

ESTIMATION OF NOVEL DESIGN ELECTRODE MASS IGNITION-PLUG INFLUENCE ON SI ENGINE PERFORMANCE

Jarosław Mamala

*Opole University of Technology
ul. Mikołajczyka 5, 45 – 271 Opole, Poland
tel.: +48 77 4006272, fax: +48 77 4006342
e-mail: mamala@po.opole.pl*

Ireneusz Hetmańczyk

*Opole University of Technology
ul. Mikołajczyka 5, 45 – 271 Opole, Poland
tel.: +48 77 4006272, fax: +48 77 4006342
e-mail: hetman@o.opole.pl*

Andrzej Augustynowicz

*Opole University of Technology
ul. Mikołajczyka 5, 45 – 271 Opole, Poland
tel.: +48 77 4006272, fax: +48 77 4006342
e-mail: augusta@po.opole.pl*

Abstract

Stand test results concerning of influence novel design of the mass electrode of spark plug on select coefficients of spark-ignition engine work are demonstrated in the paper. Authors showed, that the shape of the mass- electrode and the properly well-chosen gap between electrodes significantly bear on obtained engine torque and fuel consumption. Engine test results of the spark plug with reference to the engine with a spark-ignition of the 59 kW power are presented in paper. Load performances concerning of five rotational speeds of the engine from 1500 for 5500 RPM were performed.

Following parameters: rotational speed of the engine, torque, angle throttle, mass flow rate of air and fuel, absolute pressure in the manifold system, temperature of charge, cooling fluid, oil, and exhaust gases, HC, CO, CO₂, O₂ and NO_x concentration in combustion gases, were measured during testing. Test results are presented with relative performances of engine torque for the spark plug for different gaps between electrodes: and differential performances of the engine for novel spark plug.

Keywords: *combustion engine, stand dynamometer tests, spark plug, engine performance exhaust emission*

OCENA WPŁYWU NOWEJ KONSTRUKCJI ELEKTRODY MASOWEJ ŚWIECY ZAPŁONOWEJ NA WSKAŹNIKI PRACY

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań stanowiskowych wpływu nowej konstrukcji elektrody masowej świecy zapłonowej na wybrane wskaźniki pracy silnika o zapłonie iskrowym. Wykazano, iż kształt elektrody masowej oraz właściwie dobrany odstęp między elektrodami, znacząco wpływają na uzyskiwany moment obrotowy silnika oraz zużycie paliwa. W artykule przedstawiono wyniki badań silnikowych świecy zapłonowej w odniesieniu do silnika z zapłonem iskrowym o mocy 59 kW. Wykonane zostały charakterystyki obciążeniowe dla

pięciu prędkości obrotowych silnika od 1500 do 5500 obr/min. W czasie badań były mierzone następujące parametry: prędkość obrotową silnika, moment obrotowy, uchylenie przepustnicy, masowy natężenie przepływu powietrza i paliwa, ciśnienie bezwzględne w przewodzie dolotowym, temperaturę ładunku, cieczy chłodzącej, oleju, i spalin, stężenie HC, CO, CO₂, O₂, NO_x w spalinach.

Wyniki badań zaprezentowano poprzez względne charakterystyki momentu obrotowego silnika dla świecy zapłonowej dla różnych odstępów między elektrodami oraz różnicowe charakterystyki silnika dla nowej świecy zapłonowej.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, badania hamowniane, świeca zapłonowa, charakterystyki silnika, emisja spalin

1. Wprowadzenie

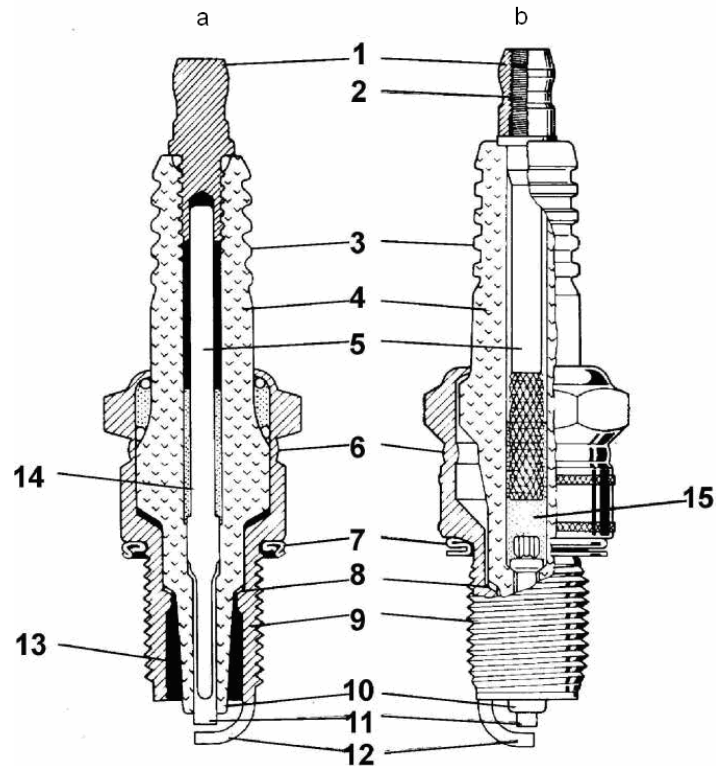
Od początku istnienia tłokowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym, elementem inicjującym proces zapłonu jest świeca zapłonowa. W wyniku doprowadzenia do niej wysokiego napięcia, powstaje wyładowanie elektryczne między elektrodami świecy, które powoduje ogrzanie mieszanki paliwowo – powietrznej do temperatury zapłonu. Od ilości dostarczonej energii zależą uzyskane wskaźniki pracy silnika o zapłonie iskrowym, a przede wszystkim otrzymywany moment obrotowy, zużycie paliwa oraz emisja substancji szkodliwych. Stąd świecom zapłonowym stawiane jest podstawowe wymaganie, aby inicjowały proces spalania mieszaniny paliwowo-powietrznej w sposób niezawodny i w ściśle określonej chwili. Nadto pożądane jest, aby okres żywotności świecy odpowiadał przebiegowi pojazdu nie mniejszemu niż 60 000 km. Wszystkim tym cechom są podporządkowane badania, które na przestrzeni ostatniego wieku, znacząco zmodernizowały świece. Przykładem na to są lata osiemdziesiąte ubiegłego wieku, kiedy to dokonano odkrycia nowych materiałów, możliwych do zastosowania na elektrody masowe i izolatora świecy [6, 8, 9]. Badania wykazały również, że kształt elektrody środkowej, wykonywanej obecnie na bazie platyny lub irydu, ma istotny wpływ na energię wyładowania. Skład chemiczny izolatorów, który jest objęty tajemnicą producentów, to najczęściej kompozycja masy ceramicznej, zawierającej głównie tlenek glinu (Al₂O₃). Zapewnia on wysoką wytrzymałość dielektryczną, odporność na zmiany temperatury oraz dużą wytrzymałość mechaniczną. W niniejszym referacie przedstawiono eksperymentalne wyniki, wpływu nowej konstrukcji elektrody masowej oraz odstępów między elektrodami na otrzymywany moment obrotowy silnika oraz zużycie paliwa.

2. Elektroda masowa świecy zapłonowej

W budowie świecy zapłonowej (rys. 1) należy zwrócić uwagę na następujące jej elementy: izolator ceramiczny, elektroda centralna, elektroda masowa (boczna).

Każdy z tych elementów odmiennie wpływa na parametry świecy zapłonowej. Nie bez znaczenia są niektóre parametry elektrody masowej a w szczególności jej kształt i odległość od elektrody centralnej. Decydują one o napięciu i kształcie wyładowania elektrycznego. W wielu ośrodkach badawczych prowadzi się nad tym zagadnieniem badania [6-8, 10, 11]. Ze względu na różne rozwiązania konstrukcyjne elektrody masowej, świece zapłonowe dzielimy na: jedno, dwu, trzy, czteroelektrodowe. W większości przypadków elektroda masowa jest wykonana ze specjalnego stopu Ni – Cr odpornego na obciążenia cieplne i zużycie elektroerozyjne. Jest to element wykonany z drutu o przekroju prostokątnym, zespolony z korpusem świecy i zagięty pod kątem 90°. Dodatkowo elektroda centralna może mieć wycięty rowek np. w kształcie litery V (rys. 2).

Cechą charakterystyczną takiej świecy jest to, że zapalonemu płomieniowi mieszanki paliwowo-powietrznej, rozchodzącemu się na boki w głąb komory spalania, towarzyszy zmniejszenie zapotrzebowania napięcia wyładowania.



Rys. 1. Budowa świecy zapłonowej [9]: a - jednolita elektroda środkowa, b - elektroda środkowa przedzielona stopem szklanym

1 - nakrętka kontaktowa, 2 - końcówka gwintowana, 3 - bariery upływu prądu pelzającego o profilu rowkowym, 4 - izolator, 5 - rdzeń świecy, 6 - strefa skurczów zapewniająca szczelność korpusu izolatora, 7 - podkładka uszczelniająca, 8 - uszczelka przewodząca ciepło z izolatora na korpus świecy, 9 - część gwintowa korpusu świecy, 10 - stożek izolatora, 11 - elektroda środkowa, 12 - elektroda boczna, 13 - komora cieplna, 14 - proszek uszczelniający, 15 - stop szklany elektrycznie przewodzący

Fig. 1. Design of spark plug [8]: a - uniform central electrode, b - central electrode disconnected with glass alloy

1 - contact-cap, 2 - screwed ending, 3 - barriers of creeply leak of groove profile, 4 - insulator, 5 - spark plug core, 6 - cramp zone securing tightness of insulator body, 7 - sealing up gasket, 8 - conducting heat gasket from insulator into spark plug body, 9 - screw part of spark plug body, 10 - insulator cone, 11 - central electrode, 12 - lateral electrode, 13 - thermal chamber, 14 - sealing up powder, 15 - the glass-alloy electrically conductible



Rys. 2. Świeca zapłonowa z elektrodą centralną z rowkiem w kształcie litery V [6]
Fig. 2. Spark plug with central electrode with groove in shape of V letter [6]

W zakładach NSK Iskra w Kielcach opracowano oryginalną elektrodę masową, w której zastosowano rowek o kształcie prostokątnym. Jednak ustalenie optymalnej przerwy pomiędzy elektrodami świecy, determinującej określone napięcie wyładowania oraz zapewniające oczekiwane wskaźniki pracy silnika wymagało przeprowadzenia badań na obiekcie rzeczywistym. Badania takie, szczegółowo opisane w pracy [8], wykonano w laboratorium Katedry Pojazdów Drogowych i Rolniczych Politechniki Opolskiej [3, 5]. Do badań użyto tradycyjne świece zapłonowe typu FE65PS z płaską elektrodą masową, które są dedykowane do silnika typu CE, dla którego zalecany przez producenta odstęp między elektrodami wynosi 0,9 mm. Świece te posiadały zróżnicowany odstęp między elektrodami, w zakresie od 0,6 do 1,0 mm w celu określenia wpływu odstępu między elektrodami na otrzymany moment obrotowy i zużycie paliwa. W badaniach wykorzystano również świece typu FE65PS-U [7], z nową elektrodą masową z wyciętym na niej rowkiem o kształcie prostokątnym. Świece te, podobnie jak tradycyjne miały różne odstępy pomiędzy elektrodami, w zakresie od 0,6 do 1,0 mm.

3. Opis badań eksperymentalnych

Podjęty w opracowaniu problem badawczy rozpoznano na silniku spalinowym o zapłonie iskrowym, którego podstawowe parametry zestawiono w tabeli 1. W celu jakościowego porównania badanych świec zapłonowych sporządzono charakterystyki ogólne silnika w układzie przestrzennym, w oparciu o pomiary odpowiadające charakterystyce obciążeniowej. Punkty pomiarowe dobrano arbitralnie tak, aby objęły one możliwie cały obszar pracy silnika. Wykonano pięć krzywych obciążeniowych przy następujących prędkościach obrotowych silnika 1500, 2500, 3500, 4500, 5500 obr/min, a dla każdej krzywej przyjęto około 11 arbitralnych wartości uchylenia przepustnicy, zdeterminowanych wartością przyrostu momentu obrotowego silnika.

Tabela 1. Parametry techniczne silnika ZI
Table 1. SI engine technical data

Nazwa	Parametr
Typ Silnika	CE
Pojemność skokowa w cm ³	1598
Moc maksymalna wg DIN w kW	59
Prędkość obrotowa mocy maksymalnej w obr/min	5200
Maksymalny moment obrotowy wg DIN w N·m	125
Prędkość obrotowa maksymalnego momentu w obr/min	3200

Dla tak wyznaczonych punktów pomiarowych, okres stabilizacji wynosił 30 sekund a pomiar trwał przez 10 sekund, w czasie którego mierzono i rejestrowano następujące wskaźniki silnika:

- prędkość obrotową silnika [obr/min],
- moment obrotowy silnika [Nm],
- uchylenie przepustnicy [%],
- masowy strumień powietrza [g/s],
- ciśnienie bezwzględne w przewodzie dolotowym [kPa],

- strumień paliwa [g/s],
- temperaturę ładunku [°C],
- temperaturę cieczy chłodzącej [°C],
- temperaturę oleju [°C],
- temperaturę spalin [°C],
- stężenie HC, CO, CO₂, O₂, NO_x w spalinach – [% objętości].

Wartości z każdego 10 sekundowego pomiaru uśredniano i zapisano w pliku tekstowym. W ten sposób powstał zbiór około 60 dyskretnych danych pomiarowych rejestrowanych w całym polu pracy silnika. Do odwzorowania charakterystyki silnika zaproponowano nowatorską metodę wykorzystującą własności sztucznych sieci neuronowych (SSN). Jak wykazano pracach [1, 2, 4], dzięki zastosowaniu SSN istnieje możliwość odwzorowania charakterystyk silnika bezpośrednio z danych pomiarowych. Charakterystyki ogólne silnika przedstawiono w postaci względnej, uznając je za właściwe do określenia optymalnego odstępów między elektrodami świec.

Na rys. 3 przedstawiono przykładowe względne charakterystyki silnika, dla świecy typu FE65PS, dla trzech różnych odstępów między elektrodami, wynoszące odpowiednio 1,0 mm, 0,8 mm, 0,6 mm. Zakres względności od 0 do 1 przypisuje się prędkości obrotowej silnika w zakresie od 1000 obr/min do 6000 obr/min, dla momentu obrotowego jest to zakres od -50 Nm do 120 Nm a dla strumienia zużycia paliwa wynosi on od 0 g/s do 5 g/s.

Z przedstawionych wykresów wynika, iż zmniejszanie odstępów między elektrodami jest korzystne do wymiaru 0,8 mm. Wpływa to korzystnie na zwiększenie momentu obrotowego silnika o około 5% (rys. 3b) przy wyższych prędkościach obrotowych w zakresie 3500 do 4500 obr/min przy jednoczesnej poprawie przebiegu momentu obrotowego w zakresie niskich prędkości obrotowych i małych obciążeniach. Dalsze zmniejszanie odstępów między elektrodami nie powoduje widocznych różnic.

Na rys. 4 przedstawiono przykładowe względne charakterystyki silnika dla świecy typu FE65PS-U również dla trzech różnych odstępów między elektrodami, wynoszące odpowiednio 1,0 mm, 0,8 mm, 0,6 mm. Podobnie jak w poprzednim przypadku tu również najkorzystniejszym odstępem jest wymiar 0,8 mm.

Jak wynika z rys. 3 i 4, porównanie świec typu FE65PS i FE65PS-U, dla odstępów między elektrodami wynoszącego 0,8 mm a uznanego za najlepszy, jest trudne. W tym celu wyznaczono względne charakterystyki różnicowe, przyjmując jako odniesienie wartości z pomiaru dla świecy typu FE65PS. Rys. 5 ilustruje względną różnicę dla momentu obrotowego silnika i zużycia paliwa.

Z przedstawionych wykresów wynika, iż zastosowanie elektrody masowej nowej konstrukcji, wpływa korzystnie na przebieg momentu obrotowego silnika o ponad 5% (rys. 5a) przy wyższych prędkościach obrotowych powyżej 4000 obr/min. Jednocześnie w tym zakresie (rys. 5b) nie zwiększa się strumień zużytego paliwa.

Różnicę względną dla obu świec przedstawioną na rysunku 5, obliczono z zależności:

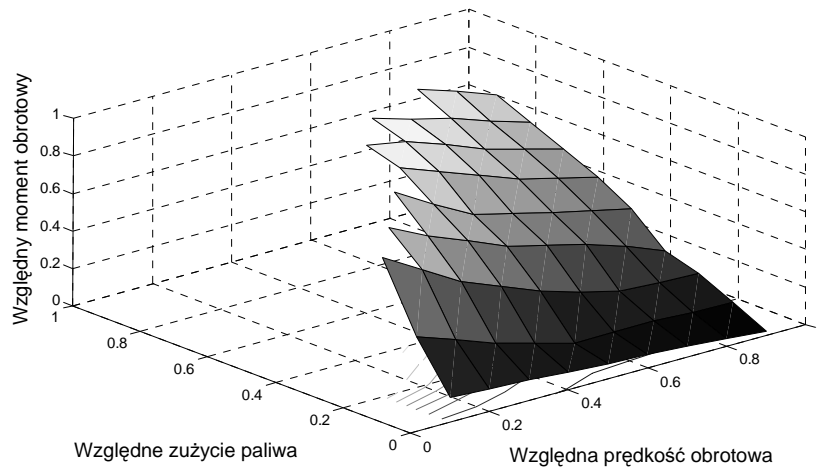
$$\Delta x = \frac{x_N - x_T}{x_T}, \quad (1)$$

gdzie:

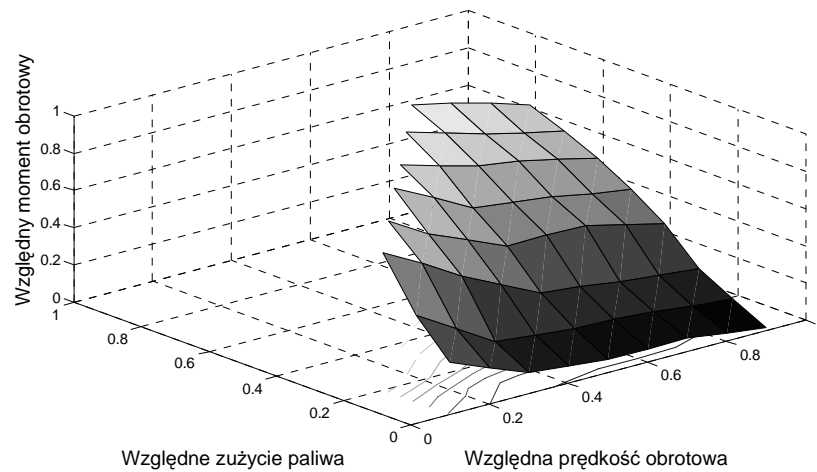
x_N – wynik pomiarów dla świecy FE65PS-U – 0,8 mm,

x_T – wynik pomiarów dla świecy FE65PS – 0,8 mm.

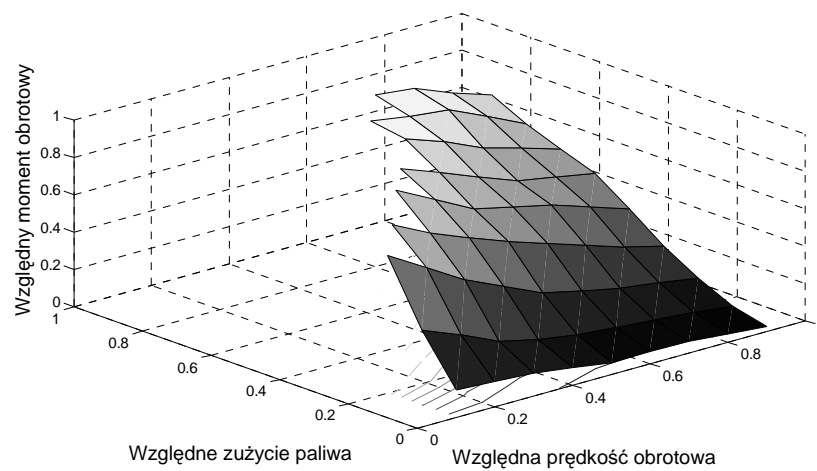
a)



b)



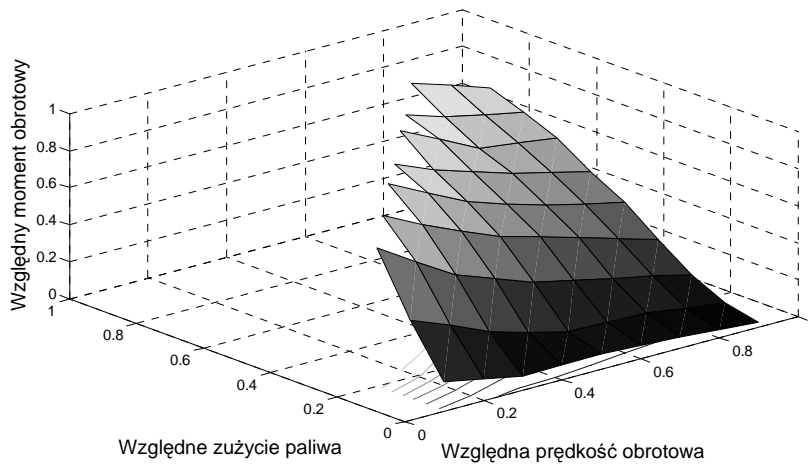
c)



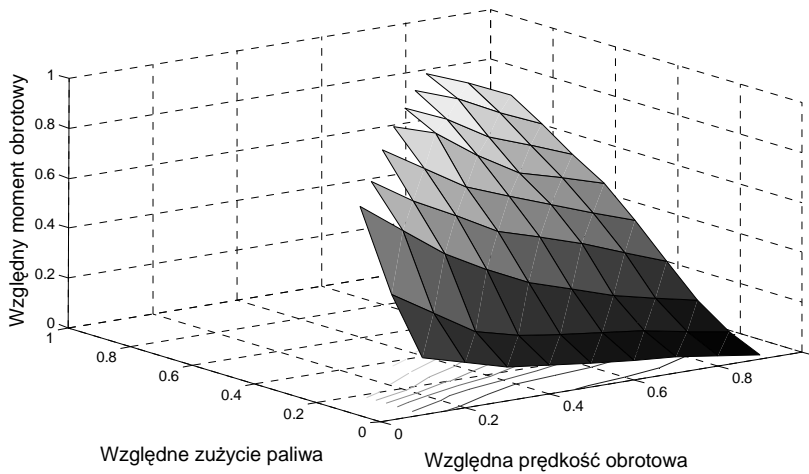
Rys. 3. Względna charakterystyka momentu obrotowego silnika dla świecy zapłonowej typu FE65PS dla odstępów między elektrodami: a) 1,0 mm; b) 0,8 mm; c) 0,6 mm

Fig. 3. The relative performance of engine torque for spark plug of the FE65PS type for gap between electrodes: a) 1.0 mm; b) 0.8 mm; c) 0.6 mm

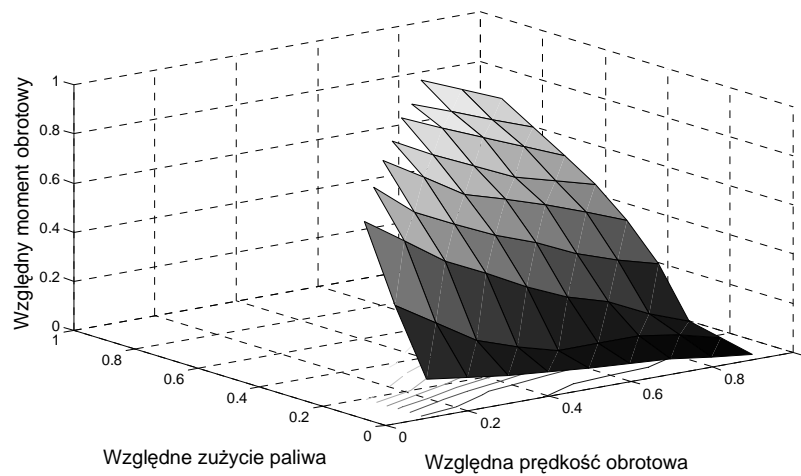
a)



b)



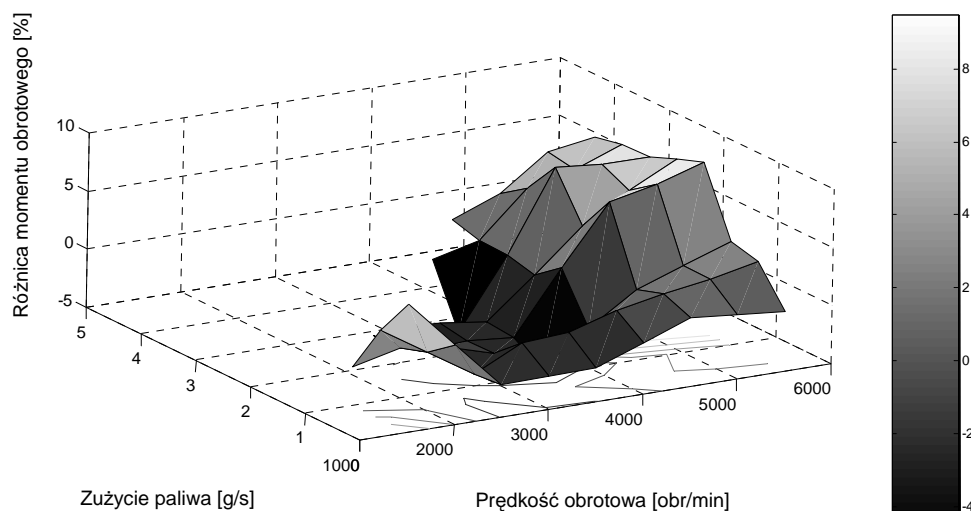
c)



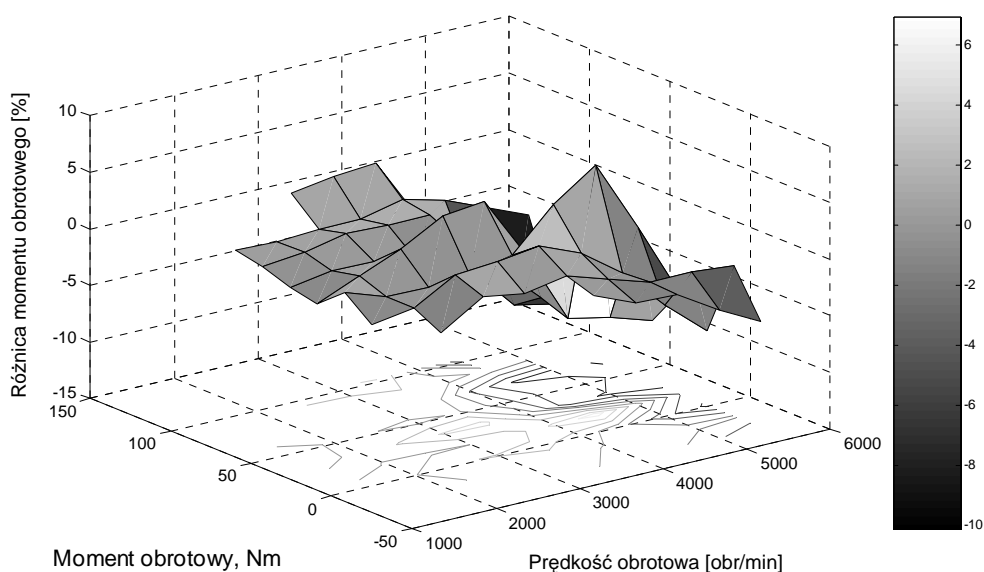
Rys. 4. Względna charakterystyka momentu obrotowego silnika dla świecy zapłonowej typu FE65PS-U dla odstępów między elektrodami: a) 1,0 mm; b) 0,8 mm; c) 0,6 mm

Fig. 4. The relative performance of engine torque for spark plug of the FE65PS-U type for gap between electrodes: a) 1.0 mm; b) 0.8 mm; c) 0.6 mm

a)



b)



Rys. 5. Różnicowe charakterystyki silnika dla świecy zapłonowej typu FE65PS i FE65PS-U dla odstępów między elektrodami 0,8 mm; a) momentu obrotowego, b) zużycia paliwa

Fig. 5. The differential engine performances for spark plug of the FE65PS and FE65PS-U types for gap between electrodes 0,8 mm; a) the torque, b) the fuel consumption

Analizując rys. 5, można dostrzec szereg lokalnych maksimum i minimum, które utrudniają jednoznaczną ocenę świec. Różnice względne dla odstępów między elektrodami wynoszącego 0,8 mm oraz dla innych odstępów [] wskazują na to, iż lepsze własności wykazuje świeca typu FE65PS-U z nową konstrukcją elektrody masowej.

Ze względu na ograniczony zakres badań, niepotwierdzony większą liczbą przeprowadzonych prób, powiązanych z badaniami trwałościowymi, nie można jednak jednoznacznie wskazać świecy o najlepszych własnościach.

4. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych nad zagadnieniem optymalizacji odstępów między elektrodami świecy oraz wpływu nowej konstrukcji elektrody masowej na wskaźniki pracy silnika o zapłonie iskrowym. Jak przedstawiono w pracy, optymalny odstęp między elektrodami, zarówno dla świecy tradycyjnej jak i z nową elektrodą masową wynosi 0,8 mm i różni się od zalecanego przez producenta dla tego silnika o 0,1 mm. Wykonanie na elektrodzie masowej dodatkowego wycięcia w kształcie prostokąta, jak wykazano w opracowaniu korzystnie wpływa na wskaźniki pracy silnika. Jednakże ograniczony zakres badań nie pozwala jednoznacznie potwierdzić, iż świeca typu FE65PS-U charakteryzuje się najlepszymi własnościami, pod względem uzyskiwanego momentu obrotowego oraz zużycia paliwa, w całym polu pracy silnika.

Literatura

- [1] Ghazi Zadeh, A., Fahim, A., El-Gindy, M., *Neural network and fuzzy logic applications to vehicle systems: literature survey*, International Journal of Vehicle Design, 1997.
- [2] He, J., Rutland, C., *Application of artificial neural network for integration of advanced engine simulation methods*, Peoria, 2000.
- [3] Jantos, J., Mamala, J., *Stanowiskowy symulator obciążenia drogowego silnika*, Teza Komisji Naukowo-Problemovej Motoryzacji PAN oddział w Krakowie, Konstrukcja, badania, eksploatacja, technologia pojazdów samochodowych i silników spalinowych, Kraków 1999, t.18, ss. 113-119.
- [4] Mamala, J., Jantos, J., *Odwzorowanie charakterystyk silnika za pomocą sztucznych sieci neuronowych*, Zeszyt naukowy Politechniki Opolskiej, seria Mechanika, Opole 2005 (w druku).
- [5] Mamala, J., Jantos, J., *Stanowisko dynamiczne do badań układu pojazd - silnik techniką symulacji stanowiskowej*, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo - Techniczna AUTOPROGRES'98, Jachranka 1998, ss. 19-27.
- [6] *Materiały firmy NGK*, ze strony: www.ngktk.pl.
- [7] *Opis patentowy świecy zapłonowej PL 178425 B1*, 1995.
- [8] Smolnik, L., *Wpływ świecy zapłonowej na wskaźniki pracy silnika*, Praca magisterska, Politechnika Opolska, Opole 2005.
- [9] Wendeker, M., *Sterowanie zapłonem w silniku samochodowym*, Copyright by Lubelskie Towarzystw Naukowe, Lublin 1999.
- [10] www.bosch.com.
- [11] www.iskra-kielce.pl.

