ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: TRANSPORT z. 28 Nr kol.1310

Piotr GUSTOF
Krystian WILK

WPŁYW SPOSOBU OKREŚLANIA WARTOŚCI OPAŁOWEJ PALIWA NA WIELKOŚCI CIEPLNE W SILNIKU ZI

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki analizy wpływu kilku różnych formuł empiryczno– statystycznych określających wartość opałową paliwa na wielkości cieplne w dwustrefowym modelu procesu spalania w silniku ZI. Zakres pracy obejmował obliczenia wielkości cieplnych na podstawie danych o udziałach masowych poszczególnych pierwiastków w paliwie dla różnych wartości współczynnika nadmiaru powietrza λ.

THE IFLUENCE OF THE WAY OF PRESENTING CALORYTMIC FUEL VALUE ON THERMAL GREATNESSES IN THE SPARK IGNITION ENGINE

Summary. In this work have been presented the results of analyze influence some different statistics formulas treating calorytmic fuel value on thermal greatnesses in the two - zone model of combustion process in the spark ignition engine.

1. Sposoby określania wartości opałowej paliwa

Paliwo pod względem energetycznym może być charakteryzowane przez dwie wielkości:
- ciepło spalania W_t,
- wartość opałową W.

Ciepło spalania W_t - jest to ilość ciepła, jaka się wydziela przy spalaniu całkowitym jednostki masy lub jednostki objętości paliwa, jeśli wszystkie produkty spalania wracają do temperatury początkowej w takim stanie skupienia, w jakim znajdują się one w stanie równowagi trwałej.
Wartością opałową W nazywa się efekt cieplny reakcji spalania, gdy para wodna znajdująca się w spalinach nie ulegnie skropleniu.

Jeżeli jest znane ciepło spalania W_t w [kJ/kg], to wartość opałową W:

- paliwa ciekłego można obliczyć według przybliżonego wzoru [1] :

$$W_c = W_{t_c} - r_w \cdot (9h + w) \tag{1}$$

gdzie:

r_w-2.512 [kJ/kg]- przybliżona wartość ciepła parowania 1 [kg] wody,
9h- ilość pary wodnej powstałej ze spalenia h [kg] H_2,
w- ilość wilgoci zawartej w 1 [kg] paliwa;

- paliwa gazowego można obliczyć według wzoru:

$$W_g = W_{t_g} - 2.512 \cdot \left\{ \frac{18}{22.4} \cdot \left(\frac{1}{2}[H_2] + \frac{1}{2}m[C_nH_n] + w \right) \right\}, \tag{2}$$

gdzie:

w- ilość wilgoci zawartej w gazie,
18- masa cząsteczkowa pary wodnej w [kg],
22.4- objętość 1 kmola gazu w temperaturze 273 [K] i p=0.1013 [MPa].

Wartość opałową W paliwa można też obliczyć ze wzorów empirycznych, o ile jest znany jego skład chemiczny. Metoda ta jest oparta na założeniu, że wartość opałowa paliwa jest równa sumie iloczynów wartości opałowych poszczególnych składników przez ich udziały procentowe w paliwie. W metodzie tej istnieje wiele wzorów, do których zaliczamy:

- wzór związkowy:

$$W_c = 33900 \cdot c + 12100 \cdot o\left(h - \frac{o}{8}\right) + 10500 \cdot s - 2500\left(w + \frac{9}{8}o\right) \text{ [kJ/kg]}, \tag{3}$$

gdzie:

c,h,o,s,w - oznaczają udziały masowe czystych pierwiastków i wilgoci w paliwie wyrażone w ułamkach dziesiętnych,

- wzór Mendelejewa [1]:

$$W_c = 34.013 \cdot c + 125.6 \cdot h - 10.9(o - s) - 2.512(9h + w) \text{ [MJ/kg]}, \tag{4}$$

- formuła Dulonga [2]:

$$W_c = 32800c + 120040 \cdot \left(h - \frac{o}{8}\right) + 9260s - 2500w \text{ [kJ/kg]}, \tag{5}$$

Natomiast dla paliw gazowych używa się wzorów wyznaczających wartość opałową 1[m^3] lub 1 [kmola]:

$$W_g = 12.8[CO] + 10.8[H_2] + 35.8[CH_4] + 56.0[C_2H_2] + 59.5[C_2H_4] +$$

$$+63.4[C_2H_6] + 91[C_3H_8] + 120[C_4H_{10}] + 144[C_5H_{12}] \text{ [MJ/m}^3\text{]}, \quad (6)$$

$$W_g = 283.15[CO] + 242[H_2] + 802.87[CH_4] + 1256.46[C_2H_2] +$$

$$+1323.87[C_2H_4] + 1428.78[C_2H_6] \text{ [MJ/kmol]}, \quad (7)$$

Do obliczeń termodynamicznych silników spalinowych niekiedy konieczna jest znajomość wartości opałowej mieszanki paliwowo-powietrznej W_m [3].
Dla spalania zupełnego współczynnik nadmiaru powietrza $\lambda \geq 1$:

$$W_m = \frac{W}{1+\lambda L} \text{ [kJ/kg]} \quad (8)$$

lub

$$W_m = \frac{W}{\frac{1}{\mu_{pal}} + \lambda L_m} \text{ [kJ/kmol]}, \quad (9)$$

gdzie: W - wartość opałowa paliwa,
μ_{pal} - masa cząsteczkowa paliwa,
L - teoretyczne masowe zapotrzebowanie powietrza,
L_m - teoretyczne molowe zapotrzebowanie powietrza.

W przypadku gdy $\lambda < 1$, na skutek niezupełnego spalania CO i H_2, ilość ciepła zmniejsza się [1]:

$$W_{\alpha<1} = W - \Delta W_{CO} - \Delta W_{H_2} = W - \Delta W_{chem}, \quad (10)$$

gdzie:

$\Delta W_{CO}, \Delta W_{H_2}$ - *nie wydzielone ilości ciepła na skutek obecności w produktach spalania CO i H_2,*
ΔW_{chem} - *sumaryczna ilość nie wydzielonego ciepła.*

Jeżeli znana jest wartość, λ, to ΔW_{chem} można wyliczyć ze wzoru [1]:

$$\Delta W_{chem} = E(1 - \lambda L_m) \text{ [J/kg]} \quad (11)$$

W zależności od wielkości stosunku ilości wodoru do tlenku węgla "K " w produktach spalania współczynnik E przyjmuje następujące wartości:

dla K=0.5-0.45 $E=114\cdot 10^6$,
dla K=0.3 $E=116\cdot 10$

Inny wzór pozwalający obliczyć ΔW_{chem}:

$$\Delta W_{chem} = 0.404 \cdot W_{CO}(1-\lambda)L \quad \text{[kJ/kg]}, \tag{12}$$

$$\Delta W_{chem} = 0.404 \cdot W'_{CO}(1-\lambda)L_m \quad \text{[kJ/kmol]}, \tag{13}$$

gdzie:

W_{CO} i W'_{CO} - wartości opałowe 1 [kg] i 1 [kmola] CO.

Wartość opałowa mieszanki dla $\lambda<1$ wynosi:

$$W_m = \frac{W-\Delta W_{chem}}{1+\lambda L} \quad \text{[kJ/kg]} \tag{14}$$

lub

$$W_m = \frac{W-\Delta W_{chem}}{\frac{1}{\mu_{pal}}+\lambda L_m} \quad \text{[kJ/kmol]}. \tag{15}$$

W tablicy 1 przedstawiono skład i cechy fizykochemiczne niektórych paliw płynnych

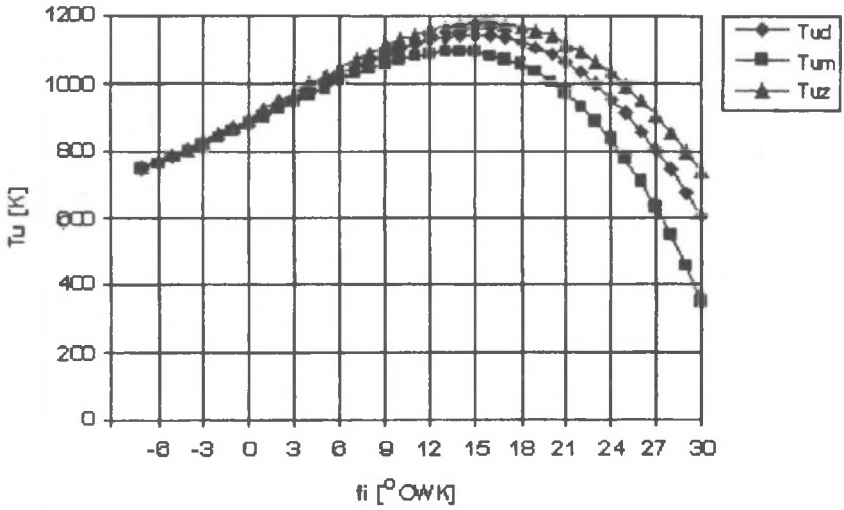
Tablica 1

Skład i cechy fizykochemiczne paliw płynnych

Paliwo	Masa właściwa [kg/dm³]	Stała stechiometryczna [kg/kg]		Elementarny skład masowy [kg/kg]			Średnia masa cząst.	Wartość opałowa paliwa [MJ/kg]	Wartość opałowa mieszanki	
		L_c	L_{mc}	c	h	o			[MJ/kg]	[MJ/kmol]
Alkohol etylowy bezwodny	0.8	9	0.31	0.52	0.13	0.35	46	27	2.7	81.3
Benzol silnikowy	0.88	13.3	0.46	0.92	0.08		78	39.7	2.79	84.1
Benzyna	0.75	14.9	0.51	0.85	0.15	ślady	95-120	44	2.71	83.9
Ligroina	0.78	14.8	0.51					42.7	2.67	
Nafta	0.83	14.8	0.51	0.85	0.14	0.01	160-200	41.8	2.65	80.8
Olej napędowy	0.87	14.5	0.5	0.9	0.1		180-220	42.5	2.67	86

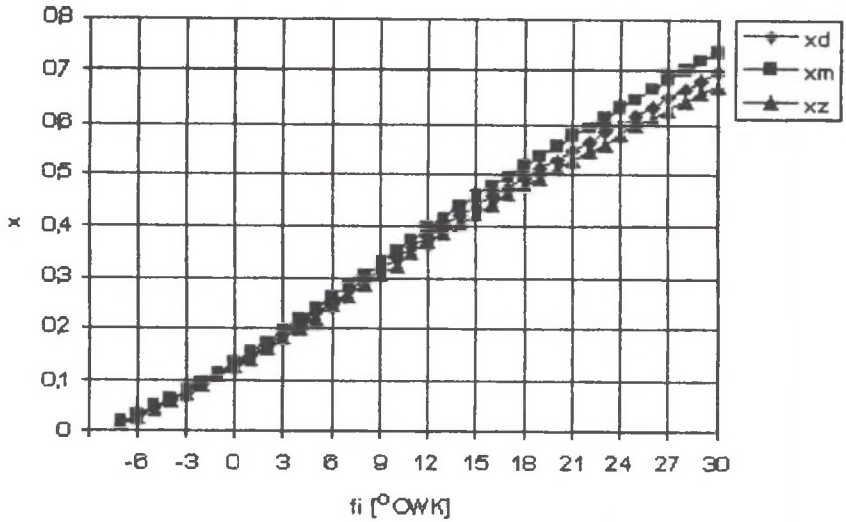
2. Obliczenia

W pracy wykorzystano model dwustrefowego procesu spalania w silniku o zapłonie iskrowym PF 126p zasilanego benzyną o następującym składzie chemicznym paliwa: c=0.855, h=0.145 dla prędkości obrotowej n =3600 [obr/min] przy silniku nieobciążonym, dla którego λ=0.85 i λ=1.1. Obliczenia oparte zostały na eksperymentalnie zarejestrowanym przebiegu ciśnienia. Ze względu na niewystarczającą ilość danych początkowych należało poczynić wstępne założenia dotyczące początkowych temperatur stref mieszanki i spalin, jednorodności mieszanki, ilości czynnika roboczego znajdującego się w komorze spalania oraz kąta początku spalania związanego ze zjawiskiem opóźnienia zapłonu. Wyniki obliczeń dla λ=0.85 przedstawione zostały na rysunkach od 1 do 3, a dla λ=1.1 na rysunkach od 4 do 6.



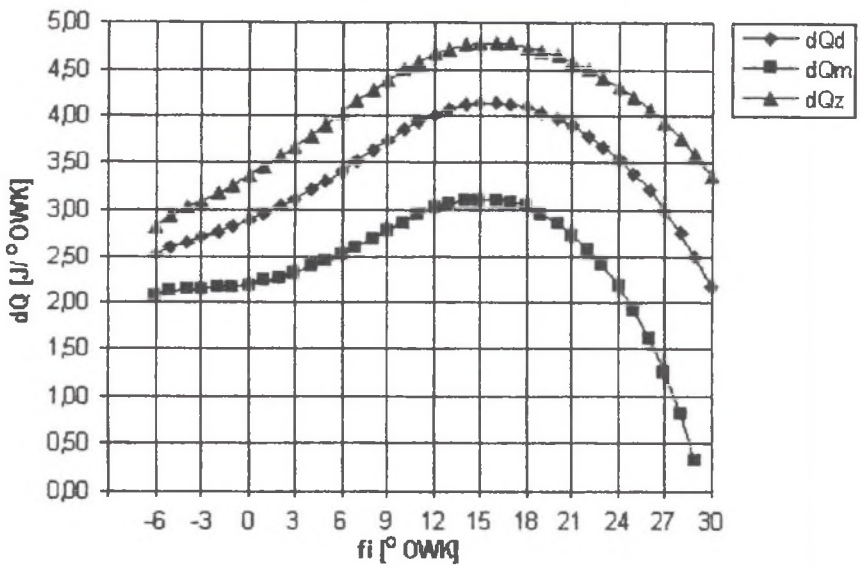
Rys.1. Zależność temperatury mieszanki od kąta obrotu wału korbowego dla λ=0.85
Fig.1. Dependence temperature of mixture on the crankshaft angle for λ=0.85

Wprowadzone przy określonych wielkościach indeksy "d", "m", "z" odpowiednio oznaczają użytą formułę do obliczania wartości opałowej paliwa wg Dulonga, Mendelejewa oraz formuły związkowej. Ze względu na niewielki wpływ użytych formuł, podczas wstępnych obliczeń, na wartości temperatury strefy spalania T_b wielkość tę w dalszych rozważaniach pominięto, koncentrując uwagę na takich wielkościach, jak temperatura strefy niespalonej T_u, współczynnik wypalenia mieszanki "x" oraz przepływ strumienia ciepła między strefami.



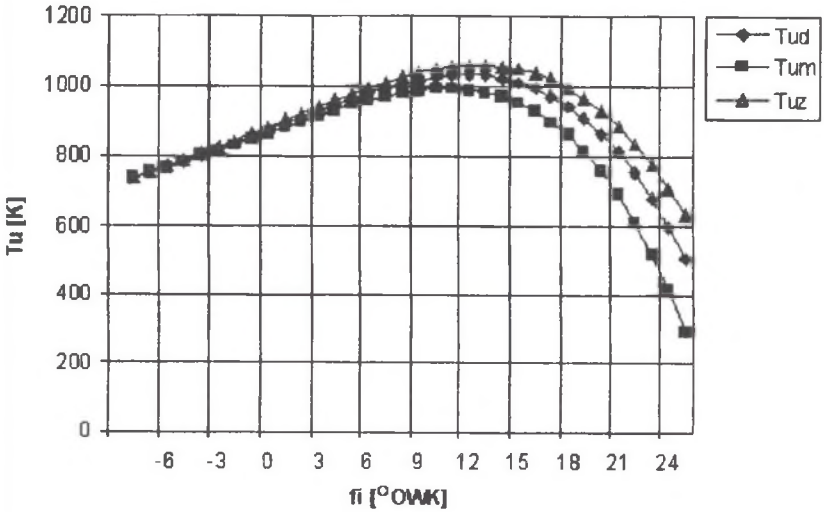
Rys.2. Zależność współczynnika wypalenia mieszanki od kąta obrotu wału korbowego dla λ=0.85

Fig.2. Dependence coefficient of used mixture on the crankshaft angle for λ=0.85



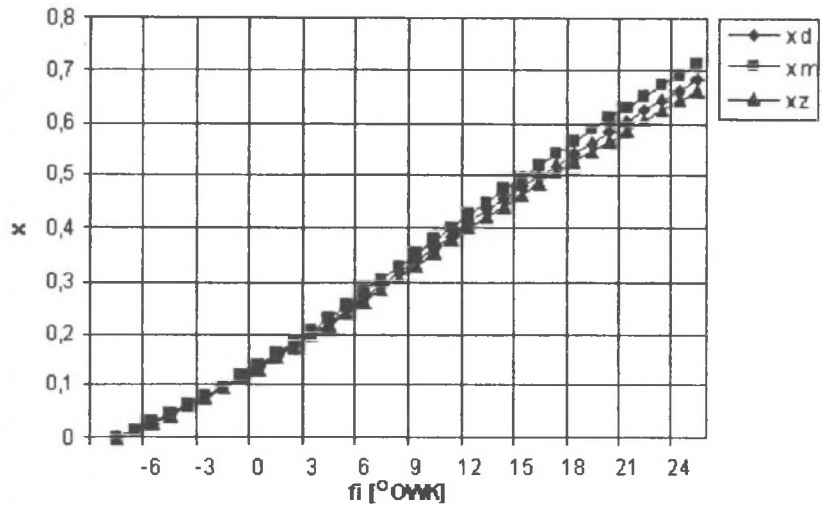
Rys.3. Zależność przepływu strumienia ciepła między strefami od kąta obrotu wału korbowego dla λ=0.85

Fig.3. Dependence flowing stream of the heat between zones on the crankshaft angle for λ=0.85



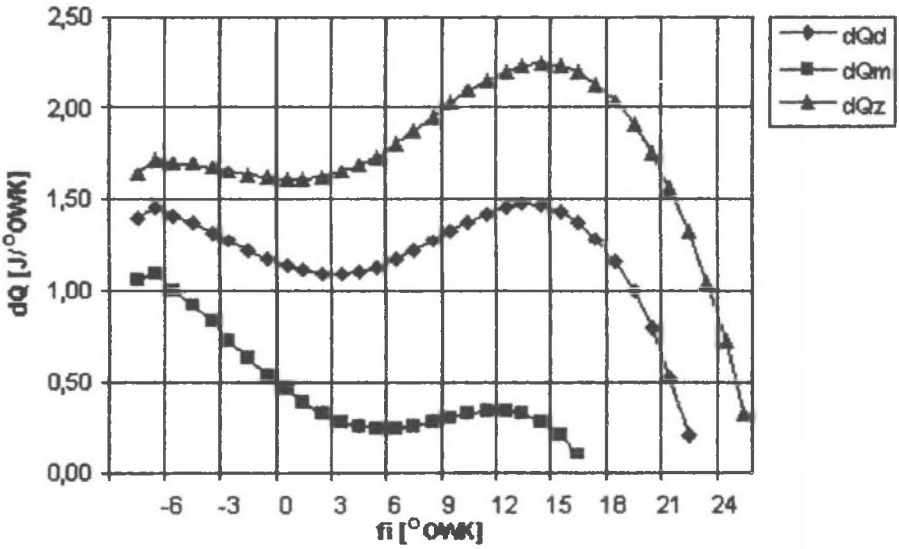
Rys.4. Zależność temperatury mieszanki od kąta obrotu wału korbowego dla λ=1.1

Fig.4. Dependence temperature of mixture on the crankshaft angle for λ=1.1



Rys.5. Zależność współczynnika wypalenia mieszanki od kąta obrotu wału korbowego dla λ=1.1

Fig.5. Dependence coefficient of used mixture on the crankshaft angle for λ=1.1



Rys.6. Zależność przepływu strumienia ciepła między strefami od kąta obrotu wału korbowego dla λ=1.1
Fig.6. Dependence flowing stream of the heat between zones on the crankshaft angle for λ=1.1

3. Wnioski

Dokonane obliczenia niektórych parametrów cieplnych na podstawie dwustrefowego modelu procesu spalania w silniku ZI uwzględniające różne hipotezy przedstawiające formuły określające sposób obliczania wartości opałowej paliwa wskazują na stosunkowo niewielką rozbieżność wyników w zależności od przyjętego współczynnika nadmiaru powietrza λ. Wydaje się słuszne przyjmowanie w modelu dwustrefowym sposobu obliczania watości opałowej paliwa na podstawie wzoru empirycznego Dulonga ze względu na popełnianie niewielkiego błędu w obliczeniach oraz uzyskanie kompromisu pomiędzy granicznymi wynikami obliczeń.

Literatura

1.Chowach J.: Obliczanie silników spalinowych. Moskwa 1977.
2.Szargut J.: Termodynamika techniczna. PWN, Warszawa 1991.
3.Wiśniewski S.: Termodynamika techniczna. WNT, Warszawa 1980.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Jerzy Jaskólski

Wpłynęło do Redakcji 14.11.1995 r.

Abstract

In this work have been presented the results of analyze influence some different statistics formulas treating calorytmic fuel value on thermal greatnesses in the two - zone model of combustion process in the spark ignition engine. The range of work included calculations thermal parameters on the base of datas about shares of the mass individual elements in the fuel for different values of air acces ratio λ. The influence of a calorytmic fuel value on the calculation results of combustion process are discussed.