

Specyfika wyczynowych silników przyczepnych do łodzi wyścigowych

W artykule opisano szczególne cechy użytkowe wyczynowych silników przyczepnych stosowanych w sporcie motorowodnym. Przedstawiono ich najważniejsze cechy konstrukcyjne oraz wskazano na zakres najczęściej stosowanych modyfikacji konstrukcji w zależności od klas i serii motorowodnych, a także na wymagania regulacyjne wynikające z charakteru poszczególnych wyścigów. Omówiono ważniejsze modyfikacje silników w zakresie układów: wymiany ładunku, zasilania i układu korbowo-tłokowego oraz charakter najczęstszych uszkodzeń. Przeprowadzono porównanie wskaźników operacyjnych wyczynowych silników zaburtowych z silnikami innych zastosowań.

Słowa kluczowe: zewnętrzny (zaburtowy) silnik spalinowy, silniki wyczynowe, wskaźniki pracy, cechy konstrukcyjne

The specificity of attached high-performance engines

This article presents special usable features of attached high-performance engines used in water motor sports. It presents the most significant design characteristics as well as indicates the scope of most frequently used modifications of construction depending on water motor classes and series and legal requirements resulting from a character of particular races. This article discusses more important modifications of engines with respect to exchange of charge, fuel supply and the piston assembly as well as their most frequent malfunctions. The authors compared operating indexes of high-performance outboard engines to engines with other applications.

Key words: attached (outboard) combustion engine, high-performance engines, engine rating, design characteristics

1. Wprowadzenie

Silniki przyczepne, zwane często silnikami zaburtowymi, wykazują w stosunku do silników spalinowych innych zastosowań pewne cechy szczególne, na które zwrócono uwagę w publikacji [1]. Wersje wyczynowe takich silników różnią się od wersji podstawowych ze względu na stawiane im szczególne zadania.

Silniki wyczynowe muszą przede wszystkim zapewniać osiągnięcie jak najlepszych parametrów operacyjnych. W stosunku do ich wersji podstawowych powoduje to konieczność modyfikacji konstrukcyjnej lub technologicznej wielu podzespołów i większości układów składowych. W zależności od kategorii i klasy sportowej zakres tych modyfikacji może być ograniczony w różnym stopniu zgodnie z przepisami, które zawiera Regulamin Międzynarodowej Federacji Motorowodnej U.I.M (*Union Internationale Motonautique*). Określają one wszystkie wytyczne dotyczące konstrukcji silnika i jego układów, środków eksploatacyjnych oraz paliwa, które można stosować podczas wyścigów.

Ograniczenia zawarte w regulaminie mają na celu stworzenie różnych wymagań technicznych odnoszących się do silnika, co pozwala na start zarówno zespołom, które potrafią skonstruować własny silnik, jak i zespołom lub pojedynczym osobom, które posiadają silnik seryjny i mają ochotę na współzawodnictwo na wodzie. Taka filozofia utworzonego regulaminu pozwala na ciągłą edukację techniczną, a wraz z pozyskiwanym doświadczeniem – na start w coraz bardziej prestiżowych klasach i seriach. Stwarza zatem podstawy do rywalizacji nie tylko sportowej, lecz także w zakresie posiadanej wiedzy fachowej i doświadczenia konstrukcyjnego. Najbardziej zaawansowane technicznie klasy pozwalają na

1. Introduction

Attached engines, which are frequently referred to as outboard engines show certain special characteristics as compared to combustion engines with other applications. The authors of this study focused on those characteristics in their publication [1]. High performance versions of such engines differ from basic versions in special tasks, for which they are designed and which differ from those required in normal operation.

High-performance engines must, first of all, ensure obtainment of possibly the best operating parameters. As compared to the basic version of such engines, a lot of their subassemblies and most of their component systems must be modified as regards their structure and technology. Depending on sports categories and classes, the scope of the modifications may be limited to various degrees pursuant to the provisions contained in the Rules of the International Water Motor Federation U.I.M (*Union Internationale Motonautique*). They specify all guidelines relating to the structure of engines and their assemblies, operating fluids, lubricants and fuel to be used during races.

The limitations contained in the rules are aimed at creating different technical requirements relating to the engine, which allows participation in the race for both, the teams that can construct their own engines and those who have a serial engine and are eager to compete in water sports. Such a philosophy contained in the established rules facilitates continuous education and, added to the acquired experience, makes it possible to participate in more prestigious classes and series. Thus, it creates grounds for not only sports competition, but also for the competition with respect to acquired

testowanie rozwiązań nietypowych, często nowatorskich, co w wielu przypadkach powoduje zapoczątkowanie nowych tendencji rozwojowych w konstrukcji określonego rodzaju silników.

2. Podział wyczynowych silników wykorzystywanych w sporcie motorowodnym

2.1. Klasy i serie

Wprowadzając podział omawianych silników spalinywych należy ustalić jego kryterium. W sporcie motorowodnym wykorzystywane są wszystkie rodzaje silników: od tłokowych dwu- i czterosuwowych po przepływowe rakietowe. Ich podział zależy zatem od rodzaju silnika, jego pojemności skokowej, możliwości dokonywania zmian konstrukcyjnych oraz od rodzaju łodzi, do której są one zamontowane. Ze względu na dużą różnorodność możliwych kryteriów Międzynarodowa Federacja Motorowodna wprowadziła podział na klasy i serie łodzi oraz napędzających je silników.

Zgodnie ze wspomnianym wcześniej Regulaminem wszystkie zdefiniowane tam klasy i serie mają charakter międzynarodowy. Dla łodzi, w których napędem jest silnik przyczepny występuje dwanaście klas. Klasy te różni-

professional knowledge and structural experience. The most technically advanced classes make it possible to test untypical and often innovative solutions, which, in numerous cases, initiates new development trends in the construction of given types of engines.

2. The classification of high-performance engines used in water motor sports

2.1. Classes and series

By introducing the division of the discussed engines, first the classification criteria should be established. All types of engines ranging from two-stroke to rocket engines are used in water motor sports. Thus their classification depends on a type of engine, its displacement, possibility of structural changes and type of boat, on which it is mounted. Due to a diversity of possible criteria, the International Federation of Water Motor Sports introduced a division into classes and series of boats and engines driving the boats.

Pursuant to the above-mentioned Rules, all classes and series identified therein have international character. There are twelve classes for boats with attached engines. The classes are diversified with respect to displacement

of the used engine, which distinguishes the following classes: 125; 250; 350; 500; 700; 850; 1000; 1500; 2000; 3000 cm³ as well as a class without any limitations as regards engine capacity. The actual limits of displacement used in the above-mentioned engine classes and types of hulls of the used boats have been presented in Table 1.

The introduced notion of a series aims at a more precise determination of technical requirements relating to both the engine and the boat. The following various engine series may be used in a specified engine capacity class: „O”, „S” and „T”. „O” series (popularly referred to as „Open Series”, Fig. 1a) is most technically advanced and least limited by stringent provisions, which, at the same time, makes it more prestigious. As far as this series is concerned, limitations are practically related only to the engine displacement.

„S” series (referred to as „Sports Series”) relates to the series, which admits slight structural changes as provided

Tabela 1. Zestawienie przykładowych klas i serii motorowodnych

Table 1. A statement of examples of motor water sports classes and series

Oznaczenie klasy/ <i>Class designation</i>	Przykładowe oznaczenie klasy i serii/ <i>Example of class and series designation</i>	Przedział pojemności skokowej silnika/ <i>The range of engine displacement</i>	Typ łodzi/ <i>Boat type</i>
125 cm ³	O – 125	< 128 cm ³	hydroplan/hydroplane
175 cm ³	O – 175 S – 175	< 175 cm ³ < 175 cm ³	hydroplan/hydroplane
250 cm ³	O – 250 S – 250	< 250 cm ³ 176–250 cm ³	hydroplan/hydroplane
	T – 250	< 265 cm ³	jednokadłubowa typu „V”/
350 cm ³	O – 350 S – 350	< 350 cm ³ 251–350 cm ³	hydroplan/hydroplane
	T – 400	251–400,5 cm ³	jednokadłubowa typu „V”/
500 cm ³	O – 500 S – 500	< 500 cm ³ 351–500 cm ³	katamaran/catamaran
	T – 550	401–550 cm ³	jednokadłubowa typu „V”/
700 cm ³	O – 700 S – 700	< 700 cm ³ 501–700 cm ³	katamaran/catamaran
800 cm ³	O – 800 S – 800	< 850 cm ³ 701–870 cm ³	katamaran/catamaran
1000 cm ³	O – 1000 S – 1000	851–1000 cm ³ 871–1000 cm ³	katamaran/catamaran
1500 cm ³	O – 1500 S – 1500	1001–1500 cm ³ 1001–1500 cm ³	katamaran/catamaran
2000 cm ³	O – 2000 S – 2000	1501–2000 cm ³ 1501–2000 cm ³	katamaran/catamaran
3000 cm ³	O – 3000 S – 3000	2001–3000 cm ³ 2001–3000 cm ³	katamaran/catamaran
bez ograniczeń/ unlimited	O – ∞ S – ∞	> 3001 cm ³ > 3001 cm ³	katamaran/catamaran

cowane są pojemnością skokową zastosowanego silnika; wyróżniono w ten sposób następujące umowne klasy: 125; 250; 350; 500; 700; 850; 1000; 1500; 2000; 3000 cm³ oraz klasę bez ograniczeń pojemności silnika. Rzeczywiste graniczne pojemności skokowe stosowanych w tych klasach silników i typów kadłubów wykorzystywanych łodzi podano w tabeli 1.

Wprowadzone pojęcie serii ma na celu sprecyzowanie wymagań technicznych odnoszących się zarówno do silnika, jak i do łodzi. W określonej klasie pojemności silnika można zastosować silniki różnych serii: „O”, „S” i „T”. Seria „O” (potocznie zwana „Otwartą”, rys. 1a) jest najbardziej zaawansowana technicznie i najmniej rygorystycznie ograniczona przepisami, a tym samym najbardziej prestiżowa. W tej serii ograniczenia dotyczą tylko pojemności skokowej silnika.

Oznaczenie „S” (seria zwana „Sportową”) dotyczy serii, w której dopuszczalne są nieznaczne zmiany konstrukcyjne, ściśle opisane w regulaminie. W związku z tym silniki wykorzystywane w tej klasie muszą być homologowane przez U.I.M.

Seria „T” (zwana „Turystyczną”, rys. 1b) jest najmniej zaawansowana technicznie – nie są w niej dopuszczalne żadne zmiany konstrukcyjne w stosunku do silników seryjnych; silniki te zatem muszą być homologowane, tzn. musi być potwierdzona zgodność parametrów konstrukcyjnych wszystkich elementów składowych.

W sporcie motorowodnym występują także serie, w których napęd nie odbywa się silnikiem przyczepnym. W serii „R” jest to silnik wbudowany (stacjonarny), w serii „D” jest to silnik o zapłonie samoczynnym, a w serii „TR” może to być silnik turbodoładowy lub rakietowy. Nie wszystkie z wymienionych serii są spopularyzowane w Polsce. W Europie największe znaczenie mają klasy do 1000 cm³ pojemności silnika, a serie „O” i „S” są najciekawsze ze względu na stosowane rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne.

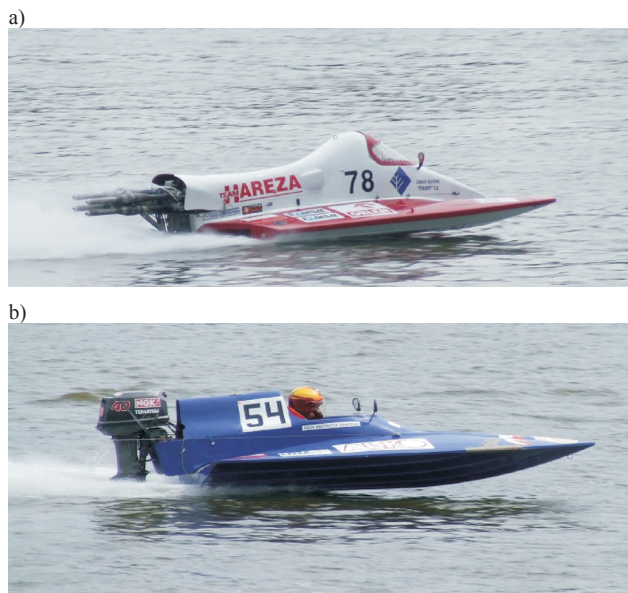
2.2. Zakres dopuszczalnych zmian konstrukcyjnych w silnikach

Zasadniczym kryterium określającym zakres dopuszczalnych zmian konstrukcyjnych silnika podstawowego jest zbiór przepisów regulujących ten zakres charakterystyczny dla wybranej serii: sportowej lub turystycznej. W obu przypadkach konstrukcją wyjściową jest silnik seryjny, bez przeróbek. Seria otwarta odnosi się do konstrukcji silników przygotowywanych przez zawodników we własnym zakresie, w związku z tym dopuszcza się w niej największą swobodę konstruowania i wykonywania elementów silnikowych.

Warunkiem dopuszczenia silnika do serii sportowej lub turystycznej jest posiadanie przez ten silnik homologacji U.I.M. Silnik seryjny, reprezentujący model wymieniony w aplikacji homologacyjnej zostaje poddany badaniom w celu stwierdzenia zgodności z deklaracjami producenta w dokumentach aplikacji homologacyjnej. Warunki otrzymania takiej homologacji są ściśle określone przez federację. Niektóre z nich, odnoszące się do serii turystycznej, są następujące:

in detail in the rules. In connection with the above, the engines used in the above-mentioned class must be certified by U.I.M.

„T” series (referred to as „Touring Series”, Fig. 1b) is least technically advanced and does not admit any structural changes with respect to serial engines. Thus the engines must be certified for compliance of structural parameters of all engine components.



Rys. 1. Przykładowe klasy i serie motorowodne: a) seria „O” – łódzie wyścigowe typu katamaran z silnikiem przyczepnym, silniki nieseryjne, dopuszczalne własne konstrukcje, b) seria „T” – łódzie jednokadłubowe typu „V” z silnikiem przyczepnym, silnik seryjny, przeróbki niedopuszczalne

Fig. 1. Examples of water motor sports classes and series: a) „O” series – catamaran-type racing boats with attached engine and non-serial engines admissible own designs, b) „T” series – “V” type single-hull boats with attached engines, serial engine, no modifications admissible

There are also series in water motor sports, which do not use attached engine drive. „R” series has an in-built (stationary) engine, „D” series has a self ignition engine and „TR” series may have a turbojet or rocket engine. Not all of the above-mentioned series are popular in Poland. The most significant classes in Europe have engines with capacity of up to 1000 cm³, whereas „O” and „S” series are interesting owing to their structural and technological solutions.

2.2. The scope of admissible structural changes in engines

The basic criterion determining the scope of admissible structural changes in a basic engine is a selection of provisions regulating the scopes characteristic of given series, whether sports or touring series. In both cases a commercial engine with no modifications is an initial structure. The open series relates to the design of engines prepared by competitors on their own and, therefore, it is characterized by the greatest freedom of construction and performance of the engine components.

An engine can be given a sports or tourist series upon the condition that it has been certified by U.I.M. A serial engine

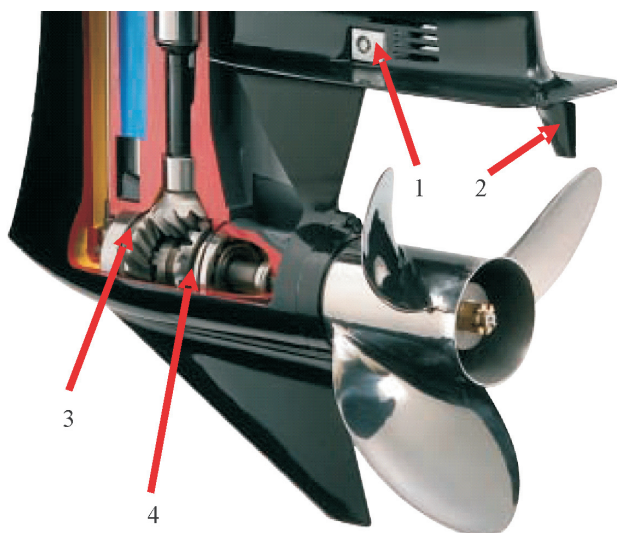
- silnik powinien być w katalogu firmy przemysłowej;
- silnik powinien być w sprzedaży jako silnik seryjny do napędu łodzi;
- wszystkie części silnika podstawowego i modyfikowanego muszą być zamienne i muszą mieć identyczne wymiary,
- elementy silników muszą być wykonane z tego samego materiału co odpowiednia część innego silnika tego samego modelu.

Warunki określone w homologacji są podstawą kontroli silnika i jego parametrów podczas zawodów.

W silniku wykorzystywanym w serii sportowej można wykonywać ograniczone zmiany konstrukcyjne. Są one ściśle określone, a niektóre z nich to np.:

- biegi w przód, neutralny i wsteczny nie są obowiązkowe dla silników powyżej 1001 cm³ (rys. 2),
- w oryginalnym pędniku śrubowym może być dokonana zmiana jego parametrów konstrukcyjnych (np. skoku i średnicy, powierzchni roboczej śruby), ale tylko tak, aby średnica wylotu spalin przez śrubę odpowiadała średnicy wylotu śruby oryginalnej,
- płytka trzymająca (anody¹⁾, rys. 2) może być zmieniona lub usunięta w celu dopasowania do śruby napędowej,
- chłodzenie musi być realizowane za pomocą pompy wodnej, można usunąć termostaty i zawory ciśnieniowe z układu chłodzenia,
- ograniczniki prędkości obrotowej silnika mogą być usunięte,
- świece zapłonowe są dowolne,
- oryginalne dysze gaźnika mogą być zastąpione innymi, o innych rozmiarach,
- dopuszczalne jest szlifowanie cylindrów w granicach pojemności danej klasy, ale mogą być używane tylko zestawy

1) Anody zamontowane przy płytce trzymającej pozwalają na redukcję negatywnego działania soli (osadzanie się soli w kanałach chłodzących, korozja) podczas pływania po morzu.



Rys. 2. Dolna część kolumny silnika (tzw. spodzina) z wszystkimi kołami przekładni – zgodnie z homologacją: 1 – anoda ujemna, powyżej płytki trzymającej, 2 – anoda dodatnia – płytka trzymająca, 3 – koło biegu w przód, 4 – koło biegu wstecznego

Fig. 2. The engine gearbox with all gear cogs – in accordance with the type approval: 1 – negative anode, over trimming plate, 2 – positive anode – trimming plate, 3 – forward gear wheel, 4 – reverse gear wheel

representing the model provided in the type approval application is subject to tests for compliance with the manufacturer's declarations contained in the type approval application documents. Such a type approval can only be issued upon the conditions strictly specified by the Federation. Some of the conditions relating to the touring series are as follows:

- an engine should be included in an industrial company's catalogue,
- an engine should be sold as a serial engine for boat drive,
- all the parts of the basic and modified engine must be accompanied with spare parts and must have identical dimensions,
- engine components must be made of the same material, of which a respective parts of other engine of the same model is made.

The conditions specified in the type approval are a basis for inspection of an engine and its parameters during races.

Certain limited design changes can be made in a sports series engine. The changes are strictly specified, some of them being:

- first, neutral and reverse gears are not mandatory for engines with capacity exceeding 1001 cm³ (Fig. 2),
- the original propeller may be replaced only upon the condition that the exhaust diameter of the propeller corresponds to that of the original one,
- the trimming plate (anodes¹⁾, Fig. 2) may be replaced or removed to be adjusted to the driving screw;
- the engine must be cooled through a water pump; thermostats and pressure valves may be removed from the cooling system,
- engine speed limiters may be removed,
- any spark plugs may be used,
- original carburetor jets may be replaced with other jets with other measurements,
- it is admissible to diameter-grind cylinders within capacity range of a given class, however, one may use only piston assemblies delivered by the manufacturer in accordance with the type approval.

All modifications, which may be made in a certified engine of the sports series, make it possible to improve work parameters as regards power concentration and dynamic properties.

An engine used in an open series is optional and practically limited only by displacement resulting from a given class. O – 125 class is an exception with limitation to a one-cylinder engine. The entire design of the engine, manner of production and materials used depend on the engine designer. Therefore there are engines in the open series, which are frequently manufactured in single copies or very small number of series. Usually the very competitors and their teams are designers and manufacturers of such engines. In practice, each competitor, who becomes a champion, has designed at least one engine on his own. If a given design allows the obtaining of significant results of champion class, such a design often initiates production of short series

1) Anodes mounted at the trimming plate make it possible to reduce negative effects of salt (salt depositing in cooling ducts and corrosion) during sea races.

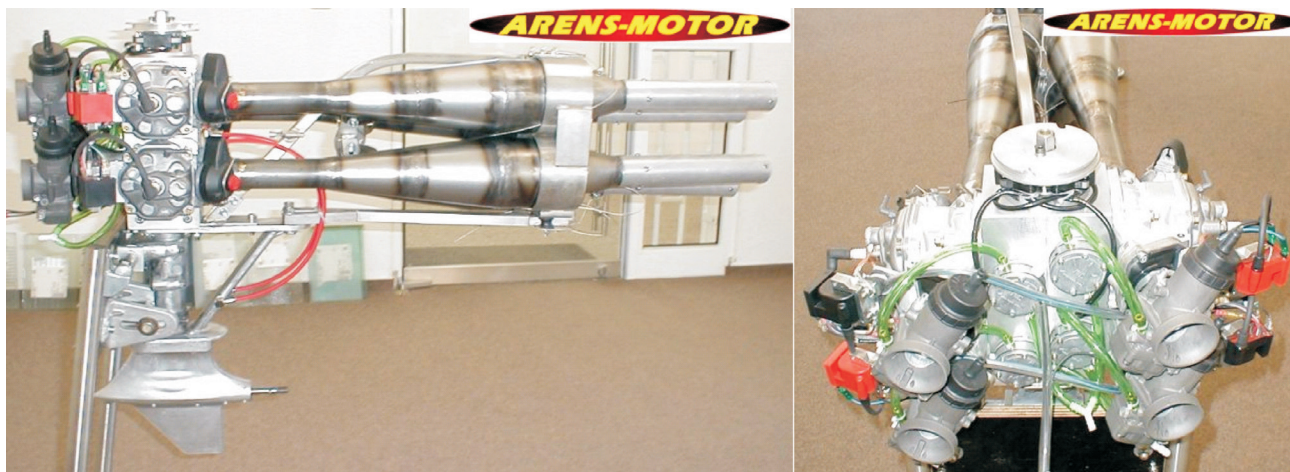
łokowe dostarczone przez producenta silnika zgodnie z homologacją.

Wszystkie zmiany, które można przeprowadzić w serii sportowej w silniku homologowanym pozwalają na polepszenie wskaźników jego pracy w aspekcie koncentracji mocy i właściwości dynamicznych.

Silnik wykorzystywany w serii otwartej jest silnikiem dowolnym i jest ograniczony tylko pojemnością skokową wyni-

and the designers offer such engines for other teams, which perform further modifications on their own. There are several examples of the engine manufacturers in the European market, namely:

- SyGaDo – Poland,
- GRM – Italy (www.grmracing.com),
- VRP – Verona, Italy
- Arens-Motor – Germany (www.arensmotor.de, Fig. 3).



Rys. 3. Silnik firmy Arens-Motor klasy O – 500; silnik czterocylindrowy dwusuwowy, z przeciwnym układem cylindrów, z wydechem swobodnym o regulowanej długości

Fig. 3. O-500 class engine manufactured by Arens-Motor; four-cylinder two stroke engine with opposite pistons and free exhaust with adjusted length of exhaust pipes

kającą z określonej klasy. Wyjątek stanowi klasa O – 125, w której występuje ograniczenie do silnika jednocylindrowego. Cała konstrukcja silnika, sposób wykonania, zastosowane materiały itd. zależą od decyzji jego konstruktora. Dlatego w serii otwartej występują silniki, które wykonywane są bardzo często w pojedynczych egzemplarzach lub w bardzo małych seriach. Konstruktorami i producentami tych silników są zwykle sami zawodnicy i ich zespoły. W praktyce każdy zawodnik, który zostaje mistrzem wykonał chociaż jeden silnik samodzielnie. Jeżeli określona konstrukcja pozwoli na uzyskanie znaczących wyników klasy mistrzowskiej, to często staje się początkiem krótkich serii, a ich twórcy stają się oferentami takich silników dla innych zespołów, które dalszych przeróbek dokonują we własnym zakresie. Na rynku europejskim znanych jest kilka takich przykładów; są to np. firmy:

- SyGaDo – Polska,
- GRM – Włochy (www.grmracing.com),
- VRP – Włochy, Verona,
- Arens-Motor – Niemcy (www.arensmotor.de, rys 3).

3. Modyfikacje konstrukcji

Wszystkie modyfikacje konstrukcji mają zapewnić uzyskanie jak najlepszych parametrów operacyjnych silnika (moc użyteczna, moment obrotowy, dynamika silnika przy zmiennym obciążeniu). Nie wszystkie zmiany konstrukcyjne dają pożądany efekt w konkretnej sytuacji panującej na zawodach. Charakter i zakres tych zmian należy zatem dobierać każdorazowo do strategii wyścigowej, co jest określane pojęciem „dostrojenia” silnika.

3. Design modifications

All the design modifications are to ensure best possible work parameters of the engine (rated power, torque and engine dynamics at variable loads). Not all design modifications produce desired effects in given situations during races. The character and scope of such modifications should be adjusted for each racing strategy, which is referred to as “engine tune up”.

Depending on demands, designers introduce such design modifications, which influence the torque course during races in two ways. A decision made on selection of one of those ways may determine the success. The first strategy involves achievement of maximum torque and rated power at relatively high engine speeds making it possible to attain maximum speed at the end of straight sections of a race-track (Fig. 4). The other strategy involves the possibility of achievement of a torque at relatively low engine speed and attainment of high acceleration values at start and turns. The selection of a given strategy requires making respective modifications in all design systems of the engine.

The engine design modifications do not always comply with the rules and the mechanic’s role is to introduce of a desired design modification within prescribed limits and, at the same time, preserve the best parameters of engine work. However, the modifications often “balance” at the admissible boundary and some of them are providently hidden from competitors and technical arbiters. Thus, assurance of correct verification of compliance of each engine with certification rules depends on the competence of such arbiters.

The most significant modifications are made in systems responsible for the generation of power. These are mainly

W zależności od zapotrzebowania wprowadza się takie zmiany konstrukcyjne, które wpływają na przebieg momentu obrotowego silnika podczas wyścigu na dwa sposoby. Podjęcie decyzji o wyborze któregoś z nich może przesądzić o możliwości osiągnięcia sukcesu. Pierwsza strategia polega na osiągnięciu maksymalnego momentu obrotowego i mocy użytecznej przy stosunkowo dużych prędkościach obrotowych pozwalających na uzyskanie maksymalnej prędkości na końcu prostych odcinków toru wyścigowego (rys. 4). Druga możliwość to osiągnięcie momentu obrotowego przy stosunkowo małej prędkości obrotowej, (zwiększenie elastyczności momentu obrotowego) i uzyskanie dużych przyspieszeń na starcie i przy zwrotach. Wybór określonej strategii wymaga wprowadzenia odpowiednich modyfikacji we wszystkich układach konstrukcyjnych silnika.

Stosowane modyfikacje konstrukcji silników nie zawsze są zgodne z regulaminem, a kunszt mechaników polega na tym, aby wykonać pożądaną zmianę konstrukcyjną w przewidzianych granicach, zachowując jak najlepsze parametry pracy silnika. Często jednak zmiany te „balansują” na granicy dopuszczalności, a niektóre z nich są skrytycznie ukrywane przed okiem nie tylko konkurentów, lecz także sędziów technicznych. Od fachowości sędziów zależy więc zapewnienie poprawnej weryfikacji zgodności każdego silnika z przepisami homologacyjnymi.

Najistotniejsze zmiany konstrukcyjne dokonywane są w układach najbardziej odpowiedzialnych za wytwarzanie mocy silników. Są to więc głównie układ wymiany ładunku i układ zasilania. Uzyskiwanie zwiększonej wartości objętościowego wskaźnika mocy wymaga zapewnienia zdolności jej przetworzenia na energię napędu, co zwykle powoduje konieczność wzmocnienia układu korbowo-tłokowego, które powinno być uzyskane pomimo zmniejszenia jego masy, koniecznego ze względu na redukcję momentu bezwładności.

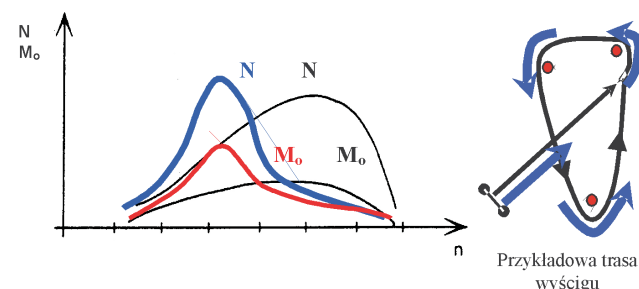
3.1. Układ wymiany ładunku

Parametry konstrukcyjne układu wymiany ładunku mają bardzo istotny wpływ na parametry pracy silnika. W silnikach przyczepnych układ ten ma dodatkowo specyficzną budowę wynikającą z ich wykorzystywania w środowisku wodnym. Dlatego w układzie dolotowym brak jest filtra powietrza i przewodów dolotowych. Powietrze zasysane jest bezpośrednio do gaźnika, a opory przepływu są minimalizowane (rys. 5).

Powietrze po przejściu przez gaźnik trafia na zawory płytkowe, które sterują dolotem świeżego ładunku do skrzyni korbowej. Odpowiednie dobranie materiału, z którego wykonane są zawory płytkowe pozwala na zmniejszenie oporów przepływu, a tym samym na lepsze napełnienie skrzyni korbowej świeżym ładunkiem, co w konsekwencji jest wykorzystywane do zwiększenia mocy (rys. 6, linia czerwona na rys. c).

Innym zabiegiem modyfikacyjnym w układzie wymiany ładunku poprawiającym parametry pracy silnika jest odpowiednie ukształtowanie kanału płuczącego, doprowadzającego świeży ładunek ze skrzyni korbowej do cylindra. Odpowiednie zmniejszenie przekroju i ukształtowanie tego

inlet/exhaust system and fuelling system. Achievement of increased power concentration requires assurance of capacity of conversion of the power into the drive energy, which usually entails the need of reinforcement of the assembly of crankshaft, pistons and connecting rods and should be achieved despite a decrease of its weight as necessary due to reduction of the inertia.

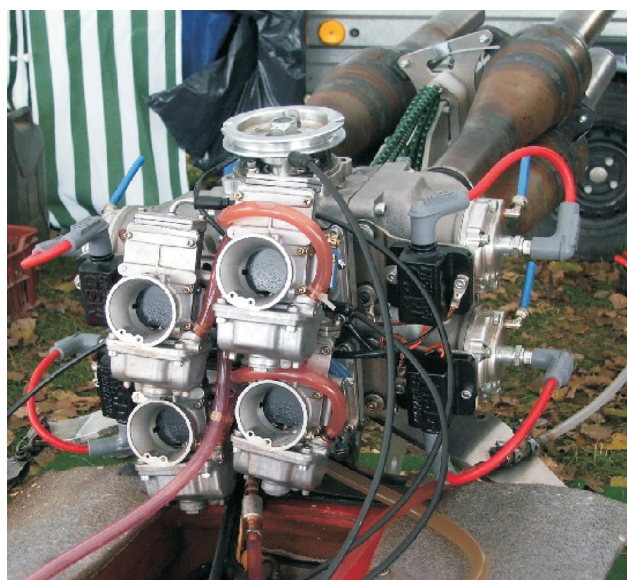


Rys. 4. „Filozofia” przygotowania wyczynowego silnika przyczepnego do zawodów

Fig. 4. “The philosophy” of preparation of a high-performance attached engine for racing purposes

3.1. The inlet/exhaust system

The design parameters of the inlet/exhaust system have a significant influence upon the engine work parameters. In attached engines the system has a specific design resulting from its use in water environment. Therefore, the inlet system is not equipped with air filter and inlet manifold. Air is sucked directly into the carburetor and flow resistance is minimized. (Fig. 5).



Rys. 5. Silnik klasy O – 500 z czterema indywidualnymi gaźnikami, po jednym na każdy cylinder, dolot powietrza bezpośredni do gardzieli gaźnika

Fig. 5. O – 500 class engine with four individual carburetors, each for one cylinder; air inlet directly into the carburetor choke tube

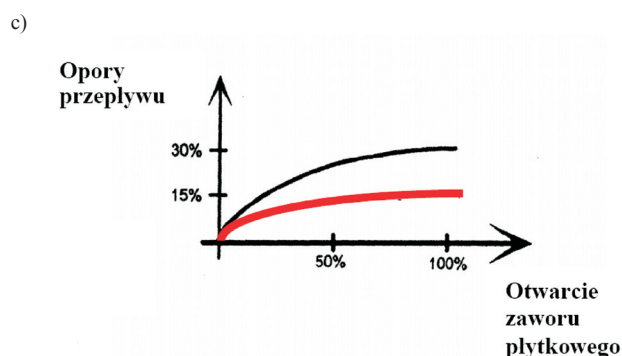
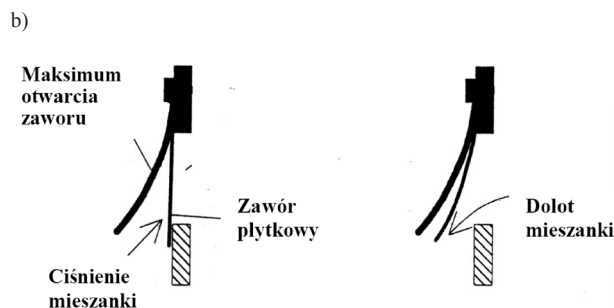
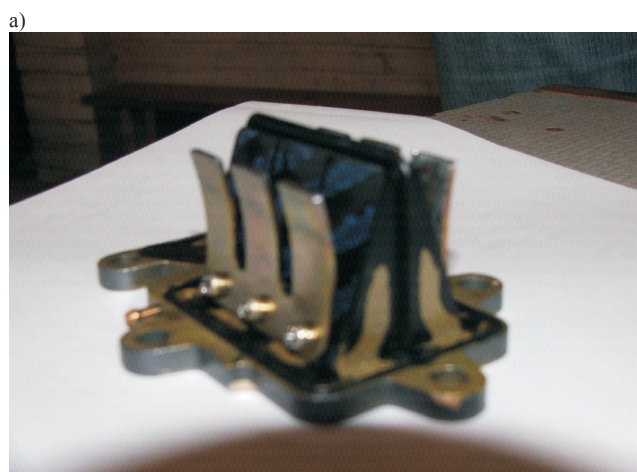
The air passing through the carburetor gets to plate valves, which control the inlet of fresh charge into the crankcase. Properly selected material of plate valves makes it possible

kanalu zapewnia zwiększenie prędkości przepływu. Celem jest zwiększenie szybkości wymiany ładunku w cylindrze oraz zwiększenie jego masy bez zwiększenia wysokości okien płuczących, które prowadziłyby do zmniejszenia efektywnego skoku tłoka. Modyfikacja taka wymaga bardzo dobrego warsztatu pracy oraz dużego doświadczenia, ponieważ polega na tym, że oryginalny odlew kanału jest wyklejany za pomocą specjalnych klei z dodatkiem aluminium, a następnie wyklejony kanał musi być odpowiednio wyszlifowany w celu nadania ostatecznego kształtu zapewniającego otrzymanie pożądanego efektu.

W celu polepszenia efektu zwiększenia prędkości świeżego ładunku przez nakładanie wewnątrz kanałów powłok polimerowych o różnym kształcie i grubości należy również zwiększyć ciśnienie sprężania w skrzyni korbowej. Można tego dokonać dzięki zmniejszeniu objętości skrzyni korbowej, które uzyskuje się przez doklejanie elementów

to decrease flow resistance and, at the same time, facilitates fresh charge feed into the crankcase, which, consequently, is used for power increase (Fig. 6, the red line in Fig. c).

Another modification made in the inlet/exhaust system for the purpose of improvement of the engine work parameters is appropriate shaping of the scavenging ducts feeding fresh load from the crankcase into cylinder. Appropriate reduction of the section and shaping of the duct ensures the increase of flow speed. The purpose is to increase the speed of exchange of the charge in the cylinder and increase of its mass without increasing of the height of the scavenging windows, which could lead to a decrease of effective piston stroke. Such a modification requires good craftsmanship and considerable experience as involves lining of the original duct casting with special glues containing aluminum. Next, the lined duct has to be properly honed to achieve a final shape ensuring achievement of the desired effect.



Rys. 6. Zmiany w układzie dolotowym: a) zawór płytkowy, b) zasada działania zaworu płytkowego, c) dwie charakterystyki otwierania zaworu płytkowego przy zastosowaniu różnych materiałów

Fig. 6. Modifications in the inlet system: a) plate valve, b) principle of operation of a plate valve, c) two characteristics of opening of a plate valve made of various materials

o stosunkowo dużej objętości. Elementy te muszą być tak wklejone w przestrzeń skrzyni korbowej, aby zapewnić prawidłową pracę wału korbowego.

Po zapewnieniu zwiększonego ciśnienia w skrzyni korbowej i zwiększeniu prędkości przepływu w stosunku do silnika seryjnego należy również odpowiednio ukształtować okna dolotowe znajdujące się w cylindrze. Dążąc do odpowiedniego ukierunkowania strumienia świeżego ładunku napływającego do przestrzeni spalania, należy załamać krawędź okna dolotowego (rys. 7); zwykle uzyskuje się to przez odpowiednie szlifowanie.

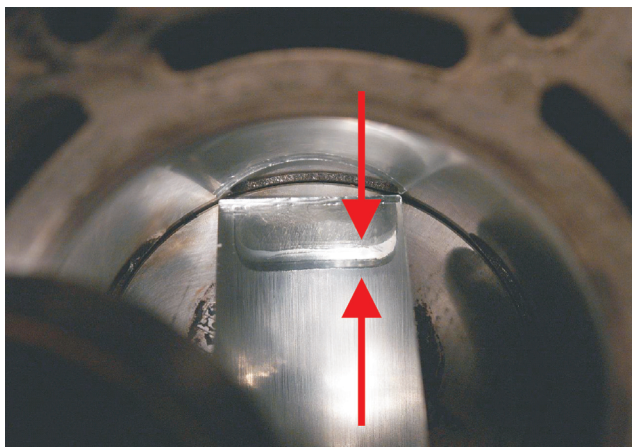
Pożądane zwiększenie pola przekroju okien płuczących jest utrudnione, gdyż niewskazane jest zwiększanie ich wysokości, a zwiększanie ich szerokości może prowadzić do powstania niebezpieczeństwa zakleszczania się pierścieni.

Największe korzyści dotyczące zwiększenia objętościowego i masowego wskaźnika mocy w silniku uzyskuje się

In order to improve the effect of increase of fresh charge speed, the lining of the ducts should be followed by increase of compression ratio in the crankcase to be performed by additionally gluing relatively large elements. The elements must be glued into the crankcase so as to ensure proper work of the crankshaft.

Once the increased pressure in the crankcase is ensured and the flow speed is increased in relation to the speed of a serial engine, the inlet windows located in the cylinder should also be shaped. The inlet window edge should be broken (Fig. 7) in order to ensure proper direction of fresh charge stream fed in the combustion chamber. The above is usually achieved by adequate grinding.

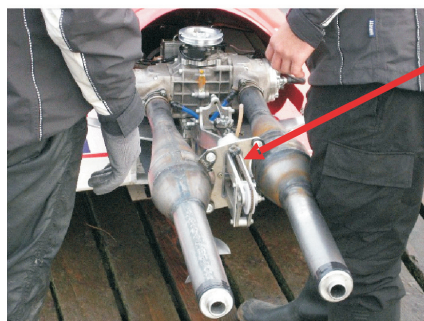
stosując wszystkie z wymienionych metod, jednak w proporcji, której określenie wymaga bardzo dużego doświadczenia konstrukcyjnego i zawodniczego.



Rys. 7. Widoczna w lusterku faza górnej krawędzi okna płuczącego
Fig. 7. Phasing of the top edge of the scavenging window visible in the mirror

Układ wylotu spalin w silnikach przyczepnych ma bardzo specyficzną budowę. W silnikach homologowanych (serii S i T) z kadłuba (tzw. główki) silnika przez kolektor wylotowy spaliny trafiają do kolumny silnika, w której jest umieszczony przewód wylotowy. Następnie spaliny przechodzą przez tzw. spodzinę (tj. obudowę przekładni i pompy wodnej, rys. 2), a wylot spalin odbywa się przez śrubę napędową do wody (rys. 8). Takie rozwiązanie układu wylotowego pozwala na ograniczenie hałasu, a część spalin rozpuszcza się w wodzie i nie jest emitowana do atmosfery. Ponadto gorące spaliny powodują zmniejszenie gęstości ośrodka bezpośrednio za śrubą pędnika zmniejszając jego opór. Modyfikacje układu wylotowego w silnikach homologowanych polegają na zwiększeniu pola przekroju kanałów wylotowych w celu zmniejszenia oporów przepływu i ułatwienia usuwania spalin z cylindra, a więc poprawy skuteczności i szybkości wymiany ładunku w przestrzeni roboczej cylindra.

W klasach otwartych układ wylotowy jest dowolny, co pozwala na swobodny wybór konstrukcji i jej parametrów. Na przewodzie wylotowym umieszcza się dyfuzor o odpowiedniej geometrii, a przewody wylotowe są całkowicie



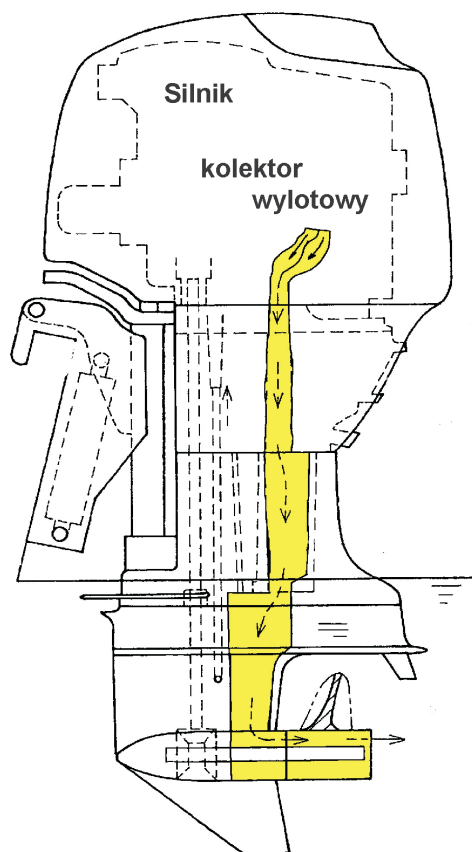
Możliwość dynamicznej regulacji długości przewodów wylotowych/
Possibility of dynamic control of exhaust outlet length



Rys. 9. Układ wylotowy silnika klasy otwartej
Fig. 9. The exhaust system of the open class engine

The desired increase of section field of scavenging windows is difficult, as it is not recommended to increase their height and increase of their width may lead to the danger of ring jamming.

The greatest advantages relating to power concentration in the engine are obtained by application of all of the above-mentioned methods. However, the methods need to be applied in a proportion, which can only be determined by an experienced designer and competitor.



Rys. 8. Układ wylotowy silnika homologowanego; kolorem żółtym oznaczono drogę wylotu spalin

Fig. 8. The exhaust system of an approved engine, exhaust duct is marked yellow

The exhaust system in attached engines has a very specific structure. In approved engines (S and T series) the exhaust gases get from the engine head, through the exhaust manifold to the engine column containing an exhaust duct. Next, the gases pass through the gearbox and are exhausted through the driving screw into water (Fig. 8). Such a solution of the exhaust system makes it possible to reduce noise. Some of the fumes are dissolved in water and not emitted into the atmosphere. Modifications of exhaust systems in approved engines involve an

przelotowe i zapewniają minimalne opory przepływu. Zewnętrzne powierzchnie tłumików opasane są otuliną wodną, która ma za zadanie ograniczenie hałasu do poziomu przewidywanego normą. Cechą charakterystyczną tego układu jest możliwość dynamicznej regulacji długości przewodów wylotowych, co zapewnia odpowiednie wykorzystanie zjawisk falowych i dopasowanie rezonansowej częstotliwości drgań każdorazowo do zmieniającej się prędkości obrotowej silnika. Układ wylotowy silnika klasy otwartej pokazano na rysunku 9.

3.2. Układ korbowo-tłokowy i cylindry

Celem zmian konstrukcyjnych w układzie korbowo-tłokowym silników homologowanych lub ich konstruowania w klasach otwartych jest maksymalna redukcja masy bądź jej koncentrowanie w pobliżu osi obrotu wału korbowego, aby zminimalizować masowy moment bezwładności, przy jednoczesnym zachowaniu zdolności do przenoszenia znacznych obciążeń mechanicznych i cieplnych. Elementy wirujące mogą być poddane dodatkowej obróbce w celu osiągnięcia wagi odnotowanej w karcie homologacyjnej, bez zmiany innych kryteriów podanych w opisie danej części. Dopuszczane jest także zmniejszenie masy na dużej średnicy koła zamachowego, dla którego dozwolona jest obróbka w celu wyrównoważenia koła, pod warunkiem, że jego wymiary i ciężar przewidziane w karcie homologacyjnej pozostaną niezmienione. Przepisy umożliwiają także zmniejszenie masy wałków znajdujących się w spodzinie oraz usunięcie kół zębatach biegu wstecznego występujących w silnikach seryjnych.

Zmniejszenie masy elementów ruchomych znajdujących się w silniku i w spodzinie pozwala na uzyskanie lepszych właściwości dynamicznych, czyli szybszego osiągania przez silnik większych prędkości obrotowych; często odbywa się to kosztem trwałości silnika – w serii „O” po około 60 min pracy konieczne jest przeprowadzenie przeglądu silnika i spodziny.

Modyfikacje układu korbowo-tłokowego mogą często prowadzić do znacznych uszkodzeń silnika, które wykluczają z dalszego współzawodnictwa podczas trwania zawodów. Przykładem może być zmniejszenie masy koła zamachowego, które ze względu na występujące drgania skrętne może doprowadzić do złomu zmęczeniowego wału silnika (rys. 10). Innym przykładem jest zmniejszenie masy elementów układu korbowo-tłokowego, które prowadzi do osłabienia konstrukcji poszczególnych jego elementów, co może powodować m.in. zatarcie tłoka w cylindrze (rys. 11a) lub zgięcie korbowodu (rys. 11b).

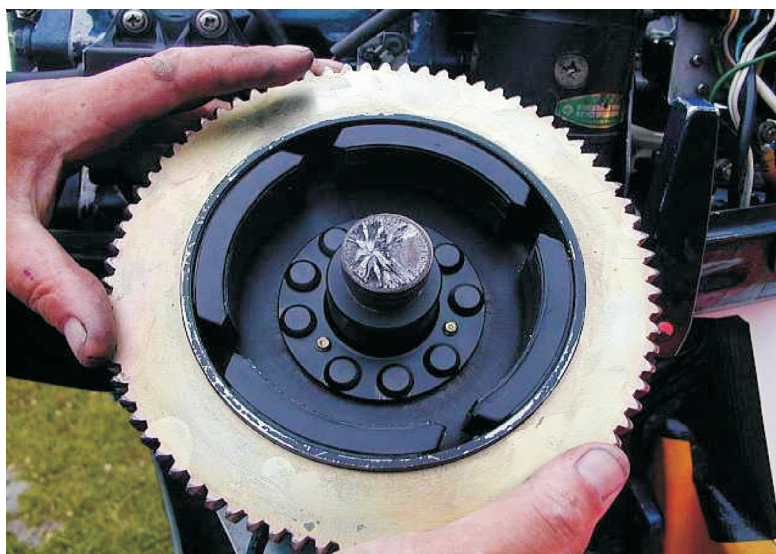
Modyfikacje układu korbowo-tłokowego stosowane są bardzo rzadko ze względu na możliwość poważnego uszkodzenia silnika. Muszą one być dobrze przemyślane i wykonane w bardzo wąskim zakresie, co powoduje zbyt mały wzrost wskaźników operacyjnych silnika w stosunku do pracy włożonej w zmiany konstrukcyjne.

increase of the section field of the exhaust ducts for the purpose of decrease of the flow resistances and facilitation of removal of the exhaust gases from the cylinder, which, in turn, improves the effectiveness and speed of charge exchange in the cylinder.

In open classes any exhaust systems may be fitted, which facilitates free selection of design and its parameters. A diffuser with appropriate geometry is mounted on the exhaust duct and exhaust ducts are fully air-breathing and endure minimum flow resistances. External surfaces of silencers are wrapped in water lining, which is to limit the noise to the level prescribed by a given standard. A characteristic feature of the system is its possibility of dynamic control of exhaust duct length, which ensures adequate use of wave phenomena and adjusting of resonance frequency of vibrations to each change of the engine speed. The exhaust system of the open class engine is presented in Fig. 9.

3.2. The assembly of crankshaft-pistons-connecting rods and the cylinders

The aim of design modifications in the assembly of crankshaft, pistons and connecting rods of type approved engines or open class engine designs is a maximum reduction of weight or its concentration in the proximity of the rotation axis for the purpose of minimization of the mass moment of inertia and with the preservation of capacity for carrying of considerable mechanical and thermal loads. The rotating elements may be subject to further treatment in order to achieve the weight recorded in the type approval card and without changes of other criteria given in the specification of a given part. It is also admissible to decrease the weight on the large diameter of the flywheel, which can be subject to treatment for the purpose of wheel balancing, upon the condition that the measurements and weight of the flywheel specified in the type approval card remain unchanged. Certain provisions also admit increase of the weight of shafts located in the gearbox and removal of toothed wheels of the reverse gear fitted in serial engines.



Rys. 10. Złom zmęczeniowy wału silnika pod kołem zamachowym

Fig. 10. Fatigue crack of the engine shaft under the flywheel



Rys. 11. Przykłady uszkodzeń układu korbowo-tłokowego: a) szlifowanie zatartego cylindra, b) zgięcie korbowodu
 Fig. 11. Examples of damage to the assembly of crankshaft, pistons and connecting rods: a) grinding of the seized cylinder, b) bending of connecting rods

3.3. Układ zasilania

Układ zasilania stosowany w przyczepnych silnikach wyczynowych jest stosunkowo prosty. Składa się on ze zbiornika paliwa, który jest tak dopasowany, aby paliwo w nim zawarte wystarczyło na jeden wyścig, a jego nadmiar nie zwiększał niepotrzebnie ciężaru łodzi. W układzie tym występuje mechaniczna pompa przeponowa, która wykorzystuje podciśnienie w skrzyni korbowej silnika i przetłacza paliwo do gaźnika (por. [1]).

Do zasilania silników wyczynowych omawianego rodzaju używane są obecnie tylko gaźniki. W celu zwiększenia podciśnienia w gaźniku zmienia się kształt wlotu powietrza do gaźnika przez jego frezowanie. Zmiana ta w silnikach homologowanych może być wykonana w bardzo wąskich granicach. W kolejnych latach U.I.M. zamierza w klasach „S” i „T” wprowadzić tzw. silniki niskoemisyjne (czterosuwowe) wyposażone w układ wtryskowy. Proces wprowadzania nowych silników będzie następował wraz z kończeniem się homologacji silników dwusuwowych.

Modyfikacje układu zasilania dokonuje się często podczas trwania zawodów. Polegają one głównie na doborze odpowiednich dyszy paliwowych, które pozwalają uzyskać właściwą mieszankę paliwowo-powietrzną w danych warunkach atmosferycznych (temperatura otoczenia, wilgotność powietrza, ciśnienie). Dobór właściwej dyszy podczas zawodów wynika z wieloletniego doświadczenia zawodnika i nie jest weryfikowany doświadczalnie. Nieprawidłowy dobór dyszy może spowodować powstanie nieodpowiedniej mieszanki paliwowo-powietrznej, co w konsekwencji może doprowadzić do wypalenia denka tłoka, zwykle przy wystąpieniu mieszanki zbyt ubogiej (rys. 12).

The decrease of weight of movable elements fitted in the engine and gearbox makes it possible to obtain better dynamic properties, i.e. quicker attainment by the engine of higher speed values, which is often done at the cost of engine life – in „O” series, it is necessary to perform inspection of the engine and gearbox after approx. 60 minutes of work.

Modification of the assembly of crankshaft, pistons and connecting rods may often lead to serious damage of the engine, which exclude competitors from further competition during races. As an example, the flywheel weight may be decreased, which, due to torsion, may lead to fatigue crack of the engine shaft (Fig. 10). Another example is the decrease of the mass of the assembly of crankshaft, pistons and connecting rods, which leads to weakening of the structure of particular elements of the assembly, which may result in, among others, seizure of the piston in the cylinder (Fig. 11a) or bending of the connecting rods (Fig. 11b).

The assembly of crankshaft, pistons and connecting rods is rarely modified due to a danger of serious damage to the engine. Such modifications must be well considered and made in a narrow scope, which results in too low growth of engine work indexes in relation to the work performed to make the design changes.

3.3. The fuel supply system

The fuel supply system used in high-performance attached engines is relatively simple. It is composed of a fuel container adjusted so that there would be enough fuel in the container for one race and any excess fuel would not unnecessarily increase the boat weight. The system uses a mechanical membrane pump, which uses vacuum in the engine crankcase and pumps fuel to the carburetor (see [1]).

Presently only carburetors are used for powering of the discussed high-performance engines. In order to increase



Rys. 12. Wypalenie denka tłoka spowodowane niewłaściwym stosunkiem mieszanki paliwa z powietrzem

Fig. 12. The burning of the piston crown is caused by inadequate fuel/air ratio in the mixture

4. Stosowane paliwo

Najprostszym sposobem polepszenia parametrów pracy silnika, szczególnie jego mocy, jest dobór odpowiedniego paliwa. Aby przeciwdziałać całkowitej dowolności i zapewnić uczciwe warunki rywalizacji na torach wodnych wprowadzono ograniczenia dotyczące rodzaju używanego paliwa w danych klasach i seriach. W seriach sportowych i turystycznych paliwo dostarczane jest przez organizatora zawodów. Jest to paliwo handlowe, którego specyfikacja jest podawana przed rozpoczęciem zawodów. Paliwo to jest sprawdzane dodatkowo przez komisję techniczną za pomocą urządzenia Digatron (rys. 13). Pozwala ono na wykonanie pomiaru gęstości paliwa lub pomiaru przenikalności dielektrycznej.

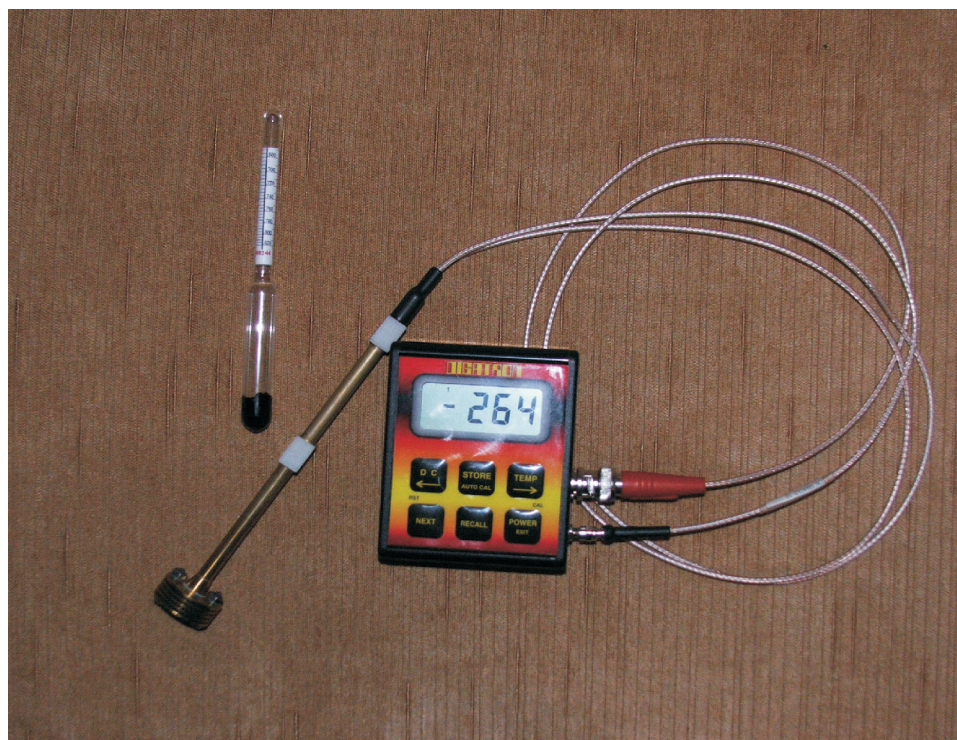
W klasach otwartych paliwem musi być metanol (CH_3OH) lub etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), przy czym paliwo może zawierać wodę. Do

the negative pressure in the carburetor, the shape of air inlet to the carburetor may be changed by its milling. Such a change may be made in type approved engines only to a limited extent. In the next years U.I.M. intends to introduce in "S" and "T" classes the so-called low-emission (four-stroke) engines fitted with an injection system. The process of introduction of the new engines shall proceed following the end of the type approval of two stroke engines.

Modifications of the fuel supply systems are often made during races. They mainly involve selection of appropriate fuel jets, which make it possible to obtain a proper mixture of fuel and air in given atmospheric conditions (ambient temperature, air humidity and pressure). The selection of an appropriate fuel jet during the race results from a competitor's experience and may not be verified by any experiments. The improper selection of fuel jets may result in obtaining of an inadequate mixture of fuel and air, which, as a consequence, may lead to burning of the piston crown, which often takes place in the case of a lean mixture (Fig. 12).

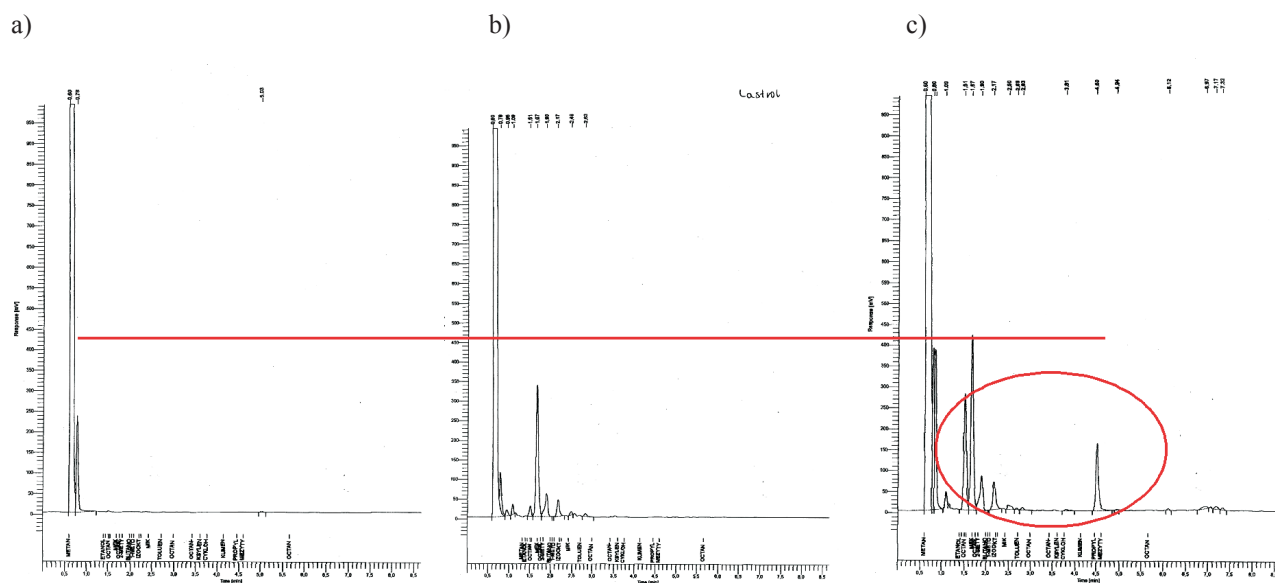
4. The fuel

The simplest method of improvement of engine work parameters and, in particular, engine power, is the selection of appropriate fuel. In order to prevent total freedom and ensure fair conditions of competition in water



Rys. 13. Przyrząd Digatron 47FT służący do testowania legalności paliwa na zawodach

Fig. 13. Digatron 47FT device used for testing of fuel compliance with legal provisions during races



Rys. 14. Kontrola legalności paliwa przeprowadzona na chromatografie: a) czysty metanol, b) metanol + olej do silników dwusuwowych, c) metanol + olej do silników dwusuwowych + niedozwolone dodatki

Fig. 14. The inspection of fuel compliance with legal provisions as performed with the use of a chromatograph: a) pure methanol, b) methanol + oil for two stroke engines, c) methanol + oil for two stroke engines + prohibited additions

paliwa można dodawać jedynie olej smarujący do silników dwusuwowych. Zabronione jest użycie jakiegokolwiek innego dodatku zarówno do paliwa (nawęglacz), jak i do wlotu powietrza (dopalcacz).

Podstawą kwalifikacji zawodnika są wyniki testu legalności paliwa przeprowadzane na urządzeniu Digatron. Paliwo do badania pobiera się ze zbiornika paliwa w łodzi bezpośrednio po zakończeniu wyścigu. Wyniki takie mogą być dodatkowo zweryfikowane na chromatografie. Na rysunku 14 przedstawiono przykładowe wyniki badania trzech próbek paliwa.

Paliwo z pierwszej próbki (rys. 14a) to czysty metanol służący jako widmo podstawowe, do którego przyrównywane są pozostałe próbki. Druga próbka (rys. 14b), to paliwo wymieszane w odpowiedniej proporcji z olejem do silników dwusuwowych. Ta próbka wykazuje, jaki skład mają oleje i potwierdza, że w zastosowanym oleju nie ma związków zabronionych (nawęglaczy i dopalcaczy). Próbka trzecia (rys. 14c) pochodzi z paliwa pobranego od zawodnika podczas zawodów. Paliwo to zawiera – zgodnie z deklaracją zawodnika – czysty metanol oraz olej do silników dwusuwowych taki, jaki wykorzystano w próbce drugiej. Na podstawie otrzymanych wyników z chromatografu można jednak stwierdzić, że próbka trzecia zdecydowanie różni się od dwóch pozostałych i zawiera niedozwolone związki chemiczne. Przykład ten wskazuje na niedozwolone zmiany składu paliwa przez zawodnika. Nie przeprowadzono jednak analizy wpływu zastosowanych związków dodatkowych na zwiększenie parametrów operacyjnych silnika.

5. Porównanie wskaźników operacyjnych

Wyczynowe silniki przyczepne charakteryzują się bardzo specyficzną budową. Wszystkie modyfikacje, jakim podda-

racetracks, limitations have been introduced relating to the type of fuel used in given classes and series. In sports and touring classes fuel is provided by the organizer of the races. It is commercial fuel, the specification of which is provided before the start of the races. Additionally, the fuel is certified by a technical committee with Digatron device (Fig. 13). The device makes it possible to measure fuel density and dielectric penetration.

In open classes methanol (CH_3OH) or ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) must be used and fuel may contain water. Oil may only be added to the fuel for two stroke engines. It is prohibited to use any other additions both in the fuel (carburetor) and in the air inlet (afterburner).

The basis for qualification of a competitor is the results of fuel compliance tests performed with the use of Digatron device. The fuel for testing is sampled from the fuel container directly after completion of the race. Such results may be additionally verified with the use of a chromatograph. Fig. 14 presents examples of test results of three fuel samples.

The first fuel sample (Fig. 14a) contains pure methanol as a basic spectrum, to which other samples are compared. The other sample (Fig. 14b) contains fuel mixed in adequate proportion with oil for double-stroke engines. The sample shows the composition of oils and confirms that there are no prohibited compounds in the used oil (carburetors and afterburners). The third sample (Fig. 14c) originates from the fuel collected from a competitor during the races. According to the competitor's declaration, the fuel contains pure methanol and oil for two stroke engines identical with the oil used in the second sample. On the basis of the results obtained with the use of the chromatograph, one may confirm that the third sample is decisively different from the other two samples and contains prohibited chemical compounds. The example shows that the competitor made

Tabela 2. Porównanie wskaźników operacyjnych różnych silników spalinowych z wyczynowymi silnikami przyczepnymi
 Table 2. The comparison of operating indexes of various diesel engines to high-performance attached engines

				Silniki/Engines					
Lp./ Pos.	Nazwa parametru/ Parameters	jedn./unit	okrętowy/ vessels	samochodowy/ for cars		modelarski/ models	F1	zaburtowy/ outboard	zaburtowy/ outboard
				ZI/SI	ZS/CI			wyczynowy "T"/ high performance "T"	wyczynowy "O"/ high performan- ce "O"
Parametry konstrukcyjne/Design parameters									
1	Rodzaj zapłonu/ Type of ignition	---	ZS	ZI	ZS	ZI	ZI	ZI	ZI
2	Liczba suwów/ Cycles	---	2	4	4	2	4	2	2
3	Objętość skokowa/ Displacement	dm³	6 933,120	3,588	1,997	0,001	2,993	0,492	0,494
4	Stopień sprężania/ Compression ratio	---		11	16	10			
5	Liczba cylindrów/ Cylinder number	---	6	6	4	1	10	2	4
6	Średnica cylindrów/ Bore	mm	800	91	86	12,0	98	70	54
7	Skok tłoka/Stroke	mm	2 300	92	86	13,0	40	64	54
8	S/D/Bore/Stroke ratio	mm	2,88	1,01	1,00	1,08	0,41	0,91	1,00
9	Obj. skok. 1 cyl./ Cyl. displacement	cm³	1 155 520,0	598,1	499,3	1,470	299,3	246,2	123,6
10	Doładowanie/ Supercharging	---	tak	nie	tak	nie	nie	nie	nie
11	Masa silnika/Engi- ne weight	kg	740 000	160	140	0,12	95	59	42
Wskaźniki pracy/ Operating indexes									
12	Moc znamionowa Power rating	kW	21 000	353	110	0,15	670	29,4	184,0
13		KM	28 560	480	150	0,20	910	40	250
14	przy pr. obrotowej/ by engine speed	obr/min	104	6 000	4 200	11 400	18 500	5 800	15 000
15	Średnia prędk. tłoka/Mean piston speed	m/s	7,97	18,40	12,04	4,94	24,48	12,37	27,00
16	Max moment obr./ Max torque	N · m	1 929 201	680	400	0,12	370,0	48,5	117,2
17	przy pr. obrotowej/ by engine speed	obr/min	104	2 000	1 400	11 000	17 000	4 500	13 000
18	Moc jednostkowa/ Unit power	kW/dm³	3,0	98,5	55,3	100,2	233,8	59,8	372,1
19	Moc z cylindra/ Cyl. power	kW/cyl.	3 500,0	58,9	27,6	0,1	67,0	14,7	46,0
20	Maks. praca jedn./ Max unit work	N·m/dm³	278,3	189,5	200,3	83,9	123,6	98,5	237,0
21	P _{e max} /Max BMEP	MPa	3,49	2,38	2,52	1,05	1,55	1,24	2,98
22	Masa jednostkowa/ Unit weight	kg/kW	35,24	0,45	1,27	0,82	0,14	2,00	0,23

*) Dot. wolnoobrotowego (n < 150 obr/min) silnika napędu głównego statków towarowych

wane są te silniki powodują, że osiągają one wyróżniające się wskaźniki operacyjne (tab. 2). Najkorzystniej w porównaniach wypada silnik serii otwartej. Moc jednostkowa, jaką osiąga ten silnik jest większa niż moc osiągana przez silniki stosowane do napędu samochodów Formuły 1. Maksymalne wartości ciśnienia użytecznego są na poziomie wartości typowych dla wolnoobrotowych silników okrętowych napędu głównego, a masa jednostkowa jest podobna jak w samochodowej Formule 1.

Z porównania tego wynika, że wyczynowe silniki przyręczepne uzyskują osiągi przekraczające wartości wskaźników operacyjnych najlepszych silników samochodowych i są zbliżone do wartości charakterystycznych dla silników Formuły 1; podobnie jak w nich także w wyczynowych silnikach zaburtowych nie stosuje się ograniczeń emisji związków toksycznych.

6. Podsumowanie

Wyczynowe silniki zaburtowe występują w różnych seriach i klasach sportowych o zróżnicowanym zakresie dopuszczalnych przeróbek i modyfikacji. W artykule przedstawiono najważniejsze cechy konstrukcyjne takich silników oraz wskazano na zakres najczęściej stosowanych modyfikacji konstrukcji w zależności od klas i serii motorowodnych.

Silniki serii otwartej „O” charakteryzują się oryginalną, często niepowtarzalną konstrukcją. Zakres przeróbek silnika dotyczy zarówno zmian konstrukcji i technologii wykonania podstawowych elementów, jak i istotnych zmian w jego regulacji (dostrojenie silnika), często ustalanych na pojedyncze wyścigi. Niektóre stosowane nietypowe rozwiązania mają charakter nowatorski i czasami zapoczątkowują pewne tendencje rozwojowe w konstrukcji określonego rodzaju silników.

Przeróbki silnika wynikają z wiedzy i doświadczenia zawodników i nie są weryfikowane żadnymi badaniami stanowiskowymi. Stosowane zmiany powodują bardzo wyraźne zwiększenie osiągnięć silników, lecz także ograniczenie ich żywotności (czasem do jednego wyścigu).

Artykuł recenzowany

prohibited changes in the fuel composition. However, there was no analysis of the influence of the used additional compounds upon the increase of engine work parameters.

5. The comparison of work indexes

High-performance attached engines are characterized by very specific structure. All modifications, to which such engines are subject, make the engines achieve outstanding work parameters (Table 2). Open series engines take the most favorable rank in the comparison. The unit power attained by the engine is higher than that of the engines adjusted to Formula 1 vehicle drives. Maximum effective pressure equals that of ship engines and the unit weight is similar to that of Formula 1 vehicles.

It results from the comparison that high-performance attached engines attain performance results exceeding the values of work indexes of the best vehicle engines and approximately equal the values characteristic for Formula 1 engines. Similarly to Formula 1 ones, the outboard high-performance engines have no limitations of toxic compound emission.

6. Conclusions

There are various sports series and classes of outboard high-performance engines and they have diversified scopes of permissible alterations and modifications. The paper presented the most significant design features of such engines and indicated the scope of most frequent design modifications depending on water motor classes and series.

The open series engines are characterized by a unique design. The scope of engine alterations involves both design and technology changes of basic elements as well as significant changes in the engine adjustment (tune-up), which are often established for given races. Some untypical solutions have innovative character and sometimes they initiate certain development trends in the design of a certain type of engines.

Any alterations made in the engine result from competitors' knowledge and experience and may not be verified by any stationary tests. The changes applied lead to visible increase of performance results of engines and, at the same time, limit their life (sometimes to a single race).

Literatura/Bibliography

- [1] Czajka J., Wisłocki K.: Rozwój konstrukcji silników przyręczepnych do łodzi motorowych (*Development of outboard engines*). Silniki Spalinowe nr 1/2007, s. 20-42.
- [2] Regulamin UIM wydany przez Polski Związek Motorowodny i Narciarstwa Wodnego w 2006 roku (Regulamin UIM: www.uimpowerboating.com).
- [3] Wewnętrzne materiały szkoleniowe Polskiego Związku Motorowodnego i Narciarstwa Wodnego PZMWiNW.
- [4] www.arensmotor.de
- [5] www.mercurymarine.com
- [6] www.suzukimarine.com

Mgr inż. Jakub Czajka – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

Mr Jakub Czajka, MEng. – Postgraduate in the Faculty of Working Machines and Transportation at Poznan University of Technology.



Dr hab. inż. Krzysztof Wisłocki – profesor nadzw. na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

Mr Krzysztof Wisłocki, DSc, DEng. – Professor in the Faculty of Working Machines and Transportation at Poznan University of Technology.

