SPIS TREŚCI

W skrócie 2

Nauka i Technika

Wiesław MACISZEWSKI, Waldemar SCHARF
Modern Accelerators for Radiotherapy. A Critical Review 4

Krzysztof DUDEK, Jan BANASIAK, Jerzy BIENIEK
Diagnostyka węzłów kinematycznych w kosiarkach rotacyjnych
Diagnosis of kinematic pairs in the rotary mowers 17

Paweł DROŹDZIEL
Wpływ wybranych warunków eksploatacji samochodowego silnika spalinowego na parametry jego rozruchu
Impact of selected operation conditions of a car combustion engine on its start-up parameters 22

Tadeusz DZIUBAK
Stanowisko badawcze cyklonów filtrów powietrza pojazdów eksploatowanych w warunkach dużego zapylenia
The test stand of air filters cyclones of vehicles operating in high dustiness conditions 31

Jan MONIETA
Ocena niezawodności wtryskiwaczy okrętowych silników spalinowych typu 6AL20/24
Estimation of reliability of injectors of marine diesel engines type 6AL20/24 47

Dariusz PIERNIKARSKI
Quo vadis, diesel – czyli postęp przez synergię
Quo vadis, diesel – development through the synergy 56

Jan BANASIAK, Jerzy BIENIEK, Jerzy DETYNA
Stan naprężenia i tarcie wewnętrzne materiału przesiewanego jako determinanty skutecznego procesu separacji sitowej
The state of tension and internal friction of material being sieved as the determinants of forceful sieve separation process 69

Aktualności PN-TTE

Miklós GEDE, Károly SÓLYOMVÁRI
The 40 Years of the Maintenance Section in the 50 Years Old Machine Industry Scientific Society 75

Andrzej NIEWCZAS
Recenzja książki pt.: „Metodyka prognozowania niezawodności obiektów mechanicznych” 80

MACISZEWSKI W., SCHARF W.: **Modern Accelerators for Radiotherapy. A Critical Review:** EiN nr 4/2003, s.4-17.

The paper describes the development of the application of particle accelerators in the treatment of cancer diseases over the past fifty years. Special emphasis is put on the routine application of conventional electron accelerators delivering electron and photon beams. This is the largest group of devices for radiotherapy (over 7500 machines operating worldwide). The number of patients reaches 5 million per year. The medical electron linacs have recently undergone considerable modifications of construction, in particular the systems of radiation field shaping. Contemporary accelerators for radiotherapy are equipped with dynamic multileaf collimators (MLC) which, in conjunction with IMRT (Intensity Modulation Radiation Therapy) technique and special system of therapy planning, assure considerably higher precision, effectiveness and quality of treatment. Recent applications of hadronic particles, such as protons and heavy ions, are mentioned in the paper, too.

DUDEK K., BANASIAK J., BIENIEK J.: **Diagnostyka węzłów kinematycznych w kosiarkach rotacyjnych:** EiN nr 4/2003, s.18-22.

Przedstawiono wyniki kontroli stopnia zużycia kosiarek rotacyjnych metodami wibroakustyk i termografii. Potwierdzono przydatność obu metod w badaniach maszyn rolniczych i możliwość zamiennego ich stosowania. Metoda diagnostyki termowizyjnej ma szczególne znaczenie z uwagi na mobilną eksploatację maszyn rolniczych.

DUDEK K., BANASIAK J., BIENIEK J.: **Diagnosis of kinematic pairs in the rotary mowers:** EiN nr 4/2003, s.18-22.

The paper presents the level of rotary mowers' wear monitored by vibroacoustics and thermography. Both methods have been found suitable to be applied in agricultural machines and can be used interchangeably. However, thermovision diagnosis becomes particularly important due to a mobile operation of agricultural machines.

DROŹDZIEL P.: **Wpływ wybranych warunków eksploatacji samochodowego silnika spalinowego na parametry jego rozruchu:** EiN nr 4/2003, s.23-32.

Jednym z najważniejszych stanów funkcjonowania samochodowego silnika spalinowego jest rozruch, podczas którego jest on doprowadzany do samodzielnego działania na biegu jałowym. Ze względu na niekorzystne procesy fizyczne jakie zachodzą podczas każdego rozruchu obserwuje się w jego trakcie występowanie zwiększonej emisji składników toksycznych spalin oraz znaczną intensywność zużywania się poszczególnych zespołów tribologicznych silnika. Skala tych negatywnych procesów zależy od warunków eksploatacji samochodowego silnika spalinowego. Warunki te dodatkowo wpływają także na parametry samego rozruchu. Wydaje się więc konieczne określanie związków pomiędzy parametrami rozruchu a warunkami eksploatacyjnymi silnika spalinowego. W celu identyfikacji wpływu czynników wewnętrznych i zewnętrznych oddziaływujących na silnik spalinowy przeprowadza się trakcyjne badania eksploatacyjne pojazdów w środowisku ich pracy. Niniejszy artykuł prezentuje opis takich badań oraz statystyczną analizę ich wyników.

DROŹDZIEL P.: **Impact of selected operation conditions of a car combustion engine on its start-up parameters:** EiN nr 4/2003, s.23-32.

Engine start-up seems to be one of its most important functional states. At the start-up the engine develops mechanic energy (internally) to overcome resistance to motion and then it is made to operate independently at idle running. Due to unfavourable physical processes that take place during each engine start-up there is an increased emission of toxic compounds of exhaust gas and the wear of selected tribological engine units is intensified. The extent of such negative processes depends on service conditions of a combustion engine, which also affect the engine start-up itself. Thus, it seems necessary to estimate the relations between parameters of the combustion engine start-up and service conditions. In order to identify the impact of internal and external factors affecting the engine there is a need to carry out traction operational tests of the vehicles in their real operational environment. The paper deals with a description of such tests and presents a statistical analysis of their results.

DZIUBAK T.: **Stanowisko badawcze cyklonów filtrów powietrza pojazdów eksploatowanych w warunkach dużego zapylenia:** EiN nr 4/2003, s.33-48.

W artykule przedstawiono niekorzystny wpływ parametrów pyłu drogowego na zużycie współpracujących tarciowo elementów silnika. Wykazano, że w krajowych ośrodkach badawczych, skuteczność filtracji filtrów powietrza silników spalinowych pojazdów mechanicznych, określana jest metodą masową. Pokazano metodę oceny jakościowej filtrów powietrza polegającą na pomiarze ilości i rozmiarów ziaren pyłu w powietrzu przed i za filtrem. Przedstawiono problem zastosowania tej metody do badań dwustopniowych filtrów powietrza, gdzie pierwszym stopniem jest multicyklon (bateria cyklonów), a drugim przegroda filtracyjna. Dla tych filtrów zaproponowano metodę badań polegającą na pomiarze ilości i rozmiarów ziaren pyłu tylko w powietrzu za filtrem. Przedstawiono stanowisko badawcze pojedynczych cyklonów filtrów powietrza z wykorzystaniem licznika firmy *Pamas*. Pokazano wyniki badań wstępnych cyklonu przelotowego z wlotem osiowym.

DZIUBAK T.: **The test stand of air filters cyclones of vehicles operating in high dustiness conditions:** EiN nr 4/2003, s.33-48.

Disadvantageous influence of parameters of road dust on wear of tribologically mating engine elements is presented in the article. One demonstrated that all homeland research centres investigate efficiency of air filters of combustion engines according to gravimetric method. One showed the method of quality assessment of air filters, which method is based on measurement of quantity and dimensions of dust grains in the air from input and output of the filter. One described the problem of application of this method for investigations of two–step air filter comprising multicyclone as the first stage and filter medium as the second stage. For two–step filters one proposed the method, in which one carried out only the measurement of quantity and dimensions of dust grains included in the air of output of the filter. The test stand, comprising particle counter *Pamas*, to investigate single cyclones of air filters was presented. The results of preliminary investigations of pass cyclone with axial input were shown.

MONIETA J.: **Ocena niezawodności wtryskiwaczy okrętowych silników spalinowych typu 6AL20/24:** EiN nr 4/2003, s.49-57.

W artykule przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych niezawodności podzespołów okrętowych silników wysokoprężnych produkowanych przez H. Cegielski Poznań S. A. na licencji szwajcarskiej firmy Sulzer. typu 6AL20/24. Przedstawiono także badania kontrolne dla tego najbardziej zawodnego podzespołu tych silników w celu sprawdzenia wskaźników niezawodności z ustalonymi dla nich wymaganiami. Do badań niezawodności zebrano informacje o uszkodzeniach 1000 wtryskiwaczy silników pochodzących ze statków armatorów Szczecina, zgodnie z wybranym planem badań. Analizę niezawodności, przeprowadzono na podstawie eksperymentu biernego: dane uzyskano z zapisów w dokumentacjach maszynowych, zapisów w komputerach pokładowych i obserwacji silników i ich podzespołów. Podjęto próbę wyznaczenia częstości wtryskiwaczy w okresie eksploatacji o największej ich zawodności. Oszacowano wybrane wskaźniki i charakterystyki niezawodności, w zależności od czasu poprawnej pracy do uszkodzeń badanych silników spalinowych. Stosując klasyczne reguły weryfikacji hipotez statystycznych oraz program komputerowy Statgraphics wykazano, że rozkład czasu pracy do uszkodzeń wtryskiwaczy badanych silników, jak wykazały badania, można uznać za do rozkładu wykładniczego. Średnia wartość czasu zdatności do pierwszego uszkodzenia wtryskiwaczy badanych silników wyniosła 1562 h z odchyleniem standardowym 1179 h. Najwięcej uszkodzeń wtryskiwaczy stwierdzono w przedziale pierwszych 0¸100 h pracy. Wskazuje to na niedostateczną jakość wytwarzania.

MONIETA J.: **Estimation of reliability of injectors of marine diesel engines type 6AL20/24:** EiN nr 4/2003, s.49-57.

In article one introduced results of operational researches of reliability of sub-assembles of the marine diesel engines type 6AL20/24. One introduced also control research for these most deceptive of sub-assembles, these of engines, in aim of check of coefficients of reliability with settled for them with requirements. To researches of reliability one assembled information's about damages 1000 of injectors of engines exploited by shipowners of Szczecin, in accordance with select plan of researches. Analysis of reliability, one passed on the ground of passive experiment: given one obtained from recordings ship's papers, recordings in computers deck and of observation of engines and their of sub-assembles in during halts of ships in ports and shipyards. One undertook test of delimitation of frequency of damages of injectors in period of exploitation about greatest deceptive. One estimated select function and numerical coefficients of reliability, in dependencies from time of correct work to failures of injectors investigated of combustion engines. Using classical rules of verification of hypothesises statistical and computer programme one showed that schedule of failures of injectors investigated of the engines one can acknowledge for convergent to exponential distribution. Average value of correct work to failures of injectors investigated of engines lofty 1562 h with standard deviation 1179 h. The most of all of failures of injectors one ascertained in section 0 100 h of work. Shows this on insufficient quality of production and/or insufficient persistence of injectors.

PIERNIKARSKI D.: **Quo vadis, diesel – czyli postęp przez synergię:** EiN nr 4/2003, s.58-70.

Artykuł stanowi rozważania dotyczące czynników warunkujących najbliższe kierunki rozwoju przemysłu pojazdów użytkowych, ze szczególnym uwzględnieniem produkcji jednostek napędowych. Przeanalizowano możliwości rozwoju silników jako jednostek uniwersalnych lub przeznaczonych do konkretnych zastosowań. Ocenie poddano także aktualną sytuację rynkową, omówiono tendencje zmierzające do globalizacji produkcji oraz możliwości wyko-rzystania zjawiska synergii w przemyśle motoryzacyjnym, jako element współdziałania producentów, dostawców i odbiorców.

PIERNIKARSKI D.: **Quo vadis, diesel – development through the synergy:** EiN nr 4/2003, s.58-70.

The paper is a set of considerations on the factors that influence the nearest trends in the development of the utility cars, with particular attention to the production of power units. The development possibilities for engine as a universal unit or prepared for the specific applications were analysed. The paper includes also the evaluation of the actual market situation, discussion of the trends towards the production globalisation and the possibilities for using the synergy, as an element of cooperation between the producers, suppliers and clients in motor industry.

BANASIAK J., BIENIEK J., DETYNA J.: **Stan naprężenia i tarcie wewnętrzne materialu przesiewanego jako determinanty skutecznego procesu separacji sitowej:** EiN nr 4/2003, s.71-78.

Rozpatrzono wpływ sił masowych, tarcia zewnętrznego i wewnętrznego na proces przesiewania grawitacyjnego. Stwierdzono, że naprężenia ścinające (styczne) decydują o względnym ruchu masy przesiewanej.

BANASIAK J., BIENIEK J., DETYNA J.: **The state of tension and internal friction of material being sieved as the determinants of forceful sieve separation process:** EiN nr 4/2003, s.71-78.

The matter of the present work is the influence of mass power, external and internal friction on the gravitational sieve process. It was stated that cutting tensions decide about relative movement of sieved material.

Wiesław MACISZEWSKI
Waldemar SCHARF

MODERN ACCELERATORS FOR RADIOTHERAPY. A CRITICAL REVIEW

The paper describes the development of the application of particle accelerators in the treatment of cancer diseases over the past fifty years. Special emphasis is put on the routine application of conventional electron accelerators delivering electron and photon beams. This is the largest group of devices for radiotherapy (over 7500 machines operating worldwide). The number of patients reaches 5 million per year. The medical electron linacs have recently undergone considerable modifications of construction, in particular the systems of radiation field shaping. Contemporary accelerators for radiotherapy are equipped with dynamic multileaf collimators (MLC) which, in conjunction with IMRT (Intensity Modulation Radiation Therapy) technique and special system of therapy planning, assure considerably higher precision, effectiveness and quality of treatment. Recent applications of hadronic particles, such as protons and heavy ions, are mentioned in the paper, too.

Słowa kluczowe: *accelerator, radiotherapy*

1. Prevalence of radiotherapy accelerators

There are, unfortunately, no current world statistics on particle accelerators. Therefore, we have to resort to some more or less accurate estimation. The authors have estimated the total world accelerator population as for the year 2002 at about 17 400 as listed in Table 1.

Tab. 1. Total world accelerator population as for 2002

CATEGORY OF ACCELERATORS	NUMBER IN USE
High Energy Acc. (E>1GeV)	~ 120
Radiotherapy Acc.	>7500
Research Acc. Incl. Biomedical Research	1000
Medical Radioisotope Production	~200
Accelerators for Industrial Processing and Research	>1500
Ion Implanters, Surface Modification Centers	>7000
Synchrotron Radiation Sources	>100
TOTAL IN 2002	**~17420**

In some industrial countries the fraction of radiotherapy accelerators in the total number of particle accelerators has considerably exceeded world average (~43%, Table 1). Japan is the best example of this trend, for which accurate statistical data are available for many years [1]. Japan's medical establishment for the population of ~125 million people has a total of 787 accelerators: 724 linacs, 25 microtrons, 31 cyclotrons and 5 betatrons. These 787 machines constitute about 69% of all particle accelerators in operation in Japan (1,144 in 2001). What is especially interesting is the trend in development and rate of growth. Table 2 shows this rate for all Japanese medical accelerators and for radiotherapy linacs only (1987 – 2001). The yearly rates of growth for the period of 1987 – 2001 are 6.35% and 6.85%, re-

Tab. 2. Number of medical accelerators in use in Japan [1]

Year	1987	1993	1998	2001
Total	416 (100%)	590 (142%)	700 (168%)	787 (187%)
Linacs	370 (100%)	541 (146%)	649 (175%)	724 (196%)

spectively. Annual mortality rate caused by cancer is on increase in Japan. The number of deaths caused by cancer was 223,604 in 1991 and the number of new cancer patients is about 500,000 in 2000. At present nine million Americans, or 3 percent of the population, are living with a diagnosis of cancer [2].

About one person of three is confronted in his life with cancer and out of five dies from this disease. In a society with health-care services comparable to the United States, Japan or Western Europe, the average person has *a one in eight chance* of being treated on a linear accelerator in his or her lifetime. Table 3 lists data on the number of patients treated with radiation. Detailed statistical data are not available for conventional or routine radiotherapy (electron and photons) and the number of ~30 million patients have been obtained from the knowledge of existing radiotherapy accelerator potential. Far more accurate data are available for unconventional therapies, especially those with charged particles. Such data are published every six months in the journal Particles [3]. It can easily be seen that unconventional therapy constitutes only a few tenth percent of the conventional therapies. However unimpressive in numbers, unconventional therapy has its great prospective value [5].

Tab. 3. Accelerator patient totals worldwide (as of Jan 1, 2002)

ROUTINE RADIOTHERAPY (ELECTRONS + PHOTONS)			
>30,000,000 patients >200,000 patients treated daily (no statistics available, estimation only) >5,000,000 patients treated per year [4]			
UNCONVENTIONAL THERAPIES – CHARGED PARTICLES[1])			
	1 Jan 1996	1 Jan 2002	Annually growth
Pion beams	1100	1100	0
Heavy ion beams	2542	3510	138
Proton beams	16506	30837	2047
Neutron beams	~20000	~32000	

[1)] Statistics after J. Sisterson, Particles, no. 17 (1996) and no. 29 (2002); [2)] No statistics available, estimation only

2. Clinical requirements

The aim of radiation treatment is to specify an optimum and well-determined dose of ionizing radiation for an area or areas to be irradiated so that the dose is as uniform as possible over a target area and as low as possible outside it.

At present, in radiotherapy, the upper energy range of 15 to 20 MeV is considered optimal. The lower limit in photon therapy is determined by clinical requirements of the treatment of head and neck tumors for which the energies of 4 to 6 MeV are optimal. The routine clinical applications of the electron therapy encompass the same energy range from 4 to about 18 MeV. This led the manufacturers to the higher energy limit in the range 22-25 MeV (Table 4 and 6).

The radiotherapy is administered to the patient in *daily fractions.* In a single treatment, the field area is irradiated with a relatively small dose of 1.7 to 2.5 Gy, 5 days a week over 4-6 weeks (total dose 45-70Gy). The patient is subsequently positioned and the gantry can be fixed in a predetermined position (*field therapy)* or can be rotated (*rotational or arc therapy).*

The dose rate is controlled over a wide range and in lower energy accelerators (4 to 6 MeV), its maximum value for an X-ray beam ranges from 200 to 300 cGy/min. In higher energy accelerators reaches 600 cGy/min for photons and 1000 cGy/min for electrons. Some more important parameters of modern accelerators are listed in Table 6.

3. Fundamental systems

A simplified scheme of an electron RFlinac is shown in Fig. 1. The basic parts of the linac are electron gun and accelerating structure. The electron gun is of diode or, more often, triode type. Electrons from the gun are injected into the accelerating system. It is the structure consisted of a chain of microwave cavities, precisely tuned to the same resonant frequency, usually around 3GHz. The structure is energized by RF power generator operating at the same frequency, and at the output power level of several MW in pulse. For this purpose microwave tubes of magnetron or klystron type are used. The RF power is applied to the structure by transmission line and the ceramic vacuum window. In result axial RF field is created and electrons move along the axis and gain energy. Two kinds of accelerating structures are used in RF linacs: traveling wave type and standing wave type. In traveling wave system only incident wave exists and excess of RF power not used in the acceleration process is dissipated in the load installed at the end of the structure. In standing wave system, some part of RF power is reflected at the end of the structure and creates reflected wave. So, in this case both, incident and re-

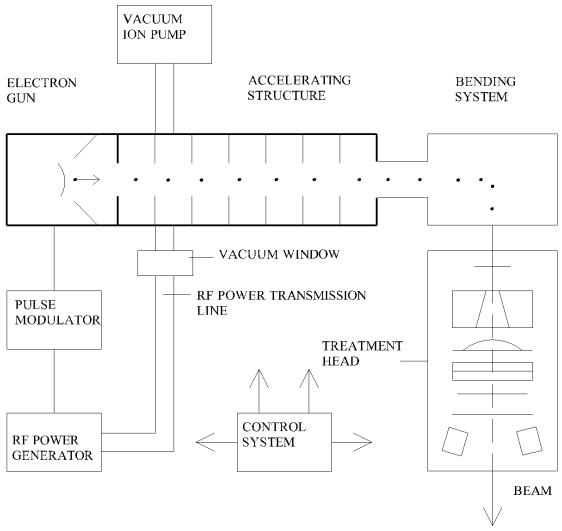


Fig. 1. Simplified block diagram of radiation therapy linac

Fig. 2. View of radiotherapy Precise linac manufactured by Elekta

flected wave exist, and their superposition creates standing wave. More detailed description of the systems is given in [17 and 19].

The traveling wave accelerating system is used in Elekta (former Philips) accelerators. The standing wave system is more popular: it is used in Varian and Siemens accelerators.

The about 7500 electron linacs used for radiotherapy in the world [14] run at 3 GHz. The choice is dictated by the fact that the higher the frequency, the larger the allowed accelerating gradient and, consequently, the shorter the linac.

Fig. 2 is a view of a modern traveling-wave radiotherapy accelerator manufactured by Elekta. A system of this kind can best discussed with the example of this accelerator whose major subsystems are shown on Fig. 3. On the left side is located magnetron (MG 63663) and modulator without a separate stationary cabinet. No extra floor space is required as the magnetron is mounted on the gantry with convenient access for rapid maintenance when necessary. The accelerating structure is installed diagonally. The structure is adopted to accelerating electrons to the energy up to 25MeV. These electrons are delivered to the slalom bending system, which provides achromatic beam bending. The specially profiled three-piece magnet is truly achromatic, in both the radial and transverse planes, and produces an electron spot size of only 1 mm (FWHM). The distance between X-ray target and the axis of rotation is 100 cm and that above floor is 124 cm.

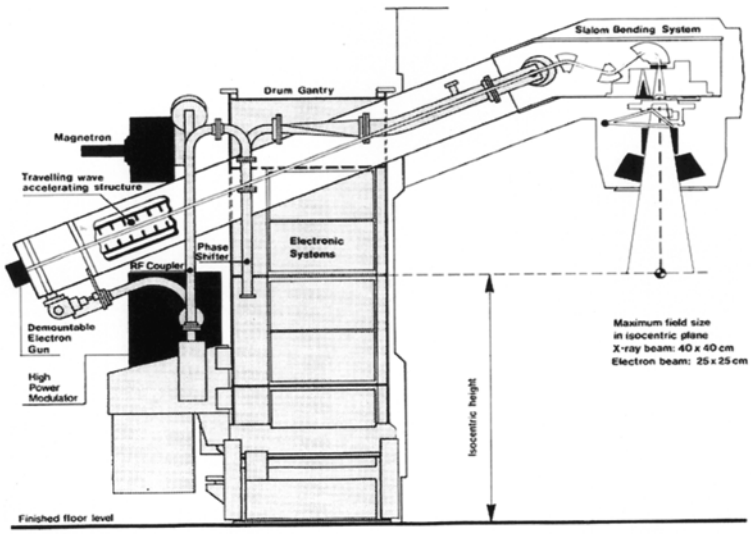


Fig. 3. A schematic of a Elekta traveling wave radiation therapy accelerator

Chronology of development. The subsequent development of radiation therapy linacs is shown in Fig. 4. Shaded parts represent accelerating structures drawn to the same scale, the distance of the isocentre to the floor is given in cm.

The design of the first generation of linacs in the mid -1950s was based on the so-called in-line position of the accelerating wave-guide (Fig. 4a). The linear energy gradient was 4 MeV/m, which made it impossible to be rotated round the table, with rotation axis placed rather low, at 112 cm above the floor. In the 1960s, machines appeared featuring a horizontally mounted fairly long accelerating structure that generated high-energy beams (Fig. 4b). Such a machine, manufactured in 1964 was the SL75 Philips linac equipped with 90° bending magnet, suitable for full rotation therapy. In the early 1970s a new generation of compact accelerators was developed, which used 270° bending magnets (Fig. 4c). In majority of designs mentioned above, traveling wave accelerating structure was replaced by standing wave structure. This made it possible to increase linear gradients up to 18 MeV/m, which, in turn, led to considerably shorter accelerating structures with comparable energies. Short (30-35 cm length) standing wave structure became the base for design of simple, compact low energy accelerators with the structure on beam axis (Fig.4d), without bending magnet. Such a machines cover the energy range of 4 to 6 MeV.

In consequence of the above development, the maximum treatment fields were considerably increased, up to the presently available 40x40 cm^2 or more, at the rotation axis plane. The photon dose rates have been increased from the initial values of 100-200 cGy/min to 400-600 cGy/min. In this way, the exposure times became much shorter even for wedge filters. In order to achieve optimum treatment of both thin and thick layers, the initial energy range of 4-5 MeV has been extended to 4-25 MeV. At the same time, multiple-energy mode of operation has been implemented, that is the possibility of using two photon energies and a wide electron energy range (Table 4) has been attained.

X-ray Production. When the machine is in an X-ray mode, a metal target is extended into the electron beam near the point where it leaves the bend magnet (Fig. 5). When the beam strikes the target, electrons slow down as they pass close to positively charged atomic nuclei in the target, causing them to give up energy in the form of x rays (bremsstrahlung).

If an electron exposure is desired, the target is retracted from the electron beam, allowing the electrons to pass directly to the beam shaping system (Fig. 5). In all electron modes, the target is fully retracted from the beam path. In low energy X-ray mode, the thin area of the target is inserted directly into the beam path. In high energy X-ray mode, the thick area of the target is inserted directly into the beam path.

The purpose of the beam shaping system is to define precisely the field size of the X-ray or electron beam applied to patient and to ensure uniform dose distribution across the field. The beam is directed trough a series of tungsten collimators and jaw blocks that confine the radiation field to the size of their apertures.

As shown in Figure 5, the X-ray beam is confined to a projected 30° cone by the primary collimator. Then it passes trough a flattening filter that attenuates the x rays along the central axis of the beam more than those near the edge, making the beam more uniform in intensity across its width. After crossing the ion chamber, the beam passes through the secondary collimator, then through two pairs of movable collimator jaws,

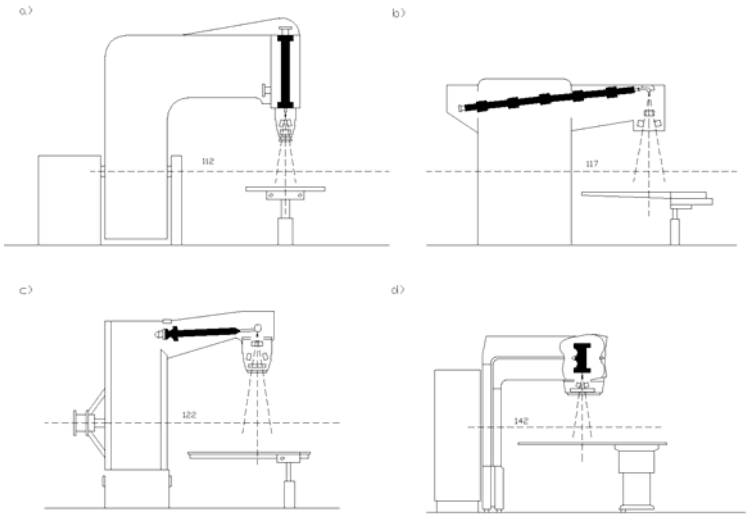


Fig. 4. Different arrangements of medical linac's construction. Description in text. The distance of the isocenter from floor is given in cm

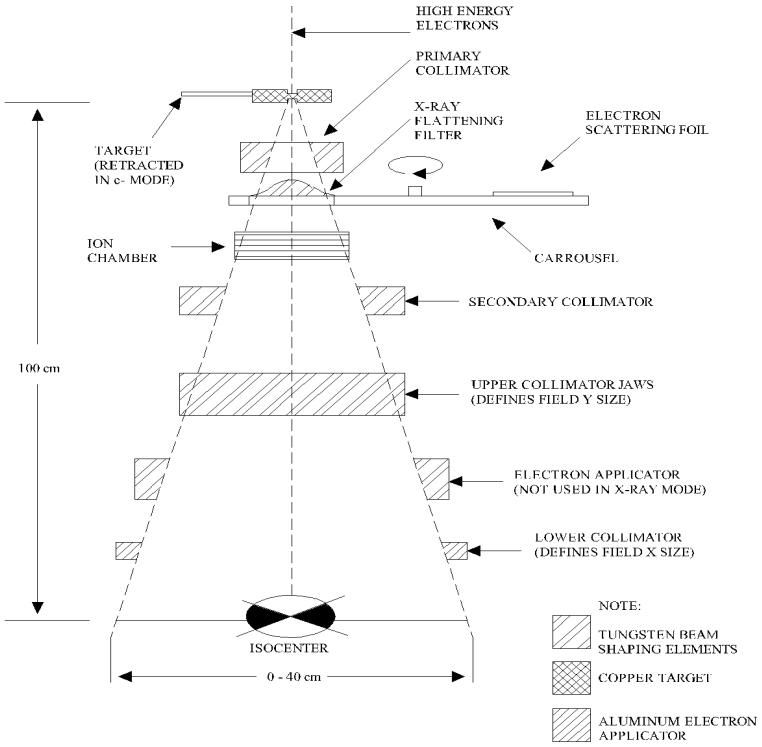


Fig. 5. Beam shaping system (Varian)

which are set at right angles to each other. The collimator jaws may be opened to match the field size and rotated to align the beam with the treatment field. They give the X-ray beam its final shape, which can be any square or rectangle from 0.5x0.5 cm^2 to 40x40 cm^2. Various types of wedges, blocks and compensators are used to protect sensitive organs that do not need to be exposed and to assure that all parts of a treatment site receive the same dose. These accessories are installed in mounts affixed to the head. For electron radiotherapy applicators come in five sizes from 6x6 cm^2 to 25x25 cm^2 (Varian).

Multi-energy accelerators. A characteristic feature of the present-day radiation therapy is that ever more precise treatment fields are generated with varied energies and types of radiation employed. According to the published data for a large city area on caseload on beam preferences, 71% of patients were treated with low energy X-rays and 23% with high energy X-rays. Electron therapy was applied in a total of 18% of patients, of which 12% were treated with mixed therapy (electrons and X-rays) and the remaining 6% with electrons only. It would be most convenient for both the therapist and the patient if one could have a *one-session radiation therapy* by means of one accelerator. That is why, accelerator designers have long been trying to build a machine which would operate over a wide energy range and have a capability of fast switch over from X-ray to electron modality or vice versa. Whereas energy switch is a relatively easy thing to accomplish in electron modality due to the very small currents involved (typical average current 100-500 nA), the X-ray modality, with beam currents higher by two orders of magnitude than those in electron modality (typical average current 20-150 mA) involves considerable difficulty. The large energy switch in the X-ray mode load usually results in beam energy degradation, i.e. deterioration of the beam monoenergetic character. Manufacturers of medical accelerators use different technical resolutions for switching the energy of output beam.

In Varian Clinac 1800 machine, the accelerating structure is divided into two sections: bunching section and accelerating section, 0.4 and 1.0 m long, respectively (Fig. 6). The energy switch couples both of them. The energy control is performed by a side cavity with adjustable coupling, located between rf coupler and the accelerating structure. The accelerator is intended for generating two X-ray beams with energies of 6 and 18 MeV and five electron beams with energies of up to 20 MeV. The buncher section, which is always supplied with 0.4 MW regardless the X-ray output energy, operates under optimum conditions with ensure that the accelerating gradient is 10 MV/m. In the buncher, electrons are bunched and accelerated to 4 MeV. If 18 MeV beam is desired, the accelerating field in the second section is induced by 2.0 MW rf power, which results in the accelerating gradient of 14 MV/m. On the other hand, when a 6 MeV X-ray

beam is generated, the above gradient is reduced to 2 MV/m1, which corresponds to the power of 0.1 MW. Both beams are highly monoenergetic (3%FWHM), as measured with a magnetic spectrometer equipped with 1% energy slits. The Varian Clinac 2500 uses a 1.9 m structure which features X-ray beam separation in the range between 6 and 24 MeV.

In the Siemens Mevatron MD and KD medical linacs, output beam energy is controlled by the way of changing RF power delivered to the structure in conjunction with beam loading effect. The Mevatron MD produces 6 MV and 10 MV X-ray beams, whereas the Mevatron KD machine, besides a range of electron beam energies, may generate five different dual energy photon combinations with a maximum separation of 6 MV and 20 MV.

Accelerators manufactured by Elekta are based on traveling wave accelerating structures. Such a system allows for relatively simple control of output beam energy, by the way of detuning RF source from resonant frequency of the structure. The rf field in the structure reaches maximal value when the rf generator's frequency is equal to the structure's resonant frequency. Detunning of rf generator decreases the rf field in the structure, what in consequence decreases the output beam energy. Basic parameters of modern multi-energy medical linacs are listed in Table 4.

In view of the rapid development of multienergy X-ray therapy, as well as that of using the dual modality, both X-rays and electrons, multi-energy accelerators have become a viable alternative for oncological hospitals, as compared with the older single X-ray energy only machines.

Linacs for radiotherapy are commercially manufactured by Varian [F1] (~3500 units), Siemens [F2], Elekta [F3] (over 800 units), Mitsubishi [F4], and other companies.

4. Advanced systems

During the last twenty years considerable progress in methods of radiotherapy was observed. The development of classical techniques was aimed on improvement of precision treatment of defined tumor volume. Such an approach enables for limiting the dose absorbed in healthy tissue, in the vicinity of the tumor. This trend was stimulating the development of treatment planning systems and enforced special requirements for radiation devices, especially for irradiation field shaping systems.

Concerning the treatment planning systems, progress in diagnostic methods, as Computer Tomography (CT), Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Positron Emission Tomography (PET), was of essential meaning. Tree dimensional imaging makes it possible to define specific target volume. It is then possible to design a treatment, where particular levels of radiation dose are delivered to these volumes as a function of fractionation scheme. This is the aim of more advanced technique of radiotherapy, known as Three Dimensional Conformal Radiotherapy (3D-CRT). It allows increasing the dose on target volume, making the treatment process more effective [6, 7].

For better conformity of irradiation field shape and the target volume, multileaf collimators (MLCs) have been developed. The multileaf collimator (Fig. 7) consists of several tenths of leaf pairs, being driven inde-

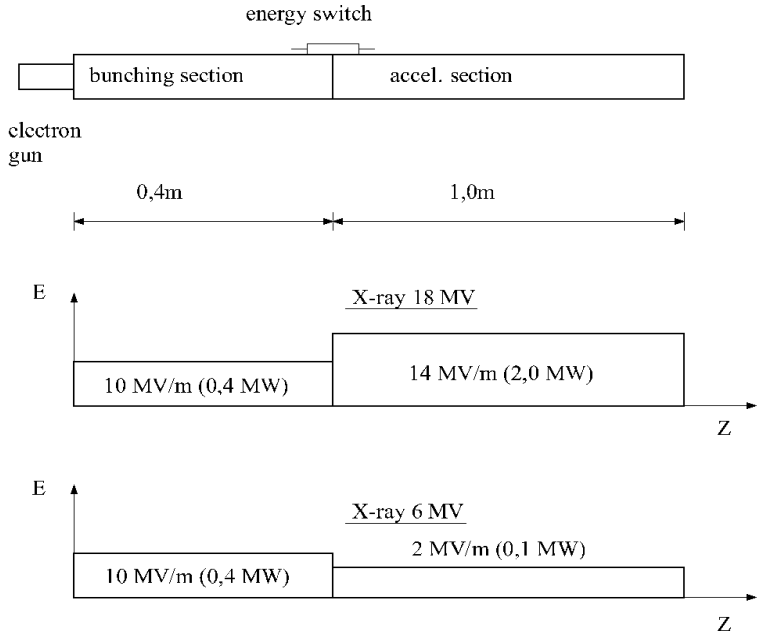


Fig. 6. 6 MV/18 MV energy switch of Varian Clinac 1800 accelerator

Tab. 4. Fundamental Parameters of Radiation Therapy Multi-Energy Accelerators

Manufacturer and accelerator type	X-ray energies [MV]		Electron energies [MeV] and their number (in brackets)
	low	high	
Varian Clinac 2100 and 210C/D	4(6)(8)	10 or 16 or 23 or 25	Group I: 6, 9, 12, 15 18 (five) Group IV: 4, 6, 9, 12, 16 (five)
Varian Clinac 2300C/D	6	16 or 23 or 25	Group I: 4, 6, 9, 12, 15, 18 (six) Group III: 4, 6, 9, 12, 16, 20 (six)
Varian Clinac 21EX only Varian Clinac 21EX, 23EX	4(6) 6	10 16 or 23	Group I: 6, 9, 12, 15, 18 (five) Group IV: 4, 6, 9, 12, 16 (five) Group I[1)]: 6, 9, 12, 15, 18 (five) Group I[2)] 4, 6, 9, 12, 15, 18 (six)
Siemens Primus	4 6 6	10 10 or 15 18 or 23 or 25[3)]	5 to 15 (six) 5 to 14 or 6 to 21 6 to 21
Siemens Mevatron K	4(6)	10 or 15 or 18 or 23 or 25	6 to 21 (six)
Elekta Precise[4); 5)]	6 or 8 or 10	10 or 15 or 18 or 25	4, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 22 (up to nine)
Philips SL 18[5)]	6	5	4 to 18 (seven)
Philips SL 20[5)]	6	18	4 to 20 (eight)
Philips SL 25[5)]	6	25	4 to 22 (nine)

[1)] For 21EX, [2)]The 23EX offers electron groups with higher electron energy available (22 MeV) and with a greater number of electrons per group, six, vs. the 21EX (five electrons per group), [3)]Not available in USA/Japan, [4)]These accelerators provide X-ray radiation at up to three energy levels and up to ten discrete levels of electron energy, [5)] Traveling-wave accelerating structure

pendently by separate motors. The radiation field to be set up is defined by therapy planning system. Some parameters of different MLCs are listed in Table 5.

Multileaf collimator became a base of Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT or MLC- IMRT) system, up to date the most advanced system of radiotherapy. General scheme of the IMRT process is shown on Fig. 8 [8]. The technique is extensively described in the IMRT Collaboration Working Group Report [7].There are three basic forms of MLC-IMRT technique:

(1) Dynamic multileaf collimator (DMLC)[9], [10]. For a fixed gantry position the opening formed by each pair of opposing MLC leaves is swept across the target volume under computer control, with the radiation beam on, to produce desired fluence profiles. This IMRT approach is also known as a "sliding window".

(2) A second form of the MLC IMRT approach uses a series of multiple segment fields, in which each field consists of a series of multilayer shapes (segments or subfields) delivered from the same gantry angle, so that intensity-modulated field is delivered [11, 12, 13]. The radiation is turned on only when the MLC leaves are stopped in each prescribed position. This IMRT method has been referred to as step-and-shoot, stop-and-shoot, or segmental multileaf collimator (SMLC). At present the term SMLC-IMRT should replace step-and-shoot, stop-and-shoot, move-and-shoot and other similar permutations used for this type of IMRT.

(3) A third form of MLC IMRT is intensity-modulated arc therapy (IMAT). Instead rotating a slit field around the patient as done with tomotherapy, IMAT procedure uses multiple irregular fields

Tab. 5. Basic parameters of different multileaf collimators

Manufacturer	Number of leaf pair	Width of leaves projected at isocenter	Over-run distance	Maximal field cm^2
Varian Millennium	26	1.0	16.5	40x26
	40	1.0		40x40
	60	0.5		40x40
Brain Lab m3	52	0.3, 0.45 and 1.0		40x40
Elekta MLCi	40	1.0	12.5	40x40
Siemens Med. Lab.	Max 135	Min 0.2		
General Electric	32	1.25		40x40

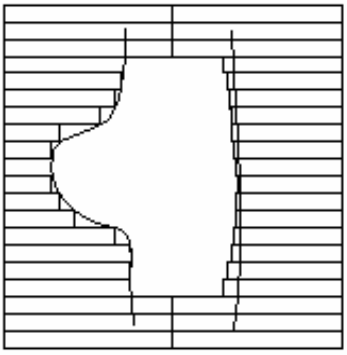


Fig. 7. An example of anterior chest field shaped by multileaf collimator

shaped with a conventional MLC during gantry rotation. IMAT is planned as a sequence of static fields, every 5-10° apart, but delivered with multiple superimposing arcs. Within each arc, the MLC shape is continuously changed as a function of gantry angle as a result of optimization, such that the cumulative dose distribution leads to desired dose distribution.

The implementation of IMRT requires the use of other technology for determine the conformal dose distributions and the subsequent calculation of the MLC leaf trajectories. With conventional therapy the beam weights (dose per beam), field size and beam direction are proposed based on clinical experience then the resulting dose distribution is calculated by computer programs. A few iterations are made to obtain a more desirable dose distribution. This is the so-called *conventional Forward Treatment Planning Process.*

IMRT has ushered in a new approach and a technique called *Inverse Treatment Planning.* Here the dose distribution is described by a set of macro-clinical parameters, which includes the number and direction of the beams, regions to be protected and volumes to reach a minimum tumorcidal dose. Then an Inverse Planning computer algorithm determines the beam shape and beam weights. These algorithms utilize various multidimensional optimization techniques. Once the beam shapes are known the leaf trajectories can be calculated and from this information and from the beam weights the IMRT treatment can be determined.

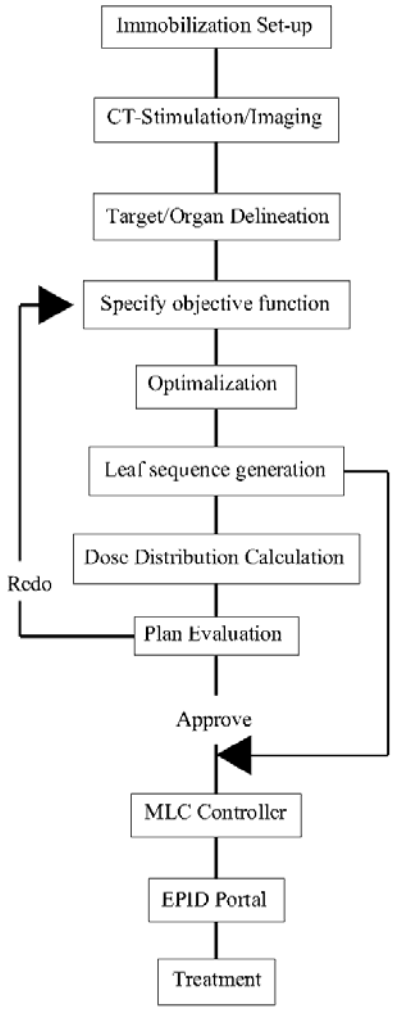


Fig. 8.A schematic illustrating the IMRT process

Now 98% of all accelerators delivered by Elekta are equipped with MLCs. Modern construction of medical linacs should have the MLC integrated with therapeutic head. This postulate is fulfilled in machines manufactured by Siemens, Elekta, and Varian (model EX Platinum) as well.

The clinical use of IMRT is generally motivated by the desire to conform the high-dose region to the target without inflicting unacceptable normal tissue complications. In general, the high-dose region is shaped to conform to the geometry of the target in three dimensions with rapid fall-off in all directions outside the target volume. Thus, the dose delivered to tissue outside the target volume can be significant if setup error or tumor motions are greater than the allowed treatment planning margins. In addition, because each IMRT segment treats only a portion of the target volume at a time, there may be significant dosimetric consequences if the patient and/or the target moves during treatment. Hence, it is clear that IMRT imposes a more stringent requirement than conventional RT in terms of accounting for patient position-related organ motion. All technical and clinical aspects of the treatment planning process must be re-evaluated in light of this requirement [7].

5. Survey of commercial radiotherapy linacs

Beam energy and dose rate. Fundamental parameters of some of the radiotherapy rf linear accelerators available on the world market in 2002 are presented in Table 6. The first group of machines comprises accelerators of single energy 4 to 6 MeV. They are generally intended solely for X-ray therapy, and do not incorporate electron beam extraction.

The basic group of accelerators is made as multi-energy machines, that is those which make it possible to use photons of at least two energies and electrons with four to ten different energies during a single treatment.

The dose rate is usually controlled over a wide range and in linacs with lower energy, e.g. 4 to 6 MeV, its maximum value for an X-ray beam range from 200 to 600 cGy/min. In higher energy accelerators, the upper limit of the X-ray dose rate is as high as 500 or 600 cGY/min. On the other hand for multi-energy accelerators intended also for producing electron beams, the dose upper limit is 1000 cGy/min.

At present, maximum energies in any of the high-energy accelerators do not exceed 25 MeV, although in the 1970s machines were manufactured in which the maximum energy was as high as 50 MeV.

Mechanical parameters. The maximum size of the photon fields 40x40 cm^2, is standardized in all types of linacs. The size of a treatment field is determined with pre-collimators and collimating diaphragms (Fig. 5). As for electron fields, their maximum dimensions are usually slightly smaller and do not exceed 20x20 cm^2 or 25x25 cm^2. The dimensions and shapes of individual fields are determined by the applicators used.

Typically, the rotation angle of the treatment head is 370^o, that is irradiation can be carried out with a certain margin or overlap. Maximum rotation values for all types are 1.0 rpm (rev/min) and minimum values are 0.1 or 0.2 rpm. In some designs, the speed is controlled continuously up from the value close to zero.

Isocentric clearances for Varian (Clinac EX), Siemens (Primus) and Elekta (Precise) accelerators are compared on Fig. 9. All sizes, (a) gantry to isocenter, (b) head to isocenter, (c) head size, and (d) – floor to isocenter, are given in cm.

Accelerator systems have different floor require-ments. The Elekta linac can be installed in a room with a total length 8.0 m (min. 6.5 m) and a width 7.5 m (min. 6.5 m).

Patient throughput. Thanks to the high dose rate of both electron and X-ray beams, the linac throughput can be 50-70 patients daily or even more (max 100). The throughput is, of course, not only dependent on the type of radiotherapy procedures, but also on the kind of tumors irradiated.

For conformal radiotherapy and IMRT techniques possibility of high-speed changes of beam parameters is essential. Full rated dose rate, flatness and symmetry are achieved in less than 500 milliseconds (Varian Clinac). For Elekta Precise accelerator the inter-segment re-start time in IMRT *step-and-shoot* procedure is 1 s.

Reliability of Accelerators. The radiotherapy linacs are impressive in their reliability and they are quite robust with very long operational lifetimes (20 to 30 years). More than 97% of Clinac's accelerators (Varian) ever produced are still treating patients.

What is most essential is the reliability of the accelerator operation. Any unforeseen break-down may greatly interfere with treatment schedules. The reliability of accelerator operation has greatly improved. For some critical parts such as electron guns, microwave tubes (magnetrons, klystrons) and thyratrons it is up to several years. Trough magnetron and RF circuit optimization Varian have extended the life of magnetron threefold: from 2.1 year (1989) to 7.1 year (1999). Warranties for so key component as waveguide at present range from 10 year (Varian) to 20 year (Elekta). As yet, Elekta has never replaced a waveguide on a clinical system. These accelerators use traveling wave design with no moving parts in the waveguide.

Electron guns intended for cooperation with modern accelerators are usually dismountable. Easy replacement in 2 hours including time to reset the vacuum is possible (Elekta).

RF linear accelerator applications in radiation therapy are dealt with in two monographs [17 and 19].

6. Future accelerator development

The clinical use of IMRT is in its beginning phase and has been implemented in a small number of medical centers around the world. Much research and de-

Tab. 6. Basic Parameters of Some Radiotherapy Linear Accelerators

Manufacturer, Type	Radiation		Energy, MeV		Dose rate, cGy (or MU)/min		X-ray field size, cm
	X	e^-	X	e^-	X	e^-	
VARIAN							
Clinac 600C	+	–	4 or 6	–	50-250/80-400		0.5x0.5 to 40x40
Clinac 600C/D&6EX			4 or 6		80-400/100-600		0.5x0.5 to 40x40
VARIAN							
Clinac 2100C	+	+	4 to 23	4 to 20[1)]	100-600	100-1000	0.5x0.5 to 40x40
Clinac 2300C/D			6 to 25	4 to 22	100-600	100-1000	0.5x05 to 40x40
VARIAN							
Clinac 21EX	+	+	4 to 23	4 to 20[1)]	100-600[3)]	100-1000	0.5x05 to 40x40
Clinac 23EX			6 to 25	4 to 22[2)]	100-600	100-1000	0.5x0.5 to 40x40
PHILIPS							
SL 25	+	+	6 to 25	4 to 22	25-300		max.40x40
ELEKTA							
Precise Low Energy	+	-	4 or 6		25-230/25-500		
ELEKTA							
Precise Mid Energy	+	+	6 or 8 or 10	4 to 10	25-500	up to 400[5)]	
ELEKTA			10 or 15 or				
Precise High Energy	+	+	18 or 25[4)]	4 to 22	25-600	up to 400[5)]	1x1 to 40x40
SIEMENS							
ME[6)]	-	+		6 to 18		300 to 900	[7)]
SIEMENS							
KD S	+	+	6 to 18	6 to 18	max 300	300[8)]	
SIEMENS							
Primus 4 MV	+	-	4		max 250		
6MV	+	-	6		max 200		
SIEMENS							
Primus dual energy	+	+	4 to 25	5 to 21	200/300[9)]	300/900	0x0 to 40x40

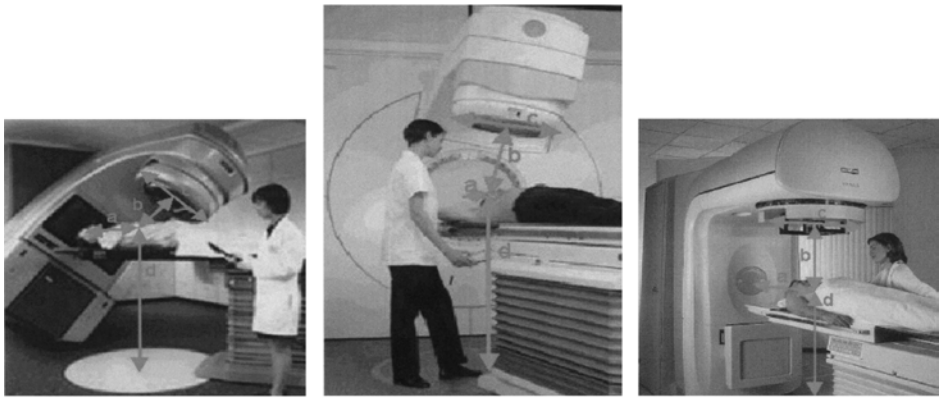
[1)]Four energy electron groups, [2)]Three energy electron groups, [3)] For 4 MV version 50-250 MU/min, [4)]Dose, rate 25-500 cGy/min, [5)]Adjustable in five fixed steps up to 400 cGy/min for all energies, [6)]Dedicated for intraoperative irradiations, [7)]Depending on the electron applicator size, [8)]Optionally to 900 mcGy/min, [9)]Dose rates of 300/500 are optional

velopmental work remains to be done to help make the application of this new technology straightforward and easy to perform. The number of patients treated with IMRT is dramatically increasing every year. It is entirely conceivable that eventually most conformal and/or curative patients will be treated with some version of IMRT techniques. Therefore, the estimates of the percentage of patients treated with IMRT should range from 50% to almost 100% [7].

Facility planning and radiation safety.

The principal facility shielding issue for IMRT is that significantly more machine beam-on time is required for IMRT techniques. Conventional RT treatments with non-IMRT fields generally encompass the entire planning target volume (PTV) with most fields, while IMRT techniques, using the equivalent number of machine MUs as the conventional treatment fraction, would deliver dose to only a part of the PTV. Therefore, depending on the complexity of the IMRT intensity pattern chosen, a potentially much larger number of additional MUs may be needed to cover the entire PTV. The increased workloads associated with IMRT can be represented by using a multiplicative factor, M, which is defined as the ratio of the number of MUs required for IMRT treatments divided by the number of MUs required when conventional-shaped fields are used. The ratio M range from 2.8 (SMLC-IMRT techniques) to 8 (serial tomotherapy) [7].

This increase in MUs has a serious consequence in two primary areas of concern, namely the recommended workload associated with the use of linacs in shielding design, and the increased whole-body dose to patient that may occur because of increased leakage resulting from the large MU setting. For 10 MV X-rays for treatment of 50 patients the daily workload at the isocenter, recommended by the National Council on Radiation Protection and Measurements Report 49 [15] is 100,000 R/wk. It is likely that for the present



VARIAN - CLINAC ELEKTA - PRECiSE SIEMENS - PRIMUS

	VARIAN – CLINAC EX	ELEKTA - PRECiSE	SIEMENS - PRIMUS
a – gantry to isocenter	104 cm	124 cm	97.3 cm
b – head to isocenter	41cm (30 cm with wedge)	45 cm	43 cm
c – head size	90 cm	62 cm	75 cm
d – floor to isocenter	130 cm	124 cm	131 cm

Fig. 9. Isocentric clearances for Varian, Siemens and Elekta radiotherapy accelerators

technology, one needs to increase the recommended values of workload from Reports 49 and 51 [15, 16] by at least a factor of 2 and possibly as high as 5 [7].

High dose rate values. During the past decade, linear accelerator designs have improved so that much higher dose rates are available from many machines. Although the dose rates were typically limited to between 200 and 300 MU/min on many machines [17], manufacturers have provided machines that can treat patients with dose rates of 600 MU/min (photons, Table 7) or more. Driven by the desire to treat IMRT cases (requiring many MUs in shorter time), this dose rate improvements is expected to continue. Although older shielding regulations depended more on the total MU delivered than the dose rate, there are now states that consider the instantaneous dose rate as well. The new and higher dose rates must be considered for these situations.

Calibration changes. A second effective increase in both workload and dose rate is the trend to calibrate modern accelerators at a depth of 10 cm. Before the past decade, it was clearly standard practice to calibrate most accelerators so that 1 machine MU delivered 1 cGy for a 10x10 cm^2 field at source-surface distance (SSD) 100 cm at a depth of d_{max} (1.5-3 cm) in water. However, in recent years, the concentration on CRT, increased knowledge of electron contamination and head scatter effect, and various other issues led to the general acceptance of calibrations a depth of 10 cm. In such cases, 1 MU now corresponds to 1.0 cGy at a 10-cm depth, which translates to between 1.3 and 1.4 cGy at d_{max}. This means that effective dose rate delivered through the machine is a factor 1.3 or 1.4 larger than before. Again, for those states that consider instantaneous dose rate also, this becomes a factor that must be considered [7].

Transmission/leakage. Transmission/lea-kage is the part of the shielding calculation in which IMRT most dramatically changes the results of normal methods. The leakage issue is directly related to the MUs run through the machine. If the increase in MUs is a ratio of 5 from the normal workload, then all the parts of the shielding design that depend on leakage transmission must be increased by a factor of 5. This is equivalent to the MU per week changing from 50,000 to 250,000 MU/wk or to increasing the leakage specification for a machine from 0.1% to 0.5%. Thus, treatment machine vendors are encouraged to add shielding in the accelerator head to avoid costly room shielding additions.

First-generation IMRT systems. Currently, most IMRT approaches will increase the time and effort required by physicians, medical physicists, dosimetrists, and radiation therapists, because IMRT planning and delivery systems are not yet robust enough to provide totally automated solutions for all disease sites. Considerable research is needed to model the clinical outcomes to allow truly automated solutions. Current IMRT delivery systems are essentially first-

generation systems, and no single method stands out as the ultimate technique. But the new process of planning and treatment delivery shows significant potential for improving the terapeutic ratio. Also, although inefficient today it is expected that IMRT, when fully developed, will improve the efficiency with which external beam RT can be planned and delivered, and thus potentially lower costs. In addition, IMRT techniques appear to place greater stress on the treatment machines. Currently no articles about the effects of IMRT use on machine reliability, downtime, and failure rate have been published. This could become a potential issue in the future [7].

7. Proton radiotherapy accelerators

Protons deliver the dose at a relatively uniform low level until they have lost a significant fraction of their energy, at which point the dose increases reaching a sharp peak close to the end of the proton range. At present, two major applications of proton beams are encountered in clinical applications. These are, firstly, the use of relatively low energy protons: $E_p < 80$ MeV or higher energy degraded beams, specifically for the treatment of the ocular tumors using field sizes smaller than 10 cm^2, and secondly, the treatment of large deep-seated lesions ($E_p = 150$ to 250 MeV) with small or large fields. In ~ 25 Proton therapy facilities over 30 000 patients have now been treated by this method (Table 3 and [12]), and for a number of tumors dramatic improvement in success rates have been clearly demonstrated.

Proton therapy centers are located in the United States, Japan, Russia, South Africa and Europe. The present facilities are mainly equipped with isochronous cyclotrons or proton synchrotrons. Some of specialist and commercial companies are proposing, or working on a system specially dedicated to proton radiotherapy. For details see [5]. The biggest issue with proton machines is shear cost that can easily be more than 25 times that of the linac. Although proton radiotherapy accelerators provide no global solution to treating cancer, though they may make an important contribution in certain large treatment center and university settings.

8. Conclusions

At present, the total number of accelerators employed in radiotherapy exceeds 7500 (Table 1), with approximately half in the United States. Apart from radiotherapy, a large number of medical radioisotopes are now commercially produced with accelerators. The number of machines used in the production of radionuclides worldwide is about 200. Several hundred other accelerators have been used worldwide in radiobiological and medical research. Consequently, *biomedical accelerators* are now the largest group of charged particle accelerators, about 8400 machines, i.e. nearly 50% of all accelerators. On the other hand, the total number of over 30 million patients (Table 3) who have been treated by conventional accelerator radiotherapy should be regarded as a great success in the use of accelerator techniques for the improvement and prolongation of human life. Many of existing machines are old and need to be replaced and there is a great need for new treatment facilities therefore there is an enormous deficit of radiotherapy linacs today. WHO statistics indicate a doubling of cancer incidence and mortality by the year 2020. Within twenty years cancer will be the leading cause of death everywhere with the exception of sub-Saharan Africa. It is estimated that 14 million people fall victim to cancer annually, and ideally about 60 percent should receive radiation treatment as either the primary treatment or as an adjunct treatment to surgery or chemotherapy. Today the death rate from cancer is about 7 million per year and this number could be reduced significantly by the greater availability of radiotherapy linacs.

Median price of an electron radiotherapy linac is about $1 to 2 million (machine only), a price affordable for the health care providers in the developed world, but very high for third-world hospitals. There is still a need for the development of cheaper machines, which must be a priority task to the world particle accelerators community. If the present-day US number of 230 new patients per machine per year were accepted as world's standard, it could easily be calculated that over 40,000 radiotherapy linacs would have to be installed worldwide, which is totally unrealistic due both to the high cost and lack of means (and qualified staff) in developing countries. However, the estimate given above can serve as a good illustration of the scope of the problem and magnitude of needs.

9. References

[1] Japan Radioisotope Association: Statistics on the Use of Radiation in Japan 1998, Tokyo, 1999.
[2] Okie S.: *Are cancer patients neglected?* Int. Herald Tribune, June 20, 2001.
[3] Particles, a newsletter for those interested in proton, light ion and heavy charged particle radiotherapy, ed. J.Sisterson, no. 17, 1996 and 29, 2002, Nordeast Proton Therapy Center, Massachusetts General Hospital, Boston MA 02114.

[4] Wojcik A. et al.: *Biological dosimetry for reconstruction of doses absorbed during radiation accidents in radiotherapy*, INCT Rep. A, 2/2002, 327-332 (in Polish).
[5] W. Wieszczycka, W.H. Scharf: Proton Radiotherapy Accelerators, World Scientific Publishing Co., New Jersey, 2001.
[6] Webb S.: *The Physics of Conformal Radiotherapy*, Institute of Physics Publishing, 1997.
[7] Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group: Intensity-modulated,radiotherapy: current status and issues of interest, Int. J. of Radiation Oncology-Biology-Physics, 880-914, vol. 51(4), 2001.
[8] Ling C. C. at al.: *Implementetion of IMRT*, 9th Varian European Users Meeting, San Margherita di Pula, Sardinia, June 7-10, 2002.
[9] Ling C. C., Burman C., Chui C. S. et al.: *Conformal radiation treatment of prostate cancer using inversely-planned intensity modulated photon beams produced with dynamic multileaf collimation*, Int Radiat Oncol Biol Phys 35, 1996, 721-730.
[10] C.Burman, C.S.Chui, G.Kutcher et al.: Planning, delivery, and quality assurance of intensity-modulated radiothrrapy using dynamic multileaf collimator – A strategy for large-scale implementation for the treatment of carcinoma of the prostate, Int J Radiat Oncol Biol Phys 39, 1997, 863-873.
[11] De Neve W., De Wagter C., De Jaeger K. et al.: *Planning and delivering high doses to targets surrounding the spinal cord at the lower neck abd upper mediastinal levels – static beam-segmentation technique executed with a multileaf collimator*, Radiother Oncol 40, 1996, 271-279.
[12] De Neve W., De Gersen W., Derycke S. et al.: *Clinical delivery of intensity modulated conformal radiotherapy for relapsed or second-primary head and neck cancer using a multileaf collimator with dynamic control*, Radiother Oncol 50, 1999, 301-314.
[13] Eisbruch A., Marsh L. H., Martel M. K. etal.: *Comprehensive irradiation of head and beck cancer using conformal multisegmental fields-assesment of target coverage and noninvolved tissue sparing*, Int J Radiat Oncol Biol Phys 41, 1998, 559-568.
[14] Ford: *The Microwave Electron Linac in the Treatment of Cancer*, Proc. of the 2000 PAC, Chicago, 639-641.
[15] National Council on Radiation Protection and Measurements, Structural shielding design and evaluation for medical use of X-rays and gamma ray of energies up to 10 MeV, NCRP, Washington DC, 1976.
[16] National Council on Radiation Protection and Measurements: Radiation protection design guidelines for 0m1-100 MeV particle accelerator facilities, NCRP, Washington DC, 1977.
[17] Scharf W.H.: *Biomedical Particle Accelerators*, American Institute of Physics Press, New York (1994); with up-to-dated supplement published also in Japanese by Iryou-Kagaku-Sha, Tokyo, 1998.
[18] Sisterson J.: *Ion Beam Therapy*: Overview of the World Experience, in this Proceedings.
[19] Karzmark C.J. et al: *Medical Electron Accelerators*, McGraw-Hill Inc., New York, 1993.

List of firms

[F 1] Varian Medical Systems, Palo Alto, CA (USA Headquarters); Varian Medical Systems International AG, Chollerstrasse 38, Postfach, CH-6303 Zug, Switzerland
[F 2] Siemens Medical Systems, Inc., Oncology Care Group, 4040 Nelson Avenue Concord California 94520 U,S,A.
[F 3] Elekta Oncology Systems Ltd., Fleming Way, Crawley, West Sussex RH10 2RR, UK
[F 4] Mitsubishi Electric Company, Medical System Section, 2-2-3 Marunouchi Chiyodaku, Tokyo 100-83100, Japan.

Dr inż. Wiesław MACISZEWSKI
The Andrzej Soltan Institute for Nuclear Studies
05-400 Świerk, Poland
e-mail: wieslaw.maciszewski@wp.pl
Dr Waldemar SCHARF
Warsaw University of Technology, Institute of Radioelectronics
ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warsaw, Poland

Krzysztof DUDEK
Jan BANASIAK
Jerzy BIENIEK

DIAGNOSTYKA WĘZŁÓW KINEMATYCZNYCH W KOSIARKACH ROTACYJNYCH

DIAGNOSIS OF KINEMATIC PAIRS IN THE ROTARY MOWERS

Przedstawiono wyniki kontroli stopnia zużycia kosiarek rotacyjnych metodami wibroakustyk i termografii. Potwierdzono przydatność obu metod w badaniach maszyn rolniczych i możliwość zamiennego ich stosowania. Metoda diagnostyki termowizyjnej ma szczególne znaczenie z uwagi na mobilną eksploatację maszyn rolniczych.

Słowa kluczowe: *diagnostyka, termowizja, wibroakustyka, maszyny rolnicze.*

The paper presents the level of rotary mowers' wear monitored by vibroacoustics and thermography. Both methods have been found suitable to be applied in agricultural machines and can be used interchangeably. However, thermovision diagnosis becomes particularly important due to a mobile operation of agricultural machines.

Keywords: *diagnosis, thermovision, vibroacoustics, agricultural machines.*

1. Wstęp

W maszynach rolniczych w większości napędzanych od wałka odbioru mocy ciągnika (WOM) lub samojezdnych, kontroli wymaga zużycie układów przeniesienia momentu obrotowego i ich łożyskowanie.

Cechy konstrukcyjne i mobilność maszyn rolniczych utrudniają wykorzystanie podstawowej techniki, jaką jest wibroakustyka [4, 5].

Szczególnego znaczenia nabierają więc metody diagnostyki bezkontaktowej. Jedną z nich jest diagnostyka termowizyjna [3]. Niecharakterystyczny rozkład temperatury obiektu technicznego w fazach wstępnej i pełnej jego eksploatacji pozwala wnioskować o poprawności jego konstrukcji, wadach zastosowanych materiałów, błędach w montażu a także stopniu jego zużycia [1].

Celem opracowania jest przedstawienie wyników badania stanu technicznego kosiarek rotacyjnych z zastosowaniem metody diagnostyki termowizyjnej i wibroakustycznej.

2. Metodyka badań

Do badań zużycia węzłów kinematycznych wytypowano dwie kosiarki rotacyjne: czterobębnową RzS-160 (rys. 1) po 224 godzinach eksploatacji i dwubębnową Z-070 (rys. 7) po 180 godzinach pracy. Oce-

1. Introduction

Agricultural machines that are mostly driven by the power take-off shaft of the tractor (WOM) as well as self-propelled machines need to have the wear of the systems transmitting a turning moment and their bearings controlled.

The application of one of the simplest methods such as vibroacoustics seems to be hindered due to the constructional features and mobility of agricultural machines [4, 5].

Thus the non-contact methods such as thermovision diagnosis [3] acquire great importance. A non-specific distribution of the temperature of the technical object both at the initial and full phase of its operation allows to draw the conclusions whether the construction is proper, the materials applied have any defects, there are any assembly faults and to what extent it is worn out [1].

The aim of the paper is to present the results on the studies on technical conditions of the rotary mowers with the application of two methods: thermovision and vibroacoustics.

2. Methods

The studies on the wear of kinematic pairs were carried out on the RzS-160 four-barrelled (Fig. 1) and Z-070 two-barrelled rotary mowers (Fig. 7) after 224 hours and 180 hours of their operation, respectively.

nie zużycia poddano przekładnie zębate stożkowe i łożyska bębnów roboczych. Dla oceny zużycia przekładni zębatych na powierzchni ich pokryw zainstalowano czujniki przemieszczeń amplitud drgań połączone z miernikiem Vibscanner.

Wirujące bębny robocze kosiarek uniemożliwiły montaż akcelerometrów w bezpośrednim sąsiedztwie łożysk bębnów i wykonanie takich pomiarów.

Na powierzchniach bębnów roboczych dokonano więc rejestracji rozkładów temperatur kamerą termowizyjną Thermovision 550 przed uruchomieniem WOM-u oraz przy pracy bębnów z prędkością nominalną. Rejestrację i akwizycję sygnału prowadzono do czasu ustabilizowania się temperatur po 30 minutach [2].

3. Wyniki badań

Celem diagnostyki maszyn rolniczych może być ocena ich stanu technicznego w rocznym cyklu eksploatacji a także przed i po obsłudze technicznej przy użytkowaniu okresowym. W przypadku kosiarek rotacyjnych napędzanych za pośrednictwem WOM podstawowym zespołem wymagającym częstej kontroli jest układ przenoszenia momentu obrotowego: wałki i stożkowe koła zębate oraz ułożyskowanie bębnów roboczych.

Na rysunkach 2a i 3a przedstawiono rozkład temperatur na bębnach badanej kosiarki czterobębnowej przed uruchomieniem napędu WOM wynosiła ona od 26,5 do 26,7 °C. Rys. 2b i 3b przedstawiają termogramy dla kosiarki RzS-160 po około 30 min pracy bębnów kosiarki i wynosiła od 29,1 do 33,7 °C. Termogramy pokrywy kół zębatych stożkowych układu napędowego omawianej kosiarki pokazano na rys. 6a przed uruchomieniem WOM i po 30 min pracy na rys. 6b.

Na rysunkach 7b i 7c pokazano termogramy i profile temperatury przed uruchomieniem kosiarki dwubębnowej Z-070 i po 12 min pracy.

Rysunki 5 i 8 przedstawiają widma drgań bębnów badanych kosiarek rotacyjnych.

Wyniki pomiarów (termogramy i wartości skuteczne drgań) oraz analiza laboratoryjna oporów ruchu poszczególnych bębnów (po ich rozprzężeniu) wykazały, że istnieje silna dodatnia korelacja między oporami obracania bębnów roboczych a przyrostem temperatury bębna w okolicy łożyska kulkowego piasty (rys. 4) co wskazuje na możliwości zamiennego stosowania metod wibroakustycznej i termografii.

The wear of bevel gears and working barrels' bearings was assessed. The sensors to register relocation of vibration amplitudes linked with the Vibscanner meter allowed to estimate the wear of bevel gears and were installed on their covers.

The rotating working barrels of the mowers made it impossible to mount accelerometers directly next to the barrel bearings and carry out such measurements.

Thus the temperature distributions were registered on the working barrels' faces by using the Thermovision 550 camera. It was done twice: before activating of the power take-off shaft and when the barrels were operating at the nominal speed. Registration and acquisition of the signal was conducted until the temperatures stabilised after 30 minutes [2].

3. Results

The aim of the diagnosis of agricultural machines is to assess their technical conditions both in a one-year cycle of operation as well as before and after each periodical use. The basic unit of the rotary mowers driven by the power take-off shaft that needs to be controlled frequently is the system of turning moment transmission: rollers and bevel gears as well as bearings of the working barrels.

Figures 2a and 3a show a distribution of temperatures on the barrels for the four-barrelled rotary mower. Before the power take-off shaft (WOM) was activated the temperatures had varied from 26.5 to 26.7 °C. The thermograms for the RzS-160 mower after ca. 30 minutes of barrels' operation are presented in Figures 2b and 3b. In this case the temperature ranged from 29.1 to 33.7 °C. Figures 6a and 6b indicate the thermograms for the bevel gears' cover of the power transmission system for the discussed mower before the activation of WOM and after 30 minutes of operation, respectively.

The thermograms and temperature profiles before the activation of the Z-070 two-barrelled rotary mower and after 12 minutes of operation appear in Figures 7b and 7c.

Figures 5 and 8 show the vibration spectra of the rotary mowers' barrels.

The results of measurements (thermograms and root-mean-square values of vibrations) as well as laboratory analysis of resistance to motion of particular barrels (after their expansion) proved that there is a strong positive correlation between the rotation resistance of the working barrels and the increase of barrel temperature in the vicinity of ball bearing of the hub (Fig. 4). Such a situation indicates that both methods: vibroacoustics and thermography might be applied one instead of the other.

4. Wnioski

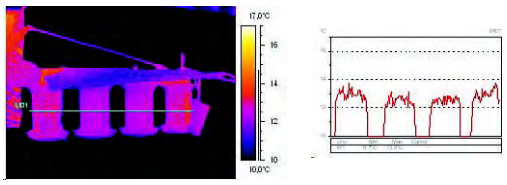
1. Bębny robocze osłaniające łożyska toczne zdatne do dalszej eksploatacji zachowują równowagę cieplną w temperaturze od 30°C do 35°C, a czas ich nagrzewania w zakresie temperatur 25°C ¸ 34°C wynosi powyżej 300 s.
2. Nie zaobserwowano natomiast statystycznie istotnego związku między oporami ruchu bębnów a poziomem drgań mierzonych na stałej obudowie kół zębatych.
3. Przedstawione wyniki wskazują na niski poziom zużycia węzłów kinematycznych badanych kosiarek i potwierdzają możliwość ich dalszej beznaprawowej eksploatacji.
4. Przeprowadzone badania pilotowe na maszynach rolniczych potwierdziły przydatność termografii w diagnostyce stanu technicznego węzłów kinematycznych, zwłaszcza niedostępnych dla diagnostyki drganiowej.

4. Conclusions

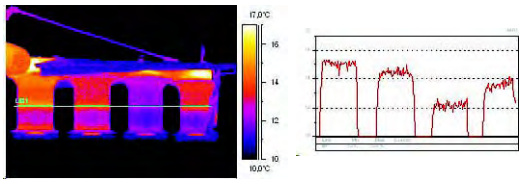
1. The working barrels protecting the rolling bearings that are fit for further operation maintain thermal equilibrium when the temperature varies from 30°C to 35°C, and their warm-up time within the temperature range of 25°C ÷ 34°C is above 300 s.
2. There was no statistically significant correlation between resistance to motion of the barrels and the level of vibrations measured on the immovable shell of bevel gears.
3. The results indicate that the wear level of mowers' kinematic pairs is low and confirm that there is a potential for their further operation with no repairs.
4. The pilot studies carried out on agricultural machines have certified the suitability of thermography as a system to diagnose technical conditions of kinematic pairs. It can be applied especially for the pairs, which are not available for the vibration diagnosis.

Rys. 1. Kosiarka rotacyjna czterobębnowa RzS-160
Fig. 1. RzS-160 four-barrelled rotary mower

a)

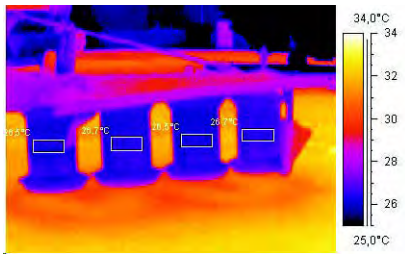


b)

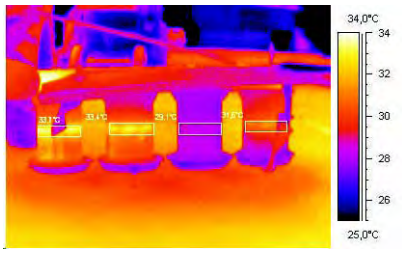


Rys. 2. Termogram i profil temperaturowy kosiarki RzS-160 przed uruchomieniem (a) i 25 min po uruchomieniu wałka odbioru mocy (b)
Fig. 2. Thermogram and temperature profile of the RzS-160 mower before the activation of the power take-off shaft (a) and 25 minutes after having set it working (b)

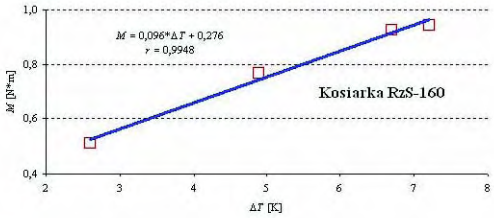
a)



b)

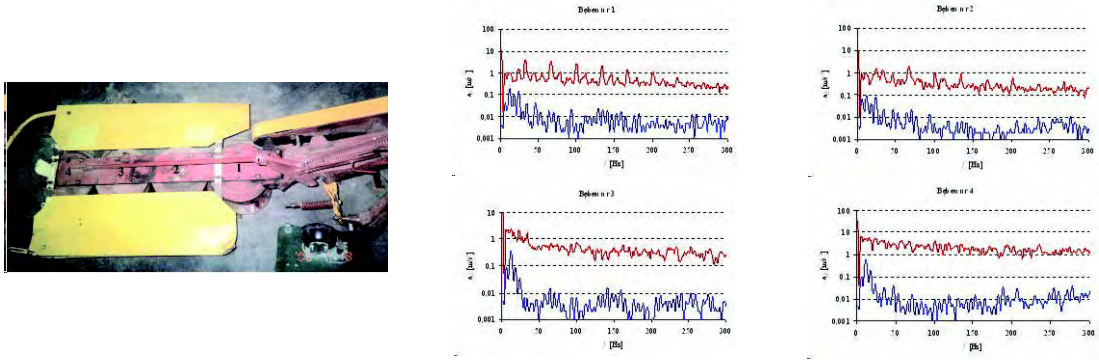


Rys. 3. Termogramy kosiarki RzS-160 przed uruchomieniem (a) i po 30 minutach pracy (b). Określono maksymalne temperatury w zaznaczonych prostokątnych obszarach powierzchni bębnów
Fig. 3. Thermograms of the RzS-160 mower before the activation (a) and after 30-minute operation (b). Maximum temperatures were assessed within the marked rectangular areas of the barrels' faces



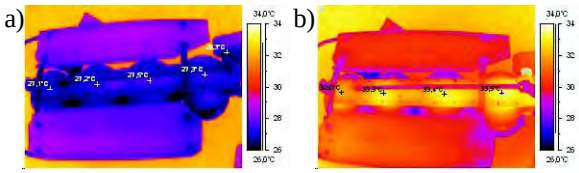
Rys. 4. Współzależność wielkości maksymalnej momentu obrotowego bębna roboczego [N×m] oraz przyrostu temperatury powierzchni bębna w okolicy łożyska kulkowego piasty

Fig. 4. Correlation between the maximum value of the working barrel's turning moment [N×m] and the temperature increase of the barrel face next to the ball bearing of the hub



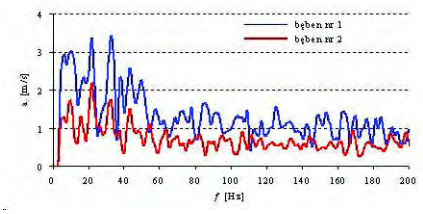
Rys. 5. Porównanie widm drgań bębnów kosiarki RzS-160 przy wyłączonym (linia niebieska) i włączonym wałku odbioru mocy (linia czerwona)

Fig. 5. Comparison between the spectra of barrels' vibration of the RzS-160 mower when the power take-off shaft is switched off (blue line) and switched on (red line)



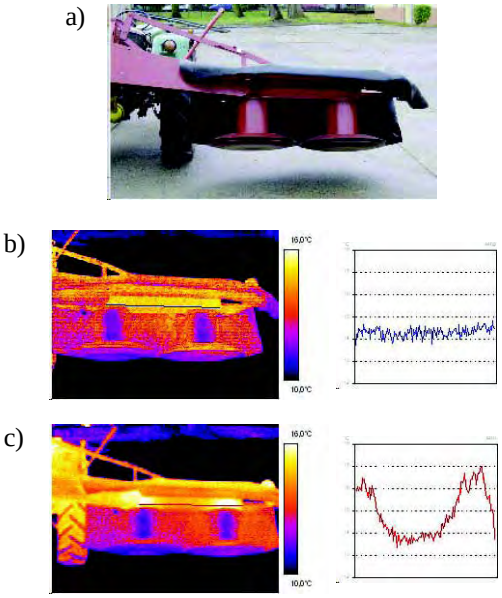
Rys. 6. Termogramy pokrywy kół zębatych stożkowych układu napędowego kosiarki RzS-160 przed uruchomieniem (a) i po 13 minutach pracy (b)

Fig. 6. Thermograms of the bevel gears' covers of the transmission system before the activation (a) and after 13 minutes of operation (b) (RzS-160 rotary mower)



Rys. 8. Widmo drgań bębnów kosiarki Z-070 przy włączonym wałku odbioru mocy

Fig. 8. The spectrum of barrels' vibration with the power take-off shaft switched on (Z-070 rotary mower)



Rys. 7. Kosiarka rotacyjna dwubębnowa Z-070 (a) oraz termogram i profil temperaturowy przed uruchomieniem (b) i po 12 min (c)

Fig. 7. The Z-070 two-barrelled rotary mower (a), thermogram and temperature profile before the activation (b) and after 12 minutes of operation (c)

5. References

[1] Cholewa W., Moczulski W.: *Diagnostyka techniczna maszyn. Pomiary i analiza sygnałów*. Skrypty uczelniane Politechniki Śląskiej nr 1758, Gliwice 1993.
[2] Dudek K.: *Termography as a Diagnosing Systems*. Systems, 1998. Vol. 3, No 2.
[3] Michalski R. i inni: *Badania charakterystyk eksploatacyjnych i niezawodnościowych kombajnów zbożowych w sezonie agrotechnicznym*. Sprawozdanie ART. Olsztyn, IMUR, Olsztyn 1986.
[4] Niziński S., Michalski R.: *Diagnostyka obiektów technicznych*. Wydawnictwo Instytutu Eksploatacji. Warszawa-Sulejówek-Olsztyn-Radom, 2002.
[5] Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*, Wyd. ATR, Bydgoszcz, 1996.

Prof. dr hab. inż. Jan BANASIAK
Dr inż. Jerzy BIENIEK
Zakład Eksploatacji Maszyn Rolniczych
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza we Wrocławiu
Ul. Chełmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław
tel. 071-3205721, tel/fax 3482486,
banasiak@imr.ar.wroc.pl
bieniek@imr.ar.wroc.pl

Dr inż. Krzysztof DUDEK
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Politechnika Wrocławska
Ul. I. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław
tel. 071-3202674, tel/fax 3227645,
kd@zind.ikem.pwr.wroc.pl

Paweł DROŹDZIEL

WPŁYW WYBRANYCH WARUNKÓW EKSPLOATACJI SAMOCHODOWEGO SILNIKA SPALINOWEGO NA PARAMETRY JEGO ROZRUCHU

IMPACT OF SELECTED OPERATION CONDITIONS OF A CAR COMBUSTION ENGINE ON ITS START-UP PARAMETERS

Jednym z najważniejszych stanów funkcjonowania samochodowego silnika spalinowego jest rozruch, podczas którego jest on doprowadzany do samodzielnego działania na biegu jałowym. Ze względu na niekorzystne procesy fizyczne jakie zachodzą podczas każdego rozruchu obserwuje się w jego trakcie występowanie zwiększonej emisji składników toksycznych spalin oraz znaczną intensywność zużywania się poszczególnych zespołów tribologicznych silnika. Skala tych negatywnych procesów zależy od warunków eksploatacji samochodowego silnika spalinowego. Warunki te dodatkowo wpływają także na parametry samego rozruchu. Wydaje się więc konieczne określanie związków pomiędzy parametrami rozruchu a warunkami eksploatacyjnymi silnika spalinowego. W celu identyfikacji wpływu czynników wewnętrznych i zewnętrznych oddziaływujących na silnik spalinowy przeprowadza się trakcyjne badania eksploatacyjne pojazdów w środowisku ich pracy. Niniejszy artykuł prezentuje opis takich badań oraz statystyczną analizę ich wyników.

Słowa kluczowe: *samochodowy silnik spalinowy, warunki eksploatacji, rozruchy*

Engine start-up seems to be one of its most important functional states. At the start-up the engine develops mechanic energy (internally) to overcome resistance to motion and then it is made to operate independently at idle running. Due to unfavourable physical processes that take place during each engine start-up there is an increased emission of toxic compounds of exhaust gas and the wear of selected tribological engine units is intensified. The extent of such negative processes depends on service conditions of a combustion engine, which also affect the engine start-up itself. Thus, it seems necessary to estimate the relations between parameters of the combustion engine start-up and service conditions. In order to identify the impact of internal and external factors affecting the engine there is a need to carry out traction operational tests of the vehicles in their real operational environment. The paper deals with a description of such tests and presents a statistical analysis of their results.

Keywords: *operation conditions, car combustion engine, start-ups*

1. Wstęp

Podczas eksploatacji na samochodowy silnik spalinowy oddziałuje wiele wymuszających czynników, które wpływają na jego funkcjonowanie oraz stan techniczny. Czynniki wewnętrzne (robocze) wynikają bezpośrednio z pracy silnika spalinowego. Zaliczyć do nich możemy między innymi: skład mieszanki paliwowo-powietrznej, rodzaj oleju smarującego, ciśnienie w cylindrze, temperaturę oleju smarującego itd. Czynniki zewnętrzne reprezentują oddziaływanie jakie wywiera na silnik otoczenie (środowisko) oraz zespoły

1. Introduction

There are several factors that affect both the functions and technical state of a combustion engine during vehicle operation. The factors such as composition of air-fuel mixture, kind of lubricating oil, pressure in the cylinder, oil temperature etc. are directly related to the engine work. Those are internal (operational) factors. The external factors: resistance to motion, technical state of the power transmission system, atmospheric conditions, road types, air dustiness, routes and conditions for vehicle run, etc. reflect the effects

pojazdu. Należą do nich opory ruchu, stan techniczny układu przeniesienia napędu, czynniki atmosferyczne, rodzaj dróg, zapylenie powietrza, trasy i warunki przejazdu samochodu itp. Charakterystyki zmian wartości czynników zewnętrznych i wewnętrznych tworzą zbiór tzw. warunków eksploatacji samochodowego silnika spalinowego [7,8].

Jednym z najważniejszych stanów funkcjonowania samochodowego silnika spalinowego jest rozruch, podczas którego jest on doprowadzany do samodzielnego działania na biegu jałowym. Samodzielne działanie silnika występuje wtedy gdy wytwarza on wewnętrznie energię mechaniczną wykorzystywaną do pokonania wszystkich oporów ruchu [5,6]. Ze względu na niekorzystne procesy fizyczne jakie zachodzą podczas każdego rozruchu obserwuje się w jego trakcie występowanie zwiększonej emisji składników toksycznych spalin oraz znaczną intensywność zużywania się poszczególnych zespołów tribologicznych silnika [3,4]. Skala tych negatywnych procesów zależy od warunków eksploatacji samochodowego silnika spalinowego. Warunki te dodatkowo wpływają także na parametry samego rozruchu [3,5]. Do parametrów rozruchu silnika spalinowego zaliczyć możemy między innymi: temperaturę rozruchu silnika, czas rozruchu, wartość prądu pobieranego przez rozrusznik itd.

Wydaje się więc konieczne określanie związków pomiędzy parametrami rozruchu a warunkami eksploatacyjnymi silnika spalinowego. W celu identyfikacji wpływu czynników wewnętrznych i zewnętrznych oddziaływujących na silnik spalinowy przeprowadza się trakcyjne (przebiegowe) badania eksploatacyjne pojazdów w środowisku ich pracy [7]. Niniejszy artykuł prezentuje opis takich badań oraz statystyczną analizę ich wyników.

2. Metodyka trakcyjnych badań własnych pojazdu

Badaniami eksploatacyjnymi objęto silnik spalinowy 4CT90 o zapłonie samoczynnym produkowany przez Wytwórnię Silników Wysokoprężnych „Andoria" w Andrychowie. Silnik ten, o pojemności skokowej 2,417 dm^3, posiada moc 63,5 kW przy 4100 obr/min i rozwija moment maksymalny 195 Nm przy 2500 obr/min. W badanym silniku zastosowano rzędową pompę wtryskową produkcji czeskiej firmy MOTORPAL Jihlava typ PP4M7P1g 3176 z wielozakresowym odśrodkowym regulatorem obrotów oraz automatycznym przestawiaczem kąta wtrysku. Układ rozruchowy silnika 4CT90 składa się z włącznika rozrusznika, akumulatora rozruchowego o pojemności maksymalnej 150Ah (w +20°C), przewodów wysokoprądowych oraz rozrusznika. Rozrusznik 443 115 142 723 produkcji czeskiej firmy MAGNETON jest szeregowym silnikiem elektrycznym prze-

that the surroundings (environment) and vehicle units have on the engine. Characteristics indicating changes in values of both internal and external factors form the complex of so–called conditions to operate a combustion engine [7,8].

Engine start-up seems to be one of its most important functional states. At the start-up the engine develops mechanic energy (internally) to overcome resistance to motion [5,6] and then it is made to operate independently at idle running. Due to unfavourable physical processes that take place during each engine start-up there is an increased emission of toxic compounds of exhaust gas and the wear of selected tribological engine units is intensified [3,4]. The extent of such negative processes depends on service conditions of a combustion engine, which also affect the engine start-up itself [3,5]. The parameters of a combustion engine start-up include among others: temperature and time of engine start-up, the value of current consumed by a starter etc.

Thus, it seems necessary to estimate the relations between parameters of the combustion engine start-up and service conditions. In order to identify the impact of internal and external factors affecting the engine there is a need to carry out traction (run) operational tests of the vehicles in their real operational environment [7]. The paper deals with a description of such tests and presents a statistical analysis of their results.

2. Methods of the vehicle traction tests

Operational tests were carried out on the 4CT90 combustion self-ignition engine produced by a Diesel Engines Factory „ANDORIA S.A." in Andrychów. The engine is characterized by the following general data: it has the cubic capacity: 2.417 dm^3, max. power 63.5 kW at 4100 rotations/min and develops a maximum moment 195 Nm at 2500 rotations/min. The engine was fitted with an in-line fuel injection pump (type PP4M7P1g 3176 made by the Czech company MOTORPAL Jihlava) with a multirange centrifugal speed governor and an automatic device to regulate injection angle. Start-up system of the 4CT90 engine is composed of a starter switch-key, starting battery of the maximum capacity 150Ah (in +20°C), high current-carrying wires and a starter. A 443 115 142 723 starter produced by the Czech company MAGNETON is in-

znaczonym do krótkotrwałej pracy. Badany silnik 4CT90 był zamontowany w samochodzie dostawczym z serii LUBLIN III użytkowanym przez Zakład Transportu Samochodowego Poczty Polskiej w Lublinie. Badany pojazd był jednym z kilkudziesięciu samochodów eksploatowanych obecnie w lubelskim okręgu poczty [3].

W celu rejestracji wybranych parametrów pracy samochodu LUBLIN III oraz działania silnika 4CT90 zbudowano specjalny rejestrator [4]. Opracowany rejestrator bazuje na jednopłytkowym komputerze PCM 3864 z procesorem 386SX-40, magistralą ISA i złączem PC 104. Komputerem sterował program monitorujący mierzone wielkości, który znajdował się we flash dysku o pojemności 32 MB. Na dysku tym zapisywane były także dane uzyskane w czasie prowadzonych pomiarów. Sygnały pomiarowe z czujników doprowadzane były do bloku kondycjonowania sygnałów pomiarowych i przekazywane do karty pomiarowej PC 104-DAS08. Karta ta posiada 8 kanałów analogowych, wejścia cyfrowe i licznikowe oraz przetwornik A/C 12 bitowy. Rejestrowano w trybie on-line następujące parametry:

1. natężenie prądu pobieranego przez rozrusznik w czasie rozruchu silnika,
2. napięcie przyłożone na rozruszniku,
3. liczbę obrotów wału napędowego pojazdu,
4. liczbę obrotów wału korbowego silnika,
5. położenie organu sterującego zasilaniem pompy wtryskowej silnika,
6. temperaturę płynu chłodzącego,
7. temperaturę oleju smarującego,
8. ciśnienie oleju smarującego w głównym kanale olejenia silnika.

Rejestracja następujących parametrów: temperatur, liczby obrotów, ciśnienia oraz położenia organu sterującego zasilaniem pompy wtryskowej silnika odbywała się w cyklu jednosekundowym. Prąd pobierany przez rozrusznik i napięcie na rozruszniku były rejestrowane co 25 ms od momentu rozpoczęcia cyklu rozruchu, wykrywanego po przekroczeniu progowej wartości prądu rozrusznika (50A) [4]. Zarejestrowane parametry były przesyłane do komputera PC, gdzie następnie przetwarzano je przez program konwertujący dane „surowe" na zapisane tekstowo wyniki pomiarów. Tak przygotowane dane były wyprowadzane do innych programów komputerowych, służących do analizy danych (EXCEL, STATISCTICA).

3. Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonej przy użyciu programu komputerowego STATISTICA [2] analizy wyników badań wybranych parametrów rozruchu i działania silnika 4CT90, a także pracy pojazdu LUBLIN III,

line electric engine designed for a short-term operation. The 4CT90 engine under study was mounted in a delivery van of LUBLIN III series and exploited by the Department of Motor Transport of the Polish Mail in Lublin. The van under investigation was one of the several ones being currently at the disposal of the Lublin Branch of Polish Mail [3].

A special recorder constructed to register selected parameters of LUBLIN III operation and activity of the 4CT90 engine [4] was based on single board PCM 3864 computer with the 386SX-40 processor, ISA data bus and PC 104 connector. The computer was controlled by a programme installed on a Flash disc of the 32 MB capacity that monitored all values to be measured and save the data obtained during the measurements. Measurement signals were delivered from the sensors to the block of conditioning measuring signals and transferred to the PC 104-DAS08 record chart. Such a chart is characterized by 8 analog channels, digital and T inputs and 12-digital bit analog-to-digital converter. The following parameters were registered on-line:

1. intensity of the current consumed by the starter at the engine start-up,
2. voltage applied at the starter,
3. number of vehicle drive shaft rotations,
4. number of engine crankshaft rotations,
5. position of a unit to control the admission of an engine injection pump,
6. temperature of a cooling agent,
7. temperature of lubricating oil,
8. pressure of lubricating oil in a main engine oil passage.

Registration of the parameters such as: temperatures, number of rotations, pressure and position of the unit to control the admission of an injection pump took place in 1-second cycles. The current consumed by the starter as well as voltage at the starter were recorded every 25 ms from the very beginning of the engine start-up cycle, after the value of the starter current had exceeded the threshold (50A) [4]. All the parameters were transferred to a PC computer, where they were processed by the programme converting raw data into text-saved measurement results. Then they were transmitted to other computer programmes (EXCEL, STATISCTICA) to analyse the data.

3. Results

The results of the tests on selected parameters of the 4CT90 engine start-up and operation as well as activity of the LUBLIN III van carried out over 4 weeks per year (selected at random) were analysed by

z czterech losowo wybranych tygodni w roku, uzyskano parametry statystyczne (zob. tabela 1) następujących zmiennych losowych:

1. I_{max} – maksymalnej wartości prądu pobieranego przez rozrusznik na początku rozruchu silnika [A],
2. U – napięcia na zaciskach rozrusznika przy maksymalnym natężeniu prądu [V],
3. P – mocy pobieranej przez rozrusznik przy maksymalnym natężeniu prądu [W],
4. t_{roz} – czasu rozruchu silnika [sek],
5. t_{pos} – czasu postoju samochodu z wyłączonym silnikiem przed rozruchem [min],
6. t_{pra} – czasu pracy silnika przed kolejnym rozruchem [min],
7. $T_{płyn}$ – temperatury silnika (płynu chłodzącego) w chwili rozruchu [°C],
8. T_{ol} – temperatury oleju silnikowego w chwili rozruchu [°C].

Przed omówieniem uzyskanych wyników należy stwierdzić, że badania eksploatacyjne silnika 4CT90 samochodu LUBLIN III prowadzono w warunkach dodatnich temperatur pierwszego dziennego rozruchu odbywającego się po nocnym postoju pojazdu trwającym min. 6 godz. [4]. Podyktowane to było przede wszystkim tym, że w okresie zimowym przy niskich temperaturach otoczenia pojazd był garażowany w ogrzewanym pomieszczeniu. Wynikało to z organizacji systemu transportu Poczty Polskiej mającej na celu zapewnienie jego niezawodności. Ułatwiało to pierwsze dzienne rozruchy silnika, a także podnosiło komfort pracy kierowcy.

a computer programme STATISTICA [2]. The statistical parameters (see table 1) of the following variables were obtained:

1. I_{max} – maximal value of the current consumed by the starter at the beginning of the engine start-up [A],
2. U – voltage at starter clips at the maximal current intensity [V],
3. P – power consumed by the starter at the maximal current intensity [W],
4. t_{start} – time of the engine start-up [sec],
5. t_{pause} – time of a pause in vehicle operation with the engine switched off before the starting [min],
6. t_{oper} – time of engine operation before its next starting [min],
7. T_{agent} – engine (cooling agent) temperature at the engine start-up [°C],
8. T_{oil} – engine oil temperature at the engine start-up [°C].

Before the results are discussed it must be emphasized that during operational tests the 4CT90 engine in LUBLIN III van was first started at positive temperatures (in winter at low outside temperatures the vehicle was stored in a heated garage) after it had been switched off for a minimum of 6 hours at night [4]. That part of the transport organisation system of the Polish Mail, aim of which is to maintain its reliability, makes it much easier to start the engine for the first time during the day and also improves working conditions for the drivers.

Tabela 1. Wybrane parametry położenia i rozrzutu wyróżnionych zmiennych losowych
Table 1. Selected parameters of a position and scatter for some random variables

Random variable	Mean value	Standard deviation	Median	Mode	Mean error	Skewness	Kurtosis	Maximal value	Minimal value
Current I_{max} [A]	303.703	45.728	300	286	1.7799	0.1198	-0.6215	418	188
Voltage U [V]	7.856	0.5853	7.860	7.860	0.2278	-0.0992	0.0116	10.020	6.060
Power P [W]	2370.113	290.6163	2362.920	2275,40	11.3122	0.0781	-0.3884	3111.72	1515.00
Time t_{start} [sec]	0.338	0.1488	0.375	0.375	0.00579	3.67328	20.2159	1.575	0.075
Time t_{pause} [min]	28.765	103.1268	3.050	600.00	3.9118	5.0534	25.5194	0.017	833.33
Time t_{oper} [min]	7.928	8.3471	6.333	0.017	0.3164	1.7517	3.7448	0.017	48.517
Cooling agent temperature T_{agent} [°C]	79.153	15.7322	84.700	86.600	0.5963	-2.2613	4.9712	8.700	98.000
Oil temperature T_{oil} [°C]	72.301	17.7215	77.100	82.600	0.6717	-1.2474	1.0029	8.700	99.900

Analizując otrzymane wyniki należy stwierdzić, że pomimo krótkich czasów nieprzerwanego działania silnika 4CT90 (średnio 7,93 min) obserwowano występowanie rozruchów w wysokich temperaturach. Temperatury rozruchu silnika od 80°C do 93,5°C stanowiły 71,6% wszystkich przypadków. Temperatury oleju smarującego podczas rozruchu silnika w przedziale od 72,5°C do 95,3°C były zarejestrowane w 64,2% przypadków.

Występowanie wysokich temperatur rozruchu silnika 4CT90 podyktowane jest tym, że na początku każdego dnia eksploatacji pojazd LUBLIN III przejeżdża drogę o długości ponad 30 km. Pozwala to na nagrzanie się silnika 4CT90. Występujące dodatkowo krótkie przestoje przy kolejnych punktach pocztowych nie pozwalają na znaczne spadki temperatury silnika. Czasy przerw w działaniu silnika trwające do 6 min stanowią aż 71% przypadków.

W dalszej części analizy wyników opracowano macierz współczynników korelacji r pomiędzy wyszczególnionymi zmiennymi losowymi. Na rysunkach 1 – 8 przedstawiono wykresy rozrzutu pomiędzy tymi zmiennymi, wraz z równaniem prostej regresji, dla których współczynniki korelacji $r \geq |0{,}4|$ co świadczy o znacznej korelacji pomiędzy analizowanymi zmiennymi [1].

Analizując uzyskane współczynniki korelacji r dla opisanych zmiennych losowych należy stwierdzić występowanie zależności pomiędzy wartościami parametrów elektrycznych rozrusznika na początku rozruchu silnika 4CT90. I tak podczas wzrostu wartości natężenia prądu I_{max} obserwuje się występowanie coraz większego spadku napięcia U przy jednoczesnym wzroście mocy P pobieranej przez rozrusznik. Związki korelacyjne pomiędzy tymi parametrami są oczywiste i uzyskane wartości współczynników korelacji tylko je potwierdzają.

The analysis of the results revealed that despite short periods of a continuous operation of the 4CT90 engine (the average time was 7.93 min) its start-ups had taken place at high temperatures. Temperatures of the engine start-up ranging from 80°C to 93.5°C accounted for 71.6% of cases. For 64.2% of cases temperatures of lubricating oil registered at the engine start-up reached from 72.5°C to 95.3°C.

Occurrence of high temperatures of the 4CT90 engine start-up resulted from the fact that at the beginning of each operational day the LUBLIN III runs more than 30 km, what allows the engine to heat up. Additional short stops at the following postal points do not lead to significant temperature declines. Stops up to 6 min accounted for 71% of cases.

Further part of data analysis deals with preparing the matrix of correlation coefficients r between specified random variables. Figures 1 – 8 show scatter diagrams for those variables with the equation of regression line, for which correlation coefficients $r \geq |0.4|$, what indicates a significant correlation between analysed variables [1].

When analysing correlation coefficients r for described random variables it must be stressed that there are significant relations between the values of starter electric parameters at the beginning of the 4CT90 engine start-up. And thus, during the increase of current intensity I_{max}, voltage U is getting lower and at the same time the power P consumed by the starter rises. Correlation relations between those parameters are clear and values of correlation coefficients obtained during the tests seem to confirm those relations.

$$r = \begin{vmatrix} & I_{max} & U & P & t_{start} & t_{pause} & t_{oper} & T_{agent} & T_{oil} \\ I_{max} & 1 & -0.58 & 0.87 & -0.06 & -0.05 & 0.08 & 0.05 & 0.05 \\ U & -0.58 & 1 & -0.11 & -0.12 & -0.18 & 0.10 & 0.30 & 0.35 \\ P & 0.87 & -0.11 & 1 & -0.14 & -0.16 & 0.16 & 0.24 & 0.27 \\ t_{start} & -0.06 & -0.12 & -0.14 & 1 & 0.48 & -0.13 & -0.53 & -0.44 \\ t_{pause} & -0.05 & -0.18 & -0.16 & 0.48 & 1 & -0.14 & -0.71 & -0.59 \\ t_{oper} & 0.08 & 0.10 & 0.16 & -0.13 & -0.14 & 1 & 0.26 & 0.32 \\ T_{agent} & 0.05 & 0.30 & 0.24 & -0.53 & -0.71 & 0.26 & 1 & 0.9 \\ T_{oil} & 0.05 & 0.35 & 0.27 & -0.44 & -0.59 & 0.32 & 0.9 & 1 \end{vmatrix}$$

Współczynniki korelacji pomiędzy temperaturą silnika 4CT90 (temperatura płynu chłodzącego $T_{płyn}$) oraz temperaturą oleju T_{ol} w chwili rozruchu a wartością maksymalną natężenia prądu I_{max} pobieranego przez rozrusznik wynoszą r = 0,05. Świadczy to o braku jakiegokolwiek związku pomiędzy wartością maksymal-

Correlation coefficients between the 4CT90 engine temperature (temperature of cooling agent T_{agent}) and oil temperature T_{oil} at the moment of engine start-up and a maximal value of current intensity I_{max} consumed by the starter are r = 0.05. There is an obvious evidence of no relation between the value of maximal

nego natężenia prądu I_{max} pobieranego przez rozrusznik na początku rozruchu a występującym w tym momencie stanem cieplnym silnika scharakteryzowanym przez temperatury $T_{płyn}$ i T_{ol}.

Jest to o tyle zaskakujące, że w literaturze zagadnienia [5,6] opisuje się wyniki badań, w których wartość natężenia prądu rośnie w miarę spadku temperatury rozruchu silnika. Tłumaczy się to wzrostem oporów tarcia w wyniku spadku lepkości oleju smarującego. Należy jednak zwrócić uwagę, że przedstawione i omówione w cytowanej literaturze badania były przeprowadzone wg metodyki norm rozruchowych [9,10]. Uzyskane wartości natężenia prądu pobieranego dotyczą więc wartości średniej występującej podczas stanu napędzania wału korbowego silnika samym tylko rozrusznikiem. Wydaje się, że w warunkach rzeczywistej eksploatacji silnika na wartość maksymalną natężenia prądu I_{max} pobieranego przez rozrusznik wpływają, oprócz oporów tarcia, opory sprężania ładunku występujące w cylindrze. Te zaś zależą nie tylko od stanu cieplnego silnika, ale także od szczelności zespołu tłok-pierścienie-cylinder. Szczelność zaś zespołu TPC uzależniona jest od wielu czynników: konstrukcji, zużycia, położenia tłoka w cylindrze po zatrzymaniu się silnika itd.

Na stan cieplny silnika 4CT90 (temperatury $T_{płyn}$ i T_{ol}) podczas jego rozruchu decydujący wpływ ma długość czasu t_{pos} postoju samochodu z wyłączonym silnikiem. Długość czasu postoju oddziałuje także na czas t_{roz} rozruchu silnika. Współczynniki korelacji r pomiędzy zmiennymi reprezentującymi stan cieplny silnika, a zmienną losową opisującą czas jego rozruchu t_{roz} wykazują, co jest oczywiste, że w miarę wzrostu temperatury rozruchu silnik osiąga szybciej stan samodzielnego działania na biegu jałowym. Jest to podyktowane dogodniejszymi warunkami wystąpienia pierwszych samozapłonów mieszanki paliwowo-powietrznej w komorze spalania.

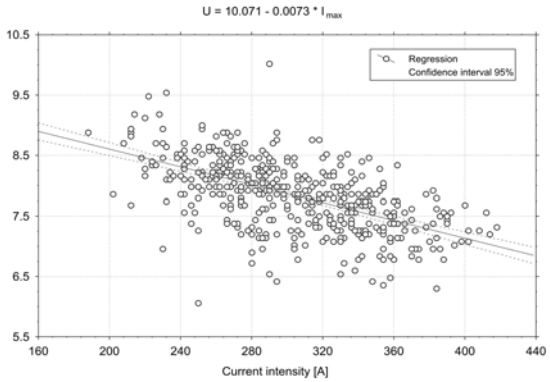
Stwierdza się wysoką wartość współczynnika korelacji $r = 0{,}90$ pomiędzy temperaturą silnika $T_{płyn}$ a temperaturą T_{ol} oleju silnikowego. Pozwala to przyjąć, że w trakcie prowadzonych badań eksploatacji silnika samochodowego wystarczy w celu określenia jego stanu cieplnego podczas rozruchu rejestrować tylko jedną z ww. temperatur. Wydaje się, ze względu na zużycie elementów silnika, że mierzoną temperaturą może być temperatura T_{ol} oleju silnikowego.

current intensity I_{max} consumed by the starter at the beginning of the engine start-up and its thermal state characterized by the temperatures T_{agent} and T_{oil}.

The results reported by other authors [5,6] reveal that the value of current intensity increases as the temperature of the engine start-up is declining. It may be justified by the rise of friction resistance as a result of lower viscosity of lubricating oil. However, the attention need to be paid to the fact that tests presented and discussed in references had been carried out according to the methods of the engine start-up standards [9,10]. The values obtained for the intensity of power consumed refer to the average value that occurs when the engine crankshaft is propelled only by the starter. Under real conditions of engine operation the maximal value of power intensity I_{max} consumed by the starter seems to be affected not only by friction resistance but also by the resistance of charge compression in the cylinder. They, in turn depend on thermal state of the engine and on the tightness of the piston-rings-cylinder (PRC) set. Consequently, the PRC set tightness is determined by many factors: construction, wear, position of the piston in the cylinder after switching off the engine, etc.

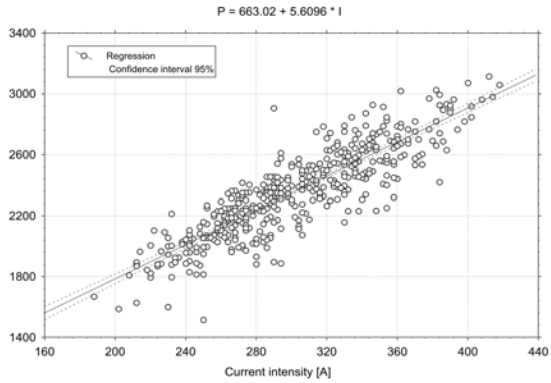
The length of pauses in a vehicle operation t_{pause}, when the 4CT90 engine is switched off, is of great importance to its thermal state (temperatures T_{agent} and T_{oil}) at the start-up but also affects the start-up time t_{start}. Correlation coefficients r between variables representing engine thermal state and variable describing the time of its starting t_{start} show, what seems to be evident, that as the start-up temperature increases, the engine needs less time to start operating independently at idle running. Such a situation is driven by the conditions that favour first self-ignitions of air-fuel mixture in a combustion chamber.

It has been noted that correlation coefficient $r = 0.90$ between engine temperature T_{agent} and temperature of engine oil T_{oil} is high. Therefore the operational tests carried out in order to determine engine thermal state during its start-up may focus on registering just one of the two temperatures mentioned above. Due to the wear of engine elements the measurement of the temperature of engine oil T_{oil} seems to be sufficient.



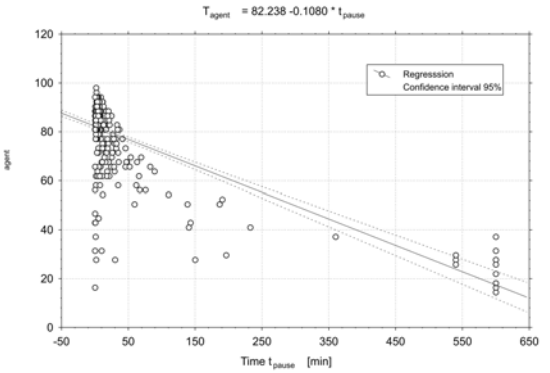
Rys. 1. Wykres rozrzutu napięcia U i natężenia prądu I_{max} pobieranego przez rozrusznik

Fig. 1. Scatter diagram for voltage U and current intensity I_{max} consumed by the starter



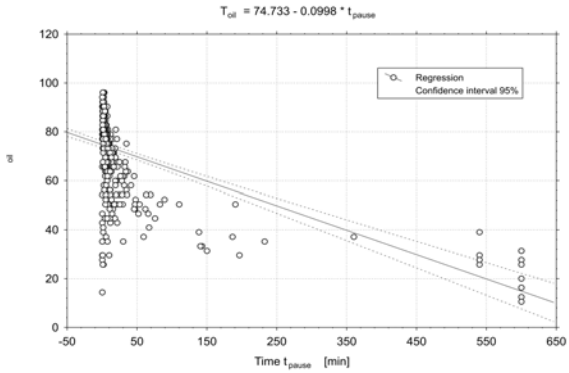
Rys. 2. Wykres rozrzutu mocy P i natężenia prądu I_{max} pobieranego przez rozrusznik

Fig. 2. Scatter diagram for power P and current intensity I_{max} consumed by the starter



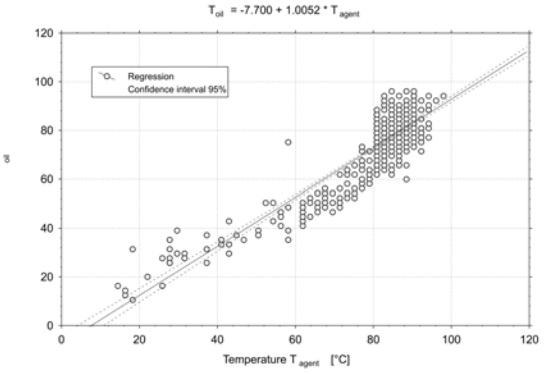
Rys. 3. Wykres rozrzutu czasu przerw w działaniu t_{pos} i temperatury silnika 4CT90 $T_{płyn}$ w chwili rozruchu

Fig. 3. Scatter diagram for the pauses in operation t_{pause} of the 4CT90 engine and its temperature T_{agent} at the start-up



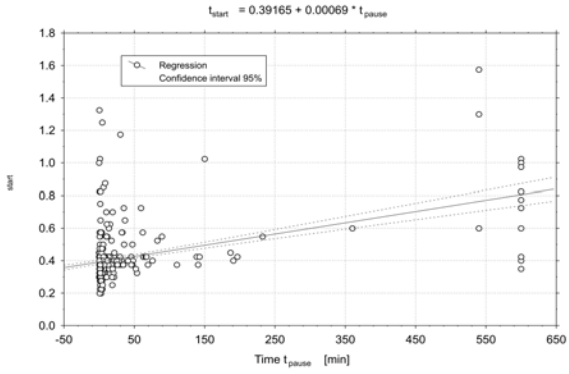
Rys. 4. Wykres rozrzutu czasu przerw w działaniu t_{pos} i temperatury T_{ol} oleju silnika 4CT90 w chwili rozruchu

Fig. 4. Scatter diagram for the pauses in operation t_{pause} of the 4CT90 engine and oil temperature T_{oil} at the start-up



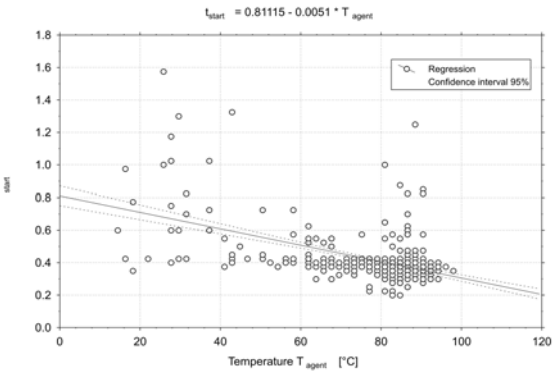
Rys. 5. Wykres rozrzutu temperatury płynu chłodzącego $T_{płyn}$ oraz oleju smarującego T_{ol} silnika 4CT90 w chwili rozruchu

Fig. 5. Scatter diagram for the temperatures of cooling agent T_{agent} and lubricating oil T_{oil} of the 4CT90 engine at the start-up



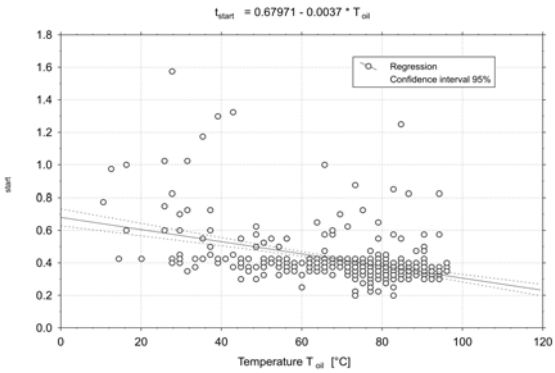
Rys. 6. Wykres rozrzutu czasu rozruchu t_{roz} i czasu przerw w działaniu t_{pos} silnika 4CT90

Fig. 6. Scatter diagram for the start-up time t_{start} and the pauses t_{pause} in the 4CT90 engine operation



Rys. 7. Wykres rozrzutu czasu rozruchu t_{roz} oraz temperatury płynu chłodzącego $T_{płyn}$ silnika 4CT90

Fig. 7. Scatter diagram for the start-up time t_{start} and temperature of cooling agent T_{agent} of the 4CT90 engine



Rys. 8. Wykres rozrzutu czasu rozruchu t_{roz} oraz temperatury oleju smarującego T_{ol} silnika 4CT90 w chwili rozruchu

Fig. 8. Scatter diagram for the start-up time t_{start} and temperature of lubricating oil T_{oil} of the 4CT90 engine at the start-up

4. Wnioski

Na podstawie analizy uzyskanych wyników przeprowadzonych badań eksploatacyjnych samochodu LUBLIN III oraz silnika 4CT90 opracowano następujące wnioski:

1. O temperaturach rozruchu samochodowego silnika spalinowego decyduje sposób organizacji systemu transportu. Odpowiednie zaplanowanie przewozów powoduje, że pomimo krótkich czasów nieprzerwanego działania silnika mogą wystąpić „ciepłe" rozruchy.
2. Rozruchy silnika w wysokich temperaturach powodują, że czas ich trwania jest krótki. W takich warunkach negatywne zjawiska występujące wewnątrz silnika oraz jego niekorzystne oddziaływania na otaczające środowisko są zminimalizowane.
3. Występujące obciążenia elektryczne w układzie rozruchowym podczas uruchamiania silnika zależą w głównej mierze od stanu szczelności jego zespołu TPC.
4. Analiza korelacyjna uzyskanych wyników badań wskazała na możliwość uproszczenia prowadzonych doświadczeń w warunkach rzeczywistej eksploatacji pojazdu. Uproszczenia te dotyczą przede wszystkim liczby i zakresu mierzonych parametrów.
5. Przedstawione wnioski potwierdzają bardzo dobre warunki eksploatacji pojazdu w systemie transportu Poczty Polskiej. Świadczy to o wysokiej kulturze techniczno-organizacyjnej Zakładu Transportu Samochodowego Poczty Polskiej w Lublinie.

4. Conclusions

The results of operational tests on LUBLIN III van and 4CT90 engine allow to draw the following conclusions:

1. The temperatures of starting a combustion engine result from the organisation of a transport system. A proper planning of vehicle runs leads to the fact that despite short periods of continuous engine operation there may occur „warm" engine start-ups.
2. Engine start-ups at high temperatures are short. In those conditions negative phenomena taking place inside the engine and its unfavourable effects on the environment are minimized.
3. Electric loads occurring in the engine start-up system during the starting mostly depend on the tightness of the RPC set.
4. Correlation analysis of the results pointed out that there is a possibility that tests carried out in real conditions of a vehicle operation may be simplified. Such simplifications apply mainly to the number and range of parameters to be measured.
5. The conclusions demonstrated above seem to justify very good operational conditions for the van operating in the system of the Polish Mail transport. They testify high technical-organization standards of the Department of Motor Transport of Polish Mail, Branch in Lublin.

5. References

[1] Bobrowski D.: *Probabilistyka w zastosowaniach technicznych.* WNT, Warszawa, 1986.

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

[3] Droździel P.: *Rozruchy silnika spalinowego w warunkach nadzorowanej eksploatacji samochodu*. Teka Komisji Budowy i Eksploatacji Maszyn, Elektrotechniki, Budownictwa. Tom I, Polska Akademia Nauk Oddział w Lublinie, Lublin, 2003, str. 34-38.

[4] Droździel P.: *Badania rozruchu silnika 4CT90 w czasie eksploatacji samochodu dostawczego LUBLIN*. Eksploatacja silników spalinowych, Zeszyt nr 6. Problemy rozruchu silników spalinowych. Komisja Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa Polska Akademia Nauk Oddział w Lublinie, Politechnika Szczecińska. Szczecin, 2002, str. 45-50.

[5] Mysłowski J., Uzdowski M., Kilar H., Kołtun J.: *Rozruch silników z zapłonem samoczynnym w niskich temperaturach otoczenia*. Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej, nr 450. Szczecin, 1992.

[6] Mysłowski J.: *Rozruch silników samochodowych z zapłonem samoczynnym*. WNT. Warszawa, 1996.

[7] Smalko Z.: *Podstawy eksploatacji Technicznej Pojazdów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 1998

[8] Żółtowski B., Ćwik Z.: *Leksykon diagnostyki technicznej*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Bydgoszcz, 1996.

[9] BN-74/1345-09. Silniki z zapłonem samoczynnym. Określenie granicznej temperatury rozruchu.

[10] BN-82/1374-10. Silniki samochodowe. Badania stanowiskowe. Określenie właściwości rozruchowych w niskich temperaturach.

Dr inż. Paweł DROŹDZIEL

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
Ul. Nadbystrzycka 36
20-639 Lublin
e-mail: drozda@archimedes.pol.lublin.pl

Tadeusz DZIUBAK

STANOWISKO BADAWCZE CYKLONÓW FILTRÓW POWIETRZA POJAZDÓW EKSPLOATOWANYCH W WARUNKACH DUŻEGO ZAPYLENIA

THE TEST STAND OF AIR FILTERS CYCLONES OF VEHICLES OPERATING IN HIGH DUSTINESS CONDITIONS

W artykule przedstawiono niekorzystny wpływ parametrów pyłu drogowego na zużycie współpracujących tarciowo elementów silnika. Wykazano, że w krajowych ośrodkach badawczych, skuteczność filtracji filtrów powietrza silników spalinowych pojazdów mechanicznych, określana jest metodą masową. Pokazano metodę oceny jakościowej filtrów powietrza polegającą na pomiarze ilości i rozmiarów ziaren pyłu w powietrzu przed i za filtrem. Przedstawiono problem zastosowania tej metody do badań dwustopniowych filtrów powietrza, gdzie pierwszym stopniem jest multicyklon (bateria cyklonów), a drugim przegroda filtracyjna. Dla tych filtrów zaproponowano metodę badań polegającą na pomiarze ilości i rozmiarów ziaren pyłu tylko w powietrzu za filtrem. Przedstawiono stanowisko badawcze pojedynczych cyklonów filtrów powietrza z wykorzystaniem licznika firmy Pamas. *Pokazano wyniki badań wstępnych cyklonu przelotowego z wlotem osiowym.*

***Słowa kluczowe**: zanieczyszczenia powietrza – pył, stanowiska badawcze filtrów powietrza, skuteczność i dokładność filtracji powietrza, licznik cząstek, cyklony.*

Disadvantageous influence of parameters of road dust on wear of tribologically mating engine elements is presented in the article. One demonstrated that all homeland research centres investigate efficiency of air filters of combustion engines according to gravimetric method. One showed the method of quality assessment of air filters, which method is based on measurement of quantity and dimensions of dust grains in the air from input and output of the filter. One described the problem of application of this method for investigations of two–step air filter comprising multicyclone as the first stage and filter medium as the second stage. For two–step filters one proposed the method, in which one carried out only the measurement of quantity and dimensions of dust grains included in the air of output of the filter. The test stand, comprising particle counter Pamas, *to investigate single cyclones of air filters was presented. The results of preliminary investigations of pass cyclone with axial input were shown.*

***Keywords**: Air pollution - dust, test stands for air filters research, efficiency and accuracy of air filtration, particle counter, cyclones.*

1. Wstęp

Od współczesnych silników spalinowych pojazdów mechanicznych wymaga się długich przebiegów międzynaprawczych. Jednym z czynników mających na to wpływ jest czystość powietrza zasysanego do cylindrów silnika, o czym decyduje efektywność działania filtru powietrza. Przy małym stężeniu zapylenia powietrza (w pojazdach osobowych) stosowane są jednostopniowe filtry przegrodowe. Silniki samochodów ciężarowych, pojazdów specjalnych (czołgi, bwp,

1.Introduction

To meet high requirements present-day combustion engines working in vehicles must be able to run long distances without being repaired. A proper engine operation is stimulated by the cleanness of the air sucked to the engine cylinders, and that in turn, depends on filters' efficiency. If the air is not very polluted (cars), it is sufficient to apply barrier single-stage filters. The engines of trucks, special vehicles (tanks, combat vehicles, armoured personnel carriers) and

transportery) i maszyn roboczych eksploatowanych w warunkach dużego (około 1 g/m^3) stężenia zapylenia powietrza wyposażone są w filtry dwustopniowe pracujące w systemie: odpylacz bezwładnościowy (multicyklon) i powierzchniowa przegroda porowata.

Panuje pogląd, że wszystkie ziarna pyłu o rozmiarach powyżej 1 mm powodują przyśpieszone zużycie elementów silnika. Dlatego też od filtrów powietrza stosowanych w pojazdach mechanicznych wymaga się więc wysokiej (ponad 99%) skuteczności oczyszczania powietrza oraz długiego czasu pracy. W przypadku silników pojazdów eksploatowanych w warunkach dużego zapylenia powietrza, gdzie stosowana jest filtracja dwustopniowa, problem ten nabiera szczególnego znaczenia. Zachodzi więc konieczność stosowania na jako pierwszy przegrody filtracyjne coraz bardziej doskonałych porowatych materiałów filtracyjnych oraz wysokosprawnych elementów filtracyjnych - cyklonów.

Do niedawna oceny pracy filtrów powietrza pojazdów mechanicznych dokonywano wyłącznie ilościowo (masowo) stosując metodę grawimetryczną polegającą na określeniu skuteczności oczyszczania φ powietrza definiowanej jako iloraz masy pyłu zatrzymanego przez filtr i doprowadzonego do filtru w czasie cyklu badawczego.

W związku z wysokimi wymaganiami stawianymi filtrom powietrza zaistniała konieczność zastosowania nowych metod do oceny efektywności pracy filtrów powietrza pojazdów mechanicznych. Do określenia rozmiarów ziaren pyłu przepuszczanych przez filtry powietrza pojazdów mechanicznych stosuje się jakościową metodę oceny pracy filtrów. Istniejące w kraju stanowiska badawcze nie są w pełni przystosowane do tego typu badań. Określanie dokładności filtracji powietrza przez filtry pojazdów mechanicznych wymaga zastosowania do tego celu aparatury badawczej dostępnej za granicą oraz opracowania odpowiedniej metody badawczej.

2. Wpływ pyłu na zużycie elementów silnika

Podczas eksploatacji silników spalinowych wraz z powietrzem do cylindrów przedostają się znaczne ilości zanieczyszczeń. Głównym składnikiem zanieczyszczeń powietrza powodującym przyśpieszone zużycie ścierne elementów silnika jest pył drogowy, którego podstawowymi składnikami są krzemionka SiO_2 oraz korund Al_2O_3. Ich udział w pyle dochodzi nawet do 95%. Twardość obu tych minerałów, oceniana w dziesięciostopniowej skali Mohsa, wynosi odpowiednio 7 i 9. Wraz z powietrzem pył dostaje się ponad tłok i to decyduje o tym, że najwięcej zużywają się: górna część cylindra i tłoka oraz górne pierścienie tłokowe. Ziarna pyłu, które osiadają na ściankach cylindra, tworzą wraz

working machines operating under high air dustiness (about 1 g/m^3) need to be fitted with double-stage filters that work in the following system: inertial deduster (multicyclone) and surface porous barrier.

All dust grains larger than 1 mm are believed to speed up the wear of engine elements. Therefore air filters in vehicles must be characterized by a high efficiency (more than 99%) and the ability to work long periods. The problem seems to be particularly important for the engines operating under high air dustiness, where double-stage filtration is applied. It is then necessary to use more complicated porous materials as well as cyclones - highly-efficient filtration elements.

The assessment of air filters' operation in vehicles has been until recently carried out only from the quantitative (mass) point of view, by using a gravimetric method. Its aim is to determine the efficiency of air purification φ, defined as a ratio of the dust mass both blocked by the filter and supplied to the filter during a test cycle.

As the air filters should meet high requirements there was a need to apply new methods of estimation such as a qualitative method to assess the size of dust grains transmitted by air filters. Unfortunately the stands existing in Poland are not fully adapted for running such kind of experiments. The accuracy of air filtration through vehicle filters might be determined only if testing appliances that are available abroad are applied and a suitable testing method is prepared.

2. The impact of dust on engine elements' wear

The air reaching combustion engine cylinders contains a considerable amount of pollutants, with road dust that accelerates abrasive wear of engine parts being the most important element. The dust is mainly composed of silica SiO_2 and corundum Al_2O_3, and their participation may even reach 95%. The hardness of silica and corundum is in 10-grade Mohsa scale 7 and 9, respectively. The dust gets with the air above the piston and this is why the upper part of the cylinder and piston, and upper piston rings are the parts the most susceptible to be worn out. After having been settled on the cylinder walls, dust grains join fuel and oil and form the kind of abrasive paste to be further

z paliwem i olejem rodzaj pasty ściernej, która rozprowadzana jest przez instalację olejową do tych elementów silnika, które smarowane są olejem (łożyska wału korbowego i korbowodów, prowadnice zaworów, dolną część cylindra, płaszcz tłoka) powodując ich zwiększone zużycie.

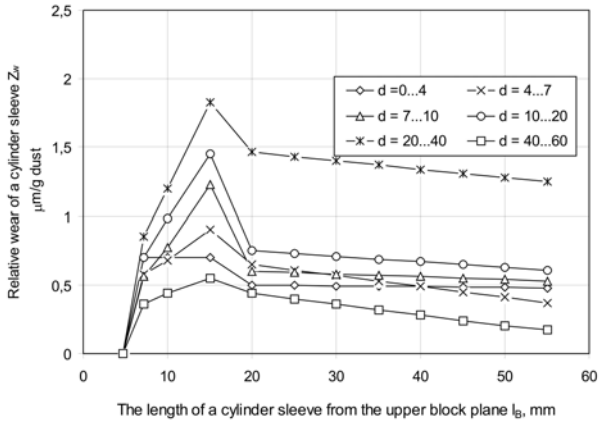
Wpływ parametrów pyłu zasysanego wraz z powietrzem do silnika na wielkość zużycia rozpatrywany jest w stosunku do górnej części cylindra lub pierwszego pierścienia jako elementów silnika, które najbardziej narażone są na działanie pyłu. W literaturze spotyka się także opis wpływu podstawowych parametrów pyłu na zużycie innych współpracujących elementów silnika takich jak skojarzenie czop-panewka czy tłoczek-cylinderek sekcji tłoczącej pompy wtryskowej.

Autor pracy [1] podaje, że istnieje ścisła zależność pomiędzy wymiarami ziaren krzemionki SiO_2 w zasysanym do silnika powietrzu, a wielkością zużycia tulei cylindrowej i tłoka. Wraz ze wzrostem rozmiarów ziaren pyłu do około 10 μm zużycie tulei cylindrowej i tłoka gwałtownie rośnie, a następnie gwałtownie maleje i dla $d_z = 20$ μm ma taką samą wartość jak dla $d_z = 3$ μm. Największy efekt ścierny występuje przy wielkości ziaren 5÷17 μm.

distributed by the oil system to oil-lubricated engine elements (crankshaft and connecting-rods' bearings, valve guides, lower part of the cylinder, piston skirt) leading to their increased wear.

The impact of the parameters of the dust sucked with the air to the engine on wear extent is examined in relation to the upper cylinder part or to the first ring as the elements that are likely to be damaged by the dust. Some references deal with the description of the impact the basic dust parameters have on the wear of other collaborating engine elements such as pin-bearing or plunger-small cylinder connections in the press section of the injection pump.

According to the author [1] there is a close correlation between the size of silica SiO_2 grains in the air sucked to the engine and the extent to which a cylinder sleeve and a piston are worn out. For large dust grains (up to 10 μm), the wear of a cylinder sleeve and a piston is, at first, instantly increasing and after some time drastically decreasing, reaching the same value for $d_z = 20$ μm and $d_z = 3$ μm. The highest abrasive effect was recorded for dust grains ranging from 5 to 17 μm.



Rys. 1. Zużycie gładzi cylindrowej dla różnych frakcji w przeliczeniu na 1 g dozowanego pyłu [2]
Fig. 1. The wear of a cylinder bearing surface for different dust fractions per 1 g of dust [2]

Na rysunku 1 przedstawiono wielkości i charakter zużycia tulei cylindrowej na długości 60 mm od górnej płaszczyzny bloku, w odniesieniu do 1 g dostarczonego do silnika wraz z powietrzem pyłu [2]. Z rysunku wynika, że maksymalne zużycie tulei cylindrowej wywołane jest przez ziarna pyłu o rozmiarach $d_z = 20 \div 40$ μm, chociaż widać wyraźnie niszczące działanie ziaren pyłu o mniejszych rozmiarach. Ziarna pyłu o rozmiarach $d_z = 0 \div 4$ μm i $d_z = 40 \div 60$ μm powodują najmniejsze zużycie.

Z przedstawionych wykresów oraz innych publikacji wynika, że ziarna o wymiarach $5 \div 40$ μm są najbardziej szkodliwe dla elementów silnika. Charakter wykresu tłumaczy się tym, że ziarna pyłu poniżej 5 μm są mniejsze od minimalnej grubości filmu olejowego

Figure 1 presents the extent and character of cylinder sleeve wear at 60 mm length from the upper block plane, in relation to 1 g of the dust supplied to the engine with the air [2]. Although, it is evident that the maximum wear of a cylinder sleeve and a piston is caused by the dust grains sized $d_z = 20 \div 40$ μm, lower dust grains are also found destructive, whereas dust grains of $d_z = 0 \div 4$ μm and $d_z = 40 \div 60$ μm have been recorded to do the least harm.

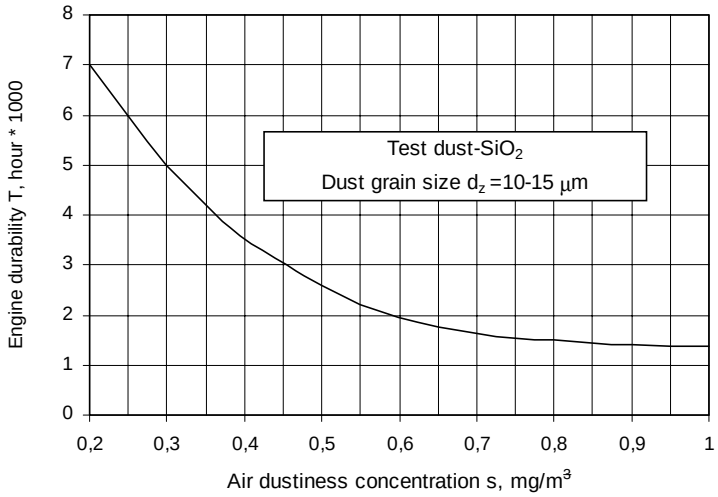
The diagrams and other references show that grains of $5 \div 40$ μm do the greatest damage to the engine elements. Dust grains < 5 μm are smaller than the minimum width of the oil film so they do not take part in the wearing process and are therefore less harmful. In

i nie biorą udziału w zużyciu i dlatego są mniej szkodliwe. W rzeczywistości jednak skojarzenia tłok-cylinder lub czop - panewka charakteryzują się dużą zmiennością warunków smarowania i to w obrębie jednego suwu. Grubość filmu olejowego pomiędzy gładzią cylindra a pierścieniami zmienia się w zależności od chwilowej wartości ciśnienia obciążającego pierścień oraz szybkości pierścienia względem tulei cylindrowej. W związku z tym występują okresy nawet bezpośredniego metalicznego styku pomiędzy tymi elementami. W tych warunkach teoretycznie każde ziarno pyłu o dowolnie małych wymiarach może być powodem zużycia. Ziarna pyłu o dużych rozmiarach mogą być rozdrobnione przez elementy silnika i dopiero wtedy biorą w zużyciu. Znaczna liczba ziaren pyłu o dużych wymiarach nie dochodzi pomiędzy powierzchnie współpracujące i jest spychana krawędziami tłoka lub pierścieni. W konsekwencji tego znaczna liczba dużych ziaren pyłu nie bierze udziału w zużywaniu części silnika i jego wielkość maleje. Obecnie uważa się, że wszystkie ziarna pyłu powyżej 1 μm powodują przyśpieszone zużycie współpracujących tarciowo elementów silnika.

Rysunek 2 przedstawia zależność pomiędzy trwałością silnika wysokoprężnego firmy Cespel, a ilością zasysanego wraz z powietrzem pyłu SiO_2 o wymiarach $10 \div 15$ μm [1]. Jeżeli do silnika dostaje się pył o stężeniu 0,2 mg/m^3, to trwałość silnika (rozumiana jest tutaj jako ilość przejechanych kilometrów lub godzin pracy silnika do określonej granicy zużycia) wynosi 7000 godzin. Jeżeli ilość pyłu wzrasta trzykrotnie, to trwałość silnika spada do 2000 godzin. Wzrost stężenia zapylenia powietrza z 0,2 do 1 mg/m^3 powoduje szesciokrotne zmniejszenie trwałości silnika.

fact piston-cylinder or pin-bearing shell associations are characterised by a high variability of lubrication conditions even within one stroke. The width of the oil film between the surface of a cylinder sleeve and the rings varies and depends on the actual value of the pressure loading the ring and its speed towards a cylinder sleeve. For that reason there are some periods of a direct metal contact between the elements, and under those circumstances theoretically each grain, no matter how small it is, may lead to the wear. Fair-sized dust grains are likely to take part in the wear after having been broken up to smaller pieces. As a considerable amount of large dust grains does not reach the collaborating planes and is pushed by the piston or ring edges, they do not contribute to the engine wear and its value is decreasing. It is now considered that all dust grains larger than 1 μm accelerate the wear of tribologically mating engine elements.

Figure 2 shows the dependence between the durability of the Cespel compression-ignition engine and the amount of SiO_2 dust, sized $10 \div 15$ μm [1] sucked with the air. If the dust concentration is 0.2 mg/m^3, engine durability (understood as a number of driven kilometres or working hours up to a determined wear level) is 7000 hours. However, it decreases to 2000 hours with three-fold increase of dust amount, and when air dustiness rises from 0.2 to 1 mg/m^3 engine durability is six-fold reduced.



Rys. 2. Zależność trwałości silnika od stężenia zapylenia powietrza [1]
Fig. 2. Dependence between engine durability and air dustiness [1]

2. Metody badawcze filtrów powietrza do silników spalinowych

Jedynym sposobem zabezpieczającym silnik przed dostawaniem się wraz z powietrzem zanieczyszczeń jest stosowanie wysokosprawnych filtrów powietrza. Efektywność działania filtrów powietrza określana jest przez trzema charakterystykami często nazywanymi głównymi. Są to: skuteczność oczyszczania φ, opór przepływu Δp, chłonność filtru Δm. Charakterystyki filtrów powietrza są funkcją kilkunastu parametrów. Dla przykładu skuteczność filtracji filtru z przegrodą porowatą może być funkcją następujących parametrów [3 - 6]:

$$\varphi_f = f(d, k, \rho, r, \upsilon_F, \beta, b, Q, s, \tau, t, w, \mu, p, m_F, , n, x, c) \quad (1)$$

gdzie: d - skład granulometryczny pyłu, k - kształt ziaren, ρ - gęstość ziaren, r - skład chemiczny pyłu, υ_F - prędkość przepływu powietrza w warstwie filtracyjnej, β - gęstość złoża filtracyjnego, b - grubość złoża, Q - strumień powietrza, s - stężenie pyłu w powietrzu zasysanym, τ - okres pracy filtru od chwili rozpoczęcia eksploatacji, t, w, μ, p - temperatura, wilgotność, lepkość i ciśnienie powietrza, m_F - ilość zatrzymanego pyłu, n - pulsacja strumienia , x - drgania filtru, c - cechy konstrukcyjne filtru.

Ze względu na trudności wyznaczenia charakterystyk filtru w funkcji wszystkich wymienionych parametrów, praktyce wykonuje się charakterystyki uproszczone (w funkcji jednego parametru) na specjalnych stanowiskach w czasie standardowych testów badawczych, na przykład: $\varphi = f(m_F)$, $\Delta p = f(m_F)$, $\Delta p = f(Q)$, $\varphi = f(Q)$, $\Delta p = f(Q)$, gdzie: m_F – masa pyłu zatrzymana przez filtr, Q – strumień powietrza przepływający przez filtr.

Istnieje duża różnorodność stanowisk badawczych, które służą do wyznaczenia charakterystyk kompletnych (jednostopniowych i dwustopniowych) filtrów powietrza pojazdów mechanicznych bez odsysania z odsysaniem pyłu, pojedynczych wkładów filtracyjnych lub pojedynczych cyklonów będących elementami filtrów.

Przedstawione na rysunku 3 stanowisko zapewnia wykonywanie charakterystyk filtracyjnych i przepływowych dwustopniowych filtrów powietrza w zakresie strumienia powietrza do 2000 m^3/h przy maksymalnym spadku ciśnienia na badanym filtrze 15 kPa, stężeniu pyłu w powietrzu do 4 g/m^3 i przy stopniu m_0 ejekcyjnego odsysania pyłu z osadnika multicyklonu do 20 %. Jest ono uniwersalne w sensie możliwości badawczych filtrów o różnych cechach i wartościach przepływających strumieni.

Schemat stanowiska znajdującego się w zakładach WIX - Filtron, a służącego do badań kontrolnych produkowanych tam wkładów filtracyjnych filtrów powietrza pojazdów mechanicznych i maszyn roboczych, przedstawiono na rys. 4. Stanowisko zapewnia wyko-

2. The methods to test air filters in combustion engines

The only way to protect the engine from penetration of air pollutions is to apply highly-efficient air filters. The efficiency of their operation is determined by three main characteristics: purification efficiency φ, flow drag Δp, and filter absorbing capacity Δm. They are the function of several parameters, for example the efficiency of purification by a filter with a porous barrier may be a function of the following parameters [3 - 6]:

$$\varphi_f = f(d, k, \rho, r, \upsilon_F, \beta, b, Q, s, \tau, t, w, \mu, p, m_F, , n, x, c) \quad (1)$$

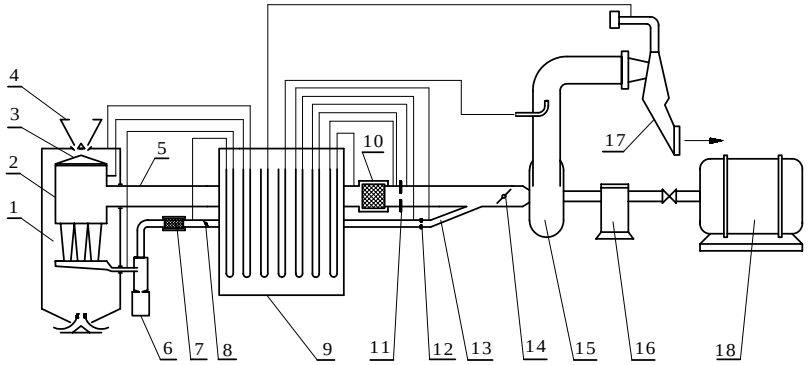
where: d - grain composition of the dust, k - grain shape, ρ - grain density, r - dust chemical composition, υ_F - air flow speed in the filtration layer, β - filter bed density, b - bed thickness, Q - air flow, s - dust concentration in the sucked air, τ - period of filter work from the beginning of its operation, t, w, μ, p - temperature, humidity, air viscosity and pressure, m_F - amount of dust blocked, n - flow pulsation, x - filter vibrations, c - construction features of the filter.

Due to the fact that filter characteristics are quite difficult to be fixed as a function of all parameters mentioned above, in practice simplified characteristics are prepared (as a function of one parameter). They are determined during standard tests at special stands, for example: $\varphi = f(m_F)$, $\Delta p = f(m_F)$, $\Delta p = f(Q)$, $\varphi = f(Q)$, $\Delta p = f(Q)$, where: m_F – the amount of dust blocked by the filter, Q – air flow passing through the filter.

There is a high variability of the stands to determine complete characteristics of air filters (single- and double-stage) with or without dust suction, single filter pack or single cyclones being the elements of a filter.

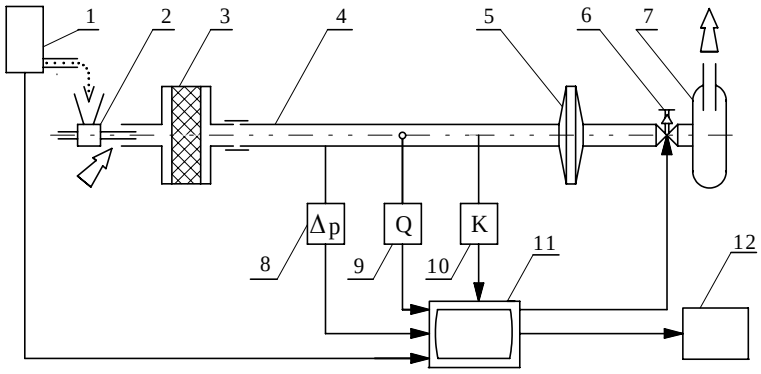
Using the stand showed on figure 3 makes it possible to prepare the filtration and flow characteristics for double-stage filters if the air flow does not exceed 2000 m^3/h, the maximum pressure reduction at the filter is 15 kPa, dust concentration in the air reaches up to 4 g/m^3 and the m_0 level of ejection dust suction from the multicyclone clarifier is not higher than 20 %. The stand is universal as it allows to test filters of various features and flow values.

The stand present at the WIX - Filtron Plant is shown on Fig. 4. Its aim is to monitor own-made filter packs in vehicles and working machines. The stand is designed to fix characteristics of filtration elements for the air flow up to 3600 m^3/h at the maximum pressure reduction at the filter 20 kPa. The dust is fluently supplied by a special portioning system, what keeps its concentration within $0.25 \div 2$ g/m^3. A computer fitted with the appropriate programme controls all measurements and registers the results.



Rys. 3. Stanowisko badawcze filtrów powietrza z ejekcyjnym odsysaniem pyłu (IPM i T WAT): 1 - komora pyłowa, 2 - badany filtr, 3 - stożek zsypowy, 4 - dozownik pyłu, 5 - przewód główny, 6 - cyklonowy separator pyłu odsysanego z osadnika, 7 - filtr absolutny, 8 - przesłona, 9 - zespół manometrów, 10 - filtr absolutny 11-kryza pomiarowa strumienia głównego, 12 - kryza pomiarowa strumienia odsysania, 13 - przewód odsysania, 14 - przesłona wlotu wentylatora ssawnego, 15 - wentylator ssawny, 16 - reduktor, 17 - badany ejektor, 18 - silnik elektryczny

Fig. 3. The stand to test filters with ejection dust suction (Institute of Motor Vehicles and Transport MUT): 1 - dust chamber, 2 - filter under study, 3 - pouring cone, 4 - dust feeder, 5 - main circuit, 6 - cyclone separator of the dust sucked off from the clarifier, 7 - absolute filter, 8 - strangler flap, 9 - manometers unit, 10 - absolute filter, 11 - measuring plate of the main flow, 12 - measuring plate of the suction flow, 13 - suction circuit, 14-flap of the suction fan inlet, 15 - suction fan, 16 - reducer, 17 - ejector under study, 18 - electric motor



Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego wkładów filtracyjnych filtrów powietrza w laboratorium WIX - Filtron. 1- dozownik pyłu, 2 - ejektor, 3 - badany wkład filtracyjny, 4 - przewód pomiarowy, 5 - filtr absolutny, 6 - zawór regulacji strumienia powietrza, 7 - wentylator ssawny, 8 - czujnik ciśnienia,9 - przepływomierz wiatraczkowy, 10 - miernik koncentracji pyłu, 11 - urządzenie sterujące, 12 - wydruk wyników

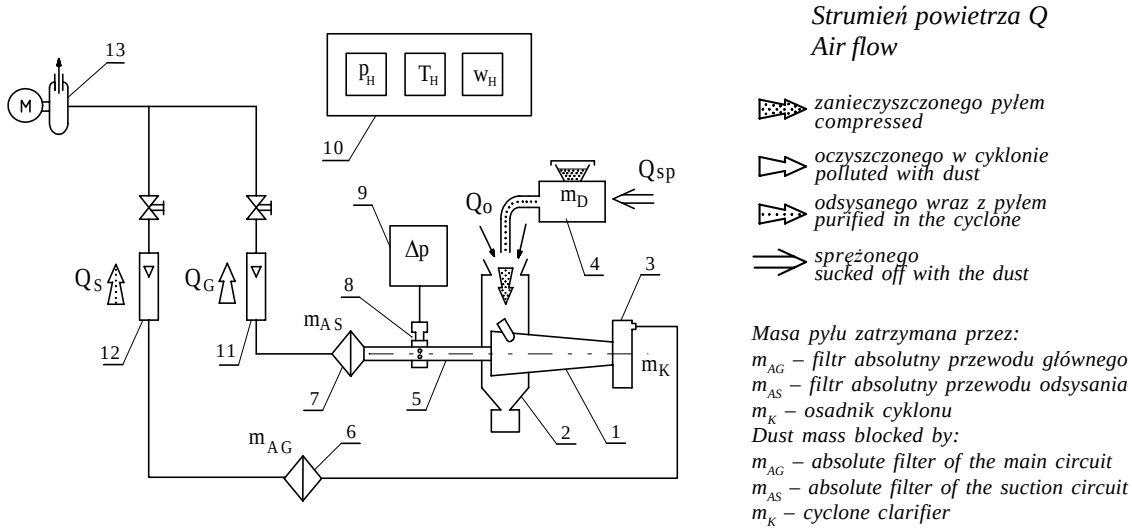
Fig. 4. The scheme of the stand to test filter packs in the air filters in the WIX - Filtron laboratory. 1- dust feeder, 2 - ejector, 3 - filter pack under study, 4 - measuring circuit, 5 - absolute filter, 6 - valve to regulate air flow, 7 - suction fan, 8 - pressure pick-up, 9 - vane flowmeter, 10 - dust concentration meter, 11 - control system, 12 - result printout

nywanie charakterystyk elementów filtracyjnych w zakresie strumienia powietrza do 3600 m^3/h przy maksymalnym spadku ciśnienia na filtrze 20 kPa. Płynne dawkowanie pyłu przez specjalne urządzenie dozujące zapewnia stężenie zapylenia powietrza w zakresie $0,25 \div 2$ g/m^3. Procedurą pomiaru steruje i rejestruje wyniki badań komputer z odpowiednim programem.

Stanowisko do badań charakterystyk pojedynczych cyklonów zwrotnych z wlotem stycznym filtru powietrza bojowego wozu piechoty pokazano na rysunku 5 [7].

The stand to test characteristics of a single returnable air filter cyclone with a tangent inlet in combat vehicle is shown on figure 5 [7].

Mineral dust of a specified grain and chemical composition is applied to test the efficiency and absorbing capacity of the filters. The standards that control the studies on air filters in the USA and some European countries, identify the testing dust produced as AC Fine (minute fine) according to the ISO 5011:1988. The PN-S-34040 and PN-ISO 5011 standards allow to



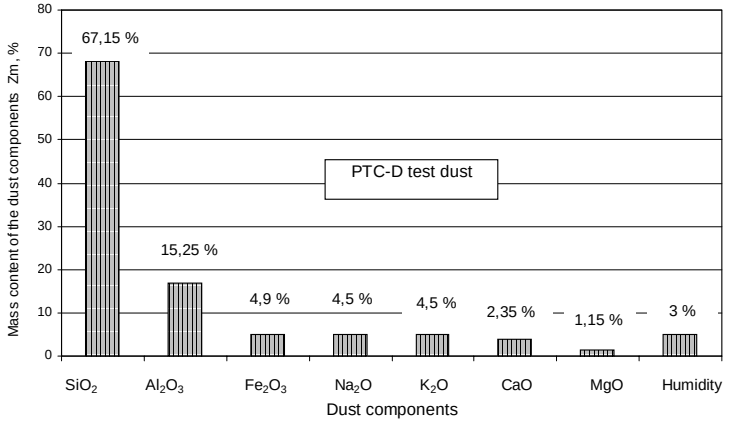
Rys. 5. Schemat stanowiska do badań charakterystyk cyklonów zwrotnych z wlotem stycznym [7]: 1 - cyklon, 2 - komora pyłowa, 3 – osadnik pyłu, 4 - dozownik pyłu, 5 - przewód pomiarowy, 6 - filtr absolutny przewodu odsysania, 7 - filtr absolutny przewodu głównego, 8 - czujnik oporu przepływu cyklonu, 9 - panel odczytowy oporu przepływu, 10 – przyrząd do pomiaru warunków otoczenia, 11, 12 - rotametry, 13 - wentylator ssawny

Fig. 5. The scheme of the stand to test the characteristics of returnable cyclones with a tangent inlet [7]: 1 - cyclone, 2 - dust chamber, 3 – dust clarifier, 4 - dust feeder, 5 - measuring circuit, 6 - absolute filter of the suction circuit, 7 - absolute filter of the main circuit, 8 - sensor of flow drag, 9 – readout panel of flow resistance, 10 - meter to monitor the environment conditions, 11, 12 - rotameters, 13 - suction fan

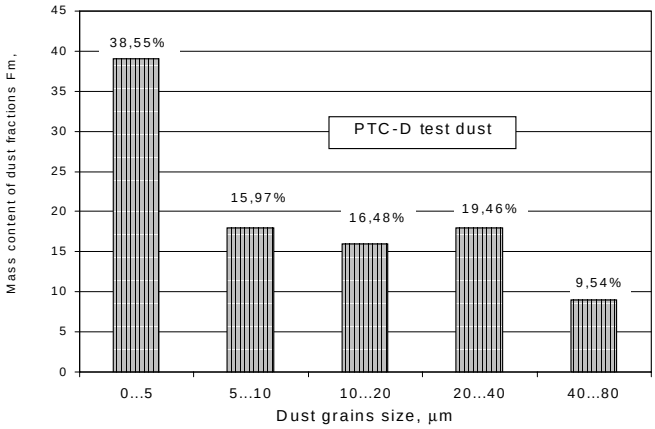
Do badania skuteczności i chłonności filtrów stosuje się testowy pył mineralny o określonym składzie granulometrycznym i chemicznym. Obowiązujące w USA i w krajach UE normy, które regulują badania filtrów powietrza, podają pył badawczy produkowany pod nazwą AC Fine (drobny) według ISO 5011:1988. Normy PN-S-34040 i PN-ISO 5011 przewidują stosowanie pyłu badawczego oznaczonego symbolem PTC-D będącego krajowym zamiennikiem i odpowiadającego charakterystyce pyłu AC-fine [8, 9]. Skład granulometryczny i chemiczny pyłu PTC-D podano na rysunku 6 i 7.

use dust marked as PTC-D, which is the Polish substitute and complies with the AC-fine dust features [8, 9]. Grain and chemical composition of the PTC-D dust is presented on figures 6 and 7.

The course and values of the characteristics under study are significantly affected by the air dustiness concentration, which varies within the standards and depends mainly on the kind and purpose of the filter to be tested. According to the PN-S-34040 standard the concentration of air dustiness must range within $0.2 \div 2$ g/m^3.



Rys. 6. Skład chemiczny pyłu testowego PTC-D
Fig. 6. Chemical composition of the PTC-D dust



Rys. 7. Skład granulometryczny pyłu testowego PTC-D
Fig. 7. Grain composition of the PTC-D dust

Istotny wpływ na przebieg i wartości badanych charakterystyk ma stężenie zapylenia powietrza. W poszczególnych normach proponowane podczas badań stężenia zapylenia są zróżnicowane i zależą głównie od rodzaju i przeznaczenia badanego filtru. Według PN-S-34040 do badań filtrów należy stosować, w zależności od rodzaju i przeznaczenia filtru, stężenie zapylenia powietrza w zakresie $0{,}2 \div 2$ g/m^3.

Skuteczność filtracji wyznacza się metodą wagową polegającą na określeniu masy pyłu m_F zatrzymanego przez badany filtr i masy dostarczonego pyłu m_D korzystając z zależności:

$$\varphi = \frac{m_{F2} - m_{F1}}{m_D} 100\% \qquad (2)$$

gdzie: m_{F1}, m_{F2} - masa filtru odpowiednio przed i po cyklu badawczym,

lub $$\varphi = \frac{m_D - (m_{A2} - m_{A1})}{m_D} 100\% \qquad (3)$$

gdzie: m_{A1}, m_{A2} - masa filtru absolutnego przed i po cyklu badawczym.

Dla techniki oczyszczania powietrza zasysanego przez silniki ważna jest też wielkość ziaren jakie zostają zatrzymane przez filtr. W technice oczyszczania płynów eksploatacyjnych, którymi zasilane są silniki spalinowe, przyjmuje się, że wszystkie ziarna pyłu powyżej 1 µm powodują przyśpieszone zużycie i powinny być usunięte. Jest to możliwe przy zastosowaniu w filtrach wysokosprawnych przegród filtracyjnych. Rozwój technologii wytwarzania nowych i doskonalszych materiałów i elementów filtracyjnych sprawia, że dotychczasowe metody (głównie wagowe) oceny pracy filtru powietrza są niewystarczające. Istnieje więc konieczność oceny jakościowej (poprzez pomiar ilości i rozmiaru zanieczyszczeń) produkowanych elementów i materiałów filtracyjnych jak i kompletnych filtrów powietrza.

The filtration efficiency is calculated by a gravimetric method, aim of which is to determine filter-blocked dust mass m_F and the mass of the dust supplied m_D, according to the formula:

$$\varphi = \frac{m_{F2} - m_{F1}}{m_D} 100\% \qquad (2)$$

where: m_{F1}, m_{F2} - filter mass before and after the test cycle, respectively,

or $$\varphi = \frac{m_D - (m_{A2} - m_{A1})}{m_D} 100\% \qquad (3)$$

where: m_{A1}, m_{A2} - absolute filter mass before and after the test cycle.

The purification of the air sucked by the engines considers also the size of dust grains blocked by the filter. In the technology of purifying operating fluids used to supply combustion engines, all dust grains larger than 1 µm are assumed to accelerate the wear and should be removed. It might be possible only when highly-efficient barriers are applied in the filters. As technology development leads to produce new and improve already existing filtration materials and elements, all methods (in particular a gravimetric method) to assess air filters' operation that have been applied up to the present become not sufficient. Thus, there is a need to carry out qualitative assessment (measurement of the amount and size of the pollutions) of both filtration materials and elements as well as complete air filters.

4. Stanowisko badawcze filtrów powietrza z licznikiem cząstek

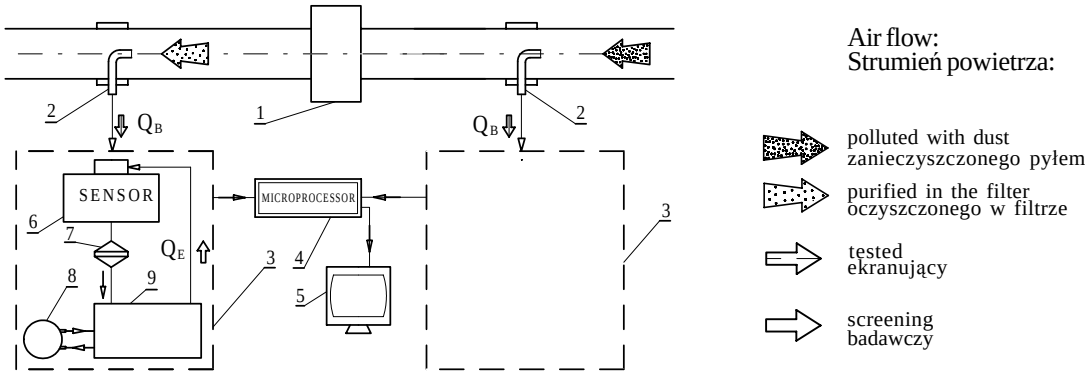
W nielicznych ośrodkach badawczych w kraju działają już stanowiska, gdzie skuteczność filtrowania oleju i paliwa wyznaczana jest metodą jakościową [10]. Określenie dokładności filtracji powietrza wymaga więc wyposażenia stanowiska badawczego filtrów powietrza w odpowiednie urządzenie do zliczania i określania rozmiarów ziaren pyłu. Urządzenia te dostępne są za granicą, a ich koszt jest duży.

Na rysunku 8 pokazano schemat ideowy i zasadę działania stanowiska badawczego filtrów powietrza przy wykorzystaniu licznika cząstek niemieckiej firmy *Pamas*. W odpowiedniej odległości przed i za badanym filtrem umieszczone są centralnie w osi przewodu końcówki sond pomiarowych skierowane otworami wlotowymi w stronę napływu strumienia zanieczyszczonego powietrza *Q*. Każda sonda pomiarowa połączona jest cienkim przewodem rurowym z oddzielnym blokiem pomiarowym, w skład którego wchodzą: sensor, kontroler przepływu, pompa próżniowa i filtry powietrza. Mikroprocesor licznika cząstek jest wspólnym elementem obu bloków pomiarowych. Z chwilą włączenia pomp próżniowych końcówkami sond pomiarowych następuje zasysanie aerozolu w postaci strumienia badawczego Q_B o stałej wartości. Na wejściu do sensora strumień Q_B łączy się ze strumieniem ekranującym Q_E będącym strumieniem czystego powietrza. W sensorze, którego schemat ideowy działania przedstawia rysunek 9, następuje analiza przepływającego strumienia przy wykorzystaniu zjawiska rozpraszania wiązki promieniowania laserowego (długość fali 680 nm). Wyemitowana wiązka jest najpierw kolimowana, po czym przechodzi przez zespół diafragm mających na celu usunięcie światła rozproszonego.

4. The stand to test air filter with a particle counter

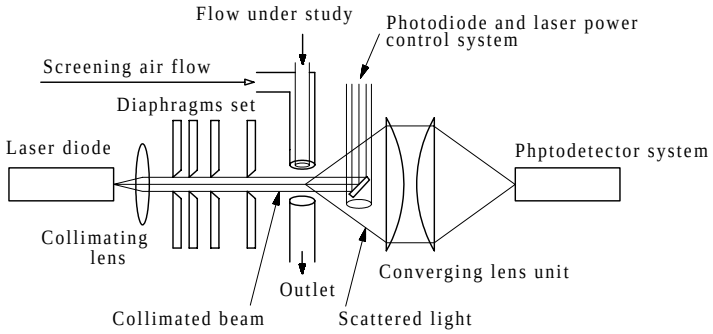
Only a few research centres in Poland are equipped with the stands where filtration efficiency of the oil and fuel may be determined by a qualitative method [10]. To evaluate the accuracy of air filtration it is necessary to fit the stand with a tool to count dust grains and determine their size. Such tools are available abroad only and they are quite expensive.

Figure 8 presents the schematic diagram and principle of operation of the stand fitted with the German-made *Pamas* particle counter to test air filters. The terminals of measuring probes are located centrally in the circuit axis, in some distance in front of and behind the filter under study. The inlets of measuring probes are directed towards the flow of polluted air *Q*. Each measuring probe is linked, through a pipe, with a separate measuring block, which consists of the following elements: a sensor, flow control system, vacuum pump and air filters. Particle counter microprocessor is a joint element of both measuring blocks. As soon as the vacuum pumps are switched on, the aerosol (tested flow Q_B of a constant value) is sucked by measuring probe terminals. At the sensor entry the flow Q_B joins the screening clean air flow Q_E. The flow analysis takes place in the sensor (schematic diagram presented on figure 9), where the phenomenon of laser beam scattering (wave length 680 nm) is applied. After being collimated, the emitted beam passes through the diaphragms set, aimed to remove scattered light, then it lights the whole section of the detection area located at the nozzle mouth supplying the air to be tested.



Rys. 8. Schemat ideowy stanowiska do badania filtrów powietrza z licznikiem cząstek firmy Pamas*: 1 - badany filtr powietrza, 2 - sonda pyłowa licznika cząstek, 3 - licznik cząstek, 4 - mikroprocesor licznika cząstek, 5 - komputer pomiarowy, 6 - sensor, 7 - filtr, 8 - pompa próżniowa, 9 - blok kontroli przepływu*

Fig. 8. Schematic diagram of the stand with the Pamas *particle counter to test air filters: 1 - air filter under study, 2 - dust probe of a particle counter, 3 - particle counter, 4 - microprocessor of a particle counter, 5 - measuring computer, 6 - sensor, 7 - filter, 8 - vacuum pump, 9 - block to control flow*



Rys. 9. Schemat ideowy działania sensora licznika cząstek zanieczyszczeń firmy Pamas
Fig. 9. Schematic diagram of the sensor operation of the Pamas dust particle counter

Następnie oświetla cały przekrój obszaru detekcji znajdujący się na wylocie dyszy dostarczającej strumień badanego powietrza.

Część wiązki laserowej, która nie uległa rozproszeniu, jest kierowana za pomocą zwierciadełka na fotodiodę, monitorującą natężenie wiązki. Fotodioda jest poprzez odpowiedni obwód sprzężona z diodą laserową, co pozwala na utrzymywanie mocy lasera, a więc natężenia jego promieniowania na stałym poziomie.

Strumień próbkowanego powietrza dostarczany do obszaru detekcji poprzez dyszę i zawierający zliczane cząstki, jest ekranowany dodatkowym strumieniem przefiltrowanego powietrza. W zależności od rozmiarów, kształtów i własności optycznych rozpoznawanych cząstek, odpowiednia (niewielka) część wiązki laserowej będzie na nich uginana i przez nie odbijana, a więc, generalnie rzecz ujmując, rozpraszana. Światło, które zostało rozproszone pod kątem nie większym od 30° w stosunku do pierwotnego toru wiązki, zbierane jest przez zespół soczewek odbiorczych i kierowane do układu fotodetektora, w którym ulega przetworzeniu na sygnał elektryczny. Następnie, po wzmocnieniu i odpowiedniej obróbce, sygnał ten przekazywany jest do licznika. Zarejestrowane przez mikroprocesor wyniki pomiarów mogą być wydrukowane w postaci tabelarycznej za pomocą drukarki stanowiącej integralną całość z mikroprocesorem lub wyświetlone na ekranie komputera. Istnieje możliwość zdalnego sterowania pomiarami za pomocą komputera, jak i bezpośrednio z klawiatury znajdującej się na płycie głównej urządzenia. Do analizy wyników badań służy odpowiedni program komputerowy.

Sensor urządzenia przystosowany jest do rejestracji cząstek zanieczyszczeń z określonego zakresu średnic d_{zmin} - d_{zmax} który podzielony jest na kilkanaście przedziałów (kanałów) pomiarowych. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów określa się skuteczność filtracji powietrza dla każdego przedziału pomiarowego z zależności:

$$\varphi_{(i-j)} = \frac{n_{1(di-dj)} - n_{2(di-dj)}}{n_{1(di-dj)}} 100\% \qquad (4)$$

That part of a laser beam, which has not been scattered is directed by the mirror to a photodiode. The photodiode, which monitors beam intensity is coupled with a laser diode, what allows to maintain laser power, and intensity of its radiation at a constant level.

The flow of air containing the grains to be counted is supplied to the detection area through the nozzle and screened by the additional flow of filtrated air. As depending on the size, shape and optical properties of recognisable grains, some (small) part of a laser beam is scattered - it is first diffracted and then reflected. The light that has been scattered at the angle not bigger than 30° in relation to the original beam track is focused by the set of converging lens and directed to the photodetector system, where it is converted into an electric signal. Then, after strengthening and some treatment the signal is transmitted to the counter. The results registered by the microprocessor may be provided (as tables) by a printer, forming a whole with a microprocessor or shown on the computer screen. The measurements may be remote controlled by the computer or by the keyboard located on the main tool panel. There is a computer programme to analyse the results.

The tool sensor is adjusted to registering pollution grains within d_{zmin} - d_{zmax} in diameter in several measuring ranges (flumes). Air filtration efficiency is assessed for each measuring range as depending on:

$$\varphi_{(i-j)} = \frac{n_{1(di-dj)} - n_{2(di-dj)}}{n_{1(di-dj)}} 100\% \qquad (4)$$

where: $n_{1(di-dj)}$, $n_{2(di-dj)}$ - number of pollution grains within the diameter range $(d_i - d_j)$ in the air in front of and behind the filter, respectively.

When analysing grain composition of the PTC-D dust it is found that the maximum grain size is $d_z = 80\mu m$. As dust grains that cause the maximum wear of engine elements are larger than 1 μm the studies on air filters may be carried out when the *Pamas*-2120 partic-

gdzie: $n_{1(di - dj)}$, $n_{2\ (di\ -dj)}$ - ilość cząstek zanieczyszczeń z przedziału średnic $(d_i - d_j)$ w powietrzu odpowiednio przed i za filtrem.

Ze składu granulometrycznego pyłu testowego PTC-D wynika, że zawiera on ziarna pyłu o maksymalnym rozmiarze d_z = 80 μm. Ziarna pyłu, które powodują maksymalne zużycie elementów silników są większe od 1 μm. Do badań filtrów powietrza zastosowano więc licznik cząstek stałych *Pamas*-2120 z sensorem HCB-LD-2A-2000-1, który rejestruje ziarna pyłu o rozmiarach w zakresie 0,7 ÷ 100 μm w 32 przedziałach pomiarowych. Pompa próżniowa zapewnia stały badawczy strumień powietrza Q_G = 170 dm^3/godz. i strumień ekranujący 1000 dm^3/godz. Sensor urządzenia przystosowany jest do pracy przy maksymalnej koncentracji cząstek zanieczyszczeń 1000 szt/ml, co odpowiada masowemu stężeniu zapylenia powietrza $s \approx 0{,}25$ g/m^3. Wyposażone, w tego typu urządzenie, stanowisko badawcze może mieć zastosowanie do oceny jakościowej filtrów powietrza pojazdów osobowych, które eksploatowane są w warunkach małych stężeń zapylenia.

Gąsienicowe pojazdy specjalne, a w tym głównie pojazdy wojskowe (czołgi) oraz maszyny robocze eksploatowane są przeważnie w terenie, gdzie stężenie zapylenia powietrza na wlocie do filtru znacznie przekracza wartość 1 g/m^3 [11 - 13]. Silniki napędowe tych pojazdów wyposaża się w dwustopniowe filtry powietrza działające w systemie multicyklon – przegroda filtracyjna. Dla tego typu filtrów, obowiązujące w kraju w zakresie badań filtrów powietrza normy badawcze, przewidują stosowanie stężenia zapylenia s = 1 g/m^3 [8, 9]. Jest to więc stężenie kilkakrotnie większe niż dopuszczalne stężenie pyłu, przy którym licznik cząstek *Pamas* pracuje jeszcze prawidłowo.

Występuje więc problem określania przedziałowej skuteczności filtracji powietrza dla tego typu filtrów z wykorzystaniem dwóch, podłączonych przed i za dwustopniowym filtrem, sond licznika cząstek *Pamas*. Istnieje jednak możliwość wykorzystania jednej sondy licznika cząstek *Pamas* do określenia ilości i rozmiarów ziaren pyłu w oczyszczonym powietrzu za filtrem i na ich podstawie ocenienia jakości filtracji.

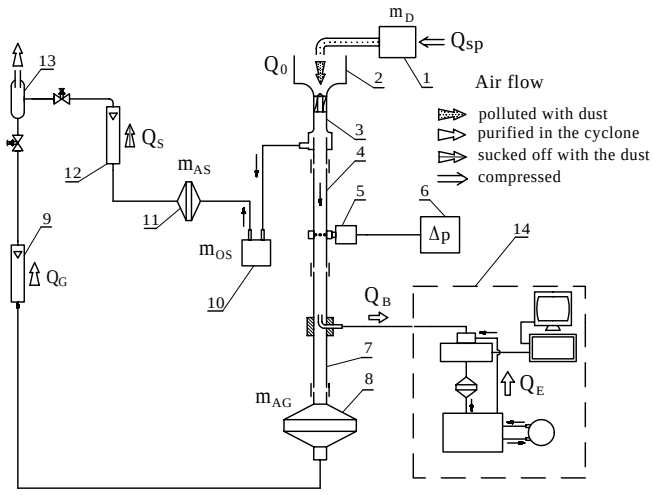
W tym celu opracowano metodykę badań oraz zaprojektowano stanowisko badawcze, którego schemat funkcjonalny przedstawiono na rysunku 10, służące do wyznaczania masowej skuteczności filtracji z jednoczesną oceną jakości filtracji poprzez pomiar ilości i rozmiar ziaren pyłu w powietrzu oczyszczonym. Stanowisko umożliwia badania pojedynczych cyklonów różnych typów będących elementami multicyklonów filtrów powietrza pojazdów mechanicznych, w zakresie strumienia powietrza Q_G = 8,50 m^3/h i stopniu ejekcyjnego odsysania m_0 = 20% oraz dla stężenia pyłu w powietrzu wlotowym do 4 g/m^3.

le counter with the HCB-LD-2A-2000-1 sensor is applied. It is able to count constant grains and register dust grains of 0.7 ÷ 100 μm in diameter within 32 measuring ranges. The air flow and screening flow are kept stable by a vacuum pump at Q_G = 170 dm^3/hour and 1000 dm^3/hour, respectively. The sensor is adapted for operating at the maximum dustiness concentration 1000 pcs/ml, what is equal to the mass air dustiness level $s \approx 0.25$ g/m^3. The stand fitted with such a tool may be used for a qualitative assessment of vehicle air filters, which operate under low dustiness.

Caterpillar-wheel vehicles, including military vehicles (tanks) and working machines operate mainly at the sites, where air dustiness concentration at the filter inlet considerably excesses 1 g/m^3 [11 - 13]. Driving motors of such vehicles must be then equipped with double-stage air filters operating within the multicyclone – filtration barrier system, which, according to the Polish standards, may be applied if the dustiness concentration is s = 1 g/m^3 [8, 9]. Thus it is several times higher than permissible dust concentration, at which the *Pamas* particle counter can work properly.

It then becomes difficult to determine the range efficiency of air filtration for this kind of filters with two *Pamas* particle counter probes connected in front of and behind the double-stage filter. However, there is a possibility to apply just one counter probe to determine the amount and size of dust grains in the purified air behind the filter and use the results to assess filtration quality.

To achieve such a goal the appropriate methodology has been prepared and the stand (its functional diagram is presented on figure 10) has been designed. Its aim is to evaluate the mass efficiency of filtration and at the same time assess filtration quality - the amount and size of dust grains is recorded in the purified air. The stand allows to test different single cyclones being the elements of air filter multicyclones in vehicles for the air flow Q_G= 8.50 m^3/h, the level of ejection suction m_0 = 20% and the dust concentration in the air entering the filter up to 4 g/m^3.



Rys. 10. Schemat stanowiska do badania charakterystyk cyklonów przelotowych z wlotem osiowym: 1 – cyklon, 2 – komora pyłowa, 3 – dozownik pyłu, 4 – przewód pomiaru oporu przepływu, 5 – czujnik ciśnienia CL1A, 6 – cyfrowy miernik tablicowy CL 134/24V, 7 – przewód pomiarowy z sondą, 8 – filtr absolutny przewodu głównego, 9 – rotametr strumienia głównego, 10 – osadnik pyłu, 11 – filtr absolutny przewodu odsysania, 12 – rotametr strumienia odsysania, 13 – urządzenie wymuszające przepływ, 14 – licznik cząstek Pamas

Fig. 10. The scheme of the stand to test characteristics of passage cyclones with axial inlet: 1 – cyclone, 2 – dust chamber, 3 – dust feeder, 4 – circuit to measure flow drag, 5 – CL1A pressure pick-up, 6 – CL 134/24V digital panel meter, 7 – measuring circuit with a probe, 8 – absolute filter of the main circuit, 9 – rotameter of the main flow, 10 – dust clarifier, 11 – absolute filter of the suction circuit, 12 – suction flow rotameter, 13 – system forcing the flow, 14 – Pamas particle counter

5. Badania rozpoznawcze

Celem badań była weryfikacja zaprojektowanego stanowiska i opracowanej metodyki badań. Wyznaczono dwie podstawowe charakterystyki cyklonu: skuteczności odpylania φ_C oraz oporów aerodynamicznych Δp_C. Określono ilości i rozmiary ziaren pyłu opuszczających wraz z powietrzem cyklon. Przedmiotem badań był prototyp cyklonu przelotowego z wlotem osiowym przewidywany jako element multicyklonu dwustopniowego filtru powietrza układu dolotowego silnika czołgowego. Skuteczność odpylania cyklonu określano metodą grawimetryczną na podstawie zależności:

$$\varphi_C = \frac{m_{ZC}}{m_D} \cdot 100\ \% \qquad (5)$$

gdzie: m_{ZC} - masa pyłu zatrzymanego przez cyklon w czasie cyklu pomiarowego, m_D - masa pyłu wprowadzonego (z odpylanym gazem) do cyklonu w czasie cyklu pomiarowego.

Masę pyłu m_{ZC} wyznaczano następująco:

$$m_{ZC} = m_D - m_{AG} \qquad (6)$$

gdzie: m_{AG} - masa pyłu opuszczająca wraz z powietrzem cyklon (zatrzymana przez filtr absolutny).

5. Diagnostic studies

The aim of the studies was to verify the designed stand and to prepare appropriate test methods. There were two main characteristics of the cyclone determined: dedusting efficiency φ_C and aerodynamic drag Δp_C. The amount and size of dust grains that leave the cyclone jointly with the air was evaluated. The studies were focused on the prototype of a passage cyclone with axial inlet to be included as an element of a multicyclone in double-stage air filters of the tank engine inlet system. The efficiency of cyclone dedusting was determined by a gravimetric method according to the formula:

$$\varphi_C = \frac{m_{ZC}}{m_D} \cdot 100\ \% \qquad (5)$$

where: m_{ZC} - dust mass blocked by the cyclone during the measuring cycle, m_D - mass of the dust introduced (with the gas to be dedusted) to the cyclone during the measuring cycle.

The dust mass m_{ZC} has been determined according to the formula:

$$m_{ZC} = m_D - m_{AG} \qquad (6)$$

where: m_{AG} - dust mass leaving the cyclone with the air (blocked by the absolute filter).

Opór przepływu Δp_C określono jako spadek ciśnienia statycznego w przewodzie za cyklonem.

Charakterystyki skuteczności odpylania cyklonu $\varphi_C = {}_{\mathrm{I}}(Q_G)$ i oporu przepływu $\Delta p_C = {}_{\mathrm{I}}(Q_G)$ wyznaczano w zakresie strumienia powietrza $Q_G = 10 \div 45$ m^3/h wynikającego z zapotrzebowania powietrza przez silnik, do którego przewidywany jest badany cyklon, i ilości cyklonów w multicyklonie. Pomiary wykonywano dla ustalonych wartości strumienia Q_G w równych odstępach co Q_G = 5 m^3/h w cyklach badawczych trwających t = 3 min.

Dla każdej ustalonej (pomiarowej) wartości Q_G trzykrotnie określano skuteczność odpylania φ_C i opór przepływu powietrza przez cyklon Δp_C wykonując trzykrotny pomiar:

- masy pyłu dostarczonego do cyklonu m_D,
- masy pyłu przepuszczonego przez cyklon m_{AG},
- spadku ciśnienia statycznego za cyklonem Δp_C.

Wyniki badań prototypu cyklonu przelotowego z wlotem osiowym przedstawiono na rysunku 11.

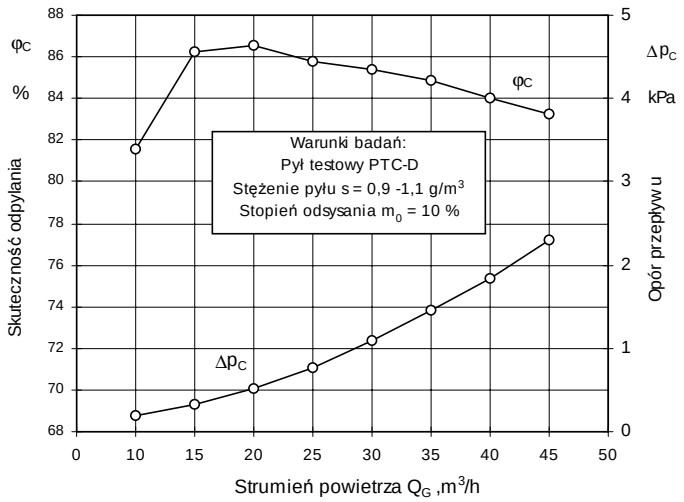
Flow resistance Δp_C has been defined as the static pressure reduction in the circuit behind the cyclone.

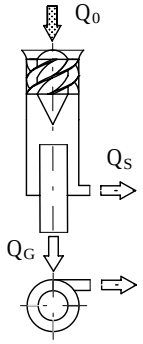
The efficiency characteristics of cyclone dedusting $\varphi_C = {}_{\mathrm{I}}(Q_G)$ and flow drag $\Delta p_C = {}_{\mathrm{I}}(Q_G)$ have been calculated for a flow range $Q_G = 10 \div 45$ m^3/h. Such a value results from the amount of air required by the engine, which tested cyclone is to be mounted in, and a number of cyclones in a multicyclone. The measurements have been done for the fixed flow values Q_G at equal intervals, every Q_G = 5 m^3/h in measuring cycles lasting t = 3 min.

For each fixed (measured) value of Q_G the dedusting efficiency φ_C was determined three times and resistance of the air flowing through the cyclone Δp_C was based on three measurements of:

- dust mass supplied to the cyclone m_D,
- dust mass passing through the cyclone m_{AG},
- static pressure reduction behind the cyclone Δp_C.

The results of the studies are presented on figure 11.





Schemat badanego cyklonu przelotowego
The scheme of a passage cyclone under study

Rys. 11. Charakterystyki skuteczności odpylania $\varphi_C = f(Q_G)$ i oporu przepływu $\Delta p_C = f(Q_G$ cyklonu przelotowego
Fig. 11. Characteristics of dedusting efficiency $\varphi_C = f(Q_G)$ and flow drag $\Delta p_C = f(Q_G$ of a passage cyclone

Podczas badań charakterystyk cyklonu, stopień ejekcyjnego odsysania ustalono na m_0 = 10 %. Wraz ze wzrostem strumienia powietrza Q_G, a tym samym wzrostem prędkości przepływu przez cyklon, następuje, w początkowej fazie pracy cyklonu, znaczny wzrost skuteczności odpylania powietrza. Dla strumienia powietrza Q_G = 20 m^3/h cyklon osiąga maksymalną skuteczność φ_C = 80,7 %. Przy dalszym wzroście strumienia powietrza Q_G skuteczność cyklonu systematycznie maleje i przy Q_G = 45 m^3/h osiąga wartości φ_C = 79,2 %. Wraz ze wzrostem strumienia powietrza Q_G następuje paraboliczny wzrost oporów przepływu cyklonu od wartości 0,22 kPa do 2,35 kPa. Taka zmiana

The degree of ejection suction was, during the studies on cyclone characteristics, fixed at m_0 = 10 %. As the air flow Q_G and at the same time the speed of flow through the cyclone are growing, there is a considerable increase in the air dedusting efficiency at the initial stage of cyclone operation. The cyclone reaches its maximum efficiency φ_C = 80.7 % for the air flow Q_G = 20 m^3/h and further rise of air flow Q_G leads to its regular decrease, falling to φ_C = 79.2 % at Q_G = 45 m^3/h. As the air flow Q_G rises there is a parabolic increase in the cyclone flow drag from 0.22 kPa up to 2.35 kPa. Such a change of the dedusting efficiency and flow drag seems to be consistent with the

skuteczności odpylania i oporów przepływu cyklonu zgodna jest z informacjami literaturowymi. Dla strumieni powietrza Q_G = 20 m³/h i Q_G = 45 m³/h, przy których osiągnięto odpowiednio maksymalną skuteczność oraz maksymalny spadek skuteczności odpylania, określono dokładność filtracji powietrza przez cyklon. W tym celu rejestrowano w pomiarowych przedziałach średnic $(d_i - d_j)$ ilości ziaren pyłu w powietrzu oczyszczonym. Podczas badań ustalono k = 32 przedziały pomiarowe o wartości 0,8 μm: P_1 = 0,7 ÷ 1,5 μm, P_2 = 1,5 ÷ 2,3 μm .... $P_{k=32}$ = 26,3 ÷ 27,1 μm. Określono udział procentowy ziaren pyłu z danego przedziału pomiarowego według zależności:

$$Z_{pk} = \frac{n_{k(di-dj)}}{n_{Ck}} 100\% \qquad (7)$$

gdzie: $n_{k(di - dj)}$ - ilość ziaren pyłu z przedziału średnic $(d_i - d_j)$ w powietrzu za cyklonem dla kolejnego przedziału pomiarowego, n_{Ck} - całkowita ilość ziaren pyłu w powietrzu za cyklonem dla kolejnego przedziału pomiarowego.

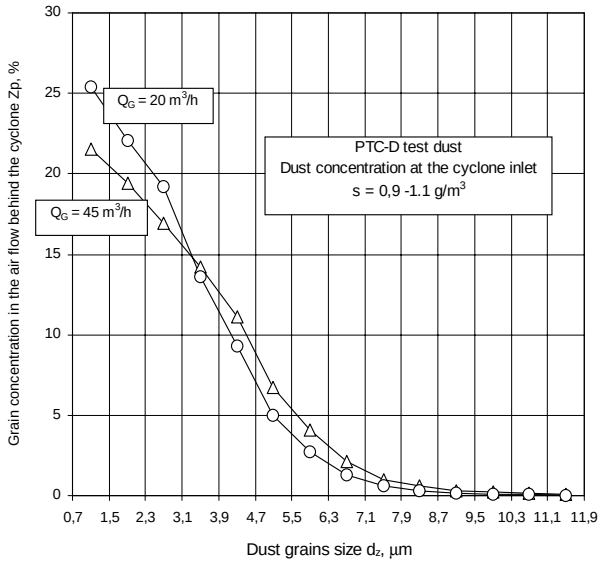
Wyniki badań i obliczeń przedstawiono na rysunku 12. W powietrzu opuszczającym cyklon znajdują się ziarna pyłu o rozmiarach poniżej 20 μm. Przy czym ziarna o rozmiarach 15 ÷ 20 μm to pojedyncze cząstki pyłu. Około 99,5 % ogólnej ilości ziaren pyłu to ziarna o rozmiarach poniżej 7,1 μm.

information found in some references. The accuracy of air filtration by the cyclone was evaluated for air flows Q_G = 20 m³/h and Q_G = 45 m³/h, values at which the maximum efficiency and maximum reduction of the dedusting efficiency, respectively was reached. In order to achieve the goal the amounts of dust grains in the purified air were registered within the measuring diameter ranges $(d_i - d_j)$. During the studies there were k = 32 measuring ranges fixed every 0.8 μm: P_1 = 0.7 ÷1.5 μm, P_2 = 1.5 ÷ 2.3 μm .... $P_{k=32}$ = 26.3 ÷ 27.1 μm. Percentage of dust grains was determined for a given measuring range according to the formula:

$$Z_{pk} = \frac{n_{k(di-dj)}}{n_{Ck}} 100\% \qquad (7)$$

where: $n_{k(di - dj)}$ - amount of dust grains of $(d_i - d_j)$ in diameter in the air behind the cyclone for the following measuring ranges, n_{Ck} - total amount of dust grains in the air behind the cyclone for the following measuring ranges.

The results of the studies and calculations are presented on figure 12. The air leaving the cyclone was found to contain dust grains smaller than 20 μm, with 15 ÷ 20 μm grains occurring very rare. About 99.5 % of the total dust grain amount are grains smaller than 7.1 μm.



Rys. 12. Rozkład Z_{pk} ziaren pyłu w powietrzu za badanym cyklonem dla dwóch różnych wartości strumienia powietrza: Q_G = 20 m³/h i Q_G = 45 m³/h

Fig. 12. Distribution Z_{pk} of dust grains in the air behind the cyclone for two different values of air flow: Q_G = 20 m³/h and Q_G = 45 m³/h

Wraz ze wzrostem rozmiarów ziaren pyłu, dla tej samej wartości strumienia Q, ilość ziaren pyłu i ich zawartość procentowa Z_{pk} w powietrzu za badanym cyklonem maleje. Zjawisko to jest wynikiem sił działających na ziarna pyłu mających nieregularny kształt, różny skład granulometryczny i chemiczny (różną gęstość). W związku z tym ziarna pyłu tych samych rozmiarów nie są oddzielane z powietrza z określoną i jednakową dla wszystkich ziaren średnicą graniczną d_{pg}. Przy przepływie przez cyklon strumienia $Q_G = 45$ m^3/h, zawartość procentowa ziaren pyłu mniejszych rozmiarów ($d_z < 3{,}5$ mm) na wylocie z cyklonu jest mniejsza niż przy strumieniu powietrza $Q_G = 20$ m^3/h. Zjawisko to należy tłumaczyć większą prędkością przepływu powietrza przez cyklon (większą prędkością ziarna pyłu), a tym samym większą siłą odśrodkową działającą na ziarna. Dla ziaren pyłu o rozmiarach $d_z > 3{,}5$ mm zjawisko jest odwrotne. Dla strumienia powietrza $Q_G = 45$ m^3/h zawartość procentowa ziaren pyłu $d_z > 3{,}5$ mm jest większa niż przy strumieniu $Q_G = 20$ m^3/h. Może mieć na to wpływ zjawisko odbicia ziaren pyłu od ścianek cyklonu i ponownego porywania ich i unoszenia ku wylotowi cyklonu przez wirujący strumień powietrza.

7. Podsumowanie

Funkcjonujące obecnie w kraju stanowiska do badania filtrów powietrza umożliwiają ocenę skuteczności filtracji tylko metodą wagową będącą miernikiem ilościowej redukcji masy zanieczyszczeń w filtrze. Ocena laboratoryjna filtrów powietrza obejmująca określenie dokładności oczyszczania powietrza jest możliwa w oparciu o istniejące stanowiska badawcze, ale po uprzednim wyposażeniu ich w urządzenie do jednoczesnej rejestracji ilości i rozmiarów cząstek zanieczyszczeń w powietrzu napływającym i opuszczającym filtr. Urządzenia do rejestracji ilości i rozmiarów cząstek zanieczyszczeń w strumieniu przepływającego powietrza są dostępne za granicą, jednak wysoki koszt limituje ich powszechne zastosowanie do badań filtrów powietrza w kraju. Dostępne urządzenie do zliczania cząstek przed i za badanym filtrem w strumieniu przepływającego powietrza firmy *Pamas* może pracować tylko przy stężeniu zapylenia powietrza nieprzekraczającym 0,25 g/m^3. W stosunku do filtrów powietrza pojazdów specjalnych (czołgi, maszyny robocze, pojazdy terenowe) normy wymagają aby podczas badań stosować zapylenie powietrza w granicach 1,3 g/m^3 co wynika z faktu eksploatacji tych pojazdów, po bezdrożach i terenach piaszczystych, gdzie stężenie zapylenia powietrza jest szczególnie duże. Do oceny dokładności oczyszczania powietrza w filtrach silników pojazdów pracujących w warunkach dużych stężeń zapylenia powietrza proponuje się wykorzystanie licznika cząstek z jedną sondą montowaną za badanym filtrem.

As the dust grains enlarge, their amount and percentage Z_{pk} in the air behind the cyclone is decreasing for the same flow value Q. This is a result of the forces operating on the dust grains of non-regular shape, various size distribution and chemical composition (different density). Dust grains of the same size are not separated from the air at the same limit diameter d_{pg}. At the cyclone outlet the percentage of small dust grains ($d_z < 3.5$ mm) is lower at $Q_G = 45$ m^3/h than at $Q_G = 20$ m^3/h, what must be justified by a higher speed of air flow (higher speed of dust grains) through the cyclone, and at the same time higher centrifugal force that operate on the grains. The situation is quite opposite for dust grains $d_z > 3.5$ mm, with their percentage higher at the $Q_G = 45$ m^3/h than at $Q_G = 20$ m^3/h air flow. It is probably due to the fact that dust grains are reflected from the cyclone walls, re-blasted and then carried out to the cyclone outlet by the whirling air flow.

7. Conclusions

The stands to test air filters that are currently available in Poland allow to assess filtration efficiency only by a gravimetric method indicating the quantitative reduction of pollution mass in the filter. Laboratory evaluation of air filters, which comprises the determination of air purification accuracy can be carried out at the existing stands, but they must be first equipped with the tool for simultaneous registration of the amount and size of grains both in the air reaching and leaving the filter. However, such tools are available abroad only, and cannot be commonly applied in the studies on air filters in Poland due to their high cost. The *Pamas* tool to count the grains in the flowing air in front of and behind the filter may operate only if the air dustiness concentration does not exceed 0.25 g/m^3. As special vehicles (tanks, working machines, cross-country vehicles) are usually exploited on roadless tracks and sandy areas, where the concentration of air dustiness is particularly high, the standards need to be met for air filters clarify that air dustiness should, during the studies, range within 1.3 g/m^3. To assess air purification accuracy in the filters of vehicles operating working under high air dustiness it is suggested that the particle counter may be applied with just one probe mounted behind the filter.

The application of a particle counter and the probe installed in the purified air flow has given a good recognition of a single passage cyclone. Both the mass method and the use of a particle counter gave

Przeprowadzone badania rozpoznawcze pojedynczego cyklonu przelotowego z wykorzystaniem licznika cząstek i sondy zainstalowanej w strumieniu powietrza oczyszczonego, wskazują na celowość takich działań. Wyniki badań skuteczności odpylania cyklonu metodą masową oraz wyniki uzyskane licznikiem cząstek, uzupełniają się wzajemnie. Badania tą metodą przydatne są szczególnie podczas projektowania przegród filtracyjnych z nowymi materiałami filtracyjnymi lub projektowania cyklonów będących elementami pierwszego stopnia filtru powietrza pojazdów specjalnych.

complementary results of the cyclone dedusting efficiency. The studies seem to be particularly useful for designing barriers made of some new filtration materials or cyclones being the elements of a single-stage air filter in special vehicles.

8. References

[1] Nagy J.: *Filtrowanie a żywotność silnika,* Silniki Spalinowe, 3, 1973.
[2] Borawska I.: *Papierowe przegrody filtracyjne - własności, metody badań i zastosowanie,* Filtry i filtracja płynów, I Ogólnopolska Konferencja Naukowo - Techniczna, Rzeszów 1774.
[3] Baczewski K., Hebda M.:, *Filtracja płynów eksploatacyjnych*, MCNEMT, Radom 1991/92.
[4] Warych J.: *Oczyszczanie gazów - procesy i aparatura*, WNT, Warszawa 1998.
[5] Dzierżanowski P. i inni , *Turbinowe silniki śmigłowe i śmigłowcowe*, WKŁ, Warszawa 1985.
[6] Juda J., Nowicki M.: *Urządzenia odpylające,* PWN, Warszawa 1986.
[7] Dziubak T.: *Badania możliwości poprawy efektywności odpylania gaz w minicyklonie zwrotnym z wlotem stycznym*, Biuletyn WAT, XLVIII, 8-9, (1999).
[8] PN-S-34040, *Filtry powietrza. Wymagania i badania*, PKNM, 1996.
[9] PN-ISO 5011, *Filtry powietrza do silników spalinowych i sprężarek. Badanie działania*, PKNM, 1994. 10 (554), 1998.
[10] Marciniec Z., Siuta T., Szlachta Z.: *Wybrane krajowe stanowiska badawcze oraz ich możliwości pomiarowe w zakresie efektywności pracy filtrów oleju, paliwa i powietrza samochodowych silników* spalinowych, II Międzynarodowa konferencja MOTROL, Lublin 1999.
[11] Dziubak T.: *Diagnostyka filtrów powietrza silników wozów bojowych*, Biuletyn WAT, XLVII, 10, (1998)
[12] Jaroszczyk T.: *Air filtration in heavy-duty motor vehicle applications*, Proc. Dust Symposium III Vicksburg MS,1987.
[13] Dziubak T.: *Zapylenie powietrza wokół pojazdu terenowego*, Wojskowy Przegląd Techniczny, 3, 1990.

Dr inż. Tadeusz DZIUBAK

Instytutu Pojazdów Mechanicznych i Transportu
Wydział Mechaniczny
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. Kaliskiego 2
00-908 Warszawa
tel: (0-10xx-22) 68-37-121, 68-37-104
fax: (0-10xx-22) 68-39-410
e-mail: t.dziubak@wme.wat.waw.pl

Jan MONIETA

OCENA NIEZAWODNOŚCI WTRYSKIWACZY OKRĘTOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH TYPU 6AL20/24

ESTIMATION OF RELIABILITY OF INJECTORS OF MARINE DIESEL ENGINES TYPE 6AL20/24

W artykule przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych niezawodności podzespołów okrętowych silników wysokoprężnych produkowanych przez H. Cegielski Poznań S. A. na licencji szwajcarskiej firmy Sulzer. typu 6AL20/24. Przedstawiono także badania kontrolne dla tego najbardziej zawodnego podzespołu tych silników w celu sprawdzenia wskaźników niezawodności z ustalonymi dla nich wymaganiami. Do badań niezawodności zebrano informacje o uszkodzeniach 1000 wtryskiwaczy silników pochodzących ze statków armatorów Szczecina, zgodnie z wybranym planem badań. Analizę niezawodności, przeprowadzono na podstawie eksperymentu biernego: dane uzyskano z zapisów w dokumentacjach maszynowych, zapisów w komputerach pokładowych i obserwacji silników i ich podzespołów. Podjęto próbę wyznaczenia częstości wtryskiwaczy w okresie eksploatacji o największej ich zawodności. Oszacowano wybrane wskaźniki i charakterystyki niezawodności, w zależności od czasu poprawnej pracy do uszkodzeń badanych silników spalinowych. Stosując klasyczne reguły weryfikacji hipotez statystycznych oraz program komputerowy Statgraphics wykazano, że rozkład czasu pracy do uszkodzeń wtryskiwaczy badanych silników, jak wykazały badania, można uznać za do rozkładu wykładniczego. Średnia wartość czasu zdatności do pierwszego uszkodzenia wtryskiwaczy badanych silników wyniosła 1562 h z odchyleniem standardowym 1179 h. Najwięcej uszkodzeń wtryskiwaczy stwierdzono w przedziale pierwszych 0÷100 h pracy. Wskazuje to na niedostateczną jakość wytwarzania.

Słowa kluczowe: *Silniki okrętowe, wtryskiwacze, wskaźniki niezawodności.*

In article one introduced results of operational researches of reliability of sub-assembles of the marine diesel engines type 6AL20/24. One introduced also control research for these most deceptive of sub-assembles, these of engines, in aim of check of coefficients of reliability with settled for them with requirements. To researches of reliability one assembled information's about damages 1000 of injectors of engines exploited by shipowners of Szczecin, in accordance with select plan of researches. Analysis of reliability, one passed on the ground of passive experiment: given one obtained from recordings ship's papers, recordings in computers deck and of observation of engines and their of sub-assembles in during halts of ships in ports and shipyards. One undertook test of delimitation of frequency of damages of injectors in period of exploitation about greatest deceptive. One estimated select function and numerical coefficients of reliability, in dependencies from time of correct work to failures of injectors investigated of combustion engines. Using classical rules of verification of hypothesises statistical and computer programme one showed that schedule of failures of injectors investigated of the engines one can acknowledge for convergent to exponential distribution. Average value of correct work to failures of injectors investigated of engines lofty 1562 h with standard deviation 1179 h. The most of all of failures of injectors one ascertained in section 0÷100 h of work. Shows this on insufficient quality of production and/or insufficient persistence of injectors.

Keywords: *Marine diesel engines, injectors, reliability indices.*

1. Wprowadzenie

Powodem podjęcia badań oceny niezawodności podzespołów silników typu HCP -Sulzer 6AL20/24, często ulegających uszkodzeniom krytycznym, nagłym i stopniowym była potrzeba poszukiwania nowych

1. Introduction

With reason of collection of researches of estimation of reliability of engines of type 6AL20/24, to often subject critical damages, sudden and gradual, was it is need researches of new service systems [11, 13].

systemów obsługowych [11, 13]. Uszkodzenie krytyczne to uszkodzenie, stwarzające zagrożenie dla ludzi, pociągające za sobą znaczne straty materialne lub inne niedopuszczalne skutki. Przeprowadzone badania niezawodności mają na celu doprowadzenie do oszacowania wartości wskaźników niezawodności eksploatacyjnej podzespołów i elementów badanych silników.

Przeprowadzone badania eksploatacyjne niezawodności układów funkcjonalnych i podzespołów silników okrętowych typu 6AL20/24, napędzających prądnice wykazały, że najbardziej zawodnym układem funkcjonalnym okazał się układ zasilania silnika paliwem. Głównymi przyczynami niezdatności układu zasilania są stany niezdatności wtryskiwaczy [9]. Wtryskiwacze okazały się również najbardziej zawodnymi podzespołami tych silników oraz badanych wcześniej silników okrętowych na licencji firmy Sulzer typu 5BAH22 [11, 12/lL]. Jest to wynik zgodny z danymi literaturowymi [2, 3]. Przedstawione badania uszkodzeń krytycznych silników 6AL20/24 wykazały, że uszkodzenia wtryskiwaczy były powodem uszkodzeń wtórnych silników w 7,41% przypadków [12].

Wyniki tych badań powinny przyczynić się do zmniejszenia częstości występowania uszkodzeń oraz poprawy gotowości i nieuszkadzalności zespołów silnika okrętowego, a zwłaszcza jego najbardziej zawodnych podzespołów [4, 5, 8, 16]. Gotowość jest to zdolność obiektu do utrzymania się w stanie umożliwiającym wypełnianie wymaganej funkcji w danych warunkach, w danej chwili lub w danym przedziale czasu, przy założeniu, że są dostarczone wymagane środki zewnętrzne. Nieuszkadzalność to zdolność obiektu do wypełniania funkcji w danych warunkach w danym przedziale czasu.

Obliczone wskaźniki niezawodności mogą być wykorzystane również do określenia zapasów poszczególnych rodzajów części wymiennych na statku, bowiem dostarczenie ich na bieżąco jest utrudnione, oraz przy opracowaniu systemów diagnostycznych tych silników.

2. Koncepcja badań niezawodności wtryskiwaczy

Badaniami eksploatacyjnymi objęto wtryskiwacze silników pomocniczych HCP-Sulzer typu 6AL20/24*D*, spalających olej napędowy (*D*). Olej napędowy przeznaczony do zasilania tych silników zakupywano w różnych regionach świata. Zebrano informacje o czasie poprawnej pracy do pierwszych uszkodzeń wtryskiwaczy (rys. 1), na statkach eksploatowanych przez armatorów Szczecina, pochodzących z dzienników maszynowych, wieczystych ksiąg remontów, komputerów oraz obserwacji w eksploatacji. Badania prowadzono według planu (n_w, W, r), który obejmował $n_w = 1000$ wtryskiwa-

Passed research of reliability have in view bringing to estimations of value of coefficients of reliability subassembles and of elements examined of engines in phase of exploitation.

Passed researches of reliability of functional arrangements and sub-assembles of marine auxiliary engines 6AL20/24 showed, that with most deceptive functional arrangement proved feed arrangement. Main reasons of unfitness of feed system are states of unfitness of injectors [9]. Injectors proved also most deceptive sub-assembles these of engines and investigated earlier of marine diesel engines type 5BAH22 [11, 12/lL]. This is peaceable result with given literature [2, 3]. Introduced researches of failures of critical engines 6AL20/24 showed, that damages of original injectors former reason of damages of secondary engines in 7.41% chances [12].

Results these of researches should contribute to diminution's of frequency of occurrence of failures and improvements of readiness, effectiveness and reliabilities of teams of marine engine, and especially his most deceptive sub-assembles [4, 5, 8, 16]. Counted coefficients of reliability can be used also to qualifications of wrestling of each kinds of exchange part on ship, as delivering their on up to date is made difficult, and at elaboration of diagnostic systems these of engines.

2. Idea of researches of reliability of injectors

With operating researches one embraced injectors of auxiliary engines type 6AL20/24D, burning driving oil (*D*). One assembled informations about correct time of work to failures of injectors (fig. 1), exploited by shipowners of Szczecin, originating from engine logbook, of perpetual books of repairs, of computers and of observation in operation. Researches one drove according to plan (n_w, W, r), which embraced $n_w = 1000$ of injectors. Damaged injectors in advance of resear-

Rys. 1. Widok badanego wtryskiwacza silnika okrętowego typu HCP-Sulzer 6AL20/24D
Fig. 1. View exploited of injector of marine diesel engine type 6AL20/24D

czy. Uszkodzone wtryskiwacze w toku badań były wymienione na nowe lub naprawione *(W)*, a badania zakończono w chwili wymiany $r = 1000$ wtryskiwacza.

Do obliczeń przyjęto czas pracy do uszkodzenia tylko 634 wtryskiwaczy, ponieważ 366 wtryskiwaczy wymieniono profilaktycznie. O wtryskiwaczach wymienionych profilaktycznie nie można było, na podstawie dokumentacji, ustalić w jakim stanie technicznym się znajdowały i informacje o ich czasie pracy zostały odrzucone. Chwilę uszkodzenia identyfikowano z jego skutkiem, czyli ze stwierdzeniem stanu niezdatności, wymianą lub naprawą wtryskiwacza. Przyjęto zatem założenie, że wtryskiwacz jest obiektem prostym i dwustanowym, w sensie niezawodności, w pełni zdatnym w chwili rozpoczęcia eksploatacji lub zakończenia pełnej naprawy oraz niezdatnym w chwili uszkodzenia [7, 8]. Wtryskiwacze w szacowaniu niezawodności potraktowano jako obiekty nieodnawialne ponieważ obserwowano ich czas do uszkodzenia, a po wystąpieniu uszkodzenia wtryskiwacze zwykle są zastępowane zdatnymi.

3. Wybrane wskaźniki niezawodności wtryskiwaczy

Podstawową charakterystyką funkcyjną niezawodności obiektu, w tym i wtryskiwacza, jest empiryczna funkcja niezawodności, gdy rejestrowana jest liczba realizacji w przedziałach czasowych [8]:

$$R^*(t_i) = \frac{n_w - m_i + 1}{n_w + 1} \qquad (1)$$

ches one was exchanged on new or more seldom repaired (*W*), and research one finished in moment of exchange $r = 1000$ of injector.

To calculations one accepted correct time of work to damages only 634 of injectors, because 366 of injectors one prophylactic exchanged, without univocal settlements, which were found in state of unfitness. Informations about correct time of work to preventive exchanges of remaining injectors remained thrown away. Moment of failure one identified with his with result, that is to say with consequently of state of unfitness, with exchange or with repair of injector. One accepted so foundation, that injector is object to straight and two-state, in substance of reliability, fully fit in moment of beginning of exploitation or ends full repairs and unfit in moment of success of state of unfitness [7, 8]. Injectors in valuing reliabilities one treated as renewable objects not because one observed their time to damages, and after pronouncement of damage injectors usually are taken place other, earlier prepared. Disassembled and failures injectors one subjected to renovation, relying most often on exchange of injection nozzle or of other element, accepting full their renovation, treating it as new. On base of machine documents one did not have at own disposal numbers industrial and was not possible spying their of fates after disassembly from engine.

3. Select coefficients of reliability of injectors

The basic function characteristic of reliability of object, in this and of injector, is empirical function of reliability, when registered is number of realisation in temporary sections [8]:

$$R^*(t_i) = \frac{n_w - m_i + 1}{n_w + 1} \qquad (1)$$

gdzie: i = 1,2, ..., k - numer przedziału czasowego, m_i - liczba wtryskiwaczy uszkodzonych w i-tym przedziale czasowym, n_w - liczba wtryskiwaczy badanych.

Chwilową wartość empirycznej funkcji zawodności obliczano z zależności:

$$F^*(t_i) = 1 - R^*(t_i) \tag{2}$$

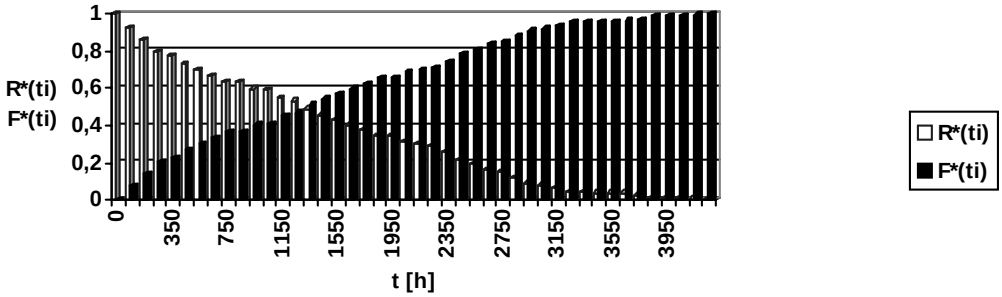
Wyznaczone wartości odnoszą się do środków przedziałów czasowych Δt_i = 100 h (rys. 2). Przyjęty do obliczeń przedział czasu pracy, równy 100 h, wyznaczono na podstawie częstotliwości przeglądów badanych silników oraz podziału okresu poprawnej ich pracy na zalecaną liczbę przedziałów czasu [7, 12].

where: i = 1, 2, ..., k - number of time section, m_i - number of damaged injectors in i time interval, n_w - number of injectors investigated.

Temporary value empirical distribution function one counted from dependence:

$$F^*(t_i) = 1 - R^*(t_i) \tag{2}$$

Appointed values behave to centres of time interval Δt_i = 100 h (fig. 2). Accepted to calculations section of time of work, equal 100 h, one marked on the ground frequencies of reviews investigated of injectors and of partition of time interval their correct work on recommended number of sections of time [7, 12].



Rys. 2. Rozkład empirycznej funkcji niezawodności $R^*(t_i)$ i dystrybuanty empirycznej $F^*(t_i)$ wtryskiwaczy
Fig. 2. Course of empirical function of reliability $R^*(t_i)$ and of empirical distribution function $F^*(t_i)$ of injectors

Na podstawie zgromadzonych informacji obliczono empiryczną gęstość prawdopodobieństwa $f^*(t)$ według zależności [8]:

$$f^*(\bar{t}_i) = \frac{m_i}{n_w \Delta t_i} \tag{3}$$

gdzie: $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$.

Rezultaty obliczeń przedstawiono na rys. 3. Wynika z niego, że zdecydowanie najwięcej uszkodzeń stwierdzono w pierwszym okresie eksploatacji wtryskiwaczy (7,9% w przedziale 0÷100 h pracy, a 20,8% w przedziale 0÷300 h pracy). Zbliżone wyniki uzyskali inni autorzy [2, 3, 6]. Przyczyną takiego stanu produkcji o nieznanej niezawodności może być początkowa niezdatność, stwierdzona po bardzo krótkim czasie eksploatacji. Zawodność początkowa wtryskiwacza wyraża prawdopodobieństwo znajdowania się lub przechodzenia w stan niezdatności wtryskiwacza w chwili t = 0:

$$R_0 = R(0) = P(T = 0) \tag{4}$$

gdzie: T - zmienna losowa rozumiana jako czas zdatności wtryskiwacza do chwili uszkodzenia.

Początkowa niezdatność wtryskiwaczy może być następstwem niewykrycia wad przez kontrolę techniczną w czasie produkcji, niewłaściwego magazynowania, transportowania itp. W pierwszym okresie istnie-

On base accumulated of information one counted empirical thickness of probability $f^*(t)$ according to dependencies [8]:

$$f^*(\bar{t}_i) = \frac{m_i}{n_w \Delta t_i} \tag{3}$$

where: $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$.

Results of calculations one illustrated on fig. 3. Results from it, that resoluteness most of all of failures one ascertained in first period of exploitation of injectors (7.9% in section 0÷100 h of work, and 20.8% in section 0÷300 h of work). Nearing results obtained other authors [2, 3, 6]. Reason of such state of production about not unknown reliabilities can be first fault, and ascertained after very short time of exploitation. First fault of injector expresses probability of finding or of going out for some stroll in fault state of injector in moment t = 0:

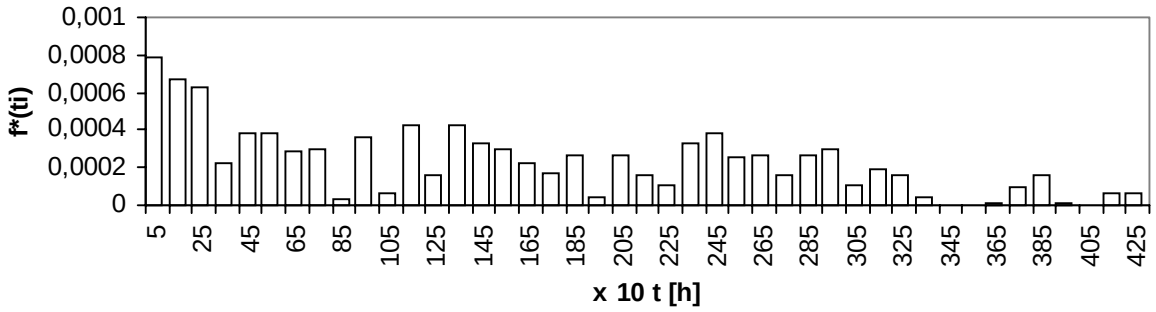
$$R_0 = R(0) = P(T = 0) \tag{4}$$

where: T - random variable understood as time of fitness of injector to moment of failure.

First fault of injectors can be result not of detection of defects through technical inspection during of production and repairs, unsuitable of storing, of transporting etc. In first period of existence of injec-

nia wtryskiwaczy ujawniają się ukryte wady materiałów, konstrukcji, montażu, niedokładności technologicznych oraz wady powstałe w wyniku warunków wytwarzania [8, 11].

tors come to light hidden defects of materials, of construction, of assembly, inaccuracies technological and defects created in result of conditions of production [8, 11].



Rys. 3. Rozkład empirycznej gęstości prawdopodobieństwa f(t$_i$) uszkodzeń wtryskiwaczy silników okrętowych typu 6AL20/24*

Fig. 3. Course empirical probability density course f(t$_i$) of damages of injectors of marine diesel engines type 6AL20/24*

Analiza wymagań kontroli jakości nowo produkowanych i odnawianych wtryskiwaczy wykazała, że są one mało precyzyjne (odwołujące się w wielu kwestiach do doświadczenia producenta), a metody kontroli mało wiarygodne [8, 11, 13]. Kontrola 100-procentowa, jest metodą drogą, zwłaszcza dla elementów wtryskiwaczy - rozpylaczy o dużej liczbie trudno mierzalnych cech stanu technicznego. W rzeczywistości podczas kontroli pracownicy wykrywają zaledwie około 80% istniejących wyrobów wadliwych [7].

Współczesny stan technologii wykonania i napraw rozpylaczy nie zapewnia ich hydrodynamicznego podobieństwa, gdyż rozrzut wymiarów geometrycznych i stanu powierzchni wyrobów jest trudny do racjonalizacji oraz określenia metodami przemysłowej kontroli jakości [11, 13].

Wyniki badań niezawodności wskazują zatem na potrzebę poprawy wiarygodności badań kontrolnych po wytworzeniu i naprawie wtryskiwaczy, przed zamontowaniem ich w silniku, w celu polepszenia oceny poprawności wytwarzania i poprawy oceny jakości wykonania obsługiwania.

W eksploatacji następuje weryfikacja założonych w procesie projektowania konstrukcji i zestawów eksploatacyjnych poprzez modernizację. W tym typie silnika producent wtryskiwaczy dokonał modernizacji rozpylaczy oraz wartości ciśnienia otwarcia wtryskiwaczy. W pracy zamieszczono wyniki badań przed modernizacją.

Z kolei chwilową wartość funkcji wiodącej rozkładu wyznaczono z zależności [8]:

$$\Lambda^*(\bar{t}) = \sum_{i=1}^{k} \frac{1}{n_w - M_i + 1} \qquad (5)$$

Analysing requirements of inspection of quality newly produced or renewed during of exploitation of injectors, proved, that are they little precise (appealing in many matters to experiences of producer), and results of inspection little reliable [8, 11, 13]. Inspection 100-proportional, is dear method way, especially for elements of injectors - of injector nozzles about large number with difficulty measurement of features of technical state. In realities during difficult inspection ticket collectors detect only just of about 80% existing defective articles [7].

Present state of technology of realisation and of repairs of injection nozzles does not assure them hydraulic resemblance's, because scattering of dimensions geometrical and of state of surface of articles is difficult to rationalisation and qualifications methods of industrial inspection of quality [11, 13].

Results of researches of reliability show so on need of improvement of reliability of supervisory researches after producing and to repair of injectors, before installing them in engine, in aim of improvement of estimation of correctness of production and improvements of estimation of quality of realisation of service.

In exploitation follows verification founded in process of projecting of construction and of operating sets across modernisation. In this type of engine one executed of modernization of injection nozzles and pressures of opening of injectors.

Next temporary value of leading function of distribution one marked from dependence [8]:

$$\Lambda^*(\bar{t}) = \sum_{i=1}^{k} \frac{1}{n_w - M_i + 1} \qquad (5)$$

gdzie: M_i - suma uszkodzeń wtryskiwaczy do *i*-tego przedziału.

Funkcją, która najlepiej określa zmiany niezawodnościowe wtryskiwacza jest empiryczna funkcja intensywności uszkodzeń [8]:

$$\lambda^*(\bar{t}_i) = \frac{m_i}{(n_w - M_{s-1})\Delta t_i} \qquad (6)$$

gdzie: M_s - sumaryczna liczba uszkodzeń wtryskiwaczy w kolejnych przedziałach czasowych pracy

$$M_s = \sum_{i=1}^{k} m_i \ .$$

Uzyskane rezultaty obliczeń przedstawiono na rys. 4.

where: M_i - sum of failures of injectors to *i* section.

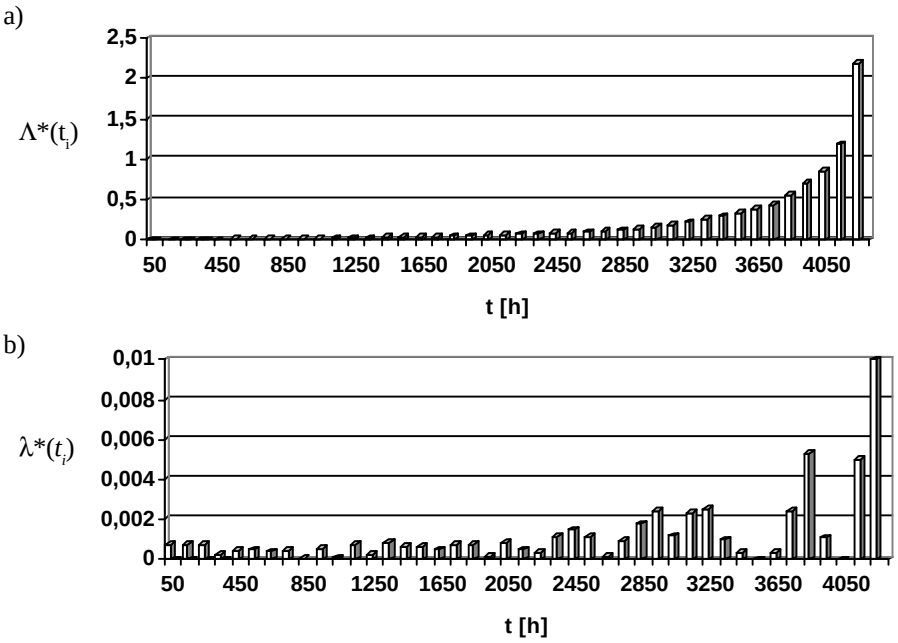
Function, which best characterizes reliability changes of injector is empirical function of intensity of failures, which is basic dependent characterization from correct time of work [8]:

$$\lambda^*(\bar{t}_i) = \frac{m_i}{(n_w - M_{s-1})\Delta t_i} \qquad (6)$$

where: M_s - total number of failures of injectors in following time intervals of correct work

$$M_s = \sum_{i=1}^{k} m_i$$

Obtained results of calculations one introduced on fig. 4.



Rys. 4. Rozkłady empirycznych funkcji wiodącej $\Lambda^*(t_i)$ (a) i intensywności uszkodzeń $\lambda^*(t_i)$ (b) wtryskiwaczy silników typu 6AL20/24

Fig. 4. Courses of empirical function leading $\Lambda^*(t_i)$ (a) and intensities of failures $\lambda^*(t_i)$ (b) of injectors of engines of type 6AL20/24

Na podstawie zgromadzonych danych dokonano oszacowania istotnych ilościowych wskaźników niezawodności, badanych wtryskiwaczy, oraz badano zgodność ich rozkładu z rozkładem teoretycznym.

Średnią trwałość badanych przez autora wtryskiwaczy określono zależnością:

$$\bar{t} = \frac{1}{n_w}\sum_{i=1}^{n_w} t_i \qquad (7)$$

gdzie: t_i - czas poprawnej pracy *i*-tego wtryskiwacza do chwili uszkodzenia.

On base accumulated given one executed estimations essential of quantitative coefficients of reliability, investigate of injectors, and one examined agreement them of decay with theoretical distribution.

Average persistence investigated by author of injectors one qualified with dependence:

$$\bar{t} = \frac{1}{n_w}\sum_{i=1}^{n_w} t_i \qquad (7)$$

where: t_i - correct time of work *i* of injector to moment of failure.

Odchylenie standardowe czasu poprawnej pracy do chwili wystąpienia uszkodzenia obliczono z zależności:

$$\sigma_T^* = \sqrt{\frac{1}{n_w - 1}\sum_{i=1}^{n_w}(t_i - \bar{t})^2} \qquad (8)$$

Trwałość ta wyniosła stosunkowo mało, bo tylko $\bar{t}$ = 1562 h pracy z odchyleniem standardowym σ = ± 1179 h. Dokonano wyboru odpowiedniego modelu rozkładu czasu zdatności wtryskiwaczy *T* do uszkodzenia (t_1, ..., t_n), stosując klasyczne reguły weryfikacji hipotez statystycznych. Po przeanalizowaniu przebiegu empirycznych funkcji *R*(t), F*(t), f*(t), λ*(t) i Λ*(t)* oraz sprawdzeniu za pomocą programu statgraphics minimalnej wartości statystyki χ^2 dla poziomów istotności różnych rozkładów. Wysunięto hipotezę o H_o: *t* ma rozkład wykładniczy z parametrem λ^* = 0,0006401 h^{-1}. Na podstawie realizacji sprawdzono, że zmienna *t* ma rozkład wykładniczy o dystrybuancie:

$$F^*(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \end{cases} \qquad (9)$$

W tym celu zbiór możliwych wartości zmiennej *t* podzielono na *r* rozłącznych podzbiorów *i* = 1, 2, ..., *r* takich, aby ich liczności m_i były większe niż 5. Ponieważ zmienna *t* jest ciągła to prawdopodobieństwo $p_i = P(\Delta t_i \leq t < \Delta t_{i+1}) = F(\Delta t_{i+1}) - F(\Delta t_i)$. Konstruowano statystykę [15]:

$$u_i = \sum_{i=1}^{r} \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} \qquad (10)$$

zwaną statystyką χ^2. Z tablic rozkładu χ^2 z *r* - 1 stopniami swobody i dla poziomu istotności $\alpha = 0{,}05$ oraz $\alpha = 0{,}1$ odczytano wartości *u*. Obszarem przyjęcia hipotezy jest przedział $\langle 0, u)$, a obszarem krytycznym przedział $\langle u, \infty)$. Ponieważ u_i należy do obszaru przyjęcia hipotezy dla obydwu wartości a, więc nie ma podstaw aby hipotezę H_o o wykładniczym rozkładzie czasu pracy wtryskiwaczy odrzucić. Przedstawioną analizę można wykonać za pomocą programu komputerowego Statgraphics.

4. Wyniki kontrolnych badań niezawodności wtryskiwaczy

O poziomie niezawodności badanych wtryskiwaczy mogą dać informacje między innymi wyniki badań kontrolnych. Badania kontrolne niezawodności wykonuje się w celu sprawdzenia zgodności wskaźników

Standard deviation time of correct work to moment of pronouncement of failure one counted from dependence:

$$\sigma_T^* = \sqrt{\frac{1}{n_w - 1}\sum_{i=1}^{n_w}(t_i - \bar{t})^2} \qquad (8)$$

Durability this carried out comparatively little, because only $\bar{t}$ = 1562 h of work with standard deviation σ = ± 1179 h. One executed of choice suitable model of decay of time *T* of correct work of injectors to failures (t_1,..., t_n), using classical rules of verification of statistical hypothesises. After analysing of course of empirical function *R*(t), F*(t), f*(t), λ*(t)* and *Λ*(t)* and to check by means of statgraphics programme minimum values of statistics χ^2 for significance levels of different decays. One advanced hypothesis about H_o: *t* has exponential decay with parameter λ^* = 0, 0006401 h^{-1}. On base of variable realization one checked, that variable *t* has exponential decay about distribution function:

$$F^*(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \end{cases} \qquad (9)$$

In this of aim collection possible variable values of variable *t* one divided on *r* separable subset *i* = 1, 2,..., *r* such, that them samples me one was greater than 5. Because variable *t* is continuous this probability $p_i = P(\Delta t_i \leq t < \Delta t_{i+1}) = F(\Delta t_{i+1}) - F(\Delta t_i)$. One have been constructed statistics [15]:

$$u_i = \sum_{i=1}^{r} \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} \qquad (10)$$

socalled with statistics χ^2. From boards of decay χ^2 from *r* - 1 degrees freedoms and for significance level $\alpha = 0{,}05$ and $\alpha = 0{,}1$ one read values *u*. The domain of acceptance of hypothesis is section $\langle 0, u)$, and area critical section $\langle u, \infty)$. Because u_i one belongs to domain of acceptance of hypothesis for both values and, so does not have bases hypothesis H_o to throw away about exponential distribution of time of work of injectors.

4. Results of supervisory researches of reliability of injectors

About level of reliability investigated of injectors can give information's among other things results of supervisory investigations of reliability, executed in aim of check of agreement of coefficients of reliability

niezawodności z ustalonymi dla nich wymaganiami, wykorzystując zgromadzone dane [7, 14]. W dokumentach normalizacyjnych ograniczono się do problemu kontroli jakości dla trzech przypadków. W tym opracowaniu dokonano kontroli spełnienia wymagań na oczekiwany czas pracy, gdy rozkład czasu pracy jest wykładniczy, a podczas badania rejestruje się czasy do wystąpienia uszkodzeń [14]. Dla planu badań do ustalonej liczby uszkodzeń *r*, z wymianą uszkodzonych obiektów, oszacowanie wartości oczekiwanej czasu poprawnej pracy wynosi:

$$\theta^* = \frac{n_{pw} t_r}{r} \qquad (11)$$

gdzie: n_{pw} - liczność badanej próbki równa 10, t_r - czas pracy do wystąpienia *r*-tego uszkodzenia.

Do badań kontrolnych wykorzystano wyniki zarejestrowanych, losowych czasów do uszkodzenia wtryskiwaczy z piętnastu silników. Przy kwalifikującej wartości średniej trwałości θ_o = 3000 h i wartości dyskwalifikującej θ_1 = 1000 h oraz ryzykach dostawcy i odbiorcy równych 0,05 odczytano [14], że badania należy prowadzić do uszkodzenia 9-tego wtryskiwacza. Dla wielkości θ_1/θ_0 odczytano również z tabel wartość stosunku C/θ_0, gdzie C = 1566 h jest stałą krytyczną oznaczającą kres dolny wartości średniego czasu poprawnej pracy. Wobec niespełnienia nierówności $\theta^* \geq C$ należy stwierdzić, że badana partia wtryskiwaczy nie spełnia wymagań, czyli poziom ich niezawodności jest niewystarczający.

5. Uwagi końcowe

Badania trwałości wtryskiwaczy silników HCP-Sulzer typuAL20/24 dowiodły, że uszkodzenia wtryskiwaczy ujawniają się najintensywniej w początkowych godzinach czasu pracy, co świadczy o niedoskonałości metod kontroli jakości wtryskiwaczy lub niskiej ich trwałości. Poziom niezawodności badanych wtryskiwaczy jest niewystarczający w stosunku do wymagań normy [14].

Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę poprawy jakości wytwarzania i obsługiwania tego słabego podzespołu silnika okrętowego [9]. Pomocna w rozwiązaniu tego problemu może być diagnostyka kontrolna [1, 10]. Diagnostyka kontrolna jest kontrolą jakości wytworzonych elementów i podzespołów maszyn oraz urządzeń. Wyniki badań zastosowania wiarygodnej diagnostyki kontrolnej wtryskiwaczy z wykorzystaniem analizy widmowej sygnałów przemieszczeń iglicy rozpylacza przedstawiono w pracach [10,11].

Wyniki badań niezawodności wskazują na celowość ich dalszych badań tribologicznych oraz diagnostycznych w celu określenia rodzajów zużycia i uszkodzeń wtryskiwaczy oraz poprawy oceny stanu na etapie wytwarzania, szczególnie w dobie wdrażania normy

with settled for them with requirements, using accumulated given [7, 14]. In normalization documents one limit oneselfed to problem of inspection of quality for three chances. In this to elaboration one executed of inspection of realization of requirements on waited time of correct work, when decay of correct work is exponential decay, and during investigations registers oneself times of pronouncement failures [14]. For plan of investigations to settled numbers of failures *r*, with exchange of failures objects, estimation of value waited of correct time of work carries out:

$$\theta^* = \frac{n_{pw} t_r}{r} \qquad (11)$$

where: n_{pw} - quantity investigated samples equal 10, t_r - time of work to pronouncements *r* of failure.

To preliminary investigations one used results registered, of fate times to failures of injectors from fifteen engines. At classing values of average persistence θ_0=3000 h and values disqualifying θ_1 = 1000 h and risks of tradesman and receivers equal 0.05 one read from tables [14], that research one should drive to failures 9th of injector. For magnitude θ_1/θ_0 one read also from tables value of relation C/θ_o, where C = 1566 h is critical constant marking end bottom values of average time of the correct work. In the face not realizations of inequality $\theta^* \geq C$ one should ascertain, that investigated party of injectors does not realize requirements, that is to say level their reliabilities is inadequate.

5. Final attentions

Researches of persistence of injectors of engines of type AL20/24 proved, that failures of injectors come to light most of intensive in first hours of time of work, what testifies about imperfections of methods of inspection of quality of injectors or low their durability. Level reliabilities investigated of injectors is inadequate in relation to standardization requirements.

Obtained results show on need of improvement of quality of projecting, productions and service this of weak sub-assembles of marine diesel engine. Helpful in solution this of problem can be control and operation diagnostics [1, 10, 11].

Results of researches of the reliability draw legitimacy their of further tribology and diagnostic investigations in aim of qualification of kinds of waste and of failures of injectors and improvements of estimation of state on stage of production. This is especially important in nowadays of initiation of norm of quality ISO 9001 and 9002. In aim of confirmation of rightness formation of generalizations one began works over investigation of reliability sub-assembles of other marine engines and their of most deceptive elements,

jakości ISO 9001 i 9002. W celu potwierdzenia słuszności powstałych uogólnień rozpoczęto prace nad badaniem niezawodności podzespołów innych silników okrętowych oraz ich najbardziej zawodnych elementów, w tym nowszej konstrukcji oraz spalających paliwa pozostałościowe.

Niedoskonałością takich badań eksploatacyjnych są występujące różnice między chwilą powstania niezdatności i jej stwierdzenia.

in this new of construction and combusting heavy fuels.

Imperfection such operation investigations are differences among sometimes detection's of unfitness and sometimes real failures.

6. Literatura

[1] Cempel C., Tomaszewski F. (red): *Diagnostyka maszyn. Zasady ogólne. Przykłady zastosowań*. Wyd. Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego, Radom 1992.

[2] Drozdowski J.: *Studium obciążeń, kawitacji i niezawodności rozpylaczy silników okrętowych.* Wyd. wyższej Szkoły Morskiej w Szczecinie, Szczecin 1998.

[3] Gondal A. K., Nautiyal P. C.: *Wear investigations of injector nozzle using radionuclide technique*. *Wear* 1990 no 2, s. 375-384.

[4] Girtler J.: *Modele matematyczne w badaniach niezawodności silników o zapłonie samoczynnym. EXPLO-DIESEL'98*, Szczecin-Kopenhaga 1998, s. 29-62.

[5] Jardine A. K. S., Andersen P. M., Mann D. S.: *Application of the Weibull proportional hazards model to aircraft marine engine failure data. Quality and Reliability*. Internat. 987 no 3, s. 135–140.

[6] Kasprzak B., Tomaszewski F.: *Ocena niezawodności silnika kolejowego 2112SSF.* Silniki Spalinowe 1992 nr 3–4, s. 43–53.

[7] Migdalski J. (red.): *Inżynieria niezawodności. Poradnik.*Wyd. ATR Bydgoszcz, Bydgoszcz 1992.

[8] Migdalski J. (red.): *Poradnik niezawodności. Podstawy matematyczne*. WPM „WEMA", Warszawa 1982.

[9] Monieta J.: *Choice of most deceptive functional system and sub-assembly of marine diesel engines*. *Povyšenie Effektivnosti Raboty Energetičeskich Ustanovok.* Meždunarodnyj Sbornik Naučnych Trudov. Kaliningrad 2002, s. 141-146.

[10] Monieta J.: *Diagnostyka wibroakustyczna układów wtryskowych silników okrętowych*. Diagnostyka 2000 vol. 23, s. 57-60.

[11] Monieta J.: *Problemy jakości wytwarzania wtryskiwaczy silników okrętowych typu AL20/24*. Marine Technology 2000. Szczecin-Dziwnówek 4 - 6 maja 2000, Vol. 2, s. 211-217.

[12] Monieta J.: *Ocena niezawodności spalinowych silników okrętowych typu 6AL20/24 i 5AL25/30*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn 2000 nr 1, s. 85-96.

[13] Piaseczny L.: *Technologia napraw okrętowych silników spalinowych.* WM, Gdańsk 1992.

[14] PN-77/N-04021. Niezawodność w technice. Plany badania w przypadku rozkładu wykładniczego.

[15] Strzałkowski A., Ślężyński A.: *Matematyczne metody opracowywania wyników pomiarów.* PWN, Warszawa 1978.

[16] Ważyńska-Fiok K., Jaźwiński J.: *Niezawodność systemów technicznych*. PWN, Warszawa 1990.

****

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań naukowych w 2003 roku

jako projekt badawczy nr 5T12D 00524.

The research work has been financed from means of Scientific Research Committee in 2003
as research project Nº 5T12D 00524.

****

Dr inż. Jan MONIETA

Instytut Technicznej Eksploatacji Siłowni Okrętowych
Wyższa Szkoła Morska
ul. Wały Chrobrego 2, 70-500 Szczecin
tel. (091) 4809415, (091) 4809479; fax: (091) 433 81 23
e-mail: jmonieta@wsm.szczecin.pl

Dariusz PIERNIKARSKI

QUO VADIS, DIESEL – CZYLI POSTĘP PRZEZ SYNERGIĘ

QUO VADIS, DIESEL – DEVELOPMENT THROUGH THE SYNERGY

Artykuł stanowi rozważania dotyczące czynników warunkujących najbliższe kierunki rozwoju przemysłu pojazdów użytkowych, ze szczególnym uwzględnieniem produkcji jednostek napędowych. Przeanalizowano możliwości rozwoju silników jako jednostek uniwersalnych lub przeznaczonych do konkretnych zastosowań. Ocenie poddano także aktualną sytuację rynkową, omówiono tendencje zmierzające do globalizacji produkcji oraz możliwości wykorzystania zjawiska synergii w przemyśle motoryzacyjnym, jako element współdziałania producentów, dostawców i odbiorców.

Słowa kluczowe: *silnik spalinowy, synergia, pojazdy użytkowe*

The paper is a set of considerations on the factors that influence the nearest trends in the development of the utility cars, with particular attention to the production of power units. The development possibilities for engine as a universal unit or prepared for the specific applications were analysed. The paper includes also the evaluation of the actual market situation, discussion of the trends towards the production globalisation and the possibilities for using the synergy, as an element of co-operation between the producers, suppliers and clients in motor industry.

Keywords: *internal combustion engine, synergy, commercial vehicles*

„Synergia" – termin wywodzący się z języka greckiego, stanowiący połączenie słów „syn" – razem, oraz „ergon" – dzieło, działanie. Polska definicja określa synergię jako współistnienie różnych czynników powodujące, że łączny efekt ich interakcji jest większy niż efekty ich osobnego działania. Tak więc, synergia, to współdziałanie. Termin „synergia" jest obecnie często stosowany do opisu zjawisk w niezwykle wielu, często nie spokrewnionych ze sobą dziedzinach – dokładnie tak, jak ma to miejsce w mrowisku. W mrowisku właśnie, łączna praca mrówek przewyższa swoją efektywnością sumę pracy pojedynczych osobników. Synergetycznie: 1+1 to więcej niż 2.

1. Wprowadzenie

Rynek jednostek napędowych – a są to przede wszystkim silniki wysokoprężne –stosowanych w pojazdach użytkowych, obejmujący zastosowania samochodowe, przemysłowe oraz rolnicze, stoi obecnie przed koniecznością rozwiązania wielu ważnych problemów związanych z przyszłymi kierunkami rozwoju. Obejmują one zarówno podstawowe podobieństwa i różnice technologiczne istniejące pomiędzy głównymi producentami, ale także wymogi stawiane przez stale

„Synergy" – a term having its origin in Greek is a compound of two words 'syn' – 'together' and 'ergon' – work. In polish language, the synergy is defined as a coexistence of various circumstances leading to a situation where a combined effect is greater than the sum of separate effects. Thus the synergy may be understood as an interaction or co-operation. Nowadays the term „synergy" is frequently used to describe the phenomena taking place in many non-related fields – it may be exampled by an anthill where the effectiveness of joint action of all ants is much higher than the total amount of their individual work. Synergetically: 1+1 is more than 2.

1. Introduction

The market of power units – it mostly comprises compression-ignition engines – applied in the utility vehicles (trucks, industrial and agricultural vehicles) is now faced with the necessity to identify its development trends for the future. The problems to be solved apply not only to basic technological similarities and differences existing between principal manufactures but also to the demands of the continuously evolving international market. The experience gained

zmieniający się rynek światowy. Doświadczenia zdobyte w rozwoju silników trakcyjnych są przenoszone na zastosowania przemysłowe oraz rolnicze, przy stale rosnących wymaganiach prawnych w zakresie dopuszczalnych poziomów emisji toksycznych składników spalin oraz hałasu.

Znaczące postępy w zakresie rozwoju układów sterowania elektronicznego, stosowanych w maszynach rolniczych stają się coraz częściej jednym z głównych punktów zainteresowania producentów samochodów użytkowych, którzy muszą stawić czoła konieczności kontroli coraz bardziej złożonych systemów obniżających poziomy toksycznej składników spalin. Z kolei podejście modułowe upowszechniane przez producentów silników przemysłowych, a związane z rosnącą liczbą różnorodnych zastosowań, staje się także interesujące z punktu widzenia zastosowań drogowych i rolniczych.

Stale większego znaczenia nabiera wymiana poglądów na temat efektów globalizacji i konsolidacji przemysłu silnikowego oraz różnych filozofii projektowych i roli partnerskich firm badawczo-rozwojowych. W tym świetle szczególne znaczenie ma możliwość wymiany informacji i opinii pomiędzy przedstawicielami różnych gałęzi przemysłu silnikowego oraz prezentacja wdrażanych rozwiązań technologicznych pozwalających na sprostanie wyzwaniom rynku światowego. Przykładem takiego forum wymiany informacji mogą być cykliczne konferencje organizowane przez austriacką firmę AVL – jednego ze światowych liderów w dziedzinie rozwoju szeroko rozumianych technologii motoryzacyjnych. Konferencje te odbywają się pod ogólnym hasłem „Synergia dla postępu". Rozważania zaprezentowane w niniejszym artykule oparto głównie właśnie o materiały z tych konferencji.

2. Jednostka napędowa – różne rynki, różne produkty

„Podejście platformowe" jest już obecnie stosowane w szerokim zakresie w przemyśle samochodowym i uzyskane tam doświadczenia mogą zostać zastosowane na przykład przez producentów maszyn budowlanych. Z drugiej strony, inżynierowie pracujący nad rozwojem pojazdów samochodowych dowiedzą się więcej na temat szczególnych wymagań stawianych silnikom stosowanym w rolnictwie i maszynach przemysłowych – wpływając tym samym na koncepcje i procedury rozwojowe – w wielu przypadkach silniki samochodowe stanowią bazę dla konstrukcji pochodnych. Pojawia się więc pytanie o korzyści płynące z opracowania silnika dedykowanego, jako konstrukcji przeznaczonej wyłącznie do jednego celu. A może jednak należy rozwijać koncepcje silników wielozadaniowych – uniwersalnych. Jakie implikacje ekoin the development of traction engines is transferred both to the industry and agriculture, and the legal requirements for admissible levels of exhaust and noise emission are permanently increasing.

A recent significant development of the electronic control systems used in agricultural machines is now becoming of greater concern to the manufacturers of utility vehicles, who are obliged to check up more and more complex systems that will lower the levels of exhaust emission. Then the interest in the module approach that has been disseminated by the producers of the industrial engines, and relevant to the increasing number of their applications, is growing as it might be also adopted to the road and agricultural use.

The exchange of opinions on the globalisation effects, consolidation of the engine industry and various design philosophies as well as on the role of partner research-development companies has been recently starting to matter. In the light of these facts there is a need to create a forum to share the ideas and views of the representatives of various engine industry branches and present technological solutions to be implemented to allow meeting the demands of the world market. The periodic conferences organized by the Austrian company AVL – one of the world's leaders in the development of automotive engineering – and held under the general slogan „Synergy for progress" seems to be a very good example of such a meeting. The considerations presented in this paper are based mainly on the analysis of conference proceedings.

2. Power unit – various markets, various products

„Platform approach" is now widely applied in the automotive industry and the experience acquired in this field may be helpful, for example, in the manufacturing of the construction equipment. From the other hand, however, the engineers involved in the development of vehicles are able to learn more on the specific requirements the engines applied in agriculture and industrial machines should meet – thus having an effect on the ideas and development procedures – as automotive engines are in many cases the bases for derived constructions. There are two options that need to be considered: to identify the advantages of working out of dedicated engine as a construction to be used just for one purpose or to extend the idea for multi-purpose uniform engines. What economic effects will have the approval of one of these solutions?

nomiczne będzie miało przyjęcie jednej z tych dwóch opcji? Główną rolę, w tym kontekście, odgrywają dostawcy komponentów, zwłaszcza, gdy chodzi o komponenty związane z emisją składników toksycznych. Istotnym czynnikiem jest także zmienna sytuacja rynkowa i warunki eksploatacji. Możliwości obsługowe oraz jakość paliwa, tak odmienne w różnych częściach świata oraz zależne od przeznaczenia silnika, stanowią kolejne wyzwania, zwłaszcza w dziedzinie maszyn budowlanych.

Globalizacja rynku stawia nowe wyzwania. Jest to niezwykle obiecująca perspektywa a jednocześnie, olbrzymie wyzwanie niosące ze sobą duże ryzyko. Globalizacja bardzo silnie wpływa na koncepcję ogólną jednostki napędowej i detale projektowe. Kwestia „żywotności" „światowego silnika" lub „światowego pojazdu" powinna być szczegółowo przedyskutowana. Czy jest to tylko marzenie, czy też należy dołożyć rzeczywiście wszelkich starań i ją zrealizować? Kolejnym problemem jest to, w jakim zakresie producenci działający w krajach rozwijających się powinni zmodyfikować swoje konstrukcje, aby wejść ze swoimi produktami na rynki krajów wysoko uprzemysłowionych i jakie przy tym powinni spełnić warunki wstępne. Rozważyć należy także możliwości stojące przed rynkiem dostawców komponentów motoryzacyjnych o zasięgu ogólnoświatowym – czy mają oni realną szansę udanej działalności i jakie ryzyko jest z tym związane?

3. Charakterystyka rynku

W zakresie pojazdów użytkowych stosowanych w transporcie drogowym sytuacja jest stosunkowo przejrzysta i łatwa do skategoryzowania. Najczęściej podział pojazdów użytkowych obecnych na rynku dokonywany jest ze względu na dopuszczalną masę całkowitą. I tak mamy klasę lekką: 3,5–7,5 t DMC, średnią: 7,5–18 t DMC oraz ciężką: 18–40 t DMC (rys. 1).

Oczywiście można zaproponować dalej idące podziały, ale są one raczej przejrzyste i oparte zazwyczaj na jednolitej filozofii platformowej. Koncepcja konstruowania pojazdów w oparciu przyjęcie wspólnej platformy nie pochodzi z rynku samochodów osobowych – została opracowana przez producentów ciężarówek, którzy korzystają z niej już od dziesięcioleci, głównie ze względu na efekty ekonomiczne i konieczność sprostania wymogom produkcji niskoseryjnej.

W przypadku silników jest także stosowane podejście platformowe w poszczególnych klasach, polegające na zastosowaniu jednej konstrukcji silnika regulowanego na różne osiągi. W niektórych przypadkach silniki pochodzące z jednej rodziny stosowane są w wielu klasach wagowych.

The most important role, in this context, is to be played by the suppliers of components, especially the ones related to the emission of toxic elements. The changing market situation as well as operation conditions seem to be also significant factors. There are further challenges, particularly in the field of construction equipment such as service possibilities and fuel quality that vary between different parts of the world and depend on the engine purpose.

The market globalisation holds the extremely promising perspectives on the one hand and a high risk on the other. Globalisation strongly affects the general idea of the power unit and design details. A matter of „life" of a „world engine" or a „world vehicle" has to be thoroughly discussed – is it only a dream or is it worth taking an effort and accomplish the idea? The next problem is to what extent the manufacturers operating in developing countries should modify their constructions in order to enter the highly developed markets and provide them with their products and what initial requirements should be met. The possibilities for the world-wide suppliers of the motorization component parts must be also considered – do they have a real chance for the success and how much do they risk?

3. Market characterisation

The commercial vehicles applied in the road transport may be clearly and easily classified. The ones available on the market are most often divided, according to the admissible total weight, into the following categories: light-duty: 3.5–7.5 t; medium-duty: 7.5–18 t and heavy-duty: 18–40 t (Fig. 1).

Although further classifications may be suggested, the one presented above seems to be obvious enough and usually follows the uniform platform philosophy. The idea of a vehicle construction based on the adoption of a joint platform has not derived from the market of motor cars – it was prepared and has been already used for many decades by the manufacturers of trucks, mainly due to economic effects and the necessity to meet the demands of low series production.

As regards the engines there is also a platform approach applied in particular categories. It is based on the use of one construction that can be adjusted to different engine performance. The engines coming from one group may be in some cases used in various weight classes.

KLASA CIĘŻKA (HD)
18-40 TON
HEAVY DUTY (HD)
18-40 TONS

KLASA ŚREDNIA (MD)
7,5-18 TON
MEDIUM DUTY (MD)
7,5-18 TONS

KLASA LEKKA (LD)
3,5-7,5 TONY
LIGHT DUTY (LD)
3,5-7,5 TONS

Rys. 1. Przykłady pojazdów użytkowych
Fig. 1. Examples of utility vehicles

Standardowe
Standard

Ogrodowe (sady i winnice)
Garden (orchards, vineyards)

Gąsiennicowe
Caterpillar

Do zabudowy
Body type

Przegubowe
Articulated

Inne
Others

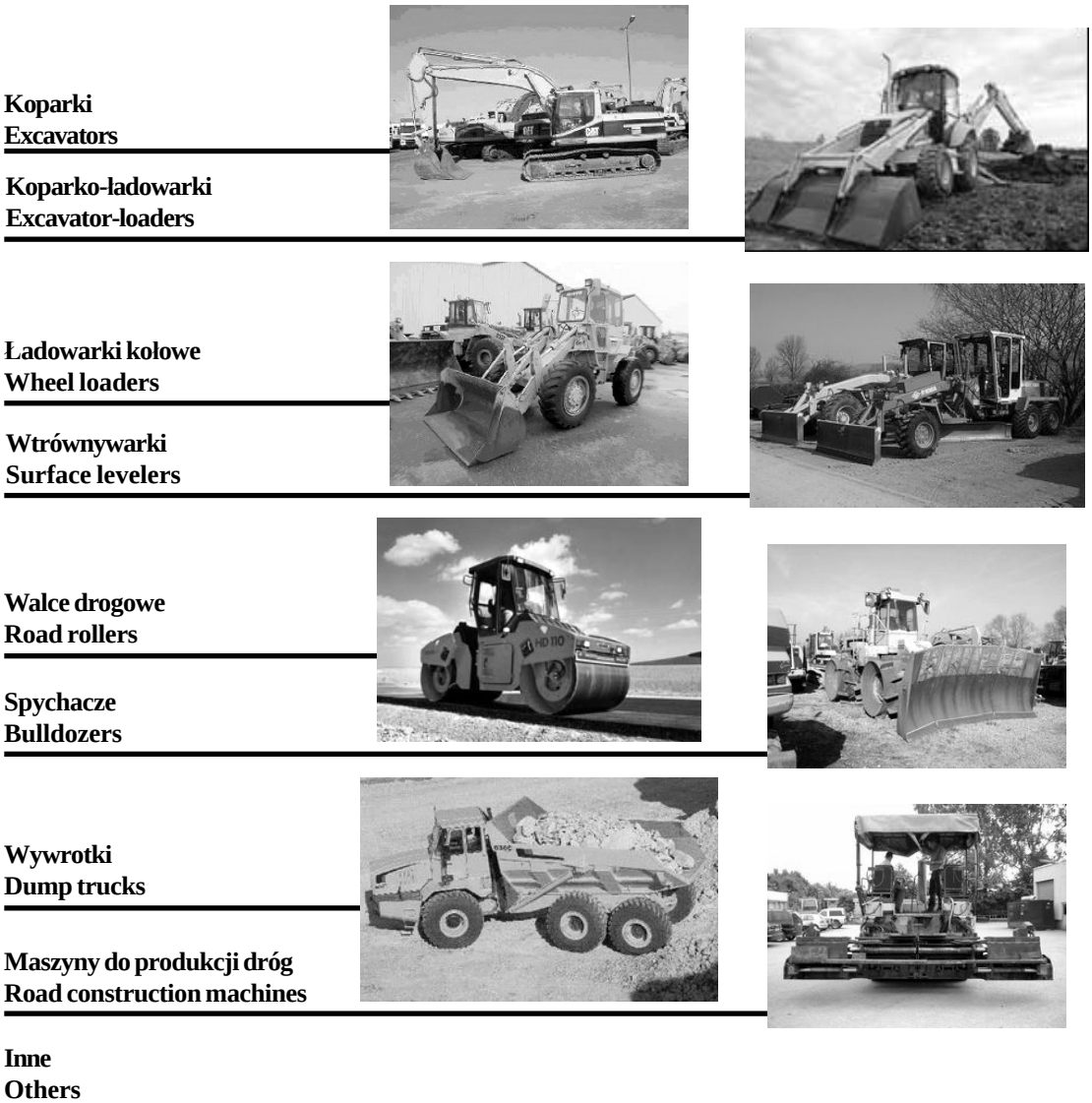
Rys. 2. Przykłady ciągników rolniczych
Fig. 2. Examples of agricultural tractors

W branży ciągników rolniczych, sytuacja staje się znacznie bardziej skomplikowana. Ze względu na obecność krańcowo różnych obszarów zastosowań koniecznych do wykonania różnych prac, na rynku istnieje wiele różnorodnych konstrukcji ciągników rolniczych. Najbardziej typowe przykłady przedstawiono na rys. 2. W przypadku powszechnie stosowanych ciągników rolniczych o konstrukcji blokowej, jednostka napędowa stanowi część strukturalną konstrukcji i jest sztywno połączona z układem przeniesienia napędu, obejmującym także oś tylną – tu podejście platformowe ma zastosowanie bardzo ograniczone.

Najbardziej złożony i zróżnicowany jest z pewnością rynek pojazdów budowlanych i tak zwanych silników przemysłowych (rys. 3). W tej grupie zastoso-

The situation gets much more complicated for the agricultural tractors. Due to the fact that a variety of field works has to be carried out under extremely different conditions, there are many tractor constructions available on the market. The most typical examples are presented in Fig. 2. In the commonly used tractors of block construction, the joint between the power unit, which is a structural part of a construction and the power transmission system including also the rear axle, is stiff – thus the application of a platform approach seems to be very limited.

Undoubtedly the market of construction equipment and so-called industrial engines is the most complex and diversified (Fig. 3). In such a group the engine is the only element where structural solutions based



Rys. 3. Przykłady maszyn budowlanych
Fig. 3. Examples of construction equipment

wań, to właśnie silnik jest jedynym elementem, w którym można w ograniczonym zakresie wdrażać rozwiązania konstrukcyjne oparte o elementy wspólne. Jednakże, już układy przeniesienia napędu zdecydowanie się od siebie różnią w zależności od zastosowań: począwszy od całkowicie manualnych skrzyń przekładniowych do całkowicie hydraulicznego układu przeniesienia napędu z centralną pompą hydrauliczną napędzaną przez silnik wysokoprężny i silniki hydrauliczne w kołach pojazdu. W pojazdach tego typu, problemem staje się ograniczenie poziomu emitowanego hałasu i odpowiedni dobór układu chłodzenia, gdyż uwzględniać należy nie tylko silnik spalinowy ale także układ hydrauliczny.

4. Podejście platformowe: podobieństwa i różnice w konstrukcji silników

Silniki wysokoprężne (diesla) są stosowane w olbrzymiej większości zastosowań użytkowych. Wymagania dotyczące parametrów eksploatacyjnych mają – w zależności od obszaru zastosowania – różne znaczenie, począwszy od niewielkiego zapotrzebowania, do warunku niezbędnej konieczności. W tabeli 1 przedstawiono jakościową ocenę najbardziej istotnych parametrów eksploatacyjnych silników, branych pod uwagę w zastosowaniach transportowych, rolniczych, budowlanych i przemysłowych. Z zestawienia jasno wynika, że przeznaczenie silnika silnie wpływa na główne kryteria eksploatacyjne, co jednocześnie wskazuje na fakt, iż opracowanie silnika o jednolitej konstrukcji

on the joint parts may be implemented, but only to a limited extent. However, depending on their applications, the power transmission systems considerably vary one from another: from fully manual gearboxes to fully hydraulic systems with a central hydraulic pump driven by a compression-ignition engine and hydraulic engines positioned in vehicle wheels. The problem here is to reduce the level of noise emission and select an appropriate cooling system, as not only a combustion engine but also the hydraulic system must be taken into consideration.

4. Platform approach: Similarities and differences in engine construction

Compression-ignition (Diesel) engines have a wide range of utility applications. The requirements on operational parameters vary – depending on the application field – from a low demand to the indispensable condition. Table 1 shows a quality assessment of the most important operational engine parameters, taken into consideration in the transport, agriculture, building engineering and industry. The scheme clearly points out that engine purpose affects its main operation criteria, what, at the same time leads to the conclusion that development of a uniform-structured engine as a base for creation of a platform cannot be practically achieved. As shown in the

Tab. 1. Jakościowa ocena najistotniejszych parametrów eksploatacyjnych silników w zależności od ich zastosowania

Tab. 1. Quality assessment of the most significant operational parameters of the engine, depending on its application

	Commercial vehicles		Construction equipment		Agricultural tractors	Agricultural harvesters	Short-distance transport	Compression aggregates
	MD	HD	Excavators	Loaders				
Power	••••	••••	••••	••	••	••••	••	••••
Torque characteristics	••	••	••••	••	••••	••••	••	
Durability/load-carrying capacity	••	••	••••	••	••	••	•	••••
Reliability	••	••••	••••	••	••	••••	•	••
Fuel consumption	••	••••	••	••	••••	••	•	•
Emission	••••	••••	••	••	•[1)]	•[1)]	••••	••
Noise	••••	••••	••••	••••	••••	•	••••	••••
Construction compactness	••••	••••	••	••	••••	•	••	••
Weight	••••	••••	•	•	•	••	•	••
External power take-off	•	•	••••	••	••••	•	•	•
Intervals between the services	•	••	••••	••	••	•	•	•
Maintenance susceptibility	••	••	••••	••	••	•	•	•

•••• – necessary •• – important • – not very important [1)] change in the future

jako podstawy do stworzenia platformy, jest praktycznie nieosiągalne. Jak widać, najwyższe wymagania muszą spełnić silniki trakcyjne pojazdów użytkowych, w drugiej kolejności lokują się silniki napędzające pojazdy budowlane i ciągniki rolnicze.

W wielu zastosowaniach stawiane są wymagania na znacznie niższym poziomie, a więc zróżnicowanie konstrukcyjne wydaje się być konieczne i uzasadnione, aczkolwiek trudne do zrealizowania.

Sytuacja staje się jeszcze bardziej złożona, gdy zechcemy określić rodzaj silnika dla głównych zastosowań, biorąc pod uwagę jego konstrukcję i rozmieszczenie. W tabeli nr 2 przedstawiono tylko te kryteria, które w największym stopniu wpływają na konstrukcję silnika, a zatem także na wybór ostatecznego rozwiązania sprzętowego. Kryteria te mają rzeczywisty i nieunikniony wpływ na konstrukcję silnika ze wszystkimi tego konsekwencjami wyrażającymi się złożonością problemu, kosztem i nakładami logistycznymi. Analizując je można jednak podjąć próbę wyróżnienia trzech podstawowych platform, na bazie których mogą być rozwijane konstrukcje silników: bazowy silnik ciężarówki, bazowy silnik ciągnika rolniczego oraz bazowy silnik przemysłowy (rys. 4). Silniki te stanowić mogą punkt wyjścia w wielu rozwiązaniach dzięki modernizacji, czy zastosowaniu różnych dodatkowych komponentów zewnętrznych. Niesie to z pewnością konkretne korzyści, ponieważ producenci nie zostaną zmuszeni do szukania kompromisu w kategoriach kosztów i ogólnych osiągów dobierając silnik do konkretnej aplikacji. Większość z zastosowań może uzyskać odpowiednie jednostki napędowe przy zminimalizowanej złożoności i kosztach dodatkowych.

W rozważaniach dotyczących opracowywania nowych generacji i typoszeregów silników, koszt odgrywa znaczącą rolę, ponieważ większość rozwiązań obejmujących przemysłowe zastosowania silników jest na składnik ten bardzo wrażliwa. Z jednej strony istnieje bardzo wyraźna zależność kosztów związanych ze skalą produkcji, a z drugiej, istnieją niepożądane koszty dodatkowe związane z zastosowaniami o wąskiej specjalizacji i niskiej skali produkcji.

Należy więc odpowiedzieć na fundamentalne pytanie: jaki wpływ na koszty całkowite ma rozwój koncepcji silnika optymalizowanego do konkretnych zastosowań (SPE = Single Purpose Engine), w porównaniu do silnika wielozadaniowego (MPE = Multi Purpose Engine). W tabeli 2 zamieszczono pewne wskazówki, określające, które z komponentów silnika mogą podnosić koszt silnika SPE, gdy będziemy chcieli uniknąć zastosowania silnika wielozadaniowego MPE oraz jakie koszty wiążą się z przystosowaniem silnika MPE do zastosowań typowych dla silników SPE.

scheme, the highest standards must be met by traction engines of commercial vehicles, followed by the engines that propel building machines and agricultural tractors.

As the standards to be complied with are much lower in many applications, the construction differences seem to be necessary and justified, but very difficult to be accomplished.

The situation is even more complicated if there is a necessity to determine the kind of engine for main applications, taking into account its construction and position. Table 2 deals with the criteria, which have the greatest impact on the engine construction, and thus on the selection of final solution. They do play real and inevitable role on the construction with all the consequences expressing the complicated character of a problem, cost and logistic inputs. Their analysis, however allows to distinguish 3 principal platforms: base truck engine, base agricultural tractor engine and base industrial engine, as the fundaments for the development of engine construction (Fig. 4). The modernization or application of the additional external components make those engines be a starting-point for many solutions, what, for sure, seems to be beneficial for the producers who are not forced to seek compromise in the cost and general performance categories when selecting the engine to the specific use. At the majority of applications appropriate power units may be achieved at the minimised complexity and extra costs.

If taking into account the development of new generations and families of the engines the costs are ranked very important as in the majority of solutions including industrial engine applications it is a very sensitive matter. There is a very clear relation between the costs and production scale on the one hand, but there are unwelcome additional costs related to the narrow applications and low production scale on the other.

Thus it is necessary to answer a fundamental question: what is the impact of the development of the single purpose engine (SPE) to be applied in specific cases on the total costs, as compared to the multi purpose engine (MPE). Table 2 presents some recommendations to determine which of the engine components may increase the cost of the SPE, if the MPE is not to be used and what costs need to be incurred when adjusting the MPE engine to all cases typical for the SPE.

Tab. 2. Kryteria wpływające na konstrukcję silnika
Tab. 2. Criteria affecting engine construction

Construction criterion	Application	Commercial vehicles	Dump truck	Hydraulic excavator	Wheel loader	Road roller	Agricultural tractor	Combine -harvester	Fork -lift loader	Compression set	Motor yacht
Performance	Unit power	••••	••	••	••	•	•	••	••	••••	••••
	Unit moment	••	••	••	••	•	••	••	••	•	••
	Engine brake	••••	••••	•	•	•	••	•	•	•	•
Operational requirements	Noise	••••	••	••••	••••	•	••••	••	••••	••	••
	Vibrations	••••	•	•	••	•	••		••	•	••
	Fuel consumption	••••	••	••	••	•	••••	••	•	••	••
	Consumption of lubricating oil	••••	••••	••	••	••	••••	••••	••	••	••
	Operation on a slope	•	••	••••	•	•	••••	••	•	•	••
	Comfort / mass balancing	••	••	•	•	•	••••	•	••	•	••
Control unit	Electronic controller	••••	••••	••	•	•	•	••	•	••	••
Accessories, power reception	Side power take-off	•	••	••	••	•	••••	••	••	•	•
	Frontal power take-off	•	•	•	•	•	••••	••	•	•	•
	Air compressor	••••	••••	•	•	•	••	•	•	•	•
	System of air purification	••	•	•	•	•	••••	••••	•	•	•
	Additional hydraulic outputs	•	••	••	••	•	••••	••••	•	•	•
	Reduction gear	••••	••••	••	••	••	••	•	•	•	•
Packaging	Width	••	••	•	•	•	••••	•	••	••	••••
	Length	••••	••	••	••	••	••	•	••••	••	••
	Height	••••	••	••	••	••	••	•	••••	•	••••
	Weight	••••	••	•	•	•	•	•	•	••	••••
	Element of a supporting structure	•	•	•	••	•	••••	•	••	••	•
	Operation in a horizontal system	••	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Cooling	Integrated	•	•	•	•	•	•	••	••	••	•
	Air / liquid cooler	•	•	••	••	••	••	••	••	•	••••
Service	Access facilities	••	••	••	••	••	•	•	••••	•	••••
Repair susceptibility	Repair line < 100 kW	••	••	•	•	•	•	•	•	•	•
	Repair line < 200 kW	••	••	••	••	•	••	••	••	•	•
	Repair line > 300 kW	••••	••••	••••	••••	•	••••	••••	••••	••	••
	Sockets and valve guides	••••	••••	••	••	••	••••	••	••	••	••
	Control of injection system	••••	••••	••	••	•	••	•	•	•	••
	Controller	••••	••••	••	••	•	••	•	•	•	••
Operation length	Time of operation per year	••••	••	••••	••••	•	••	•	••	••••	•
	Durability	••••	••	••••	••••	••	••	••	••	••	•

•••• – necessary •• – important • – not very important

Najważniejsze wnioski, które można wyciągnąć analizując powyższe zestawienie są następujące:

– Każda zmiana konstrukcji silnika SPE stwarza istotne koszty dodatkowe (np. wykonanie jednego dodatkowego rysunku pojedynczej części to koszt rzędu od 1000 do 15 000 euro rocznie).
– Przystosowanie silnika SPE do zastosowania trakcyjnego (w ciężarówce) podnosi koszt tak po-

The analysis of the abovementioned specification indicates that:

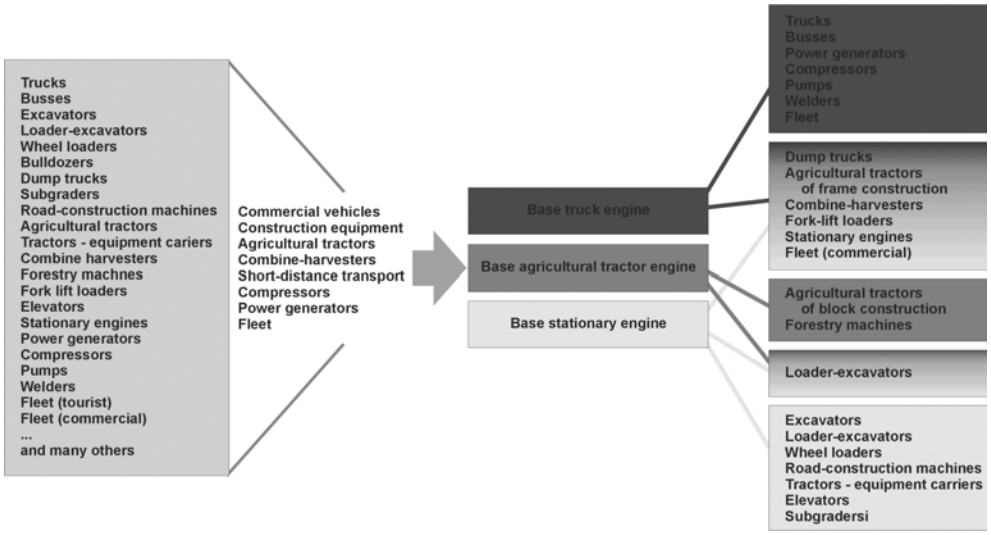
– Each change of the SPE construction involves some extra expenses (for example one supplementary engineering drawing for a single element accounts for 1000 to 15 000 EUR a year).
– Adjustment of the SPE to the traction application (in a truck) and creation of the MPE incre-

wstałego silnika MPE (np. głowica z 4 zaworami na cylinder, zintegrowany hamulec silnikowy, układ wtryskowy itp.).
– Konstrukcja silnika SPE obciążona jest kosztami związanymi z opracowaniem niektórych komponentów (np. skrzynia korbowa, głowica, wał korbowy, korbowód, wałek rozrządu), odmiennych niż w konstrukcjach silników MPE.

Dobór układu wtryskowego do silnika SPE ma wpływ na ogólną koncepcję silnika i może stworzyć znaczące koszty dodane w przypadku modyfikacji silnika MPE do zastosowań dedykowanych.

ases the cost of its development (for example a head with 4 valves per cylinder, integrated engine brake, injection system, etc.).
– The construction of the SPE is charged with the expenses spent on the development of some components (for example crankcase, head, crankshaft, connecting-rod, camshaft) that differ from the MPE construction.

The selection of an injection system for the SPE affects the overall idea of the engine and may create significant additional costs in case the MPE is modified to dedicated applications.



Rys. 4. Podejście platformowe w konstrukcji silników
Fig. 4. Platform approach to engine construction

– W przypadku aplikacji, w których wymagania dotyczące dopuszczalnych poziomów emisji spalin są mniej rygorystyczne, układ wtryskowy silnika SPE może stworzyć koszty dodatkowe w przypadku przejścia na platformę MPE.
– Konieczność zapewnienia elastyczności związanej z różnymi zastosowaniami niesie obciążenia dla trakcyjnego silnika SPE, zwłaszcza w zakresie doboru odpowiedniego układu wtryskowego.
– W niektórych przypadkach silników MPE, komponenty silnika kluczowe z punktu widzenia jego trwałości mogą obciążać koszty wytworzenia silnika SPE. Konieczne może być obniżenie osiągów znamionowych silnika MPE, co z kolei może podnieść koszty pośrednie poprzez utratę konkurencyjności.
– W przypadku silników SPE przygotowywanych do innych zastosowań pojawia się konieczność uwzględnienia zmiany widma obciążeń i wynikającej z tego zmiany przewidywanej trwałości lub obniżenia mocy. To może mieć wpływ na konku-

– For the applications where the requirements on the admissible exhaust emission are less strict, additional costs may be incurred during the transition of the injection system from the SPE to the MPE platform.
– The necessity to assure the flexibility of various applications involves the expenses for the traction SPE, particularly with regard to the selection of a proper injection system.
– For some MPE cases, the components crucial for engine durability can increase the costs of the SPE development. It may be necessary to reduce the nominal rated performance of the MPE, what in turn leads to the loss of competitiveness and rises the indirect costs.
– If the SPEs are prepared for other applications, the change of load spectrum and, as a consequence, the modification of the expected life or power decrease needs to be considered as this may affect market competitiveness. In order to comply with the reliability requirements and maintain

rencyjność rynkową. Aby sprostać wymogom niezawodności i utrzymać przewidywany okres eksploatacji, często konieczne staje się przeprojektowanie lub wymiana kluczowych elementów, co oczywiście podnosi koszt i złożoność konstrukcji.

5. Wpływ globalizacji

Poszczególne rynki wywierają istotny wpływ na kształt produktu (pojazdu, silnika) oferowanego w omawianych zastosowaniach. Obecnie, wszystkie liczące się firmy prowadzą silnie ekspansywną politykę na rynkach rozwijających się, zwłaszcza na terenie Chin i Indii. Z drugiej strony, wielu producentów działających w krajach rozwijających się prowadzi działania zmierzające do rozszerzenia eksportu na obszary państw uprzemysłowionych, wykorzystując przy tym przewagę w postaci niskich kosztów produkcji. Łączenie się firm zmienia świat przemysłowy, co ponownie sprowadza nas do pytania o unifikację produktów, lub przynajmniej poszczególnych komponentów. Termin „globalizacja" ma oczywiście wiele znaczeń. W świecie techniki najważniejsze czynniki związane z procesem globalizacji to:

– proces koncentracji niezależnych producentów finalnych (tzw. OEM),
– wymiana głównych komponentów lub podsystemów w ramach światowej sieci danego producenta,
– dostawa części i komponentów o zasięgu światowym (przy zachowaniu tych samych standardów i poziomu jakości),
– nieograniczony (mniej lub więcej) eksport i import produktów,
– dopasowanie produktów do różnych standardów (emisja, hałas, bezpieczeństwo, zobowiązania finansowe),
– światowa współpraca ludzi różnych kultur, języków, poziomu wykształcenia i poziomów technologicznych.

W konsekwencji, rynek pojazdów użytkowych stoi przed nowymi, wspaniałymi możliwościami ale jednocześnie pojawiają się nowe, trudne wyzwania i czynniki ryzyka, którym także trzeba będzie sprostać.

W świecie ciężarówek wyraźne są różnice związane z konstrukcją i ogólną koncepcją produktu. I tak, na przykład, ciężarówki w najbardziej renomowanej klasie ciężkiej, różnią się znacząco w zależności od tego, czy są eksploatowane w USA, Europie oraz, szczególnie, pomiędzy tymi dwoma obszarami rynkowymi, a na przykład Indiami, czy Chinami (tabela 3). Oczywiście, różnice te mają wpływ na wykorzystywane silniki. W obu tych krajach, w najbliższej przyszłości

the expected period of operation, it is often necessary to re-design or exchange the key elements, what, of course, makes the cost higher and the construction – more complex.

5. The impact of globalisation

A product (vehicle, engine) to be used in a variety of applications is being significantly shaped by a particular market. All major companies are nowadays involved in expansive policies on the developing markets, particularly in China and India. On the other hand many manufacturers operating in those countries take advantage of low production costs and become engaged in increasing export to the more industrialised areas. The industrial world is being changed by the companies that unite with each other, what again brings us to a question about a unification of a product as a whole or at least its particular components. There may be many meanings of the term „globalisation". In a technical world, the most important circumstances related to the globalisation process are as follows:

– the concentration of independent final producers (so-called OEM),
– exchange of main components or subsystems within a world net of a given manufacturer,
– provision of the parts and components on a world scale (the standards and quality must be maintained at the same level),
– unlimited (less or more) export and import of products,
– adjustment of the products to various standards (emission, noise, safety, financial commitments),
– world scale co-operation of people of various cultures, languages, levels of education and technological standards.

As a consequence the market of utility vehicles is now faced with the excellent prospects but at the same time there are some completely new difficult challenges and risk factors that need to be coped with.

In the world of trucks the differences related to the construction and a general concept of the project are very clear. And thus for example trucks in the most renowned heavy class distinctly differ, depending on the place of their operation – it is particularly evident between the USA and Europe on the one hand and India and China on the other (Table 3). Such the differences clearly affect the engines used in those countries. The situation, particularly road infrastructure in two latter countries will be soon improved by the broad-scale works aimed, among other things, to build a net of highways – it will allow to increase the speed

Tab. 3. Porównanie charakterystycznych cech konstrukcyjnych pojazdów użytkowych eksploatowanych na różnych rynkach
Tab. 3. Comparison between characteristic construction features of commercial vehicles used on various markets

Europa	USA	Indie	Chiny
40 t 80 (90) km/h 440 hp high comfort 16-speed gearbox directed towards the technology	36 t 105 km/h 430 hp medium comfort 12-speed gearbox directed towards the durability and reliability	25 t 80 km/h 200 hp low comfort 8-speed gearbox directed towards the cost	26 t 90 km/h 250 hp low comfort 8-speed gearbox directed towards the cost

ści planowane są szeroko zakrojone prace zmierzające do poprawy istniejącej sytuacji, zwłaszcza w zakresie infrastruktury drogowej. Nowo wybudowana sieć autostrad umożliwi podniesienie prędkości dopuszczalnej zestawów do 110 km/h i dopuszczalnej masy całkowitej do 50 ton! Oznacza to, że konieczne stanie się przeprojektowanie produkowanych obecnie silników, rozwój nowych jednostek lub uruchomienie produkcji w oparciu o technologię firm zachodnich. W Chinach oczekiwany jest olbrzymi popyt na silniki w przedziale mocy 350-400 KM, a w Indiach – 300-350 KM. Te same reguły dotyczą pozostałych elementów układów przeniesienia napędu. Ze względu na niezwykle ciężkie warunki eksploatacji w tych krajach oraz ich słabość finansową, konstrukcje pojazdów użytkowych i ich jednostek napędowych będą z pewnością zorientowane na minimalizację kosztów. Konieczne będzie także podniesienie ich niezawodności i trwałości.

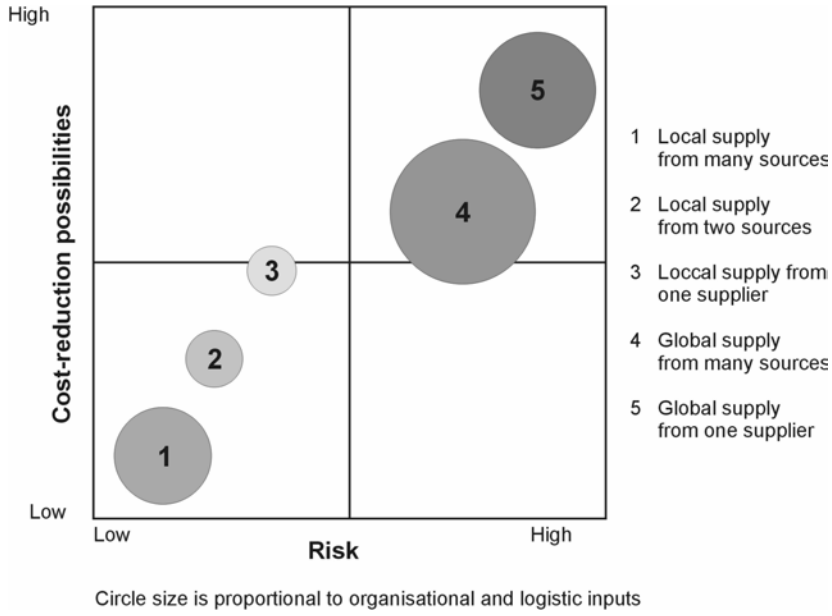
Kraje rozwijające się zamierzają wprowadzić europejskie normy emisji z 4-5 letnim opóźnieniem w stosunku do Europy. Oznacza to, że wprowadzenie tam wysoko rozwiniętej technologii będzie potrzebne już w bardzo niedługim czasie. Jednakże, czy rynki te „dojrzeją" w międzyczasie do tego, aby można było zastosować tam te rozwiązania, czy też konieczne będzie wprowadzenie produktów pochodnych? I oto znów pojawia się pytanie o „światowy pojazd" lub „światowy silnik" – może właśnie w oparciu o rozwiązania platformowe będzie to możliwe.

Globalizacja oferuje także nowe perspektywy w zakresie dostaw komponentów. Od 50 do 60% kosztów produkcji rodziny silników jest związanych z materiałami. Prawidłowo zorganizowana struktura dostaw materiałów i komponentów jest więc kluczowym czynnikiem redukcji kosztów. Na rysunku 5 przedstawiono różne rozwiązania w tej dziedzinie, łączące istniejące

limit of the units up to 110 km/h and admissible total weight up to 50 tons! That means that the "current" engines will need to be re-designed, and new units – developed or it will be essential to start production based on the technology used by western companies. The power of engines that are expected to be in demand in China and India will range from 350 to 400 and from 300 to 350 hp, respectively. Due to the extremely tough conditions of operation and poor financial situation, the construction of utility vehicles and power units will be in those countries directed to minimise costs and increase vehicle reliability and durability.

Developing countries intend to apply European emission standards 4-5 years later than European countries, what means that highly-advanced technology will need to be developed very soon. However, will the markets „mature" in the meantime, so the solutions might be applied or will it be necessary to introduce derived products? And again there is a question about a "world vehicle" or a "world engine" – it is likely to be created and based on the platform approach.

Globalisation offers also some new perspectives as regards the components' supply. From 50 to 60% of the costs of the engine family production is related to the materials. Cost reduction may be then achieved by a proper organisation of the materials' and components' supply structure. Figure 5 shows various solutions in this field, linking the existing possibilities with the risk factors and organisational and logistic inputs. The system of world-scale supply based on at least two sources tends to offer a great cost reduction, with the high, but included risk level. Buying at the one world supplier leads to the highest cost reduction but is accompanied with the greatest risk – such a solu-



Rys. 5. Globalne ujęcie systemu zaopatrzenia
Fig. 5. Global formulation of the supply system

możliwości z czynnikami ryzyka oraz nakładami organizacyjnymi i logistycznymi. System zaopatrzenia o zasięgu światowym, pochodzący z co najmniej dwóch źródeł wydaje się oferować duży potencjał redukcji kosztów, przy wysokim lecz wkalkulowanym poziomie ryzyka. Zaopatrywanie się u jednego dostawcy światowego zapewnia największą redukcję kosztów, ale towarzyszy temu także największe ryzyko – rozwiązanie to jest uzasadnione tylko w przypadku, gdy dostawca znajduje się pod całkowitą kontrolą producenta końcowego.

6. Zakończenie

Ciężkie czasy czekają przemysł pojazdów użytkowych, a więc i producentów silników. Postępująca w ostatnich latach koncentracja produkcji oraz rosnąca konkurencja uwzględniająca lokalizację dały w rezultacie złożone zależności z klientami, dostawcami i partnerami biznesowymi. To, w jakim stopniu uda się uporać ze złożonością tych relacji i w jakim zakresie uda się je włączyć w sieć synergii – są to dwa czynniki decydujące o przyszłym sukcesie.

Zamiast podsumowania rozważań można postawić więc kilka pytań. Odpowiedź na nie poznamy zapewne w przyszłości.

1. Czy „światowy pojazd" lub „światowy silnik" to tylko marzenie międzynarodowych producentów? Czy opłaca się rozwijać tą koncepcję, a może już istniejące rozwiązania rynkowe są lepszym wyjściem?

tion seems to be justified only in some cases, when the supplier is under a total supervision of an end producer.

6. Conclusions

The industry of utility vehicles, and thus the engine manufacturers will find it hard to exist in the near future. Production concentration has been recently progressing and the competitiveness including the localisation – increasing. Those two factors have made the relations with the clients, suppliers and business partners more complex. The future success is affected by two things, i.e. to what extent it will be possible to overcome such relations and how they can be included into the synergy net.

In the end a couple of questions might be asked. The answers will be known probably in the future.

1. Is a "world vehicle" or a "world engine" only a dream of international manufacturers? Is it profitable to develop the idea or the solutions existing presently on the market are better ways out of a situation?

2. Czy w porównaniu z silnikiem wielozadaniowym, koncepcja silnika optymalizowanego do konkretnych zastosowań ma jakieś zalety?
3. Czy, dążąc do zastosowania w wielu aplikacjach, podejście platformowe ma rację bytu z punktu widzenia producentów silników i producentów finalnych?
4. Jak odbierana jest globalizacja w przemyśle motoryzacyjnym – jako okazja do korzystnych zmian, czy zagrożenie?
5. Czy produkty pochodzące z krajów rozwijających się mogą i powinny być eksportowane do wysokorozwiniętej części świata? Jakie warunki wstępne muszą zostać przy tym spełnione?
6. Co producenci w krajach rozwijających się powinni wziąć pod uwagę oraz czy i jak należy modyfikować ich projekty i konstrukcje, chcąc wejść na rynki krajów rozwiniętych?
7. Jakie wyzwania i możliwości dla producentów finalnych i dostawców niesie ze sobą idea zaopatrywania globalnego?

Znajdujemy się obecnie w okresie wielkich zmian. Skuteczne rozwiązania stosowane w przeszłości nie zawsze dają te same pozytywne rezultaty w obecności dzisiejszych, bardziej złożonych rynków i warunków konkurencji. Dla producentów pojazdów użytkowych i ich komponentów oznacza to, że muszą dokonać krytycznej oceny swoich własnych organizacji i ocenić, jakie kroki należy poczynić w przyszłości, aby przyjąć kurs, którym można skutecznie wejść w przyszłość.

2. Are there any advantages of the single purpose engine to be applied in specific situations as compared to the multi purpose engine?
3. Are there any reasons for platform approach to exist from the point of view of engine producers and end producers?
4. How is the globalisation in motor industry assessed – is it a chance of favourable changes or a threat?
5. May and should the products coming from developing markets be exported to highly advanced part of the world? What preconditions have to be met at this situation?
6. What should the producers in developing countries take into consideration and is it necessary to modify their projects and constructions in order to enter the markets of well developed countries?
7. What are the challenges and possibilities for the end producers and suppliers related to the idea of global supply?

The automotive industry is now going through thorough transformations. The effective solutions applied in the past not always give positive effects on the nowadays more complex markets and under competitive conditions. That means that the producers of both utility vehicles and the components are obliged to run a critical assessment of their own organisations and decide what steps need to be taken in the future to adopt a course, which will effectively follow them into the future.

7. References

[1] Moser F. X.: *What are the differences and commonalities in product requirements of the markets and applications?* ICPC 2003 – 1.2. International Commercial Powertrain Conference, AVL, Graz, 2003.
[2] Weber G.: *Drivers for the future development of the global commercial vehicle industry, using the example of DaimlerChrysler* AG. ICPC 2003 – 1.2. International Commercial Powertrain Conference, AVL, Graz, 2003.

Dr inż. Dariusz PIERNIKARSKI
Katedra Silników Spalinowych
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
e-mail: piernix@archimedes.pol.lublin.pl

Jan BANASIAK
Jerzy BIENIEK
Jerzy DETYNA

STAN NAPRĘŻENIA I TARCIE WEWNĘTRZNE MATERIAŁU PRZESIEWANEGO JAKO DETERMINANTY SKUTECZNEGO PROCESU SEPARACJI SITOWEJ

THE STATE OF TENSION AND INTERNAL FRICTION OF MATERIAL BEING SIEVED AS THE DETERMINANTS OF FORCEFUL SIEVE SEPARATION PROCESS

Rozpatrzono wpływ sił masowych, tarcia zewnętrznego i wewnętrznego na proces przesiewania grawitacyjnego. Stwierdzono, że naprężenia ścinające (styczne) decydują o względnym ruchu masy przesiewanej.

Słowa kluczowe: *przesiewanie, rozkład masy, separacja sitowa*

The matter of the present work is the influence of mass power, external and internal friction on the gravitational sieve process. It was stated that cutting tensions decide about relative movement of sieved material.

Keywords: *sieve, mass decomposition, sieve separation*

1. Wprowadzenie

Tarcie jest zjawiskiem fizycznym występującym powszechnie w przyrodzie. W większości procesów technologicznych realizowanych w rolnictwie odgrywa podstawową rolę. Tarcie z punktu widzenia teoretycznego jest procesem złożonym, zdeterminowanym przez ogół zjawisk uwarunkowanych w sposób sprzężony parametrami i warunkami tarcia [1, 2, 3, 5, 7, 8].

W Polskiej Normie zjawisko tarcia zostało ujęte w postaci siły tarcia i współczynnika tarcia, zaś tarcie wewnętrzne zdefiniowano dla względnego przemieszczenia elementów tego samego ciała stałego [10].

Podstawą do opisu zjawisk zachodzących na sicie jest poznanie mechanizmu odporności materiału czyszczonego na odkształcenia oraz czynników wpływających na nią. Opór na ścinanie w miejscach styku cząstek mieszaniny czyszczonej wpływa na wielkość poślizgu międzycząstkowego, który jest najistotniejszym czynnikiem decydującym o intensywności przesiewania grawitacyjnego i ostatecznie z wielkością strat ziaren celnych.

Zgodnie z definicją opór na ścinanie między cząstkami materiału sypkiego jest równy sile, która powoduje względne ich przesunięcie. Wartość oporu na ścinanie jest proporcjonalna do siły normalnej działającej na elementy mieszaniny. Ponadto na wielkość oporu mają wpływ fizyczne i chemiczne własności cząstek. W nawiązaniu do aspektów powyższych należy

1. Introduction

Friction is a physical phenomenon often occurring in nature and has important role in most technological processes related to agriculture. From theoretical point of view friction is a compound process, determined by its parameters and conditions [1, 2, 3, 5, 7, 8].

In the terms of Polish Norm friction is defined as power of friction and coefficient of friction but internal friction is defined for relative relocation of elements of the same solid substance [10].

The base for description of phenomena present on a sieve is understanding of the deformation resistance of material being treated and factors that influence that. The resistance on the partition in the point of contact of elements of material being sieved influences the intercorpuscular slide, the most important factor deciding on the intensity of gravitational sieve process and the size of target seeds.

According to the definition the resistance on the partition equals the force that causes its relative movement. The value of the resistance on the partition is proportional to the normal force operating on the compound material. Physical and chemical characteristics of particles. In relation to the above aspects it is necessary to state that the issue of resistance on the partition is related with the phenomenon of friction.

stwierdzić, że istota oporu na ścinanie sypkiej mieszaniny czyszczonej jest związana z zagadnieniem tarcia.

W zagadnieniach technicznych spotyka się dwie powszechnie stosowane możliwości wyrażania oporu tarcia [9]:

- przy pomocy współczynnika tarcia f, przy czym $T_{max} = Nf$, gdzie N oznacza siłę normalną na powierzchni,
- przy zastosowaniu kąta tarcia ρ, wyrażonego jako $tg\rho = f$.

2. Stan naprężenia w ośrodku ziarnistym

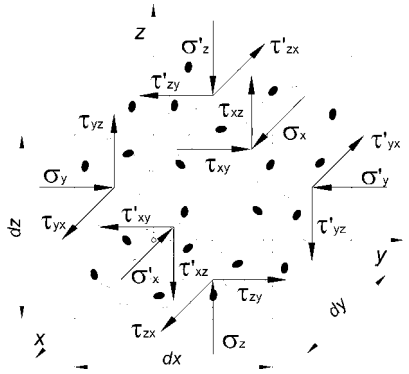
Do matematycznego opisu naprężeń wewnętrznych materiału ziarnistego można wykorzystać ogólne zależności wyprowadzone dla materiałów sprężystych podlegających prawu Hooke'a. Wywołany przez siły (zewnętrzne i wewnętrzne) stan naprężenia jest stanem przestrzennym [4, 6]. Do opisu wyodrębniono objętość ośrodka w postaci prostopadłościanu o objętości $dx \cdot dy \cdot dz$. Z wybranym elementem związano kartezjański układ współrzędnych (rys. 2.1).

In technical materials two typical ways of presenting friction are present [9]:

- With the aid of friction coefficient f, where $T_{max} = Nf$, and N is the normal force at the surface,
- With the term of friction angle ρ, presented as $tg\rho = f$.

2. Tension in granular medium

General theories related to springy materials subordinated to the Hook's law are applicable for the mathematical description of internal tension of granular material. Caused by external and internal forces state of tension has three-dimensional character [4, 6]. For the description purposes the volume of medium has been presented as a cuboid with the volume $dx \cdot dy \cdot dz$ and related to the Cartesian coordinate system (Fig. 2.1).



Rys. 2.1. Niejednorodny stan naprężenia na elemencie ośrodka przesiewanego we współrzędnych prostokątnych

Fig. 2.1. Non-homogenous state of tension in the element of sieved medium

Za pomocą różniczek cząstkowych uwzględniono przyrosty naprężeń na ściankach elementu wywołane działaniem sił masowych. Przy niejednorodnym stanie naprężenia (wpływ sił masowych) wartości naprężeń zmieniają się w zależności od położenia danego punktu (są funkcjami współrzędnych punktu). Zmianę wartości bezwzględnej naprężeń można zapisać w postaci ogólnej:

$$\sigma'_n = \sigma_n + d\sigma_n$$

W nawiązaniu do powyższego można wprowadzić zapisy przyrostów cząstkowych wartości naprężeń normalnych:

$$\sigma'_x = \sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx \qquad (2.1)$$

With the aid of particle differentials the growth of tensions related to the forces of weightiness and inertia have been included. In the case of non-homogenous conditions the parameters of tension depend on the location of each point. Generally it may be described as:

$$\sigma'_n = \sigma_n + d\sigma_n$$

And, in relation to the above, the growth of normal tension as:

$$\sigma'_x = \sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} dx \qquad (2.1)$$

$$\sigma'_y = \sigma_y + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} dy \qquad (2.2)$$

$$\sigma'_z = \sigma_z + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} dz \qquad (2.3)$$

Analogicznie można wyprowadzić zależności dotyczące zmiany wartości naprężeń stycznych:

$$\tau'_{xy} = \tau_{xy} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} dx \qquad (2.4)$$

$$\tau_{yx} = \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \qquad (2.5)$$

$$\tau'_{yz} = \tau_{yz} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} dy \qquad (2.6)$$

$$\tau'_{zy} = \tau_{zy} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} dz \qquad (2.7)$$

$$\tau'_{xz} = \tau_{xz} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} dx \qquad (2.8)$$

$$\tau'_{zx} = \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \qquad (2.9)$$

Po zrzutowaniu sił (naprężenia x powierzchnia ścianki) na osie współrzędnych otrzymano:

$$(\sigma'_x - \sigma_x)dydz + (\tau'_{yx} - \tau_{yx})dzdx + \\ + (\tau'_{zx} - \tau_{zx})dxdy + \rho_o M_x = 0 \qquad (2.10)$$

$$(\sigma'_y - \sigma_y)dzdx + (\tau'_{xy} - \tau_{xy})dzdy + \\ + (\tau'_{zy} - \tau_{zy})dydx + \rho_o M_y = 0 \qquad (2.11)$$

$$(\sigma'_z - \sigma_z)dxdy + (\tau'_{yz} - \tau_{yz})dzdx + \\ + (\tau'_{xz} - \tau_{xz})dydz + \rho_o M_z = 0 \qquad (2.12)$$

Po uwzględnieniu zależności (2.1 – 2.9) i dokonaniu stosownych przekształceń matematycznych otrzymano różniczkowy układ równań równowagi wewnętrznej ośrodka przesiewanego w danym punkcie w postaci:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho_o M_x = 0 \qquad (2.13)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho_o M_y = 0 \qquad (2.14)$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \rho_o M_z = 0 \qquad (2.15)$$

$$\sigma'_y = \sigma_y + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} dy \qquad (2.2)$$

$$\sigma'_z = \sigma_z + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} dz \qquad (2.3)$$

Analogically parameters related to tangential tensions:

$$\tau'_{xy} = \tau_{xy} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} dx \qquad (2.4)$$

$$\tau_{yx} = \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \qquad (2.5)$$

$$\tau'_{yz} = \tau_{yz} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} dy \qquad (2.6)$$

$$\tau'_{zy} = \tau_{zy} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} dz \qquad (2.7)$$

$$\tau'_{xz} = \tau_{xz} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} dx \qquad (2.8)$$

$$\tau'_{zx} = \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \qquad (2.9)$$

After analyzing the forces on coordinate system the following has been received:

$$(\sigma'_x - \sigma_x)dydz + (\tau'_{yx} - \tau_{yx})dzdx + \\ + (\tau'_{zx} - \tau_{zx})dxdy + \rho_o M_x = 0 \qquad (2.10)$$

$$(\sigma'_y - \sigma_y)dzdx + (\tau'_{xy} - \tau_{xy})dzdy + \\ + (\tau'_{zy} - \tau_{zy})dydx + \rho_o M_y = 0 \qquad (2.11)$$

$$(\sigma'_z - \sigma_z)dxdy + (\tau'_{yz} - \tau_{yz})dzdx + \\ + (\tau'_{xz} - \tau_{xz})dydz + \rho_o M_z = 0 \qquad (2.12)$$

Having analyzed dependences (2.1-2.9) with certain mathematical transformations, differential system of equations of internal balance of sieved medium has been worked out:

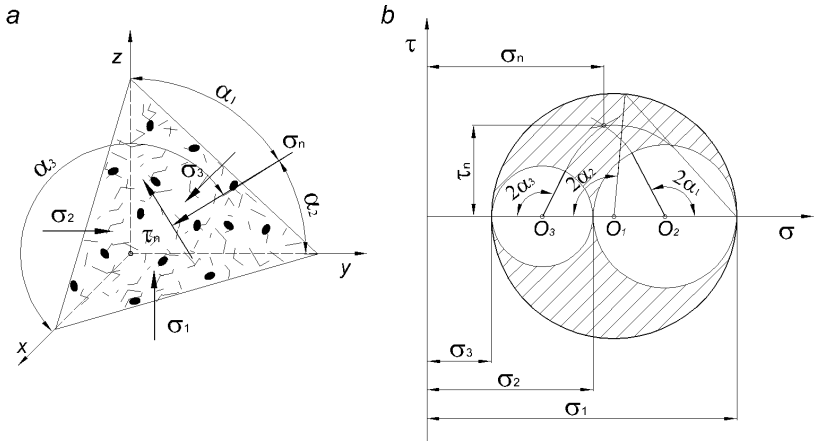
$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho_o M_x = 0 \qquad (2.13)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho_o M_y = 0 \qquad (2.14)$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \rho_o M_z = 0 \qquad (2.15)$$

gdzie: ρ_o - gęstość objętościowa ośrodka przesiewanego; M_x, M_y,M_z - składowe jednostkowej siły masowej w kierunkach osi x, y, z.

where:ρ_o - volume density of sieved medium; M_x, M_y, M_z – elements of mass force towards axles x, y, z.



Rys.2.2. Trójosiowy stan naprężeń w ośrodku przesiewanym: a – rozkład naprężeń na danym elemencie masy czyszczonej, b – stan naprężeń w danym punkcie przedstawiony za pomocą kół Mohra

Fig.2.2. Three-axial state of tension in sieved medium: a – tension analysis in a given element of cleaned mass, b - tension in a given point presented on Mohr's circles

Jeżeli założymy, że element ośrodka przesiewanego jest pod działaniem naprężeń głównych $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ to według teorii sprężystości stan naprężenia na dowolnej płaszczyźnie *n* można przedstawić graficznie za pomocą kół Mohra (rys. 2.2) oraz analitycznie w postaci:

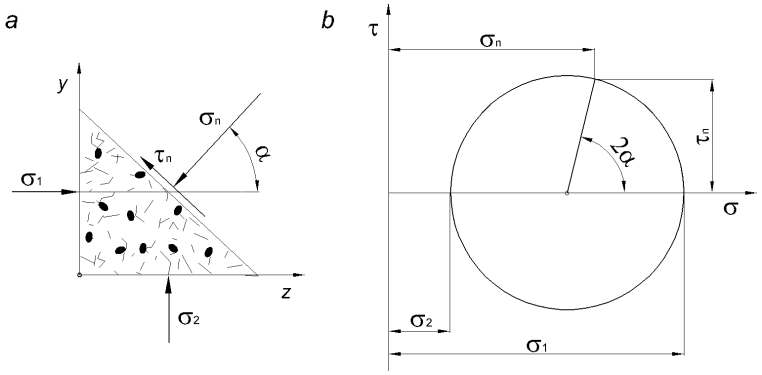
$$\sigma_n = \sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \\ + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3 \tag{2.16}$$

$$\tau_n^2 = \sigma_1^2 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2^2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3^2 \cos^2 \alpha_3 - \\ - \left[\sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3\right] \tag{2.17}$$

If we assume that the element of sieved medium is under the influence of main tensions $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ then, according to the theory of springiness, the state of tension on any surface *n* may be graphically presented by Mohr's circles (Fig. 2.2) and analytically as:

$$\sigma_n = \sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \\ + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3 \tag{2.16}$$

$$\tau_n^2 = \sigma_1^2 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2^2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3^2 \cos^2 \alpha_3 - \\ - \left[\sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3\right] \tag{2.17}$$



Rys. 2.3.Dwuosiowy stan naprężenia w ośrodku przesiewanym: a – rozkład naprężeń na danym elemencie masy czyszczonej, b – stan naprężenia w danym punkcie wyznaczony przy pomocy koła Mohra

Fig. 2.3.Two-axial state of tension in sieved medium: a – tension analysis in a given element of cleaned mass, b - tension in a given point presented on Mohr's circles

W dalszych rozważaniach nad mechaniką ośrodka przesiewanego wystarczającą podstawą do obliczeń będzie dwuosiowy stan naprężenia (rys. 2.3a). W takim przypadku naprężenia główne (dla kierunku przy krańcowych wartościach naprężeń normalnych i zerowych naprężeniach stycznych) w danym punkcie materiału czyszczonego o znanych składowych $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ można wyrazić w postaci następującej zależności:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \qquad (2.18)$$

Zależność pomiędzy naprężeniami głównymi a naprężeniami (normalnym i stycznym) w danym elemencie ośrodka na płaszczyźnie nachylonej można przedstawić graficznie za pomocą kół Mohra (rys.2.3b), a także analitycznie za pomocą następujących zależności:

$$\sigma_n = \sigma_1 \cos^2\alpha + \sigma_2 \sin^2\alpha \qquad (2.19)$$

$$\tau_n = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha \qquad (2.20)$$

3. Rola tarcia podczas przemieszczania masy czyszczonej na sicie

W przypadku przemieszczania materiałów ziarnistych w procesie separacji na sicie żaluzjowym należy dokonać rozdziału zjawiska tarcia na wewnętrzne i zewnętrzne. Według Kragielskiego [8] czynnikiem decydującym jest różnica między wytrzymałością lokalnego zespolenia tarciowego, a wytrzymałością materiału w głębi. Dla dodatniego gradientu własności wytrzymałościowych:

$$\frac{d\tau}{dh} > 0 \qquad (3.1)$$

gdzie: τ - wytrzymałość na ścinanie; h – głębokość, występuje tarcie zewnętrzne i wówczas proces jest charakteryzowany przez cechy powierzchniowe materiału. W przypadku przeciwnym, gdy gradient przyjmuje wartości ujemne mamy do czynienia z tarciem wewnętrznym.

Jednoznaczne określenie stanu naprężenia w danym punkcie masy czyszczonej jest możliwe poprzez podanie tensora naprężenia. Naprężenia ścinające (styczne) τ wpływają na względny ruch masy czyszczonej. Wielkość przemieszczeń zależy od oporu przeciwstawiającego się tym naprężeniom, z kolei wielkość oporu jest uwarunkowana wartością tarcia wewnętrznego materiału przesiewanego. Wynika to wprost z prawa Coulomba – Mohra:

$$\tau_n = \mu \cdot \sigma_n \qquad (3.2)$$

gdzie: μ - współczynnik tarcia wewnętrznego materiału czyszczonego; $\mu = tg\phi$ gdzie ϕ jest kątem tarcia wewnętrznego.

Two-axial state of tension is adequate or the purposes of further analysis on the mechanics of sieved medium (Fig. 2.3). In such case main tensions (for the direction at extreme parameters of normal and zero tangential tensions) in a given point of cleaned material with known parameters $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ may be presented in the following way:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \qquad (2.18)$$

The dependence between main tensions and the tensions (normal and tangential) in a given point of medium on a slanting surface may be graphically presented by Mohr's circles (Fig. 2.3b) and analytically with the aid of the following dependences:

$$\sigma_n = \sigma_1 \cos^2\alpha + \sigma_2 \sin^2\alpha \qquad (2.19)$$

$$\tau_n = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha \qquad (2.20)$$

3. The role of friction during the translocation of cleaned mass on the sieve

In the case of movement of granular media in the process of jalousie sieve separation it is necessary to separate the term of friction into external and internal friction. According to Kragielski [8] the decisive factor is the difference between the durability of local friction complex and the durability inside the material. For positive gradient of durability characteristics:

$$\frac{d\tau}{dh} > 0 \qquad (3.1)$$

where: τ - resistance on the partition wall; h – depth, external friction occurs and the process is characterized by surface factors. In the opposite case, when the gradient is negative, we can say about internal friction.

Unequivocal estimation of the state of tension in a given point of cleaned material is only possible when tension tensor is introduced. Shearing (tangential) tensions τ influence relative movement of cleaned material. The scale of the movements depends on the force of internal resistance influenced by internal friction of sieved material. This may be drawn out of Coulomb-Mohr law:

$$\tau_n = \mu \cdot \sigma_n \qquad (3.2)$$

where: μ - internal friction index of cleaned material; $\mu = tg\phi$ where ϕ is the internal friction angle.

Proces separacji ziaren na sitach przebiega dzięki odkształcaniu struktury przestrzennej masy przesiewanej. W związku z tym można przyjąć tutaj definicję tarcia wewnętrznego jako „tarcia między elementami ośrodka w procesie odkształcenia" [11]. Analiza uwarunkowań wpływających bezpośrednio i pośrednio na wielkość tarcia wewnętrznego stanowi element niezbędny do poznania i właściwej interpretacji praw fizycznych podczas procesu przesiewania. Takie podejście do zagadnień separacji ma wymiar nie tylko teoretyczny, ale w dalszej perspektywie może, bowiem posłużyć do poszukiwania optymalnych konstrukcji ustrojów czyszczących.

The process of separation of seeds takes place due to deformation of dimensional structure of sieved mass. According to the above internal friction may be defined as "friction between elements of the medium in the process of deformation" [11]. The analysis of conditions that influence directly and indirectly the range of internal friction is crucial for understanding and proper interpretation of physical laws present in the sieve process. Such approach to separation has not only theoretical dimension but also may, in further perspective enable research for optimal construction of cleaning utilities.

4. Literatura

[1] Bowden F. P., Tabor D.: *Friction and Introduction,* Methuen and Co. Ltd., London 1956.
[2] Broś J., Lisowski Z., Ziemba S.: *Zagadnienia tarcia i zużycia – podstawowe koncepcje,* V Krajowa Konferencja Wytrzymałości i Badania Materiałów, SIMP, Kraków 1969.
[3] Byszewski W., Haman J.: *Gleba, maszyna, roślina,* Wyd. PWN, Warszawa 1977.
[4] Dmitruk S., Izbicki R., Suchnicka H.: *Mechanika ośrodków rozdrobnionych,* Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1982.
[5] Fortes M., Okos M. R.: *Changes in Physical Properties of Corn During Drying,* Transactions of the ASAE 1980.
[6] Gabryszewski Z.: *Teoria sprężystości i plastyczności,* Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.
[7] Grochowicz J.: *Maszyny do czyszczenia I sortowania nasion,* Wyd. PWRiL, Warszawa 1976.
[8] Janecki J.: *Krytyczny przegląd hipotez tarcia suchego oraz fizyko – mechaniczne uzasadnienie,* Informator WITPiS, Wydanie specjalne, Materiały III Sympozjum Trybologicznego pt. *Trybologiczne problemy warstwy wierzchniej*, Częstochowa 1973.
[9] Lambe T. W., Whitman R. V.: *Mechanika gruntów,* Wyd. Arkady, Warszawa 1977.
[10] Polska Norma PN-67/M-04301.
[11] *Słownik agrofizyczny,* Praca zbiorowa, Problemy Agrofizyki, z. 36, 1981.

Prof. dr hab. inż. Jan BANASIAK
Dr inż. Jerzy BIENIEK

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

Dr inż. Jerzy DETYNA

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Politechnika Wrocławska
Ul. I. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław
tel. 071-3202674, tel/fax 3227645,
jurek_pwr@wp.pl

AKTUALNOŚCI PN-TTE

Miklós GEDE
Károly SÓLYOMVÁRI

THE 40 YEARS OF THE MAINTENANCE SECTION IN THE 50 YEARS OLD MACHINE INDUSTRY SCIENTIFIC SOCIETY

1999 is the years of anniversaries. Machine Industry Scientific Society (GTE) was established 50years ago on 19th February 1949. Of that time activity of the society showed a narrow connection with the development of our country, with the proceeded changes in our social relations, economy and is the life of our technical intelligentsia.

The problem question of company servicing and maintenance is an integral part of economy guidance and cultivation, connecting all economical systems, which needs attention and steps in the interest of effective management. The four decades of the servicing activity in the Machine Industry Scientific Society was characteristic the influence of actual economical environment.

Development of servicing works have to be qualitatively adjusted to the changed situation of technics, production and management in all time. For this reason, when the technology and quality of machines change, then company servicing have to be also transformed. Development tendencies are very different and they generally go together rearrangement of production structure respectively reorganisation of functional processes. The essence of the up-to-date development strategy touching bases of company servicing is the increase of reliability, furthermore energy saving, economical creating of better functional and promptness as safety is the maintenance work.

Quickness, economicalness and safety of servicing can be also increased by regulating means. New bases, new technologies, technical working tools, information system professional culture and not is the last row skilled management are needed for these purposes.

This establishing has bought, that the activity without the problems of maintenance connecting to the given economical management system or organic part of it was always actual and will be the future too.

The GTE's Maintenance Organisation and Its Function

The cultivation of maintenance field in out society is built on a long development process. The Mechanical –Tool Section call the maintenance Expert Committee into life in 1959, the maintenance of machines was assigned as activity to the committee, recognising, that the maintenance is integral complementary of manufacturing.

The taking into consideration of the maintenanceability at establishment of now product or further development, modernisation of existing one is such construction task as the suitable planing by industrial parameters. Easy assembility, degree of standardisation and typifying, modernisation of production technology of component or simultaneity of component lifetime make direct an impression on the maintenance.

For this reason the Mechanical – Tool Section decided to establish a specialized group and to strengthen the information relationships. This activity was hardly developted. The development started in 1961. National Mechanicer – in – Charge Conference was organised by initiation of maintenance chiefs of companies, this conference made the interest of experts.

A new age entered with this. It was decided after the success of the program to organize this conference year by year from now on. This one established the base of successful voluntary work. It held up the interest of a professional group, which group missed the central guiding and it was at the head of fulfilment of same type of requirements on some kind level.

As working method was chosen to:
- organize of high level national professional programs,
- get foreign experiences, to make connections, to participate in international conferences,

- write suggestions for attention calling of professional guiding organisations,
- organize study-tours to collect and to exchange national experiences,
- help on publishing of technical literature,
- organize professional courses.

The Planned Preventive Maintenance Expert Committee had left the Mechanical – Tool Section by the approval of GTE's Presidium and if had been worked as Central Company Servicing since 1965. As the name shows too, that it dealed not only with machine repairing but it took up the wide-ranging problem question of company servicing by demands of companies.

Writing and propagation of new methods and proceedings were needed because of the transformation of economical procedures, modification of maintenance tasks and organisations.

We organized a lot professional discussions, in topics for example provision of spare parts, co-operation etc. These gave opportunity to discuss the current questions in form of presentation and discussion partly. Openions of concerned company leaders and stockpiling commercial companies were clashed with comments of mechanichers – in – charge. This courageous initiation enlarged the numbers of sympathizens and participants of our programs.

Over the program organisations we were participants to write studies (for example for National Technical Development Committee, OMFB) and proposals and to prepare norms. Our openions were taken into consideration better and better.

The GTE's Presidium expressed its satisfaction the professional work, it could be already qualified as a excellent one is the society too. The Presidium could see the grown membership and the performed qualitative voluntary work and it approved, that the Committee worked as a Section in the future.

The Maintenance Section with 126 society members and with help of more hundreds sympathizens in 8 professional sections has carried out promotion of solving of specialized maintenance questions since 1977.

The organisation was extended to the regional organisations. A Regional Committee was established, its task was to promote the establishment of maintenance specialized groups at regional organisations. The most important were from these the organisations in Pécs, Gyula, Miskolc, Eger and Nyíregyháza. The organisation of local programs was help by experts in framework of co-ordination. We often held board meetings placed out. The regional Organisations and the important companies the places of these were. We had contributed to the solving of special regional and company problems by an advising service. We had given systematical information about foreign professional events and technological organisation results. We had given help to professional continuation course by organizing of course. We had entered into negotiations with leaders of maintenance organisations of foreign associate societies about the closer connection. We had made a proposal to eliminate the programs in parallel organisation by making a program, only one country would get an opportunity to organize international conference by year. Every country gets opportunity such a way by 5 years. Countries assume the responsibility for invitation each other to introduce the seasonable questions and information and to make presentations.

The in 1979 – 1980 appeared problems showed that the encumbrance of increase of economical efficiency can be found in the activity of an not good organized and operated company servicing. GTE was changed by the Union of Technical and Natural Science Associations (MTESz) to perform firm which it responsible for a business and to write studies for account of the prevalling conditions and for development. A Coordination Committee was established from maintenance experts by GTE, the Commite's tool was to write studies, connecting up to that time written studies of the section and OMFB's problem disclosure studies.

The Maintenance Section performed and was suitable with result to central section expectations so it got a permission: Maintenance Section in 1982. This needed of a higher level activity, collaboration of professional fields, cultivation of professional question and tools, international co-operation had to be guaranteed by national powers. The Central Section as a new organisation needed a new organisation scheme and new management and guiding activity. The new organisation scheme gave an opportunity to hold together the maintenance questions of the different industrial special fields by professional department committees (machine industry, metallurgy, chemical industry, etc.) on a higher level and to cultivate the professional questions for more branches (for example education, organisation, safeguarding the interests of the workers) by professional committees.

The nation-wide function needed to wide our professional base. Maintenance experts about 460 members being active in regional and company organisations were held together in a Regional Committee. Over all these The Forum of Mechanicer – in charge was established in 1983. The Forum contains – manager's appointment – maintenance leaders working in industrial companies – it is independent of GTE's membership, and there was an active connection with the wide rang professional base, with company maintenance exports. The first conference of The Forum of Mechanicer – in charge was held on 2nd November 1983, in House of Technics, there were 240 company exports

as participants. The conference have been held year by year since that time. The internal co-operation appears in an other form and with a narrowed program because of the new situation after change of regime and the difficulties of economic life. One thing is permanent the interest of maintenance exports which needs to write and to publish new methods and procedures accommodating to changed circumtances.

The international co-operations have been because loose because of the changing of economical and social systems, that the personal connections are the old ones. We look for the to know each other's professional activities and to open up the sources of information flow. There is chance to make new connections, if there were opportunities to participate on other European conferences.

The changing at economic units important in connection with the maintenance because of the change of regime. An important proportion of the state property went in private hands. The proportion of ltds exceeds 96%. The expansion of little companies is characteristic. This caused a lot of information problems. The Section adjustged so, it is needed to organize an information and co-operation connection between services and operation organisations and to improve the maintenance level.

The Association of Hungarian Maintainer was establish on 29th January 1997 within society bounds. Old ideas of wide range of experts, a lot of little and average ventures and not last mentioned great companies were fulfilled. This way this Association calls attention to the important of maintenance activities and the continuation these ones in organised form in our now changing economy. The aim of the Association is to give an effectual help to the economical organisations in Hungary for their activities by better organisation of maintenance work, introduce of new materials and technologies with effectual and economical exploitage and increase of quality level of results.

The professional activity of the GTE's maintenance organisation

The work method and means of all the near in 40 years established dealing with maintenance GTE's organisation accommodated to the economical and guiding system of the given age.

Some of then existed permanently , but they followed the direction line of development. Inside then it was very important to be a constant contact with firm experts:

- to fill the gap because of the deficient measures of leading organisations,
- to meat professional and economical requirements of the GTE.

We worked hard to meet these requirements by organisation of programs and courses and making of studies and conceptions.

National important programs

We had 28 national important programs with 180…250 participant on then during the last 40 years. National Mechanicher – in – charge Conferences and National Maintenance Conferences belong to these programs. Publication or a special issue of Machine Production Technology in the last time was published by presentations of conferences.

The first National Maintenance Conferences was organized in 1963 by the Maintenance Expert Committee. It was organized every year after it because of the success of the conference.

The Maintenance Central section continued successful traditions by organisation of programs. National Maintenance Conferences were organised every year on different places, mostly in provincial cities. Beside Budapest most frequently Pécs, Nyíregyháza, Gyula and Eger gave home for maintanance conferences and National Mechaniker – in – charge Conferences, but we had program in Balatonszéplak too.

International big programs

The Maintenance Expert Committee already organized the 1st International Maintenance Conference in 1965, after the first national conference and presentations of the conference and accepted offers produced a great reaction.

A 2nd International Maintenance Conference was in 1973 with 350 Hungarian and 45 foreign participants. This program closed with a great success not only in professional view but is economical one too. The section organized the 3rd International Maintenance Conference between 25th and 28th October 1977 which one can be as a milestone during the all professional activity. The number of participants was over 700 and 52 were foreign ones among then. About 40 presentations could be heard and they reflected what sort of problems can be accured during the cultivation of profession because of the changing of economical situation. Organizational, system organizational, informational, diagnostical, technological fixed asset economical and login getting greater degree – computer technical solutions occurred in the listened presentations. We sent the propositions of the conference for the Ministers of competent ministries for the interest to make required and possible measures. Wide – ranging professional experiences and voluntary work of our organization were offered by uns.

We organized the 4th International Maintenance Conference in May 1982 with the participation of 600 Hungarian and 45 foreign experts from 8 countries.

The 5th International Maintenance Conference was organized on 27th and 28th august 1987 in Nyíregyháza. This was the first time, when we organized an international conference in this topic in a country city. The aim of the conference was to show development tendencies of the maintenance and repairing of fixed assets in the last years and the probable ones until to 2000.

The 450 participants – among 40 ones from abroad – characterized the already usual interest in our conference. National and foreign presentations of plenary meeting showed the development conceptions until to 2000. There were practical demonstrations and showing of diagnostical solution behind the discussion of the oriental questions too. Professional trade and works visit also were in the program of the conference. An agreement was born during this conference with the delegations of socialist countries on the future co-operation and on the establishment of an International Secretariat. The Hungarian organization the GTE was asked for the leading of the secretariat and the co-ordination of the co-operation for two years.

The city Gyula was the host of international conference "Servicing '92". The most of presentations made known practical realisation and procedures of principles and their means. The trade and practical demonstration of 16 companies and ventures completed the program of the conference.

An international conference with professional trade and product exhibition was organised between 24th and 26th Jun 1998 in Nyíregyháza by co-operation with the GTE's Country Organisation Szabolcs – Szatmár – Bereg. Our conception held for good because the participants of conference were 10 countries and they made a number of presentation.

Studies

The making of studies was the one of the most important component of our voluntary work, these studies contained the one hand concrete situation summing up on the other hand scientific established suggestions measures, methods, organizational solutions based upon above mentioned summing up.

The most important studies of the last 40 years were:

Situation Summing Up (1960). The author trio Medek – Szabó – Knizsek composed the theoretical bases of establishment of periodical repairing system in 1950s years by Soviet experiences. The establishment of the system gave definite benefits. But negative phenomena also occurred during the development and these ones made an opposed impression on the obtained results. The GTE's Maintenance Experts Work Committee together with other social organisations (Maintenance Special Committee behind the Department of production of Ironworker Trade Union) sent a suggestion by a request over to the Minister of Machine Industry for the solution of existing problems on maintenance field. The most important point of the study was also delivered on the 1st National Mechaniker – in – charge Conference.

Situation Summing Up on the maintenance field (1975). The difference between the development and productivity of the productive work as well as the development and productivity of maintenance methods were increasing.

The Situation Of Maintenance, Its Problems To Be Solved and Further Development Opportunities (Conception)(1982). By the request of state directive organs the Union of Technical and National Science Associations (MTESz) charged GTE with the provision of responsible task of maintenance and working out of the above mentioned study. The study gives a proposal after a problem revealing, situation analysis, conclusion for the directions of further development.

MTESZ proposals in connection with fulfilment of suggestion in the report of the experiment of the Central Committee of People's Control's (KNEB)examination "The Situation of Maintenance of Mechanical Fixed Assets" (1995). By the offers of maintenance conferences and an important social requirement the KNEB opened an inquiry on the level of maintenance activity an on protection of substance of machines. The president of the MTESZ handed over the KNEB's report to the GTE who carries out the co-ordination of maintenance of machines and equipment – to give proposal by its responsible activity and by wide – ranging professional openions.

Guiding Principle for the maintenance of industrial mechanical instrument of production (machines and equipment) and for the increasing of level of the maintenance (1987). The Maintenance Central Section finished the draft of the Guiding Principle by request of GTE and by the proposition of Minister's meeting, this work formulated company tasks.

Methodological Guide "To the Practical Using of the Guiding Principle Offered in Connection with Maintenance of Mechanical Instruments of Production Within the Scope of Maintenance activity of Fixed Assets" (1989). It came up during the discussion of the Guiding Principle, that it is needed to complementwith a Methodological Guide. This Guide was carried out in 1989.

Recommendation for the Appraisal and Transillumination of Situation of Maintenance and Repairing (1988). Changings of economical life and professional fields of maintenance became confused. The Maintenance Central Section wanted to give help for experts of companies in the interest of clear-sightedness.

Education

Education and organization of course of extension training paid an important part in the life of our professional organizations in the last time. A lot of courses were carried out in the last near four decades, they always had general and guiding topic. For example:

- Maintenance strategy,
- Differentiated Maintenance System,
- Complex Fixed Asset Economy,
- Tasks of Servicing,
- Maintenance Organisations,
- Maintenance Technology,
- Repairing System of Some Machines Specially, Repairing of Machine Tools,
- Making Known and Using of Diagnostical Methods

There was a great participant number and interest on the courses organised by GTE in earlier years. We obtained pleasant news about these courses by feedback. Unfornutely demands on organised extension training decreased recently significantly.

Cultivation of special Literature

In chronological order "Servicing" special literature selection for Mechanicer in – Charge was already published in 1965 by National Technical Library and Documentation Centre.

Maintenance Handbook was published after a two year preparation in 1973 by managing editor Szabó Bendegúz and by Technical Publishers. The book had a great success because such on of great level and comprehensive book was never published. The technical Publishers awarded a standard prize to the book. There was a second publishing in 1975 because of the great interest.

The next important book was published in 1985, its title "Computertechnics in Servicing". The publisher was the Technical Publishers. The book impressed by strength of organizing of maintenance and servicing, using computer as a resource in this works.

"Up-to-date Methods of the Machine Industry" was published in 1989 by the GTE's help, its number of copies is 300000, its size is 32,5 sheets. The publication is a common one with the Association CsSzSzK (CsVTSz). The literary work gives a summary of characteristic maintenance problem and development direction of both countries.

These literary works increased the GTE's and workers reputation in maintenance organisation. They got acknowledgement for their authors and co-operators by their professional level.

GTE's appraisal about the professional functioning.

We, who have lived through happiness and fiascos of four decades inside and outside of the association mean, that we fulfilled the expectings by our conscience. The association have got acknowledgement and no sentences by our activity. The MTESZ, partner associations, the Ministry of Foundry and Machine Industry, later Ministry of Industry Welcome the co-operation in topic. Organisation form in topic of maintenance in the association made a tour on all rungs of promotion by seniority. The acknowledgement of association management on all levels and in given time contributed to entering in higher class and it expressed, that its activity was performed on high level and its tasks were carried out.

Miklós GEDE
Dr Károly SÓLYOMVÁRI

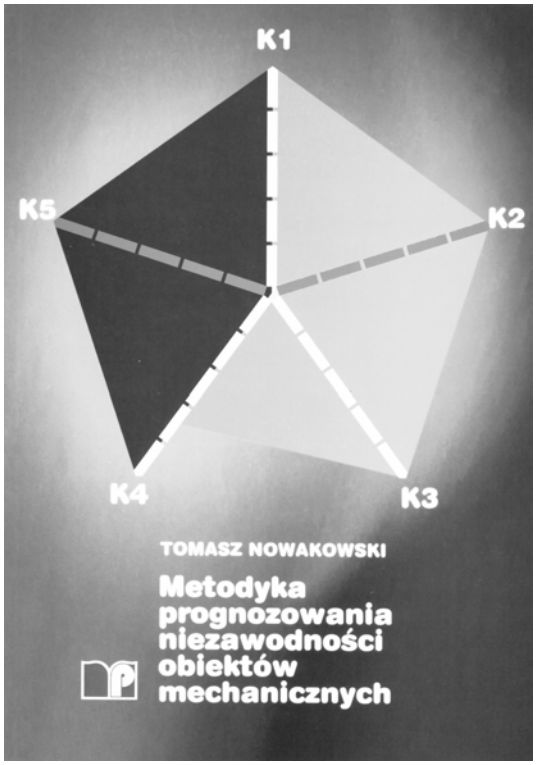
Hungarian Maintenance Society
H-1111 Budapest
Bertalan L. u. 2. Z. VI. 608.
H-1502 Budapest Pf. 91
tel. +36 1463-1931
fax. +36 14633467
banasiak@imr.ar.wroc.pl
Solyom@kgtt.bme.hu

Andrzej Niewczas

RECENZJA KSIĄŻKI

pt.: „Metodyka prognozowania niezawodności obiektów mechanicznych”

autor: Tomasz Nowakowski



W książce rozpatrzono problemy związane z oceną i prognozowaniem niezawodności obiektów mechanicznych. Na podstawie przyjętych kryteriów stosowane metody prognozowania niezawodności podzielono na trzy podstawowe klasy: metody niezawodności konstrukcyjnej, metody eksperckie i metody analogii statystycznej. Zaproponowano własną metodykę prognozowania niezawodności.

Książka może być cenną lekturą dla konstruktorów i eksploatatorów maszyn i urządzeń oraz dla wykładowców i studentów wydziałów mechanicznych politechnik.

Prof. dr hab. inż. Andrzej NIEWCZAS
Katedra Silników Spalinowych
Wydział Mechaniczny
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin
ul. Nadbystrzycka 36