

dr n. tech. Mirosław URBANOWICZ

Zespół Szkół Samochodowych w Szczecinie  
Automobiles Schools Team in Szczecin

## ZALEŻNOŚĆ ŁADOWANIA SIĘ ŚWIECY ZAPŁONOWEJ OD PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ

### Streszczenie

**Wstęp i cele:** W artykule przedstawiono wpływ pojemności układu zapłonowego na kąt wyprzedzenia zapłonu ze szczególnym uwzględnieniem pojemności świec zapłonowych. Do przesko-ku iskry zapłonowej w samochodzie z zapłonem ZI, niezbędne jest naładowanie się wszystkich po-jemności elektrycznych oraz przebiecie przerwy między elektrodami świecy zapłonowej. Dielek-trykiem, jest mieszanka paliwowo-powietrzna. Jej właściwości zmieniają się.

**Metodyka:** Badaniu poddano iskrowy układ zapłonowy oraz przeprowadzono analizę otrzy-manych wyników pomiarów.

**Wyniki:** Proces ładowania pojemności świecy zapłonowej przebiega przed igłą napięcia przesko-ku iskry. W miarę wzrostu prędkości obrotowej wału korbowego czas ładowania ulega zmniej-szeniu. Związane jest to ze wzrostem jonizacji ładunku. Na przebieg procesu ładowania pojem-ności świecy zapłonowej ma również wpływ rezystancja między elektrodami świecy zapłonowej, ulega ona zmianie wraz z prędkością obrotową i obciążeniem silnika. Wynika to ze zmiany współczynnika  $\lambda$  oraz zawartość jonów z poprzedniego zapłonu.

**Wniosek:** Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu można potwierdzić wpływ pojem-ności świecy zapłonowej na przebieg procesu wytworzenia iskry zapłonowej. Wiąże się to ze zmi-aną pojemności świecy między elektrodami zapłonowymi.

**Słowa kluczowe:** Pojemność elektryczna świecy zapłonowej, iskrowy układ zapłonowy.

(Otrzymano: 04.11.2016; Zrecenzowano: 15.01.2017; Zaakceptowano: 20.01.2017)

## THE DEPENDENCE OF THE LOADING OF THE PLUG SPARK ON THE ROTATIONAL SPEED

### Abstract

**Introduction and aim:** The article presents the impact of the capacity of the ignition system on the ignition timing with particular emphasis on the capacity of the spark plugs. To jump of igni-tion spark in car with ignition the ZI, indispensable loading all electric capacities is as well as the puncture between electrodes of ignition candle pause. Dielectric, mixture is fuel - aerial. Her properties change.

**Material and methods:** A spark ignition system was put through an examination as well as analy-sis of received results of measurements was conducted.

**Results:** Process of loading the capacity of the candle is running sparks in front of the needle of stretching the jump. Just enough of increase in the rotation speed of the crankshaft the time of loading is undergoing the reduction. It is connected with the height of the ionization of the cargo. To the course of the process of loading the capacity of the candle a resistance is also affecting between electrodes of the candle, she is spark plug along with the rotation speed and the engine load. It results from the change of the  $\lambda$  rate and the content of ions from the previous ignition.

**Conclusion:** Based on conducted experiment it is possible to confirm the influence of the capacity of the candle to the course of the process of generating the spark. It is connected with a change of the capacity of the candle between electrodes.

**Keywords:** Electric capacity of the plug spark, spark ignition system.

(Received: 04.11.2016; Revised: 15.01.2017; Accepted: 20.01.2017)

## 1. Wstęp i cele

Do przeskoku iskry zapłonowej w samochodzie z zapłonem ZI, niezbędne jest naładowanie się wszystkich pojemności elektrycznych oraz przebicie przerwy między elektrodami świecy zapłonowej. Świeca zapłonowa bez względu na jej rodzaj, swoją budową przypomina kondensator, a przeskok iskry jest prawie identyczny jak przebicie 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 przebicia. Ten zmienia się wraz z prędkością obrotową silnika.

## 2. Metodyka

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.

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.

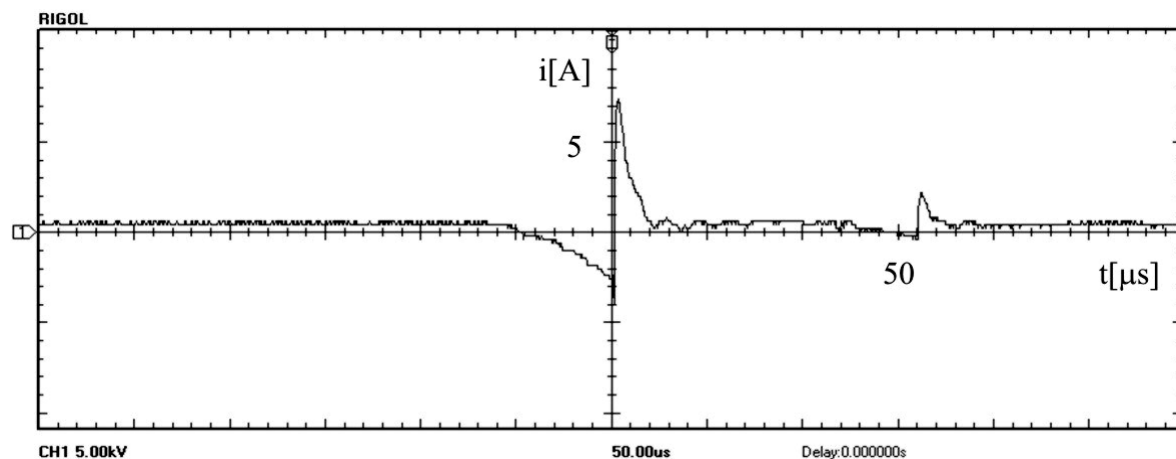
Po naładowaniu się pojemności obwodu zapłonowego następuje kolejny etap przeskoku iskry tj. wyładowanie łukowe o charakterze indukcyjnym. Czas ładowania pojemności świecy zapłonowej i wszystkich pojemności obwodu wysokiego napięcia, w którym przebiega proces przeskoku iskry zapłonowej, zależy od prądu 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.

## 3. Wyniki i dyskusja

Poniżej przedstawiono oscylogramy ładowania pojemności świecy zapłonowej w zależności od prędkości obrotowej. Rysunki 1 do 6 dotyczą przerwy między elektrodami świecy 0,8 mm.

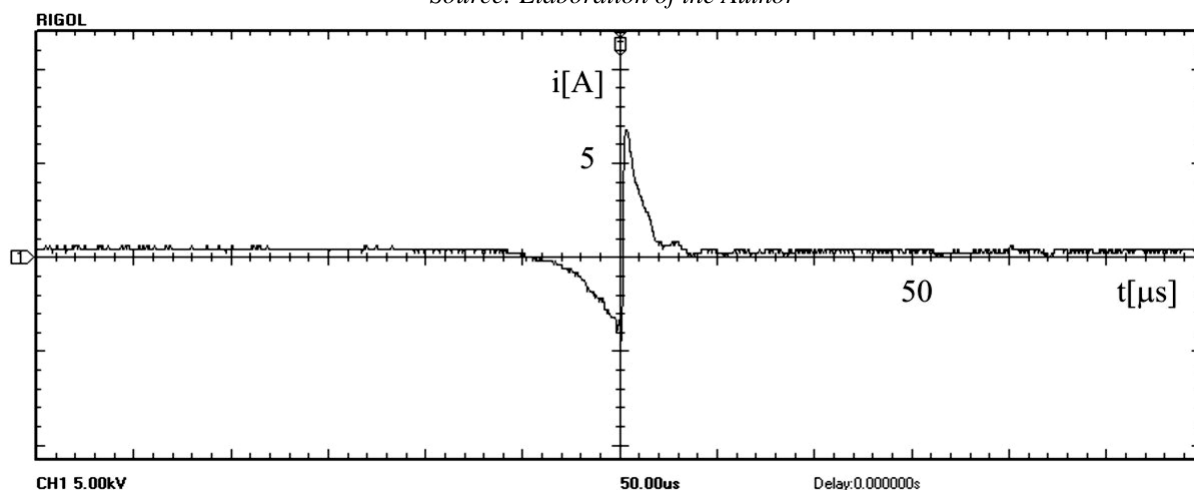


Rys. 1. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej dla  $n = 1800$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 1. The voltage waveform across the capacitance of the ignition plug for  $n = 1800$  rpm

Source: Elaboration of the Author

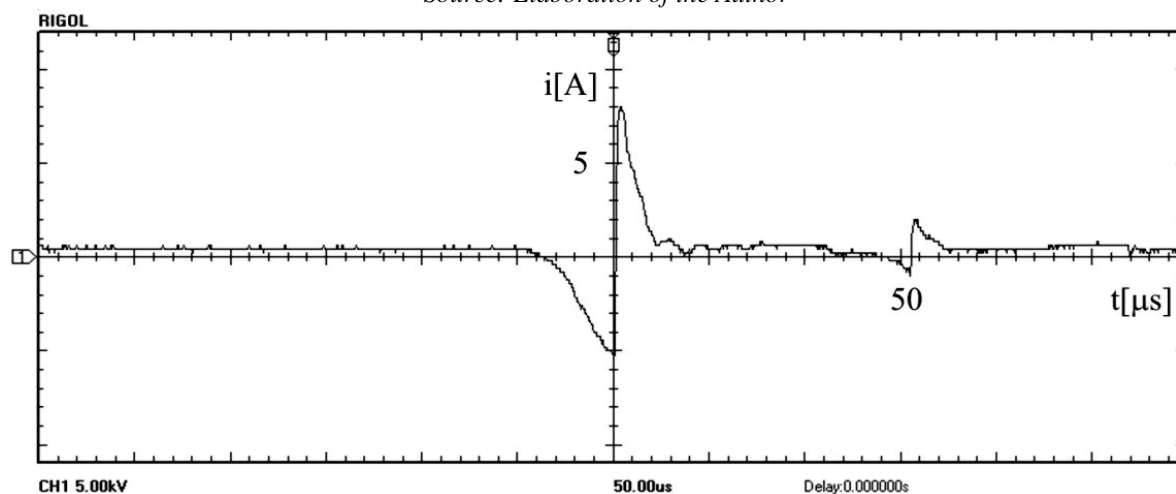


Rys. 2. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej dla  $n = 2200$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 2. The voltage waveform across the capacitance of the ignition plug for  $n = 2200$  rpm

Source: Elaboration of the Author

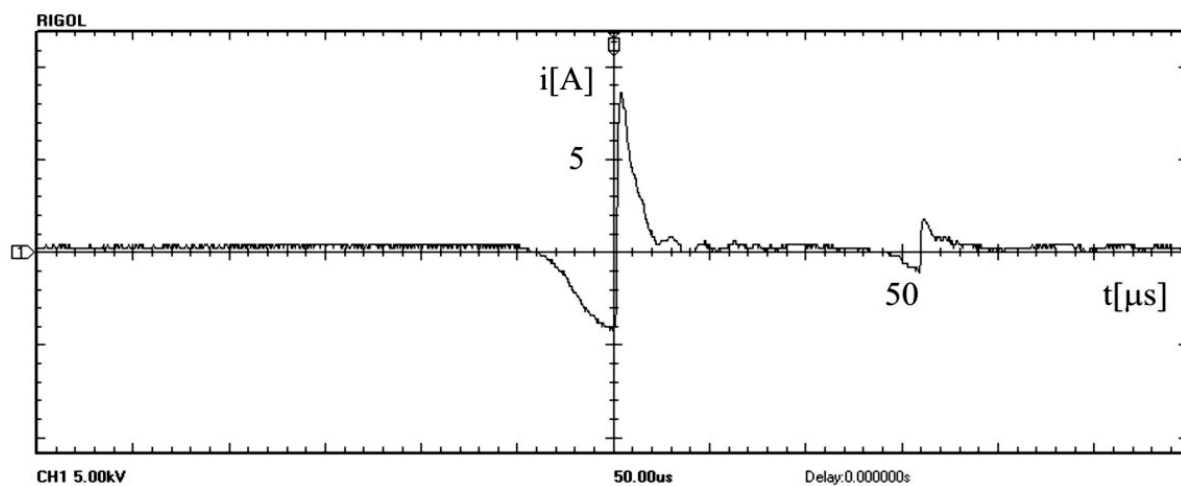


Rys. 3. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej dla  $n = 2800$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 3. The voltage waveform across the capacitance of the ignition plug for  $n = 2800$  rpm

Source: Elaboration of the Author

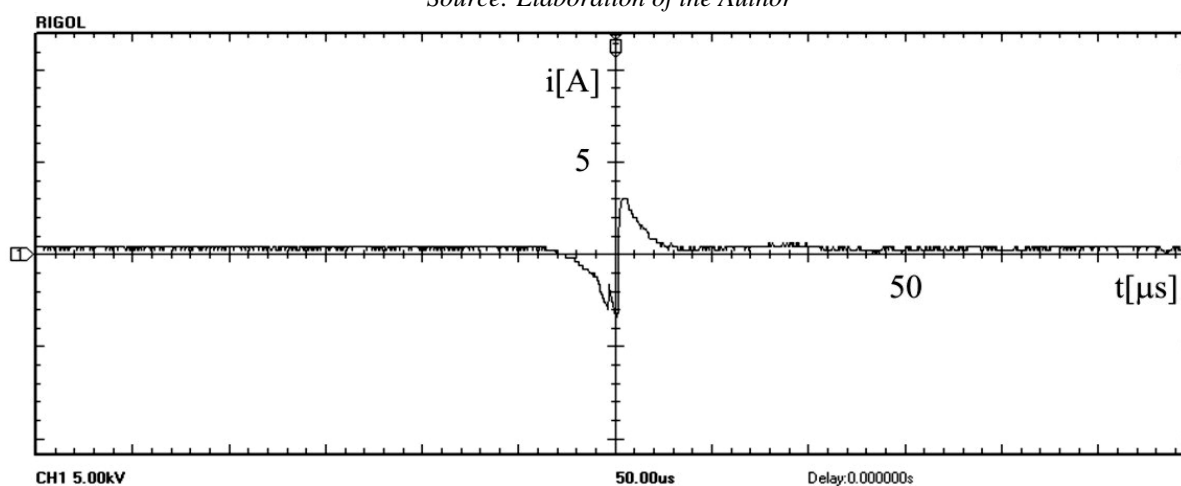


Rys. 4. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej dla  $n = 3000$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 4. The voltage waveform across the capacitance of the ignition plug for  $n = 3000$  rpm

Source: Elaboration of the Author

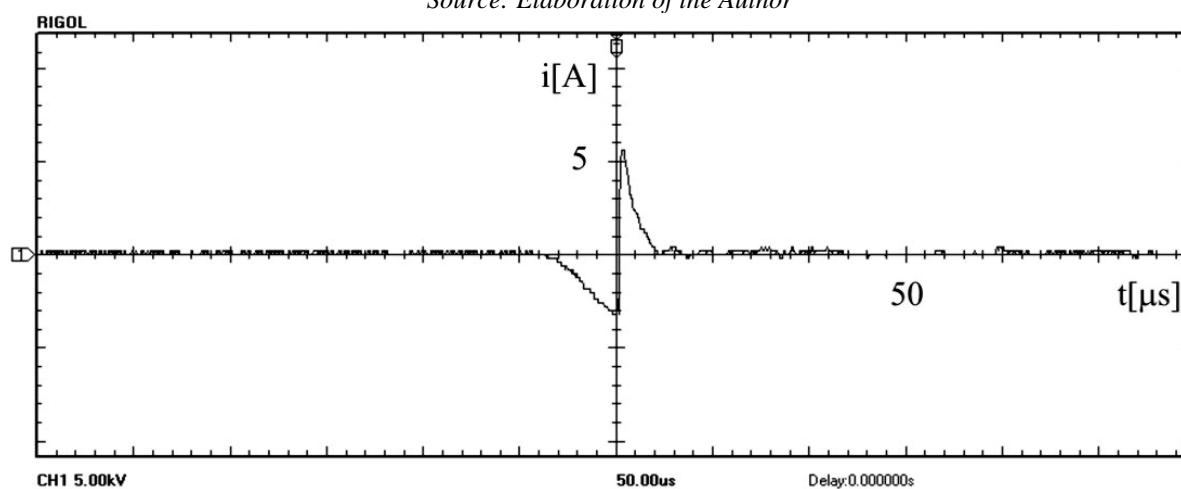


Rys. 5. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej dla  $n = 3200$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 5. The voltage waveform across the capacitance of the sparking plug for  $n = 3200$  rpm

Source: Elaboration of the Author



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

Źródło: Opracowanie Autora

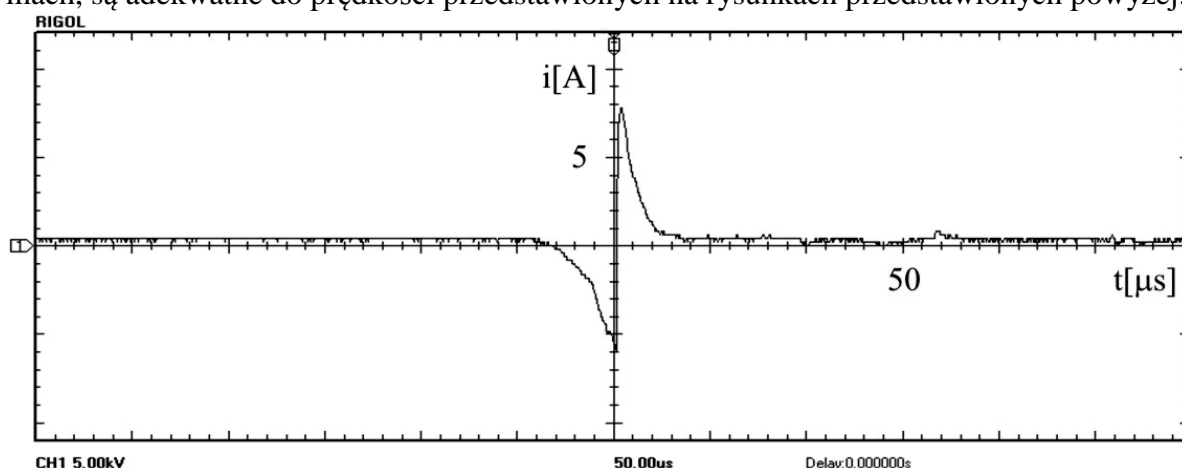
Fig. 6. The voltage waveform across the capacitance of the sparking plug for  $n = 3600$  rpm

Source: Elaboration of the Author

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 od 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.

Na przebieg procesu ładowania pojemności świecy zapłonowej mają również wpływ parametry układu zapłonowego. Najważniejsza z nich to rezystancja - wpływająca na natężenie prądu. Rezystancja między elektrodami świecy zapłonowej ulega zmianie wraz z prędkością obrotową i obciążeniem silnika. Wynika to ze zmiany składu mieszanki i współczynnika  $\lambda$  oraz zawartość jonów z poprzedniego zapłonu.

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.

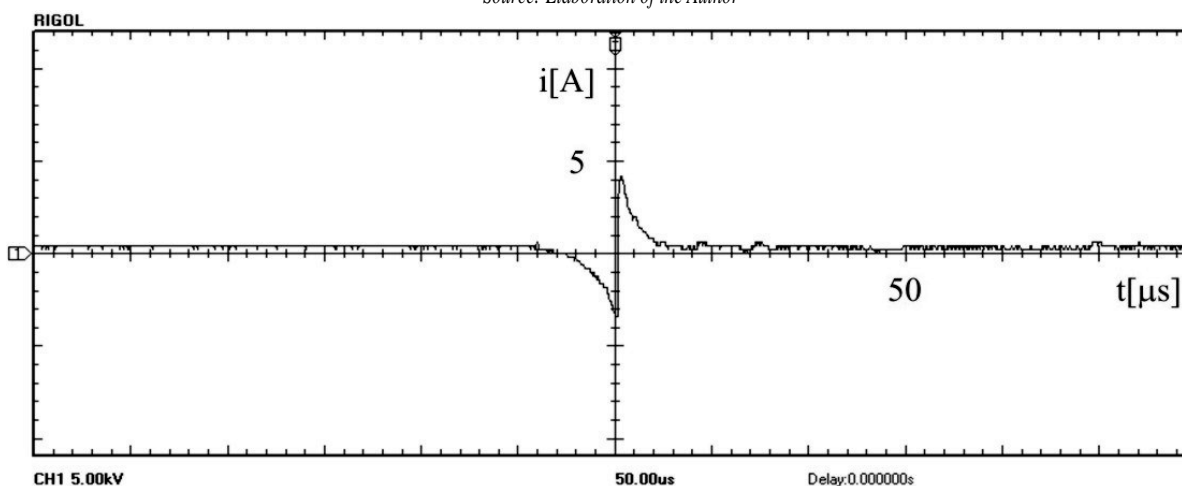


Rys. 7. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej o zwiększonej przerwie między elektrodami do 1,1mm, dla  $n = 1800$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 7. The voltage waveform across the capacitance of the sparking plug with increased interval between the electrodes to 1.1 mm,  $n = 1800$  rpm

Source: Elaboration of the Author

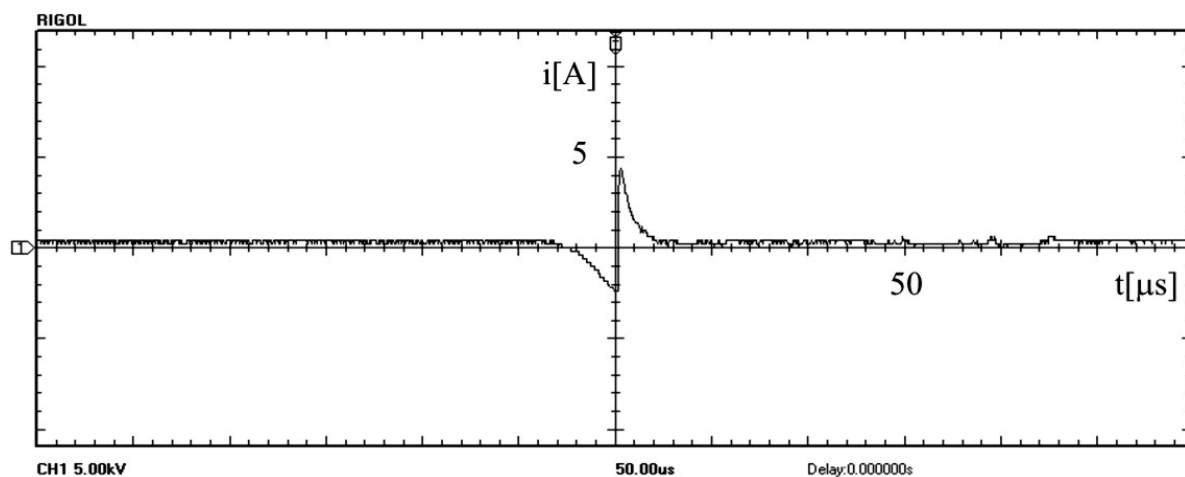


Rys. 8. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej o zwiększonej przerwie między elektrodami do 1,1mm, dla  $n = 2200$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 8. The voltage waveform across the capacitance of the sparking plug with increased interval between the electrodes to 1.1 mm,  $n = 2200$  rpm

Source: Elaboration of the Author

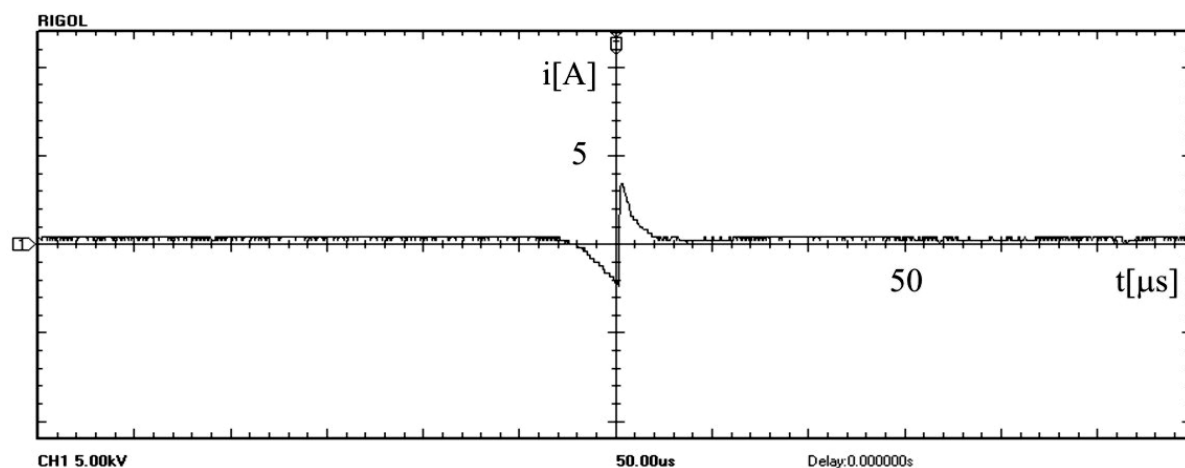


Rys. 9. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej o zwiększonej przerwie między elektrodami do 1,1mm, dla  $n = 2800$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 9. The voltage waveform across the capacitance of the sparking plug with increased interval between the electrodes to 1.1 mm,  $n = 2800$  rpm

Source: Elaboration of the Author

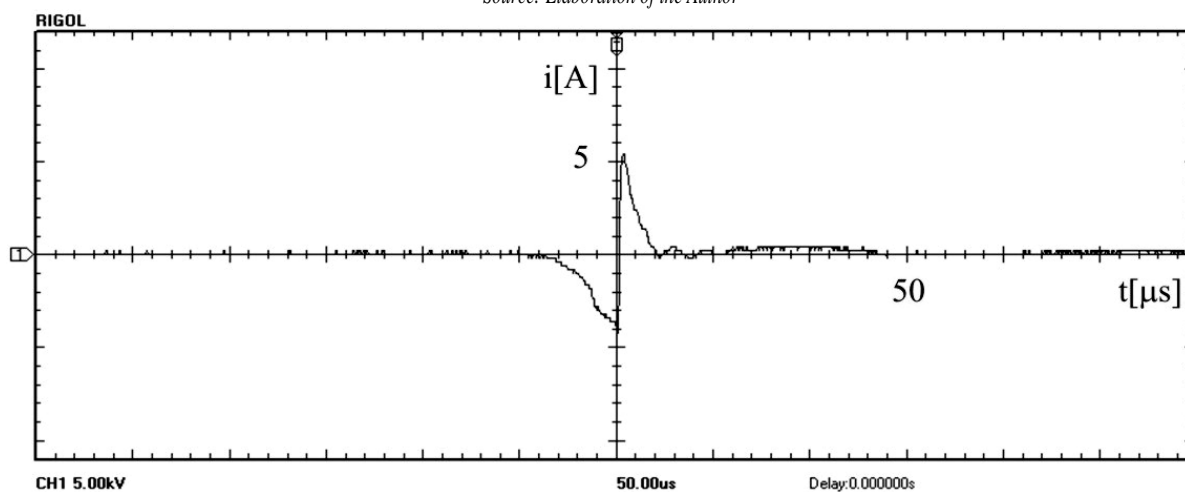


Rys. 10. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej o zwiększonej przerwie między elektrodami do 1,1mm, dla  $n = 3000$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 10. The voltage waveform across the capacitance of the sparking plug with increased interval between the electrodes to 1.1 mm,  $n = 3000$  rpm

Source: Elaboration of the Author

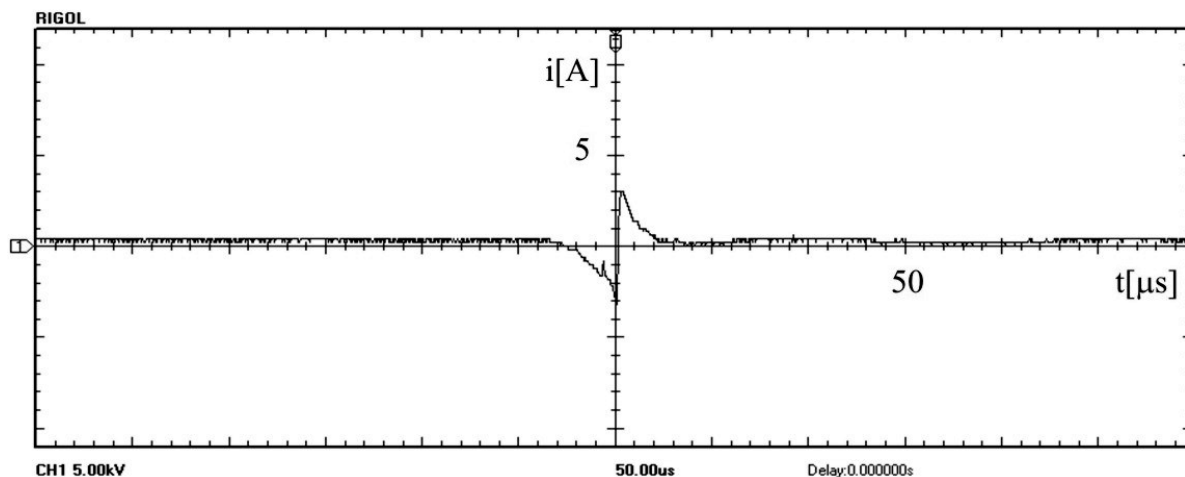


Rys. 11. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej o zwiększonej przerwie między elektrodami do 1,1mm, dla  $n = 3200$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 11. The voltage waveform across the capacitance of the sparking plug with increased interval between the electrodes to 1.1 mm,  $n = 3200$  rpm

Source: Elaboration of the Author



Rys. 12. Przebieg napięcia na pojemności świecy zapłonowej o zwiększonej przerwie między elektrodami do 1,1mm, dla  $n = 3600$  obr./min

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 12. The voltage waveform across the capacitance of the sparking plug with increased interval between the electrodes to 1.1 mm,  $n = 3600$  rpm

Source: Elaboration of the Author

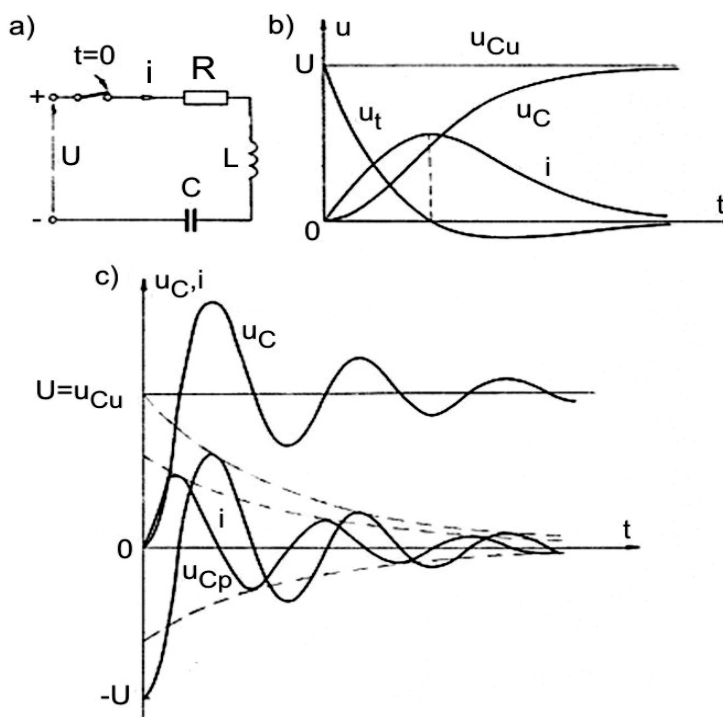
Proces ładowania pojemności świecy zapłonowej wraz ze wzrostem przerwy między elektrodami świecy, ulega zmianie. Jest to uzasadnione zmniejszeniem pojemności między elektrodami. Czas ładowania ulega skróceniu. Jest to zjawisko logiczne i uzasadnione zmianą parametrów świecy zapłonowej - pojemności elektrycznej. W związku z tym czas ładowania ulega skróceniu, odpowiednio od 35 do 25  $\mu$ s. Niewielkie zmiany czasu dla prędkości  $n=3000$  obr./min. związane są z wysoce stochastycznym przebiegiem procesu spalania i rozkładu jonów w komorze spalania. Sam proces ładowania pojemności układu zapłonowego przed przeskokiem iskry wykazuje analogię do stanu przejściowego obwodu RLC zasilanego napięciem stałym. W tym wypadku wymuszeniem jest napięcie przebicia jest napięcie powstania iskry zapłonowej. Przebiegi prądów i napięć przedstawiono na rysunku 13.

Na rysunku 13 przedstawiono przebiegi prądu iskry:  $i$ , napięcia ładowania pojemności świecy zapłonowej dla składowej przejściowej  $u_{cp}$ , napięcie na pojemności świecy zapłonowej  $u_c$ , napięcie wymuszenia  $U$ , napięcie na indukcyjności  $u_L$ .

Rysunek 13a przedstawia model obwodu zapłonowego podczas ładowania pojemności układu zapłonowego.

Rysunek 13b przebiegi prądów i napięć w stanie ustalonym.

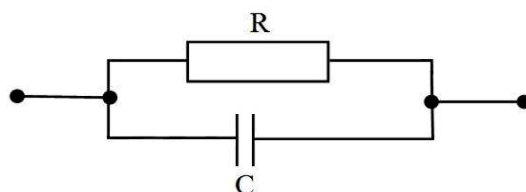
Rysunek 13c przedstawia przebiegi składowych przejściowych  $u_{cp}$ , oraz prądu ładowania pojemności świecy zapłonowej. W porównaniu z rysunkami 1 do 13 widać analogie w przebiegach napięcia ładowania pojemności  $u_c$ .



Rys. 13. Przebieg procesu ładowania pojemności świecy zapłonowej przed przeskokiem iskry zapłonowej [5]

Fig. 13. The process of loading capacity of the sparking plug before jump-spark [5]

Schemat zastępczy świecy zapłonowej przedstawiono na rysunku 14.



Rys. 14. Schemat zastępczy świecy zapłonowej w fazie narastania wysokiego napięcia

Źródło: Opracowanie Autora

Fig. 14. Equivalent diagram of the spark plug in the phase of rising high voltage

Source: Elaboration of the Author

W fazie narastania wysokiego napięcia następuje ładowanie pojemności świecy zapłonowej a następnie jej przebicie. Rezystancja bocznikująca R reprezentuje czynnik palny między elektrodami świecy zapłonowej, pojemność świecy pokazano jako parametr C.

#### 4. Wnioski

- Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu można potwierdzić wpływ pojemności świecy zapłonowej na przebieg procesu wytworzenia iskry zapłonowej. W eksploatacji samochodów używa się świec wieloelektrodowych. Wiąże się to ze zmianą pojemności świecy między elektrodami zapłonowymi. Ta z kolei związana jest z rezystancją czynnika znajdującego się aktualnie między elektrodami. Prąd przebicia pojemności dla waha się od 3 do 4 amperów dla przerwy między elektrodami 0,8mm, w przypadku zwiększenia przerwy do 1,1mm wynosi od 2 do 4 A. Potwierdza to rozważania przedstawione w punkcie drugim i wynika ze zmniejszenia się pojemności świecy zapłonowej między jej elektrodami. Czas ładowania pojemności świecy zapłonowej powinien zostać uwzględniony w mapie charakterystyk przy wyborze kąta wyprzedzenia zapłonu, gdyż wpływa na jego opóźnienie.
- Z dostępnych źródeł wynika, że tak nie jest i obecnie stosowane mapy charakterystyk nie uwzględniają czasy ładowania pojemności świec zapłonowych. Czas ten jest istotny, ponieważ wynosi kilkadziesiąt mikrosekund co jest wielkością znaczącą w porównaniu z czasem otwarcia wtryskiwacza paliwa a więc jest to wielkość wpływająca na jego pracę.
- Powinna zostać uwzględniona w obliczaniu współczynnika  $\lambda$  oraz kąta wyprzedzenia zapłonu, ponieważ wynosi do kilkudziesięciu procent czasu otwarcia wtryskiwacza na biegu jałowym oraz czasu przeskoku iskry zapłonowej w komorze spalania
- Uwzględnienie czasy ładowania pojemności świecy zapłonowej pozwoli na jeszcze większą precyzję regulacji działania elektronicznych układów zapłonowych a taki był powód ich wprowadzenia we współczesnych pojazdach samochodowych.

#### Literatura

- [1] Mysłowski J.: *Pojazdy samochodowe. Doładowanie silników*. Warszawa: WKiŁ, 2006.
- [2] Mysłowski J.: *Tendencje w budowie szybkoobrotowych silników wysokoprężnych*. Gorzów Wielkopolski- Łągów Lubuski: Instytut Badań i Ekspertyz Naukowych, 2000.
- [3] Mysłowski J.: *Doładowanie bezsprężarkowe silników z zapłonem samoczynnym*. Warszawa: WNT, 1995.
- [4] Kurdziel R.: *Podstawy elektrotechniki*. Warszawa: WNT, 1973.
- [5] Urbanowicz M.: *Przebieg procesu ładowania świecy zapłonowej przed przeskokiem iskry zapłonowej*. Moskwa: Moskiewski Państwowy Uniwersytet Technologiczny „Stankin”, 2014.