

THE TEST STAND FOR INVESTIGATION OF COOLING SYSTEMS OF COMBUSTION ENGINES

Jerzy Walentynowicz

*Military University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland
tel./fax: +48 22 6839565
e-mail: jwalentynowicz@wat.edu.pl*

Abstract

The model test stand designed and made for investigation of different solutions of the cooling systems for piston combustion engines was described on this study. The test stand was composed of three basic sets: the frame of the diesel engine (head and the block of cylinders) with electric heaters inside cylinders, the cooling system on the separate frame and the water pump with the electric propulsion system, controlled by programmed inverter. The electrical heaters are placed in cylinders and divided on three diverse power segments, the highest power on the top of segments and the smallest in the bottom part, suitably to the temperature distribution in the engine. Thirty five thermocouple enabling measures of the temperature distribution inside the engine frame were placed in the engine corps. The units of the investigated liquid cooling system and units for controlling of the cooling intensity were placed on frame facilitating choosing the separate units. The water pump with the controlled and programmed rotor speed makes possible the change of the intensity of the cooling liquid flow and carry away of heat from the engine frame. Preliminary investigations showed the correctness of all units work and the considerable diversification of the temperature inside the engine.

Keywords: combustion engines, cooling systems, test stand

STANOWISKO TESTOWE DO BADANIA UKŁADÓW CHŁODZENIA SILNIKÓW SPALINOWYCH

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono zaprojektowane i wykonane modelowe stanowisko do badania różnych rozwiązań układów chłodzenia do tłokowych silników spalinowych. Stanowisko składa się z trzech podstawowych zespołów: korpusu silnika o zapłonie samoczynnym (głowica i blok cylindrów) z elektrycznymi grzałkami wewnątrz cylindrów, zespołu chłodzenia na oddzielnej ramie, pompy wodnej z napędem elektrycznym, sterowanej za pomocą programowanego falownika. Grzałki umieszczone w cylindrach są podzielone na trzy segmenty o zróżnicowanej mocy, największej w segmencie górnym i najmniejszej w części dolnej, odpowiednio do temperatury w silniku. W korpusie umieszczono 35 termoelementów umożliwiających ocenę rozkładu temperatury wewnątrz korpusu. Zespoły układu chłodzenia cieczy i sterowania intensywnością chłodzenia umieszczono na ramie ułatwiającej dobieranie poszczególnych zespołów tego układu. Pompa wodna z programowaną prędkością obrotową umożliwia zmiany intensywności przepływu cieczy i odprowadzania ciepła z korpusu silnika. Przeprowadzone badania wstępne stanowiska wykazały poprawność pracy jego układów oraz znaczne zróżnicowanie temperatury wewnątrz silnika.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, układy chłodzenia, stanowisko badawcze

1. Wprowadzenie

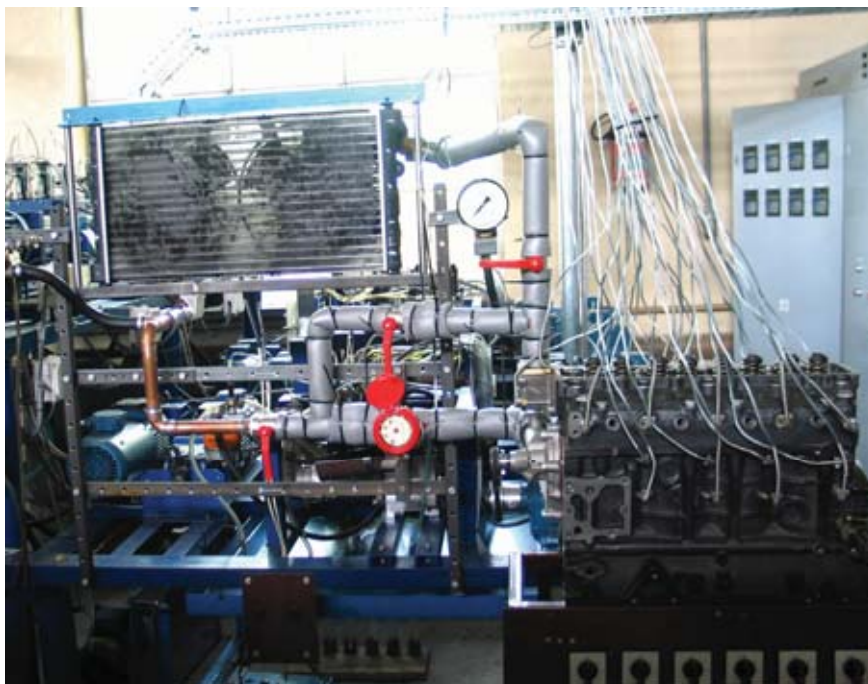
Badania nowych rozwiązań układów chłodzenia na stanowiskach dynamometrycznych podczas pracy silnika mogą być niebezpieczne dla obiektu badań, który może łatwo ulec przegrzaniu

i zatarciu, a także dla stosowanych podczas badań urządzeń, pracujących w podwyższonej temperaturze. Konieczność umocowania osprzętu do kadłuba silnika utrudnia zamontowanie wielu czujników niezbędnych do oceny równomierności chłodzenia silnika (rozkładu temperatury), istotnej dla trwałości silnika. Ponadto podczas badań całych silników zużywane jest paliwo i emitowane są spaliny. Dlatego do badań i sprawdzania poprawności nowych koncepcji i rozwiązań układów zasilania zostało opracowane i zbudowane modelowe stanowisko badawcze, w którym zmiany temperatury są osiągane za pomocą grzałek elektrycznych. Jest to uproszczenie możliwe do przyjęcia albowiem pulsacje temperatury spowodowane cyklicznym spalaniem są „zauważalne” do głębokości ok. 2mm, a dalej przepływ ciepła jest równomierny. Stanowisko takie umożliwia ponadto łatwe sterowanie urządzeniami i zespołami układów chłodzenia oraz ułatwia eksperymentalny dobór parametrów sterowania takimi układami.

2. Budowa stanowiska i jego układów

Stanowisko do badania układów chłodzenia zostało wykonane przy wykorzystaniu zespołów silnika 4CT90. Składa się ono z trzech podstawowych zespołów (rys. 1):

- układu chłodzenia cieczy, który został umieszczony na ramie, co ułatwia dobieranie jego konfiguracji,
- kadłuba silnika (blok cylindrów i głowica z zaworami) wraz z zestawem termoelementów do pomiarów temperatury z wybranych miejsc płaszcza wodnego silnika,
- pompy wodnej z napędem elektrycznym z prędkością obrotową programowaną odpowiednio do zakresu prędkości obrotowej w silniku.

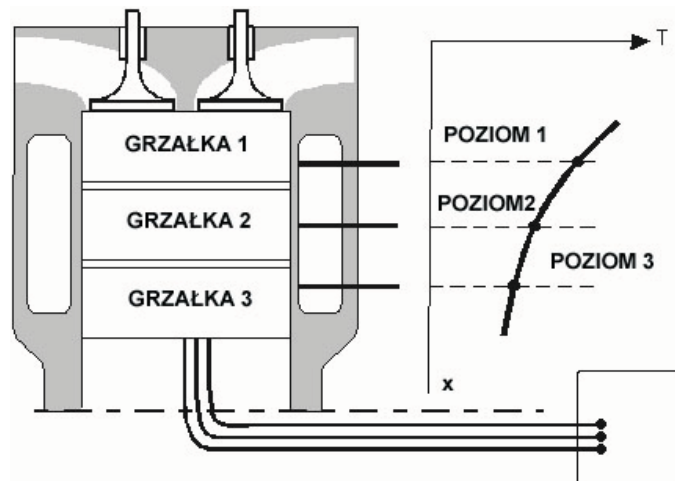


Rys. 1. Widok stanowiska modelowego do badania układów chłodzenia
Fig. 1. View of the model stand for investigation of cooling systems

Podstawowym zespołem stanowiska oraz źródłem ciepła przejmowanego przez układ chłodzenia był blok cylindrów z kompletną głowicą silnika. Wewnątrz każdego cylindra umieszczono po trzy elementy grzejne o zróżnicowanej mocy elektrycznej, przylegające ściśle do jego ścianek (rys. 2):

- grzałka górna o mocy 2,5kW,
- grzałka środkowa o mocy 1,5 kW,
- grzałka dolna o mocy 1 kW.

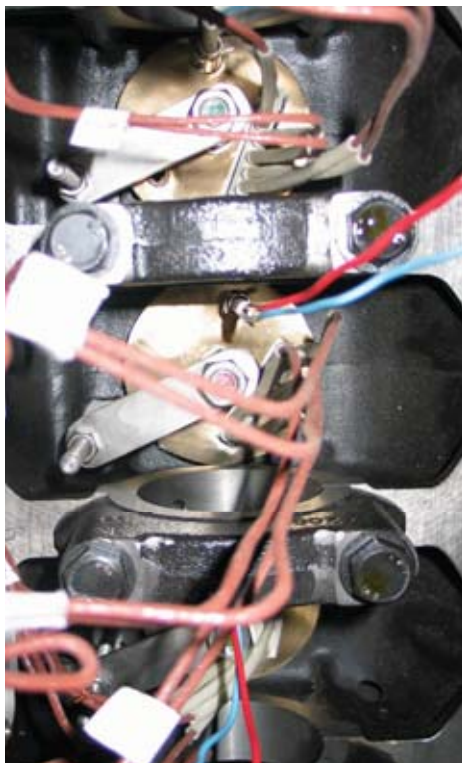
W każdym z segmentów grzałek znajdował się drut oporowy wewnątrz porcelanowych izolatorów, przylegających do ścianek cylindra i wypełniających jego wnętrze.



Rys. 2. Rozmieszczenie grzałek wewnątrz cylindrów silnika
Fig. 2. Heaters localizations inside engine cylinders

Moc poszczególnych grzałek dobrano na podstawie wcześniej wykonanych pomiarów rozkładu temperatury wzdłuż cylindrów badanych wcześniej silników. Przewody elektryczne wyprowadzone z każdej grzałki połączono z włącznikami elektrycznymi prądu trójfazowego w układzie „trójkąt” lub „gwiazda”, co dodatkowo zwiększyło możliwości kształtowania mocy elektrycznej każdego zespołu grzejnego (rys. 3b).

a)



b)



Rys. 3. Zespół grzania korpusu silnika 4CT90: a – grzałki wewnątrz cylindrów z wyprowadzonymi elektrycznymi przewodami zasilającymi, b – zestaw włączników grzałek elektrycznych oraz wskaźników temperatury wewnątrz grzałek

Fig. 3. Heating sets of the 4CT90 engine: a – heaters inside cylinders with conductors for electric energy supply, b – switch-keys sets of electric heaters and indicators of temperature inside heaters

W płaszczu wodnym kadłuba i głowicy silnika umieszczono 35 termoelementów przedstawionych na rysunku 4. Pozostałe wolne wejścia trzech kart przetworników analogowo cyfrowych były przeznaczone do podłączenia innych termoelementów, które mierzyły temperaturę w wybranych miejscach obiegu cieczy chłodzącej.

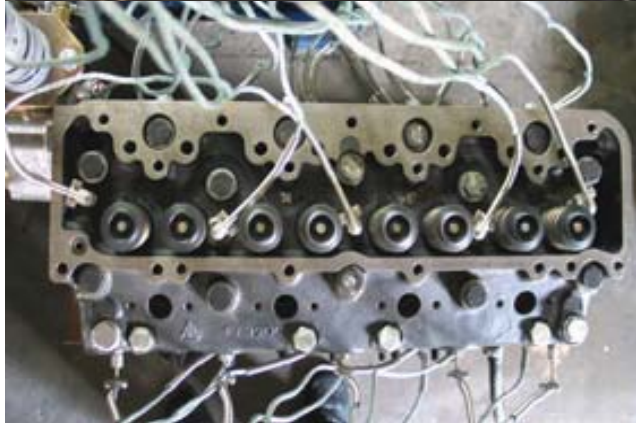
a)



b)



c)



Rys. 4. Rozmieszczenie termoelementów w korpusie silnika: a – z prawej strony kadłuba, b – z lewej strony kadłuba, c – w głowicy silnika

Fig. 4. Distribution of thermocouples in the engine frame: a – view from right side of the frame, b – view from left side of the frame, c – view of the engine head

Wymiary termoelementów (długość i kształt zakończenia - spoiny) były dobrane odpowiednio do miejsca zamontowania termoelementu tak, aby po wkręceniu w otwór końcówka termoelementu dotykała do wewnętrznej ścianki płaszczu wodnego. Dokładne ulokowanie termoelementu w tym płaszczu zapewniały nawiercenia na głębokość ok. 2 mm. Każdy z termoelementów był osadzony w gnieździe zaciskowym, co umożliwiała dodatkowo dowolne ustawianie położenia termoelementu w płaszczu wodnym wzdłuż osi gniazda.

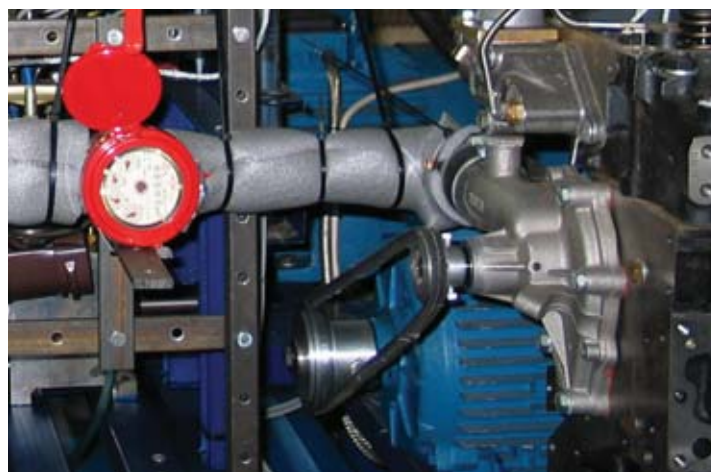
Termoelementy w bloku cylindrów były umieszczone na trzech poziomach: poziom 1 znajdował się 30 mm od górnej krawędzi bloku, termoelementy na poziomie 2 były umieszczone na wysokości 90 mm od górnej krawędzi bloku, a termoelementy na poziomie 3 znajdowały się w odległości około 160 mm od górnej krawędzi.

Przewody wyjściowe z poszczególnych termoelementów połączono z układem kondycjonowania sygnałów, a następnie z trzema kartami przetworników analogowo-cyfrowych, umieszczonych w komputerze. Zestaw ten umożliwiał automatyczną rejestrację przebiegów zmiany przebiegów temperatury w czasie pracy stanowiska (rys.5).



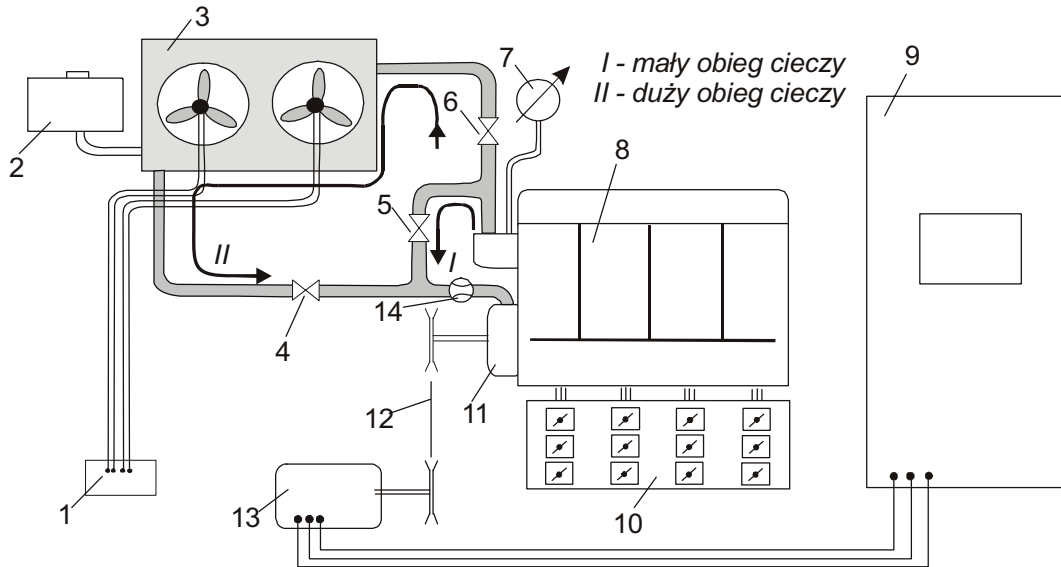
Rys. 5. Zestaw do rejestracji temperatury z wejściami do trzech kart pomiarowych
Fig. 5. The set for temperature registration with input for three measures cards

Do wymuszenia przepływu cieczy chłodzącej zastosowano pompę wodną silnika 4CT90 napędzaną za pomocą oddzielnego silnika elektrycznego, umieszczonego obok bloku cylindrów i połączonego z pompą za pomocą przekładni pasowej (rys. 6). Silnik ten był sterowany za pomocą falownika z bezstopniową regulacją prędkości obrotowej w zakresie 0...1850 obr/min. Przełożenie przekładni pasowej dobrano tak, aby pompa wodna osiągnęła prędkość odpowiadającą znamionowej prędkości obrotowej silnika. Zmiany prędkości obrotowej w czasie pracy mogły być ustawiane ręcznie lub programowane za pomocą mikrokontrolera, będącego na wyposażeniu zastosowanego falownika.



Rys. 6. Pompa wodna z napędem elektrycznym
Fig. 6. Water pump with electrical propulsion

Układ chodzenia stanowiska badawczego składał się z zespołów przedstawionych na rysunku 7. Ciecz mogła krążyć w małym i dużym obiegu poprzez odpowiednie ustawienie trzech zaworów (4, 5, 6). Natężenie przepływu cieczy było mierzone za pomocą przepływomierza (14), a do pomiaru ciśnienia wewnątrz przestrzeni wodnej korpusu zastosowano manometr (7). W dużym obiegu wody była umieszczona chłodnica (3) z dwoma, niezależnie włączanymi wentylatorami. Obok chłodnicy znajdował się zbiornik wyrównawczy (2) z zaworem pełniącym rolę zaworu bezpieczeństwa. Oryginalna pompa wodna z silnika 4CT90 była umocowana bezpośrednio do korpusu silnika i napędzana za pomocą silnika elektrycznego z programowanym falownikiem (wykorzystano jedno z ośmiu wyjść zespołu falowników umieszczonych w szafie sterującej).



Rys. 7. Schemat stanowiska z badanym układem chłodzenia: 1 – zasilania wentylatora, 2 – zbiornik wyrównawczy, 3 – chłodnica, 4...6 – zawory przepływu cieczy chłodzącej, 7 – manometr, 8 – kadłub silnika o zapłonie samoczynnym, 9 – programowany falownik, 10 – zestaw włączników, 11 – pompa wodna, 12 – przekładnia pasowa, 13 – silnik elektryczny, 14 – przepływomierz

Fig. 7. Scheme of test stand with investigated cooling system: 1 – switch-key for fan supply, 2 – compensation tank, 3 – cooler, 4...6 – valves of flow cooling fluid, 7 – manometer, 8 – diesel engine frame, 9 – programmed inverter, 10 – switch-key set, 11 – water pump, 12 – transmission, 13 – motor, 14 – flow meter

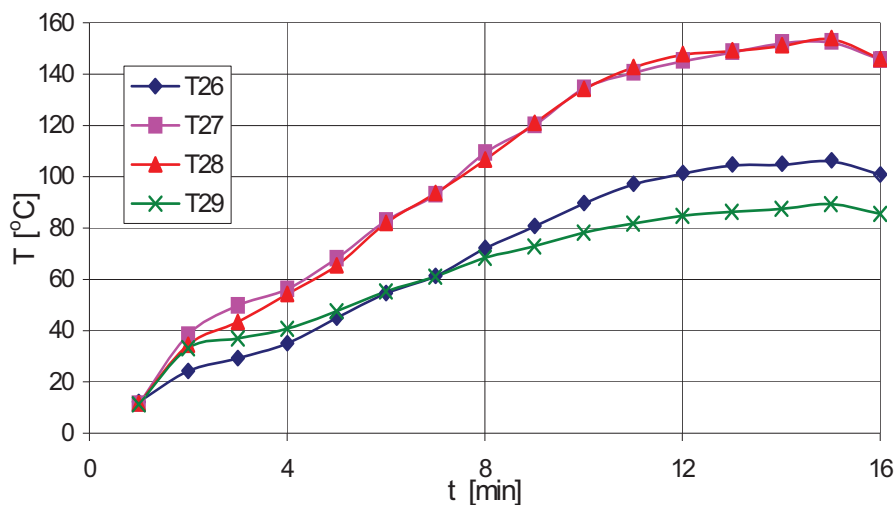
Przedstawiona konfiguracja układu chłodzenia jest jednym z badanych wariantów, a umieszczenie poszczególnych zespołów na ramie umożliwia szybką zmianę konfiguracji układu.

3. Przykłady wyników badań na stanowisku

Podczas badań testowych stanowiska badawczego rejestrowano zmiany temperatury w trakcie rozgrzewania korpusu silnika przy pracującej pompie wodnej. Po włączeniu grzałek następował ciągły, systematyczny wzrost temperatury cieczy wewnątrz układu chłodzenia oraz kadłuba silnika. Rozkłady temperatury wewnątrz bloku cylindrów nie były równomierne (rys. 8). Na przykładzie rozkładu temperatury bloku cylindrów na pierwszym poziomie (ok. 30 mm od górnej luty bloku) widoczne jest znaczne zróżnicowanie temperatury wewnętrznych ścianek płaszcza wodnego. Między cylindrami 2 i 3 oraz 3 i 4 temperatura ta osiągała maksymalnie ok. 150°C (T27, T28), podczas gdy w tym samym czasie temperatura między 1 i 2 cylindrem nie przekraczała 106°C (T26), a za czwartym cylindrem, a punkcie T29 była najniższa i wynosiła ok. 90°C.

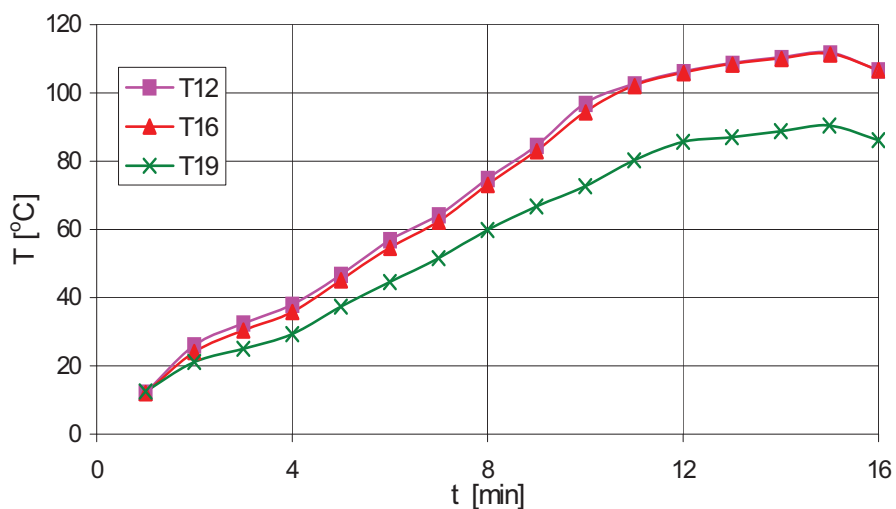
Temperatura ścianek silnika z lewej strony była zdecydowanie niższa niż z prawej strony (por. rys. 8 i 9). Na pierwszym poziomie temperatura między 3 i 4 cylindrem wynosiła około 115°C (T12), podczas gdy po przeciwnej stronie bloku cylindrów była ona wyższa o około 35°C

(por. punkt 28). Zdecydowanie najniższa była temperatura na poziome trzecim, w odległości ok. 160 mm od górnej pyty bloku cylindrów.



Rys. 8. Zmiany temperatury podczas rozgrzewania - blok silnika, lewa strona na pierwszym poziomie: między 1 i 2 cylindrem (T26), między 2 i 3 cylindrem (T27), między 3 i 4 cylindrem (T28), za 4 cylindrem (T29)

Fig. 8. Temperature changes during heating – cylinder block, left side on the first lever: between 1 and 2 cylinder (T26), between 2 and 3 cylinder (T27), between 3 and 4 cylinder (T28), over 4 cylinder (T29)



Rys. 9. Zmiany temperatury podczas rozgrzewania - blok silnika prawa strona między 4 i 3 cylindrem: poziom 1 (T12), poziom 2 (T16), poziom 3 (T19)

Fig. 9. Temperature changes during heating – cylinder block, right side between 4 and 3 cylinder: first lever: (T12), second level (T16), third level (T19)

Przedstawione zróżnicowanie temperatury ścianek nie można bezpośrednio przełożyć na temperaturę wody, której temperatura wrzenia jest znacznie niższa od temperatury zarejestrowanej przez termoelementy, aczkolwiek w miejscach zwiększonej temperatury występowały szczególnie korzystne warunki do zamiany wody w parę wodną. Ponadto przy jednakowej mocy grzałek w każdym cylindrze takie zróżnicowanie temperatury może świadczyć o gorszym przepływie cieczy chłodzącej w tych miejscach co w efekcie sprzyja powstawaniu korków parowych, dodatkowo pogarszających chłodzenie.

Przedstawiona konfiguracja układu chłodzenia była jednym z badanych wariantów. Łatwe komponowanie poszczególnych konfiguracji umożliwiało umieszczenie zespołów na ramie, aczkolwiek zwiększało to pojemność układu chłodzenia.

4. Wnioski

1. Opracowane i zbudowane stanowisko umożliwia badania różnych rodzajów układów chłodzenia, zbudowanych w różnej konfiguracji z programowaną intensywnością chłodzenia cieczy chłodzącej bez konieczności prowadzenia ryzykownych badań na pracującym silniku. Ponieważ badania są prowadzone przy braku osprzętu silnika, możliwe było zamontowanie w korpusie silnika dużej liczby termoelementów, pozwalających na ocenę intensywności chłodzenia poszczególnych fragmentów korpusu silnika.
2. Stanowisko i wszystkie jego układy działały bez zarzutu podczas badań rozpoznawczych. Uzyskano przebiegi temperatury w różnych miejscach płaszcza wodnego silnika.
3. Stwierdzono znaczną nierównomierność chłodzenia poszczególnych ścianek płaszcza wodnego silnika, co potwierdza celowość badania równomierności chłodzenia podczas prac na układami chłodzenie i konieczność odpowiedniego kształtowania przestrzeni płaszcza wodnego.

Literatura

- [1] Walentynowicz, J., *Wyznaczanie bilansu cieplnego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym*, Biuletyn WAT, nr 2/2006, str. 265-277, 2006.

Pracę zrealizowano w ramach projektów badawczych nr N502 046 32/3627 oraz 8T12D01621 finansowanych przez KBN.