

# Wpływ wybranych parametrów układu zapłonowego na proces spalania mieszanki paliwowo-powietrznej w silniku z zapłonem iskrowym

Mirosław Urbanowicz

*W artykule przedstawiono wpływ wybranych parametrów elektrycznych na proces spalania mieszanki w silniku z zapłonem iskrowym. Tematyka została wybrana ze względu na powtórne zwiększone zapotrzebowanie rynku samochodowego na silniki ZI, pod kątem małej emisji cząstek stałych w stosunku do silników z zapłonem samoczynnym. Wskazano na możliwości samoadaptacji układu zapłonowego do zmiennych warunków pracy.*

**Słowa kluczowe:** diagnostyka pokładowa, proces zapłonu mieszanki, sygnały sterujące

## Wstęp

Silnik z zapłonem iskrowym powraca na rynek samochodowy po niedawnym regresie produkcji tych samochodów. Przyczyną tego stanu jest zdecydowanie mniejsza emisja cząstek stałych w porównaniu do silników z zapłonem smocznym. W artykule przedstawiono wybrane czynniki które wpływają na przebieg procesu spalania mieszanki paliwowo – powietrznej, ponieważ wpływają one na emisję toksycznych składników spalin do atmosfery, zużycie paliwa oraz parametry eksploatacyjne pojazdu na przykład na moment obrotowy silnika.

Na przebieg procesu spalania mieszanki ma wpływ szereg sygnałów sterujących, które zostają poddane analizie przez urządzenie sterujące tym procesem. Najważniejsze z nich to:

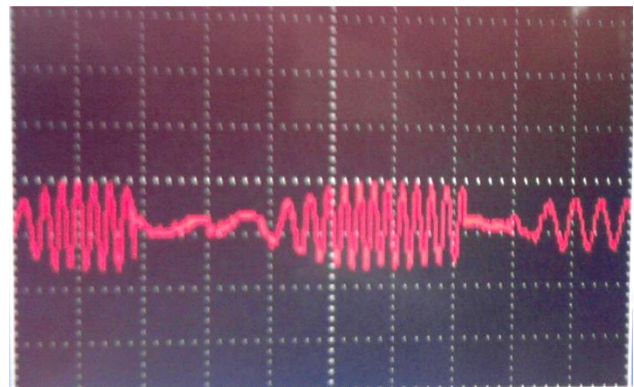
- prędkość obrotowa,
- sygnał sondy lambda,
- sygnał przepływomierza,
- temperatura powietrza i czynnika chłodzącego,
- napięcie akumulatora,
- położenie przepustnicy.

Oprócz wyżej wymienionych sygnałów sterujących na proces spalania mają wpływ inne czynniki to jest: czynniki konstrukcyjne, kąt wyprzedzenia zapłonu a także parametry elektryczne obwodu zapłonu. Parametry te to: rezystancja uzwojenia pierwotnego transformatora zapłonowego, jego indukcyjność własna, pojemność elektryczna obwodu zapłonu. W artykule przedstawiono wpływ trzech sygnałów sterujących

na przebieg spalania mieszanki w komorze spalania silnika ze względu na podobne objawy w przypadku usterki. Wybrano następujące sygnały: prędkość obrotową, sygnał lambda oraz sygnał położenia pedału gazu.

## 1. Wpływ prędkości obrotowej

Sygnał prędkości obrotowej pochodzi z czujnika prędkości obrotowej. W wybranym systemie Motronic, źródłem sygnału jest czujnik magnetoindukcyjny. Jeśli sygnał czujnika jest nieprawidłowy to urządzenie sterujące przyjmuje nieprawidłową wartość prędkości do obliczenia czasu wtrysku.



Rys. 1. Przebieg sygnału czujnika prędkości obrotowej

Na powyższym oscylogramie widać falowanie amplitudy sygnału czujnika co powoduje przejście urządzenia sterującego w stan awaryjny. Silnik zużywa więcej paliwa i traci moc, gdyż kąt wyprzedzenia zapłonu nie odpowiada rzeczywistej prędkości obrotowej. Falowanie spowodowane jest zbyt dużą przerwą między wieńcem zębatym na kole zamachowym lub zanieczyszczeniem wieńca lub jego uszkodzeniem. Czas wtrysku zależy od obrotów silnika oraz położenia przepustnicy:  $T_i = f(\alpha, n)$  oraz od ciśnienia w kolektorze dolotowym. Masa paliwa dobierana jest do masy powietrza wg. formuły:

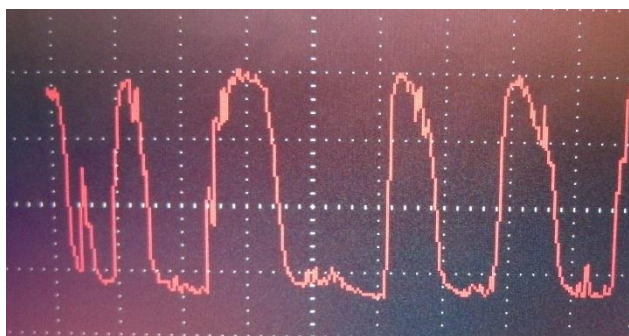
$$m_{pow} = V_{pow} \rho \eta = V_{skok} n \rho \eta k$$

$$m_{\text{pal}} = m_{\text{pow}} \cdot 14,7$$

gdzie:  $\eta$  współczynnik napełnienia  
 $\rho$  gęstość powietrza w  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,  
 $V_{\text{skok}}$  pojemność skokowa silnika,  
 $n$  obroty silnika,  
 $k$  nastawy stałe i korekty np. od sondy lambda.

## 2. Wpływ sygnału sondy lambda

Bardzo podobne objawy mogą zostać spowodowane przez nieprawidłowy sygnał sondy lambda. Jej uszkodzenie powoduje stałe wzbogacanie mieszanki w stanie awaryjnym pracy urządzenia sterującego.

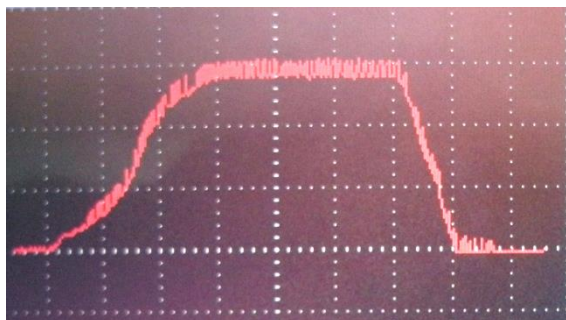


Rys. 2. Sygnał sondy lambda [ ]

Rysunek 2 przedstawia sygnał sondy lambda. Przebieg sygnału nieprawidłowy. Impulsy sterujące są nierówne i przerywane. Sygnał sondy lambda jest również wykorzystywany do diagnostyki stanu technicznego katalizatorów spalin samochodowych.

## 3. Wpływ sygnału czujnika położenia dźwigni przyspieszenia

Na przebieg spalania mieszanki bardzo duży wpływ ma sygnał przepływomierza powietrza i czujnika położenia dźwigni przyspieszenia. Ilość wtryskiwanego paliwa dobierana jest do ilości zasysanego powietrza poprzez czas wtrysku wtryskiwacza benzyny. Bardzo ważne jest przy tym, aby kolektor ssący nie podawał fałszywego powietrza. Taki stan powoduje nadmierną emisję toksycznych składników spalin do atmosfery, spadek mocy, nadmierne zużycie paliwa.



Rys. 3. Przebieg sygnału czujnika położenia dźwigni przyspieszenia

Rysunek 3 przedstawia przebieg sygnału czujnika położenia dźwigni przyspieszenia, w czasie przyspieszania i spowalniania pojazdu. Jest to sygnał prawidłowy.

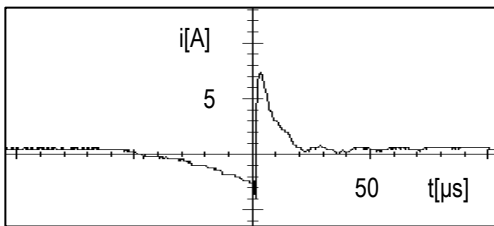
## 4. Wpływ pojemności elektrycznej

Na proces spalania ładunku w komorze spalania duży wpływ ma pojemność elektryczna obwodu zapłonu. Jest ona skupiona głównie w świecy zapłonowej tego obwodu. Do przeskoku iskry zapłonowej w samochodzie z zapłonem ZI, niezbędne jest naładowanie się wszystkich pojemności elektrycznych oraz przebiecie przerwy między elektrodami świecy zapłonowej. Świeca zapłonowa bez względu na jej rodzaj, swoją budową przypomina kondensator, a przeskok iskry jest prawie identyczny jak przebiecie dielektryka.

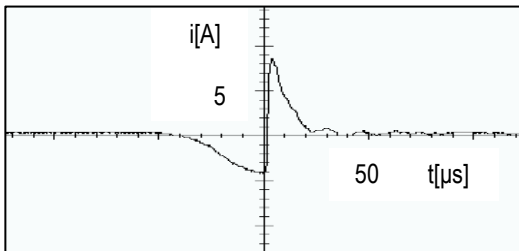
Dielektrykiem, w tym przypadku jest mieszanka paliwowo-powietrzna. Jej właściwości zmieniają się wraz ze składem mieszanki, temperaturą w komorze spalania oraz z zawartością zjonizowanych cząstek paliwa i powietrza. Ładowanie pojemności układu zapłonowego uzależnione jest od czasu niezbędnego do ładowania napięcia przebiecia. Ten zmienia się wraz z prędkością obrotową silnika. Przebieg procesu ładowania się świecy zapłonowej przypomina ładowanie kondensatora. Dielektrykiem, w tym przypadku jest mieszanka paliwowo-powietrzna. Jej właściwości zmieniają się wraz ze składem mieszanki, temperaturą w komorze spalania oraz z zawartością zjonizowanych cząstek paliwa i powietrza. W świecy konwencjonalnej wyładowanie iskrowe przebiega w początkowej fazie w sposób niewidoczny dla oka ludzkiego. Jest to tzw. wyładowanie o charakterze pojemnościowym.

W tej fazie wyładowania, następuje ładowanie pojemności obwodu zapłonowego, na które składają się pojemności przewodów wysokiego napięcia, cewki zapłonowej i świecy zapłonowej. Pojemności te osiągają razem wartość rzędu:  $10^{-10}$  F.

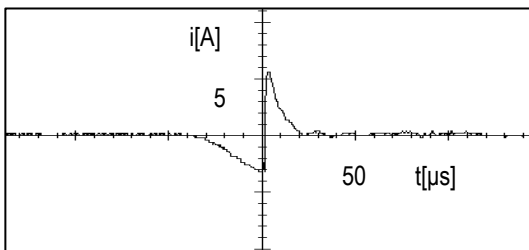
Po naładowaniu się pojemności obwodu zapłonowego następuje kolejny etap przeskoku iskry tj. wyładowanie łukowe o charakterze indukcyjnym. Czas ładowania pojemności świecy zapłonowej i wszystkich pojemności obwodu wysokiego napięcia, w którym przebiega proces przeskoku iskry zapłonowej, zależy od prądu ładującego. Ten z kolei zależy głównie od prądu przesunięcia co jest równoznaczne z własnościami fizykochemicznymi mieszanki paliwowo powietrznej znajdującej się między elektrodami świecy zapłonowej. Własności mieszanki ulegają zmianom wraz ze zmianą prędkości obrotowej wału korbowego. Zmieniają się mianowicie warunki przepłukiwania komory spalania a co za tym idzie własności fizykochemiczne ładunku w komorze spalania. Poniżej przedstawiono oscylogramy ładowania pojemności świecy zapłonowej w zależności od prędkości obrotowej. Rysunki 4 do 6 dotyczą przerwy między elektrodami świecy 0,8mm.



Rys. 4. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej dla  $n=1800\text{obr/min}$ .



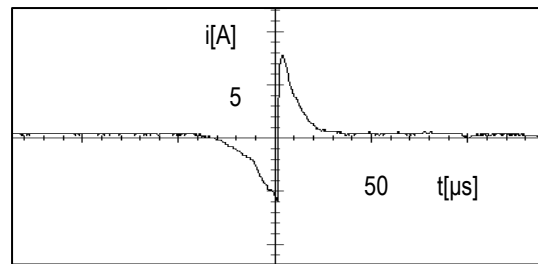
Rys. 5. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej dla  $n=3000\text{obr/min}$ .



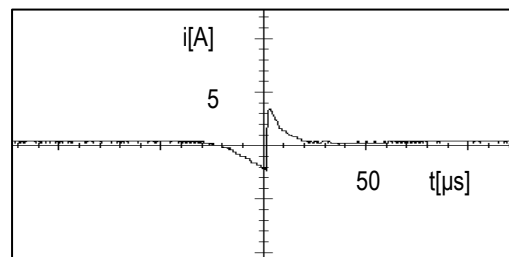
Rys. 6. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej dla  $n=3600\text{obr/min}$ .

Proces ładowania pojemności świecy zapłonowej przebiega przed igłą napięcia. W miarę wzrostu prędkości obrotowej wału korbowego czas ładowania ulega zmniejszeniu, odpowiednio do prędkości obrotowej związanej z czasem wytworzenia iskry zapłonowej czyli rozładowaniem pojemności świecy zapłonowej. Czas ulega skróceniu odpowiednio z 50 do 35 mikrosekund. Napięcie ładowania pojemności zmienia się od 400 do 300 V. Związane jest to ze wzrostem jonizacji ładunku, w skład którego wchodzi jony pozostałe po poprzednim procesie spalania.

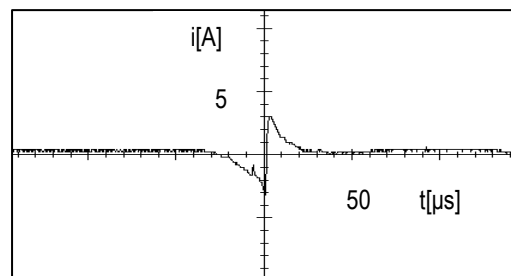
Niewątpliwie na pojemność świecy wpływa przerwa między elektrodami świecy zapłonowej. Poniżej przedstawiono prądy przesunięcia dla zwiększonej przerwy do 1,1 mm. Zwiększenie przerwy między elektrodami powoduje zmniejszenie pojemności elektrycznej. Problem ten przedstawiono na poniższych oscylogramach. Prędkości obrotowe na oscylogramach, są adekwatne do prędkości przedstawionych na rysunkach przedstawionych powyżej.



Rys. 7. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej o zwiększonej przerwie między elektrodami do 1,1mm, dla  $n=1800\text{obr/min}$ .



Rys. 8. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej o zwiększonej przerwie między elektrodami do 1,1mm, dla  $n=3000\text{obr/min}$ .



Rys. 9. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej o zwiększonej przerwie między elektrodami do 1,1mm, dla  $n=3600\text{obr/min}$ .

Proces ładowania pojemności świecy zapłonowej wraz ze wzrostem przerwy między elektrodami świecy, ulega zmianie. Jest to uzasadnione zmniejszeniem pojemności między elektrodami. Czas ładowania ulega skróceniu. Jest to zjawisko logiczne i uzasadnione zmianą parametrów świecy zapłonowej – pojemności elektrycznej. W związku z tym czas ładowania ulega skróceniu, odpowiednio od 35 do 25  $\mu\text{s}$ .

### Wpływ rezystancji

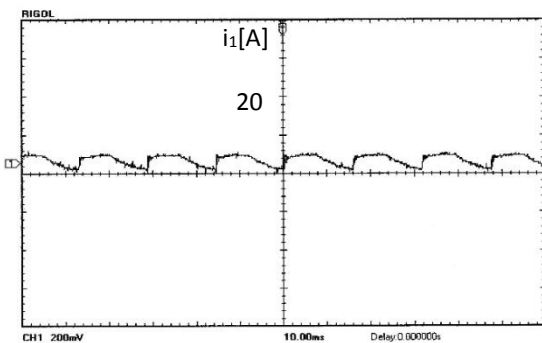
Niewątpliwie na przebieg procesu spalania ma wpływ rezystancji mieszanki paliwowo powietrznej, znajdującej się aktualnie w komorze spalania. Rezystancja między elektrodami świecy zapłonowej ulega zmianie wraz z prędkością obrotową i obciążeniem silnika. Wynika to ze zmiany składu mieszanki i współczynnika  $\lambda$  oraz zawartości jonów z poprzedniego zapłonu. Aktualnie nie ma badań na ten temat w dostępnej literaturze. Poza rezystancją mieszanki paliwowo powietrznej, pozostała rezystancja obwodu

zapłonu skupiona jest głównie w uzwojeniu pierwotnym i wtórnym transformatora zapłonowego. Wpływają one na amplitudę prądu iskry zapłonowej.

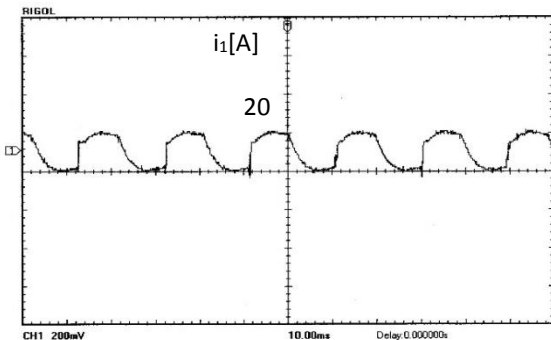
## Wpływ indukcyjności

Na proces wytworzenia iskry zapłonowej wpływ ma przede wszystkim indukcyjność własna uzwojenia pierwotnego transformatora zapłonowego. Indukcyjność własna wpływa na kształt impulsu zapłonowego w uzwojeniu pierwotnym transformatora zapłonowego – prądu w uzwojeniu pierwotnym. Najważniejszą częścią tego impulsu jest zbocze opadające. Prędkość zaniku tego zbocza wpływa na wielkość napięcia po stronie wtórnej to jest wysokiego napięcia a tym samym na energię iskry zapłonowej.

a)



b)



**Rys. 10.** Porównanie przebiegów prądów  $i_1$  w baterijnym układzie zapłonowym dla  $n \sim 2000$  obr/min.

- a) dla zapłonu standardowego ,  
b) dla zapłonu zmodyfikowanego

Na rysunku 10 przedstawiono przebiegi prądu w uzwojeniu pierwotnym transformatora zapłonowego. Rysunek 10a przedstawia przebiegi prądu dla standardowego układu zapłonowego, rysunek 10b układu modyfikowanego to jest o zmniejszonej indukcyjności uzwojenia pierwotnego transformatora zapłonowego.

W układzie zmodyfikowanym prąd osiąga amplitudę większą o ok. 49% od układu standardowego. Automatycznie stromość zboczy: narastającego i opadającego jest odpowiednio większa.

W układzie standardowym przeważają harmoniczne o szerokości pasma ok. 80Hz i częstotliwości 67,5Hz , wyższe harmoniczne mają częstotliwości 132Hz , 197Hz , 265Hz, 332Hz , 392Hz i większych.

W układzie zmodyfikowanym przeważa częstotliwość 55Hz o szerokości pasma ok. 87,5Hz , udział ma też harmoniczna 155Hz i 162Hz o amplitudach ok. 25% harmonicznej podstawowej. Wyższe harmoniczne mają małe znaczenie, gdyż największy wpływ na przebieg mają trzy pierwsze harmoniczne.

Przebiegi dla innych prędkości obrotowych wykazują podobny trend, a mianowicie wraz ze zmniejszeniem indukcyjności własnej uzwojenia pierwotnego następuje poprawa kształtu prądu w uzwojeniu pierwotnym a szczególnie zbocza opadającego prądu, zgodnie z wzorem 1.

$$i = I \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1)$$

gdzie:  $i$  wartość chwilowa prądu w uzwojeniu pierwotnym,  
 $t$  czas narastania prądu,  
 $\tau$  stała czasowa obwodu.

Szybkość opadania zbocza prądu w uzwojeniu pierwotnym transformatora zapłonowego ma kluczowe znaczenie w procesie wytworzenia wysokiego napięcia powodującego zapłon mieszanki paliwowo powietrznej w komorze spalania silnika spalinowego.

Należy dążyć do optymalizacji wartości indukcyjności w obwodzie zapłonu samochodu, ponieważ zbyt jej duża wartość powoduje osiągnięcie małej amplitudy prądu a zbyt mała wartość wpływa niekorzystnie na przebieg indukcji elektromagnetycznej. We współczesnych samochodach wartość indukcyjności uzwojenia pierwotnego transformatora zapłonowego wynosi kilka milihenrów.

## Wnioski

Współczesna technika motoryzacyjna stoi przed wielkimi wyzwaniami. Wchodzą w życie coraz wyższe normy EURO emisji toksycznych składników spalin do atmosfery. Pojawia się możliwość zastosowania pojazdów elektrycznych. Istnieją jednak obszary zastosowania w których silnik spalinowy jest niezastąpiony. Musi być to jednak silnik o bardzo niskiej lub zerowej emisji toksycznych składników do atmosfery.

Na bezawaryjną pracę silnika oraz spełnianie wszystkich warunków jego prawidłowej pracy, wpływa stan techniczny elementów elektronicznych. Należy także pamiętać, że usterka mechaniczna podzespołu silnika może wpływać na pracę układów elektronicznych i powodować w konsekwencji błędy podczas diagnostyki.

Współpraca podzespołów mechanicznych i elektronicznych jest bardzo ścisła i aby silnik, jako całość spełniał wymogi obowiązujących norm musi być zapewniona sprawność wszystkich układów w silniku. Ma to szczególne znaczenie w układach w pełni sterowanych elektronicznie, gdzie

parametry elektryczne układów wpływają na jakość przebiegu procesu spalania mieszanki.

W układach adaptacyjnych istnieje możliwość dostosowania pracy elementów układu do statystycznego przebiegu procesów spalania i procesów wpływających na jego przebieg, na przykład proces ładowania się pojemności w obwodzie zapłonu.

Zdaniem autora należy dopasowywać i zoptymalizować parametry obwodu zapłonowego dla zmiennych warunków pracy układu zapłonowego. Zagadnienie to zostało omówione w artykułach opracowanych przez autora i przedstawionych w bibliografii. Pozwoli to na spełnienie surowych wymogów ekologicznych współczesnych norm spalania i emisji spalin.

## Bibliografia

1. Kurdziel R. : *Podstawy elektrotechniki* WNT Warszawa 1973.
2. Mysłowski J.: *Pojazdy samochodowe. Doładowanie silników*. WKiŁ, Warszawa 2006.
3. Praca zbiorowa: *Sterowanie silników o zapłonie iskrowym. Zasada działania. Podzespoły*. Wydawnictwo WKŁ 2013. Seria: Informatory Techniczne Bosch.
4. Poradnik Serwisowy: *Silniki FSI/TSI/TFSI nr 8/2009*.
5. Schneehage G.: *Czujniki układu sterowania silnika*.: WKŁ Warszawa 2013.
6. Trzeciak K.: *Diagnostyka samochodów osobowych*.: WKŁ Warszawa 2010.
7. Urbanowicz M.: *Wpływ parametrów wewnętrznych na pracę bateryjnego układu zapłonowego*. Eksploatacja Silników Spalinowych, 12/2004. Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2004.
8. Urbanowicz M. : *Badanie bateryjnego układu zapłonowego o zmiennej przekładni cewki zapłonowej*. Eksploatacja Silników Spalinowych, 14/2004. Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2006.
9. Urbanowicz M.: *Sposób i układ regulacji iskry zapłonowej w samochodzie z zapłonem iskrowym*. Patent Nr P387464, Warszawa 2008.
10. Urbanowicz M., Maziarz A. : *Diagnostyka elektronicznych układów samochodowych*. Journal of Modern Technologies In Transport Nr 1/2010. Wydawnictwo Wyższa Szkoła Techniczno- Ekonomiczna, Szczecin 2010.
11. Urbanowicz M., Maziarz A. : *Wpływ wybranych parametrów na proces spalania mieszanki*. Journal of Modern Technologies In Transport Nr 1/2010. Wydawnictwo Wyższa Szkoła Techniczno- Ekonomiczna, Szczecin 2010.
12. Urbanowicz M. *Przebieg procesu ładowania świecy zapłonowej przed przeskokiem iskry*. Journal of Modern Technologies In Transport Nr 2/2011. Wydawnictwo Wyższa Szkoła Techniczno- Ekonomiczna, Szczecin 2011.
13. Urbanowicz M. : *Kształtowanie charakterystyki zewnętrznej silnika spalinowego poprzez zmianę parametrów elektrycznych układu zapłonowego*. AUTOBUSY 10/2013.
14. Urbanowicz M.: *Optymalizacja procesu nastania prądu pierwotnego i jego zaniku w układzie zapłonowym silnika spalinowego*. AUTOBUSY 6/2014.
15. Urbanowicz M. : *Przebieg procesu ładowania świecy zapłonowej przed przeskokiem iskry*. Moskiewski Państwowy Uniwersytet Technologiczny „Stankin” Moskwa 2014.
16. Urbanowicz M., Mysłowski J.: *Poprawa własności ruchowych silników benzynowych*. Monografia, ECOLOGY OF MANUFACTURING: Gorzów – Poznań 2015.
17. Wajand J.A., Wajand J.T.: *Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe*. WNT, Warszawa 2000.
18. Wajand J.A.: *Doświadczalne silniki spalinowe*. Politechnika w Bielsku – Białej, 1998.
19. Wiśniewski K.: *Samochody osobowe. Opisy techniczne i dane regulacyjne* :WKŁ Warszawa 2007.

## Autor:

**dr inż. Mirosław Urbanowicz** – Wyższa Szkoła Techniczno Ekonomiczna w Szczecinie, ul. Klonowica 14, 71- 244 Szczecin, Polska, e-mail: mirekurbanowicz@op.pl

## Analysis and evaluation of selected problems of bicycle traffic safety in Szczecin

*The influence of chosen of electric parameters in article was introduced on process the burning in engine the mixture with sparkle ignition. The the subject matter was chosen with regard on second enlarged demand of car market on engines, under angle of small emission of solid particles in relation to engines with automatic ignition. The adaptation of ignition arrangement was showed on possibility to variables of conditions of work.*

**Key words:** the deck diagnostics, process of ignition of mixture, signals steering .