

Piotr GUSTOF  
Jacek MAĆKOWSKI  
Krystian WILK

## NAZEWNICTWO I CZAS TWORZENIA SIĘ JĄDRA PŁOMIENIA W SILNIKU O ZI

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono spotykane w literaturze nazewnictwo dotyczące okresu tworzenia się jądra płomienia oraz przedstawiono kryteria przyjęte do określania czasu jego trwania.

## PHRASEOLOGY AND DURATION OF FORMING THE FLAME CORE IN AN ENGINE WITH SPARKING IGNITION

**Summary.** This paper is an attempt to present both the lexis dealing with the process of forming the flame core, as well as the criteria according to which one can define the duration of the above mentioned process.

### 1. WSTĘP

Wzrastające normy dotyczące zużycia paliwa, emisji toksycznych substancji spalin, głośności pracy czy trwałości silnika wymagają coraz lepszej znajomości procesów przebiegających w komorze spalania, takich jak: powstawanie mieszanki, przebieg zapłonu czy rozprzestrzenianie się płomienia.

Jednym z bardziej istotnych czynników wpływających na proces spalania jest, oprócz ruchu czynnika roboczego, zapłon mieszanki palnej, czyli okres, jaki upływa od przeskoku iskry do uformowania się jądra płomienia.

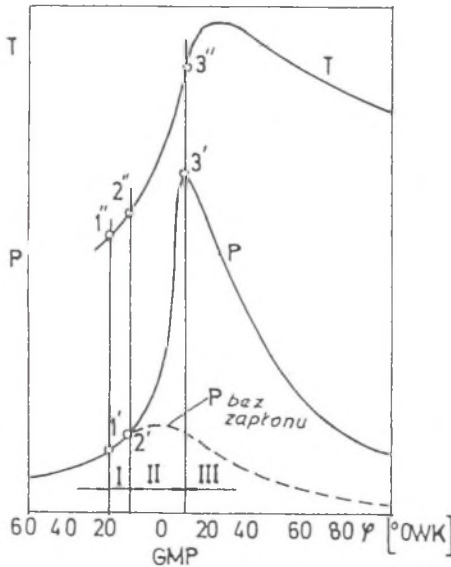
Okazuje się, że pierwsza faza rozwoju płomienia ma bardzo skomplikowany przebieg i nie jest jeszcze w pełni wyjaśniona. Turbulentny przepływ ściśliwego czynnika roboczego w pobliżu elektrod świecy zapłonowej ma charakter przypadkowy i razem z fluktuacjami temperatury i gęstości, rozrzutem kąta wyprzedzenia zapłonu i przypadkowym w tym momencie składem mieszanki decyduje o cykliczności zmian kolejnych obiegów, a właśnie niepowtarzalność kolejnych cykli obiegu jest między innymi jedną z przyczyn omawianych we wstępie niedomagań. Należy się spodziewać, że eliminacja cykli najszybszych pozwoli obniżyć liczbę oktanową lub zwiększyć stopień sprężania, natomiast eliminacja cykli wolnych umożliwi zwiększenie współczynnika nadmiaru powietrza i w konsekwencji zmniejszenie zużycia paliwa. Dlatego procesami występującymi podczas zapłonu mieszanki palnej i zachodzącymi w pierwszej fazie spalania należy zająć się szczególnie dokładnie.

Celem pracy jest zebranie zamieszczonych w literaturze wiadomości dotyczących nazewnictwa i czasu tworzenia się jądra płomienia.

## 2. NAZEWNICTWO ZWIĄZANE Z POWSTAWANIEM PŁOMIENIA

W literaturze krajowej [1,5,7,8,10,11,12,13] brak jest jednoznacznej nazwy dotyczącej okresu powstawania płomienia. I tak M. Bernhardt w swojej pracy [1] proponuje podzielić proces spalania na trzy okresy (rys. 1):

- okres powstawania płomienia,
- okres rozprzestrzeniania się płomienia,
- okres dopalania.



Rys.1. Przebieg ciśnienia i temperatury w cylindrze silnika o ZI z zaznaczonymi okresami spalania [1]  
 Fig.1. The course of pressure and temperature in ZI engine cylinder with marked combustion periods [1]

Będący tematem pracy okres powstawania płomienia nazwany jest przez M. Bernhardtą „okresem spalania utajonego”. R. Podarewski w swojej pracy [13] również mówi o spalaniu utajonym, nazywając okres początku spalania „fazą spalania utajonego”. Natomiast K. Niewiarowski [12] okres wstępny nazywa okresem indukcji. Z okresem indukcji ściśle związany jest czas indukcji, o którym wspomina w swojej pracy prof. A. Kowalewicz [8] mówiąc, że „rozprzestrzenianie się płomienia od iskry na obszar krytyczny wymaga czasu, zwanego czasem opóźnienia zapłonu lub czasem indukcji”. Radziecki naukowiec M. Chowach w swojej publikacji [4] twierdzi, że pojęcie okresu opóźnienia zapłonu jest pojęciem błędnym. Zauważa on, że „przy zapłonie iskorowym opóźnienie zapłonu praktycznie nie istnieje”. W pobliżu elektrody świecy od razy powstaje ognisko spalania, od którego front płomienia rozprzestrzenia się stosunkowo wolno, a ilość spalanej mieszanki jest jeszcze na tyle mała, że zwiększenie ciśnienia na wykresie indykatorowym nie jest zauważalne.

Wracając do nazewnictwa dotyczącego okresu powstawania płomienia w literaturze napotyka się następujące określenia:

- okres wstępny,

- okres powstawania płomienia,
- okres spalania utajonego,
- okres opóźnienia zapłonu,
- okres indukcji,
- faza spalania utajonego,
- pierwsza faza spalania,
- pierwszy zakres,
- etap początkowy formowania się jądra płomienia,
- obszar krytyczny.

W dalszej części opracowania proponuje się stosować termin "okresu wstępnego", gdyż właśnie z takim określeniem najczęściej spotykamy się w polskiej literaturze.

### 3. CZAS TRWANIA

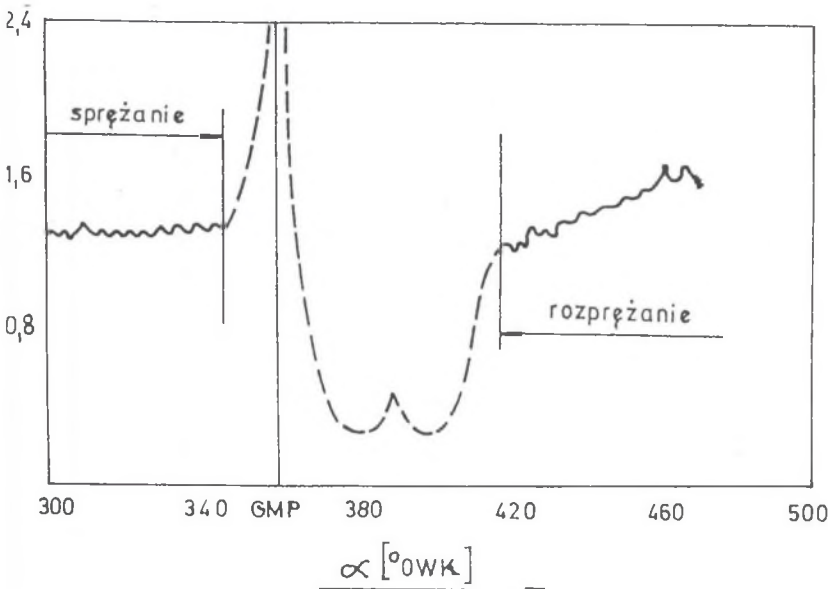
Problemem znacznie bardziej skomplikowanym od nazewnictwa jest określenie czasu trwania okresu wstępnego. Zdefiniowanie początku okresu wstępnego nie stwarza trudności. Wszyscy autorzy licznych publikacji są zgodni, że początek ma miejsce w chwili pojawienia się iskry na świecy zapłonowej. Wówczas następuje zapłon mieszanki. M. Bernhardt w swojej pracy [1] podkreśla, że zapłon może nastąpić pod wpływem impulsu zapłonowego o energii przewyższającej minimalną energię zapłonową.

Jeżeli początek okresu wstępnego jest możliwy do precyzyjnego określenia, to jego koniec nie jest ściśle zdefiniowany i budzi liczne kontrowersje. Powstało w związku z tym szereg teorii dotyczących długości trwania okresu wstępnego i momentu jego zakończenia.

Większość z nich polega na analizie wykresu indykatorowego. A. Kowalewicz w swojej pracy [8] podaje, że okres wstępny trwa do chwili wystąpienia "znacznego" wzrostu ciśnienia, wywołanego spalaniem. Okres ten obejmuje opóźnienie zapłonu i wytworzenie się krytycznego obszaru objętego płomieniem, od którego płomień może rozprzestrzeniać się dalej już bez dopływu energii z zewnątrz. Pod koniec tego okresu szybkość wywiązywania się ciepła osiąga wartość zbliżoną do maksymalnej. Wcześniejsze pozycje literaturowe również wiążą koniec okresu wstępnego z przebiegiem ciśnienia.

P. Karkoszka [7] uważa, że okres wstępny trwa "od chwili, w której ciśnienie spalania znacznie wzrastać szybciej niż ciśnienie sprężania nie zapalanej mieszanki", czyli do momentu oderwania się dwóch krzywych ciśnienia na wykresie indykatorowym (rys.1). Podobnie M. Bernhardt [1] uważa, że okres wstępny kończy się z chwilą uwidocznienia na wykresie indykatorowym "gwałtownego wzrostu ciśnienia spowodowanego spalaniem". Mimo że płomień w cylindrze pojawia się nieco wcześniej, to jednak ze względów pomiarowych przyjęto umowne zakończenie okresu wstępnego w sposób podany wyżej. Precyzyjniej to zagadnienie ujmuje w swojej pracy K. Cupiał [5], [rzyjmując jako umowny kąt początku spalania kąt obrotu wału korbowego odpowiadający przyrostowi ciśnienia w cylindrze o 2,5% ponad wartość ciśnienia ekstrapolowanego przebiegu politropy sprężania. Przebieg politropy sprężania, spalania i rozprężania przedstawiono na rys.2 [8].

Potrzeby symulacji procesu spalania spowodowały konieczność przyjęcia innych wielkości do określenia końca okresu wstępnego.



Rys.2. Rzeczywisty przebieg wykładnika politropy podczas pracy silnika [9]

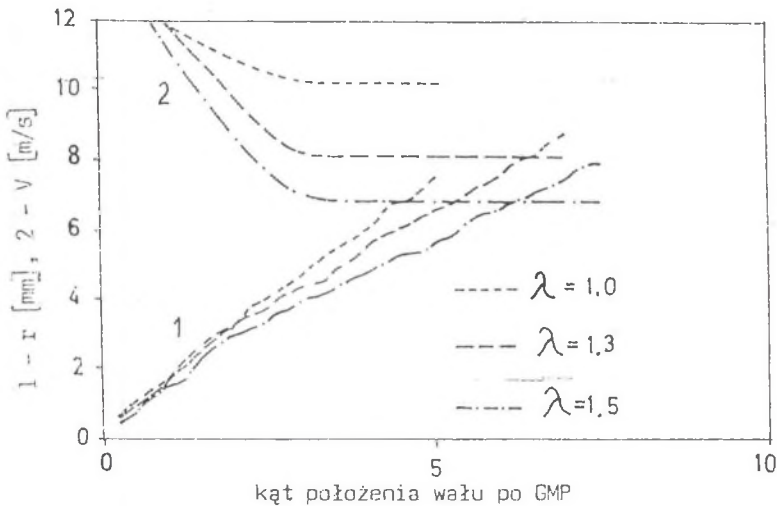
Fig.2. The real course of polytropic exponent during engine operation [9]

W literaturze zachodniej końcową granicą okresu wstępnego wyznacza się wykorzystując do tego celu ilość spalanej masy lub powstałą po jej spalaniu objętość. S. Hires i inni [6], tworząc modele stwierdzają, że okres wstępny trwa od przeskoaku iskry do chwili spalania 1% masy ładunku zawartego w cylindrze.

Kolejnym kryterium umożliwiającym wyznaczenie końca okresu wstępnego są wymiary powstałego jądra płomienia i związane z nimi związki geometryczne. I tak H.Bloss [3] uważa, że okres wstępny trwa od początku wyładowania iskrowego do wytworzenia się samodzielnego płomienia o promieniu  $10 \div 15$  mm. Następuje wtedy stabilizowanie szybkości frontu płomienia (krzywa 2 na rys.3). Na rysunku tym przedstawiono również odpowiadający jej przebieg wzrostu promienia symulowanego jądra. O związkach pomiędzy zależnościami geometrycznymi a procentem spalanej masy ładunku piszą T.Rychter i A.Teodorczyk [14]:... "dla pierwszego zakresu  $0 < r_p < 10$  mm przyjęto nieskomplikowaną zależność wykładniczą pomiędzy szybkością spalania a kątem obrotu wału korbowego. Zależność tę dobiera się w taki sposób, aby wypalił się 1% masy ładunku".

Przegląd literatury zachodniej wskazuje, że prace w tej dziedzinie są znacznie bardziej zaawansowane oraz że pojawiają się nowe teorie, np. R. Tabaczyński [15] zakłada, że okres wstępny jest proporcjonalny do czasu spalania pojedynczego wiru.

Definicje końca okresu wstępnego, mówiące o wypaleniu pewnego procentu masy ładunku, są dość arbitralne. Oddają jednak z dużym przybliżeniem chwilę, w której rozpoczyna się znaczące wyzwalamie energii i pojawia się w pełni rozwinięty front płomienia. Szerzej zagadnienia związane z termodynamiczną symulacją okresu wstępnego opisane są w pracy [10].



Rys.3. Zależność szybkości frontu od kąta obrotu wału korbowego dla różnych współczynników nadmiaru powietrza [3]

Fig.3. The dependance of front speed upon the crankshaft rotation angle for different excess air coefficients [3]

#### LITERATURA

1. Bernhardt M.: Silniki samochodowe. WKŁ, Warszawa 1988
2. Blizard N.C., Kech J.C.: Experimental and Theoretical Investigation of Turbulent
3. Burning Model for Internal Combustion Engines. SAE, nr 740191, 1974
4. Bloss H.: Untersuchung der Flenmenkernbildung im Ottomotor. MTZ 51, 1991
5. Chowach M.C.: Awtomobilnyje dwigatjeli. Moskwa 1977
6. Cupioł K.: Silniki spalinowe. Nr 2/3, 1989
7. Hires S.D., Tobaczyński R.J., Novak J.M.: The Prediction of Ignition Delay and Combustion Intervals for Hanogereous Charge Spark Ignition Engine. SAE, nr 780232, 1978
8. Karkoszka P.: Samochodowe niekonwencjonalne systemy zapłonowe. WKT, Warszawa 1988
9. Kowaleicz A.: Tworzenie mieszanki i spalanie w silnikach o zapłonie iskrowym. WKT, Warszawa 1984
10. Karim G.A., Ansow W.: Consideration of ignition lag and combustion time of spark ignition engine. SAE Techn. Pop. Ser. 1982, Nr 820758

11. Maćkowski J.: Symulacja procesu spalania w silniku o zapłonie iskrowym za pomocą modelu strefowego. Zeszyty Naukowe Pol.Śl., s.Transport, z.20, Gliwice 1992
12. Matzke W.: Projektowanie głowic silników trakcyjnych. WKT, Warszawa 1979
13. Niewiarowski K.: Tłokowe silniki spalinowe. WKT, Warszawa 1983
14. Podarewski R.: Silniki pojazdów samochodowych cz.I. Skrypt WPW, Warszawa 1970
15. Rychter T., Teodorczyk A.: Modelowanie matematyczne roboczego cyklu silnika tłokowego. PWN, Warszawa 1990
16. Tobaczyński R.J.: Turbulent Entrainment Model for Spark Ignition Combustion, SAE nr 770647, 1977

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Jaskólski

Wpłynęło do Redakcji: 29.11.1996 r.

### **Abstract**

The aim of this paper is to improve the description of the phenomena which take place during the first stage of combustion. Moreover, it is an attempt to create a mathematical model giving rise to computer simulations of the processes which take place during the ignition and immediately after it.

In the article, which is the first part of the research, the criteria are presented which enable to come up with the time length of forming the flame core.