

INVESTIGATION OF THE VAPOUR COOLING SYSTEM ON THE TEST STAND

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 results of preliminary investigations of vapour cooling system for combustion piston engine made on the test stand were presented in this paper. The test stand was designed and made especially for applied research new different concept of cooling systems for combustion engines.

Checking the correctness of the operation of the cooling system was the main aim of this investigations, so as could be obtained constant temperature level of liquid cooling during heating interior of the engine corps (the block of cylinders and head). The cooling system consisted of the separator of water steam, radiator fulfilling tasks of the vapour condenser and water pump pushed water and vapour to the engine corps. The set of thermocouple was placed in the system for measure the temperature in many points of the cooling system, two flow meters to the measurement of the water flow and condenser and manometer to the measurement of the pressure in the system.

Large difficulties with keeping stable and durable level of the temperature which prevents excessive the increase pressure were affirmed during investigations. One of the main cause this problem is non-uniform temperature inside cooling system causes steam corks inside the system. This problem should is recognised and solved during future investigations.

Keywords: *combustion engines, vapour cooling system, test stand, applied research*

BADANIA WYPARKOWEGO UKŁADU CHŁODZENIA NA STANOWISKU MODELOWYM

Streszczenie

W publikacji przedstawiono wyniki badań wstępnych wyparkowego układu chłodzenia do tłokowego silnika spalinowego, przeprowadzone na modelowym stanowisku badawczym. Stanowisko to zbudowano specjalnie do badań stosowanych różnych koncepcji układów chłodzenia silników spalinowych.

Celem tych badań było sprawdzenie poprawności działania układu tak aby zapewniała on utrzymanie temperatury cieczy chłodzącej na stałym poziomie w trakcie ogrzewania wnętrza korpusu silnika (blok cylindrów i głowica). Układ chłodzenia składał się z separatora pary wodnej, chłodnicy pełniącej zadania skraplacza pary wodnej oraz pompy wodnej przetłaczającej wodę oraz skropliny pary wodnej do korpusu silnika. W układzie umieszczono zestaw termoelementów do oceny temperatury w wielu punktach układu chłodzenia, dwa przepływomierze do pomiaru przepływu wody i skroplin oraz manometr do pomiaru ciśnienia w układzie.

Podczas badań stwierdzono duże trudności z utrzymaniem odpowiednio trwałego poziomu temperatury cieczy zapobiegającego nadmiernemu wzrostowi ciśnienia. Jedną z przyczyn może być nierównomierna temperatura wewnątrz układu i powstające korki parowe. Problem ten powinien być rozpoznany i rozwiązany podczas dalszych badań.

Słowa kluczowe: *spalinowe silnik, wyparkowy układ chłodzenia, stanowisko modelowe, badania*

1. Wprowadzenie

Układ chłodzenia współczesnego tłokowego silnika spalinowego powinien zapewnić utrzymanie równomiernego rozkładu odpowiednio wysokiej temperatury silnika, lecz nie zmniejszającej wytrzymałości materiałów konstrukcyjnych. Jednocześnie powinien być częścią całego systemu energetycznego pojazdu, włącznie z układem ogrzewania wnętrza, zapewniających oszczędne gospodarowanie wydzielaną energią cieplną.

Poszukując nowych metod zwiększenia ekonomiczności pracy silnika zaczyna się zwracać coraz większą uwagę na straty ciepła, w tym także przez układ chłodzenia. Wymaga to opracowania nowych koncepcji układów chłodzenia, jednak ograniczeniem w tym zakresie jest stosowanie wody w tych układach. Ma ona stosunkowo niską temperaturę wrzenia w porównaniu, co w klasycznych układach chłodzenia wymaga ograniczenia temperatury cieczy do 80...85°C.

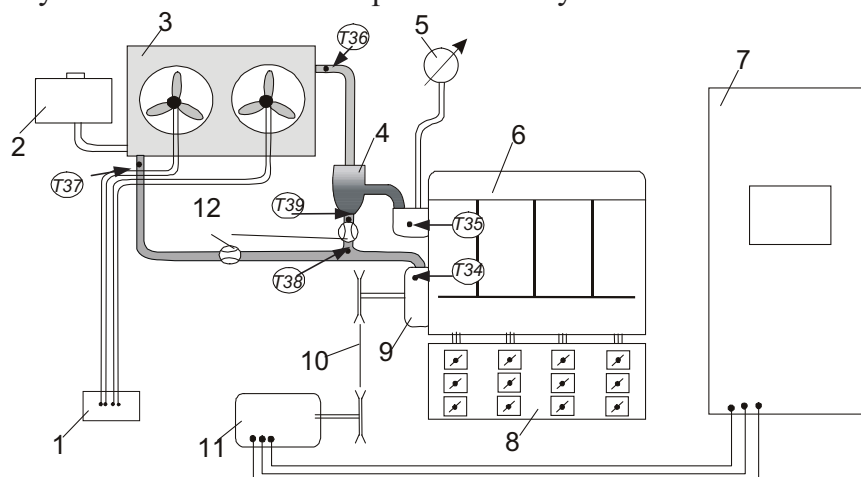
Biorąc pod uwagę wytrzymałość termiczną materiałów konstrukcyjnych stosowanych przy budowie silników, temperatura cieczy chłodzącej może dużo wyższa.

Dążenie do podwyższenia temperatury cieczy chłodzącej spowodowało opracowanie otwartego, wyparkowego systemu chłodzącego, w którym ciecz była doprowadzana do temperatury wrzenia, a do chłodnicy (skraplacza) kierowana była tylko odseparowana para wodna. Połączenie płaszcza wodnego z atmosferą, zapobiegające wzrostowi ciśnienia wymagało zastosowania tzw. „sita molekularnego” zapobiegającego ubytkom wody z układu. W efekcie zastosowania tego układu uzyskano zmniejszenie zużycia paliwa o 5,3% i węglowodorów o 10% w teście FTP-75 [2].

Przedstawiony układ jest układem otwartym, co wymaga stosowania sita molekularnego zapobiegającego wydostawaniu się wody do atmosfery oraz ogranicza temperaturę cieczy wewnątrz układu ze względu na ciśnienie atmosferyczne. Dlatego celem prowadzonych badań było zbadanie możliwości zwiększenia temperatury cieczy chłodzącej przez zastosowanie zamkniętego, wyparkowego układu chłodzenia z ograniczonym nadciśnieniem. Pierwszym etapem prowadzonych prac były badania zamkniętego wyparkowego układu chłodzenia na specjalnym stanowisku badawczym przeprowadzone w celu sprawdzenia stabilnej pracy układu chłodzenia [3].

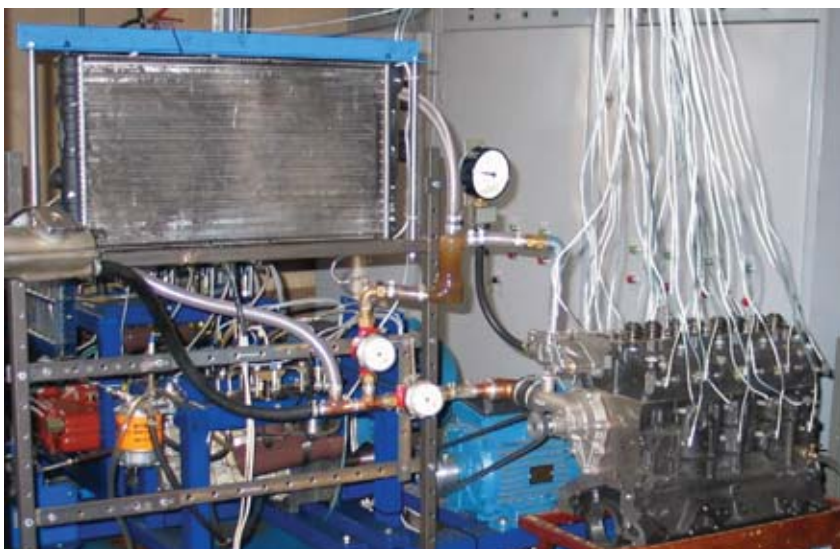
2. Stanowisko z prototypem wyparkowego układu chłodzenia

Wyparkowy układ chłodzenia do badań został wykonany zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1. Widok układu pokazano na rysunku 2.



Rys.1. Schemat wyparkowego układu chłodzenia: 1 – włącznik wentylatora, 2 – zbiornik wyrównawczy, 3 – chłodnica, 4 – separator pary wodnej, 5 – manometr, 6 – kadłub silnika, 7 –falownik, 8 – zestaw włączników, 9 – pompa wodna, 10 – przekładnia pasowa, 11 – silnik elektryczny, 12 – przepływomierze
 Fig. 1. Scheme of vapour cooling system: 1 – fan switch-key, 2 – compensation tank, 3 – cooler, 4 – separator, 5 – manometer, 6 – engine frame, 7 – inverter, 8 – switch-key set, 9 – water pump, 10 – transmission, 11 – motor, 12 – flow meters

Rozwiązania układów stanowiska opisano dokładniej w publikacji [3]. Podczas badań wyparkowego układu chłodzenia cieczą chłodzącą była woda.



Rys. 2. Widok stanowiska z wyparkowym układem chłodzenia
Fig. 2. Front view of test stand with vapour cooling system



Fig. 3. Separator z pęcherzykami pary wodnej
w górnej objętości
Fig.3. Separator with steam bubble in top volume

W układzie chłodzenia nie było termostatu. Pompa wodna przetłaczała wodę przez szklany separator pary wodnej (4). Został on wykonany ze szkła co pozwoliło na obserwację procesów separacji pary wodnej. Po osiągnięciu odpowiednio wysokiej temperatury w górnej części separatora zaczynała pojawiać się para wodna co widoczne było jako zmętnienie cieczy wypełniającej górną objętość separatora (3). Wypełniała ona górną i środkową przestrzeń separatora, a następnie była kierowana do skraplacza.

W układzie chłodzenia umieszczono dwa przepływomierze do wody gorącej. Pierwszy przepływomierz znajdował się bezpośrednio za separatorem, natomiast drugi przepływomierz umieszczono w kanale za chłodnicą. Suma wskazań przepływomierzy pokazywała natężenie przepływu wody przez korpus silnika, natomiast przepływomierz znajdujący się za chłodnicą pokazywał ile wody odparowało, a następnie uległo skropleniu w chłodnicy.

Po włączeniu grzałek stanowiska, włączano jednocześnie pompę wodną silnika. Ciecz ciągle krążyła w układzie, a po odpowiednim wzroście temperatury wody w górnej części separatora zbierała się para wodna (rys. 3).

Podczas całego okresu pracy stanowiska mierzono temperaturę w wielu punktach układu chłodzenia. Celowość tych pomiarów wynikała z wcześniejszych badań i stwierdzonej dużej niejednorodności temperatury ścianek silnika. Świadczące o bardzo zróżnicowanym rozkładzie temperatury wewnątrz płaszcza wodnego. Okazało się że obszary zwiększonej temperatury mogą występować w najmniej spodziewanych miejscach [1].

Za pomocą manometru kontrolowano ciśnienie wewnątrz układu chłodzenia. Zawór parowo-powietrzny zbiorniczka wyrównawczego cieczy chłodzącej był jednocześnie zaworem

bezpieczeństwa, co jednak nie zabezpieczało przez rozrywaniem połączeń układu przy dużym i szybkim wzroście ciśnienia podczas próby (zbliżanie się takiej sytuacji poprzedzane było wypływem cieczy ze zbiorniczka).

3. Badania prototypu wyparkowego układu chłodzenia

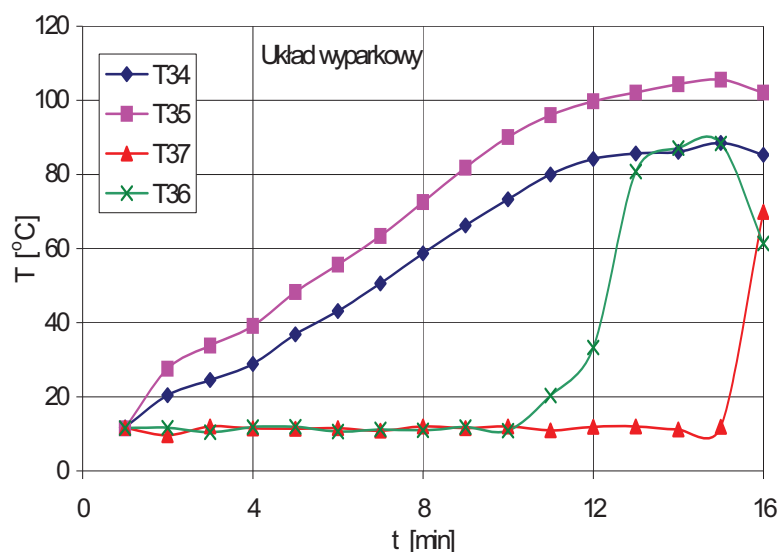
Celem badań było określenie możliwości sterowania pracą stanowiska poprzez zmianę prędkości obrotowej pompy wodnej i włączanie wentylatorów w celu utrzymania stabilnego i długotrwałego poziomu temperatury cieczy chłodzącej podczas.

Podczas przeprowadzonych prób stwierdzono, że trudno było uzyskać w miarę stabilne warunki cieplne w układzie i w miarę stabilną temperaturę cieczy chłodzącej. Prawie każda próba kończyła się niekontrolowanym wzrostem ciśnienia, rozszczelnieniem układu oraz gwałtownym wyrzuceniem cieczy chłodzącej i pary z układu.

Na rysunku 4 przedstawiono zmiany temperatury podczas takiego rozgrzewania układu zmierzone w następujących miejscach:

- odpływie (T34) i dopływie (T35) cieczy do kadłuba,
- dopływie (T36) i odpływie (T37) cieczy z chłodnicy.

Na przebiegach tych jest widoczny ciągły wzrost temperatury cieczy wypływającej z kadłuba silnika, która przepływając przez zewnętrzne kanały układu jest ochładzana o kilka, do kilkunastu stopni Celsjusza, co widoczne jest jako różnica temperatury T34 i T35. Od dziesiątej minuty grzania, gdy średnia temperatura cieczy wypływającej z kadłuba osiąga ok. 90°C, zaczynają pojawiać się pęcherzyki pary powodujące wzrost temperatury przed chłodnicą. (T36). Nie ma to istotnego wpływu na temperaturę za chłodnicą (T37).



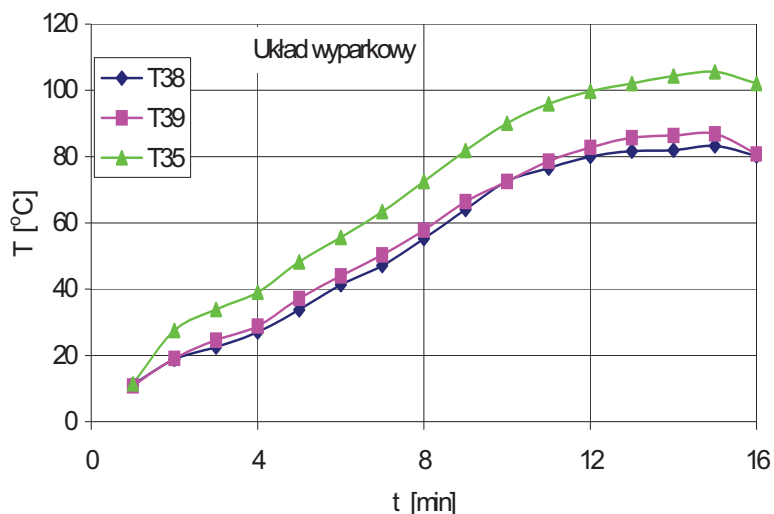
Rys. 4. Wariant 1. Zmiany temperatury cieczy chłodzącej: odpływającej z kadłuba (T35), dopływającej do kadłuba (T34), przed chłodnicą (T36) oraz za chłodnicą (T37)

Fig. 4. Version 1. Changes of temperature of cooling liquid: – flowing out from engine frame (T35), flowing in to engine frame (T34), before cooler (T36), after cooler (T37)

Podczas dalszego grzania, do 15 minuty cyklu rośnie temperatura pary wodnej przed chłodnicą, natomiast nie obserwuje się zmian temperatury za chłodnicą. Jest to wynikiem małego strumienia schłodzonej wody wypełniającej tylko część kanału z termoelementem.

Szybki wzrost ciśnienia w układzie chłodzenia w piętnastej minucie próby spowodował wyrzucenie wody z układu chłodzenia także przez przewód w kierunku chłodnicy co widoczne jest jako gwałtowny wzrost temperatury T37 na rys. 4. Następnie nastąpiło rozszczelnienie układu na połączeniach elastycznych przewodów z separatorem.

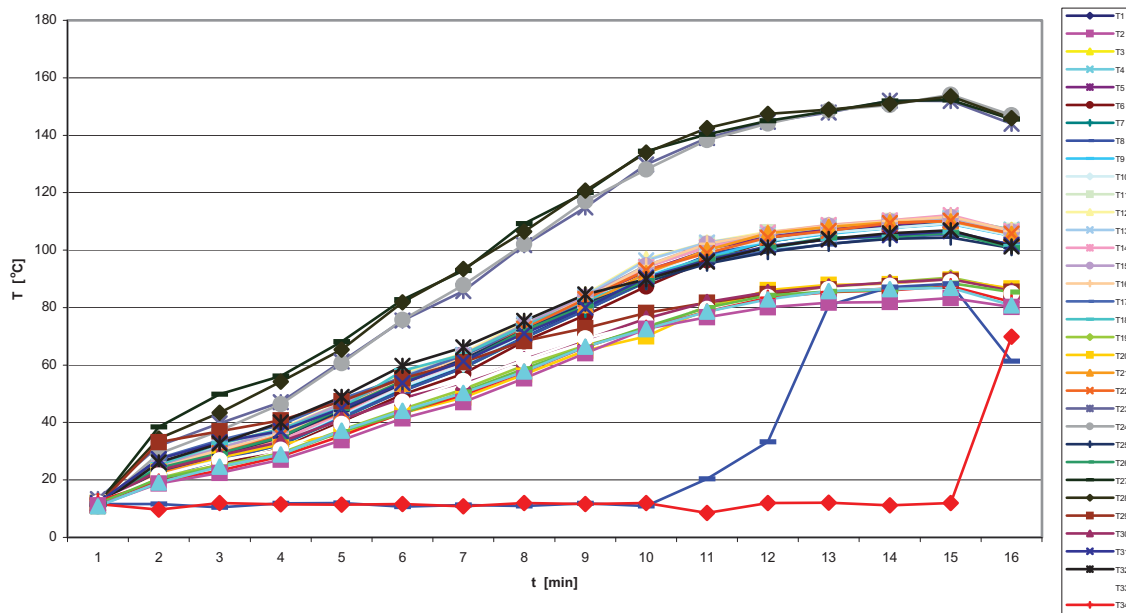
Przepływając przez przewody i separator temperatura wody ulega znacznemu zmniejszeniu, nawet o kilkanaście stopni Celsjusza (rys. 5). Niewielkie zmniejszenie temperatury o kilka stopni stwierdzono także po przepłynięciu wody przez przepływomierz pokazujący natężenie przepływu wody przez separator.



Rys. 5. Zmiany temperatury cieczy chłodzącej: odpływającej z kadłuba (T35), za separatorem (T39) przed pompą wodną (T38)

Fig. 5. Changes of temperature of cooling liquid: – flowing out from engine frame (T35), after separator (T39), before water pump (T38)

Podczas badań stwierdzono także znaczne zróżnicowanie temperatury wewnątrz korpusu silnika. Na rysunku 6 przedstawiono wszystkie przebiegi temperatury zmierzone w różnych miejscach korpusu silnika umieszczonego na stanowisku badawczym. Widoczne są na nim trzy grupy przebiegów znacznie różniących się wartościami temperatury.

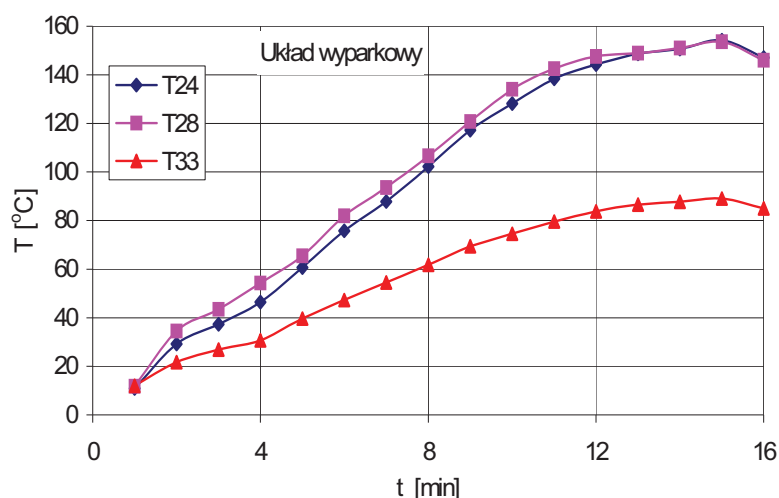


Rys. 6. Przebiegi temperatury we wszystkich punktach pomiarowych układu chłodzenia

Fig. 6. Changes of temperature in all measures points at cooling system

Najwyższą temperaturę stwierdzono w punktach T23, T24, T27 i T28, a więc w kadłubie i głowicy z lewej strony silnika wokół trzeciego cylindra. Temperatura w tych punktach wzrastała najszybciej i osiągnęła ona wartości powyżej 150°C. W miejscu tym w pierwszej kolejności

tworzyła się para wodna, która zwiększała ciśnienie w układzie. Jednak już 60mm niżej temperatura była znacznie niższa i osiągała co najwyżej 85°C (przebieg T33 na rysunku 6).



Rys. 7. Zmiany temperatury z lewej strony trzeciego cylindra: w głowicy (T24), poniżej na poziomie 1 (T28) oraz na poziomie 2 (T33)

Fig. 7. Changes of temperature on left side of engine frame: in the head (T24), below on the level 1 (T28) and on the level 2 (T33)

Najniższa była temperatura w układzie chłodzenia na zewnątrz silnika (punkty T34 T35, T37 i T38), a także w bloku cylindrów z jego prawej strony na najniższym trzecim poziomie między 1 i 2 cylindrem (punkt T20) oraz 3 i 4 cylindrem (T19), a także z lewej strony na poziomie 1 za 4 cylindrem (T29) i na poziomie 2 między 1 i 2 cylindrem (T30). W pozostałych miejscach kadłuba i głowicy silnika, mierzona temperatura cieczy chłodzącej nie różniła się istotnie.

4. Wnioski

1. Zastosowanie wyparkowego, zamkniętego układu chłodzenia powoduje trudny do opanowania wzrost ciśnienia w zamkniętej objętości. Jest to rezultatem zwiększonej objętości właściwej pary wodnej w stosunku do wody. Efekt ten jest tym trudniejszy do opanowania ze względu na mogące występować nierównomierne chłodzenie silnika i powstające korki parowe w niektórych objętościach płaszcza wodnego silnika.
2. Zastosowanie układu otwartego, mającego połączenie z atmosferą spowoduje konieczność odpowiednio dużego zbiornika wyrównawczego, w którym następowałoby mieszanie pary wodnej z powietrzem i ewentualne jego usunięcie powietrza przy zbyt dużym wzroście ciśnienia. Jednak spowoduje to wzrost gabarytów układu chłodzenia.

Pracę zrealizowano w ramach projektów badawczych nr N502 046 32/3627, nr 8T12D01621 finansowanych przez Komitet Badań Naukowych.

Literatura

- [1] Karczewski M., Walentynowicz J., *Badania rozkładu temperatury w silniku AD3.152UR*, Biuletyn WAT nr 6, str. 5-19, 1998.
- [2] Muller, P., Muller, P., Heck, E., Seese, W., *Verdampfungskulung eine Alternative zur Konvektionskulung*, MTZ 56 12, str. 714-721, 1995.
- [3] Walentynowicz J. *Stanowisko modelowe do badania układów chłodzenia silników*, Journal of KONES, Vol. 16 No 3. 2007.
- [4] Wiśniewski, S., *Obciążenia cieplne silników tłokowych*, WKiŁ, Warszawa 1972.