

Piotr GUSTOF, Marcin SEKUŁA

## MODELOWANIE ROZKŁADU TEMPERATUR W GNIEŹDZIE ZAWORU DOLOTOWEGO W DOŁADOWANYM SILNIKU ZS

**Streszczenie.** W pracy wyznaczono rozkłady temperatur w gnieździe zaworu dolotowego w doładowanym silniku z zapłonem samoczynnym w stanie nieustalonym przy zastosowaniu dwustrefowego modelu procesu spalania oraz metody elementów skończonych (MES) za pomocą programu Cosmos/M.

## DETERMINES DISTRIBUTION OF TEMPERATURES THE INLET VALVE NEST OF DIESEL TURBO ENGINE IN AN UNSTEADY STATE

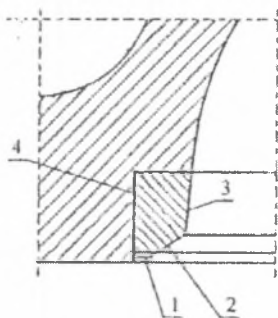
**Summary.** The thesis determines distribution of temperatures the inlet valve nest of Diesel turbo engine in an unsteady state performed using model of process of two-zone combustion and the finite elements method (MES) with support of programme Cosmos/M.

### 1. MODELOWANIE OBCIĄŻEŃ CIEPLNYCH GNIAZDA DOLOTOWEGO

Do zamodelowania obciążeń cieplnych w gnieździe zaworu dolotowego wykorzystano warunki brzegowe III rodzaju. Warunki te są określone za pomocą współczynnika przejmowania ciepła  $\alpha$  oraz temperatury  $T$  czynnika roboczego, którą wyznaczono na podstawie dwustrefowego modelu procesu spalania w silniku [1,2]. Analizę rozkładu temperatur przeprowadzono w czasie 40 s. Przy modelowaniu obciążeń cieplnych przyjęto jako materiał gniazda brąz aluminiowy Cu95Al5. Ponieważ obliczenia przepływu ciepła dotyczą stanu nieustalonego, konieczna jest znajomość takich własności fizycznych materiału, jak: gęstość  $\rho$ , pojemność cieplna właściwa  $c_p$  i współczynnik przewodności cieplnej  $\lambda$  w funkcji temperatury. Podczas modelowania założono, że na początku rozkład temperatur w gnieździe dolotowym jest stały i równy temperaturze otoczenia.

## 2. ANALIZA WARUNKÓW BRZEGOWYCH

W dolotowym gnieździe zaworowym wyróżniono cztery charakterystyczne powierzchnie, którym przypisano odpowiednie wartości warunków brzegowych.



*Powierzchnia:*

- 1 – czołowa omywana przez czynnik roboczy,
- 2 – przylegni gniazda zaworowego,
- 3 – ścianki gniazda w kanale dolotowym,
- 4 – styku gniazda = głowicą.

Rys. 1. Szkic gniazda zaworu dolotowego na tle głowicy silnika [1]

Fig. 1. Drawing of the inlet valve nest against the engine head [1]

Ponieważ obciążenia cieplne powierzchni (1), (2), (3) gniazda zmieniały się w czasie pełnego cyklu pracy silnika, przypisano im okresowo zmienne warunki brzegowe III rodzaju. Dla powierzchni (4) przyjęto średnie warunki wymiany ciepła.

### 2.1. Powierzchnia czołowa gniazda omywana przez czynnik roboczy od strony komory spalania (1)

Na powierzchni czołowej gniazda dolotowego przyjęto warunki wymiany ciepła równoważne warunkom panującym w komorze spalania [1]:

$$T_1(\varphi_i) = T(\varphi_i) \quad [K] \quad (1)$$

$$\alpha_1(\varphi_i) = \alpha(\varphi_i) \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (2)$$

gdzie:

$T(\varphi_i)$  – temperatura czynnika roboczego w cylindrze [K],

$\alpha(\varphi_i)$  – współczynnik przejmowania ciepła [ $W/m^2K$ ].

## 2.2. Powierzchnia przylgni gniazda zaworu dolotowego (2)

Powierzchnia (2) gniazda zaworowego cyklicznie styka się z przylgnią zaworu. Jako temperaturę powierzchni przylgni gniazda dolotowego  $T_{2GOD}(\varphi_i)$  w czasie fazy otwarcia zaworu przyjęto temperaturę otoczenia  $T_{ot}$  powiększoną o przyrost temperatury w kanale dolotowym  $\Delta T_D$  [1]:

$$T_{2GOD}(\varphi_i) = T_{ot} + \Delta T_D \quad [K] \quad (3)$$

gdzie:

- $T_{ot}$  – temperatura otoczenia [K],
- $\Delta T_D$  – przyrost temperatury w kanale dolotowym [K].

Współczynnik przyjmowania ciepła  $\alpha_{2GOD}(\varphi_i)$  powierzchni (2) obliczono na podstawie wzoru [1]:

$$\alpha_{2GOD}(\varphi_i) = Nu(\varphi_i) \frac{\lambda(\varphi_i)}{d_h} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (4)$$

gdzie:

- $Nu(\varphi_i)$  – liczba Nusselta,
- $\lambda(\varphi_i)$  – przewodność cieplna czynnika [W/mK],
- $d_h$  – średnica wewnętrzna gniazda zaworowego  $d_h$  [m].

Jako temperaturę powierzchni przylgni gniazda dolotowego  $T_{2GZD}(\varphi_i)$  w czasie fazy zamknięcia zaworu przyjęto średnią temperaturę przylgni zaworu  $\bar{T}_{PZD}$ :

$$T_{2GZD}(\varphi_i) = \bar{T}_{PZD} \quad [K] \quad (5)$$

gdzie:

- $\bar{T}_{PZD}$  – średnia temperatura przylgni zaworu dolotowego [K]

Natomiast jako współczynnik przyjmowania ciepła  $\alpha_{2GZD}$  przylgni gniazda dolotowego przyjęto średni zastępczy współczynnik przyjmowania ciepła  $\bar{\alpha}_{2GZD}$  przez styk [1]:

$$\bar{\alpha}_{2GZD} = 5800 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (6)$$

### 2.3. Powierzchnia wewnętrzna gniazda w kanale dolotowym (3)

Podobnie jak w przypadku przylgni gniazda, warunki wymiany ciepła na powierzchni wewnętrznej gniazda w kanale dolotowym mają charakter cykliczny [1]. Jako temperaturę powierzchni wewnętrznej gniazda dolotowego  $T_{3GOD}(\varphi_i)$  w czasie fazy otwarcia zaworu przyjęto temperaturę otoczenia  $T_{ot}$  powiększoną o przyrost temperatury w kanale dolotowym  $\Delta T_D$  [1]:

$$T_{3GOD} = T_{ot} + \Delta T_D \quad [K] \quad (7)$$

gdzie:

- $T_{ot}$  – temperatura otoczenia [K],
- $\Delta T_D$  – przyrost temperatury w kanale dolotowym [K].

Natomiast współczynnik przejmowania ciepła  $\alpha_{3GOD}(\varphi_i)$  dla powierzchni (3) obliczono na podstawie wzoru [1]:

$$\alpha_{3GOD}(\varphi_i) = Nu(\varphi_i) \frac{\lambda(\varphi_i)}{d_h} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (8)$$

gdzie:

- $Nu(\varphi_i)$  – liczba Nusselta,
- $\lambda(\varphi_i)$  – przewodność cieplna czynnika [W/mK],
- $d_h$  – średnica wewnętrzna gniazda zaworowego  $d_h$  [m].

Dla gniazda zaworu dolotowego przyjęto liczbę Nusselta według Keysa [3]:

$$Nu(\varphi_i) = 0,022 Re^{0,8} Pr^{0,6} \quad (9)$$

gdzie:

- $Re$  – liczba Reynoldsa,
- $Pr$  – liczba Prandtla.

Dla fazy zamknięcia zaworu jako temperaturę powierzchni wewnętrznej gniazda dolotowego  $T_{3GZD}(\varphi_i)$  przyjęto [1]:

$$T_{3GZD} = T_{ot} + \Delta T_D \quad [K] \quad (10)$$

gdzie:

$T_{ot}$  – temperatura otoczenia [K],

$\Delta T_D$  – przyrost temperatury w kanale dolotowym [K].

Natomiast jako współczynnik przejmowania ciepła  $\alpha_{3GZD}$  powierzchni wewnętrznej gniazda w kanale dolotowym przyjęto średni zastępczy współczynnik przejmowania ciepła  $\bar{\alpha}_{3GZD}$  przez styk [1]:

$$\bar{\alpha}_{3GZD} = 400 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (11)$$

#### 2.4. Powierzchnia styku gniazda z głowicą od strony zewnętrznej gniazda (4)

Jako temperaturę powierzchni styku gniazda zaworu dolotowego z głowicą  $T_{4GDG}$  przyjęto średnią temperaturę powierzchni głowicy  $\bar{T}_{4PG}$ :

$$T_{4GDG} = \bar{T}_{4PG} [K] \quad (12)$$

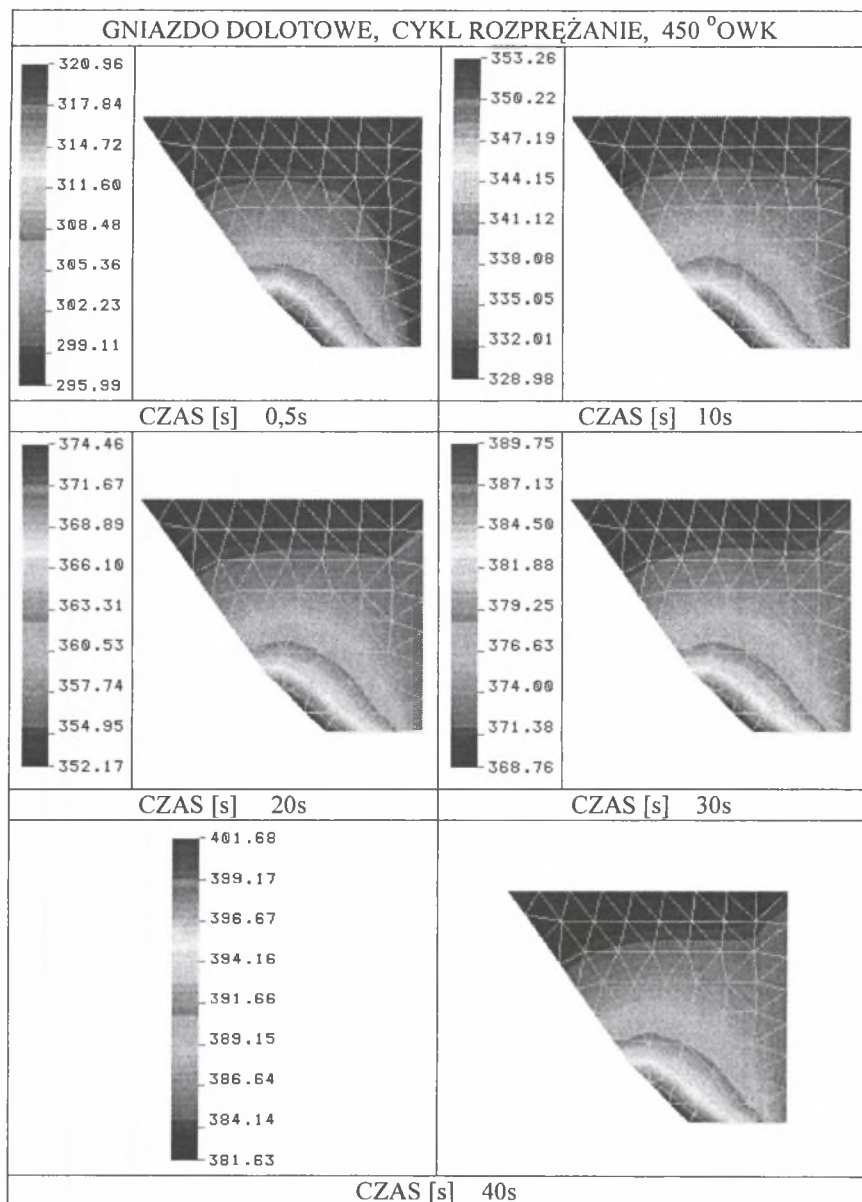
W celu wyznaczenia temperatury głowicy wykonano dodatkowe jej modele, które zostały poddane obciążeniom cieplnym zadany w systemie Cosmos/M przez okres odpowiadający 40s pracy silnika. Podczas modelowania rejestrowano średnie temperatury powierzchni głowicy stykających się z gniazdem zaworowym  $\bar{T}_{4PG}$ , co 0,5s. Jako współczynnik przejmowania ciepła  $\alpha_{4GDG}$  powierzchni styku gniazda zaworu dolotowego z głowicą przyjęto średni zastępczy współczynnik przejmowania ciepła  $\bar{\alpha}_{4GDG}$  przez styk [1]:

$$\bar{\alpha}_{4GDG} = 20000 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (13)$$

### 3. WYNIKI OBLICZEŃ

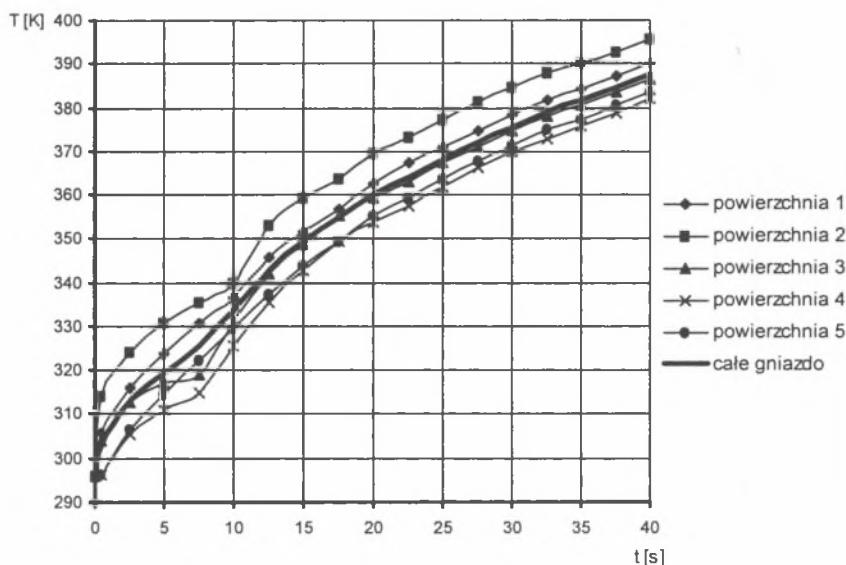
W pracy zamodelowano obciążenia cieplne gniazda zaworu dolotowego dla doładowanego silnika wysokoprężnego z wtryskiem bezpośrednim o pojemności 2390 cm<sup>3</sup> i mocy 48 kW przy prędkości obrotowej 2000 obr/min.

Obliczenia wykonano z dokładnością co  $5^{\circ}\text{OWK}$ . Na rysunku 2 przedstawiono kolejne fazy nagrzewania się gniazda dolotowego dla takiego samego położenia tłoka wynoszącego  $450^{\circ}\text{OWK}$  - cykl rozprężanie, po 0.5, 10, 20, 30, 40s pracy silnika.



Rys. 2. Fazy nagrzewania się gniazda dolotowego  
Fig. 2. Phases of the inlet valve nest heating up

W gnieździe dolotowym najbardziej obciążona cieplnie jest powierzchnia przylgni gniazda, co spowodowane jest jej nagrzewaniem się od zaworu dolotowego w fazie jego zamknięcia. Ze względu na wysoką temperaturę przylgni zaworu oraz intensywne przejmowanie ciepła przez głowicę rozkład pól temperatur w gnieździe dolotowym jest prawie symetryczny. Maksymalna temperatura gniazda zaworu po 40 s pracy silnika wyniosła około 400 K.



Rys. 3. Wykres zmian średnich temperatur całego gniazda dolotowego i jego powierzchni  
 Fig. 3. The graph of the average temperature variability in the inlet valve nest and its surfaces

Na rysunku 3 przedstawiono wykresy średnich temperatur całego gniazda oraz poszczególnych jego powierzchni. W gnieździe najwyższa temperatura panuje na powierzchni przylgni (2), a najniższa na powierzchni styku z głowicą (4).

#### 4. PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że w gnieździe zaworu dolotowego najwyższa temperatura występuje na granicy przylgni gniazda z jego powierzchnią czołową i po 40 s pracy wyniosła około 400 K. Spowodowane jest to dużymi różnicami temperatur pomiędzy kolektorem dolotowym a komorą spalania. Na podstawie modelowanego rozkładu temperatur w gnieździe dolotowym zauważono, że najniższa temperatura gniazda występowała na powierzchni styku z głowicą (4). Ponadto przyrost temperatury poszczególnych powierzchni gniazda w czasie 40 s pracy silnika, stopniowo się zmniejszał. Po 10 s pracy silnika dla gniazda dolotowego wyniósł on około 37 K, natomiast po upływie 20, 30, 40 s odpowiednio 26, 15, 13 K.

**Literatura**

1. Kwaśniewski S., Sroka Z., Zabłocki W.: Modelowanie obciążeń cieplnych w elementach silników spalinowych. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.
2. Gustof P.: Wyznaczanie przebiegu temperatur ładunku dla pełnego cyklu roboczego w cylindrze doładowanego silnika o zapłonie samoczynnym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Transport z. 43, Gliwice 2001.
3. Wiśniewski S.: Wymiana ciepła. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1987.

Recenzent: Dr hab.inż Jerzy Jaskólski, Prof. PK