by the service units. The financial service procedure for commissions authorized by the Service Department is presented.

BIENIEK J., BANASIAK J., POGODA G.: **Application of the multi-plane sieve for the harvester-thresher cereals cropping under the conditions of sloping areas**; EiN 2/2008, s. 34-39.

The paper presents the operational testing results of a multi-plane sieve prototype used on a harvester-thresher model NEW HOLLAND BIZON Z-058. The testing performed under the conditions of sloping areas showed that the sieve improved the harvester-thresher operation limiting the losses to 0,05% - 0,3% range at grain purity ranging 95,5% to 99,6% depending on the sieve adjustment.

KURANC A.: **The ecological aspect of a cold and hot starting of a spark ignition combustion engine**; EiN 2/2008, s. 40-44.

This article presents analysis of measurement results of combustion gases chosen components, obtained during initial phase of work of a spark ignition combustion engine, equipped with multi-point indirect injection system and three way catalytic converter, work. Measurements were conducted for two temperature states: for a cold start, when engine, all its components and exploitation liquids were of the same, equal to its surroundings, temperature, and for a hot start, which takes place right after proceeding it period of engine operation in conditions of thermal equilibrium. Readings were taken in one second intervals and can be presented as curves in function of time, showing character of emission changes in a given time. Analysis of emissions, with regard to its ecological aspects, embraces comparison and evaluation of the cold and hot start effect on amount of harmful substances emitted.

JUŚCIŃSKI S., SZCZEPANIK M.: **Guarantee service of agricultural tractors as an element of distribution logistics**; EiN 2/2008, s. 45-52.

The article presents concepts of logistic service for a client and defines the planes of its realizations. It explains the functions of logistics and marketing in the field of purchaser servicing. The characteristics of pre-sale (PO) and guarantee (P1-P4) service are discussed. The analysis includes service quantity distribution in 2003-2005 in the Service Department of an authorized distributor of tractors and agricultural machines, among others of the JOHN DEERE and ZETOR products. The statistical analysis has been carried out of the tested services by the determination of season index values for the studied period. The services (PO) and (P1-P4) have been analyzed in view of agricultural practices calendar.

ŠOOŠ Ľ.: **Spindle - housing system SBL 500 CNC**; EiN 2/2008, s. 53-56.

Spindle Headstock (SH) of the machine tools play a major role in the fulfilling the required working accuracy and productivity. Radial ball bearings with angular contact are still more and more applied in an arrangement. The Spindle - housing system (SHS) complex analysis is very difficult and complicate. The analysis requires deep knowledge from mathematic, mechanics, machine parts, elastohydrodynamic theory, rolling housing technique and also programming skill. Software package (SW) - Spindle Headstock - carried out at the Department of Production Engineering has been applied for designing of the precise accuracy running spindle onto the lathe SBL 500 CNC.

Na posiedzeniu Zarządu PNTTE w grudniu 2007 roku podjęto decyzję o zaproszeniu do Rady Naukowej kwartalnika „Eksploatacja i Niezawodność" prof. Slawczo Denczewa. Poniżej prezentujemy sylwetkę nowego Członka naszej Rady Naukowej.

Redakcja

Sławczo DENCZEW
Politechnika Warszawska
Szkoła Nauk Technicznych i Społecznych w Płocku
Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii
Zakład Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska

Data urodzenia: 03.09.1947 r.
Stanowisko: Profesor nadzwyczajny Politechniki Warszawskiej.
Stopnie i tytuły: mgr inż. (1980); dr (1997) nauk technicznych; dr hab. (2001) nauk technicznych; prof.nadzw. (2002) - inżynieria środowiska - wodociągi i kanalizacja.

Przynależność do organizacji zawodowych i naukowych oraz pełnione funkcje

Członek Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych (PZITS); *Wiceprzewodniczący* Głównej Sekcji Zaopatrzenia w Wodę i Kanalizacji PZITS; *Członek* Mazowieckiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa; *Członek* Panelu Ekspertów Marszałka Województwa Mazowieckiego w dziedzinie inwestycji wodno-kanalizacyjnych; *Członek* Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksploatacji (PNTTE); *Przewodniczący* Komisji Regionalnej PNTTE w Płocku; *Członek* Komisji Audytowania Eksploatacji PNTTE; *Ekspert* PNTTE w zakresie eksploatacji wodociągów i kanalizacji; *Członek* Sekcji Inżynierii Środowiska Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN; *Członek* International Water Resources Association (IWRA); *Członek* International Water Association (IWA); *Członek* Bułgarskiej Asocjacji Wód (BAW); *Rzeczoznawca Budowlany* Wojewody Warszawskiego w specjalności instalacyjno-inżynieryjnej obejmującej projektowanie i wykonawstwo instalacji sanitarnych i sieci wodociągowych i kanalizacyjnych wpisany do Centralnego Rejestru Rzeczoznawców Budowlanych GINB; *Rzeczoznawca* Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych w zakresie projektowania, wykonawstwa, eksploatacji sieci rozprowadzających, instalacji zewnętrznych i wewnętrznych wodociągowo-kanalizacyjnych; *Biegły* Wojewody Mazowieckiego w zakresie postępowań wodnoprawnych oraz ocen oddziaływania na środowisko; *Członek* Rady Naukowo – Programowej miesięcznika „ *EuroEkspert"*; *Członek* Rady Programowej Wydawnictw Komunalnych w Poznaniu; *Członek* Rady Naukowej kwartalnika „*Eksploatacja i Niezawodność"*. Były naczelny inżynier *Wodociągów Warszawskich* (lata 1992 – 2002).

Obszar badań

Modelowanie systemów eksploatacji wodociągów i kanalizacji, badanie, projektowanie, usprawnianie i wdrażanie nowoczesnych systemów eksploatacji w przedsiębiorstwach wodociągowo-kanalizacyjnych, opracowywanie koncepcji audytowania systemów eksploatacji wodociągów i kanalizacji, organizacja i zarządzanie infrastrukturą komunalną ze szczególnym uwzględnieniem systemów zaopatrzenia w wodę i odprowadzenia ścieków, budowa, modernizacja i rozwój układów wodociągowych i kanalizacyjnych oraz badania niezawodności systemów eksploatacji wodociągów i kanalizacji.

Liczba publikacji

Jest autorem (głównie opracowania samodzielne) lub współautorem ponad 110 prac, w tym 2 opracowań monograficznych oraz 3 podręczników oraz autorem i współautorem kilkunastu wdrożeń do praktyki inżynierskiej, ponad 120 zrealizowanych projektów oraz ponad 150 opinii.

Adres służbowy

Politechnika Warszawska
Szkoła Nauk Technicznych i Społecznych w Płocku
Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii
Zakład Inżynierii Sanitarnej i Ochrony Środowiska
09-400 Płock, ul. Łukaszewicza 17
e-mail: slawczo@wp.pl

NAUKA I TECHNIKA

Mariusz WAŻNY

METODA WYZNACZANIA CZASOOKRESU PRZEBYWANIA WYBRANEGO URZĄDZENIA SYSTEMU NAWIGACYJNO-CELOWNICZEGO W SYSTEMIE UŻYTKOWANIA

THE METHOD OF DETERMINING THE TIME CONCERNING THE OPERATION OF A CHOSEN NAVIGATION AND AIMING DEVICE IN THE OPERATION SYSTEM

W opracowaniu przedstawiono metodę umożliwiającą wyznaczenie czasookresu przebywania głowicy celowniczej w systemie użytkowania w oparciu o analizę wartości parametrów diagnostycznych zarejestrowanych w trakcie jej eksploatacji. Przedstawiona metoda ma charakter uniwersalny pozwalający na jej zastosowanie w szerokim gronie systemów technicznych, których stan określany jest na podstawie analizy wartości parametrów diagnostycznych.

Słowa kluczowe: *parametr diagnostyczny, czas zdatnej pracy, system nawigacyjno-celowniczy.*

The study presents the method of determining the time concerning the operation of an aiming head in the operation system. The method is based on the analysis of the values of diagnostic parameters which were registered during the operation of the aiming head. The method is of universal character. It can be used for a wide range of technical systems whose condition is described on the basis of analyzing the values of diagnostic parameters.

Keywords: *a diagnostic parameter, the time of a suitable operation, the navigation and aiming system.*

1. Wstęp

Z uwagi na charakter środowiska, w jakim następuje użytkowanie statków powietrznych, tzw. „technika lotnicza" cieszy się szczególnymi względami szerokiego grona osób począwszy od projektantów a skończywszy na członkach komisji badania wypadków lotniczych. Ich zainteresowanie i podejmowane działania w głównej mierze sprowadzają się do jednego - zapewnienia należytego poziomu bezpieczeństwa użytkowania zarówno statków powietrznych, jak i wszystkich innych elementów systemu wspomagającego prawidłowe funkcjonowanie lotnictwa. Wysoki poziom niezawodności osiągany jest poprzez konstruowanie możliwie jak najbardziej niezawodnych urządzeń oraz przyjęcie właściwej strategii eksploatacji. Powyższe aspekty sprawiają, że urządzenia stosowane w lotnictwie należą do tzw. „techniki wysublimowanej" oraz podlegają nieustannym pracom projektowo-modernizacyjnym mającym na celu zwiększenie ich niezawodności.

W trakcie eksploatacji statków powietrznych występuje szereg przyczyn, które oddziaływają negatywnie na urządzenia zainstalowane na ich pokładzie. W wyniku tego oddziaływania urządzenia te tracą nominalne parametry swojej pracy, skutkiem czego wartości ich parametrów roboczych wychodzą poza zakres przyjętych granic błędu. Zaistnienie takiej sytuacji wymusza podjęcie określonych działań obsługowych mających na celu przywrócenie nominalnych warunków pracy urządzenia. Najczęściej działania te sprowadzają się do przeprowadze-

1. Introduction

Due to the character of the environment in which airships are operated, "the aeronautical technology" enjoys favours of a wide range of people, including both designers and the members of the Air Accidents Investigation Commission. Their interest and actions are reduced to the assurance of a suitable safety level concerning the operation of both airships and all other elements of the system supporting the correct functioning of the air force. A high reliability results from the construction of infallible devices and the implementation of a correct operation strategy. The above mentioned aspects bring about the fact that the air force devices belong to so-called "highly sophisticated technology" and are constantly developed (the devices are subject to continuous design and modernization works aiming for infallibility increase).

During the exploitation of airships, there are several factors which have a negative influence on devices which are installed on board. The devices lose nominal parameters of their work. Thus, the values of their working parameters exceed the limits of error. This situation results in specific service actions whose aim is to restore nominal conditions of a device operation. Generally, the actions reduce to the adjustment of particular devices or the implementation of improvements levelling an error.

The accuracy of a device operation is especially important in the case of a combat mission with the use of an airship. Very often aerial munitions are

nia regulacji poszczególnych urządzeń lub też wprowadzenia poprawek niwelujących powstały błąd.

Dokładność funkcjonowania urządzeń ma szczególne znaczenie w przypadku realizacji zadania bojowego z użyciem wojskowego statku powietrznego. W trakcie realizacji takiego zadania niejednokrotnie następuje użycie lotniczych środków bojowych. Ich oddziaływanie na obiekt ataku ma zawsze charakter destrukcyjny, a stopień tego oddziaływania zależy m.in. od rodzaju użytych środków bojowych. Z kolei wybór środka bojowego jest wynikiem analizy sytuacji taktycznej, związanej m.in. z obiektem ataku, oddziaływaniem przeciwnika, warunkami atmosferycznymi itp. Proces użycia lotniczych środków bojowych jest wysoce sformalizowany poprzez określone procedury. Ich realizacja poprzedzona jest lotem w rejon celu i obejmuje tematycznie wykrycie celu oraz przeprowadzenie celowania zakończonego atakiem.

Wśród ww. etapów lotu, najistotniejszym z punktu widzenia poprawnie zrealizowanego zadania, jest proces celowania. Błędy występujące na tym etapie realizacji misji, można powiązać w sposób bardzo ogólny z dwoma podmiotami, obejmującymi:

- statek powietrzny - którego systemy, w oparciu informację nawigacyjno-celowniczą, wypracowują położenie siatki celowniczej na reflektorze głowicy celowniczej, oraz
- pilota - zadaniem którego jest pokrycie znacznika celowniczego z celem w momencie użycia środków bojowych.

Błędy związane z tzw. „czynnikiem ludzkim" na obecnym etapie rozważań zostaną pominięte. W niniejszym opracowaniu poruszona zostanie kwestia dokładności funkcjonowania urządzeń wchodzących w skład systemu odpowiedzialnego za wypracowanie informacji celowniczej, a dokładnie czasu po upływie którego informacja użytkowa systemu obarczona będzie błędem przekraczającym dopuszczalny poziom.

2. Schemat celowania

Rozwiązanie zadania celowania i ataku w ogólnej postaci sprowadza się do określenia takich warunków oddzielenia środka bojowego od nosiciela, aby środek bojowy podczas swego autonomicznego lotu osiągnął cel. Proces celowania podczas realizacji zadania bojowego można opisać jako proces sterowania bronią lub statkiem powietrznym, w celu zapewnienia odpowiednich wartości określonych parametrów, umożliwiających spotkanie środka bojowego z celem. W procesie tym wyróżnić można trzy podstawowe etapy, związane z:

- określeniem wymaganego kierunku broni względem celu, przy którym środek bojowy po utracie fizycznej więzi z nosicielem trafi w cel;
- wyliczeniem dozwolonych parametrów użycia środka bojowego, tzn. określenie takiej strefy wokół celu, w której zapewniona jest odpowiednia dokładność procesu ataku i jednocześnie zapewnione jest bezpieczeństwo atakującego samolotu;
- sterownie samolotem lub bronią w procesie celowania, ataku i podczas wyjścia z ataku.

Realizacja tych trzech etapów w procesie celowania podczas strzelania odbywa się na podstawie przyjętego wektorowego schematu celowania (rys. 1), przy pomocy którego wyznaczane jest wektorowe równanie celowania. Jego budowa możliwa jest gdy:

- ruch środka bojowego i celu jest znany (możliwy do określenia);

used uring such mission. Aerial munitions always have a destructive influence on an object of attack. The level of the influence depends on, among other things, the type of munitions. On the other hand, the choice of a munition is the result of analyzing a tactical situation concerning, among other things, the object of an attack, a foe's reaction, weather conditions, etc. Certain specific procedures formalize the process of using aerial munitions. The procedures follow the flight into a target region. The flight includes a target detection and the aiming which ends up with an attack.

As far as a correctly conducted mission is concerned, taking aim at a target is the most important flight stage. Generally, errors occurring at this stage of a mission relate to two subjects including:

- an aeroplane – whose systems work out the location of an aiming grid on a searchlight of an aiming head (on the basis of a navigation and aiming information), and
- a pilot – whose task is to make an aiming indicator coincide with a target at the moment of munitions usage.

At the present stage of analyzing, all errors concerning so-called "human factor" are ignored. This study raises an issue concerning the accuracy of functioning devices belonging to the system responsible for working out an aiming information, and more precisely, the time after which an operational information of the system is burdened with an error exceeding an admissible level.

2. A diagram of aiming

The solution of a task concerning the timing and an attack is reduced to the determination of specific conditions of separating a munition from an carrier. The conditions shall enable a munition (during its autonomous flight) to reach a target. The process of aiming during a combat mission can be described as a process of steering a weapon or an aeroplane. The aim of the process is to ensure particular values of particular parameters, which enables a munition to reach a target. The process includes three basic stages which are connected with:

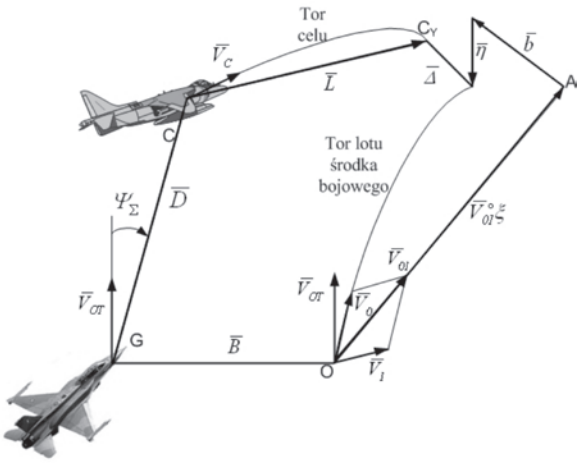
- determining a required direction of a weapon towards a target (the direction which enables a munition [after its separation from a carrier] to hit a target);
- calculating permissible parameters of a munition use, i.e. determining the zone around a target; the zone shall ensure both a suitable accuracy of an attack and an attacking airplane safety;
- steering a plane or a weapon in the process of aiming, attacking and getting out of an attack.

The realization of these three stages in the aiming process during shooting is based on an established vector diagram of aiming (figure 1). The diagram is used for determining a vector equation of aiming. The equation is possible if:

- the motion of a munition and a target is known (possible to determine);
- the motion elements of a carrier, a target and a munition are analyzed in the coordinate system whose beginning at

- elementy ruchu nosiciela, celu i środka bojowego rozpatruje się w układzie współrzędnych, którego początek w chwili oddzielenia środka bojowego jest nieruchomy względem otaczającego ośrodka.

the moment of a munition separation is motionless towards a surrounding medium.



Rys. 1. Wektorowy schemat celowania: O - punkt w którym następuje oddzielenie środka bojowego od nosiciela; G - punkt charakterystyczny układu obserwacyjnego, związany z celownikiem; C - punkt położenia celu w momencie oddzielenia środka bojowego od nosiciela; C_Y - punkt położenia celu po czasie T lotu środka bojowego - punkt wyprzedzonego położenia celu; $\bar{V}_{OT}$ - wektor określający położenie broni podczas strzelania; $\bar{\Delta}$ - wektor określający błąd celowania; Ψ_Σ - sumaryczna poprawka kątowa celowania

Fig. 1. The vector diagram of aiming: O – the point in which a munition separates from a carrier; G – a distinctive point of an observation system; the point is connected with a sight; C – the point of a target location at the moment of separating a munition from a carrier; C_Y – the point of a target location after the T time of a munition flight – the point of a foreseen location of a target; $\bar{V}_{OT}$ - the vector of a weapon location during shooting; $\bar{\Delta}$ - the vector of an aiming error; Ψ_Σ - a total and angular correction of aiming

Wyprzedzone położenie celu C_Y określa się względem punktu, w którym znajduje się pocisk, wektorem błędu $\bar{\Delta}$. Zakładając, że tak dobrano wektor $\bar{V}_{01}$ i czas *T*, że wektor błędu będzie równy zero ($\bar{\Delta} = 0$), wówczas z kierunku wektora $\bar{V}_{01}$, można wyznaczyć wymagany kierunek położenia broni podczas strzelania określony wektorem $\bar{V}_{OT}$ [3]. Wektor ten można wyznaczyć z równania (1), ułożonego na podstawie przyjętego schematu celowania, przy założeniu, że $\bar{\Delta} = 0$:

$$\bar{V}_{01}^{\circ}\xi + \bar{b} + \bar{\eta} - \bar{L} - \bar{D} - \bar{B} = 0 \qquad (1)$$

gdzie: $\bar{V}_{01}^{\circ} = \dfrac{\bar{V}_0 + \bar{V}_1}{V_{01}}$, $\bar{L} = \bar{V}_C T$ (przy założeniu $\bar{V}_C = const$ w przedziale $(0, T)$), $\bar{V}_0$ - wektory prędkości początkowej środka bojowego względem broni, $\bar{V}_1$ - wektor prędkości unoszenia równy prędkości nosiciela, $\bar{V}_{01}^{o}$ - wektor jednostkowy bezwzględnej prędkości początkowej środka bojowego, $\bar{\eta}$ - wektor obniżenia toru lotu środka bojowego, $\bar{b}$ - wektor balistycznego odchylenia środka bojowego od kierunku $\bar{V}_{01}$ powstający w wyniku stabilizacji giroskopowej środka bojowego (tzw. efekt burtowy), ξ - balistyczna odległość lotu środka bojowego, równa modułowi wektora $\bar{OA}$, $\bar{D}$ - wektor bieżącej odległości do celu, $\bar{L}$ - wektor cięciwy toru celu, $\bar{B}$ - wektor bazy - wektor odległości między punktami O i G.

Określenie kierunku wektora $\bar{V}_{01}^{o}$ w przyjętym układzie współrzędnych realizowane jest poprzez wyznaczenie jego składowych: poziomej i pionowej. Zgodnie z rysunkiem 1 kierunek wektora $\bar{V}_{01}^{o}$ określany jest poprzez sumaryczną poprawkę

The foreseen location of a target C_Y is determined towards a point of a missile location with a vector of error $\bar{\Delta}$. Assuming that the vector $\bar{V}_{01}$ and the time *T* are selected in such a manner that the vector of an error is zero ($\bar{\Delta} = 0$), then the direction of the vector $\bar{V}_{01}$ can be used for determining a required location direction of a weapon during shooting (the vector $\bar{V}_{OT}$) [3]. This vector can be determined with the use of the equation (1) which is based on the established diagram of aiming, assuming that $\bar{\Delta} = 0$:

$$\bar{V}_{01}^{\circ}\xi + \bar{b} + \bar{\eta} - \bar{L} - \bar{D} - \bar{B} = 0 \qquad (1)$$

where: $\bar{V}_{01}^{\circ} = \dfrac{\bar{V}_0 + \bar{V}_1}{V_{01}}$, $\bar{L} = \bar{V}_C T$ (assuming that $\bar{V}_C = const$ over the range $(0, T)$), $\bar{V}_0$ - the vectors of an initial velocity of a munition towards a weapon, $\bar{V}_1$ - the vector of floating velocity which is equal to a carrier velocity, $\bar{V}_{01}^{o}$ - the unitary vector of an absolute initial velocity of a munition, $\bar{\eta}$ - the lowering vector of a munition flight track, $\bar{b}$ - the vector of a ballistic deviation of a munition from the direction $\bar{V}_{01}$ (resulting from a gyroscopic stabilization of a munition – so called side effect, ξ - a ballistic distance of a munition flight (it is equal to the modulus of the vector $\bar{OA}$, $\bar{D}$ - the vector of an actual distance from a target, $\bar{L}$ - the vector of a chord of a target track, $\bar{B}$ - the base vector – the vector of a distance between two points: O and G.

In the established coordinate system, the direction of the vector $\bar{V}_{01}^{o}$ is determined by determining its components: a horizontal component and a vertical component. According to the

kę kątową Ψ_{Σ}. Zatem, wyznaczone wartości składowe: pionowa $\Delta\varepsilon$ i pozioma $\Delta\beta$ sumarycznej poprawki kątowej, określają wartości poziomą i pionową położenia kierunku wektora $\bar{V}_{01}^{o}$.

Sumaryczna poprawka kątowa wyznaczana jest w systemie nawigacyjno-celowniczym (SN-C) w postaci ruchomego znacznika celowniczego zobrazowanego na reflektorze głowicy celowniczej (rys. 2). Zadanie pilota w trakcie celowania i ataku sprowadza się m.in. do pokrycia znacznika celowniczego z celem. Wydaje się, że czynność ta nie powinna sprawiać większych trudności, jednakże oddziaływanie wielu czynników, zarówno wewnętrznych związanych z pracą SN-C, jak i zewnętrznych, związanych z oddziaływaniem otoczenia na statek powietrzny (np. podmuchy wiatru, turbulencje itp.), sprawia, że zadanie to wymaga od pilota zarówno dużej wiedzy, jak i doświadczenia z zakresu funkcjonowania statku powietrznego i jego systemów.

Negatywny wpływ czynników zewnętrznych na wartość wypracowanej informacji celowniczej „osłabiany" jest poprzez różnego rodzaju filtry oraz algorytmy obliczeniowe zaimplementowane w systemach funkcjonalnych statku powietrznego. Z kolei jakość pracy systemu nawigacyjno-celowniczego, uwarunkowana jest dokładnością funkcjonowania urządzeń wchodzących w jego skład i wzajemnie ze sobą współpracujących. Stan techniczny tych urządzeń określany jest za pomocą parametrów diagnostycznych, których wartości rejestrowane są w określonych odstępach czasu. Procedury związane z realizacją takiego sprawdzenia są złożone, a co istotniejsze – czasochłonne. Z tego też względu statek powietrzny podczas realizacji powyższych prac obsługowych zostaje wyłączony z systemu użytkowania, co w przypadku wojskowego statku powietrznego przekłada się na obniżenie potencjału bojowego jednostki wojskowej. Ponadto, niejednokrotnie okazuje się, że przeprowadzanie procedur obsługowych związanych z kontro-

figure 1, the direction of the vector $\bar{V}_{01}^{o}$ is established by a total angular correction Ψ_{Σ}. So, the component values: vertical $\Delta\varepsilon$ and horizontal $\Delta\beta$ of the total angular correction determine a horizontal and vertical values of the vector $\bar{V}_{01}^{o}$ direction.

In the navigation and aiming system, the total angular correction is determined in the form of a moving aiming indicator which is illustrated on the searchlight of an aiming head (figure 2). A pilot's task is reduced to make an aiming indicator coincide with a target during aiming and attacking. It seems that this action shall not cause difficulties. However, the task requires lots of knowledge and experience in respect of functioning an aeroplane and its systems. The task is difficult because it is affected by lots of factors including both internal factors connected with the work of the navigation and aiming system, and external factors connected with the influence of the surroundings on an aeroplane (for example, flurries of wind, turbulences, etc.).

A negative influence of external factors on the aiming information is reduced by various filters and computational algorithms which are implemented in the functional systems of an aircraft. On the other hand, the work quality of the navigation and aiming system depends on the accuracy of working and cooperating devices which belong to the system. A technical condition of these devices is determined with diagnostic parameters whose values are registered at particular intervals. The procedures of checking the technical condition are complex and time consuming. That is why, during service works the operation system of an aircraft is switched off while checking its technical condition, which in the case of a military aircraft results in reducing a combat potential of a military unit. Moreover, very often the service procedures in respect of checking the values of diagnostic parameters turns out to be futile because the diagnostic parameter values are within the limits of a per-

Rys. 2. Widok kokpitu samolotu F-16 oraz siatki celowniczej

Fig. 2. The view of the F 16 aircraft cockpit and an aiming grid

lą wartości parametrów diagnostycznych jest niecelowe, ponieważ wartości parametrów diagnostycznych mieszczą się w granicach dopuszczalnego błędu. Zatem, z uwagi na powyższe, należy zastanowić się czy możliwe jest opracowanie metody określania czasu po upływie którego należy przeprowadzić prace obsługowe mające na celu regulację określonych urządzeń wchodzących w skład SN-C.

Jednym z najistotniejszych elementów SN-C jest głowica celownicza na której wyświetlana jest informacja celownicza w postaci ruchomego znacznika celowniczego. Jego położenie na reflektorze głowicy można określić przy pomocy dwóch współrzędnych: poziomej i pionowej. W trakcie trwania procesu eksploatacyjnego realizowane są określone prace obsługowe w trakcie których rejestrowane są również wartości parametrów diagnostycznych. Parametry te określają kontrolne położenie znacznika celowniczego. Dokonując analizy zmian wartości tychże parametrów diagnostycznych można zauważyć, że przyjmują one różne wartości, zatem ich rozmieszczenie tworzy określone pole rozrzutu. Mając na uwadze losowy charakter przyjmowanych wartości do opisu ich zmian można przyjąć poniższą zależność:

missible error. So, taking the foregoing into account, one shall wonder if it is possible to develop the method of determining the time after which the service works (whose aim is to regulate particular devices belonging to the navigation and aiming system) shall be done.

One of the most important parts of the navigation and aiming system is an aiming head displaying an aiming information in the form of a moving aiming indicator. Its location can be determined with the use of two coordinates: a horizontal coordinate and a vertical one. Particular service works are done during the process of exploitation. The values of diagnostic parameters are registered during the service works. These parameters determine a control location of an aiming indicator. While analyzing the changes of the parameter values, it can be seen that the parameters have various values. Therefore, the parameter location determines a particular dispersion field. Taking a random character of the values into consideration, the changes of the values can be described with the use of a dependence presented below:

$$u(z,y,t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi a_1 t}}\frac{1}{\sqrt{2\pi a_2 t}}exp\left[-\frac{1}{2}\left[\frac{(z-b_1 t)^2}{a_1 t}+\frac{(y-b_2 t)^2}{a_2 t}\right]\right] \tag{2}$$

gdzie: z, y - zmienne losowe parametrów diagnostycznych, $b_1 t$, $b_2 t$ - wartość średnia przyrostu odchyłek parametrów diagnostycznych w przedziale czasu $(0,t)$, $a_1 t$, $a_2 t$ - wariancja przyrostu odchyłek parametrów diagnostycznych zależna od czasu.

where: z, y - random variables of diagnostic parameters, $b_1 t$, $b_2 t$ - an average value of the growth in deviation of diagnostic parameters over the range of time $(0,t)$, $a_1 t$, $a_2 t$ - the variation of the growth in deviation of diagnostic parameters (depending on time).

Wprowadzając nowe zmienne losowe:

$$\begin{aligned} z_* &= z - b_1 t, \\ y_* &= y - b_2 t, \end{aligned} \tag{3}$$

otrzymano nową postać funkcji gęstości:

$$u(z_*,y_*,t)=\frac{1}{2\pi\sqrt{a_1 t a_2 t}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z_*^2}{a_1 t}+\frac{y_*^2}{a_2 t}\right)} \tag{4}$$

Powyższa funkcja $u(z_*,y_*,t)$ przyjmuje stałą wartość, gdy:

$$\frac{z_*^2}{a_1 t}+\frac{y_*^2}{a_2 t}=\kappa^2 \tag{5}$$

Równanie (5) opisuje elipsę rozrzutu. Pole tej elipsy oznaczone zostało przez S_κ. Zatem, prawdopodobieństwo tego, że $(z_*,y_*)\in S_\kappa$ można określić rozwiązując równanie:

$$P\left((z_*,y_*)\in S_\kappa\right)=\iint_{S_\kappa}\frac{1}{2\pi\sqrt{a_1 t}\sqrt{a_2 t}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z_*^2}{a_1 t}+\frac{y_*^2}{a_2 t}\right)}dz_* dy_* \tag{6}$$

Przeprowadzając zamianę zmiennych z_* na $\mu=\frac{z_*}{\sqrt{a_1 t}}$ i y_* na $\nu=\frac{y_*}{\sqrt{a_2 t}}$ i podstawiając nowe zmienne do wzoru (5) otrzymano zależność:

$$\mu^2+\nu^2=\kappa^2=r^2 \tag{7}$$

Introducing new random variables:

$$\begin{aligned} z_* &= z - b_1 t, \\ y_* &= y - b_2 t, \end{aligned} \tag{3}$$

a new form of a density function was obtained:

$$u(z_*,y_*,t)=\frac{1}{2\pi\sqrt{a_1 t a_2 t}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z_*^2}{a_1 t}+\frac{y_*^2}{a_2 t}\right)} \tag{4}$$

The above function $u(z_*,y_*,t)$ is constant if:

$$\frac{z_*^2}{a_1 t}+\frac{y_*^2}{a_2 t}=\kappa^2 \tag{5}$$

The equation (5) describes the ellipse of dispersion. S_κ - the field of the ellipse. So, the probability that $(z_*,y_*)\in S_\kappa$ can be determined by solving the following equation:

$$P\left((z_*,y_*)\in S_\kappa\right)=\iint_{S_\kappa}\frac{1}{2\pi\sqrt{a_1 t}\sqrt{a_2 t}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z_*^2}{a_1 t}+\frac{y_*^2}{a_2 t}\right)}dz_* dy_* \tag{6}$$

Changing variables z_* into $\mu=\frac{z_*}{\sqrt{a_1 t}}$ and y_* into $\nu=\frac{y_*}{\sqrt{a_2 t}}$ and inserting new variables into the formula (5) the following dependence was obtained:

$$\mu^2+\nu^2=\kappa^2=r^2 \tag{7}$$

Równanie (7) jest równaniem okręgu. Dla odróżnienia pole okręgu oznaczono przez C_κ. W wyniku zamiany zmiennych nastąpiło przekształcenie elipsy (5) w okrąg (7). Stąd zależność (6) zapisano w postaci

$$P\left((z_*, y_*) \in S_\kappa\right) = \frac{1}{2\pi} \iint_{C_\kappa} e^{-\frac{I}{2}\left(\mu^2+\nu^2\right)} d\mu d\nu \qquad (8)$$

We wzorze (8) całkowanie wykonywane jest po okręgu C_κ, zatem dla obliczenia tej całki wprowadzono współrzędne biegunowe:

$$\mu = \rho \cos\varphi, \quad \nu = \rho \sin\varphi \qquad (9)$$

dla których to współrzędnych jakobian będzie miał postać:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial \mu}{\partial \rho} & \frac{\partial \mu}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial \nu}{\partial \rho} & \frac{\partial \nu}{\partial \varphi} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\varphi & -\rho \sin\varphi \\ \sin\varphi & \rho \cos\varphi \end{vmatrix} = \rho \qquad (10)$$

Uwzględniając powyższe, zależność (8) można zapisać następująco:

$$P\left((z_*, y_*) \in S_\kappa\right) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\kappa} e^{-\frac{1}{2}\rho} \rho d\rho \qquad (11)$$

Wykorzystując zamianę zmiennych obliczono całkę:

$$\int_0^{\kappa} e^{-\frac{1}{2}\rho^2} \rho d\rho = \left\{ \begin{matrix} z = \rho^2 & \rho = \kappa \Rightarrow z = \kappa^2 \\ \frac{dz}{d\rho} = 2\rho \Rightarrow \rho d\rho = \frac{1}{2} dz & \rho = 0 \Rightarrow z = 0 \end{matrix} \right\} = \int_0^{\kappa^2} e^{-\frac{1}{2}z} \frac{1}{2} dz = \frac{1}{2} \int_0^{\kappa^2} e^{-\frac{1}{2}z} dz = \frac{1}{2}(-2) e^{-\frac{1}{2}x} \Big|_0^{\kappa^2} = -\left(e^{-\frac{\kappa^2}{2}} - e^0 \right) = 1 - e^{-\frac{\kappa^2}{2}} \qquad (12)$$

natomiast:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi = \frac{1}{2\pi}(2\pi - 0) = 1 \qquad (13)$$

Stąd:

$$P\left((z_*, y_*) \in S_\kappa\right) = 1 - e^{-\frac{\kappa^2}{2}} \qquad (14)$$

Zależność (14) określa prawdopodobieństwo tego, że odchyłki położenia punktu centralnego z_* i y_* będą zawarte w elipsie S_κ o półosiach $\kappa\sqrt{a_1 t}$ i $\kappa\sqrt{a_2 t}$. Przyjmując, że:

$$\sqrt{a_1 t} = \sqrt{a_2 t} = \sqrt{at} \qquad (15)$$

wówczas elipsa rozrzutu (15) przekształca się w okrąg:

$$\left(\frac{z_*}{\sqrt{at}}\right)^2 + \left(\frac{y_*}{\sqrt{at}}\right)^2 = \kappa^2, \qquad z_*^2 + y_*^2 = \left(\kappa\sqrt{at}\right)^2 = r^2 \qquad (16)$$

którego promień wynosi:

$$r = \kappa\sqrt{at}, \quad \kappa = \frac{r}{\sqrt{at}} \qquad (17)$$

Dokonując podstawienia powyższej zależności do równania (14) otrzymano:

$$P\left((z_*, y_*) \in C_\kappa\right) = 1 - e^{-\frac{r^2}{2at}} \qquad (18)$$

gdzie: $\sqrt{at}$ - jest odchyleniem standardowym.

The equation (7) is the equation of a circle. C_κ - means the field of the circle. The change of variables resulted in the transformation of the ellipse (5) into the circle (7). Thus, the dependence (6) was written in the form

$$P\left((z_*, y_*) \in S_\kappa\right) = \frac{1}{2\pi} \iint_{C_\kappa} e^{-\frac{I}{2}\left(\mu^2+\nu^2\right)} d\mu d\nu \qquad (8)$$

In the formula (8) there is the integration of the circle C_κ. To calculate the integral, polar coordinates were introduced:

$$\mu = \rho \cos\varphi, \quad \nu = \rho \sin\varphi \qquad (9)$$

Jacobi elliptic function for these coordinates will be as following:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial \mu}{\partial \rho} & \frac{\partial \mu}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial \nu}{\partial \rho} & \frac{\partial \nu}{\partial \varphi} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\varphi & -\rho \sin\varphi \\ \sin\varphi & \rho \cos\varphi \end{vmatrix} = \rho \qquad (10)$$

Taking the foregoing into account, the dependence (8) can be written down as follows:

$$P\left((z_*, y_*) \in S_\kappa\right) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\kappa} e^{-\frac{1}{2}\rho} \rho d\rho \qquad (11)$$

Using the change of variables, the integral was calculated:

$$\int_0^{\kappa} e^{-\frac{1}{2}\rho^2} \rho d\rho = \left\{ \begin{matrix} z = \rho^2 & \rho = \kappa \Rightarrow z = \kappa^2 \\ \frac{dz}{d\rho} = 2\rho \Rightarrow \rho d\rho = \frac{1}{2} dz & \rho = 0 \Rightarrow z = 0 \end{matrix} \right\} = \int_0^{\kappa^2} e^{-\frac{1}{2}z} \frac{1}{2} dz = \frac{1}{2} \int_0^{\kappa^2} e^{-\frac{1}{2}z} dz = \frac{1}{2}(-2) e^{-\frac{1}{2}x} \Big|_0^{\kappa^2} = -\left(e^{-\frac{\kappa^2}{2}} - e^0 \right) = 1 - e^{-\frac{\kappa^2}{2}} \qquad (12)$$

whereas:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi = \frac{1}{2\pi}(2\pi - 0) = 1 \qquad (13)$$

Thus:

$$P\left((z_*, y_*) \in S_\kappa\right) = 1 - e^{-\frac{\kappa^2}{2}} \qquad (14)$$

The dependence (14) determines the probability that the deviations of central point location z_* and y_* will be included in the ellipse S_κ with semi axes $\kappa\sqrt{a_1 t}$ and $\kappa\sqrt{a_2 t}$. Providing that:

$$\sqrt{a_1 t} = \sqrt{a_2 t} = \sqrt{at} \qquad (15)$$

then the ellipse of dispersion (15) changes into the circle:

$$\left(\frac{z_*}{\sqrt{at}}\right)^2 + \left(\frac{y_*}{\sqrt{at}}\right)^2 = \kappa^2, \qquad z_*^2 + y_*^2 = \left(\kappa\sqrt{at}\right)^2 = r^2 \qquad (16)$$

whose radius is:

$$r = \kappa\sqrt{at}, \quad \kappa = \frac{r}{\sqrt{at}} \qquad (17)$$

Inserting the above dependence into the equation (14) the following result was obtained:

$$P\left((z_*, y_*) \in C_\kappa\right) = 1 - e^{-\frac{r^2}{2at}} \qquad (18)$$

where: $\sqrt{at}$ - a standard deviation.

Wykorzystując powyższą zależność można wyznaczyć przedział czasu, po którym należy dokonać kontrolnego sprawdzenia parametrów urządzenia. Zapisując funkcję (18) jako:

$$P^*\left(\left(z_*, y_*\right)\in C_к\right) = 1 - e^{-\frac{\phi^2}{2at}} \tag{19}$$

gdzie: ϕ - dopuszczalna wartość promienia okręgu, którego przekroczenie przez zmienna losową powoduje utratę parametrów nominalnych pracy urządzenia, $P^*\left(\left(z_*, y_*\right)\in C_к\right)$ - założone prawdopodobieństwo z jakim chcemy aby parametr użytkowy nie przekroczył wartości ϕ, oraz dokonując poniższych przekształceń wyznaczono zależności na wartość czasu po którym nastąpi przekroczenie przez urządzenie dopuszczalnych wartości błędu granicznego. Logarytmując równanie:

$$P^* = 1 - e^{-\frac{\phi^2}{2at}} \tag{20}$$

otrzymano zależności (21) i (22):

$$ln\, P^* = ln 1 - \left(-\frac{\phi^2}{2at}\right) ln\, e \tag{21}$$

$$ln\, P^* = \frac{\phi^2}{2at} \tag{22}$$

W zależności (22) wyrazem niewiadomym jest parametr *t*, doprowadzając zatem do zlokalizowania go po jednej ze stron równania otrzymano:

$$2at\, ln\, P^* = \phi^2 \tag{23}$$

$$t^* = \frac{\phi^2}{2a\, ln\, P^*} \tag{24}$$

Podstawiając za zmienną *P** określoną wartość można określić parametr *t** charakteryzujący czas, po którym należy wykonać sprawdzenie parametrów użytkowych urządzenia aby uniknąć sytuacji przekroczenia przez błąd aparaturowy wartości dopuszczalnej. A zatem, czas użytkowania urządzenia będzie uwarunkowany parametrem *t**:

$$T = t^* \tag{25}$$

W sytuacji gdy występuje przesunięcie położenia znacznika celowniczego, wzór (20) przyjmuje postać

$$P^* = 1 - e^{-\frac{(\phi - bt)^2}{2at}} \tag{26}$$

Przekształcając równanie (26) tak, aby można było wyznaczyć parametr *t:*

$$ln\, P^* = ln 1 - \left(-\frac{(\phi - bt)^2}{2at}\right) ln\, e \tag{27}$$

$$ln\, P^* = \frac{(\phi - bt)^2}{2at} \tag{28}$$

$$2at\, ln\, P^* = (\phi - bt)^2 \tag{29}$$

$$2at\, ln\, P^* = \phi^2 - 2\phi bt + b^2t^2 \tag{30}$$

$$2at\, ln\, P^* - \phi^2 + 2\phi bt - b^2t^2 = 0 \tag{31}$$

Using the above dependence, the period of time (after which a control check of a device parameters shall be done) can be determined. Writing down the function (18) as:

$$P^*\left(\left(z_*, y_*\right)\in C_к\right) = 1 - e^{-\frac{\phi^2}{2at}} \tag{19}$$

where: ϕ - a permissible value of the circle radius; if a random variable exceeds it, nominal parameters are lost, $P^*\left(\left(z_*, y_*\right)\in C_к\right)$ - an assumed probability in the case of which an operational parameter shall not exceed the value ϕ, and performing the below transformations, dependences concerning the time were determined (the time after which a device will exceed permissible values of the error limit). The logarithm of the equation:

$$P^* = 1 - e^{-\frac{\phi^2}{2at}} \tag{20}$$

provides the dependences (21) and (22):

$$ln\, P^* = ln 1 - \left(-\frac{\phi^2}{2at}\right) ln\, e \tag{21}$$

$$ln\, P^* = \frac{\phi^2}{2at} \tag{22}$$

In the dependence (22) *t* parameter is the unknown. Localizing the parameter on one side of the equation, the result was as follows:

$$2at\, ln\, P^* = \phi^2 \tag{23}$$

$$t^* = \frac{\phi^2}{2a\, ln\, P^*} \tag{24}$$

Substituting *P** with a particular value, it is possible to determine *t** denoting time after which the operational parameters of a device shall be checked. So, the time of a device exploitation will depend on *t**.

$$T = t^* \tag{25}$$

If there is a location shift of an aiming indicator, the formula (20) has the following form

$$P^* = 1 - e^{-\frac{(\phi - bt)^2}{2at}} \tag{26}$$

Transforming the equation (26) in such a manner as to determine the parameter *t:*

$$ln\, P^* = ln 1 - \left(-\frac{(\phi - bt)^2}{2at}\right) ln\, e \tag{27}$$

$$ln\, P^* = \frac{(\phi - bt)^2}{2at} \tag{28}$$

$$2at\, ln\, P^* = (\phi - bt)^2 \tag{29}$$

$$2at\, ln\, P^* = \phi^2 - 2\phi bt + b^2t^2 \tag{30}$$

$$2at\, ln\, P^* - \phi^2 + 2\phi bt - b^2t^2 = 0 \tag{31}$$

otrzymano równanie kwadratowe:

$$b^2t^2 - \left(2a\ln P^* + 2\phi b\right)t + \phi^2 = 0 \qquad (32)$$

którego rozwiązaniem jest wartość parametru t^* warunkująca czas wykonania prac obsługowych.

3. Wnioski

Przedstawiona metoda może w istotny sposób przyczynić się do usprawnienia procesu eksploatacyjnego nie tylko analizowanej w opracowaniu głowicy celowniczej, ale również innych urządzeń, których stan techniczny określany jest w oparciu o analizę wartości parametrów diagnostycznych. W przypadku analizowanego urządzenia zastosowanie przedstawionej metody może skutkować wydłużeniem czasu przebywania głowicy celowniczej w systemie użytkowania. Następstwem tej sytuacji jest lepsze wykorzystanie urządzenia i nie dopuszczenie do obniżenia potencjału bojowego jednostki wojskowej.

Znajomość czasu, po którym nastąpi przekroczenie dopuszczalnej wartości błędu może stanowić jeden z elementów umożliwiających przejście na eksploatację wg stanu technicznego zakładając, że diagnozowany parametr umożliwia określenie stan techniczny urządzenia. Powyższe zagadnienie będzie analizowane w kolejnych publikacjach.

the following quadratic equation was obtained:

$$b^2t^2 - \left(2a\ln P^* + 2\phi b\right)t + \phi^2 = 0 \qquad (32)$$

whose result is the parameter t* value conditioning the time of performing service works.

3. Conclusions

The method presented above can contribute to the improvement of exploitation process concerning both an aiming head which was analyzed in the study and other devices whose technical condition is determined on the basis of analyzing diagnostic parameters values. In the case of the device analyzed above, the implementation of the method can result in prolonging the time concerning the use of an aiming head. Consequently, the device can be used in a better way and the reduction of a military unit combat potential can be avoided.

The knowledge about the time after which there will be the exceedance of a permissible error value can be one of the elements enabling a transition to an exploitation according to a technical condition, assuming that a diagnostic parameter (which is being diagnosed) enables to determine a technical condition of a device. The above mentioned issue will be analyzed in the following publications.

4. References

[1] Abezgauz G.: *Rachunek probabilistyczny*. Poradnik. Wydawnictwo Ministra Obrony Narodowej, Warszawa 1973.
[2] Fisz M.: *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1958.
[3] Kaczmarski W.: *Uzbrojenie lotnicze cz II. Celowniki lotnicze*. Podręcznik. Dowództwo Wojsk Lotniczych, Poznań 1990.
[4] Samolot Su-22M4. Książka 7. Uzbrojenie cz VII. Technologia obsług okresowych. Dowództwo Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej, Poznań 1986.
[5] Skomra A., Tomaszek H., Wróblewski M.: *Charakterystyki taktyczno-techniczne i skuteczność lotniczych środków bojowych*. Skrypt WAT, Warszawa 1999.
[6] Ważny M.: *Badanie eksploatacyjnych przyczyn rozrzutu wybranych środków bojowych i ich wpływu na skuteczność systemów uzbrojenia lotniczego*. WAT, Warszawa 2003.

Dr inż. Mariusz WAŻNY
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Mechatroniki
ul. Kaliskiego 2
00-908 Warszawa 49
tel. (0-22) 6837619
faks (0-22) 6857581

Stanisław STRZELECKI
Leszek KUŚMIERZ
Grzegorz PONIEWAŻ

DEFORMACJE TERMICZNE WAHLIWYCH PŁYTEK W 5-SEGMENTOWYM ŚLIZGOWYM ŁOŻYSKU POPRZECZNYM

THERMAL DEFORMATION OF PADS IN TILTING 5-PAD JOURNAL BEARING

Ślizgowe łożyska poprzeczne z segmentami wahliwymi stosowane są w wysokoobrotowych sprężarkach oraz turbinach. Łożyska poprzeczne z płytkami wahliwymi stanowią poprawne rozwiązanie, ponieważ zapewniają bardzo dobrą stateczność hydrodynamiczną w zakresie dużych prędkości oraz są mniej wrażliwe na zmiany kierunku obciążenia oraz niewspółosiowość wału. W artykule przedstawiono deformacje segmentów wahliwego 5-segmentowego ślizgowego łożyska poprzecznego z podparciem symetrycznym wywołane polem ciśnienia oraz rozkładem temperatury w warunkach adiabatycznego filmu olejowego. Deformacje segmentów wyznaczone zostały na podstawie rozkładu ciśnienia oraz temperatury w filmie olejowym. Równania Reynoldsa, bilansu energii, geometrii szczeliny olejowej oraz lepkości oleju zostały rozwiązane metodą numeryczną przy założeniu współosiowości wału oraz panewki łożyska w stanie równowagi położenia wału.

Słowa kluczowe: *ślizgowe łożyska poprzeczne z segmentami wahliwymi, obliczenia symulacyjne, MES.*

In high speed compressors and turbine drive trains, the tilting 5-pad journal bearings are applied. Tilting-pad journal bearings are good option because they have very good hydrodynamic stability at high speed and are less sensitive to load direction and shaft misalignment. The paper introduces thermo-elastic deformations of tilting 5-pad journal bearing with symmetric support of pads and operating at the conditions of adiabatic oil film. The deformations of pads were obtained based on the oil film pressure and temperature distributions. Reynolds, energy, geometry and viscosity equations have been solved numerically on the assumption of aligned orientation of bearing and journal axis and at static equilibrium position of journal.

Keywords*: tilting-pad journal bearings, numerical simulation, FEM.*

1. Introduction

Performances of turbomachines and compressors tilting-pad journal bearings are affected by thermal and elastic deformation of pads[1,2,5,6]. These deformation affect the static and dynamic characteristics and the stability of the rotor. For the failure-free operation of bearing, more information regarding thermo-elastic deformation should be available at the early design stage of the bearing. Thermo-elastic effects are important in the evaluation of oil film thickness, maximum oil film pressure and temperature i.e. bearing characteristics deciding about reliable operation of single bearing and the bearing system.

Design variations of tilting-pad journal bearings [3] allow operation in modern, high speed, high output power turbounits or turbine gear trains. High thermal loads that are caused by operating conditions change the geometry of oil film and they generate the thermo-elastic deformations of pads. The pad deformation affects the bearing temperature and reduces the damping of bearing.

The paper describes the procedure of the calculations of thermo-elastic deformation of the tilting 5-pad journal bearing. The ground of deformation calculation are the oil film pressure and temperature distributions that were obtained from the numerical solution of Reynolds, energy and viscosity equations. Incompressible laminar and adiabatic flow of oil in the bearing gap of finite length bearing was assumed. Aligned orientation of bush and journal axis without deflections of pads and journal was considered too. Calculation have been performed at the condition of static equilibrium position of the journal.

2. Nomenclature

D	bush diameter (m),
e	journal eccentricity (m),
h	oil film thickness (μm),
$\bar{H}$	dimensionless oil film thickness,
K_T	heat number, $K_T = \omega \cdot \eta_o / c \cdot \rho \cdot T_o \psi^2$,
L	bearing length,
$\bar{p}$	dimensionless oil film pressure, $\bar{p} = p \cdot \psi^2 / \eta \cdot \omega$,
Pe	Peclet's number,
r	journal radius (m),
R_b	bush radius (m),
s	number of pads,
So	Sommerfeld number,
T	temperature of oil film (ºC),
T_o	temperature of supplied oil (ºC),
$\bar{T}$	dimensionless oil film temperature, $\bar{T} = T/T_o$,
t	time,
$\bar{z}$	dimensionless axial co-ordinate,
τ_o	angle of the lobe centre line (º),
τ_l	angular orientation of centre point of pad (º),
η	dynamic viscosity of oil, (Ns/m^2),
η_o	dynamic viscosity at ambient temperature (Ns/m^2),
$\bar{\eta}$	dimensionless viscosity of oil, $\bar{\eta} = \eta/\eta_o$,
φ	circumferential co-ordinate (º),

ε relative eccentricity, $\varepsilon = e/(R_B - r)$,
ψ bearing clearance (‰),
ψ_s pad relative clearance,
ω angular velocity (1/s),
ϕ dimensionless time, $\phi = \omega t$.

3. Pad thermal deformation

Geometry of considered tilting 5-pad journal bearings with the load on the pad (LOP) and the load between pads (LBP), is shown in Fig. 1. The geometry of lubricating gap determines equation 1:

$$\bar{H}(\varphi) = \psi_s + \frac{\psi_s - 1}{\cos(\tau_1 - \tau_o)} \cdot \cos(\varphi - \tau_1) \; - \varepsilon \cdot \cos(\varphi - \alpha) \quad (1)$$

Pressure, temperature and viscosity distributions of the oil film were determined on the basis of Reynolds, energy and viscosity equations [5]. The generated oil film pressure field is described by the following non dimensional form of Reynolds equation:

$$\frac{\partial}{\partial\varphi}\left(\frac{\bar{H}^3}{\bar{\eta}}\frac{\partial \bar{p}}{\partial\varphi}\right) + \left(\frac{D}{L}\right)^2 \frac{\partial}{\partial \bar{z}}\left(\frac{\bar{H}^3}{\bar{\eta}}\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}}\right) = 6\frac{\partial H}{\partial\varphi} + 12\frac{\partial H}{\partial\phi} \quad (2)$$

The oil film pressure distribution computed from equation (2) to obtain the oil film temperature and viscosity fields [2,3,6]:

$$\frac{\bar{H}}{Pe}\left[\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial\varphi^2} + \left(\frac{D}{L}\right)^2 \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \bar{z}^2}\right] + \left[\frac{\bar{H}^3}{12\bar{\eta}}\frac{\partial \bar{p}}{\partial\varphi} - \frac{\bar{H}}{2}\right]\frac{\partial \bar{T}}{\partial\varphi} + \\ + \left(\frac{D}{L}\right)^2 \frac{\bar{H}^3}{12\bar{\eta}}\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}}\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{z}} = -\frac{\bar{H}^3}{12\bar{\eta}}\left[\left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial\varphi}\right)^2 + \left(\frac{D}{L}\right)^2\left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}}\right)^2\right] - \frac{\bar{\eta}}{\bar{H}} \quad (3)$$

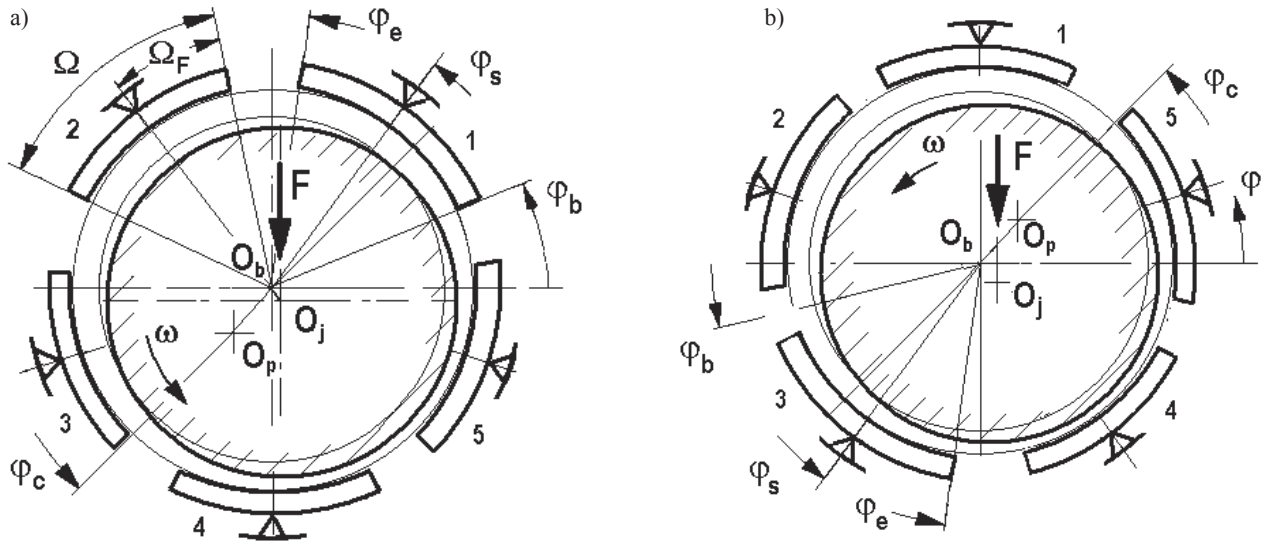
The viscosity was described by exponential equation [3,4,5]. Oil film temperature and viscosity distributions have been found by iterative solution of equations (1), (6) and (8) [3]. Temperature values $T(\varphi, z)$ on the boundaries ($z = \pm L/2$) have been determined by means of the parabolic approximation [3,6]. The boundary conditions for pressure and temperature take into account the inlet pressure and temperature.

Examples of the results of oil film temperature calculations are given in Fig.2 and Fig.3. Turbine oil of viscosity η_o = 0,0487 Ns/m^2 at 40ºC was used in this calculations. The pressure boundary condition assumes the positive values only and the ambient pressure on the sides of the pad. Calculation of the temperature on the sides of the pad was determined by means of parabolic approximation [2].

Elastic deformation of the tilting-pads of bearing loaded uniformly by oil film pressure and temperature can be obtained by analytical or by finite element method (FEM) [6]. The system I-DEAS NX Series [7] was applied in this work. The load of pad sliding surface in the form of oil film pressure and temperature distribution in the bearing gap was modeled based on the results obtained from the numerical calculation [2,5]. The model of pad takes into consideration full length of pad. It was assumed that: the temperature of bearing metal surface is equal to the temperature of oil film, outer surface of pad contacts the air, temperature state of the pad structure is steady (state thermal analysis), the mixed boundary condition of heat exchange according to Newton's law (mixed boundary condition of Hankels) for the temperature calculation on the outer surface of pad. Examples of deformation calculation LBP variant are shown in Fig.4 (by pressure only) and Fig.5 (by temperature only).

In case of bearing with the length to diameter ratio L/D=0,4 and oil supplied temperature 50ºC the results of displacements calculations can be observed in Fig.6 and Fig.7. There are larger total displacement of pad No.4 but this pad is the most loaded mechanically and thermally pad of the bearing. The radial displacements are larger for the pad No.4, too.

The oil film temperature distribution on the pad can be observed in Fig.8 and Fig.9, too. These temperatures were assumed for the displacements calculations. The maximum displacements in the middle plain of pads are shown in Fig.9 and Fig.10.



Rys. 1. Schemat 5-segmentowego ślizgowego łożyska poprzecznego a)obciążenie na segmencie (LOP), b)obciążenie pomiędzy segmentami (LBP)

Fig. 1. Layout of tilting 5-pad journal bearing: a) load on the pad (LOP), b) load between pads (LBP)

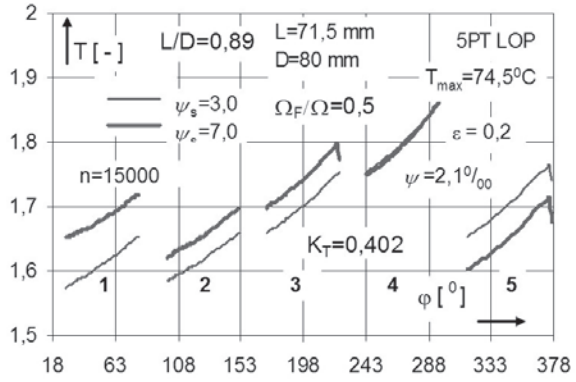


Fig. 2. Oil film temperature distribution of 5-pad bearing LOP (dimensionless)

Rys. 2. Rozkład temperatury w szczelinie olejowej 5-segmentowego łożyska LOP

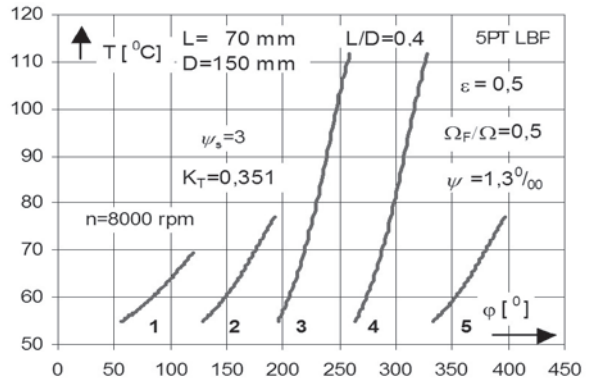


Fig. 3. Oil film temperature distribution of 5-pad bearing LBP

Rys. 3. Rozkład temperatury w szczelinie olejowej 5-segmentowego łożyska LBP

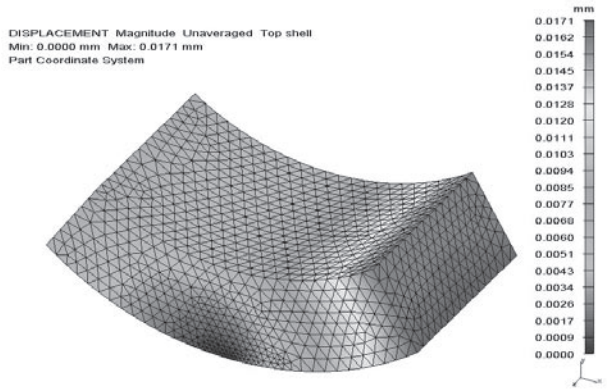


Fig. 4. Deformation of pad No.4 caused by pressure

Rys. 4. Deformacje segmentu Nr4 wywołane ciśnieniem

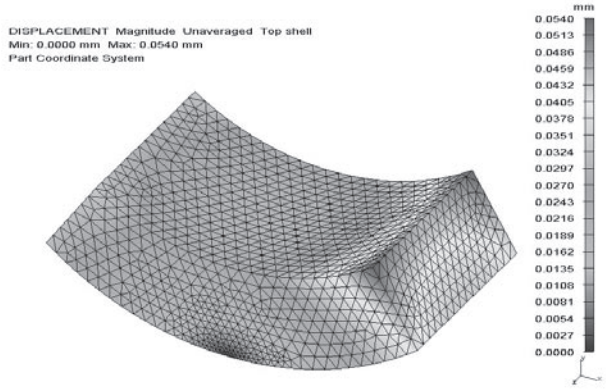
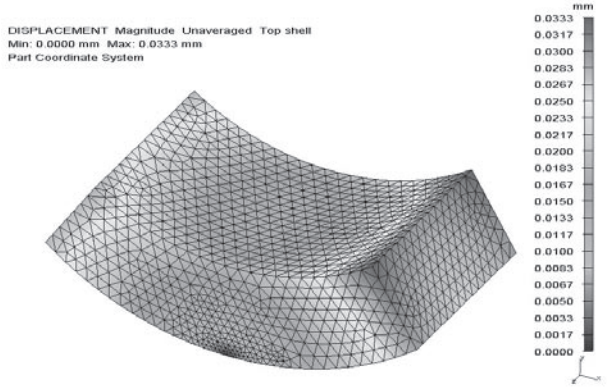


Fig. 5. Deformation of pad No.4 caused by temperature

Rys. 5. Deformacje segmentu Nr4 wywołane polem temperatury



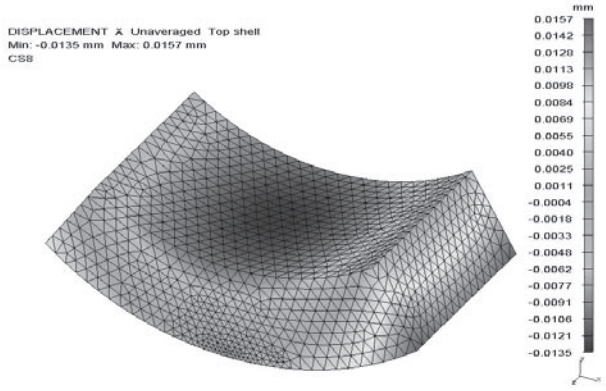


Fig. 6. Maximum displacements (0,0333 mm) and radial one (0,0157 mm) of the 1st pad (least loaded one) generated by the oil film pressure and temperature

Rys. 6. Przemieszczenia (0,0333 mm) oraz przemieszczenia promieniowe (0,0157 mm) segmentu Nr1 (najmniej obciążonego) wywołane przez film olejowy i temperaturę

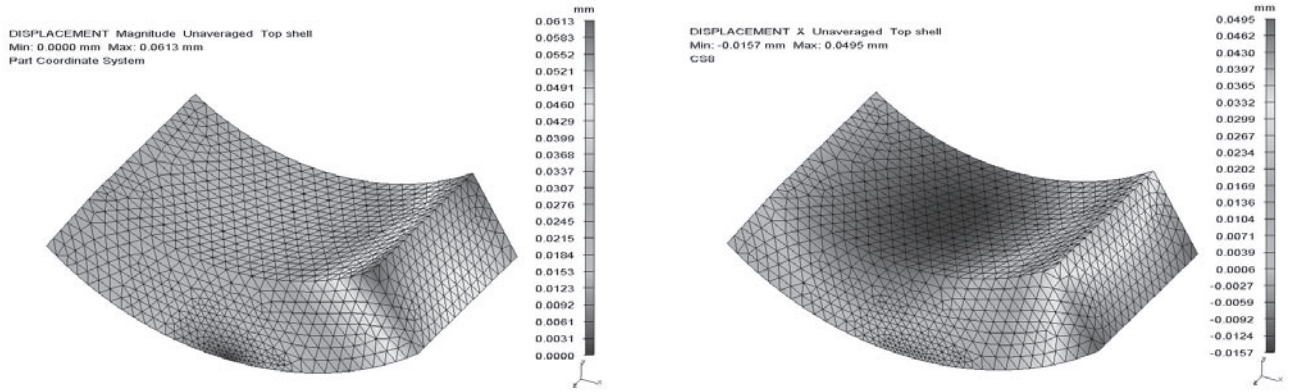


Fig. 7. Maximum displacements (0,0613 mm) and radial one (0,0495 mm) of the 4th pad (most loaded one) generated by by the oil film pressure and temperature

Rys. 7. Przemieszczenia (0,0613 mm) oraz przemieszczenia promieniowe (0,0495 mm) segmentu Nr4 (najbardziej obciążonego) wywołane przez film olejowy i temperaturę

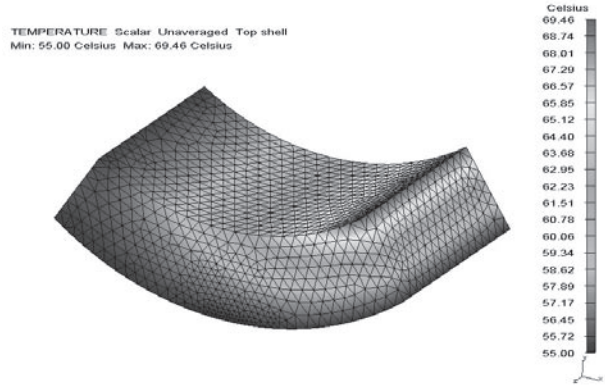


Fig.8. Oil film temperature on the 1st pad (T_{max}=69,49ºC)

Rys. 8. Rozkład temperatury w segmencie Nr1 (T_{max}=69,49ºC)

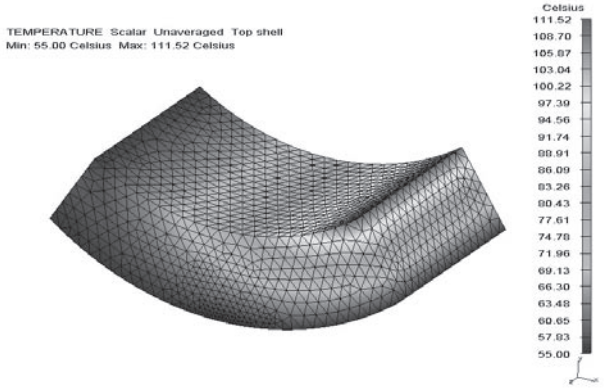


Fig.9. Oil film temperature on the 3rd pad (T_{max}= 111,51ºC)

Rys. 9. Rozkład temperatury w segmencie Nr3 (T_{max}=111,51ºC)

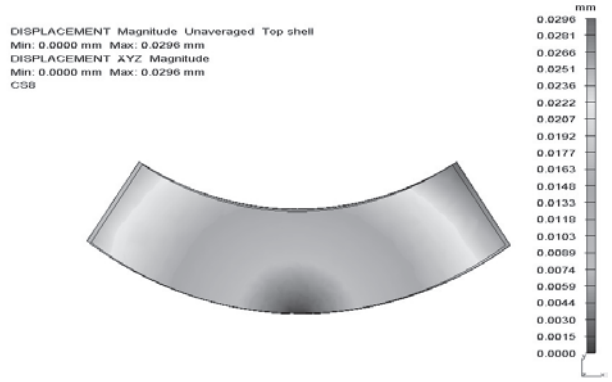


Fig. 10. Maximum displacement (0,0296 mm) in the middle cross-section of 1st pad

Rys. 10. Przemieszczenia (0,0296 mm) w płaszczyźnie środkowej segmentu Nr1

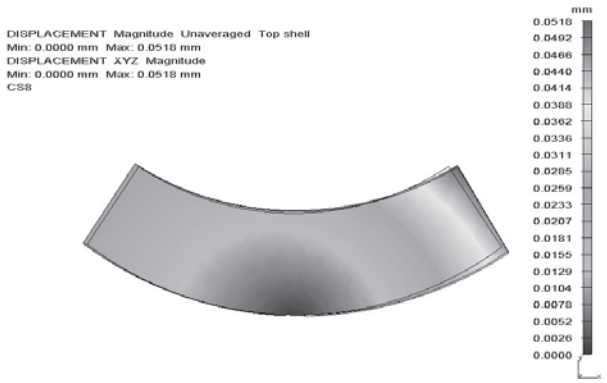


Fig. 11. Maximum displacement (0,0518 mm) in the middle cross-section of 4th pad

Rys. 11. Przemieszczenia (0,0518 mm) w płaszczyźnie środkowej segmentu Nr 4

4. Conclusions

Program developed for calculation of tilting-pad bearing static characteristics at the conditions of static equilibrium position of journal gives correct input data for determination of the thermo-elastic deformation of pad.

The procedure of calculation consisting in application of own developed thermo-hydrodynamic lubrication program and finite-element one have been proved successfully.

Developed procedure of static characteristics and elastic deformation calculation can be used for determination of deformation of any realistic bearing form.

5. References

[1] Ettles C.M.: *The Analysis of Pivoted Journal Bearing Assemblies Considering Thermoplastic Deformation and Heat Transfer Effects*. Tribology Trans. Vol. 35, pp. 156-162, 1992.
[2] Gläser H., Kubiak T., Mlotkowski A., Strzelecki S.: *Stresses in the Liner of the Crankshaft Main Bearing*. Journal of Internal Combustion Engines, 2,1, pp. 142-147, 1995.
[3] Klummp R.: *Ein Beitrag zur Theorie von Kippsegmentlagern*. Universität Karlsruhe, 1975.
[4] Strzelecki S.: *Effect of pivot location on the maximum oil film temperature of tilting 5-pad journal bearing.* IX International Symposium INTERTRIBO 2006. October 11-13, Vysoké Tatry Stará Lesná, 2006.
[5] Strzelecki S., Kubiak T., Someya T.: *Static characteristics of cylindrical journal bearing under effect of thermoelastic deflections of bearing structure.* Synopsis of the International Tribology Conference, Nagasaki, 2000.
[6] Strzelecki S., Kusmierz L.: *Deflections of Pads in the Tilted-Pad Journal Bearing*. Synopses of 2nd World Tribology Congress, 6-7th September 2001. Vienna, 2001.
[7] System I-DEAS NX Series, Siemens PLM Software (UGS Corp.).

Dr inż. Stanisław STRZELECKI

Instytut Pojazdów, Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka
ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź
e-mail: strzelec@pkm1.p.lodz.pl

Dr inż. Leszek KUŚMIERZ
Dr inż. Grzegorz PONIEWAŻ

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
tel. (081) 5384206
e-mail: l.kusmierz@pollub.pl
e-mail: g.poniewaz@pollub.pl

Grzegorz ZAJĄC
Adam WĘGRZYN

ANALIZA ZMIAN PARAMETRÓW PRACY SILNIKA O ZS ZASILANEGO MIESZANINĄ OLEJU NAPĘDOWEGO I ESTRÓW ETYLOWYCH OLEJU RZEPAKOWEGO

ANALYSIS OF WORK PARAMETERS CHANGES OF DIESEL ENGINE POWERED WITH DIESEL FUEL AND FAEE BLENDS

W pracy przedstawiono analizę wpływu mieszanin paliwowych zawierających estry etylowe oleju rzepakowego (FAEE) na parametry pracy silnika o ZS. Badania przeprowadzono na silniku typu 2CA90 zainstalowanym na stanowisku dynamometrycznym. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowanie do zasilania mieszanek paliwowych zawierających 1-5% estrów etylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego powoduje zmianę parametrów energetycznych pracy silnika wysokoprężnego.

***Słowa kluczowe**: paliwa silnikowe, biopaliwa, olej rzepakowy, estry etylowe.*

Analysis of influence of fuel blends containing rape oil esters (FAEE) on diesel engine work parameters were presented in this paper. Research was conducted on engine type 2CA90 installed on dynamometric stand. Relying on undertaken research it was noted that utilization of fuel blends containing 1-5% of fatty acids ethyl esters causes changes of energetic work parameters of diesel engine.

***Keywords**: engine fuel, biofuel, rape oil, ethyl esters.*

1. Wprowadzenie

Konieczność spełnienia coraz ostrzejszych wymagań dotyczących ekologii zmusza z jednej strony do doskonalenia rozwiązań konstrukcyjnych silników spalinowych, a z drugiej do poszukiwań takich paliw, które ograniczają emisję szkodliwych substancji. Jednym ze sposobów jest wykorzystanie do zasilania silników biopaliw w postaci czystej, bądz jako biokomponentów paliw konwencjonalnych. Pozwala to zmniejszyć zagrożenie dla środowiska przyrodniczego, tak w ujęciu globalnym jak i w miejscu eksploatacji pojazdu. Zastosowanie biopaliw oprócz korzyści ekologicznych daje wymierne efekty gospodarcze w postaci szerszego rynku zbytu dla produktów rolniczych [5].

Powszechnie jako biokomponent olejów napędowych wykorzystuje się estry wyższych kwasów tłuszczowych olejów roślinnych otrzymywane z oleju rzepakowego, sojowego czy też palmowego w procesie transestyfikacji. Proces transestryfikacji (przestryfikowania) polega na zastąpieniu grupy glicerynowej grupą alkoholową, Alkohole, które mogą zostać użyte w procesie transestryfikacji to: metanol, etanol, propanol, butanol i alkohol amylowy. Spośród wymienionych alkoholi najczęściej wykorzystywany jest alkohol metylowy, a rzadziej etylowy. Za stosowaniem alkoholu metylowego przemawia jego niski koszt i korzystne właściwości fizyczne oraz chemiczne [4]. Wprowadzenie do przemysłowej produkcji estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (FAME), wymagało ujednolicenia jakości tego paliwa. W związku z tym opracowano dla nich normę europejską EN 14214:2004 [2].

Alternatywę dla estrów metylowych mogą stanowić estry etylowe (FAEE) wytwarzane w oparciu o alkohol etylowy. Jego wykorzystanie jest jednak do tej pory ograniczone, co wynika głównie z ceny etanolu, jak również z konieczności jego głębokiego odwodnienia ($\leq$ 0,2% H_2O) wymaganego w procesie transestryfikacji [3].

1. Introduction

Necessity of fulfilling more and more strict regulations concerning ecology forces improvement of internal combustion engines construction on one hand, and on the other search for fuels which limit emission of harmful substances. Combustion of biofuel in engines both in its pure form or as bio-components added to conventional fuels is one of the methods of obtaining this goal. It enables decrease of threat to environment, both globally and on site where machinery is operated. Utilization of biofuel creates not only significant ecological benefits but also economical effect – market for agricultural products [5].

The most commonly used bio-components in diesel fuel (DF) are higher fatty acids esters obtained form rape, soy or palm oil in process of transesterification, which is the process of exchanging the glycerine group of an ester compound by another alcohol group. Alcohols which can be used in this process are: methanol, ethanol, prophanol, buthanol and amyl alcohol. Among all these, methanol is the most commonly used one, while ethanol is used less frequently. Reasons for methanol utilization are its favourable physical and chemical properties and low cost [4]. Introduction of rape oil fatty acid methyl esters (FAME) into industrial production required standardization of this fuel, therefore, European norm EN 14214:2004 was elaborated [2].

Fatty acid ethyl esters (FAEE) can be considered an alternative for FAME, however, their utilization is limited by the price of, used during their production, ethyl alcohol and by necessity of, required during transesterification, its deep dehydration ($\leq$ 0,2% H_2O) [3].

Ethyl esters fulfil all requirements set for FAME as fuel for diesel engines. Moreover, they have slightly grater than FAME heat value, which results from presence of one more carbon atom in their particle. Products of incomplete combustion of FAEE do not contain formaldehydes formed during FAME in-

Estry etylowe w pełni spełniają wszystkie wymagania jakie stawiane są estrom metylowym jako paliwom do silników o ZS. Ponadto posiadają nieco wyższą od estrów metylowych wartość opałową ze względu na obecność w jego cząsteczce jednego więcej atomu węgla. Produkty niepełnego spalania estrów etylowych nie zawierają formaldehydu tworzących się podczas procesów spalania estrów metylowych. Ponadto estry etylowe charakteryzują się niższą od estrów metylowych temperaturą krzepnięcia, co ma wpływ na właściwości niskotemperaturowe paliwa.

Paliwa estrowe różnią się od oleju mineralnego właściwościami fizykochemicznymi, dlatego w przypadku ich mieszania będą zmieniały się parametry tych paliw. Zmiana właściwości fizykochemicznych paliwa wiąże się również ze zmianą parametrów pracy silnika [1]. Prezentowane w różnych publikacjach wyniki stosowania estrów metylowych oleju rzepakowego w postaci czystej lub w mieszaninie z olejem napędowym do zasilania silników o ZS są na ogół zbliżone. Badania przeprowadzone na silnikach różniących się systemami spalania, mocą prędkością i obrotową wykazały, że dodatek biokomponentu do oleju napędowego wywiera wpływ na moc efektywną silnika, powodując redukcję wskaźników pracy w całym zakresie prędkości o ok. 5-15% i znaczący wzrost zużycia paliwa ok. 15% [3,6,7]. Brak natomiast danych dotyczących skutków stosowania mieszanin o udziale biokomponentu poniżej 5%.

Celem prezentowanych badań jest ocena wpływu zastosowania mieszanin paliwowych zawierających 1-5% objętościowo estrów etylowych oleju rzepakowego (FAEE) na parametry pracy silnika zasilanego takim paliwem.

2. Metodyka badań

Obiektem badań eksperymentalnych były mieszaniny mineralnego oleju napędowego z estrami etylowymi kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego. Estry mieszano z olejem napędowym ustalając odpowiednie udziały objętościowe w mieszaninie paliw, dzięki czemu otrzymano paliwa o następującym składzie i oznaczeniu:

D1 – mieszanina 1% FAEE, 99% ON;
D2 – mieszanina 2% FAEE, 98% ON;
D3 – mieszanina 3% FAEE, 97% ON;
D4 – mieszanina 4% FAEE, 96% ON;
D5 – mieszanina 5% FAEE, 95% ON.

Mieszaniny, po analizie fizykochemicznej potwierdzającej zgodność z normą PN EN 590, zostały wykorzystane na stanowisku dynamometrycznym do zasilania silnika 2CA90 celem wyznaczenia jego parametrów energetycznych.

Do przygotowania mieszanin wybrano olej napędowy handlowy Ekodiesel Ultra F oraz ester etylowy kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (FAEE) pochodzący z instalacji doświadczalnej.

Olej napędowy Ekodiesel Ultra F jest paliwo o niskiej zawartości siarki, charakteryzujące się wysokim wskaźnikiem jakości spalania i wysoką liczbą cetanową. Paliwo to należy do gatunku F paliw zimowych. Paliwo to odpowiada wymaganiom ZN/ITN-ORLEN/NF-229/2004 oraz wymaganiom normy PN-EN 590 („Paliwa do pojazdów samochodowych. Oleje napędowe. Wymagania i metody badań."). Ze względu na brak normy dotyczącej wymagań jakościowych estrów etylowych, określono tylko najważniejsze parametry i odniesiono je do normy PN-EN 590. Wymagania oraz wyniki badań próbek oleju napędowego i estrów zostały przedstawione w tabeli 1.

cineration. Moreover, ethyl esters characterise with lower then methyl esters solidification temperature, what affects fuel's low temperature properties.

Ester fuels has different than mineral oil physicochemical properties, therefore, mixing these two changes parameters of fuel, which results in changes of engine work conditions [1]. Presented in various publications results of utilization of FAME or their mixtures with diesel fuel and combusted in diesel engines are usually similar. Research conducted on engines using various combustion systems, characterizing with various power and working with various RPM showed that addition of biocomponent into diesel fuel influences engine's effective power, causing reduction of work parameters in whole range of speeds from 5 to 15% and significant, about 15%, increase of fuel consumption [3,6,7]. However, there is no data concerning results of utilization of fuel mixtures containing less than 5% of biocomponent.

Assessment of influence of fuel blends, containing from 1 to 5% of rape oil methyl esters (FAEE), on work parameters of engine powered with such fuel is goal of presented research.

2. Material and methods

Object on which research was conducted were blends of mineral diesel fuel and rape oil fatty acids ethyl esters (FAEE). Ethyl esters were mixed with diesel fuel, proportions were set by volume of each, and following blends were obtained:

D1 –1% FAEE, 99% ON;
D2 –2% FAEE, 98% ON;
D3 –3% FAEE, 97% ON;
D4 –4% FAEE, 96% ON;
D5 –5% FAEE, 95% ON.

Blends, after undergoing physicochemical analysis confirming conformity with PN EN 590:2006 norm, were used on dynamometric stand as fuel for 2CA90 engine in order to determine its energetic parameters.

Blends were prepared on basis of, available in trade, diesel fuel Ekodiesel Ultra F and rape oil fatty acids ethyl esters (FAEE) obtained from experimental installation.

Ekodiesel Ultra F is diesel fuel which contains little sulphur and characterizers with high indicator of combustion quality and high cetane number, and is classified to group F winter fuel. It fulfills requirements stated in ZN/ITN-ORLEN/NF-229/2004 and PN-EN 590 norms ("Fuels for vehicles. Diesel fuels. Requirements and research methods"). Due to lack of standards concerning ethyl esters quality, only their most important parameters were determined and referred to PN-EN 590 norm. Requirements and results of diesel fuel samples analyses were presented in table 1.

Badania parametrów energetycznych zrealizowano na stanowisku badawczym w laboratorium Katedry Energetyki i Pojazdów AR w Lublinie. Stanowisko badawcze składało się z następujących urządzeń:

- silnika spalinowego o ZS typu 2CA90;
- hamulca elektrowirowego AMX 210;
- układu kontrolno-pomiarowego AMX 201, AMX 211;
- zestawu pomiarowego zużycia paliwa;
- układu pomiarowego stanu silnika: temperatury spalin - t_{sp}, temperatury oleju silnikowego - t_{ol}, ciśnienia oleju - p_{ol};
- układu pomiarowego stanu otoczenia: temperatury otoczenia - t_{ot}, ciśnienia atmosferycznego – p_a i wilgotności powietrza - φ.

Schemat stanowiska badawczego zawierającego poszczególne urządzenia, przedstawiono na rys. 1.

Badania parametrów energetycznych polegały na wykonaniu zgodnie z PN dla każdego z badanych paliw pomiarów, które pozwalały na opracowanie danych niezbędnych do wykreślenia charakterystyk zewnętrznych w zakresie od prędkości obrotowej minimalnej silnika do prędkości nominalnej. W badaniach pomiarami objęto parametry kinematyczne i dynamiczne silnika: moment obrotowy – M_o, prędkość obrotowa – n, czas zużycia dawki pomiarowej paliwa – τ. Dawka pomiarowa paliwa przy sporządzaniu charakterystyki wynosiła 50 g. Metodykę pomiarów i sposób redukcji parametrów mocy i momentu obrotowego dostosowano do norm: PN-78/S-02005, PN-88/S-02005, BN-79/1374-03 i BN-74/1340-12.

Analiza statystyczna wyników badań obejmowała ocenę zmienności parametrów energetycznych, analizę istotności różnic pomiędzy wartościami tych parametrów oraz wyznaczenie,

The marking of energetic parameters was performed in the test bench of the research laboratory in the Department of Power Engineering and Vehicles of the Agricultural University of Lublin. The test bench included following apparatuses:

- diesel engine 2CA90;
- electro whirl brake AMX 210;
- control and measurement system AMX 201, AMX 211;
- fuel consumption measurement system;
- engine's measurement system: fume's temperature t_{sp}, oil's temperature and oil's pressure p_{ol};
- surroundings measurement system: surroundings temperature t_{ol}, atmospheric pressure and air humidity φ.

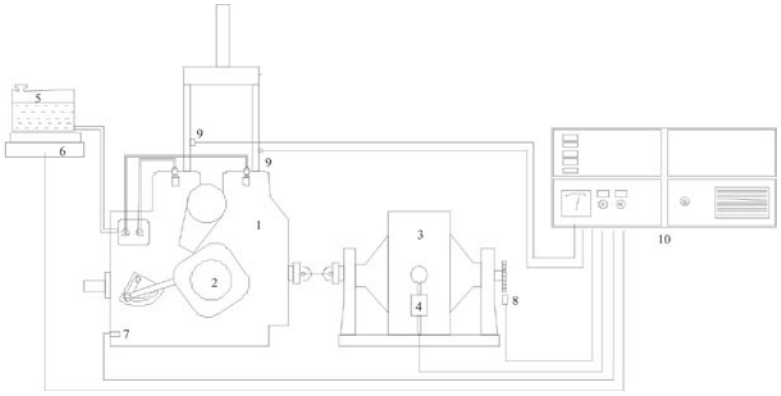
Fig. 1. presents a diagram of the test bench containing the particular apparatuses.

Investigation of energetic parameters was based on set of measurements conducted for each of investigated fuels with regard to PN norm, which enabled elaboration of data essential for determining external characteristics with engine's rotation speed ranging from minimal to nominal. In this research following kinematic and dynamic parameters of engine: torque – M_o, rotation speed – n, time in which set amount of fuel was used – τ. Amount of fuel used in determination of this parameter was 50 g. Methodology of measurements and methods of torque and power reductions were conformed to following norms: PN-78/S-02005, PN-88/S-02005, BN-79/1374-03 and BN-74/1340-12.

Statistical analysis of research results embraced assessment of variation of energetic parameters, significance analysis of differences between value of these parameters and determination, based on curvilinear regression method, of function dependencies. Analysis of biocomponent addition influence on

Tab. 1. Właściwości oleju napędowego Ekodiesel ultra F i estrów etylowych w odniesieniu do normy PN EN 590:2006
Tab. 1. Properties of Ekodiesel Ultra F diesel fuel and ethyl esters and their reference to PN EN 590:2006 norm

Parametr Property	*Jednostka miary Unit*	*Wymagania wg normy Requirements by norm PN-EN 590:2002*	*Wartość oznaczona dla ON Marked value to DF*	*Wartość oznaczona dla FAEE Marked value to FAEE*
Liczba cetanowa / Cetane number	–	*min. 51,0*	*53,1*	-
Indeks cetanowy / Cetane index	–	*min. 46,0*	*54,0*	*n.d.*
Gęstość w temp. 15 °C / Density at 15 °C	$kg \cdot m^{-3}$	*820-845*	*835*	*873*
Lepkość w temp. 40 °C / Viscosity at 40 °C	$mm^2 \cdot s^{-1}$	*2,0-4,5*	*2,8*	*4,16*
Skład frakcyjny: do 250 °C destyluje / Distillation recovered at 250 °C do 350 °C destyluje / Distillation recovered at 350 °C 95% obj. destyluje do temperatury / 95%(V/V) recovered at	 *% obj. % obj. °C*	 *max 65 min. 85 max 360*	 *33 95 350*	*n.b.*
Temperatura zapłonu / Flash point	°C	*min. 55*	*61*	*60*
Zawartość siarki / Sulphur content	$mg \cdot kg^{-1}$	*max 350*	*9,6*	*n.d.*
Zawartość WW A / Polycyclic aromatic hydrocarbons	*% masy*	*max 11*	*2,1*	*n.d.*
Smarność (średnica śladu zużycia) / Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1,4) at 60 °C	*µm*	*max 460*	*351*	*n.d.*
Odporność na utlenianie / Oxidation Stability	$g \cdot m^{-3}$	*max 25*	*6,0*	*n.d.*
Pozostałość po spopieleniu / Ash content	*% masy*	*max 0,01*	*0,001*	-
Badanie działania korodującego na płytce miedzi, w 50 °C, 3 h / Copper strip corrosion (3 hours at 50 °C)	*stopień korozji*	*Nr I*	*1*	-
Pozostałość po koksowaniu (z 10% pozostałości po destylacji) / Carbon residue (on 10% distillaiton residue)	*% masy*	*max 0,30*	*0,01*	*n.d.*
Zawartość wody / Water content	$mg \cdot kg^{-1}$	*max 200*	*65*	*80*
Zawartość zanieczyszczeń / Total contamination	$mg \cdot kg^{-1}$	*max 24*	*11*	*8*



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – silnik 2CA90, 2 – serwomechanizm położenia organu sterowania silnikiem, 3 – hamulec elektrowirowy AMX 210, 4 – tensometr, 5 – zbiornik paliwa, 6 – waga do pomiaru zużycia paliwa, 7 – czujnik temperatury oleju silnikowego, 8 – czujnik prędkości obrotowej, 9 – czujnik temperatury spalin, 10 – pulpit kontrolno-pomiarowy

Fig. 1. Test bench diagram: 1 – 2CA90 engine, 2 – engine control, 3 – AMX 210 electro whirl brake, 4 – tensometer, 5 – fuel tank, 6 – scales for measuring fuel consumption, 7 – oil temperature sensor, 8 – engine speed sensor, 9 – exhaust emission temperature sensor, 10 – control measurement panel

w oparciu o metodę analizy regresji krzywoliniowej, zależności funkcyjnych. Analizę wpływu dodatku biokomponentu na parametry energetyczne przeprowadzono metodą jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA), a ocenę istotności różnic między badanymi paliwami a olejem napędowym, dokonano przy użyciu najmniejszych różnic Tukey'a (NIR) na poziomie istotności $\alpha = 0{,}05$.

3. Wyniki badań i dyskusja

Wpływ dodatku biokomponentu na parametry energetyczne oceniano na podstawie wykonanych charakterystyk zewnętrznych przy zasilaniu silnika przygotowanymi do badań mieszaninami. Zmiany odnoszono do charakterystyk wykonanych dla silnika zasilanego ON. Dla celów porównawczych wykonano pomiary dla silnika zasilanego czystymi estrami, jednak wyniki te nie są prezentowane na charakterystykach, a wykorzystano je tylko do oceny względnej zmiany parametrów energetycznych.

Wpływ dodatku estrów etylowych do oleju napędowego na moment obrotowy, moc, jednostkowe i godzinowe zużycie paliwa został przedstawiony na rysunku 2.

Analizując przebiegi krzywych momentu obrotowego przedstawionych na rys. 2a można stwierdzić, że wprowadzenie biokomponentu do oleju napędowego powoduje zmniejszenie jego wartości przy zachowaniu zbliżonego charakteru przebiegu. Największe straty wartości momentu widać dla paliwa o największym udziale biokomponentu.

Wzrost zawartości biokomponentu w mieszaninie powoduje spadek mocy silnika, co widać na charakterystykach przedstawionych na rys. 2b. Straty mocy rosną wraz ze wzrostem prędkości obrotowej. Najmniejsze straty są widoczne przy małych prędkościach, zaś największe przy prędkościach maksymalnych.

Krzywe godzinowego zużycia paliwa dla mieszanek paliwowych mają podobny przebieg jak dla oleju napędowego (rys. 2c). Zauważono tylko przesunięcie krzywych w kierunku większych wartości. Zmiany są najbardziej widoczne od 2% dodatku biokomponentu. Dla paliwa D1 w zakresie prędkości obrotowej 1500-2700 obr · min^{-1} krzywa pokrywa się z krzywą oleju napędowego, natomiast powyżej tej prędkości zaobser-

energetic parameters was conducted by means of univariate variance analysis (ANOVA), and estimation of differences significance between investigated fuels and diesel fuel by means of Tukey's least significant difference (LSD) with significance level $\alpha = 0.05$.

3. Results and discussion

Effects of biocomponent addition on energetic parameters were assessed relying on external characteristics determined during operation of engine powered with investigated fuel blends. They were referred to characteristics elaborated during operation of engine powered with pure esters, however, these results are not presented in characteristics, but used only in relative evaluation of energetic parameters change.

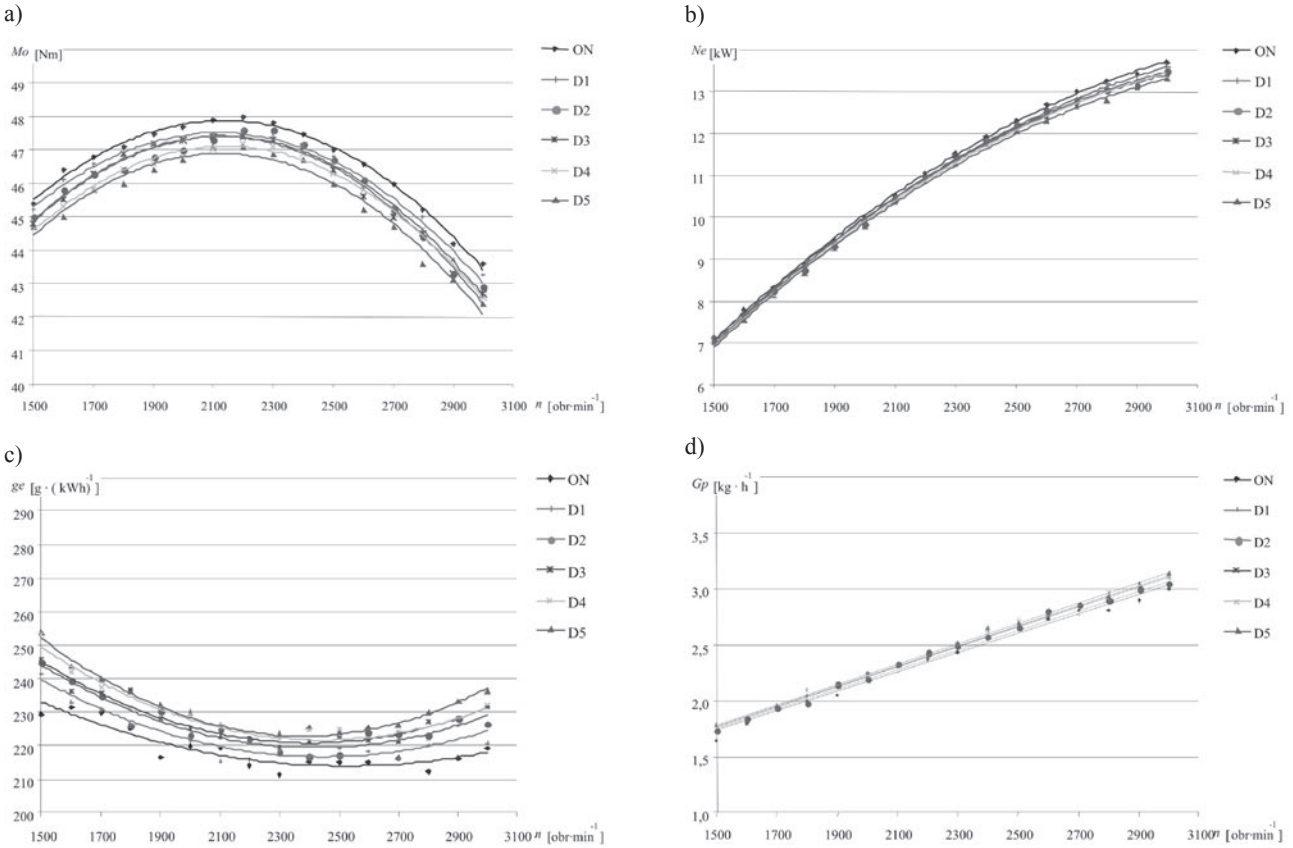
Influence of ethyl esters addition into diesel fuel on torque, power, fuel consumption, both unitary and in an hourly, were presented in figure 2.

It can be stated, after analysis of torque curves presented on fig. 2a, that introduction of biocomponent into diesel fuel causes decrease of torque value, while shape of its curves remains similar. Greatest losses of torque are observed when sample with highest content of biocomponent is investigated.

Increase of biocomponent content in a blend causes decrease of engine power. Presented on fig. 2b curves of power show its decrease positively related to increase of rotation speed. Lowest losses were observed with engine operating with low rotation speeds, and the greatest when engine operated with its maximum speed.

Curves of hourly fuel consumption for fuel blends got similar shape as one for diesel fuel (Fig. 2c). However, their shift towards greater values was noted. This shift is especially noticeable for blends containing 2 or more % of biocomponent. For D1 fuel and rotation speeds from 1500 to 2700 RPM the fuel consumption curve is similar to the one for diesel fuel, while, after the rotation speed exceeded these values differences of about 1% occur.

Presented on figure 2d curves of unitary fuel consumption suggest that introduction of biocomponent into diesel fuel caus-



Rys. 2. Charakterystyka zewnętrzna silnika 2CA90 zasilanego olejem napędowym i mieszaninami estru etylowego i oleju napędowego: a) momentu obrotowego, b) mocy, c) jednostkowego zużycia paliwa, d) godzinowego zużycia paliwa

Fig. 2. External characteristics of 2CA90 engine powered with diesel fuel and blends of ethyl ester and diesel fuel: a) torque, b) power, c) unitary fuel consumption, d) hourly fuel consumption

wowano różnice ok. 1%.

Z przedstawionych na rys. 2d charakterystyk jednostkowego zużycia paliwa wynika, że wprowadzenie biokomponentu do oleju napędowego powoduje zmianę ich przebiegu. Jednostkowe zużycie paliwa dla estrów wzrasta gwałtowniej, niż w przypadku oleju napędowego, szczególnie powyżej 2300 obr · min^{-1}. I tak dla oleju napędowego od ok. 2300 do 3000 obr · min^{-1} wzrost jednostkowego zużycia paliwa jest niewielki i wynosi 8 g · kWh^{-1}, natomiast dla mieszanek paliwowych dla tego samego zakresu prędkości obrotowej wzrost tego zużycia jest większy i dla mieszanki D5 wynosi 13 g · kWh^{-1}.

Analiza statystyczna wyników wpływu dodatku biokomponentu na moment obrotowy silnika wykazała, że zmiany momentu obrotowego przebiegają z rożną dynamiką w stosunku do ON, tzn. znalezione krzywe regresji nie były równoległe (stosując odpowiedni test odrzucono hipotezy o ich równoległości). Stwierdzono, że zmiany mocy i zmiany zużycia paliwa dla wszystkich badanych paliw, różnią się istotnie od ON na poziomie istotności 0,05. Zmiany godzinowego zużycie paliwa nie różnią się istotnie od ON dla paliwa D1, zaś dla paliw D2, D3, D4, D5 różną się istotnie od ON na poziomie istotności 0,05. Modele regresji dla momentu obrotowego, mocy jednostkowego i godzinowego zużycia dla poszczególnych paliw, opisane zostały równaniami zamieszczonymi w tabeli 2, w tabeli tej uwzględniono również współczynniki determinacji R^2.

es change of their shape. Fuel consumption in case of esters increases more rapidly than in case of diesel fuel, especially when RPM exceed 2300. Increase of fuel consumption for diesel fuel, when RPM increases from 2300 to 3000, is small and reaches 8 g · kWh^{-1}, while for fuel blends and the same RPM range is greater and for D5 blend reaches 13 g · kWh^{-1}.

Statistical analysis of results of biocomponent addition effect on engine's torque showed that dynamics of torque changes, when compared to diesel fuel, characterized with variety, i.e. obtained regression curves were not parallel (utilization of proper test led to discarding hypothesis that they are parallel). It was noted that changes of power and fuel consumption for all investigated fuels significantly differed from diesel fuel with significance level 0.05. Hourly fuel consumption changes were not significantly different when diesel fuel and D1 blend were taken into consideration, while in case of D2, D3, D4 and D5 blends differences were significant – with significance level 0.05. Regression models for torque, power and fuel consumption, both hourly and unitary, were described with equations presented in table 2, in which determination coefficients R^2 were also included.

Maximal torque delivered by engine running on blends was decreasing with increase of biocomponent share, reaching following values: D1 – 47.6 Nm, D2 – 47.6 Nm, D3 – 47.4 Nm, D4 – 47.2 Nm, D5 – 47.1 Nm. These values were observed for same RPM as for diesel fuel.

Tab. 2. Równania regresji dla zmiennych obliczone na podstawie wyników badań
Tab. 2. Regression equations for variables calculated relying on research results

Zmienna zależna Dependent variable y	*Paliwo Fuel*	*Równanie regresji Regression equations*	*Współczynnik determinacji Coefficient of determination R^2*
Mo [Nm]	*ON*	$y = -0{,}000006 \cdot n^2 + 0{,}0253 \cdot n + 20{,}848$	*0,9931*
	D1	$y = -0{,}000006 \cdot n^2 + 0{,}0246 \cdot n + 21{,}439$	*0,9833*
	D2	$y = -0{,}000006 \cdot n^2 + 0{,}0272 \cdot n + 18{,}450$	*0,9728*
	D3	$y = -0{,}000007 \cdot n^2 + 0{,}0277 \cdot n + 18{,}062$	*0,9879*
	D4	$y = -0{,}000006 \cdot n^2 + 0{,}0264 \cdot n + 18{,}886$	*0,9901*
	D5	$y = -0{,}000006 \cdot n^2 + 0{,}0267 \cdot n + 18{,}594$	*0,9754*
Ne [kW]	*ON*	$y = 5 \cdot 10^{-10} \cdot n^3 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0{,}003638 \cdot n - 1{,}036471$	*0,964398*
	D1	$y = 5 \cdot 10^{-10} \cdot n^3 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0{,}003638 \cdot n - 1{,}296151$	*0,954915*
	D2	$y = 5 \cdot 10^{-10} \cdot n^3 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0{,}003638 \cdot n - 1{,}227761$	*0,999118*
	D3	$y = 5 \cdot 10^{-10} \cdot n^3 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0{,}003638 \cdot n - 1{,}190391$	*0,976491*
	D4	$y = 5 \cdot 10^{-10} \cdot n^3 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0{,}003638 \cdot n - 1{,}173441$	*0,998382*
	D5	$y = 5 \cdot 10^{-10} \cdot n^3 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot n^2 + 0{,}003638 \cdot n - 1{,}124681$	*0,998014*
ge [g · kWh^{-1}]	*ON*	$y = 7 \cdot 10^{-9} \cdot n^3 + 8{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 0{,}257178 \cdot n + 465{,}911$	*0,728238*
	D1	$y = 7 \cdot 10^{-9} \cdot n^3 + 8{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 0{,}257178 \cdot n + 469{,}854$	*0,826484*
	D2	$y = 7 \cdot 10^{-9} \cdot n^3 + 8{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 0{,}257178 \cdot n + 473{,}163$	*0,917897*
	D3	$y = 7 \cdot 10^{-9} \cdot n^3 + 8{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 0{,}257178 \cdot n + 474{,}579$	*0,919912*
	D4	$y = 7 \cdot 10^{-9} \cdot n^3 + 8{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 0{,}257178 \cdot n + 476{,}226$	*0,862449*
	D5	$y = 7 \cdot 10^{-9} \cdot n^3 + 8{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 0{,}257178 \cdot n + 478{,}273$	*0,644621*
Gp [kg · h^{-1}]	*ON*	$y = 0{,}0009 \cdot n + 0{,}360898$	*0,967544*
	D1	$y = 0{,}0009 \cdot n + 0{,}383957$	*0,999614*
	D2	$y = 0{,}0009 \cdot n + 0{,}420931$	*0,984426*
	D3	$y = 0{,}0009 \cdot n + 0{,}408693$	*0,992986*
	D4	$y = 0{,}0009 \cdot n + 0{,}427295$	*0,995485*
	D5	$y = 0{,}0009 \cdot n + 0{,}435303$	*0,953390*

Maksymalny moment osiągany przez silnik przy zasilaniu mieszaninami, zmniejszał się wraz ze wzrostem udziału biokomponentu, osiągając wartości odpowiednio dla D1 – 47,6 Nm, D2 – 47,6 Nm, D3 – 47,4 Nm, D4 – 47,2 Nm, D5 – 47,1 Nm. Wartości te były uzyskiwane przy takiej samej prędkości obrotowej, jak i w przypadku oleju napędowego. Względne zmiany maksymalnego momentu zaprezentowane zostały na rys. 3a. Pokazuje on, że spadek momentu dla paliw D1 i D2 jest niewielki i wynosi 0,8%. Niewiele więcej (1%) wyniósł dla D3, a nieco większe zmiany zaobserwowano dla mieszanek D4 i D5, które wyniosły odpowiednio 1,7% i 1,9%. Przy zasilaniu silnika czystymi estrami etylowymi spadek ten wyniósł ok. 5%.

Moc maksymalna dla poszczególnych rodzajów paliw wynosiła odpowiednio: D1 – 13,6 kW, D2 – 13,5 kW, D3 – 13,4 kW, D4 – 13,4 kW, D5 – 13,3 kW. Względne zmiany mocy przedstawione zostały na rys. 3b. Wynika z niego, że największa zmiana wyniosła 3,2% dla oleju napędowego zawierającego 5% biokomponentu, natomiast najmniejsza była dla mieszanki D1 – 1,2%. W przypadku zasilania silnika czystym estrem spadek ten wyniósł ok. 7,1%. Wzrost ilości biokomponentu powoduje również wzrost minimalnego jednostkowego zużycia dla paliwa, wynosząc odpowiednio: D1 – 215,4 g · kWh^{-1}, D2 – 216,8 g · kWh^{-1}, D3 – 219,4 g · kWh^{-1}, D4 – 220,7 g · kWh^{-1}, D5 – 221,2 g · kWh^{-1}. Względne zmiany jednostkowego zużycia paliwa wynosiły od 1,9% dla mieszaniny D1 do 4,7% dla D5 (rys. 3c), natomiast dla czystych estrów wyniósł on 17%.

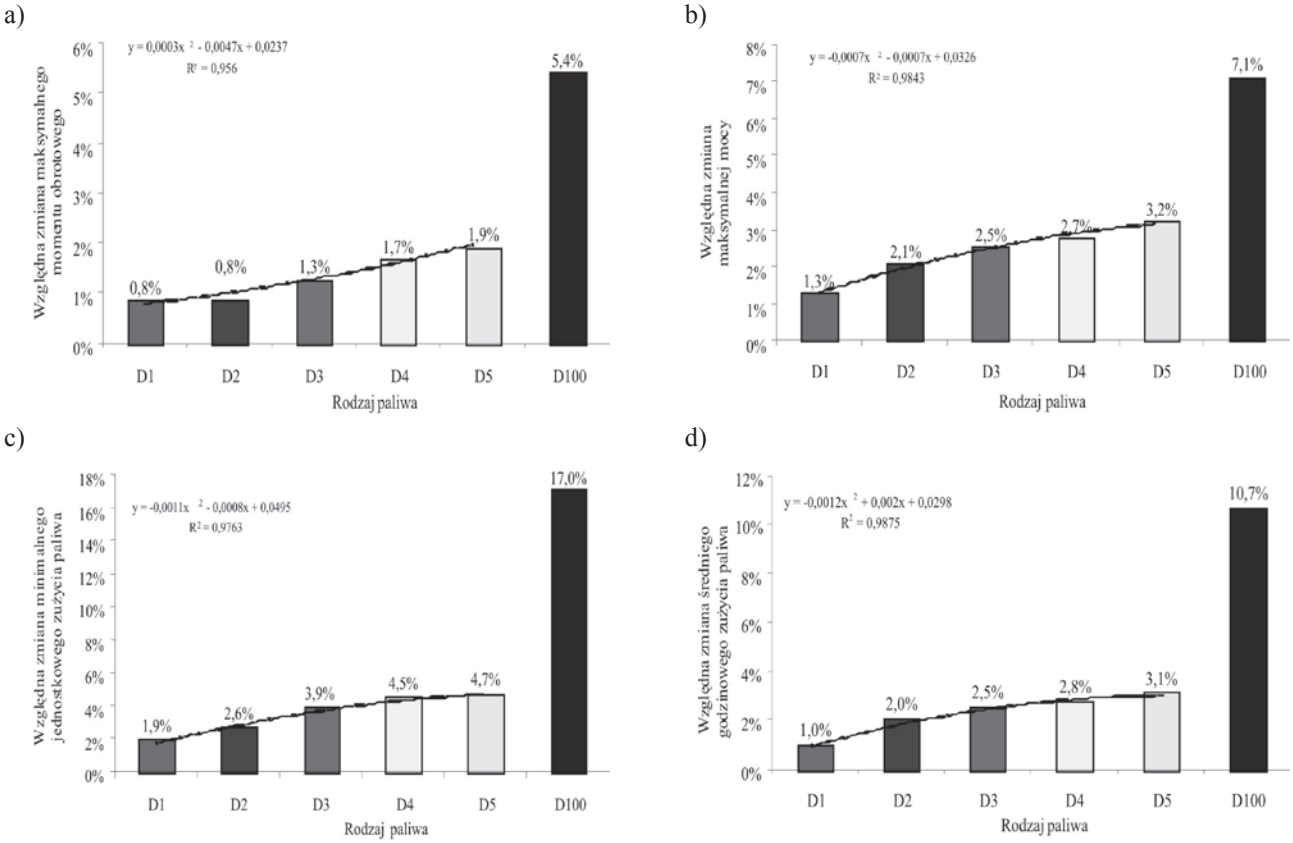
Relative changes of maximal torque were presented in fig. 3a. It shows, that decrease of torque for blends D1 and D2 is small – 0.8%. Slightly higher decrease (1%) was observed in case of D3, and for blends D4 and D5 observed decrease was 1.7 and 1.9% respectively. Decrease of 5% occured when engine was powered with pure ethyl esters.

Maximal power for particular fuel types was: D1 – 13.6 kW, D2 – 13.5 kW, D3 – 13.4 kW, D4 – 13.4 kW, D5 – 13.3 kW. Relative power changes were presented in fig. 3b, which shows decrease from 3.2% to 1.2% noted in case of diesel fuel containing 5% of biocomponent and D1 blend respectively. When engine was powered with pure ethyl esters the decrease reached 7.1%.

Increase of biocomponent share in fuel causes also increase of minimal unitary fuel consumption: D1 – 215.4 g · kWh^{-1}, D2 – 216.8 g · kWh^{-1}, D3 – 219.4 g · kWh^{-1}, D4 – 220.7 g · kWh^{-1}, D5 – 221.2 g · kWh^{-1}. Relative changes of unitary fuel consumption ranged from 1.9% to 4.7% for D1 and D5 blends respectively (fig. 3c), while for pure esters it reached 17%.

Increase of biocomponent content in diesel fuel blends causes increase of average fuel consumption: D1 – 2.408 kg· h^{-1}, D2 – 2.433 kg· h^{-1}, D3 – 2.445 kg· h^{-1}, D4 – 2.452 kg · h^{-1}, D5 – 2.460 kg · h^{-1}.

Relative changes of average hourly fuel consumption were presented in figure 3d. Increase of fuel consumption for D1 blend



Rys. 3. Względne zmiany: a) maksymalnego momentu obrotowego silnika, b) maksymalnej mocy silnika, c) minimalnego zużycia paliwa, d) średniego godzinowego zużycia 2CA 90 przy zasilaniu silnika mieszaninami paliwowymi i czystym estrem etylowym

Fig. 3. Relative changes of: a) maximal torque, b) maximal power, c) minimal fuel consumption, d) average hourly fuel consumption for 2CA 90 engine powered with fuel blends and pure ethyl ester

Wzrost zawartości biokomponentu w oleju napędowym powoduje wzrost średniego zużycia paliwa odpowiednio: D1 – 2,408 kg· h^{-1}, D2 – 2,433 kg· h^{-1}, D3 – 2,445 kg· h^{-1}, D4 – 2,452 kg · h^{-1}, D5 – 2,460 kg · h^{-1}.

Względne zmiany średniego godzinowego zużycia zaprezentowane są na rys. 3d. Wzrost zużycia dla mieszaniny D1 jest niewielki i wynosi 1%, natomiast rośnie dla mieszaniny D2 – 2%. W przypadku paliw D3 i D4 wyniósł on odpowiednio 2,5 i 2,8%, zaś dla D5 – 3,1%. Przy zasilaniu czystym estrem średnie zużycie godzinowe wzrosło aż do 10,7%.

4. Wnioski

Zastosowanie mieszanek paliwowych, zawierających 1-5% estrów etylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego FAEE, do zasilania silników o ZS powoduje zmianę parametrów energetycznych pracy silnika. Analiza wyników przeprowadzonych badań na silniku 2CA90 pozwala stwierdzić, że:

a) Wprowadzenie FAEE do ON istotnie wpłynęło na zmianę mocy efektywnej silnika. Zaobserwowano zmniejszenie mocy maksymalnej dla mieszanek ON i FAEE w zakresie 1,2-3,2%. Straty mocy rosły wraz ze wzrostem udziału biokomponentu w mieszaninie.
b) Przy zasilaniu silnika mieszaninami następowała zmiana maksymalnego momentu obrotowego o 0,8-1,9%. Wraz ze wzrostem udziału biokomponentu w mieszaninie moment obrotowy wykazywał tendencję malejącą.

(1%) is small however for blend D2 reaches 2%, while in case of D3, D4 and D5 blends was 2.5%, 2.8% and 3.1% respectively. When engine was powered with pure ester average hourly fuel consumption increased 10.7%.

4. Conclusions

Utilization of fuel blends containing 1-5% of rape oil fatty acids ethyl esters FAEE for powering diesel engine causes change of energetic parameters of engine work. Analysis of results of research conducted on 2CA90 engine justifies following statements:

a) Introduction of FAEE into diesel fuel significantly influenced change of effective power delivered by engine. Decrease of maximal power for DF and FAEE blends ranging from 1.2 to 3.2% was noted. Losses were increasing with increase of biocomponent share in blends.
b) Powering engine with blends caused change of maximal torque ranging from 0.8 to 1.9%. Torque was showing tendency to decrease with increase of biocomponent share in blends.

c) Dodatek biokomponentu powoduje istotny wzrost godzinowego zużycia paliwa dla mieszanin zawierających 3, 4 i 5% estrów, natomiast dla mieszanin zawierających 1 i 2% nie stwierdzono istotnych zmian. Dla mieszanin średnie godzinowe zużycie paliwa wzrosło o 1,0-3,1%.
d) Dodatek biokomponentu powoduje istotny wzrost jednostkowego zużycia paliwa. Dla mieszanek minimalne jednostkowe zużycie paliwa wzrosło o 1,9-4,7%.

Zastosowanie biokomponentu do 5% nie powoduje radykalnego obniżenia parametrów energetycznych silnika, tj. zmiany maksymalnej mocy, momentu obrotowego, jednostkowego i godzinowego zużycia paliwa. Zmiany tych parametrów są trudne do zaobserwowania przez użytkowników.

c) Addition of biocomponent causes significant increase of hourly fuel consumption for blends containing 3, 4 and 5% of esters, while for blends containing 1 and 2% no significant changes were noted. Average hourly fuel consumption of blends increased from 1.0 to 3.1%.
d) Addition of biocomponent causes significant increase of unitary fuel consumption, which, in case of blends, reached from 1.9 to 4.7%.

If biocomponent addition do not exceeds 5%, no radical decrease of engine energetic parameters, i.e. maximal power, torque, unitary and hourly fuel consumption, occurs. It must be also mentioned that changes of investigated parameters can hardly be noted by the users.

5. References

[1] Baczewski K., Kałdoński T.: *Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym*. WKŁ, Warszawa 2004.
[2] Górski W.: *Stan aktualny, potrzeby i perspektywy w zakresie normalizacji biopaliw*. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 101, 24-36, 2002.
[3] Graboski M. S., McCormick R. L.: *Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines*. Prog. Energy Combust. Sci. Vol. 24 pp. 125-164, 1998.
[4] Ma F., Hanna M. A.: *Biodiesel production: a review*. Bioresource Technology 70. 1-15. 1999.
[5] Merkisz J., Kozak M.: *Przegląd techniczno-eksploatacyjnych korzyści i zagrożeń związanych ze stosowaniem biopaliw w silnikach spalinowych*. II Międzynarodowa konferencja Naukowo-Techniczna „Biopaliwa 2003", SGGW Warszawa 2003.
[6] Piekarski W., Zając G.: *Analiza doboru mieszanek paliwowych biopaliwa i oleju napędowego w aspekcie emisji spalin*. Eksploatacja i Niezawodność 3, 6-11, 2003.
[7] Szlachta Z.: *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*. WKŁ, Warszawa 2002.

Dr inż. Grzegorz ZAJĄC
Katedra Energetyki i Pojazdów
Wydział Inżynierii Produkcji
Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Głęboka 28, 20 –612 Lublin
grzegorz.zajac@ar.lublin.pl

Dr inż. Adam WĘGRZYN
Katedra Maszyn i Urządzeń Ogrodniczych
Wydział Inżynierii Produkcji
Akademia Rolnicza w Lublinie
ul. Głęboka 28, 20 –612 Lublin
adam.wegrzyn@ar.lublin.pl

Sławomir JUŚCIŃSKI
Wiesław PIEKARSKI

ZARZĄDZANIE LOGISTYCZNE AUTORYZOWANYM SERWISEM CIĄGNIKÓW I MASZYN ROLNICZYCH

LOGISTIC MANAGEMENT OF AN AUTHORIZED SERVICE FOR AGRICULTURAL TRACTORS AND MACHINES

W artykule zaprezentowano zarządzanie logistyczne Działem Serwisu w przedsiębiorstwie handlowo – usługowym prowadzącym autoryzowaną sprzedaż ciągników i maszyn rolniczych. Przedstawiono strukturę bazy danych o przeglądach i naprawach ciągników. Omówiono charakter działań serwisowych w aspekcie kalendarza zabiegów agrotechnicznych. Opisano procedurę weryfikacji awarii ciągników przez Dział Serwisu i lokalizacji usług naprawczych. Zaprezentowano zadania logistyczne w procedurze dostawy części zamiennych na potrzeby bieżących napraw realizowanych przez stacje serwisowe. Przedstawiono procedurę obsługi finansowej zlecenia zatwierdzonego do realizacji przez Dział Serwisu.

***Słowa kluczowe**: logistyka, systemy logistyczne, obsługa serwisowa ciągników i maszyn rolniczych.*

The article presents the logistic management of the Service Department in a trade-service company dealing with an authorized sale of agricultural tractors and machines. The structure of the database concerning services and repairs of tractors is presented. The character of service activities in view of the agricultural practices calendar is discussed. The verification procedure of tractor breakdowns and repairs localization by the Service Department is described. Logistic tasks are presented, concerning spare parts delivery for current repairs realized by the service units. The financial service procedure for commissions authorized by the Service Department is presented.

***Keywords**: logistics, logistic systems, services for agricultural tractors and machines.*

1. Wprowadzenie

Przedsiębiorstwa handlowo – usługowe prowadzą szereg działań, mających na celu kształtowanie procesu dystrybucyjnego, zgodnie z potrzebami i oczekiwaniami klientów. Ważnym elementem decydującym o ciągłości i wzroście poziomu sprzedaży jest realizacja zadań potransakcyjnych. Zaliczamy do nich w pierwszym rzędzie usługi świadczone przez autoryzowaną stację serwisową [3,6,10].

Poziom obsługi realizowanej w *Dziale Serwisu* decyduje o zadowoleniu klienta, a jednocześnie jest warunkiem do ponownego korzystania z pakietu usług będących w ofercie przedsiębiorstwa. Pozytywna realizacja powyższych działań w dłuższym okresie czasu, prowadzi do powstania lojalności, którą klient reprezentuje w stosunku do firmy. Należy zaznaczyć, że serwis wyrobów posiada duże znaczenie z uwagi na wielokrotny kontakt z klientem w czasie całego procesu użytkowania. Cykliczność świadczonych przeglądów gwarancyjnych i pogwarancyjnych, występuje przez cały okres eksploatacji ciągnika w przeciwieństwie do pracy *Działu Handlowego*, w którym klient jest obsługiwany tylko w momencie zakupu wyrobu [6,9,14].

Efektywność systemów logistycznych przy wykonywaniu obsługi serwisowej powoduje, że nabywcy nawiązują długotrwałą współpracę z firmą, w ramach której [5]:

- realizują zakupy części zamiennych i płynów eksploatacyjnych na przestrzeni całego okresu użytkowania wyrobu;
- podejmują decyzje o zakupie dodatkowych produktów: maszyn lub specjalistycznego osprzętu, korzystając z pośrednictwa przedsiębiorstwa;
- uczestniczą w działaniach jako bezinteresowni ambasadorowie, dając pozytywną rekomendację organizacji firmy oraz produktom z oferty handlowej.

1. Introduction

Trade-service companies deal with a number of activities aiming at an adjustment of the distribution process in accordance with the clients' needs and expectations. An important element deciding on the continuity and increase of the sales level is the realization of post-purchase tasks. The most important of these are the services provided by an authorized service unit. [3,6,10].

The level of a service realized by the Service Department decides on a client's satisfaction and at the same time determines if the client will make use of the service package on offer. A satisfactory realization of the above-mentioned tasks in a longer run leads to the creation of the client's loyalty to the company. It must be mentioned that the products' servicing is of great concern due to multiplicity of the client's contacts with the provider during the whole product's exploitation period. The cyclical character of the provided guarantee and post-guarantee services is present during the whole period of a tractor's exploitation contrary to the activity of the Sales Department which deals with the client only at the moment of a product's purchase [6,9,14].

The effectiveness of logistic systems at servicing makes the purchasers continue their co-operation with the company in a long run and during this co-operation they [5];

- realize purchases of spare parts and exploitation fluids during the whole period of a product's use,
- make decisions concerning the purchase of additional products: machines or specialist equipment via the company,
- participate in the activities as voluntary ambassadors, giving a positive recommendation of the company's organization and the products on offer.

2. Struktura usług realizowanych w dziale serwisu

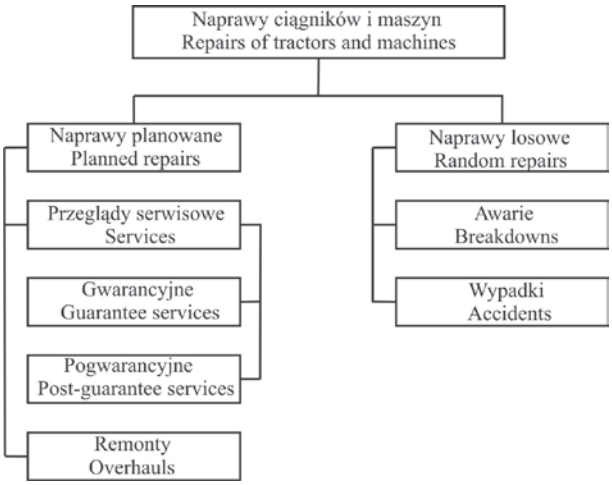
Badaniom i analizie podlegały procesy realizowane w *Dziale Serwisu* przedsiębiorstwa handlowo – usługowego prowadzącego sprzedaż ciągników i maszyn rolniczych.

Dział Serwisu zgodnie z podpisaną umową dealerską, zobowiązany jest do zapewnienia sprawnego i fachowego wsparcia usługowego nabywcom produktów danej firmy. Producenci oferują współpracującym firmom cykliczne pakiety szkoleń obejmujące personel wybranych działów, szczególną uwagę przykładając do podnoszenia kwalifikacji pracowników stacji serwisowych. Obecny poziom techniczny i technologiczny oraz ciągły proces unowocześniania produktów stawiają wysokie wymagania przed zespołami serwisowymi [13,15].

Proces obsługi wyrobów na poziomie *Działu Serwisu*, obejmuje szereg zadań przedstawionych na schemacie blokowym (rys. 1).

Proces użytkowania ciągników rolniczych przez nabywcę, związany jest z występowaniem napraw planowanych, których struktura ilościowa na przestrzeni roku może być szacowana w oparciu o prowadzone bazy danych z uwzględnieniem w tym napraw losowych.

Obsługa wyrobów obejmuje:
- przegląd przed sprzedażą (P0);
- szkolenia w zakresie użytkowania oraz obsługi ciągników i maszyn rolniczych;
- przeglądy gwarancyjne (P1-P4) i naprawy gwarancyjne (NG);
- przeglądy techniczne po okresie gwarancji (PP) i naprawy pogwarancyjne (NP);
- naprawy główne, modernizację wyrobów i instalowanie dodatkowego wyposażenia.



Rys. 1. Struktura naprawy ciągników i maszyn rolniczych w stacji obsługi [opracowanie własne]

Fig.1. Structure of agricultural machines and tractors' repair at a service unit [the author's own work]

Wszystkie opisane procesy generują zbiory zadań logistycznych, których wykonanie powinno przebiegać z zachowaniem uzgodnionych terminów pomiędzy usługodawcą i nabywcą. Stąd wynika, że systemy logistyczne w strukturze zaopatrzenia, odpowiadają za sprawną realizację dostaw dla serwisu części, podzespołów i płynów eksploatacyjnych oraz materiałów do obsługi technicznej i napraw [2,8].

3. Bazy danych usług serwisowych

Dział Serwisu prowadzi bazę danych dla całej populacji ciągników i maszyn rolniczych, które po sprzedaży objęte zostały obsługą przeglądu przed sprzedażą (P0). Powstaje dzięki temu struktura rodzajowa i ilościowa wyrobów na obsługiwanym obszarze. Zakres danych, które podlegają archiwizacji przedstawia schemat blokowy (rys. 2).

Uzupełnianie zasobów bazy danych *Działu Serwisu* następuje podczas całego okresu użytkowania wyrobu. W przypadku maszyn używanych zakupionych przez klientów na lokalnym rynku lub poprzez import prywatny albo w obiegu wtórnym poza siecią dealerską ich dane nie są dostępne w bazie. Uzu-

2. Structure of the services realized in the service department

The research and analysis concerned the processes realized at the Service Department of a trade-service company dealing with the sale of agricultural machines and tractors.

The Service Department, according to the signed dealer's contract is obliged to ensure an efficient and competent service support for purchasers of a given company's products. Producers offer the co-operating companies cyclical training packages involving the staff of selected departments and special attention is put to the up-grading of qualifications of service units' workers. The present technical and technological level as well as permanent products' modernization contribute to high expectations of clients from service units [13,15].

The process of products' servicing at the Service Department level involves a range of tasks presented in the block diagram (Fig. 1).

The process of agricultural tractors' use by a purchaser involves an occurrence of planned repairs, the number structure of which in a year's span can be estimated on the basis of the created databases, including random repairs.

The products' service includes:
- pre-sale service (PO);
- training on the use and operation of agricultural tractors and machines;
- guarantee services (P1-P4) and guarantee repairs (NG);
- technical services after the guarantee period (PP) and post-guarantee repairs (NP);
- main repairs, products' modernization and an installation of additional equipment

All the above-described processes generate sets of logistic tasks, the supply of which should occur within the terms negotiated between the service provider and purchaser. Hence, logistic systems in the catering structure account for an efficient delivery of parts, subsystems and exploitation fluids as well as materials for technical servicing and repairs [2,8].

3. Databases of services

The *Service Department* maintains a database for the whole population of agricultural tractors and machines, which, after their purchase, were included in the pre-sale servicing (PO). This gives rise to the genre and number structure of products serviced in a particular area. The range of the stored data is presented in the block diagram (Fig.2).

The storage of the Service Department database archives occurs during the whole period of a product's use. However, the data on second-hand machines purchased by clients on a local market, by private import or on the secondary market outside

pełnianie zbioru informacji dla danego wyrobu, następuje od momentu zgłoszenia pierwszej usługi do stacji serwisowej przez nabywcę.

Firmowe systemy logistyczne korzystają z baz danych, pozwalających na gromadzenie i analizę informacji o wyrobach. Procesy takie dają różne wyniki, zależne od pozycji rozpatrywanej marki. W przypadku generalnego dystrybutora wyrobów posiada on pełny przegląd struktury obsługiwanego rynku. Logistyka zaopatrzenia w pozycje związane z cykliczną wymianą eksploatacyjną części może być wówczas budowana w oparciu o poziom sprzedaży ciągników i maszyn w *Dziale Handlowym*.

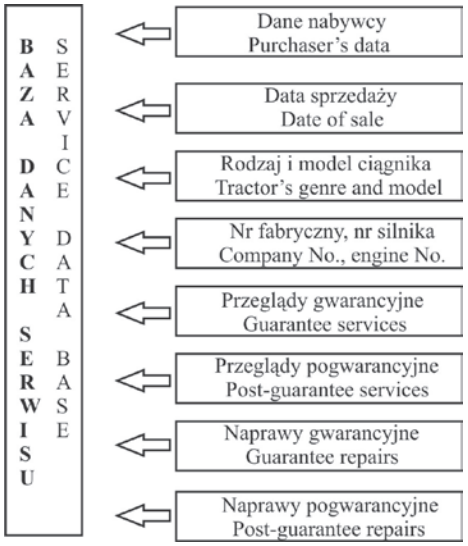
Szczególnie ważną rolę logistyka marketingowa odgrywa podczas dystrybucji wykonywanej na obszarze, który obsługuje wielu autoryzowanych przedstawicieli. Stawia to wysokie wymagania zarówno przed służbami zaopatrzenia poszczególnych firm na etapie analizy rzeczywistych potrzeb rynku, jak i stworzenia konkurencyjnej oferty handlowej w stosunku do pozostałych podmiotów logistycznych pracujących dla danej branży.

Obecnie realizowany jest przez koncern JOHN DEERE proces budowy wysokiej populacji firmowych ciągników i maszyn rolniczych w Polsce. Należy nadmienić, że rynek wyrobów o stosunkowo krótkim okresie pracy, generuje przede wszystkim zapotrzebowanie na materiały eksploatacyjne i związane z nimi grupy usług.

Źródłem odmiennego pakietu potrzeb na rynku usług są ciągniki marki ZETOR. Obecność tych wyrobów na krajowym rynku od połowy XX wieku, daje bardzo duży zbiór maszyn użytkowanych w rolnictwie, które reprezentują wszystkie przedziały wiekowe. Ponadto następuje zasilanie rynku nowymi ciągnikami, w sprzedaży których ZETOR jest liderem. Należy rozpatrywać jednocześnie powyższe parametry sprzedaży w powiązaniu z dużym rozdrobnieniem obszarów usług serwisowych, co zdecydowanie utrudnia analizę i poprawność wnioskowania o popycie na wybranym fragmencie rynku.

Analiza baz danych o przeprowadzonych naprawach i wyniki diagnostycznej oceny stanu technicznego wyrobów, stanowią ważną informację logistyczną dla poszczególnych producentów. Koncern DEERE & COMPANY prowadzi monitoring występowania powtarzalności awarii części i podzespołów we wszystkich przedsiębiorstwach na świecie, należących do firmowej sieci dealerskiej. W przypadku częstego wystąpienia podobnej awarii w reprezentatywnej dla danej populacji grupie maszyn, przekazywane jest zalecenie do firmowych serwisów, aby dokonały nieodpłatnej wymiany wytypowanych elementów we wszystkich maszynach na terenie swojej działalności. System logistyczny producenta zabezpiecza w potrzebne części i podzespoły zlecenia profilaktycznych napraw serwisowych.

Logistyka jest narzędziem pomocnym w dążeniu do optymalnego poziomu obsługi wyrobów, który przez użytkowników traktowany jest równorzędnie z poziomem obsługi klienta i znacząco wpływa na kształtowanie opinii o przedsiębiorstwie produkcyjnym [1,9,11].



Rys. 2. Struktura bazy danych prowadzonej przez Dział Serwisu [opracowanie własne]

Fig.2. Structure of the data base maintained by the Service Department [the author's own work]

the dealers' network are not available in the database. The information on a given product is added at the moment of the first service commission by its purchaser at a service unit.

Logistic systems of a company use databases, which enable to store and analyze information on their products. Such processes render various results depending on the status of a given model. A general distributor of products has got a full survey of the serviced market's structure. The delivery logistics of items involved in the cyclical exploitation exchange of parts can then be created on the basis of sale levels in the *Sale Department*.

Marketing logistics during distribution in an area where a lot of authorized dealers operate plays an especially important role. High standards are then expected from catering staff of particular companies both at the stage of an analysis of actual market needs and during the creation of a competitive sale offer compared to the other logistic subjects operating in a given business.

At the moment the company JOHN DEERE is realizing the process of creation of a high population of the company agricultural tractors and machines in Poland. It should be mentioned that the market of products characterized by a relatively short working period first of all generates a demand for exploitation materials and the related services.

Tractors of the ZETOR Company are a source of a different needs package on the market. The presence of this model on the national market since the 1950-ties has provided a huge collection of machines of very different ages, exploited in agriculture. Moreover, the market is continually provided with new tractors sold by ZETOR, as the main tractor supplier. It is best to simultaneously consider the above-mentioned sale parameters in relation to the great dispersion of service areas, which makes any market analyses or correct demand estimates really difficult.

An analysis of databases as to the provided repairs and the results of diagnostic assessment of the products' technical state are important logistic information for particular manufacturers. The concern DEERE & COMPANY conducts the monitoring of recurrent breakdowns of in parts and subsystems at all the companies included in its dealers' network all over the world. In case of recurrent occurrence of a similar fault in a representative for a given population group of machines, an order is passed to the company's service units to provide free exchange of the indicated elements in all the machines in their area. The manufacturer's logistic system provides the required parts and subsystems to cater for preventive service repairs.

Logistics is a helpful tool on the way to the optimum level of products' servicing, which is regarded by users as equally important as clients' servicing and significantly affects the opinion concerning a manufacturing company [1,9,11].

4. Struktura rodzajowa usług działu serwisu

Przeglądy gwarancyjne ciągników rolniczych ze względu na utrzymanie gotowości technicznej, powinny być wykonywane w określonych przedziałach czasu wyrażonych ilością przepracowanych motogodzin. Eksploatacja ciągników w gospodarstwach krajowych, której średni poziom sięga kilkuset motogodzin w skali roku, podlega znacznym wahaniom na przestrzeni kolejnych miesięcy. Stanowi to przeszkodę w możliwie ścisłym prognozowaniu popytu na usługi, nawet w przypadku znanej populacji nowych maszyn. Dodatkowo utrudniona jest ocena liczby przeglądów pogwarancyjnych, które mogą być zgłoszone do wykonania w prognozowanym okresie. Liczba usług związanych z naprawami i remontami obiektów technicznych, podlega wahaniom sezonowym oraz zależy od zmieniającej się struktury wiekowej wyrobów na danym rynku. Biorąc pod uwagę fakt jednoczesnego występowania opisanych zjawisk, usługi serwisowe wymagają wielu intensywnych prac logistycznych.

Zagadnienia realizowane przez logistykę w obszarze usług serwisowych są złożone, stąd koszty logistyczne powinny podlegać bieżącej kontroli. Struktura działalności w obszarze obsługi i naprawy sprzętu rolniczego, podlega wyraźnym zmianom rodzajowym i ilościowym w poszczególnych okresach roku, co przedstawia schemat (rys. 3). Należy tutaj wyróżnić szczególnie okresy zabiegów agrotechnicznych, do których zaliczamy wiosenne prace polowe, żniwa, zespół upraw pożniwnych oraz jesienny zbiór plonów.

W opisanych przedziałach czasu z uwagi na zwiększone zapotrzebowanie na usługi wykonywane poza siedzibą przedsiębiorstwa *Dział Serwisu* nie umieszcza w harmonogramie planowanych zleceń remontowych. Działania takie mają na celu racjonalne wykorzystanie posiadanych mocy przerobowych stacji obsługi. Stan osobowy wykorzystywany jest wówczas do wzmocnienia ekip serwisowych i skrócenia do minimum przestoju ciągników i maszyn wykorzystywanych do sezonowych prac polowych. Zlecenia kompleksowych remontów ciągników i maszyn rolniczych w warsztatach firmy, stanowią podstawę prac w okresach pomiędzy sezonami zabiegów agrotechnicznych.

Procedurę logistyczną realizowaną przy otwieraniu zlecenia na naprawę ciągnika rolniczego, przedstawia schemat blokowy (rys. 4). Przy ustalaniu kolejności zleceń dla poszczególnych zespołów naprawczych, istotne jest bieżące obciążenie *Działu Serwisu* wynikające z harmonogramu realizowanych prac. Zarządzanie trasą wyjazdów poszczególnych ekip opiera się na analizie miejsca lokalizacji ciągników i maszyn oraz okoliczności wystąpienia awarii. Konieczność redukcji kosztów powoduje łączenie niektórych zadań, gdy pozwalają na to warunki czasowe niezbędne do wykonania zadania i bliskie położenie geograficzne gospodarstw.

Status zadań priorytetowych, otrzymują naprawy polowe w szczytowym okresie zabiegów agrotechnicznych, aby do niezbędnego minimum skrócić przestoje maszyn. Identyfikacja uszkodzenia w wyniku wizualizacji lub demontażu podzespołów, pozwala podjąć decyzję o lokalizacji, w której będzie możliwe przeprowadzenie naprawy. Konieczność wykorzystania specjalistycznego wyposażenia stacjonarnego wyklucza przeprowadzenie prac w gospodarstwie użytkownika. Zachodzi wówczas potrzeba transportu lub holowania ciągników i maszyn do warsztatu serwisowego (rys. 4).

4. Genre structure of the service department activities

Guarantee services of agricultural tractors for technical readiness maintenance should be provided at particular time periods expressed by the number of performed moto-hours. Exploitation of tractors in home farms, the mean level of which reaches a few hundred of moto-hours yearly, undergoes significant changes during the consecutive months. It makes it difficult to accurately predict demand for services even in the case of a well-known population of new machines. Furthermore, an estimation of the post-guarantee services number that can be commissioned in the above-mentioned period is not easy. The number of services related to repairs and overhauls of technical items depends on season fluctuations and on the changing age structure of products on a particular market. Considering the fact of simultaneous occurrence of the above-discussed phenomena, service activities require a lot of intensive logistic work.

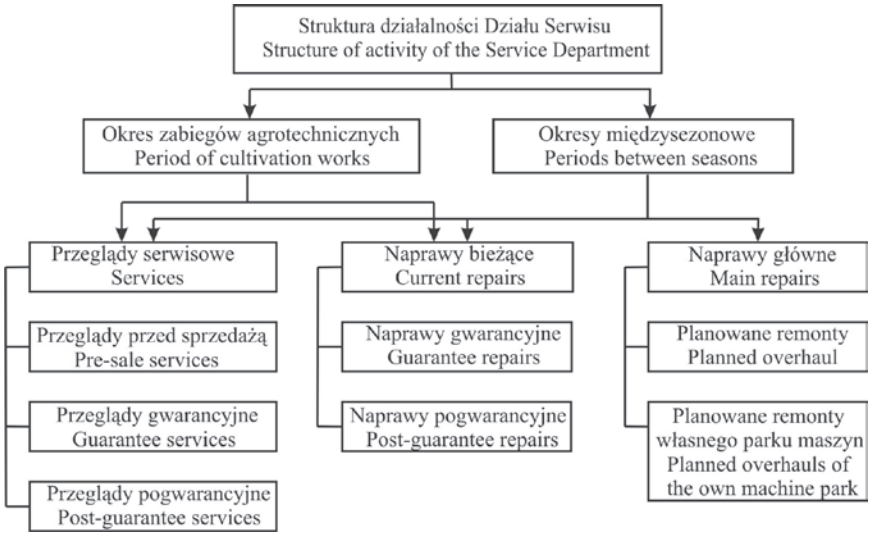
The tasks realized by logistics in the field of services are complex, so logistic costs should be continually controlled. The structure of activities in the field of service and repair of agricultural equipment undergoes distinct genre and number changes in particular seasons of the year, which is presented in the diagram (Fig. 3). Here, special attention should be put to the particular seasons of cultivation works including spring field works, harvesting, post-harvest cultivation's as well as autumn crops collection.

In the above-mentioned time periods, due to an increased demand for services provided outside the company venue, the *Service Department* does not include the planned overhaul commissions in the agenda. Such an approach aims at a rational exploitation of a particular service unit's working potential. The staff is then delegated to complement servicing crews and to minimize the standstills of tractors and machines used for season cultivation works. Commissions for complex overhauls of agricultural tractors and machines in the company workshops are the basis of service work in the periods between the seasons of intensive cultivation works.

The logistic procedure realized when opening a commission for the block diagram (Fig. 4) presents an agricultural tractor's repair. While deciding on the order of commissions for particular repair crews, an important consideration is the current loading of the Service Department resulting from the realized task agenda. Management of delegation routs of particular crews is based on an analysis of the tractors' and machines' locations and the circumstances of the breakdown. The necessity of cost reduction results in the combination of some tasks if time conditions necessary for service delivery and close geographical location of the farms in question allow.

The status of priority tasks is given to field repairs at the peak of the cultivation works season, in order to minimize machine standstills. An identification of fault by visualization or subsystems' disassembly allows for a decision about the site where a repair can be done. The need for application of stationary specialist equipment excludes a possibility of repair work on a user's farm. It is necessary then to haul or transport tractors or machines to a service workshop (Fig.4).

The concern DEERE & COMPANY has worked out the program 'Service ADVISOR' for the needs of computer diagnostics of their agricultural tractors. Using this program a service assistant can promptly diagnose a vehicle's technical condition by reading the parameters from the built-in sensors. The



Rys. 3. Struktura działalności Działu Serwisu w poszczególnych okresach roku [opracowanie własne]

Fig.3. Structure of the Service Department activities in particular seasons of the year [the author's own work]

Koncern DEERE & COMPANY dla potrzeb diagnostyki komputerowej swoich ciągników rolniczych opracował program „Service ADVISOR". Pracownik serwisu przy jego pomocy uzyskuje możliwość szybkiego zdiagnozowania stanu technicznego pojazdu poprzez odczyt parametrów z wbudowanych czujników. Powyższy program proponuje również rozwiązania, które mają na celu usunięcie awarii eksploatacyjnych.

Szybkość wykonania usługi przez *Dział Serwisu* w procesie naprawy, oprócz czasów technologicznych niezbędnych dla przeprowadzenia poszczególnych operacji, zależy również od dostępności części zamiennych, co przedstawia schemat blokowy (rys. 5).

Baza danych tworzona przez *Dział Serwisu* umożliwia identyfikację historii napraw dla poszczególnych ciągników oraz pozwala na określenie, czy będzie to naprawa gwarancyjna. Wszystkie zakupione maszyny w sieci handlowej producenta wyposażone są w katalogi części zamiennych. W przypadku awarii polowych w okresie zabiegów agrotechnicznych, gdy priorytetem jest brak przestojów, katalogi posiadane przez użytkownika są podstawą do szybkiej systemowej identyfikacji uszkodzonych elementów już w momencie przyjmowania zgłoszenia telefonicznego przez pracownika serwisu.

Złożenie zamówienia wymaga określenia numeru katalogowego, który identyfikuje wszystkie niezbędne parametry części lub podzespołu, zależne od daty produkcji i zmian konstrukcyjnych zastosowanych w danym wyrobie. System dystrybucji przedsiębiorstwa bezpośrednio po kontakcie telefonicznym i określeniu przedmiotu dostawy, umożliwia wysłanie za pośrednictwem firmy kurierskiej części zamiennych z hurtowni lub ewentualne uzgodnienie terminu przyjazdu zespołu serwisowego. Następuje wówczas skrócenie procedury naprawy o jeden wyjazd zespołu serwisowego. *Dział Serwisu* w przypadku poważnych awarii, kieruje zespół mechaników w pierwszej kolejności w celu identyfikacji uszkodzenia, a następnie do jego usunięcia (rys. 5).

System logistyczny zabezpiecza dostawę niezbędnych do naprawy części zamiennych lub podzespołów w trzech etapach, zależnie od ich bieżącej lokalizacji. Najkrótsza droga do realizacji, to pobranie elementów z magazynu w hurtowni firmowej

above-mentioned program also offers solutions aiming at a fast repair of an exploitation breakdown.

The promptness of service delivery by the *Service Department* in the repair process is dependent not only on technological time periods needed to carry out particular operations but also on an availability of spare parts, which is presented in the block diagram (Fig. 5).

The database created by the *Service Department* allows for an identification of repair history for particular tractors and enables to determine if the repair will be a guarantee one or not. All the machines purchased within the producer's network are provided with spare parts catalogues. In case of field breakdowns during cultivation works when avoiding standstills is a priority, the catalogues owned by the user serve as a basis of prompt systematic identification of the faulty elements already at the moment of reporting a breakdown to a service assistant on the phone.

Placing an order needs a description of a catalogue number, which identifies all the necessary parameters of a part or subsystem depending on the production date, and the construction changes applied to a given article. The distribution system of the company allows for sending spare parts from a warehouse by a courier firm directly after the phone talk or for possible negotiating of the term of service crew arrival. In such a case the repair procedure is by one service crew delegation shorter. If a breakdown is serious, the *Service Department* delegates a crew of mechanics twice: first to identify a fault and then to repair it (Fig.5).

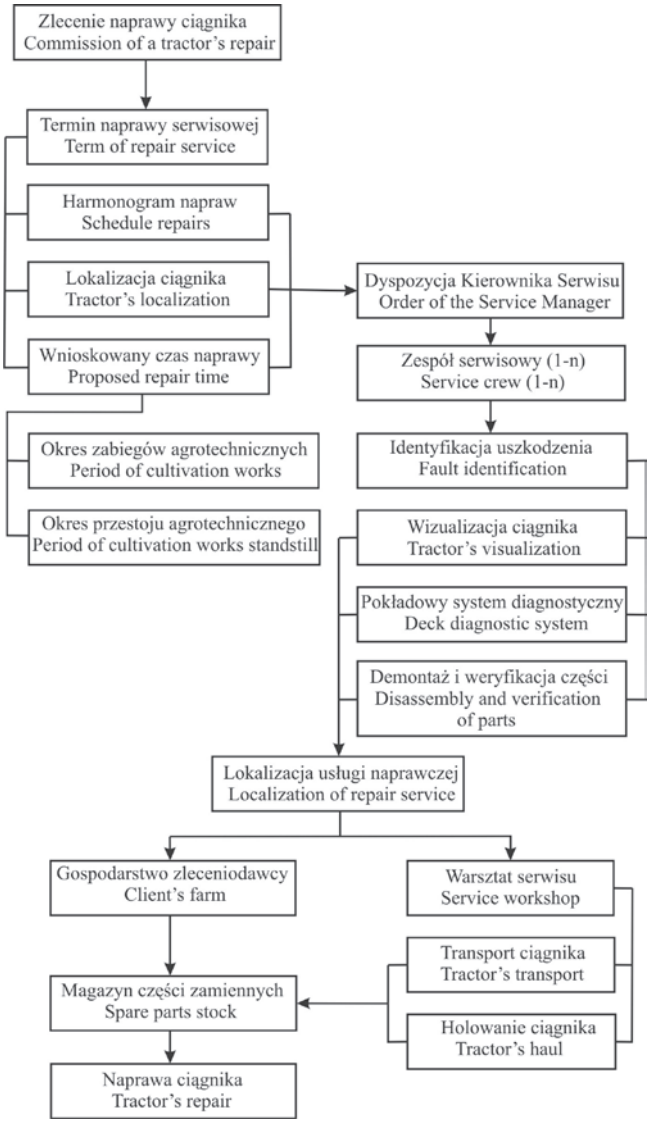
A logistic system secures a delivery of the necessary spare parts or subsystems in three phases depending on their current localization. The shortest route to the realization is getting the elements from a company warehouse of the dealer. The procedure of ordering from the National Logistic Centre ensures a delivery within 24 hours and from the European Logistic Centre – within 48 hours.

The control of logistic costs includes a maximum reduction of financial risk for a company during the realization of a distribution process [12]. The initial evaluation of repair range

dealera. Procedura zamówienia z Krajowego Centrum Logistycznego zapewnia dostawę części w czasie 24 godzin, a z Europejskiego Centrum Logistycznego realizacja następuje w ciągu 48 godzin.

Kontrola poziomu kosztów logistycznych, obejmuje minimalizację ryzyka finansowego dla przedsiębiorstwa przy realizacji procesu dystrybucji [12]. Wstępne określenie zakresu naprawy oraz kompletacja części zamiennych i podzespołów, stanowi podstawę do wyceny zgłoszonego zlecenia. Akceptacja przez usługobiorcę sporządzonej kalkulacji jest warunkiem koniecznym do otwarcia zlecenia naprawczego. Procedurę obsługi finansowej zlecenia naprawy ciągników i maszyn rolniczych przedstawia schemat blokowy (rys. 6). Naprawa ciągników i maszyn rolniczych z uwagi na wysoki koszt części zamiennych i ich bardzo dużą różnorodność pod względem odmian konstrukcyjnych, związana jest z ryzykiem finansowym dla przedsiębiorstwa. Wycofanie się nabywcy po uruchomieniu procedury zakupu stanowi ewidentną stratę dla dealera z uwagi na zwiększenie stanu zapasów magazynowych o pozycje, które często mają stosunkowo niski wskaźnik rotacji. Stąd formą zabezpieczenia finansowego dla firmy usługowej jest zadatek wysokości 30% wartości brutto zlecenia (rys. 6).

Procedura zakupu części niezbędnych do naprawy, jaką w imieniu klienta wykonuje hurtownia, obarczona jest poziomem kar umownych wówczas, gdyby uruchomiono ich zwrot. Producent w przypadku odesłania zamówienia przez dealera z powodu rezygnacji klienta, pobiera prowizję w wysokości 30% jego wartości. Całkowite koszty, którymi obciążony jest użytkownik naprawy oprócz wartości części i należności za wykonaną usługę, zawierają również koszty dojazdu i ewentualnego transportu ciągnika lub maszyny rolniczej do warsztatu serwisowego. Procedura poboru zaliczki, a następnie pełnej płatności za wykonaną naprawę związana jest z wystawieniem stosownych dokumentów księgowych (rys. 6).



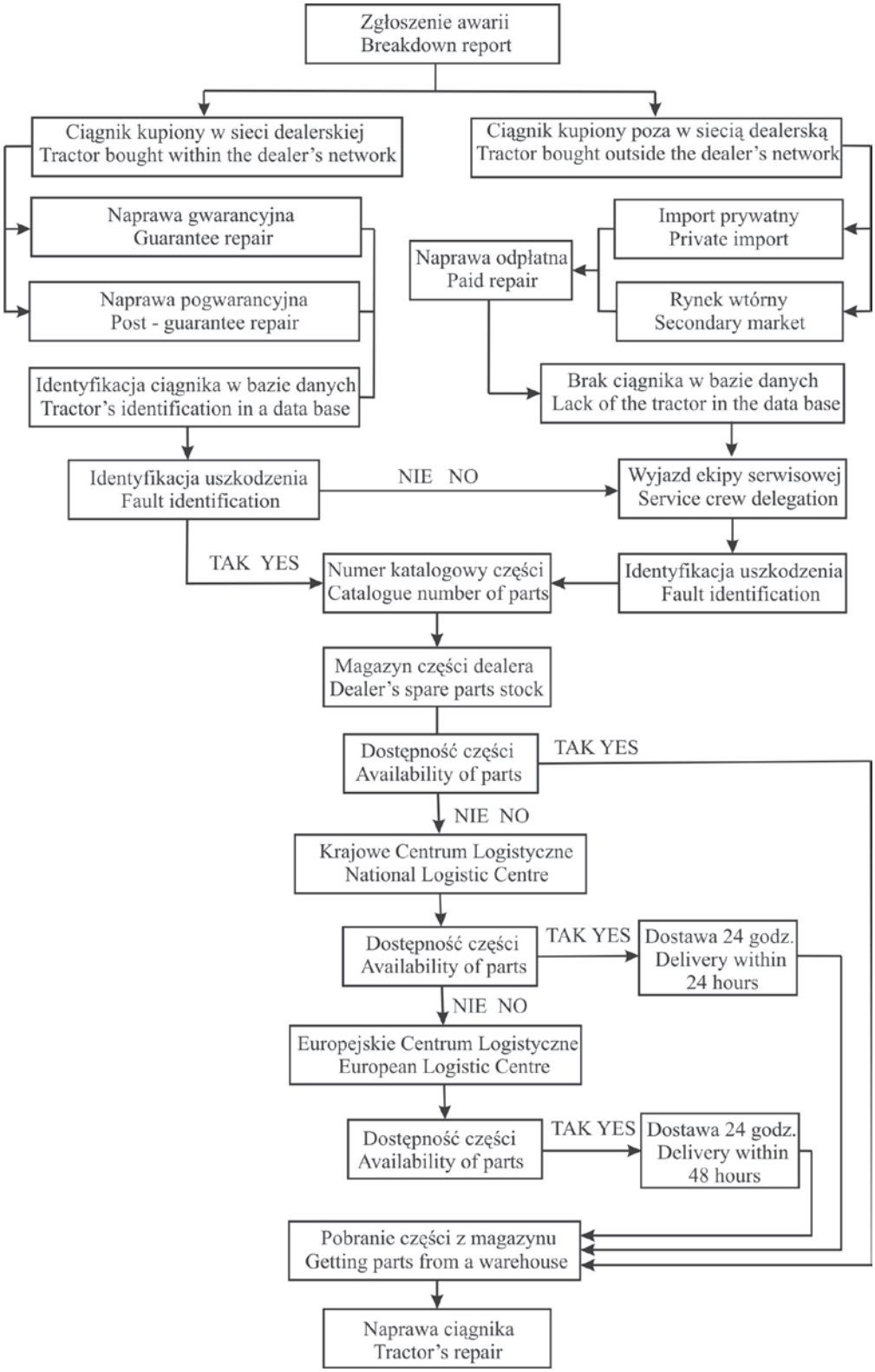
Rys. 4. Procedura weryfikacji uszkodzenia ciągnika rolniczego przez Dział Serwisu [opracowanie własne]

Fig.4. Verification procedure of an agricultural tractor's fault by the Service Department [the author's own work]

and completion of spare parts and subsystems is a basis of cost assessment of an order. Acceptance of the cost calculation by the service receiver is a necessary condition for an opening of repair commission. The procedure of financial servicing of a repair commission for agricultural tractors and machines is presented in the block diagram (Fig. 6).

Repairs of agricultural tractors and machines involve a financial risk for a given company due to high prices of spare parts and their great constructional variety. Resignation of a purchaser after the sale procedure has been launched results in an evident dealer's loss since the ordered items of relatively low rotation index stay in stock. Hence a form of financial insurance for a service company by requesting an advance payment worth 30% of the commission's gross value (Fig. 6).

The procedure of the purchase of parts necessary for a repair, performed by a warehouse on a client's behalf, is loaded with a particular limit of stipulation penalties in case their return is launched. A manufacturer takes a provision of 30% of an order's value if it is sent back due to a client's resignation. The total cost imposed on a service receiver includes not only the price of parts and payment for the repair work but also costs of delegation and possible transport of a tractor or machine to a service workshop. The procedure of advance payment and then of the full payment for the performed repair involves a provision of adequate accounting documents (Fig. 6).



Rys. 5. Zadania logistyczne w procedurze dostawy części zamiennych na potrzeby napraw serwisowych [opracowanie własne]

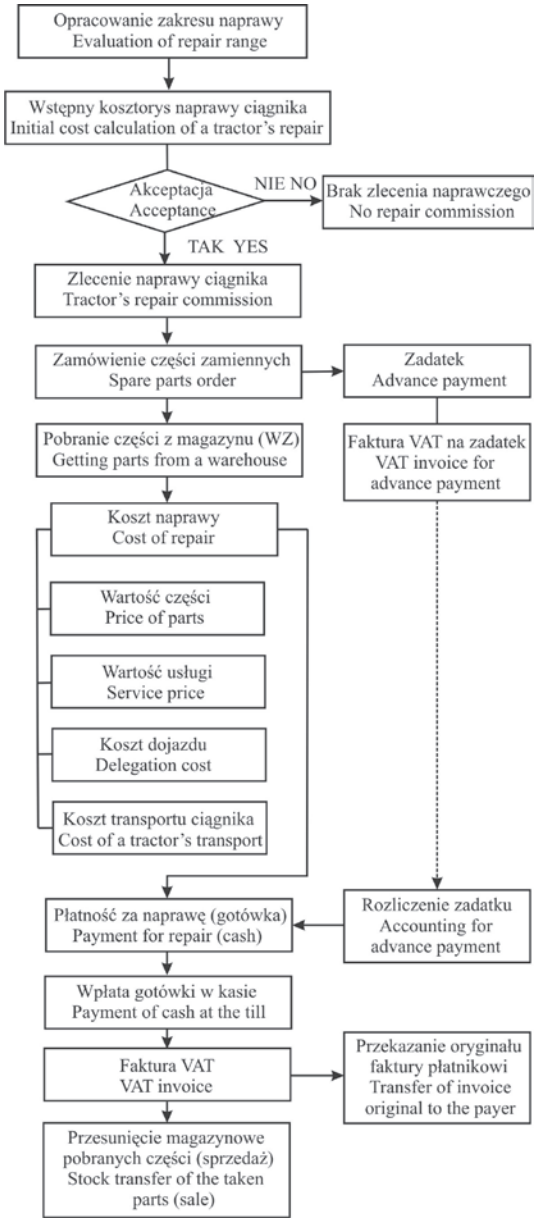
Fig.5. Logistic tasks in the procedure of spare parts delivery for repair services [the author's own work]

5. Podsumowanie

Analiza działalności rynkowej wykazała, że pełny zakres usług serwisowych realizowany przez autoryzowanego dystrybutora w oparciu o systemy logistyczne, umożliwia uzyskanie poziomu obsługi spełniającego oczekiwania klienta.

Na podstawie przeprowadzonych badań należy podkreślić następujące cechy:

1) Opracowane schematy blokowe procedur podlegających realizacji w *Dziale Serwisu* w zakresie:
   - weryfikacji uszkodzenia ciągnika rolniczego,
   - dostawy części zamiennych na potrzeby napraw serwisowych,
   - obsługi finansowej realizowanych zleceń naprawczych,
   - zapewniają niezawodną obsługę wyrobów i minimalizację czasu oczekiwania na naprawę ciągnika lub maszyny rolniczej w przypadku awarii.
2) Zarządzanie działalnością serwisu uwzględnia specyfikę i sezonowość produkcji rolniczej. Stosowanie procedur logistycznych i kontrola kosztów związanych z pracą ekip serwisowych jest warunkiem koniecznym dla uzyskania przewagi konkurencyjnej na rynku ciągników i maszyn rolniczych.
3) Technologie informatyczne (IT) wykorzystywane w budowie specjalistycznych baz danych oraz elektroniczna wymiana danych (EDI), mają za zadanie przygotować obsługę serwisową do rosnących wymagań ze strony producentów żywności. Użytkownicy pojazdów rolniczych, czerpiąc wzorce z przemysłu motoryzacyjnego, będą oczekiwać w przyszłości zapewnienia zakresu obsługi porównywalnego z tym, jaki świadczony jest dla właścicieli samochodów osobowych. Standardem dla takiego serwisu jest dostarczanie w przypadku poważnej awarii pojazdu zastępczego. Obecnie żaden z producentów ciągników rolniczych nie informuje w swojej ofercie serwisowej o możliwości otrzymania ciągnika zastępczego na czas ewentualnej naprawy wyrobu w okresie ochrony gwarancyjnej.



Rys. 6. Procedura obsługi finansowej zlecenia realizowanego przez Dział Serwisu [opracowanie własne]

Fig.6. Procedure of financial servicing of a commission realized by the Service Department [the author's own work]

5. Conclusion

An analysis of market activities showed that a full range of services realized by an authorized distributor with the support of logistic systems allow for a service level fulfilling the client's expectations.

On the basis of the conducted research the following features should be stressed:

1) The worked-out block diagrams of the procedures realized by the *Service Department* concerning:
   - verification of an agricultural tractor's fault,
   - spare part delivery for repair services,
   - financial servicing of the realized repair commissions,
   - ensure reliable servicing of products and maximum reduction of the awaiting time for a repair of an agricultural tractor or machine in case of a sudden breakdown.
2) The management of service activities takes into consideration the specific seasonal character of agricultural production. Application of logistic procedures and control of the costs involved in the work of service crews is an indispensable condition for successful competition on the market of agricultural tractors and machines.
3) Information Technology (IT) applied in the creation of specialist databases as well as electronic data identification (EDI) serve to prepare the services for the growing food producers' demands. Users of agricultural vehicles, basing on their experiences with motorization industry, will expect a services range comparable to that provided for automotive vehicles' owners. A standard procedure in case of a serious car breakdown is a supply of a replacement vehicle. At the moment there is no agricultural tractors manufacturer who would include in their service offer a possibility of providing a replacement tractor for the time of a potential repair of their product under the guarantee protection.

7. References

[1] Christopher M.: *Strategia zarządzania dystrybucją*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1999.
[2] Ciesielski M.: *Logistyka w praktyce – studium przypadków*, Wyd. Akademia Ekonomiczna, Poznań 2003.
[3] Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C.J.,:*The Management of Business Logistics*, West Publishing Company, New York 1996.
[4] Czubała A.: *Dystrybucja produktów*, Polskie Wyd. Ekonomiczne, Warszawa 2001.
[5] Dembińska – Cyran I.: *Zarządzanie logistyczne w warunkach polskich*, Wyd. Difin, Warszawa 2004.
[6] Dwiliński L.: *Zarys logistyki przedsiębiorstwa*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
[7] *Instrumenty zarządzania logistycznego*, Praca zbiorowa pod red. M. Cisielskiego, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2006.
[8] Kempny D.: *Logistyczna obsługa klienta*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
[9] *Logistyka dystrybucji – Specyfika, Tendencje rozwojowe, Dobre praktyki* , Praca zbiorowa pod red. K. Rutkowskiego, Wyd. Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 2005.
[10] Lambert D.M., Stock J.R., Ellram L.M.: *Fundamentals of Logistics Management*, Mc Graw – Hill, Boston 1998.
[11] Mentzer, J.T., Flint, D.J., Hult G.T.M.: *Logistics service quality as a segment-customized process*, Journal of Marketing, Volume 65, Issue 4, 2001, pp. 82–104.
[12] Pfohl H.Ch.: *Systemy logistyczne – Podstawy organizacji i zarządzania*, Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2001.
[13] Piekarski W.: *Analiza oddziaływania agregatów ciągnikowych na środowisko przyrodnicze*, Rozprawa habilitacyjna, Wyd. Akademia Rolnicza, Lublin 1997.
[14] *Teoria i praktyka modelowania systemów logistycznych*, Praca zbiorowa pod red. I.K. Hejduk, Wyd. Politechnika Koszalińska, Koszalin 2004.
[15] Skrobacki A., Ekielski A.: *Pojazdy i ciągniki rolnicze*, Wyd. Wieś Jutra, Warszawa 2006.
[16] www.johndeere.pl
[17] www.zetor.pl

Dr inż. Sławomir JUŚCIŃSKI
Prof. dr hab. inż. Wiesław PIEKARSKI
Akademia Rolnicza w Lublinie
Wydział Inżynierii Produkcji
Katedra Energetyki i Pojazdów
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin
e-mail: slawomir.juscinski@ar.lublin.pl
e-mail: wieslaw.piekarski@ar.lublin.pl

Jerzy BIENIEK
Jan BANASIAK
Grzegorz POGODA

ZASTOSOWANIE SITA WIELOPŁASZCZYZNOWEGO DO KOMBAJNOWEGO ZBIORU ZBÓŻ W WARUNKACH TERENÓW NACHYLONYCH

APPLICATION OF THE MULTI-PLANE SIEVE FOR THE HARVESTER-THRESHER CEREALS CROPPING UNDER THE CONDITIONS OF SLOPING AREAS

W pracy przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych prototypowego sita wielopłaszczyznowego zastosowanego w kombajnie zbożowym NEW HOLLAND BIZON Z-058. Badania przeprowadzone w warunkach terenów nachylonych wykazały, że badane sito polepsza pracę kombajnu zbożowego ograniczając straty ziarna do 0,05% przy jego czystości zawierającej się w zakresie od 95,5% do 99,6% w zależności od ustawienia parametrów pracy sita.

***Słowa kluczowe**: kombajn zbożowy, sito sekcyjne, czystość, straty.*

The paper presents the operational testing results of a multi-plane sieve prototype used on a harvester-thresher model NEW HOLLAND BIZON Z-058. The testing performed under the conditions of sloping areas showed that the sieve improved the harvester-thresher operation limiting the losses to 0,05% - 0,3% range at grain purity ranging 95,5% to 99,6% depending on the sieve adjustment.

***Keywords:** harvester-thresher, sectional sieve, purity, losses.*

1. Wstęp i cel pracy

Rozwój konstrukcji kombajnów zbożowych zmierza do ich uniwersalizacji polegającej na przystosowaniu tych konstrukcji do zbioru różnych roślin w zróżnicowanych warunkach terenowych. Duża liczba gatunków roślin zbieranych tą samą maszyną sprawia, że kombajny zbożowe stają się maszynami skomplikowanymi w budowie oraz w obsłudze [9], z dużą ilością złożonych zespołów roboczych, z których każdy z osobna ma inny wpływ na strumień przemieszczającego się ziarna, wpływając na jego czystość, straty i uszkodzenia [7]. Zastosowanie kombajnów o klasycznej konstrukcji w terenach nachylonych powyżej 5^0, powoduje pogorszenie wskaźników czystości i wzrost poziomu jego strat nawet do 13% [2, 4]. Należy nadmienić, że podczas pracy kombajnu zbożowego w nachyleniu bocznym i wzdłużnym układem generującym największe straty są sita [11]. Potwierdziły to badania Gasperetto i Nevberry [5, 8]. W Polsce ograniczenie ponadnormatywnych strat ziarna zbieranego z pól o nachyleniu większym od 5^o może skutkować wzrostem globalnej masy plonów o około 250 tys. ton wpływając na efektywność produkcji rolniczej na terenach o ogólnej powierzchni 1,26 miliona hektarów. Problem uszkodzeń jest rozpatrywany oddzielnie w odniesieniu do zbioru ziarna przeznaczonego na materiał siewny. Według badań amerykańskich autorów [3, 8, 10, 13] uszkodzenia mogą wynosić do 2,1% i są one powodowane głównie przez zespół żniwny i zespół młócący [12].

W ostatnich latach pojawiły się konstrukcje kombajnów zbożowych wyposażonych w zespoły poziomowania całej bryły kombajnu lub zespołu omłotowo-czyszczącego ograniczając w ten sposób straty ziarna podczas pracy w terenach nachylonych. Jakość pracy tych maszyn wynika jednak z zastosowania bardzo drogich systemów hydrostatycznych połączonych z funkcjonowaniem komputerów pokładowych. Zdecydowanie tańszym i skutecznym rozwiązaniem może być zastosowanie

1. Introduction

The development of harvesters-threshers design tends towards their versatility consisting in making them suitable to harvesting various plants under differentiated field conditions. High number of plant species cropped with the same machine results in harvesters-threshers becoming increasingly complicated regarding their construction and operation [9] with a multitude of complicated working units and each of them differently effecting on the flow of grain being moved, determining its parity, loses and damages [7]. The use of harvesters-threshers of a conventional design in the areas of above 5° inclination results in the worsening of purity indexes and increased loss level even up to 13% [2, 4]. Moreover during the operation of the harvester-thresher in a slide slope and up hill, the sieves constitute the system generating the highest losses [11]. This was confirmed by the testing carried out by Gasperetto and Nevberry [5, 8]. In Poland, reduction in over standard losses of grain collected from the fields featuring the slope of more then 5^o can result in the increase in total yield weight by about 250.000t, which effects agricultural efficiency on the areas amounting 1,26 mln ha. The problem is considered separately in relation to grain harvested and destined as sowing material. According to American authors of the testing [3, 8, 10, 13], other losses can range up to 2,1%, mainly the harvesting unit and harvester-thresher [12].

In the last years there appeared harvesters-threshers limiting grain losses during the work in sloping areas, provided with units to level the whole harvester-thresher body or the threshing-cleaning unit. The effectiveness of those machines results, however, from the application of very expensive hydrostatic systems combined with the operation of board computers. A considerably cheaper and effective solution can be the use of roof sieve separator with a tillable curtain section mounted at

daszkowego separatora sitowego z żaluzjową sekcją uchylną zamontowaną w miejsce sita kłosowego, którego schemat przedstawiono na rysunku 1 [1].

Do powyższego stwierdzenia upoważniają uzyskane wyniki badań stanowiskowych przeprowadzonych w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu [2]. Z uwagi na to, że biologiczne cechy zbieranych roślin charakterystyczne dla danego gatunku podlegają znacznej zmienności [6], autorzy artykułu przeprowadzili polowe badania weryfikacyjne na dwóch rodzajach upraw.

Celem pracy było wyznaczenie wskaźników jakościowych pracy (czystości i strat ziarna) uzyskanych w czasie badań eksploatacyjnych sita wielopłaszczyznowego przy zbiorze pszenicy i mieszanki zbożowej.

2. Metodyka badań

Zespół separatora kombajnu NEW HOLLAND BIZON Z-058 wyposażano zamiennie w wielopłaszczyznowe sito prototypowe z sekcją uchylną wychyloną pod kątem δ względem płaszczyzny głównej, wykonane w Instytucie Inżynierii Rolniczej UP we Wrocławiu (rys. 2) oraz płaskie jednopłaszczyznowe sito stanowiące fabryczne wyposażenie kombajnu. Na tej podstawie możliwa była ocena efektów zastosowania sita wielopłaszczyznowego w porównaniu do sita płaskiego.

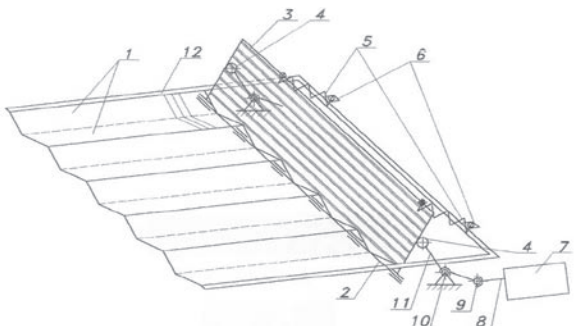
Wszystkie próby pobierano w czasie jazdy kombajnu pod górę, opisując je ilościową i masową charakterystyką zbieranych roślin (tab.1, 2).

Dla określenia czystości zbieranego ziarna, próbki pobierano z wylotu przenośnika podającego materiał do zbiornika kombajnu. Masa pobranej próbki wynosiła 1 kg. Pobrane próby poddano analizie masowej wyznaczając czystość według wzoru:

$$C = (M_c - M_z) / M_c \cdot 100\% \qquad (1)$$

gdzie: M_c – masa całkowita pobranej próbki, M_z – masa zanieczyszczeń zawartych w próbce.

Dla wyznaczenia strat ziarna pod gardzielą wylotową młocarni kombajnu zainstalowano folię nawiniętą na bęben. Rozwijanie folii następowało w trakcie pracy maszyny w miejscach,



Rys. 1. Schemat kinematyczny wielopłaszczyznowego sita sekcyjnego. 1- płaszczyzna główna sita daszkowego, 2- zawiasy, 3- sekcja uchylna sita, 4- rolki, 5- sprężyny, 6- mocowanie sprężyn, 7- napęd układu wychylania dodatkowej sekcji, 8- cięgno, 9- przegub, 10- podpora, 11- cięgno, 12- rama

Fig. 1. Kinematic diagram of the multi-plane sectional sieve; 1- main plane of the roof sieve, 2- hinges, 3- tiltable section of the sieve, 4 - rollers, 5 - springs, 6- mounting of the springs, 7 – drive of the swing system of an additional section, 8- string, 9- articulated joint, 10- support, 11- string, 12- frame

the place of the cereal ear sieve, schematic picture presented in Figure 1 [1]. Bench testing results justify such a statement [2]. Regarding the fact that some biological features of plants to be cropped, characteristic for particular species, considerable variability [6], field verification tests were undertaken involving two kinds of cultivation.

The aim of the paper was to determine the qualitative coefficients (related to grain purity and losses) of multi-plane sieve applied for field testing regarding wheat and cereal composition cropping.

2. Testing methodology

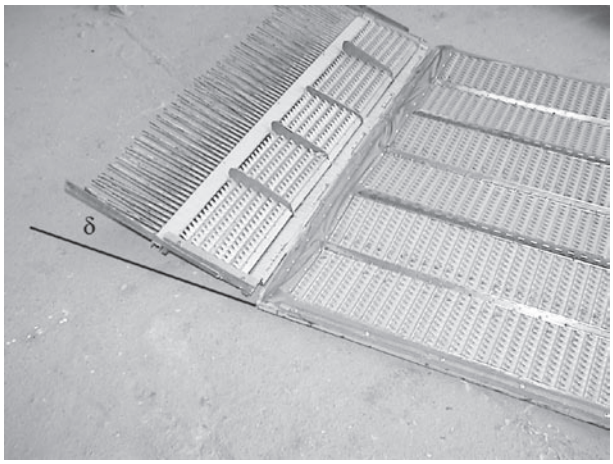
The separation set harvester-thresher model NEW HOLLAND BIZON Z-058 was equipped, interchangeably, with a prototype multi-plane sieve with a tiltable section inclined at the angle of δ in relation to the main plane, made in the Institute of Agricultural Engineering, Wrocław University of Environmental and Life Sciences (Fig. 2), and the factory-installed flat single-plane sieve of the harvester-thresher. As a result it was possible to evaluate the effects of a multi-plane sieve as compared to those of a flat sieve.

All the samples were collected while harvester-thresher was moving “up the hill”, and there were determined quantitative and weight characteristics of the plants cropped (Tables 1, 2).

In order to determine the purity of harvested grain, the samples were collected from the outlet of the conveyor that fed the material to the harvester-thresher tank. The weight of the collected sample was 1 kg. The samples collected were subjected to weight analysis, while the purity was determined according to the formula (1):

$$C = (M_c - M_z) / M_c \cdot 100\% \qquad (1)$$

where: M_c – total sample weight, M_z – weight of impurities in the sample.



Rys. 2. Widok wielopłaszczyznowego sita sekcyjnego: δ- kąt nachylenia sekcji uchylnej

Fig. 2. View of the multi-plane sectional sieve used for the field testing; δ – angle of inclination of the tiltable section

Tab.1. Ilościowa i masowa charakterystyka pszenicy odmiany Zyta zbieranej w miejscowości Wiry

Tab. 1. Quantitative and weight characteristics of wheat of Zyta variety cropped in the locality of Wiry

Lp.		Pszenica Zyta
1	Ilość roślin n_r [szt·m^{-2}] Number of plants, n_r [pcs. per sq.mt.]	
2	Średnia / Average $\overline{x}$	455,3
3	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	21,9
4	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	4,8%
5	Ilość ziarna w kłosie n_k [szt] Amount of grain in a cereal eye, n_k [pcs.]	
6	Średnia / Average $\overline{x}$	32,7
7	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	2,5
8	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	7,6%
9	Masa ziarna w kłosie m_k [g] Weight of grain in a cereal eye, m_k [g]	
10	Średnia / Average $\overline{x}$	1,4
11	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	0,4
12	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	28,6%
13	Plon miejscowy ziarna z hektara m_{ha} [t·ha^{-1}] Local crop of grain from one hectare, m_{ha} [t·ha^{-1}]	
14	Średnia / Average $\overline{x}$	6,7
15	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	1,7
16	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	26,2%
17	Masa tysiąca ziaren [g] Weight of 1,000 grains, [g]	
18	Średnia / Average $\overline{x}$	43,3
19	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	11,3
20	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	26,1%

w których wcześniej ustalono plon miejscowy, dla pszenicy - 6,7 t · ha^{-1} i 3,7 t · ha^{-1} dla mieszanki zbóż. Po zważeniu ziarna zebranego z rozwiniętej folii wyznaczono straty generowane pracą separatora sitowo-pneumatycznego. W literaturze [14] straty te nazywane są stratami powodowanymi przez młocarnię i nie powinny przekroczyć poziomu 1,5% plonu ziarna. Straty ogólne S_o określono odnosząc je do średniego plonu z pola, na którym prowadzone były badania. Straty miejscowe S_m wyznaczono odnosząc je do plonu uzyskanego z miejsca pobierania prób o powierzchni 34 m^2 (folia o wymiarach 4m x 8,5m).

W miejscowości Wiry miejsca pobierania prób wyznaczono w terenie o nachyleniu od 7,8º do 9,3º, przy wilgotności zbieranego ziarna, która zawierała się w przedziale 11,9%÷13,3%. W miejscowości Lutomierz nachylenie zbocza w miejscach pobierania prób wynosiło od 9,1º do 11,5º a wilgotność ziarna 12,3%÷14,7% (tab. 3).

Tab.2. Ilościowa i masowa charakterystyka zbieranej mieszanki zbożowej w miejscowości Lutomierz

Tab.2. Quantitative and weight characteristics of the cereal composition cropped in the locality of Lutomierz

Lp.		Mieszanka		
		Pszenica	Jęczmień	Owies
1	Ilość roślin n_r [szt·m^{-2}] / Number of plants, n_r [pcs. per sq.mt.]			
2	Średnia / Average $\overline{x}$	53,0	84,0	131,7
3	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	7,5	43,4	15,0
4	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	14,2%	51,7%	11,4%
5	Ilość ziarna w kłosie n_k [szt] / Amount of grain in a cereal eye, n_k [pcs.]			
6	Średnia / Average $\overline{x}$	20,0	18,7	31,0
7	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	2,6	0,6	3,6
8	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	13,2%	3,1%	11,6%
9	Masa ziarna w kłosie m_k / Weight of grain in a cereal eye, m_k [g]			
10	Średnia / Average $\overline{x}$	1,7	3,0	5,2
11	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	0,3	2,0	1,7
12	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	19,4%	65,7%	33,4%
13	Plon miejscowy ziarna z hektara m_{ha} [t·ha^{-1}] Local crop of grain from one hectare m_{ha} [t·ha^{-1}]			
14	Średnia / Average $\overline{x}$	0,9	1,1	1,7
15	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	0,3	3,4	3,1
16	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	32,6%	111,7%	44,5%,
17	Masa tysiąca ziaren / Weight of 1,000 grains [g]			
18	Średnia / Average $\overline{x}$	32,3	34,2	38,7
19	Odchylenie standardowe S_x Standard deviation S_x	3,3	4,6	8,5
20	Współczynnik zmienności V_x Variability factor V_x	10,3%	13,5%	22,1%

In order to determine grain losses, under the final tunnel shaft of threshing-machine of the harvester-thresher there was collected a foil wrapped round the attached drum. The foil unwinding took place during the machine operation at those spots where the local plumb-line was pre-determined for wheat, 6,5 t · ha^{-1} and 3,7 t · ha^{-1} for corn mix. After weighing the grain collected from the unwound foil, there were determined total losses due to pneumatic-sieve separation set. In the literature [14] those loses are described as the ones caused by threshing machine and they should not exceed 1,5% of grain yield. General losses were determined through relating them to the average crop from the field under testing. Local losses were determined through relating them to the crop from the testing site of an area of 34 sq.mts. (foil of 4 m x 8,5 m dimensions).

In Wiry sample collection took place in the sites of slope area from 7,8º to 9,3º and grain moisture ranged 11,9% to 13,3%, in Lutomierz the sites of sample collection charactensed 9,1º to 11,5º sloping, whereas grain moisture measured ranged 12,3% to 14,7% (Table 3).

Tab. 3. Nachylenie terenu oraz wilgotność ziarna oznaczona podczas zbioru

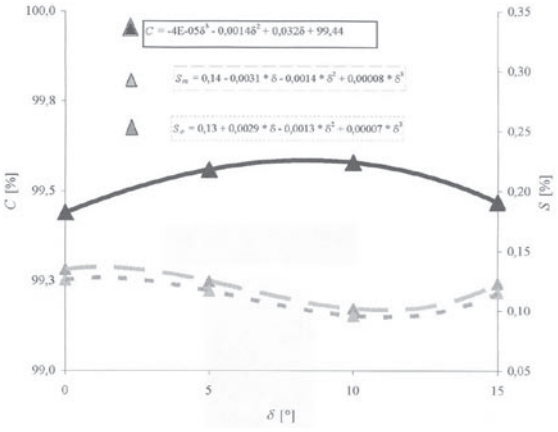
Tab. 3. Land inclination and grain moisture contents occurring during the testing

Lp	Wiry			Lutomierz		
	Nachylenie terenu Land inclination		Wilgotność ziarna Grain moisture contents	Nachylenie terenu Land inclination		Wilgotność ziarna Grain moisture contents
	1°	%	%	1°	%	%
1	Ustawienie sekcji uchylnej / Adjustment of the tiltable section δ = 0°					
	9,3	16,5	13,3	9,8	17,3	13,3
2	Ustawienie sekcji uchylnej / Adjustment of the tiltable section δ = 5°					
	8,2	14,4	12,9	10,5	18,5	13,7
3	Ustawienie sekcji uchylnej / Adjustment of the tiltable section δ = 10°					
	8,4	15,0	11,9	9,8	17,3	13,8
4	Ustawienie sekcji uchylnej / Adjustment of the tiltable section δ = 15°					
	7,8	13,8	12,3	9,1	16	14,7
5	Sito płaskie (fabryczne) / Flat (factory-made) sieve					
	8,4	15,0	12,8	11,5	20,4	12,3

3. Omówienie wyników badań

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych kombajnu zbożowego pracującego na polu w miejscowości Wiry. Najniższą czystość ziarna pszenicy (C=96,6%) uzyskano przy wykorzystaniu sita płaskiego zamontowanego fabrycznie. Dla sita wielopłaszczyznowego najniższą czystość uzyskano przy ustawieniu części uchylnej separatora pod kątem $\delta=0^0$ (C=99,44%). W miarę zwiększania kąta δ do 10^0 zwiększała się też czystość zebranego materiału do wartości 99,58%. Dalsze zwiększenie kąta nachylenia uchylnej płaszczyzny do 15^0 powoduje nieznaczny spadek czystości do C=99,47%. Narastał wtedy stopień aerodynamicznej fluidyzacji cienkiej warstwy ziarna przy postępującym stopniowym przesiewaniu zanieczyszczeń kategorii ciężkiego podziarna.

Najwyższe straty ogólne i miejscowe odnotowano przy zastosowaniu oryginalnego sita fabrycznego (S_o=5,9%, S_m=6,1%). Po założeniu prototypowego sita z sekcją uchylną ustawioną pod kątem $\delta=0^0$ poziom strat zmniejszył się do 0,13% dla S_o i do 0,14% dla S_m. Przy zwiększaniu kąta δ do 5^0 straty ogólne zmalały do wartości 0,12%, a miejscowe do 0,13%. Dal-

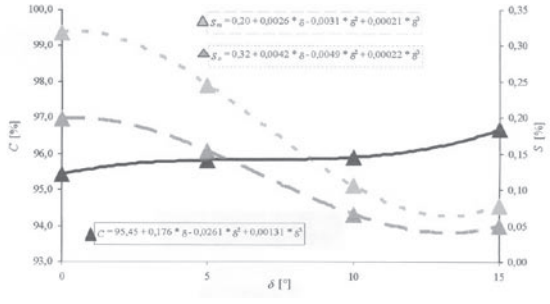


Rys. 3. Zmiana czystości ziarna C i strat ziarna ogólnych S_o oraz miejscowych S_m w zależności od kąta ustawienia płaszczyzny uchylnej δ sita daszkowego podczas badań w miejscowości Wiry

Fig. 3. Variation of grain purity C and of general losses S_o and local losses S_m of grain in function of the tiltable plane adjustment angle δ of the roof sieve in the locality of Wiry

3. Discussion

Figure 3 shows the operational testing results of the harvester-thresher in the locality of Wiry. The lowest purity of wheat grain (C=96,0%) was obtained while using a factory-mounted flat sieve. For the roof sieve with a tiltable section, the lowest purity of grain was obtained when that part of the separator was set at the angle $\delta=0^\circ$ (C=99,44%). As the angle δ increased up to 10°, the purity of the collected material also rose to 99,58%. A further rise in the inclination angle of the tiltable plane up to 15° resulted in a slight drop in grain purity down to C=99,47%. Then higher degree of aerodynamic fluidization of a thin grain layer with gradual screening of heavy contaminants could be observed. Both highest general and local losses were recorded using the original factory-made separator (S_o=5,9%, S_m=6,1%). When mounting the prototype sieve with the tiltable section set at the angle $\delta=0^\circ$ the level of losses decreased to 0,13% for S_o and down to 0,14% for S_m. When raising the angle δ to 5° general losses diminished to 0,12%, and local losses to 0,13%. The increase an the angle δ value to 10° produced a further reduction of losses to 0,09% for general losses and 0,10% for local losses. Further increase in the angle of tiltable section to 15° resulted in a slight rise of losses. Yet the increase in grain loses remained close to the determined limit of statistic error. Figure 4 shows



Rys. 4. Zmiana czystości ziarna C i strat ziarna ogólnych S_o oraz miejscowych S_m w zależności od kąta ustawienia płaszczyzny uchylnej δ sita daszkowego podczas badań w miejscowości Lutomierz

Fig. 4. Variation of grain purity C and of general losses S_o and local losses S_m of grain in function of the tiltable plane adjustment angle δ of the roof sieve in the locality of Lutomierz

sze zwiększanie kąta δ do 10^0 spowodowało zmniejszenie strat ogólnych do 0,09% i miejscowych do 0,10%. Zwiększanie kąta części uchylnej do 15^0 spowodowało nieznaczne zwiększenie strat. Widoczny wzrost strat jest jednak bliski wyznaczonej granicy błędu statystycznego.

Rysunek 4 przedstawia wyniki badań eksploatacyjnych kombajnu zbożowego pracującego na polu w miejscowości Lutomierz. Podobnie jak w przypadku zbioru pszenicy w miejscowości Wiry, najniższą czystość (C=94,6%) zebranej mieszanki uzyskano stosując oryginalne sito płaskie-fabryczne. Po zastosowaniu sita z sekcją uchylną ustawioną pod kątem $\delta=0^0$ odnotowano wzrost czystości do C=95,43%. Wzrost kąta nachylenia sekcji uchylnej powodował zwiększenie czystości ziarna. Dla $\delta=5^0$ wynosiła ona C=95,83%, dla $\delta=10^0$ - C=95,91% i $\delta=15^0$ - C= 96,68%. Zastosowane oryginalne sito generowało straty ogólne na poziomie 7,4%, a miejscowe 7,8%. Zbierając mieszankę kombajnem z sitem wielopłaszczyznowym zauważono zmniejszanie się strat w miarę zwiększania kąta nachylenia dodatkowej części separatora. W tym przypadku, przy kącie $\delta=0^0$ odnotowano najwyższy poziom strat ogólnych (0,2%) oraz miejscowych (0,32%). Natomiast przy kącie $\delta=15^0$ zanotowano najniższy poziom strat zarówno ogólnych jak i miejscowych - poniżej 0,08%.

Różnica w czystości ziarna pszenicy i mieszanki zebranej kombajnem zbożowym z sitem fabrycznym jest nieznaczna i wynosi 2,0%. Po zastosowaniu sita wielopłaszczyznowego najwyższą czystość ziarna uzyskano dla kąta nachylenia sekcji uchylnej $\delta=10^0$ (C=99,53%) w miejscowości Wiry i dla kąta $\delta=15^0$ (C=96,68%) w miejscowości Lutomierz.

W wyniku przeprowadzonych badań zarówno w miejscowości Wiry jak i Lutomierzu można stwierdzić, że najlepsze efekty pracy sita wielopłaszczyznowego wystąpiły przy nachyleniu sekcji uchylnej $\delta=10^0$. W miejscowości Wiry dla takiego ustawienia, najmniejsze straty ziarna (około 0,1%) wystąpiły przy najwyższej czystości 99,58% (rys. 3). Zaobserwowano też wpływ jakości zbieranego materiału na straty ogólne kombajnu zbożowego (ilościowa i masowa charakterystyka zbieranych zbóż w trakcie badań polowych – tab. 1, 2). W miejscowości Wiry (tab. 1) zbierana pszenica była dobrej jakości o masie tysiąca ziaren 43,3 g, a średni plon materiału celnego z pola wynosił 6,5 t · ha^{-1}. Natomiast w miejscowości Lutomierz plon średni z pola wyniósł 3,5 t · ha^{-1}. Tak niski plon spowodowany był odmiennością każdego zboża w mieszance.

4. Wnioski

1) Badane sito wielopłaszczyznowe zastosowane w zespole separującym kombajnu zbożowego pracującego w warunkach polowych na zboczach o nachyleniu do 12^0, zmniejsza straty ziarna w porównaniu do sita fabrycznego z 7,8% do 0,1%.
2) Zastosowanie sita wielopłaszczyznowego w kombajnie zbożowym w czasie jazdy pod górę, pozwoliło na utrzymanie wysokiego wskaźnika czystości zbieranego ziarna (około 99,4%) przy poziomie strat poniżej 0,2%.
3) Najlepsze efekty pracy sita wielopłaszczyznowego zaobserwowano przy nachyleniu sekcji uchylnej $\delta=10^0$, przy którym były najmniejsze straty ziarna a czystość była największa.

the operational testing results of the harvester-thresher in the locality of Lutomierz. Concerning wheat harvest, the lowest purity (C=94%) of the harvested composition was obtained using an original factory-made flat sieve. After application of the sieve with the tiltable section set at the angle $\delta=0^\circ$ a rise in purity up to C=95,43% was recorded. Increased tiltable section inclination resulted in higher grain purity amounting for $\delta=5^\circ$ to C=95,83%, for $\delta=10^\circ$ to C=95,91% and for $\delta=15^\circ$ to C= 96,68%, respectively. The original sieve applied produced general losses of 7,4%, and local losses of 7,8%. There was observed significant decrease in loses when the harvester-thresher with multi plane sieve was applied and at simultaneous increase in additional part of separator. In that case, for $\delta=0^\circ$, the highest level of general losses (0,2%) and of local losses (0,32%) were recorded. On the other hand, at the angle $\delta=15^\circ$, the lowest level of both general and local losses below 0,08% was noticed. The difference in grain purity obtained during the wheat and cereal composition harvest for the operation of the harvester-thresher with the factory-made sieve is insignificant and amounts 2,0%. After mounting a multi-plane sieve the highest grain purity in the locality of Wiry was obtained for the inclination angle of the tiltable section $\delta=10^\circ$ (C=99,53%), whereas in the locality of Lutomierz for the angle $\delta=15^\circ$ (C=96,68%). The impact of the quality of harvested material on general losses of the harvester-thresher was also observed (quantitative and weight characteristic of cereals harvested during the field testing – *Tables 1, 2*). In the locality of Wiry (Table 1) the cropped wheat was of a good quality, with a weight of 1,000 grains of 43,3 g, and the average crop of the prime material was 7,0 t per hectare. On the other hand, in the locality of Lutomierz (*Table 2*) the average crop was 4,2 t per hectare. Such a low crop was due to the diversity of each cereal in the composition.

4. Conclusions

1) The tested multi-plane sieve used on the separating unit of the harvester-thresher operating in a field of an inclination up to 12° reduces grain losses, as compared to the factory-made sieve, from 7,8% to 0,1%.
2) The use of the roof sieve with the tiltable section on the harvester-thresher during its drive up hill allowed to maintain a high purity index of harvested grain (circa 99.4%) at the level of losses below 0.2%.
3) The best effects of the multi-plane sieve operation were observed at the inclination of the tiltable section $\delta=10^\circ$, at which inclination grain losses were the lowest and grain purity the highest.

5. References

[1] Banasiak J., Bieniek J., Pogoda G. 2004: *Sito czyszczące kombajnu zbożowego.* Założenia patentowe zarejestrowane pod numerem P-367380.

[2] Bieniek J., Banasiak J., Pogoda G. 2006: *„Rozkład wskaźników przepustowości i czystości przesianej masy na sicie wielopłaszczyznowym"*. Inżynieria Rolnicza, 2 (77), s.129-136.

[3] Buckingham F. 1979: *An engineers compare rotaries and conventional models.* Implement and Tractor, nr 9.

[4] Dreszer K. A. 2001: *Problem strat ziarna przy kombajnowym zbiorze zbóż na zboczach*. Inżynieria Rolnicza, nr 12, s.65-70.

[5] Gasperetto E., Zen M., Guadagnin A. 1977: *Ultra Hihg Speer Movie Observation of a Conventional Threshing Mechanice*. (Cylinder-Concave Rear Beater) Working At Wheat. Grain and Forage Harvesting Conference American, ASAE, s.104-111.

[6] Gieroba J., Dreszer K. A., Nowak J., Dudkowski J. 1993: *Wpływ właściwości zboża na jakość pracy kombajnu zbożowego.* Przegląd Techniki Rol. i Leśnej, nr 5, s.6-9.

[7] Maertens K., Baerdemaeker. J., Ramon H., Keyser R. 2001: *An analytical grain flow model for a combine harvester,* Part I: Design of the model. Journal-of-Agricultural-Engineering-Research., 79(1), s.55-63.

[8] Newbery R. S., Paulsen M. R., Nave W. R. 1980: *Soybean and Quality with Rotary and Conventional Threshing.* Trans. of the ASAE, vol. 23, nr 2.

[9] Orzechowski J., Michalski R. 1990: *Rozwój i wizja kombajnu zbożowego.* Maszyny i Ciągniki Rolnicze, nr 7-8, s.5-7.

[10] Paulsen M. R., Nave W. R. 1980: *Corn Damage from Conventional and Rotary Combines.* Trans. of the ASAE, vol. 23, nr 5.

[11] Pfahler K. 1986: *Einfluss der Hangeingung auf Verluste und Verfahrenstechnik bei der Getreideernte.* Landtechnik, nr 6.

[12] Sorensen H. H., Maskinradgivning O. O., Deleuran. L. C. 2005: *Pick-up or common cutter platform.* Froavleren, 88(9), s.136-137.

[13] Wrublewski. D., Smith L. G. 1980: *Separation Characteristies of Conventional and Non – Conventional Grain Combines*. Trans of the ASAE, vol. 23, nr 2.

[14] Zbiorowa praca IBMER. 1967. Systemy Maszyn Rolniczych. PWRiL, Warszawa.

Dr hab. inż. Jerzy BIENIEK, prof. nadzw. UP
Prof. dr hab. inż. Jan BANASIAK
Dr inż. Grzegorz POGODA

Zakład Eksploatacji Maszyn Rolniczych
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław
tel. 071-3205721, tel/fax 3482486,
bieniek@imr.ar.wroc.pl
banasiak@imr.ar.wroc.pl
pogoda@imr.ar.wroc.pl

Andrzej KURANC

EKOLOGICZNY ASPEKT ZIMNEGO I GORĄCEGO ROZRUCHU SILNIKA SPALINOWEGO O ZAPŁONIE ISKROWYM

THE ECOLOGICAL ASPECT OF A COLD AND HOT STARTING OF A SPARK IGNITION COMBUSTION ENGINE

Artykuł przedstawia analizę wyników pomiarów emisji wybranych składników spalin w początkowym okresie pracy silnika spalinowego o zapłonie iskrowym wyposażonego w wielowtryskowy, pośredni system zasilania oraz w trójfunkcyjny konwerter katalityczny. Pomiary zostały wykonane dla dwóch stanów cieplnych silnika, tj. dla rozruchu zimnego, gdy silnik i wszystkie jego podzespoły oraz płyny eksploatacyjne posiadały jednakową temperaturę, równą temperaturze otoczenia, a także dla rozruchu gorącego, uzyskiwanego bezpośrednio po mającym miejsce wcześniej okresie pracy silnika w warunkach równowagi cieplnej. Odczyty wyników dokonywane były z krokiem jednosekundowym i mogą być przedstawiane w postaci przebiegów czasowych obrazujących charakter zmian emisji w obserwowanym okresie. Analiza emisji w aspekcie ekologicznym uwzględnia w szczególności porównanie oraz ocenę zimnego i gorącego rozruchu pod względem wielkości emisji szkodliwych składników spalin.

***Słowa kluczowe**: silnik ZI, zimny rozruch, pomiary emisji, emisja spalin, zanieczyszczenie środowiska.*

This article presents analysis of measurement results of combustion gases chosen components, obtained during initial phase of work of a spark ignition combustion engine, equipped with multi-point indirect injection system and three way catalytic converter, work. Measurements were conducted for two temperature states: for a cold start, when engine, all its components and exploitation liquids were of the same, equal to its surroundings, temperature, and for a hot start, which takes place right after proceeding it period of engine operation in conditions of thermal equilibrium. Readings were taken in one second intervals and can be presented as curves in function of time, showing character of emission changes in a given time. Analysis of emissions, with regard to its ecological aspects, embraces comparison and evaluation of the cold and hot start effect on amount of harmful substances emitted.

Keywords: SI engine, cold start, emission measurement, exhaust emission, environment pollution.

1. Introduction

The challenge in recent years and for future is constant reduction of harmful substances emission into environment. Utilization of conventional fuels limits absorption and adaptation capacity of ecosystems in a very fast pace. Unavoidable, as it seems, is a shift of world's economies towards ecological and renewable sources of energy. Care for an environment leads to introduction of new fuels and construction of new and better engines, but also puts emphasis on improvement of exploitation of already used machines. Therefore, there was a research carried out in Department of Power Engineering and Vehicles, Agricultural University in Lublin concerning exhaust gases emission during initial period of internal combustion engines work in both farm machinery and in typical car vehicles.

Usually research concerning start-up is focused mainly on possibilities of cold start in low temperatures, what enables determination of such start characteristics.

However, ecological aspect of cold starts seems to be an interesting matter as well. Review of previous research concerning this subject [1, 4, 6, 10] and previous own studies allow statement that low ambient temperature, which in fact determines temperature of an engine, all his components and liquids, favours increase of pollution emissions during initial phase of engine work.

In order to analyse this phenomenon one must realise how significant is a character of vehicle exploitation, especially frequency of a cold start and conditions in which it takes place. For example exploitation of a vehicle for everyday commuting to work leads to two starts which can be treated as cold. However, it is often that other, additional but short trips occur, during

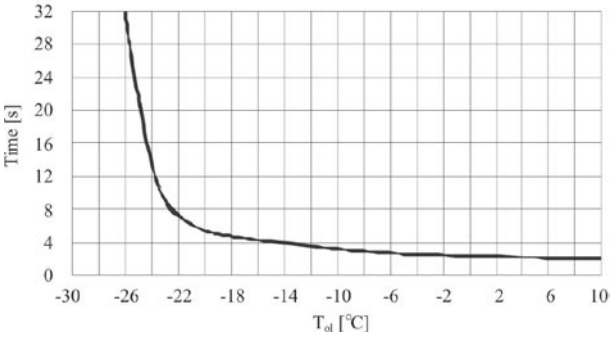


Fig. 1. Petrol feeding SI engine's (899 cm^3) staritng capability [3]

which the engine and exhaust system work most of the time in temperature below optimal, thus, the processes of air-fuel mixture preparation, combustion and conversion of exhaust gases are not effective.

Temperature of exhaust gases emitted by spark ignition combustion engine varies from 300-400°C (573-673 K) for idle speeds of an engine up to approximately 1100°C (1373 K) for full loads. However, during cold starts in ambient temperature below 0°C (273 K), temperature of exhaust system, especially catalytic converter remains to low for its proper functioning. Relying on results of research conducted during driving tests FTP75 and NEDC it was noticed that almost 90 % of hydrocarbons and carbon oxides are emitted while engine operates in sub-optimal temperatures hence catalytic converter does not work.

To fully present the situation it can be assumed that in case of most of the cars equipped with petrol engines, distance of

1,5 – 3 km is enough to heat up the catalytic converter and to start its functioning.

An example of research confirming such thesis might be one during which volumetric participation of CO, CO_2, and O_2 in exhaust gases emitted by petrol engine installed in a vehicle undergoing NEDC test was established, what was presented in fig. 2. Correlation between CO and CO_2 which is clearly visible during the initial 50 seconds of the test, and confirmed by, presented in fig. 3, research conducted on engine working with idle speeds, should be noticed.

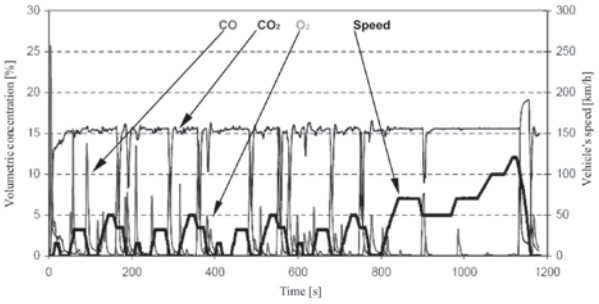


Fig. 2. Volumetric concentration changes for CO, CO_2, O_2 after the catalytic converter in NEDC drive test [5]

2. Engine's starting process in aspect of exhaust gases emission

One of many criteria used for evaluation of an engine usability is its reliability, which can be positioned next to low exploitation costs and low emission of exhaust gases containing harmful substances. Reliability may also be considered as a wider problem, but without a doubt one of its most important parameters is ability to undertake work, what becomes especially important when temperature of surroundings is low (blow 0°C (273 K)).

Low temperature is a source of many negative phenomena occurring during startup. In most cases it causes prolongation of time necessary to start an engine. Internal resistance which increases with increase of, temperature related, density of engine oil, is a very important factor [10]. Calculations based on Newtonian model of liquid prove that losses related to friction between piston and cylinder may range from couple watts to couple kW [3]. Moreover, these aren't the only places responsible for the friction occurrence. Among other, friction in crankshaft bearings must be taken into consideration.

Prolongation of engine starting has also its cause in changes of fuel properties such as loss of liquidity, turbidity and precipitation of aromatic and paraffin hydrocarbons as well as water dissolved in fuel. All that affects negatively fuel flow through a fuel system, fuel spray and hence quality of air-fuel mixture.

Greater resistance of an engine movement and decrease of battery capacity causes also slows crankshaft's rotational speed while starting. That leads to prolongation of compression time in cylinders which, potentially increases losses of pressure caused by blow-byes, and at the same time lowers temperature of the last stage of compression, speed of air flow and degree of it turbulence. All these, together with mentioned above, changes of fuel quality lead to improper preparation of fuel-air mixture and impede its ignition [11].

It shows that engine's starting is an energy consuming process, which requires increased amount of fuel to be injected, to enable absolute increase of smaller drops number, required for a successful start-up. Furthermore, greater amounts of fuel delivered into cylinder, only part of which is properly prepared for combustion, implicate creation of significant amounts of harmful substances, which during initial phase of engine work, cannot be in converted because of low catalytic reactor temperature [1, 4, 8].

3. Methodology

With the end of 1998, the directive 98/69 was accepted in Europe. It introduced measurement of emission in temperatures below 0°C (273 K) into homologation process. It is conducted with dynamometer testbed in climatic chamber enabling measurements in temperature -7°C (266 K). The test comprises of four basic cycles of European NEDC cycle, embracing determination of CO and HC emissions during cold starting and heating of an engine [8]. It should be noticed that such method of carrying out the measurements is expensive, therefore, own research utilized simplified method, not embracing the climate chamber. However, in order to take such an important factor as temperature into account, investigation of exhaust emissions were conducted after prior period of temperature stabilization on exterior stand. Standards concerning starting procedures serve various temperature stabilization periods, from 6 hours (norm FIAT 7.11063/01) up to 12 hours (BN-74/1345-09 and BN-81/1374-10). It is assumed that shorter periods are adequate for car engines characterizing with lower weight and heat capacity [9].

Therefore, the engine (vehicle) had undergone the thermal stabilization process, which lasted not less than 8 hours. It can be assumed that all elements of the engine and of the exhaust system had same temperature as surroundings. Temperature of surroundings and engine oil was determined, both for cold and hot start, prior to each of measurement. Research was conducted with the engine working with idle speed, and directly after its startup. Measurements for hot start were conducted right after completion of cold start ones. Warmed up engine, which temperature stabilized, was stopped and started again in surrounding conditions the same as for the cold start.

Time of measurement duration was chosen so that, engine working with idle speed, reached stable level of particular compounds of exhaust gasses and stable work temperature. Throughout this time, engine oil temperature, crankshaft rotational speed as well as volumetric participation of: carbon oxide (CO), carbon dioxide (CO_2), hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NOX) and oxygen (O_2) in emitted gases were determined and registered.

Exhaust gasses composition was investigated by means of exhaust gasses analyzer Multigas 488 Plus, which is classified to class I analyzers according to OIML (Organization Internationale Metrology Legal). Analysis of carbon dioxide, carbon oxide and hydrocarbons were conducted by means of method based on infrared radiation absorption (NDIR), while content of oxygen and nitrogen oxides was conducted by means of electrochemical method. Characteristic, for this research, is utilization of typical diagnostic analyzer, which software enables registration of results on a personal computer.

Object, on which the research was carried out, was GA-16DE spark ignition combustion engine installed in a vehicle which mileage reached 50 thousand km, in a very good condition, right after periodical check-up. Chosen characteristics of the engine were presented in table 1.

During work of an engine in road conditions, its control system receives signals from various sensors (position and

Tab. 1. Chosen technical data of a GA16DE engine

Number and cylinders layout, valves per cyl.	*4, row, 4*
Engine cubic capacity	*1597 cm³*
Maximal power	*73 kW (100 KM)/6000 min⁻¹*
Maximal torque	*136 Nm/4000 min⁻¹*
Compression ratio	*9,8 : 1*
Camshaft	*DOHC*
Ignition	*SI, distributor*
Feeding system	*multi-point injection system EGI*
Exhaust gas treatment	*three way catalyst*
Fuel	*petrol, EUROSUPER 95*
Lubricant oil	*Mobil 1 (5W/40)*

rotational speed of camshaft, weight of fresh air, coolant temperature, oxygen content in exhaust gasses, throttle position, vehicle speed etc.). Relying on simultaneous comparisons to data in memory, proper duration of injection and moment when signal is sent to ignition coil are chosen. In case of an engine working with idle speed, sudden acceleration and during engine startup and its heating, ignition angle is set according to separate data gathered in memory of a control unit. In these situations readings from lambda sensor are not considered by the control unit, which steers without feedback.

4. Analysis of GA16DE engine exhaust gasses emission

Initial period of the engine work, when maximal rotational speed is reached, should be presented more closely. For cold start temperature of –5°C (268 K), maximal rotational speed is reached after approximately 65 seconds from the start-up. Delay is dependent on temperature in which engine is to be started [6]. It is caused by increased internal resistance of an engine and non optimal process of combustion in low temperatures. For temperatures below +5°C (278 K) an idle air valve is fully open, therefore crankshaft rotational speed, right after starting an engine, greatly depends on inner movement resistance, decreasing with subsequent work cycles. Therefore, initially increase of rotational speed is observed. Gradual increase of the engine temperature and decreasing resistance cause changes of signals sent from control unit and closing idle air valve hence reduction of, delivered to cylinder, amount of air-fuel mixture and decrease of rotational speed.

In order to present the emission differences related to hot and cold start, rough results of measurements were shown in fig. 3 and 4. The figure presents volumetric concentrations of particular compounds (carbon oxide, carbon dioxide, hydrocarbons, nitrogen oxides, engine rotational speed), registered for both cold and hot start in ambient temperature –5°C (268 K).

As it is visible in fig. 3, during a cold start and process of investigated engine heating, volumetric participation of particular compounds have been changing significantly for initial 800 seconds, while later, their values remained constant. When hot engine is started (fig. 4) period of increased emission is ten times shorter. Moreover, observed peak values are several, and in case of CO even a dozen or so, times lower than for a cold start [6].

Period of increased emission noticed for a cold start can be divided into two sub-periods. During first one, emission of investigated compounds is especially high, what results from two appearing simultaneously factors. Initially, cold walls of cylinder, according to its significant heat capacity, absorb heat. Low

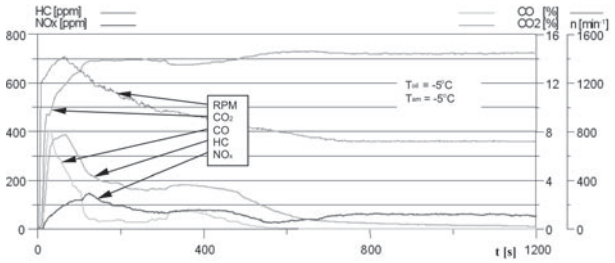


Fig.3. Volumetric concentrations of CO, CO_2, HC, NO_x in fumes & shaft's speed for the cold starting and idling of a GA16DE engine at ambient temperature –5°C

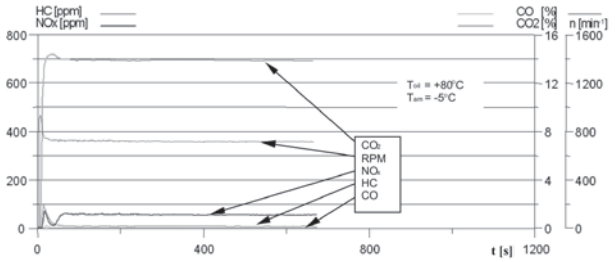


Fig.4. Volumetric concentrations of CO, CO_2, HC, NO_x in fumes & shaft's speed for the hot starting and idling of a GA16DE engine at ambient temperature –5°C

temperature impeding fuel vaporization, as well as wall and gap effects are significantly affecting combustion during this initial period thus conditions are unfavourable for creation of homogeneous air-fuel mixture. Additional factor, resulting from too low temperature, is lack of catalytic converter operation.

With increase of cylinder walls temperature formation of air-fuel mixture becomes more effective and CO emission decreases to 0,7 % and in case of HC level of 200 ppm is reached. Almost simultaneously emission of nitrogen oxides decreases to 70 ppm. It results from a fact that, as engine heats up, less air-fuel mixture is delivered, thus initially higher combustion temperature decreases. Lower energy of CO and HC oxidation reaction activation, when compared to reaction of nitrogen and oxygen, is related to decrease of volume of oxygen, which cold be bonded with nitrogen.

Emission of presented compounds is not yet at its minimal level, which is reached when catalytic converter is heated up to proper work temperature (so called 'light-off') [8], which in case of engine working in road conditions should be reached after approximately 3 minutes [7]. In the research this moment is delayed because engine works with idle speeds and with no external load. After approx. 9 minutes participation of CO and HC lower reaching 0,01 % and 15 ppm respectively. Decrease of nitrogen oxides is also observed than. However, after less than a minute a slight increase of these values, resulting from a change in steering mode, is noticed. Control unit sets parameters as for idle speed with no exterior loads, but for a hot engine. In such conditions signals from lambda sensor are not used, an engine works without feedback combusting air-fuel mixture, which is leaner than required by a catalytic converter ($\lambda \approx 1{,}037$). Thus, incomplete conversion of NO_X takes place. Proportions of particular substances in exhaust gasses (CO, CO_2 and NO_X) result from availability of oxygen and can be easily observed in fig 3.

Figure 4 presents the course of investigated compounds emissions for the hot start taking place in surroundings condi-

tions same as for the cold start. In this case, similar character of emission as in case of the cold start can be observed, except for clear influence of the catalytic converter, which is fully heated and hence do not affect increased emission. On the other hand, starting an engine itself, right after a start, is bonded to a delivery of rich starting mixture into a cylinder and leads to occurrence of local extremes of investigated compounds. In such case distinct becomes a stage when control unit shifts from starting settings to ones for idle speed with no load. As it was mentioned above, it is bonded with an engine working in open system (with no feedback from λ sensor) on slightly leaner mixture. It is expressed through decrease of carbon dioxide participation, which right after startup reaches 14,3 %, and dozen or so seconds later stabilizes on about 13,9 %. Oxygen, not bonded with carbon, reacts with nitrogen thus decrease of air-fuel mixture amount expresses in increase of nitrogen oxides participation (up to 65 ppm after 50th second of measurement) what is related to their incomplete reduction in the catalytic converter.

Registered results of volumetric participation measurements of particular compounds and of velocity and temperature of exhaust gasses enable calculation of weight or volume of emitted gas compounds [6].

Visualization of utilized results is similar, nevertheless, one can notice significantly higher emission during initial stage of the engine work, related to increased fuel consumption and greater rotational speed of the engine, what, when only volumetric participation is taken into consideration, is not clearly visible.

Results representing total emission of chosen compounds of the exhaust gasses, both for the cold and hot start, expressed in volumetric units and corresponding to initial 800 seconds from the engine start, were presented in following figures (fig. 5).

Period of 800 seconds was chosen for this comparison because it was time after which emission levels of particular compounds had stabilized. This period was interesting because of variations in emission and for purpose of this research can be considered as time of the engine heating, however such statement is not entirely precise. After investigated period, emission of exhaust gasses is not different from one observed for the engine which reached fully stable temperature, and limiting only to 800 seconds enables more distinct comparison of the cold and hot start, taking harmful substances into consideration.

Discussion of particular compounds comparison can be started with analysis of carbon oxide emission. Great, not observed in such degree in case of other compounds, difference concerning the hot start can be noticed here.

Reduction of over 99 % of CO, when compared to emission during corresponding period during the cold start, is observed. One cold start in temperature –5°C (268 K) is a source of CO amount equal to CO produced during almost 140 hot starts in same conditions. Putting it in other words, 13 minutes of heating an engine is equivalent to almost 29 hours of an engine, which reached stable work temperature, operation.

Same analogy could be used in order to present hydrocarbons emission (fig. 4) hence differences noticed for them were not that great. Observed during the cold start amount of HC emitted in temperature –5°C (268 K) is almost 18 times greater than during the hot start, for which reduction of emission reaches almost 95 %. For emission of hydrocarbons, 13 minutes of an engine's work after cold start are similar to 3 hours and 50 minutes of a thermally stable (wormed up) engine's operation.

For the cold and hot start in ambient temperature –5°C (268 K) and 800 seconds period of engine heating, while idling, 31,4 and 0,23 dm^3 of CO were emitted respectively.

The fact of the cold start causes increase of nitrogen oxides emission, although it is smaller than in above described, but the difference is significant as well. Emission of NO_X is bonded with a temperature and pressure in a combustion chamber, therefore 'only' partial reduction for the hot start is observed.

For carbon dioxide emission decrease for the

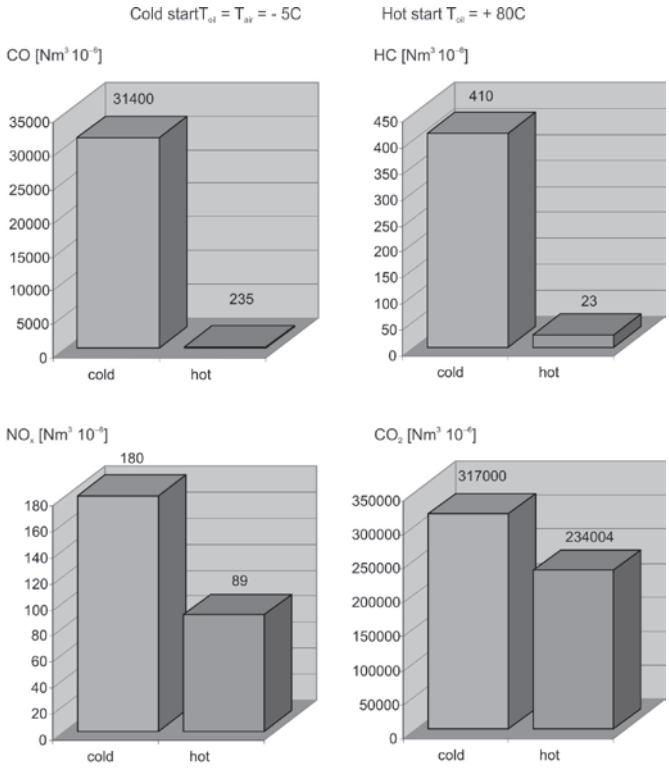


Fig. 5. Total emission of CO, HC, NO_X and CO_2 for the cold starting and worming up of the GA16DE engine and for the hot starting and idling during the same time as worming up (800 seconds) at ambient temperature –5°C

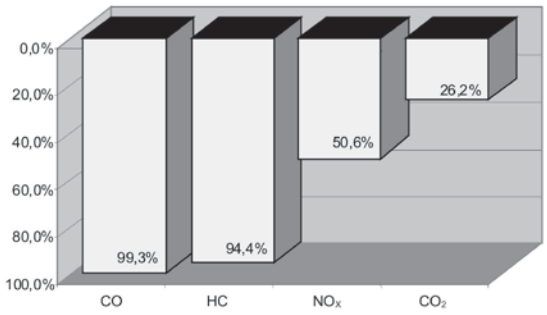


Fig. 6. Reduction ratio of total emission of CO, HC, NO_X and CO_2 for the hot starting and idling of the GA16DE engine compared with the cold starting and worming up (800 seconds) at ambient temperature –5°C

hot start, when compared to the cold one, reaches approx. 26 %. It must be noticed that this value approximately corresponds to a difference in fuel consumption. Absolute difference between the cold and hot start amounts to 83 dm^3 of CO_2 (in normal conditions). Fact of a cold start has also a great importance when CO_2 emission is considered. However, it is hard to say how it affects fuel consumption during everyday exploitation because the research focused only on measurements conducted while engine was working with idle speed. Fuel consumption in corresponding period of time, but during driving, would be several times higher. However, absolute difference resulting form a cold start would be similar. Therefore, relative change in carbon dioxide emission for a driven car is less, when one compare it to observed for an engine's work with idle speed.

5. Summary

Relying on obtained results it can be said that, when CO emission is taken into consideration, it would be better not to turn the engine off for a night, so that there would be no need to heat it up again. Naturally it applies to the engine working with idle speed and to the CO emission.

This type of analyses are undertaken more and more often, although equipment used in such research is greatly specialized, thus utilization of a diagnostic exhaust gases analyzer connected to a personal computer with proper software installed on it should be noticed.

Clearly visible is a fact, that three-way catalytic converters fulfil their function well after they reach optimal work temperature, and that they are not capable of reducing CO and HC emission in the initial stage when the engine heats up. Therefore, there should be a drive towards limiting effect of a cold start on emission. Such goal might be accomplished in many ways, among other, through introduction of additional construction changes, optimizing both process of preparation and combustion of air-fuel mixture as well as start control systems which shortening heat up time, modernization of catalytic systems and modification of fuel. The lubricant oils have also the significant effect on starting an engine. They should not be omitted because they can strongly decrease resistance during starting an engine. It was noticed that using 0W30 oils leads to 50 % lower, when compared to 10W40 oils, wear of engine's elements. Using oils lowering energy needs of a cold started engine decreases fuel consumption, and thence emission of harmful exhaust gasses components.

One of the most interesting and relatively simple solutions, which might be used in a future is crankshaft rotation without fuel delivery, carried out for a few seconds, which would lead to heating up combustion chamber by compressed air. This would enable decrease of CO, HC and PM emission during initial cycles of engine work. Other methods also rely on shortening of engine heating time, however in most cases they are related to increased energy consumption from a car battery or from external sources, what seems not to be a perfect solution.

6. References

[1] Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J.: *Exhaust emission from diesel engine during cold start in ambient temperature conditions*. FISITA World Automotive Congress. Seoul 2000.

[2] Iskra A.: *Opory tarcia tłok-cylinder w temperaturze rozruchu silnika*. Materiały sympozjum pt. Rozruch silników spalinowych. Politechnika Szczecińska, Szczecin 2000.

[3] Janik R., Jakóbiec J.: *Analiza zmian właściwości użytkowych paliw benzynowych w aspekcie poprawy zdolności rozruchowych silników spalinowych ZI w niskich temperaturach*. Eksploatacja silników spalinowych. Zeszyt Nr 16, Wydawnictwo Katedry Eksploatacji Pojazdów Samochodowych. Politechnika Szczecińska, Szczecin 2007.

[4] Jarosiński J.: *Techniki czystego spalania*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 1996.

[5] Kruczyński W., Ambrozik A., Danilczyk W., Kamela W.: *Ocena emisji substancji szkodliwych podczas procesu rozgrzewania się silnika o ZI z deaktywowanym reaktorem katalitycznym*. Eksploatacja silników spalinowych. Zeszyt Nr 16, Wydawnictwo Katedry Eksploatacji Pojazdów Samochodowych. Politechnika Szczecińska, Szczecin 2007.

[6] Kuranc A., Piekarski W.: *Wpływ temperatury pracy nagrzewającego się silnika benzynowego na emisję CO w spalinach*. Eksploatacja silników spalinowych. Zeszyt Nr 7. Wydawnictwo Katedry Eksploatacji Pojazdów Samochodowych. Politechnika Szczecińska, Szczecin 2002.

[7] Kasedorf J.: *Układy wtryskowe i katalizatory*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1998.

[8] Merkisz J., Mazurek St.: *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.

[9] Mysłowski J.: *Przegląd procedur badań rozruchowych.* Materiały sympozjum pt. Rozruch silników spalinowych, Politechnika Szczecińska, Szczecin 1998.

[10] Mysłowski J.: *Rozruch silników z zapłonem samoczynnym*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 1996.

[11] Wasilewski J., Krasowski E.: *Tłokowe silniki spalinowe*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin 2007.

Dr inż. Andrzej KURANC

Katedra Energetyki i Pojazdów,
Akademia Rolnicza w Lublinie
20 –612 Lublin, ul. Głęboka 28
andrzej.kuranc@ar.lublin.pl

Sławomir JUŚCIŃSKI
Małgorzata SZCZEPANIK

PRZEGLĄDY GWARANCYJNE CIĄGNIKÓW ROLNICZYCH JAKO ELEMENT LOGISTYKI DYSTRYBUCJI

GUARANTEE SERVICE OF AGRICULTURAL TRACTORS AS AN ELEMENT OF DISTRIBUTION LOGISTICS

W artykule przedstawiono zagadnienia logistycznej obsługi klienta oraz zdefiniowano płaszczyzny, na których podlega ona realizacji. Wyjaśniono funkcje logistyki i marketingu w obszarze obsługi nabywców wyrobów. Omówiono charakterystyki przeglądów przed sprzedażą (P0) i przeglądów gwarancyjnych (P1-P4). Analiza obejmowała rozkłady ilości usług w latach 2003-2005 przeprowadzonych w Dziale Serwisu przedsiębiorstwa handlowo – usługowego będącego autoryzowanym dystrybutorem ciągników i maszyn rolniczych, m.in. marki JOHN DEERE i ZETOR. Przeprowadzono analizę statystyczną badanych usług serwisowych poprzez wyznaczenie wartości indeksów sezonowych dla badanego okresu. Usługi serwisowe (P0) i (P1-P4) analizowano w aspekcie kalendarza zabiegów agrotechnicznych.

Słowa kluczowe: *logistyka, systemy logistyczne, obsługa serwisowa ciągników i maszyn rolniczych.*

The article presents concepts of logistic service for a client and defines the planes of its realizations. It explains the functions of logistics and marketing in the field of purchaser servicing. The characteristics of pre-sale (PO) and guarantee (P1-P4) service are discussed. The analysis includes service quantity distribution in 2003-2005 in the Service Department of an authorized distributor of tractors and agricultural machines, among others of the JOHN DEERE and ZETOR products. The statistical analysis has been carried out of the tested services by the determination of season index values for the studied period. The services (PO) and (P1-P4) have been analyzed in view of agricultural practices calendar.

Keywords: *logistics, logistic systems, services for tractors and agricultural machines.*

1. Wprowadzenie

Zarządzanie logistyczne w podmiotach gospodarczych pracujących na rzecz rynku rolniczego modelowane jest pod kątem specyficznych potrzeb i oczekiwań producentów żywności. Prowadzona w ostatnich latach restrukturyzacja krajowego sektora produkcji roślinnej i zwierzęcej ma charakter dynamiczny. Finansowe programy operacyjne, preferencyjne kredyty, dopłaty obszarowe oraz dopłaty do poszczególnych produktów, umożliwiają wsparcie ogromnej rzesz rolników, w tym również prowadzących gospodarstwa tradycyjne, a ten segment rynku generuje największy popyt na ciągniki i maszyny rolnicze. Powoduje to unowocześnienie parku maszynowego, a często prowadzi do całkowitej zmiany technologii produkcji.

Skala zachodzących procesów w produkcji rolniczej rodzi potrzebę badań i analizy zjawisk logistycznych zachodzących na krajowym rynku pojazdów i maszyn rolniczych. Wyroby oferowane poprzez dystrybucję selektywną winny otrzymać pełny pakiet usług realizowanych przez firmowe stacje serwisowe. Bardzo ważnym elementem działalności dystrybucyjnej jest połączenie rynku producentów maszyn z rynkiem klientów w rolnictwie. Autoryzowane firmy dealerskie przyjmowane są do sieci dystrybucji danego producenta po zapewnieniu określonych standardów w kontaktach z klientami w ramach własnych systemów organizacyjnych. Postępowanie takie jest konieczne z uwagi na zadania w dziedzinie obsługi technicznej i ekonomicznej nabywców ciągników i maszyn rolniczych.

1. Introduction

Logistic management in economic units working for the agricultural markets is modeled in view of specific needs and expectations of food producers. The restructuring of the national sector of plant and animal production, carried out in recent years, has had a dynamic character. Financial operation programs, preferential credits, area subventions as well as subventions to particular articles allow for a support of a great number of farmers, including those running traditional farms, and this market area generates the greatest demand for tractors and agricultural machines. This gives rise to the modernization of machine stock and often leads to fundamental change in production engineering.

The scale of the processes occurring in agricultural production makes it necessary to study and analyze the logistic phenomena arising on the national market of agricultural vehicles and machines. Articles offered by selective distribution should obtain a full range of services realized by company service points. A crucial element of distribution activity is the fusion of machine producers market with the market of agricultural clients. Authorized dealers are accepted to the distribution network of a given producer after they ensure certain defined standards in contacts with clients within their own organization systems. This procedure is necessary in view of the challenges in the field of technical and economic services for the purchasers of tractors and agricultural machines.

Obecnie produkowane ciągniki rolnicze to pojazdy bardzo zaawansowane pod względem rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych. Nowoczesne jednostki napędowe, wyposażone w mikroprocesorowe układy sterujące i monitorujące parametry pracy, wielozakresowe bezstopniowe przekładnie, systemy hydrauliki, a także kabiny kierowcy z ergonomicznym wyposażeniem i komputerem pokładowym, powodują obowiązek zapewnienia niezawodnej i szybkiej obsługi serwisowej, zarówno gwarancyjnej jak i pogwarancyjnej [14,16].

2. Elementy logistycznej obsługi klienta

Zagadnienie logistycznej obsługi klienta jest pojęciem wielowymiarowym i często jest postrzegane jako szerokie spektrum działań, które firma przy okazji zakupu zapewnia nabywcom jej produktów lub usług. Definiując obsługę klienta z perspektywy czynności, można stwierdzić, że jest to zdolność systemu logistycznego przedsiębiorstwa do zaspokojenia potrzeb klientów pod względem następujących czynników [5,10,11]:

- czasu – długości cyklu dostawy,
- niezawodności – bezpieczeństwa i prawidłowości wykonania zamówienia,
- komunikowania się – dwustronnych partnerskich relacji,
- wygody – elastyczność systemu w dostosowaniu się do potrzeb klientów.

W nowoczesnej strategii działalności przedsiębiorstwa, logistyczna obsługa klienta realizowana jest na trzech płaszczyznach [8,9]:

1) Działania związane z cyklem zamawiania produktu realizowane na poziomie zarządzania i poziomie wykonawczym:
   - przygotowanie firmy do przyjęcia i realizacji zamówienia,
   - kontakt z klientem i obsługa informacyjna,
   - obsługa wewnętrzna zamówienia,
   - kompletacja produktu,
   - dostawa do klienta,
   - obsługa płatności,
   - usługi w zakresie instalacji i niezbędnego szkolenia,
   - serwis gwarancyjny i pogwarancyjny,
   - przyjmowanie ewentualnych reklamacji i zwrotów,
   - wymagania ochrony środowiska (ekologisyka).
2) Zapewnienia przez dostawcę określonych standardów (jakości) obsługi lub dotrzymania poziomu wykonania podstawowych jej elementów.
3) Traktowania obsługi klienta jako głównej filozofii zarządzania i misji firmy.

W procesie zarządzania powyższe zagadnienia winny być traktowane kompleksowo, stąd obsługa klienta jest najważniejszym zadaniem całego systemu logistycznego, a wszystkie działania i procesy logistyczne ukierunkowane są na spełnienie oczekiwań nabywców [12].

Nowoczesne przedsiębiorstwa dbają o swój pozytywny wizerunek, stawiając na wartości i korzyści osiągnięte przez klienta, jako efekt strategicznej działalności logistycznej, a to można ująć w formułę „7R": właściwy produkt, właściwa ilość, właściwa jakość, właściwe miejsce, właściwy czas, właściwy odbiorca, właściwa cena. Należy podkreślić, że w osiąganiu powyższych celów pomaga strategia biznesowa, która główną uwagę skupia na zarządzaniu relacjami z klientem (CRM). Ta-

The currently produced agricultural tractors are really advanced in their constructional and technological solutions. Modern driving units equipped with microprocessor steering systems and monitoring the work parameters, multi-range toothless gears, hydraulic systems as well as the driver's cabins with ergonomic design and on-board computer, make the quick and reliable service assistance really indispensable, both in the guarantee and post-guarantee period [14,16].

2. Elements of a logistic service for a client

The problem of logistic service for a client is a multi-dimensional concept and is often seen as a wide range of activities that a company ensures for purchasers of its articles or services. When we define servicing a client from the perspective of an activity, it is possible to state that it is an ability of a system of a logistic company to satisfy its clients' needs as to the following [5,10,11]:

- time – length of delivery cycle,
- reliability – security and correctness of order realization,
- communication – bilateral partnership,
- convenience - flexibility of the system in adaptation to the needs of a client.

In the modern strategy of a company's work the logistic service of a client is realized in three planes [8,9]:

1) Activities related to the cycle of product ordering realized on the levels of management and execution:
   - preparation of a company for the reception and realization of an order,
   - communication with a client and information service,
   - inner servicing of an order,
   - product completion,
   - delivery to the client,
   - payment service,
   - services concerning installation and necessary training,
   - guarantee and post-guarantee service,
   - reception of potential complaints and returns,
   - environmental requirements (ecology),
2) Provision by the supplier of the defined standards (quality) of service or maintenance of the proper level of its basic elements' realization,
3) Treatment of service for the client as the main management philosophy and mission of the company.

In the management process the above-mentioned issues should be treated in the complex way, so service for the client is the most important task of the whole logistic system and all the activities and logistic processes are directed at the fulfillment of purchasers' expectations [12].

Modern companies take good care of their positive image, investing in the values and benefits provided to the client as the effect of their strategic logistic activity and this can be expressed in the'7P' formula: proper product, proper quantity, proper quality, proper place, proper time, proper receiver, proper price. It should be stressed that business strategy helps to achieve the above-mentioned aims, and its main focus is placed on the management of relationships with the client (CRM). Activities like this enable to maximally reduce the cost of keeping the current clients and winning new ones [7,15].

kie działania umożliwiają minimalizację kosztów utrzymania obecnych i zdobywania nowych klientów [7,15].

Obsługa klientów podczas procesu dystrybucji jest obszarem współdziałania logistyki i marketingu. Głównym zadaniem marketingu jest wygenerowanie popytu poprzez oddziaływanie na rynek, a zadaniem logistyki jest zagwarantowanie, żeby ten popyt był zaspokojony. Obydwie koncepcje zarządzania i kierunki działań powinny się wzajemnie uzupełniać [5,6].

Dla prawidłowego przebiegu procesu obsługi klienta najlepiej, gdy faza dystrybucji jest realizowana w trzech przedziałach czasowych, w których wypełniane są:

- funkcje poprzedzające transakcję,
- funkcje związane z realizacją kupna – sprzedaży wyrobu,
- funkcje potransakcyjne.

Systemy logistyczne zapewniają koncepcyjną i instrumentalną rolę w budowaniu satysfakcji współczesnego klienta. Dostarczają do swojego produktu podstawowego dodatkowo wartości w postaci autoryzowanego i efektywnego serwisu obsługowego [4].

3. Analiza przeglądów przed sprzedażą i przeglądów gwarancyjnych ciągników rolniczych w latach 2003-2005

Podczas trzyletniego okresu badań poddano obserwacjom usługi zrealizowane przez *Dział Serwisu* przedsiębiorstwa będącego autoryzowanym dystrybutorem ciągników i maszyn, m.in. koncernu DEERE & COMPANY oraz fabryki ZETOR. Firma handlowo – usługowa, będąca miejscem badań, pracuje od końca lat 80-tych ubiegłego wieku w sektorze obsługi rolnictwa na terenie województwa lubelskiego.

3.1. Charakterystyka przeglądów przed sprzedażą (P0) w latach 2003-2005

W badanym okresie wykonano ogółem 406 przeglądów przed sprzedażą. Strukturę ilości przeglądów P0 ciągników w latach 2003-2005 przedstawia histogram (rys. 1).

Porównanie struktury ilości usług wykonywanych przed sprzedażą wyrobu w kolejnych trzech latach potwierdziło wspólne cechy, pomimo wpływu różnych warunków zewnętrznych na popyt w analizowanym okresie. Szczególny wpływ na strukturę rozkładu obsługi serwisowej miała akcesja Polski do Unii Europejskiej dnia 01.05.2004 roku. Zauważa się występowanie prawidłowości, polegającej na ścisłej zależności poziomu usług (P0) od ilości sprzedanych nowych ciągników. Zadania logistyczne związane z wykonaniem tego typu prac realizowane były równolegle z pracami *Działu Handlowego*.

W porównywanym okresie dominowała ilość zleceń wykonanych w 2004 roku. Przewyższały one poziom w 2003 roku o 36,6%, a w 2005 roku o 46,1%. W ujęciu okresowym lata 2003 i 2005 potwierdziły najniższy poziom usług w pierwszym kwartale, odpowiednio 18,7% i 17,4% zapotrzebowania rocznego. Szczególnie niski popyt miał miejsce w styczniu i lutym. W miesiącach wiosennych dynamika wzrostu i generowany poziom popytu na usługi zależał od realizacji wiosennych zabiegów agrotechnicznych, z jednoczesnym ukierunkowaniem na strukturę sprzedaży realizowaną przez *Dział Handlowy*. Kolejne lokalne minimum wystąpiło w miesiącach sierpień i wrzesień. Na przestrzeni trzech lat znalazła potwierdzenie tendencja, że maksymalny poziom przeglądów (P0) przypadał na drugi kwartał roku i był równy w badanych latach odpowied-

Client servicing during the distribution process is the area of co-operation between logistics and marketing. The main target of marketing is generation of demand by impact on the market and the task of logistics is to guarantee the satisfaction of that demand. Both the above management concepts and directions of activities should complement one another. [5,6].

For the correct course of the client servicing process the optimum situation is the one

- when the distribution phase is realized in three time intervals, in which there are fulfilled:
- functions preceding the transactions,
- functions connected with the realization of purchase-sale of a product,
- post-transaction functions.

Logistic systems ensure the conceptual and instrumental role in the creation of the modern client's satisfaction. They provide, in addition to their basic product, more values in the shape of an authorized and effective service [4].

3. An analysis of pre-sale and guarantee services of agricultural tractors in 2003-2005

During the three-year period of research observations were made of services realized by the *Service Department* of a company, which was an authorized distributor of tractors and machines of, among others, the concern DEERE&COMPANY and the factory ZETOR. The trade-service company, where the research was conducted, has been active since the late 80-ties of the previous century in the sector of services for agriculture in the Lublin district.

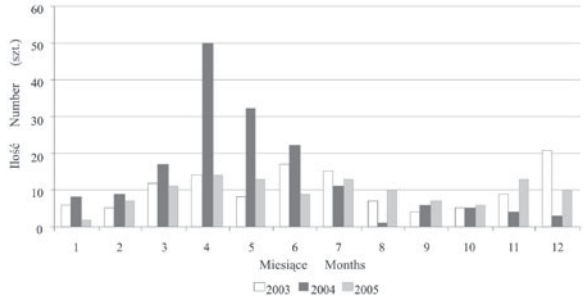
3.1. Characteristics of pre-sale services (P0) in 2003-2005

In the study period altogether 406 pre-sale services were performed. The structure of the number of PO services of tractors in the years 2003-2005 is presented in the histogram (Fig.1).

Comparison of the structure of a product's pre-sale services' number in the consecutive three years confirmed certain common properties, despite an influence of different external factors on the demand in the analyzed period. A particular effect on the structure of service distribution resulted from Poland's accession to the European Union on January1, 2004. One can notice regularities such as a strict dependency of the level of services (PO) on the number of new tractors sold. The logistic tasks connected with the realization of this type of work were done simultaneously with the works of the *Sales Department*.

In the compared period a domination could be seen of the number of orders realized in 2004. They exceeded the level from 2003 by 36. 6%, and that from 2005 by 46.1%. In the period classification the years 2003 and 2005 confirmed the lowest level of services in the first quarter, respectively 18.7% and 17.4% of yearly demand. In January and February the demand was particularly low. In the spring months the dynamics of growth and generated level of demand for services depended on the realization of spring agricultural practices, and was simultaneously directed at the sales structure in the *Sales Department.* The subsequent local minimum occurred in August and September. In the span of the three years the tendency was confirmed that the maximum level of services (PO) fell into the second quarter of the year and was equal in the tested years to,

nio: 31,7%, 61,9% i 31,3%. W trzecim kwartale zapotrzebowanie na przeglądy przed sprzedażą uległo obniżeniu do poziomu: 21,1%, 10,7% i 26,1%. Natomiast ostatni kwartał roku charakteryzował się zmiennym zapotrzebowaniem na przeglądy (P0). W 2003 roku znacząco wzrosły przeglądy do 28,5% po zakończeniu prac polowych. W 2004 roku, w związku z drastyczną redukcją sprzedaży w drugim półroczu, obniżyły się zlecenia do 7,2%, a rok później osiągnęły średni poziom 17,2%. Sumaryczny rozkład ilości przeglądów przed sprzedażą (P0) ciągników rolniczych w latach 2003-2005, prezentuje wykres (rys. 2).



Rys.1. Rozkład ilości przeglądów przed sprzedażą (P0) ciągników rolniczych w latach 2003-2005 [opracowanie własne]

Fig.1. Distribution of pre-sale services number (PO) of agricultural tractors in the years 2003-2005 [the author's own work]

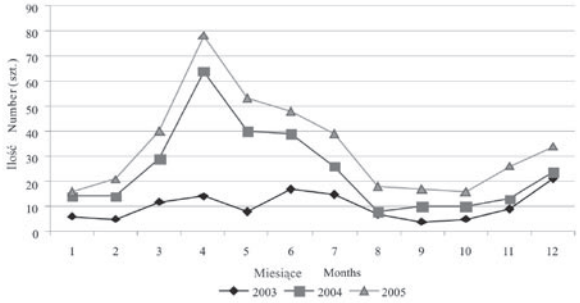
3.2. Charakterystyka przeglądów gwarancyjnych (P1-P4) w latach 2003-2005

W badanym okresie wykonano ogółem 675 przeglądów gwarancyjnych (P1-P4). Zapotrzebowanie na przeglądy gwarancyjne na przestrzeni roku kalendarzowego związane było z poziomem wykorzystania ciągników rolniczych, jako źródła mocy napędowej i energii trakcyjnej w czasie zabiegów agrotechnicznych. Przepracowanie przez ciągniki zalecanego przez producenta poziomu motogodzin generowało zapotrzebowanie na usługi serwisowe. Strukturę ilości usług przeglądów gwarancyjnych w latach 2003-2005 i pogwarancyjnych w 2005 roku ciągników rolniczych, przedstawia histogram (rys. 3).

Analiza porównawcza poziomu usług w badanym okresie dowiodła dominacji ilości zrealizowanych zleceń przeglądów gwarancyjnych w 2004 roku nad pozostałymi latami i tak w porównaniu do 2003 roku było ich więcej o 60,8%, a 2005 rok przewyższały o 129,4%.

Minimalny poziom przeglądów przypadł we wszystkich badanych latach na miesiące styczeń i luty. Pierwsze kwartały z lat 2003-2005 zamknęły się usługami na poziomie równym odpowiednio: 7,8%, 9,5% i 19,6% obrotu rocznego. Początek wiosennych zabiegów agrotechnicznych powodował dynamiczny wzrost popytu na przeglądy. Wysoka ilość takich usług zrealizowana została na przestrzeni drugiego kwartału, z miejscowym maksimum w kwietniu. Uzyskały one poziom 28% w 2003 roku, 31,1% w 2004 roku i 29,4% w 2005 roku. Najwyższą ilość zleceń wykonano w trzecim kwartale roku we wszystkich analizowanych latach i była równa: 35,3%, 36,3% i 28,7%. Miesiącem o szczytowym popycie na zlecenia był sierpień, czyli czas intensywnych prac polowych przy zbiorze zbóż i upraw pożniwnych. W ostatnim kwartale każdego z badanych lat wystąpiła wyraźna redukcja zapotrzebowania na przeglądy gwarancyjne, które obniżyły się odpowiednio do

respectively: 31.7%, 61.9%, 31. 3%. In the third quarter the demand for pre-sale services dropped to the level: 21.1%, 10.7% and 26.1%. However, the last quarter of the year was characterized by a varied demand for services (PO). In 2003 services significantly rose up to 28% after the cultivation works finished. In 2004, due to the drastic reduction of sales in the second half of the year, commissions dropped to 7.2%, and one year later they reached the average level of 17.2%. Total distribution of pre-sale services (PO) of agricultural tractors in the years 2003-2005 is presented in the chart (Fig.2).



Rys.2. Sumaryczny rozkład ilości przeglądów przed sprzedażą (P0) ciągników rolniczych w latach 2003-2005 [opracowanie własne]

Fig.2. Total distribution of pre-sale services (PO) of agricultural tractors in the years 2003-2005 [the author's own work]

3. 2. Characteristics of guarantee services (P1-P4) in 2003-2005

In the tested period the total number of 678 guarantee services (P1-P4) was provided. Demand for guarantee services during a calendar year was related with the intensity of agricultural tractors' exploitation as a source of driving power and traction energy while performing cultivation works. The demand was generated after the tractors had worked for the recommended by the producer number of moto-hours. The histogram (Fig. 3) presents the quantity structure of agricultural tractors' guarantee services in 2003-2005 and post-guarantee ones in 2005.

A comparative analysis of service intensity in the studied period proved the prevalence of the ordered guarantee services realized in 2004 over the other years and thus, in comparison with 2003 there were 60.8% services more and with 2005 – 129.4% more.

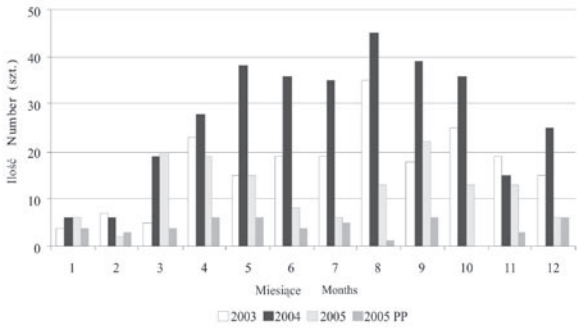
The minimum services intensity occurred in all the tested years in January and February. The first quarters of the years 2003-2005 closed with the services intensity equal to, respectively, 7.8%, 9.5%, and 19.6% of the annual turnover. The start of spring cultivation works resulted in the dynamic growth of demand for services. A large number of such services were realized in the second quarters with the local maximum in April. They reached the level of 28% in 2003, 31.1% in 2004 and 29.4% in 2005. The largest number of commissions was realized in the third quarters of all the analyzed years and it reached, respectively: 35.3%, 36.3%, and 28.7%. The month of the highest demand for services was August – the month of intensive agricultural works at harvest and post-harvest cultivation. The last quarters of those years were characterized by an intensive reduction of demand for guarantee services, which dropped, respectively, to 28.9%, 23.1% and 22.3%.

An additional element in the *Service Department's* work was an appearance of post-guarantee service offer (PP) in 2005,

poziomu: 28,9%, 23,1% i 22,3%.

Dodatkowym elementem w pracy *Działu Serwisu* było pojawienie się usługi przeglądów pogwarancyjnych (PP) w 2005 roku, której podlegały już ciągniki zakupione na początku badanego okresu. Zachodziła ścisła zależność pomiędzy poziomem przeglądów, a natężeniem prac polowych zalecanych w kalendarzu zabiegów agrotechnicznych [2,3].

Sumaryczny rozkład ilości usług przeglądów gwarancyjnych (P1-P4) i pogwarancyjnych (PP) ciągników rolniczych w badanym okresie, prezentuje wykres (rys. 4).



Rys.3. Rozkład ilości usług przeglądów gwarancyjnych (P1-P4) w latach 2003-2005 i przeglądów pogwarancyjnych (PP) w 2005 roku ciągników rolniczych [opracowanie własne]

Fig.3. Distribution of the provided guarantee services (P1-P4) in 2003-2005 and of the post-guarantee services (PP) in 2005 of agricultural tractors [the author's own work]

4. Analiza statystyczna usług serwisowych dla ciągników rolniczych w latach 2003-2005

W przypadku obserwacji miesięcznych szeregi czasowe przyjmują często formę wahań sezonowych. Wahania takie definiowane są jako powtarzające się w kolejnych latach i w tych samych okresach, dość regularne zmiany ilościowe w kształtowaniu się danego zjawiska. Wymuszają one odchylenia od rytmicznego przebiegu procesów gospodarczych i są przyczyną nadmiernego wzrostu kosztów. Stąd tego typu zjawiska mogą powodować zarówno niepełne wykorzystanie potencjału firm, jak również przeciążenie działów handlowych i obsługi w poszczególnych okresach roku.

Przeglądy gwarancyjne zrealizowane w badanym okresie przez stacje serwisowe przedsiębiorstwa, miały charakter periodyczny. W niniejszej pracy rozpatrywano ich podobieństwo i zależność od kalendarza zabiegów agrotechnicznych, które mają przebieg cykliczny i są ściśle związane z określonymi sezonami na przestrzeni roku.

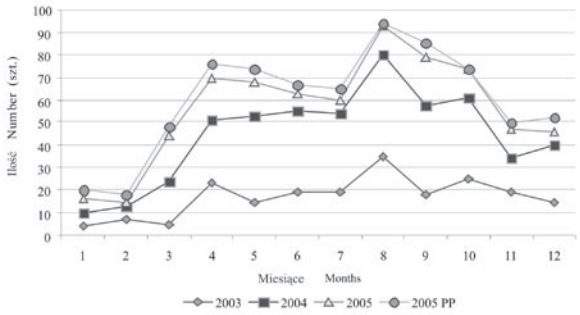
Do analizy badanych zjawisk wykorzystano model multiplikatywny składowych szeregu czasowego, który można przedstawić jako iloczyn czterech składowych. Sezonowość określana jest wówczas za pomocą metody nazywanej „metodą współczynnika do średniej ruchomej" [1,17]:

$$Y_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot I_t \qquad (1)$$

gdzie: Y_t – wartość szeregu, T_t – trend szeregu, S_t – wahania sezonowe, C_t – wahania cykliczne, I_t – wahania przypadkowe.

which involved the tractors purchased at the beginning of the studied period. There was a strict relationship between the services number and the intensity of cultivation works recommended by the calendar of agricultural practices [2,3].

Total distribution of the provided guarantee services (P1-P4) and of the post-guarantee services (PP) of agricultural tractors in the studied period is presented in the chart (Fig.4).



Rys.4. Sumaryczny rozkład ilości usług przeglądów gwarancyjnych (P1-P4) w latach 2003-2005 i przeglądów pogwarancyjnych (PP) w 2005 roku ciągników rolniczych [opracowanie własne]

Fig.4. Total distribution of the provided guarantee services (P1-P4) in the years 2003-2005 and of the post-guarantee services (PP) in 2005 of agricultural tractors [the author's own work]

4. A statistical analysis of services offer for agricultural tractors in 2003-2005

In case of monthly observations the time series often accept the shape of seasonal changes. They are defined as the recurrent in consecutive years and during the same time, fairly regular, quantitative changes in the shaping of a particular phenomenon. They impose deviations from a rhythmical course of economic processes and are the reason of an excessive cost growth. Hence such phenomena can cause both an incomplete exploitation of a company's potential and an overloading of the sales and services departments with work in certain periods of a year.

The guarantee services realized in the tested period by the servicing units of the company were of periodic character. The present article considers their similarity and dependency on the calendar of cultivation works, which are cyclical and closely related to particular seasons of a year.

The multiplicative model of time series components was applied to the analysis of the studied phenomena. It can be presented as the product of four components. Seasonal character is then described by the method called 'the method of coefficient to movable average' [1,17]:

$$Y_t = T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot I_t \qquad (1)$$

where: Y_t - series value, T_t - series trend, S_t - seasonal changes, C_t - cyclical changes, I_t - random changes.

Do obliczeń indeksów sezonowych przyjęto średnią ruchomą opartą na 12 obserwacjach miesięcznych. Wartość szeregu średniej ruchomej (*MA*) pozwoliła na wyodrębnienie z kolejnych oryginalnych obserwacji (Y_t) wahań sezonowych (S_t) i wahań przypadkowych (I_t) zgodnie z zależnością:

$$\frac{Y_t}{MA} = \frac{T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot I_t}{T_t \cdot C_t} = S_t \cdot I_t \qquad (2)$$

Wartość współczynników w poszczególnych miesiącach podlegała uśrednieniu, aby wyeliminować wahania przypadkowe (I_t) i wyodrębnić wahania sezonowe szeregu (S_t). Obliczenie indeksów sezonowych (S_t) następowało w wyniku standaryzacji współczynników miesięcznych, nazywanych surowymi indeksami sezonowości:

$$S_i = \frac{\overline{w}_i \cdot d}{\sum_{i=1}^{d} \overline{w}_i} \cdot 100\% \qquad (3)$$

gdzie: S_i – indeks sezonowy dla *i*-tego podokresu (miesiąca), $\overline{w}_i$ – średnia arytmetyczna wartości współczynnika w kolejnych miesiącach, *d* – liczba miesięcy w roku.

Proces korygowania surowych indeksów sezonowości przeprowadzono w celu ostatecznej eliminacji wahań przypadkowych. Suma otrzymanych indeksów sezonowych miesięcznych w rozpatrywanym okresie rocznym, posiada wówczas wartość:

$$\sum_{i=1}^{12} S_i = 1200 \qquad (4)$$

i określana jest mianem oczyszczonych indeksów sezonowych.

Indeksy sezonowe opisują ilościowo efekty sezonowe w szeregu czasowym dla ilości wykonanych usług. Przy analizie graficznej wpływu wahań sezonowych na rozkład zbioru zmiennych wykorzystano pojęcie poziomu odniesienia (poziomu przeciętnego), który dla indeksów sezonowych w poszczególnych miesiącach ma wartość równą 100% .

4.1. Analiza statystyczna przeglądów przed sprzedażą (PO)

Wartość indeksów sezonowych dla przeglądów przed sprzedażą (P0) ciągników rolniczych zrealizowanych w latach 2003-2005 pokazuje wykres (rys. 5). W wyniku wahań sezonowych w kolejnych pięciu miesiącach badanego okresu, indeksy sezonowe dla przeglądów przed sprzedażą (P0) ciągników rolniczych, przekroczyły poziom odniesienia, który ma wartość 100%. Należy nadmienić, że początek roku charakteryzował się indeksami niższymi o 60% w styczniu i 22,8% w lutym.

Miesiące wiosenne generowały dynamiczny wzrost popytu na ciągniki rolnicze, a poziom ten przekładał się na ilość przeglądów wykonanych przed sprzedażą nowych pojazdów. Najwyższy poziom indeksów sezonowych przypadł na miesiące kwiecień i maj, mające odpowiednio ilość zrealizowanych przeglądów wyższą o 154,4% i 86% od poziomu odniesienia. Druga połowa roku, na przestrzeni czterech miesięcy od sierpnia do listopada, posiadała niski popyt na przeglądy, dla którego indeksy nie przekraczały wartości 50% poziomu odniesienia w analizowanym okresie. Badane usługi przeglądów przed sprzedażą (P0) ciągników rolniczych posiadały zależność pomiędzy wartością indeksów sezonowych, a wiosennymi pracami polowymi [2,3].

To calculate season indexes a movable average was assumed based on 12 monthly observations. The value of movable average series (MA) allowed for a separation from the consecutive original observations (Y_t) of seasonal changes (S_t) and random changes (I_t) according to the dependency:

$$\frac{Y_t}{MA} = \frac{T_t \cdot S_t \cdot C_t \cdot I_t}{T_t \cdot C_t} = S_t \cdot I_t \qquad (2)$$

The values of coefficients in particular months were averaged in order to eliminate random changes (I_t) and to separate seasonal changes of the series (S_t). The calculation of season changes (S_t) followed as a result of the standardization of monthly coefficients, called the raw season indexes:

$$S_i = \frac{\overline{w}_i \cdot d}{\sum_{i=1}^{d} \overline{w}_i} \cdot 100\% \qquad (3)$$

where: S_i - season index for the i-th sub-period (of the month), $\overline{w}_i$ – arithmetical mean of the coefficient's value in consecutive months, d - number of months in a year.

The process of raw season indexes' adjustment was carried out in order to finally eliminate random changes. The total sum of the obtained monthly season indexes in the considered annual period has then the following value:

$$\sum_{i=1}^{12} S_i = 1200 \qquad (4)$$

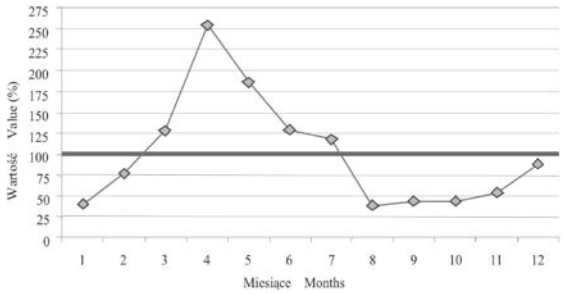
and is called the purified season indexes.

Season indexes describe quantitatively the season effects in time series for the number of the provided services. During a graphical analysis of seasonal changes' influence on the distribution of the set of variables the concept was used of the reference level (average level), which for the season indexes in particular months has the value equal to 100%.

4.1. A statistical analysis of pre-sale services (PO)

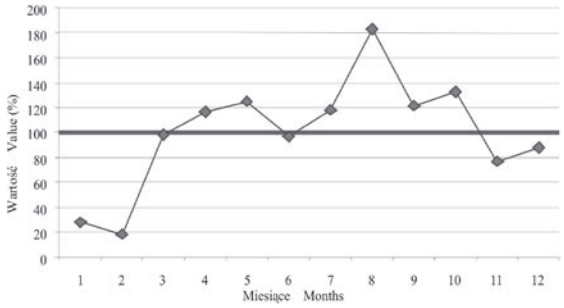
The chart in Fig. 5 presents values of season indexes for pre-sale services (PO) of agricultural tractors performed in 2003-2005. Due to seasonal changes in five consecutive months of the studied period, the season indexes for pre-sale services (PO) of agricultural tractors exceeded the reference level of the value 100%. It should be mentioned that the beginning of the year was characterized by 60% lower indexes in January and 22.8% lower ones in February.

The spring months generated a dynamic growth of demand for agricultural tractors, which resulted in the growing number of the provided pre-sale services of the new vehicles. The highest level of season indexes was recorded in April and May, when the number of the realized services was, respectively, higher by 154.4% and 86% than the reference level. During the second half of the year, in the span of four months from August to November, the demand for services was low – the indexes did not exceed 50% of the reference level. The tested pre-sale services (PO) of agricultural tractors were characterized by the dependency between the season indexes values and spring cultivation works [2,3].



Rys.5. Indeksy sezonowe dla przeglądów przed sprzedażą (P0) ciągników rolniczych w latach 2003-2005 [opracowanie własne]

Fig.5. Season indexes for pre-sale services (PO) of agricultural tractors in 2003 – 2005 [the author's own work]



Rys. 6. Indeksy sezonowe dla przeglądów gwarancyjnych (P1-P4) ciągników rolniczych w latach 2003-2005 [opracowanie własne]

Fig.6. Season indexes for guarantee services (P1-P4) of agricultural tractors in the years 2003 – 2005 [the author's own work]

4.2. Analiza statystyczna przeglądów gwarancyjnych (P1-P4)

Wartość indeksów sezonowych dla przeglądów gwarancyjnych (P1-P4) ciągników rolniczych wykonanych w latach 2003-2005 przedstawia wykres (rys. 6). Z analizy danych wynika, że pierwszy kwartał roku na skutek wahań sezonowych wykazał bardzo niskie zapotrzebowanie na realizację przeglądów gwarancyjnych. W styczniu i lutym osiągnął minimalną wartość, niższą odpowiednio o 72,8% i 82,2% od poziomu odniesienia. W drugim kwartale nastąpił wzrost ilości wykonanych przeglądów gwarancyjnych (P1-P4) ciągników rolniczych o ponad 20% powyżej poziomu odniesienia w związku z zakończeniem wiosennych prac polowych. Najwyższą ilość przeglądów gwarancyjnych wykonano na przestrzeni trzeciego kwartału. W miesiącu sierpniu indeks sezonowy przekroczył o 82,3% poziom odniesienia i było to maksimum w całym badanym okresie. Ostatnie dwa miesiące roku charakteryzował spadek ilości wykonanych zleceń poniżej poziomu przeciętnego.

Realizację przeglądów gwarancyjnych (P1-P4) generowało przepracowanie określonego poziomu motogodzin przez ciągniki rolnicze przy wykonywaniu wiosennych prac polowych siewu zbóż i sadzenia roślin okopowych oraz zbiorze plonów w miesiącach letnich i wykonywaniu zespołu zabiegów pożniwnych [2,3].

5. Podsumowanie

Logistyka dystrybucji, oferując pakiet przeglądów przed sprzedażą i przeglądów gwarancyjnych, dąży do pozyskania zaufania klientów, a jednocześnie zabezpieczenia ich praw do niezawodnej eksploatacji zakupionych produktów. Misją realizowaną przez producenta jest takie wykonanie wyrobów, aby przy prawidłowej eksploatacji i zgodnym z przeznaczeniem użytkowaniem pojazdów i maszyn rolniczych posiadały wysoką sprawność funkcjonalną. Systemy zapewnienia jakości obiektów technicznych, a w tym ciągników i maszyn rolniczych, podczas wytwarzania i montażu powinny zapewnić eliminację błędów materiałowych i wykonawczych, natomiast okres gwarancyjny stanowi uzupełnienie tego procesu. Autoryzowane punkty dealerskie mają za zadanie wykonać naprawę zgodnie z warunkami gwarancji, a producent i dystrybutor partycypują w zaistniałych kosztach. Warunkiem sprawnego funkcjonowania systemu przeglądów jest gruntowna wiedza na temat potrzeb producentów rynku rolniczego.

4.1. A statistical analysis of guarantee services (P1-P4)

The values of season indexes for guarantee services (P1-P4) of agricultural tractors provided in 2003-2005 are presented in the chart (Fig. 6.). The analysis of the data shows that the first quarter of the year, as a result of seasonal changes, showed a very low demand for the realization of guarantee services. In January and February it reached the minimum value, lower respectively by 72.8% and 82.2% than the reference level. The second quarter showed an increase of the number of provided guarantee services (P1-P4) of agricultural tractors by over 20% above the reference level, related to the end of spring cultivation works. The highest number of guarantee services was provided in the third quarter. In August the season index exceeded the reference value by 82.3% and that was the maximum during the whole tested period. The last two months of the year were characterized by a drop in the number of the realized commissions below the average level.

The realization of guarantee services (P1-P4) was generated after the agricultural tractors had worked for the determined number of moto-hours at spring cultivation works such as wheat sowing and root crops planting or crop harvesting in the summer months as well as the completion of post-harvest works [2,3].

5. Conclusion

Distribution logistics, by offering a package of pre-sale and guarantee services, aims at an achievement of their clients' trust as well as at the securing of their right to an efficient exploitation of the purchased products. The target, realized by the producers, is the reliability of their products and their high functional efficiency - if put to proper uses and exploited according to the user's manual. The systems of technical items' quality protection, including agricultural tractors and machines, should ensure the elimination of material and assembly errors during the production phase and the guarantee period helps to complete the process. The authorized dealer units are obliged to provide repairs according to the guarantee contract conditions. Both the producer and distributor participate in the generated costs. An efficient functioning of the service system is dependent on the well-grounded knowledge on the needs of producers for the agricultural market.

Badania rozkładu przeglądów gwarancyjnych ciągników rolniczych, zrealizowanych przez Dział Serwisu w latach 2003-2005, pozwoliły na sformułowanie tezy o istnieniu przyporządkowania poziomu usług przed sprzedażą (P0) do ilości sprzedanych nowych ciągników. Poziom przeglądów gwarancyjnych (P1-P4) w poszczególnych miesiącach zależał od ilości prac polowych zalecanych w kalendarzu zabiegów agrotechnicznych.

Przeprowadzona analiza statystyczna, w oparciu o obliczoną wartość indeksów sezonowych dla trzyletniego okresu badań, potwierdziła zależność poziomu popytu na usługi przeglądów ciągników rolniczych od rozkładu prac polowych realizowanych zgodnie z sezonami zabiegów agrotechnicznych.

Research on the distribution of guarantee services of agricultural tractors in 2003-005 allowed for an assumption about the relationship of pre-sale services (PO) level to the number of the purchased new tractors. The level of guarantee services (P1-P4) in particular months depended on the number of carried out cultivation works, recommended by the calendar of agricultural practices.

The conducted statistical analysis, based on the calculated values of season indexes for the three-year period of study, confirmed the dependency of the demand level for agricultural tractors servicing on the distribution of cultivation works realized according to agricultural seasons.

6. References

[1] Aczel, A.D.: *Complete Business Statistics*, 4th ed., Richard D. Irwin/McGraw-Hill, Boston 1999.
[2] *Agrotechnika roślin uprawnych*, Praca zbiorowa pod redakcją St. Karczmarczyka, Wyd. Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin 2005.
[3] *Agrotechnologia*, Praca zbiorowa pod redakcją J. Banasiaka, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa – Wrocław 1999.
[4] Chaberek M.: *Makro- i mikroekonomiczne aspekty wsparcia logistycznego*, Wyd. Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2005.
[5] Coyle J.J., Bardi E.J., Langley C.J.: *The Management of Business Logistics*, West Publishing Company, New York 1996.
[6] Dembińska – Cyran I.: *Zarządzanie logistyczne w warunkach polskich*, Wyd. Difin, Warszawa 2004.
[7] Gołembska E.: *Kompendium wiedzy o logistyce*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa – Poznań 2004.
[8] Kempny D.: *Logistyczna obsługa klienta*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
[9] Krawczyk S.: *Zarządzanie procesami logistycznymi*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
[10] *Logistyka dystrybucji*, Praca zbiorowa pod redakcją K. Rutkowskiego, Wyd. Difin, Warszawa 2002.
[11] Lovelock Ch., Wright L.: *Principles of Service Marketing and Management*, Prentice Hall Upper Saddle River, New York 1999.
[12] Mentzer, J.T., Flint, D.J., Hult G.T.M.: *Logistics service quality as a segment-customized process*, Journal of Marketing, Volume 65, Issue 4, 2001, pp. 82–104.
[13] Piekarski W.: *Analiza oddziaływania agregatów ciągnikowych na środowisko przyrodnicze*, Rozprawa habilitacyjna, Wyd. Akademia Rolnicza, Lublin 1997.
[14] Płocki K.: *Serwis ciągników*, Rolniczy Przegląd Techniczny, str. 6-8, nr 4/2005.
[15] Pokusa T.: *Logistyczna obsługa i lojalność klienta jako orientacje rynkowe*, Wyd. Instytut Śląski, Opole 2001.
[16] Skrobacki A., Ekielski A.: *Pojazdy i ciągniki rolnicze*, Wyd. Wieś Jutra, Warszawa 2006.
[17] Sobczyk M.: *Statystyka – aspekty praktyczne i teoretyczne*, Wyd. UMCS, Lublin 2006.
[18] www.johndeere.pl
[19] www.zetor.pl

Dr inż. Sławomir JUŚCIŃSKI

Akademia Rolnicza w Lublinie
Wydział Inżynierii Produkcji
Katedra Energetyki i Pojazdów
ul. Głęboka 28
20-612 Lublin
e-mail: slawomir.juscinski@ar.lublin.pl

Dr Małgorzata SZCZEPANIK

Akademia Rolnicza w Lublinie
Wydział Inżynierii Produkcji
Katedra Zastosowań Matematyki
ul. Akademicka 13
20-950 Lublin
e-mail: malgorzata.szczepanik@ar.lublin.pl

Ľubomír ŠOOŠ

SPINDLE – SYSTEM SZTYWNOŚCI WRZECIONA SBL 500 CNC

SPINDLE - HOUSING SYSTEM SBL 500 CNC

Obrotowy wrzeciennik (SH) obrabiarek odgrywa główną rolę w uzyskiwaniu wymaganej dokładności eksploatacyjnej i wydajności produkcji. Radialne łożyska kulkowe z kątowym kontaktem są obecnie coraz częściej stosowane w oprzyrządowaniu. Analiza systemu sztywności wrzeciennika - Spindle (SHS) jest bardzo złożona i skomplikowana. Kompleksowa analiza wymaga głębokiej wiedzy z matematyki, mechaniki, części maszyn, elastochydrodynamiki, techniki ruchu obrotowego i umiejętności programowania. Moduł programowy (SW) - Headstock Spindle - został zweryfikowany na Wydziale Inżynierii Produkcji przy projektowaniu precyzyjnego wrzeciona tokarki SBL 500 CNC.

***Słowa kluczowe**: Wrzeciennik, system sztywności wrzeciona, łożyska kulkowe z kątowym kontaktem, przyrządy maszyn, tokarka, analiza statyczna, analiza dynamiczna, modele matematyczne, dokładność, wydajność produkcji.*

Spindle Headstock (SH) of the machine tools play a major role in the fulfilling the required working accuracy and productivity. Radial ball bearings with angular contact are still more and more applied in an arrangement. The Spindle - housing system (SHS) complex analysis is very difficult and complicate. The analysis requires deep knowledge from mathematic, mechanics, machine parts, elastohydrodynamic theory, rolling housing technique and also programming skill. Software package (SW) - Spindle Headstock, Rel. 2.8 - carried out at the Department of Production Engineering has been applied for designing of the precise accuracy running spindle onto the lathe SBL 500 CNC (Fig. 6).

***Keywords:** Headstock, spindle-housing system, ball bearings with angular contact, machine tools, lathe, static analysis, dynamic analysis, mathematical models, accuracy, productivity.*

1. Introduction

The quality, quantity and effectiveness of production volume enhancing are considerably depending on technical and technological parameters of machine tools. The headstock plays the most important role in force flow of machine tool with principal rotating motion.

The headstock like tool or workpiece carrier has direct relationship to static and dynamic properties of cutting process, [1]. The *spindle-housing system (SHS)* stiffness has influence to surface quality, profile and dimension accuracy of production parts. It also has direct relationship to machine tool productivity, because ultimate cut width characterized by initialization of self-exciting vibration is directly proportional to machine tool stiffness and damping [4, 6].

The SHS complex analysis is very difficult and complicate. The analysis requires deep knowledge from mathematic, mechanics, machine parts, elastohydrodynamic theory, rolling housing technique and also programming skill [3].

2. Theoretical research

The main goal of theoretical research is to gain informations about headstock working conditions loaded by forces, which with their values and configuration are modeling real cutting forces. Creation of the mathematical models, which suitable define SHS static and dynamic characteristics was affected in past by computing technique level [5]. The most real judging of given housing already in construction design phase has increasing important in present time. It will reflect as in design quality as in economical cost of new machine developing. From given reasons, the requestion to carry out mathematical model arose, which as the most real as possible can describe SHS working properties. The parameters, which are not in known models or which are taking into consideration only partially, are implemented to calculation.

In the mathematical models creating, modular architecture Fig.1 is applicated [6]. It enables to independently create mathematical models relating to:

- single mounting elements - bearing nodes, spindle noses, clamping elements, supporting elements,
- complete spindle - housing system - stiffness, durability, running accuracy.

2.1. Static analysis

The static analysis describes the motionless spindle (n = 0 min^{-1}) and with constant loading forces. Many static mathematical models were created and factors which are usually taken into analysis contain equation (1). Resulting static deflection of the front-end spindle can be explicitly described [6] by multiparametrical equation in shape:

$$y_F = f[E, F_r, F_a, F_{Z1}\,(F_{Z2}), a, L, (b...), \rho, C_B, C_A, D1, V1, D2, V2] \qquad (1)$$

and depends especially on:

- spindle material and dimensions (*E, D1, D2, V1, V2*),
- loading forces position, orientation and magnitude (F_r, F_a, $F_{Z1,}$ (F_{Z2}), r_F, b),
- bearing arrangement configuration and stiffness (C_A, C_B),
- spindle and bearing arrangement space configuration (*L, a*),
- spindle box construction.

Resulting static deflection of the front-end spindle:

$$y_r = y_{Mo} + y_L + y_t + y_{Fa} \quad [\mu m] \qquad (2)$$

is superposition of deflections from: bending moments (y_{Mo}), bearing stiffness (y_L), transversal forces (y_t), axial force (y_{Fa}).

Then radial stiffness and axial stiffness SHS equal to:

$$C_r = F_r/y_r \qquad C_a = F_a/y_a \quad [N/\mu m] \qquad (3)$$

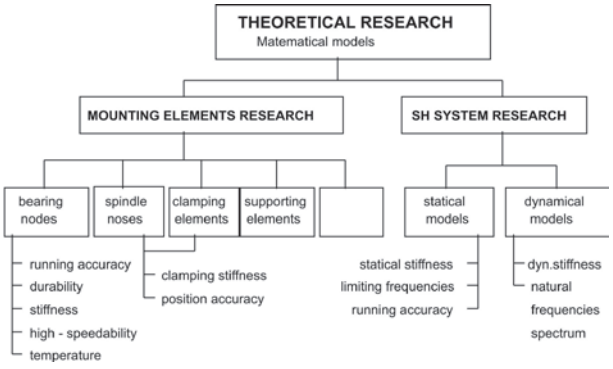


Fig.1. Modular structure of theoretical research [6]

The method of initial parameters in matrix shape - the method of transfer matrix was applicated in mathematical model [9] created for static parameters calculation. The main method advantage in computer form is possibility to repeat single calculating algorithms in matrix shape. Software package (SW) - Spindle Headstock, Rel. 2.8 - carried out at the Department of Production Engineering Faculty of Mechanical Engineering STU Bratislava [3].

The TRENS a. s. Trenčín as a Slovak manufacturer of machine tools preferably - lathes, offers a new generation of the lathes implementing a number of technological advances in designing, production and control systems [2]. Department of Production Engineering has been applied for designing of the precise accuracy running spindle on to the lathe SBL 500 CNC (Fig. 2a) [7,8]. All construction data and results of measurements were gained from producer.

frequencies are not in the resonant zone. In that case vibration amplitude of spindle could be considerably increased and spindle total stiffness will decrease to unsuitable values.

The most frequent determining dynamic characteristics of SHS are:

- spectrum of natural (resonant) frequencies (usually the first three frequencies),
- amplitudes of vibrations along spindle in dependence from revolving frequencies of spindle,
- resonant amplitudes of vibrations,
- dynamic stiffness of the spindle (at given revolving frequency of the spindle).

The SHS dynamic properties (dynamic deflection of spindle front-end, natural frequencies spectrum) [5], are effected with factors shown in Fig.4.

2.3. Mathematical models for determining of spindle dynamic properties

Nowadays, only one reliable manner how to find dynamic properties is experimental measurement and therefore is a very useful to create reliable mathematical models for determining of SHS dynamic properties.

In compliance with spindle mass reduction mathematical models are dividing into:

1) discrete with 1^{o} , 2^{o} and N^{o} degrees of freedom,
2) continuous.

The discrete mathematical model coming out from revolving vibration of spindles with N^{o} degrees of freedom is worked out in [1, 5] . This mathematical model for spindle dynamic

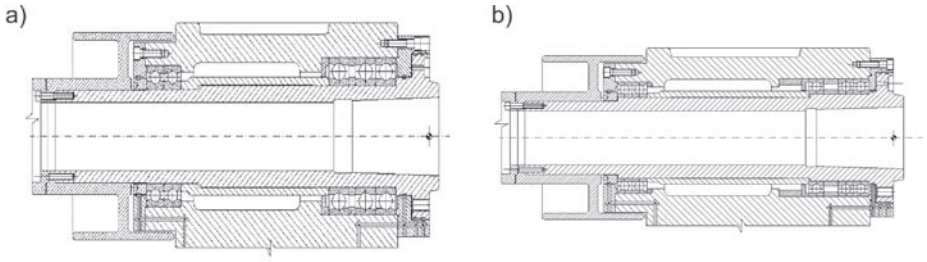


Fig. 2. Headstock of SBL 500, a) original design, b) optimalized design

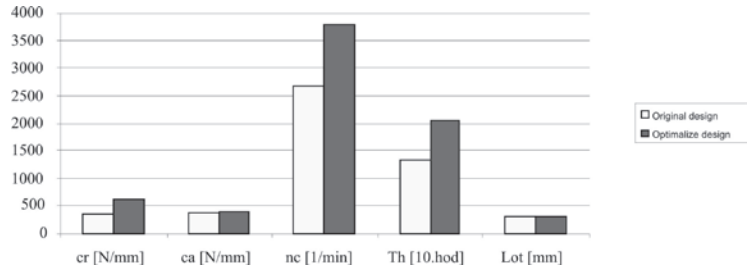


Fig.3 Headstock of SBL 500

2.2. Dynamic analysis

While static analysis of *spindle - housing system* describes spindle behavior in quiet, dynamic analysis describes spindle in real running and so real state is represented better. The dynamic characteristic is very important to know, especially at high-speed headstocks. It must be ensured that working revolving

properties calculating enables to take into calculation effects from rotating parts materials and dimensions, bearing arrangements stiffness and radial forces from cutting process and drive acting. The calculated results are spectrum of natural frequencies and dynamic deflection of spindle under discrete masses.

The deflection of spindle y_i loaded by concentrated forces in i-th point can be expressed in shape

Tab. 1. Results of static analysis Headstock SBL

	Unit	Value	Notice [%]
Total axial stiffness C_a	[N/µmm]	372	
Total radial stiffness C_r	[N/µmm]	351	
Total spindle displacement y_r	[µmm]	18,45	
forces composed of displacement resulted by			
- the bending moments y_{Mo}	[µmm]	9,79	53,0
- the bearing compliance y_L	[µmm]	6,16	33,5
- the cross-acting y_t	[µmm]	2,49	13,5
Limited frequency of rotation n_c	[min^{-1}]	2695	unfit
Life-time T_h	[hour]	5175	unfit
Distance between supports L	[mm]	327	

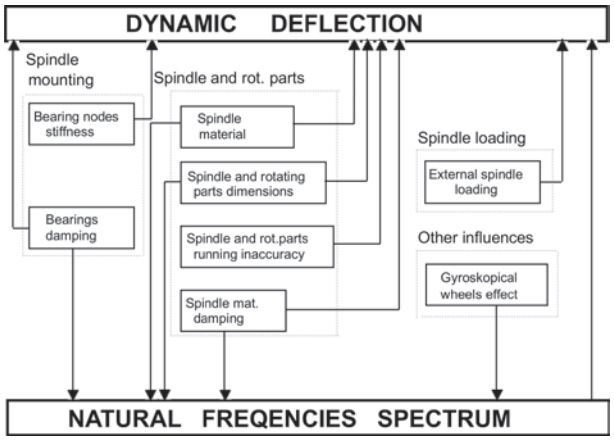


Fig. 4. Factors effected of SHS dynamic properties

$$y_i = a_{i1} F_{1o} + a_{i2} F_{2o} + \ldots + a_{ik} F_{ko} + \ldots + a_{in} F_{no} \quad [\text{m}] \quad (4)$$

where a_{ik} (m/N) - Maxwell's effecting factor and every mass is acting on spindle by centrifugal force

$$F_{io} = m_i y_i \omega^2 \quad [\text{N}] \quad (5)$$

where: m_i (kg) - mass of *i*-th discrete segment.

The application of given equations and their modifying for n masses, will create system of homogenical algebraic equations and solving of determinant D of this equations system are angular natural frequencies of transversal vibrations of the spindle ω_i (rads^{-1}).

The calculating procedure for determining of dynamic deflections y_i ,if spindle and rotating parts dimensions, bearing arrangements stiffness and radial external forces are taking to consideration, is very similar to previous. These calculating procedures are described in [5].

fness at individual revolving frequencies of the spindle. Given mathematical model was verified on few spindles with programs which enable to calculate natural frequencies (COSMOS) and results were in good complianance [5].

The verified spindle in compliance with [7] was reduced to three-masses discrete system. The dynamic mathematical model described above was used for natural frequencies and dynamic deflections calculations. Tab.2 gives comparing of calculated and experimental values.

Tab.2 Experimental and calculated values of frequencies

Frequency	Calculated	Experimental	Difference
f_1 (Hz)	1 201	940	+27,8 %
f_2 (Hz)	1 727	1610	+7,3 %
f_3 (Hz)	10 605	-	-

The results can be considered as correct, in spite of relatively large difference of values (28 %) at the first frequency. It is caused by the fact, that dimensions of supplementary rotating parts was not in disposition. If these parts will take into calculation, values of theoretical natural frequencies will drop down.

The example of graphic output of calculated values is in fig. 5 [7]. The chart shows dynamic deflection of the spindle reduced to three - masses, in dependence on revolving frequency under separated masses. The first two resonant frequencies of solving spindle are marked in the chart.

3. Conclusion

One of main requestions at new spindle - housing system design is possibility of quick application in practice. The created methodologies of calculation must be verified and models must be digitalized to suitable user shape. These models must really illustrate characteristics of spindle - housing system.

The calculated results of mentioned application programme

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 - a_{11}\, m_1\, \omega^2 & - a_{12}\, m_2\, \omega^2 & \ldots & - a_{1n}\, m_n\, \omega^2 \\ - a_{21}\, m_1\, \omega^2 & 1 - a_{22}\, m_2\, \omega^2 & \ldots & - a_{2n}\, m_n\, \omega^2 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ - a_{n1}\, m_1\, \omega^2 & - a_{n2}\, m_2\, \omega^2 & \ldots & 1 - a_{nn}\, m_n\, \omega^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (6)$$

It is quite easy to transform this mathematical model to computer comprehensive form and calculation of dynamic characteristics is quickly.

The most valuable is possibility to calculate dynamic stif-

(Headstock Version 2.8) were verified with other real results of headstocks fy. TOS Lipník, TOS Kuřim and TOS Lipník.

At the designing procedures there had been changed the only one variable or parameter and the optimal mode has been

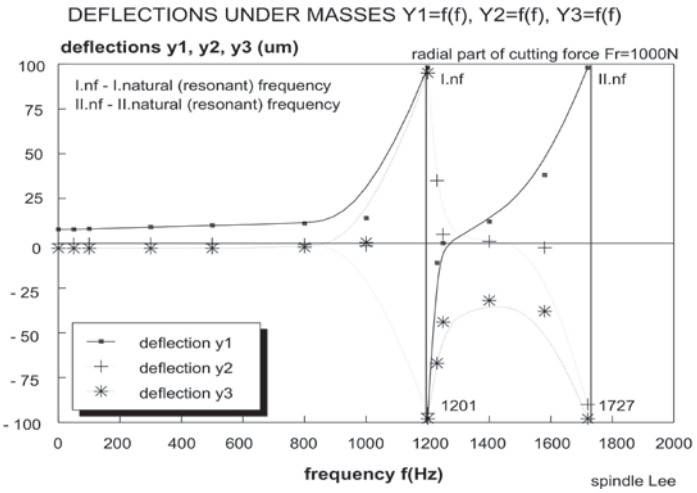


Fig.5. Dynamic deflections of the spindle in compliance with [5]

Fig. 6 CNC Lathe SBL 500

found out. The results calculated of static analysis Headstock SBL are presented in Tab. 1 and Fig 3. The results dynamic analysis is presented in Tab. 2 and Fig 5. The calculated results were verified with experimental measuring. The different between measured and calculated values is relatively small.

There is no doubt that the re-design has been successful story and proved high efficiency to find out the optimal mode. The more detailed information can be read in [7,8] and seen in the application in the machine tool made in the TRENS Inc., The Lathes SBL has been presented at the Exhibition in Nitra 2000 and at the Exhibition in Düseldorf.

The convergence of measured and calculated values gives good presumptions for wider application of created programme product in practise.

4. References

[1] DEMEČ, P.: *Presnosť obrábacích strojov a jej matematické modelovanie*. - 1. vyd. - Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2001. - 146 s. - ISBN 80-7099-620-X.
[2] DEMEČ, P.: *Výrobná technika*. - 1. vyd. - Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2005. - 250 s. - (Edícia študijnej literatúry). - ISBN 80-8073-426-7.
[3] JAVORČÍK, L. - ŠOOŠ, Ľ. - ZON, J.: *Applied software technology for designing a bearing housing fitted with rolling bearing arrangemant*. in.:"ICED 91". Zurich, August, 1991. s. 1228-1233.
[4] LEE, D. - SIN, H. - SUN, N.: *Manufacturing of a Graphite Epoxy Composite Spindle for a Machine Tool*. CIRP, 34, 1985, number 1., pp. 365 -369.
[5] ŠARKAN, P. - ŠOOŠ, Ľ.: *The Influence of Parameters on Operation Charakteristics of Spindle - Rearings System*. In.: Microcad "96. [Medzinárodná konferencia], Miskolc-Egyetemváros 29. 2. 1996, s. 27-30.
[6] ŠOOŠ, Ľ.: *Research of Spindle - Housing System*. (In Slovak). [Habitation work]. SjF STU Bratislava, 2003, pp. 145.
[7] ŠOOŠ, Ľ.- JAVORČÍK, L. – KORGO, S.: *Expertné posúdenie pracovných charakteristík uloženia vretena CNC sústruhu SBL 500*. HZ 43/99 - realizované pre TRENS, a.s. Trenčín. 143 s.
[8] ŠOOŠ, Ľ.- JAVORČÍK, L. – KOLLÁTH, Ľ.: *Design of Excellence – Applied Software for a Spindle Headstock*. In. [International Kongress] "7th International Conference on Flexible Technologies – MMA 2000", Novi Sad, 28. 6. – 3. 7. 2000, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodstvo Mašinstvo, Novi Sad, Jugoslavija, s. 71 - 75.
[9] VADOVIČ, F.: *Vybrané state z pružnosti. Tuhosť a pevnosť výrobných strojov*. [Skriptum]. Slovenská vysoká škola technická, Strojnícka fakulta, 1986, 235 s.

Assoc. prof. Ľubomír ŠOOŠ, Ph.D.
Institute of Production Systems
Environmental Engineering a Quality of Production
Faculty of Mechanical Engineering
Slovak University of Technology in Bratislava
Námestie Slobody 17, 812 31 Bratislava
Slovak Rrepublic
tel.:+421257296543,
e-mail: lubomir.soos@stuba.sk

EUROPEAN FEDERATION OF NATIONAL MAINTENANCE SOCIETIES vzw

Improve your Competitiveness and Effectiveness

– join your local Maintenance Society

Professional Maintenance is the Key Success Factor for Every Company and Society

What is the Task of Maintenance? – it's Significance in Society?

In Europe every year, thousands of billions of Euros are invested in new machines, factories, roads, etc. It is the task of the maintenance people to take good care of these huge investments – to be responsible for ensuring that they provide the service they were designing for, at best possible profits for the investors.

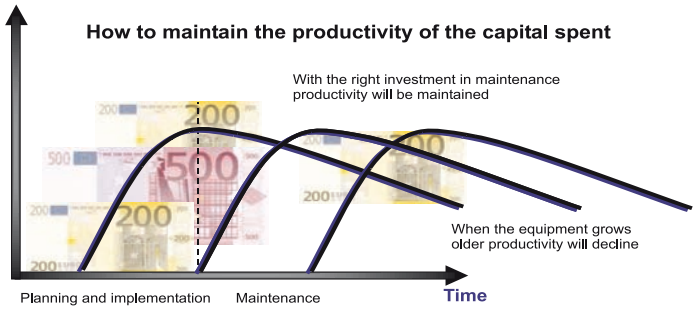
The duty of maintenance is not only to repair and maintain the machines. A professional maintenance person will keep the machines running safely and reliable. He or she will also try continually to improve the efficiency of the equipment.

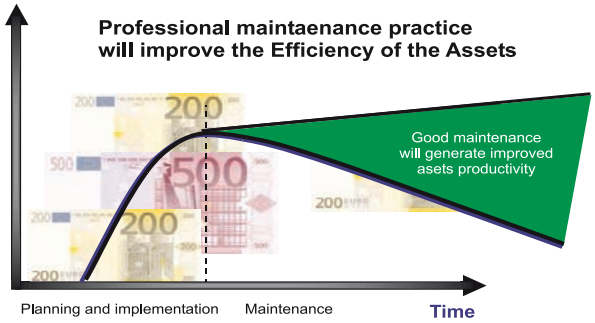
The main task of maintenance is to make sure that the investments made will generate the best possible profit during the entire lifetime of the machine.

Improving the availability, reliability, safety, and return on life cycle cost are the foundation of profitability and competitiveness.

The better the Industry's competitiveness and the community's ability to provide services, the more the assets' efficiencies are optimised.

A professional maintenance person will keep the machines running safely and reliable. He will also constantly try to improve the efficiency of the equipment.



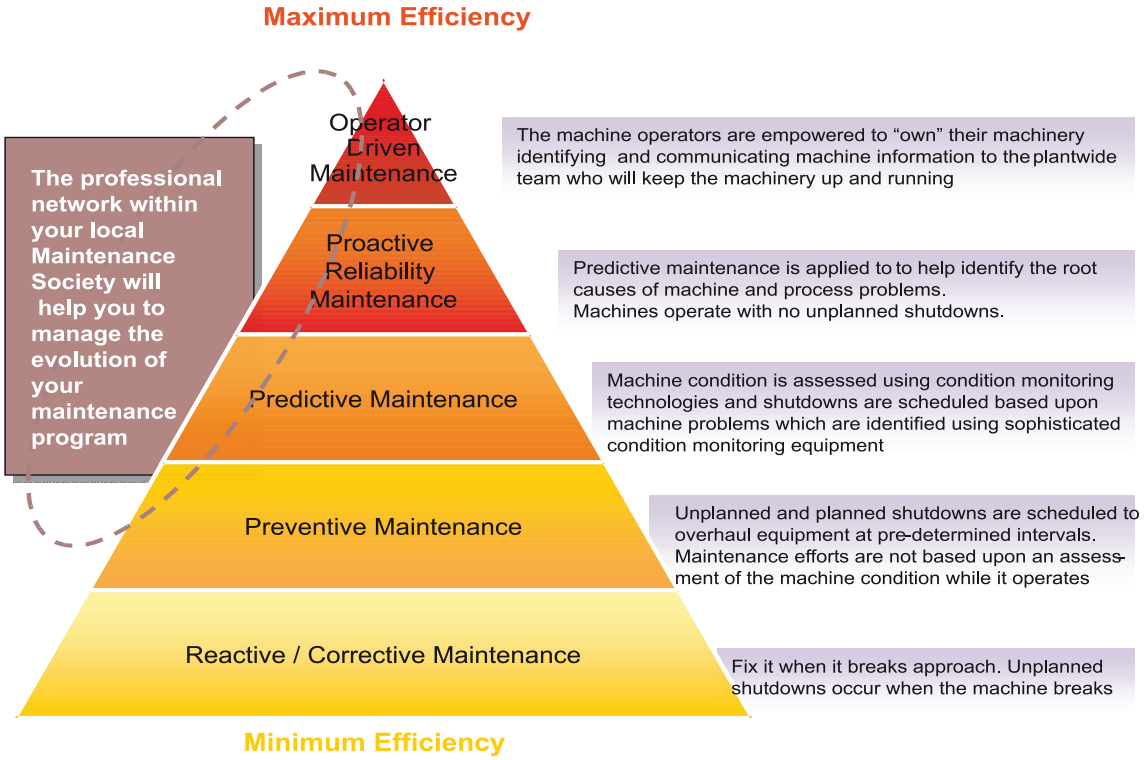


The Business of Maintenance is undergoing a complete transformation

In the majority of European countries fewer investments are being made in new factories and equipment, whilst many more investments are targeted to Asia and other low cost countries. The European companies must, if they want to maintain their productivity and competitiveness, keep the old machines and factories running at maximum capacity. Hence, in the future the role of maintenance and its importance will be emphasized significantly.

Concurrently, due to new and fast recurring technical development, the requirements of knowledge and know-how will increase with a speed which is difficult to manage. The traditional maintenance man, (who in the past only lubricated the bearings and tightened the bolts) has become a real maintenance specialist. He must be continuously up to date and able to manage new working methods, operation processes, new computer programs and equipment such as for condition monitoring, etc. Modern professional maintenance requires constant learning and hard study.

It is also a fact that the maintenance business is carried out today by more elderly people. Many companies are saving costs by not employing new maintenance staff. Valuable maintenance know-how is being lost on retirement of those elderly people.



The Reactive - "lets fix it when it beaks" Maintenance, is still the most common practice in most countries. Is there room for improvements in your maintenance operation?

In most countries there is also a shortage of professional maintenance staff. Unfortunately, youngsters do not see the challenges offered by the maintenance business. There is not enough "glamour" in the business.

The Maintenance Business is developing with speed

In the past it was common practice to wait for equipment to fail, and then repair it – known today as "fire-fighting". Management regarded maintenance as a necessary cost of doing business.

Luckily this standard way of working and thinking is changing. Fast developmentas are taking place in the Maintenance Business.

Today the goal is to optimize plant efficiency by shifting as much as possible from traditional corrective activities to a fully integrated, proactive approach to improving reliability. However, several studies made in different European countries show that corrective maintenance is still the most common practice, 35 to 50 % of the operation being still within the "lets fix it when it breaks" approach.

The chart above illustrates the range of different maintenance practices.

There is a need for Networking in Maintenance

The importance of maintenance, as well as the requirements of maintenance knowledge, will increase with a speed that nobody will be capable of managing alone. To ensure that the people, organizations, and companies, will benefit from the best know-how and competitiveness that the maintenance knowledge can bring, the existing barriers must be broken down. Human beings, as well as the companies, must learn to build up networks, co-operate and make use of the knowledge of others.

Modern professional maintenance requires constant learning and hard study.

European National Maintenance Societies

In every European country, there exists a National Maintenance Society which has been established for professional people and companies associated with the business of maintenance. Within these maintenance societies, professors, scientists, consultants, maintenance managers and professional technicians, as well as students, will meet and discuss common maintenance problems and experiences with the intention of developing and improving the know-how and image of the maintenance business in the country. Networking, learning, benchmarking, training, and the distribution of information are the main tasks of these societies.

Improve your Competitiveness

– join your local Maintenance Society

The mission of the Maintenance Societies is to network people and companies which are operating within the maintenance business. As a member of a Maintenance Society you will obtain information from companies as well as maintenance professionals on how they make use of and implement maintenance services for improving the competitiveness of their business.
Come on and improve your competence in maintenance. You will soon be in a position to use your maintenance expertise as a competing factor to the benefit of both your company and yourself.

By joining the Maintenance Society you will get the following benefits:

- You will join the network – have co-operation with the most professional maintenance experts
- You will be among the first to learn about the new research and development findings in maintenance business and technology advancements
- You may participate in discussions on how to manage safety, health and environmental issues. Reflecting on practices and procedures in view of new legislation and standards
- You may participate on benchmarking projects and learn how the "best in class" companies are running their maintenance operations
- You will have the opportunity to take part in the latest maintenance training and learn about the future direction of education
- You may test your knowledge on maintenance and receive the certificate "European Expert in Maintenance Management"
- You will have a say and may influence the planning and content of maintenance seminars and exhibitions
- You will learn about useful web-sites, and how the internet can be used for developing maintenance operations

It is certain that if you are keen in learning about the latest developments in the maintenance business and its processes you will find information on this from your local maintenance society.
You are most welcome to join the maintenance professionals!
From the table below you will find the contact information of your local Maintenance Society.

European Federation of National Maintenance Societies (EFNMS vzw)

The European Federation of National Maintenance Societies, FNMS vzw is an official non profit organisation under Belgian Law and is the umbrella organisation for the National Maintenance Societies in Europe.

The mission is to coordinate and represent the National Societies supporting a knowledge network and providing means to improve the know-how and direction of Maintenance in the European Union. With the aim, by means of Maintenance, to raise the effectiveness and competitiveness of Industry and Infrastructure of Europe thereby providing social, environmental and economical sustainability.

For more information see: www.efnms.org or contact your local Maintenance Society.

Maintenance Societies in Europe

Belgian Maintenance Association
www.bemas.org

Ceska Spolecnost Pro Udrzbu
Czech Maintenance Society
www.udrzba-espu.cz

Hrvatsko Drustvo Odrzavatelja
Croatian Maintenace Society
www.hdo.hr

Den Danske Vedligeholds
Danish Maintenance Society
www.ddv.org

Kunnossapitoyhdistys ry
Finnish Maintenance Society
www.kupinet.fi

Assosiation Française des Ingénieurs et responsables de Maintenance
French Maintenance Society
www.afim.asso.fr

Gesellschaft für Instandhaltung
German Maintenance Society
www.gfin.de

Irish Maintenance Society
www.meta.ie

Associazione Italiana di Menutenzione
Italian Maintenance Society
www.aiman.com

Nederlandse Vereniging Voor Doelmatig Onderhoud
Dutch Maintenance Society
www.nvdo.nl

Norsk Forening for Produksjon og Vedlikehold
Norwegian Society of Maintenance Engineer

Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne
Polish Maintenance Society
www.eksploatcja.waw.pl

Associaçao Portuguesa De Manutençao Industrial
Portuguese Maintenance Society
www.apmi.pt

Drustvo odrzavalaca tehnickih sistema
Technical System maintenance society
Serbia and Montenegro
www.dots.org.yu

Slovenska spolocnost udrzby
Slovak Maintenance Society
www.udrzba.sk

Drustvo Vzdrzevalcev Slovenije
Slovenian Maintenance Society
www.drustvo-dvs.si

Asociación Espanola De Mantenimiento
Spanish Maintenance Society
www.aem.es

Foreningen Underhållsteknik
Swedish Maintenance Society
www.utek.se

Maintenance and Facility -Management Society of Switzerland
www.mfs.ch

The Institute of Asset Management
United Kingdom
www.iam-uk.org

Contact address:
EFNMS vzw – Chairman
Bd. A. Reyerslaans 80
B-10 30 Brussels
Belgium
Telephone: +32 2 706 87 15
chairman@efnms.org
www.efnms.org

© EFNMS 2007. All Rights Reserved. Printed in Germany.