

## Coolant pump control strategy of spark ignition car engine

*Abstract: The paper presents an overview of selected items of literature on the possibility of controlling the cooling of the engine. Parameter chosen by the author to assess of the engine thermal state is the temperature of the combustion chamber wall. Describes measurements of the temperature as a function of the performance the main water pump during engine warm-up.*

Key words: control of automotive engine cooling, the coolant pump with electric drive

### Problemy sterowania wydajnością pompy cieczy chłodzącej silnik samochodowy z zapłonem iskrowym

*Streszczenie: W pracy przedstawiono przegląd wybranych pozycji literatury na temat możliwości sterowania chłodzeniem silnika. Parametrem wybranym przez autora do oceny stanu cieplnego silnika jest temperatura ścianki komory spalania. Opisano pomiary tej temperatury jako funkcji wydajności głównej pompy cieczy chłodzącej podczas rozgrzewania silnika*

Słowa kluczowe: sterowanie chłodzeniem silnika samochodowego, pompa cieczy chłodzącej z napędem elektrycznym

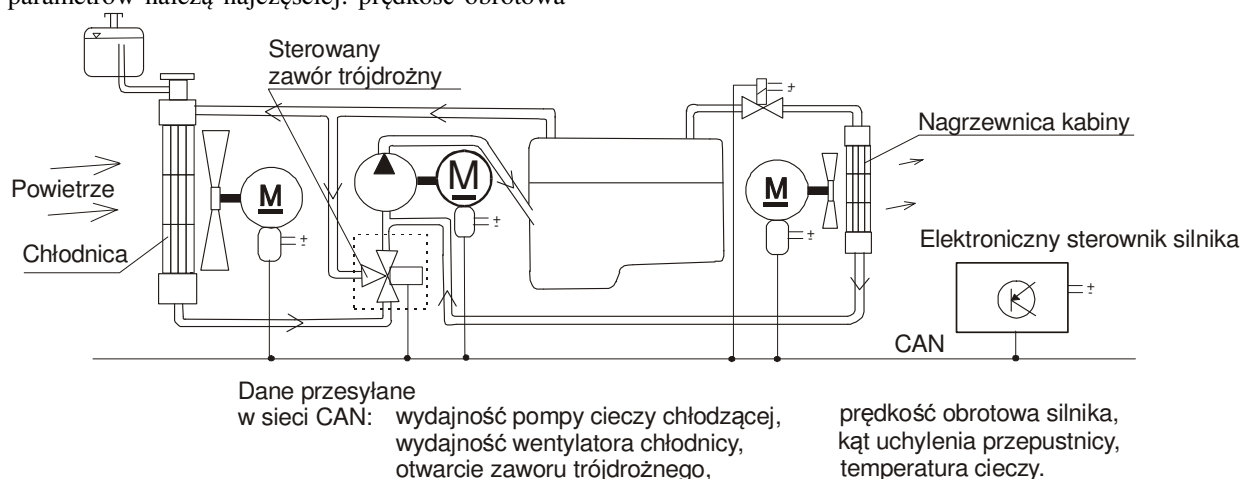
#### 1. Wstęp

W 2005 r zastosowano w seryjnych silnikach samochodów osobowych pompy główne cieczy chłodzącej napędzane silnikami elektrycznymi [2]. Taki układ chłodzenia jest sterowany w sposób programowany z wykorzystaniem elektronicznego sterownika silnika (rys. 1).

Strumień cieczy chłodzącej przepływający przez głowicę może być regulowany jako funkcja wybranych parametrów pracy silnika. Do tych parametrów należą najczęściej: prędkość obrotowa

silnika, kąt uchylecia przepustnicy oraz temperatura cieczy chłodzącej lub wybranego elementu silnika. Regulacja polega na wyłączaniu i załączaniu pompy napędzanej silnikiem elektrycznym albo zmianie prędkości obrotowej silnika elektrycznego napędzającego pompę.

Dodatkowym elementem sterowanym elektronicznie jest zawór trójdrożny kierujący część cieczy do chłodnicy.

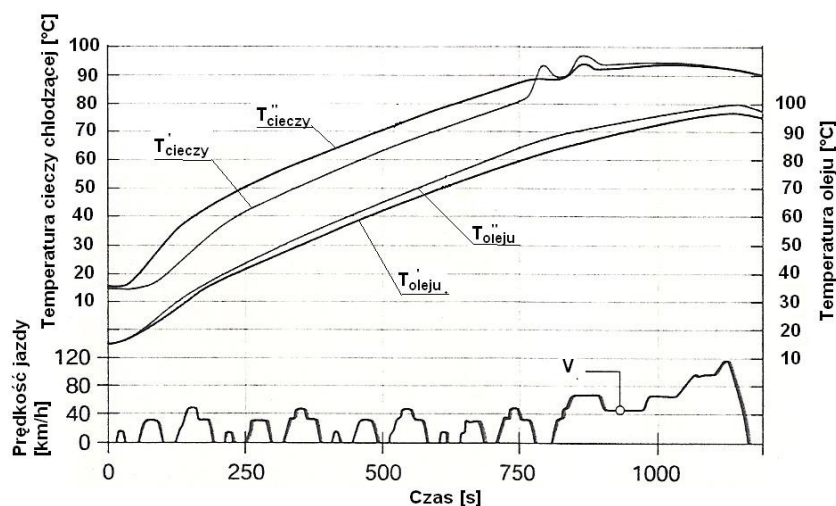


Rys. 1. Schemat układu chłodzenia nowej generacji dla silnika samochodowego

Głównym celem wprowadzenia napędu elektrycznego zamiast mechanicznego było zmniejszenie mocy potrzebnej do napędu pompy. Dodatkowymi celami były poprawa cech ekologicznych samochodu oraz zmniejszenie zużycia silnika.

Sterowanie wydajnością pompy jest tajemnicą producentów samochodów i istnieją nieliczne publikacje na ten temat [1, 2]

Najczęściej w publikacjach opisuje się wpływ zatrzymania pompy na przyspieszenie rozgrzewania silnika. Wykres zmiany temperatury cieczy obiegowych w silniku jako funkcja czasu, przy badaniu samochodu według testu NEDC, pokazano na rys. 2 [2]. Autorzy badali rzędowy silnik 6 cylindrowy o objętości skokowej 3,5 dm<sup>3</sup> z zapłonem iskrowym.

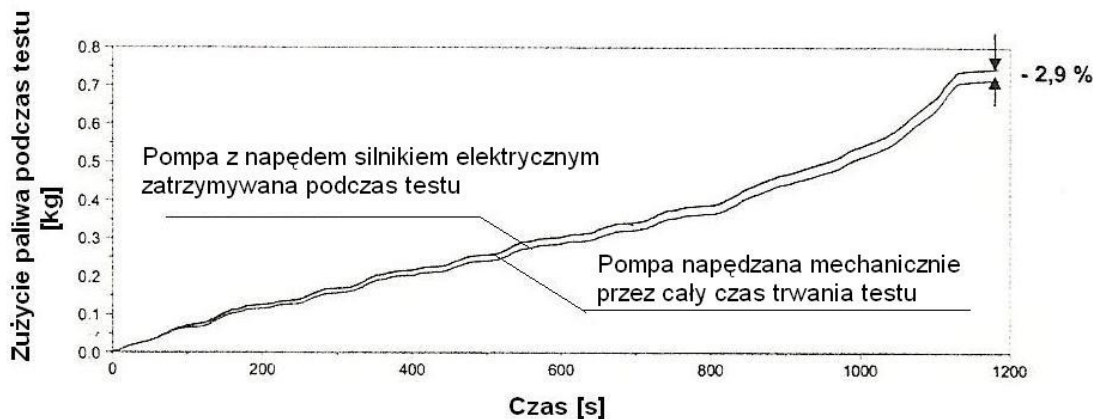


Rys. 2. Przebiegi temperatury cieczy chłodzącej  $T'_{cieczy}$  - przy uruchomionej pompie,  $T''_{cieczy}$  - przy zatrzymanej pompie i oleju  $T'_{oleju}$  - przy uruchomionej pompie,  $T''_{oleju}$  - przy zatrzymanej pompie w silniku samochodu badanego według testu NEDC.

Przy zatrzymanej pompie cieczy chłodzącej podczas pierwszej fazy miejskiej testu (0÷195 s), nastąpił wzrost temperatury cieczy w tych samych chwilach testu o około 10 °C, a oleju od 2 do 5 °C. Wobec takich przyrostów można spodziewać się skrócenia okresu osiągania temperatury regulowanej o około 70 s. Regulacja temperatury, po okresie rozgrzewania, polega głównie na dołączaniu obiegu cieczy przez chłodnicę. Autorzy wspominają o spodziewanym zmniejszeniu strat tarcia czyli poprawie sprawności silnika.

Badania autorów publikacji [1] były również ukierunkowane na zmniejszenie zużycia paliwa

poprzez okresowe zatrzymywanie pompy cieczy chłodzącej podczas badań silnika samochodu Opel Meriva o objętości skokowej 1,8 dm<sup>3</sup> z zapłonem iskrowym. Prowadzono badania z użyciem testu NEDC oraz własnych testów dotyczących jazdy miejskiej i pozamiejskiej. W publikacji podane są procentowe zmniejszenia zużycia paliwa i emisji węglowodorów w spalinach dla różnych sposobów załączania i wyłączania pompy. Przy zatrzymaniu pompy cieczy chłodzącej podczas 90 % czasu trwania 1 fazy miejskiej testu NEDC uzyskano zmniejszenie zużycia paliwa pokazane na rys. 3.



Rys. 3. Porównanie zużycia paliwa podczas testu NEDC

## 2. Problemy powstające po zastosowaniu pompy z niezależnym napędem

Niechęć wielu producentów do wprowadzenia do obiegu chłodzenia pomp z napędem silnikiem elektrycznym wynika częściowo z przekonania o niezawodności i niskich kosztach budowy stosowanej dotychczas pompy z napędem mechanicznym.

Zwolennicy wprowadzenia niezależnego napędu pompy cieczy chłodzącej podkreślają zalety wymienione w rozdziale 1.

Jednak wprowadzenie programowo sterowanej wydajności pompy nie jest zagadnieniem znanym i wiąże się z opracowaniem teorii sterowania taką pompą.

Wspomniane wyłączenie pompy przy rozgrzewaniu silnika wiąże się z koniecznością wprowadzenia nowego sposobu pomiaru stanu cieplnego silnika.

Dotychczas za ten pomiar odpowiadał przetwornik termistorowy typu NTC umieszczony najczęściej w króćcu wylotowym głowicy dla cieczy chłodzącej. Jeśli strumień cieczy wypływający z głowicy zostanie zatrzymany pomiar nie będzie reprezentował temperatur ścianek komory spalania.

W publikacji [3] autorzy proponują użycie uszczelki podgłowicowej z zamocowanymi w niej termoparami.

Autor zastosował termopary umieszczone w bloku cylindrów 2 mm pod gładzią tulei cylindrowej (rys. 6). W obecnych układach sterowania pracą silników termopary są używane do pomiaru temperatury spalin mając zadawalającą trwałość. Ich zaletą jest krótki czas odpowiedzi wadą mniejsza dokładność niż termistorów. Wadą układów z pompą napędzaną silnikiem elektrycznym jest wielokrotne przetwarzanie energii prowadzące do niskiej sprawności (rys. 4).

Sprawność przetwarzania energii elektrycznej na hydrauliczną obliczono z zależności

$$\eta_A = \frac{N_H}{N_E}, \quad (1)$$

przy czym moc obwodu hydraulicznego  $N_H$  i moc elektryczną  $N_E$  we wzorze (8.5) określono na podstawie następujących zależności:

$$N_H = \dot{Q} \cdot (p_2 - p_1), \quad (2)$$

$$N_E = U \cdot i, \quad (3)$$

gdzie:

$\dot{Q}$  - wydajność pompy,

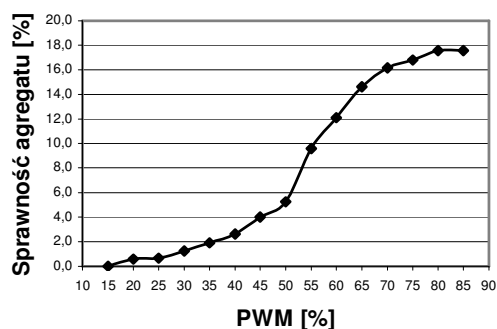
$p_2$  - ciśnienie za pompą,

$p_1$  - ciśnienie przed pompą,

$U$  - napięcie prądu elektrycznego,

$i$  - natężenie prądu elektrycznego.

Wyniki obliczeń sprawności w zależności od szerokości impulsu sterującego prędkością obrotową pompy (ang. PWM) zobrazowano graficznie na rys. 4.

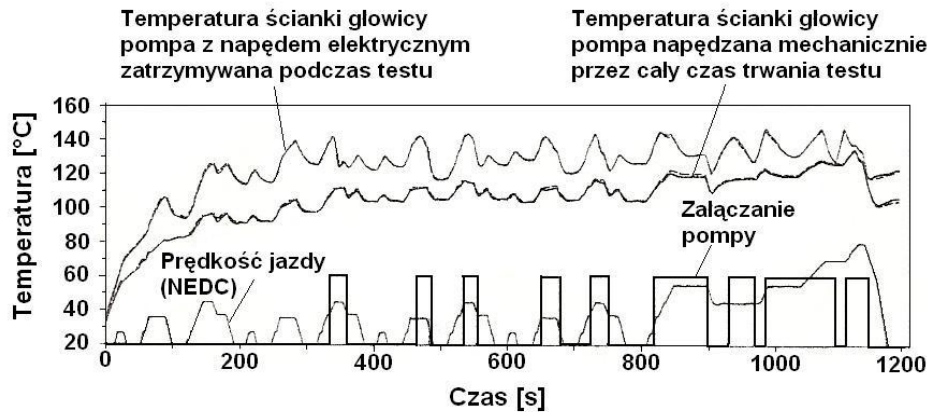


Rys. 4. Sprawność agregatu pompowego jako funkcja impulsu sterującego

Z wykresu na rys. 4. można wywnioskować że możliwość pracy pompy w szerokim zakresie prędkości obrotowych będących konsekwencją nastawy pompy nie ma zastosowania praktycznego. Zakres prędkości obrotowych zastosowanego przez autora agregatu pompowego typu CWA 200 [3] to 18 do 4500 obr/min. Praca z małą prędkością obrotową jest obciążona dużymi stratami energii, związanymi się z przeciekiem wewnętrznym w pompie. Z tego powodu stosuje się często wspomniane załączenie i wyłączenie pompy, a nie ciągłą zmianę wydajności do regulacji obiegu chłodzenia silnika.

## 3. Wpływ sposobu sterowania pompą cieczy chłodzącej na temperaturę ścianki komory spalania podczas rozgrzewania silnika

Ze względu na niewielkie obciążenia silników samochodowych podczas jazdy miejskiej pompa cieczy chłodzącej może być załączana w krótkich okresach czasu. Taki sposób sterowania pokazano na rys. 5.



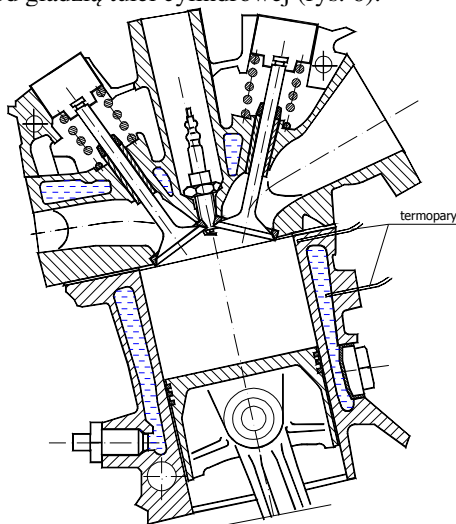
Rys. 5. Wpływ załączania pompy cieczy chłodzącej na temperaturę ścianki głowicy [1]

Temperatura ścianki głowicy przy wyłączeniu okresowym jest wyraźnie wyższa niż przy ciągłej pracy pompy ale nie przekracza ustalonej przez konstruktorów wartości. Pompa nie musi pracować z pełną wydajnością. Zwykle nastawia się  $1/2 \div 1/3$  wydajności

Badania empiryczne autora miały na celu określenie dynamiki wzrostu temperatury ścianki komory spalania podczas rozgrzewania silnika dla różnych nastawianych wydajności pompy cieczy chłodzącej.

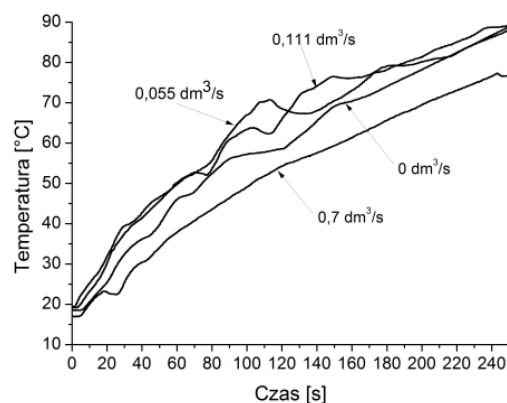
Użyto hamowni podwoziowej z silnikiem typu M11920 firmy Mercedes-Benz z zapłonem iskrowym o objętości skokowej  $1799 \text{ cm}^3$ . Moc silnika wynosiła  $90 \text{ kW}$  przy  $5600 \text{ obr/min}$ ; moment obrotowy to  $170 \text{ N}\cdot\text{m}$  przy  $4200 \text{ obr/min}$ .

Oceniana temperatura ścianki była mierzona  $2 \text{ mm}$  pod głazką tulei cylindrowej (rys. 6).



Rys. 6. Miejsca pomiaru temperatur ścianki cylindra i wody wokół cylindra.

Przebiegi temperatury tulei cylindrowej podczas rozgrzewania różnią się w zależności od nastawionej wydajności pompy cieczy chłodzącej (rys. 7)



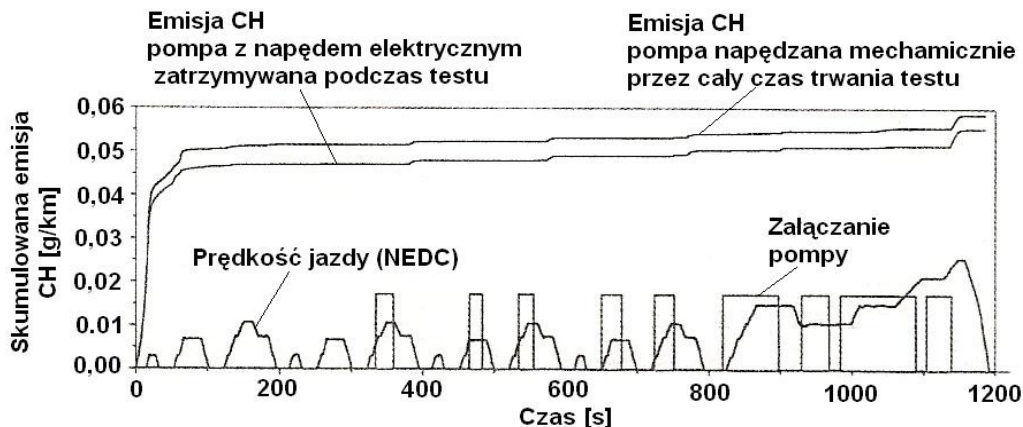
Rys. 7. Przebiegi temperatury tulei cylindrowej podczas rozgrzewania silnika w zależności od nastawionej wydajności pompy cieczy chłodzącej

Podczas rozgrzewania silnika przy bardzo małych przepływach cieczy ( $0,05\text{-}0,01 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) temperatura tulei cylindrowej znacznie się wahała. Przyczyną było obciążenie nie rozgrzanego silnika i występujące przy tym trudności z utrzymaniem stałej prędkości obrotowej, a także pulsacyjny przepływ cieczy chłodzącej wywołany wpływem powstającego w niemal stojącej cieczy zjawiska termosyfonowego.

Jednak wprowadzenie niewielkiego przepływu miało korzystny skutek w postaci skrócenia procesu rozgrzewania silnika w porównaniu z przypadkiem całkowicie zatrzymanej pompy.

Tak małe przepływy mogą być osiągnięte tylko w pompie z niezależnym napędem gdyż dotyczą prędkości wirnika pompy znacznie poniżej prędkości biegu jałowego silnika.

Zastosowanie zatrzymywania pompy skutkuje zmniejszeniem emisji węglowodorów przez poprawę przygotowania paliwa oraz lepsze spalanie w silniku, którego ścianki mają wyższe temperatury (rys. 8). Wyższa jest wówczas także temperatura spalin co nieznacznie skraca czas rozgrzewania reaktora katalitycznego.



Rys. 8. Emisja węglowodorów (CH) podczas testu typu NEDC

#### 4. Podsumowanie

Opisane wybrane sposoby sterowania pompą ciecży chłodzącej pokazują tylko fragmenty zagadnień sterowania pracą układu chłodzenia silnika samochodowego. Pomimo pozornie niewielkich oszczędności w zużyciu paliwa oraz niewielkiemu

zmniejszeniu toksyczności spalin w teście typu NEDC każde działanie dla przyspieszenia procesu rozgrzewania silnika a szczególnie eksploatowanego na krótkich trasach może przynieść większe niż wskazywane w literaturze korzyści.

#### Nomenclature/Skróty i oznaczenia

NEDC - New European Driving Cycle, test jezdny na hamowni podwoziowej

PWM - pulse with modulation stopień wypełnienia impulsu sterującego

#### Bibliography/Literatura

- [1] Eifler G., Burkard M., Kawert F.: Demand-Controlled Engine Cooling Circuit Investigation and Simulation. MTZ worldwide Ausgabe Nr 2005-03
- [2] Hess U., Mitterer A., Neugebauer S., Riegert P., Seider G.: Heat Management of the New

BMW in Line 6 Cylinder Engine. MTZ worldwide Ausgabe Nr 2005 –11.

- [3] Pierburg: Elektrische Kuhlwasserpumpen System WILO, Kurzbeschreibung Pierburg 26.01.2001 s. 1-6.

Mr Zbigniew Kneba, DSc., Eng. – lecturer in the Faculty of Mechanical Engineering at Gdańsk University of Technology.

*Dr inż. Zbigniew Kneba – st. wykładowca na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej.*

