

# Metoda pomiaru strumienia energii emitowanej przez tabletki pirogeniczne

*Tomasz Wolszakiewicz<sup>1)</sup>, Zbigniew A. Walenta<sup>2)</sup>*

*1) Instytut Przemysłu Organicznego 03-236 Warszawa, ul. Annopol 6,  
Pracownia Badań Balistycznych w Pionkach, PL*

*2) Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk,  
ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa, PL*

**Słowa kluczowe:** *zapłonnik pirogeniczny.*

## 1. Wstęp

W dotychczasowej praktyce przy zastosowaniu zapłonników zawierających proch czarny pojawiają się problemy ze znacznym wzrostem ciśnienia i niestabilną pracą napędów raketowych w początkowej fazie ich pracy. Zapłonnik zawierający proch czarny powodują znaczny wzrost ciśnienia przy jednoczesnym krótkotrwałym oddziaływaniu na paliwo.

Zupełnie inaczej działają zapłonnik, w skład których wchodzi masy pirogeniczne. Efektem pracy pirogenicznego tabletki zapłonowej jest zapłon paliwa raketowego poprzez dostarczenie impulsu cieplnego w kontrolowanym czasie (poprzez dobór wielkości i kształtu tabletek), przy minimalnym wzroście ciśnienia [1].

## 2. Obliczenia

Celem obliczeń było stworzenie podstaw do zaprojektowania aparatury do pomiaru energii emitowanej przez tabletki pirogeniczne. Autorzy obliczyli energię całkowitą i jej zmiany w funkcji czasu. Istotną sprawą było określenie kształtu i głównych wymiarów komory pomiarowej, a także warunków w jej wnętrzu, optymalnych ze względu na pomiar.

Do obliczeń przyjęto tabletki z B/KNO<sub>3</sub> zawierające 20% boru i 80% KNO<sub>3</sub> (obecność lepiszcza pominięto). Główne produkty reakcji dla tego materiału podane zostały w tab. 1.

**Tab. 1.**

Produkt	Masa molekularna	Ułamek molowy	Ułamek masowy
N <sub>2</sub>	28,02	0,203	0,111
BO	26,80	0,032	0,017
B <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	53,60	0,090	0,094
B <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	69,59	0,069	0,094
KBO <sub>2</sub>	81,89	0,399	0,636
B (ciecz)	10,81	0,198	0,042

*(Fakt, że ułamki molowy i masowy nie sumują się do jedności wynika z pominięcia pozostałych produktów reakcji, występujących w niewielkich ilościach).*

Dla uproszczenia obliczeń zastąpiono dwa pierwsze produkty (N<sub>2</sub> i BO) jednym, o średniej masie molekularnej 27,85, a trzy następne również jednym, o średniej masie molekularnej 75,81. Obecność boru (będącego cieczą) w strumieniu gazów pominięto. Przyjęto, że ułamek masowy pierwszego „uśrednionego” składnika produktów spalania (N<sub>2</sub> i BO) wynosi 0,297 a drugiego 0,703.

Przyjęto, że tabletki zapłonowa ma kształt walca o średnicy 4 mm i wysokości 3 mm, oraz gęstości 1,6 g cm<sup>-3</sup>. Przyjęto prędkość spalania 4 cm s<sup>-1</sup>, temperaturę produktów spalania 2483 K, oraz założono że pali się tylko jedna, płaska strona tabletki. Całkowity czas spalania tabletki wynosi 75 milisekund, zatem aby pomiar przebiegu emisji energii w czasie miał sens, stała czasu dla pomiaru nie powinna w istotny sposób przekraczać

~100 mikrosekund. W ciągu takiego czasu z tabletki emitowanych jest w sumie około  $2 \cdot 10^{18}$  molekuł. Tymczasem w komorze pomiarowej w postaci krążka o wysokości 10 mm i średnicy 50 mm (najmniejsze przewidywane wymiary) wypełnionej powietrzem o parametrach standardowych (ciśnienie 1 bar, temperatura 298,15K) znajduje się ok.  $4,77 \cdot 10^{20}$  molekuł – o ponad dwa rzędy więcej. Wydaje się prawdopodobnym, że powietrze to zakłóci pomiar, czyniąc go co najmniej niedokładnym.

Dla zweryfikowania tej hipotezy wykonano obliczenia metodą Bezpośredniej Symulacji Monte Carlo [2] dla warunków opisanych powyżej, przyjmując że wewnątrz komory jest próżnia, albo że jest ona wypełniona powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznym. Tabletkę umieszczono na osi komory, na jej dolnej ścianie, czujnik pomiarowy – na górnej ścianie, naprzeciw tabletki.

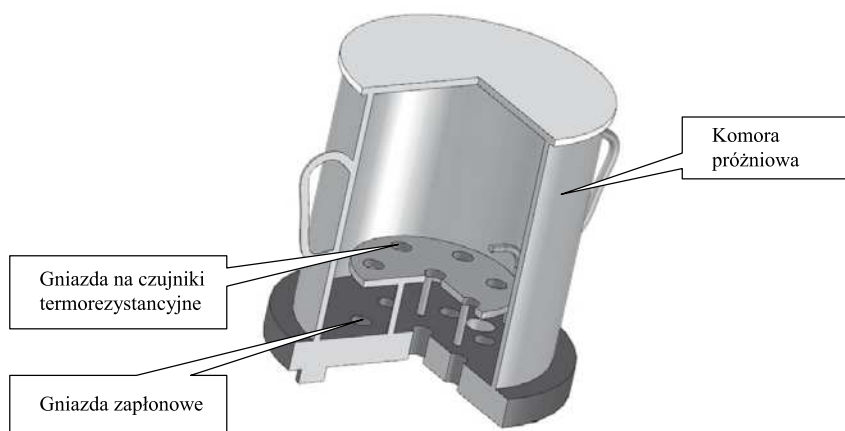
Wykonane obliczenia wykazują, że gdy w chwili początkowej w komorze pomiarowej jest próżnia, czas potrzebny do ustalenia warunków pomiaru wynosi około 150 mikrosekund. Długość tego czasu zależy od odległości między tabletką i czujnikiem – można go więc skrócić zmniejszając tę odległość. Natomiast, gdy w chwili początkowej w komorze jest powietrze pod ciśnieniem atmosferycznym, po upływie 600 mikrosekund warunki są dalekie od ustalenia. Co więcej, molekuły produktów spalania, które docierają do czujnika, mają energię odpowiadającą temperaturze powietrza wypełniającego komorę. Wynika to z faktu, że molekuły te na swej drodze wielokrotnie zderzają się z molekułami powietrza.

### 3. Metoda pomiaru

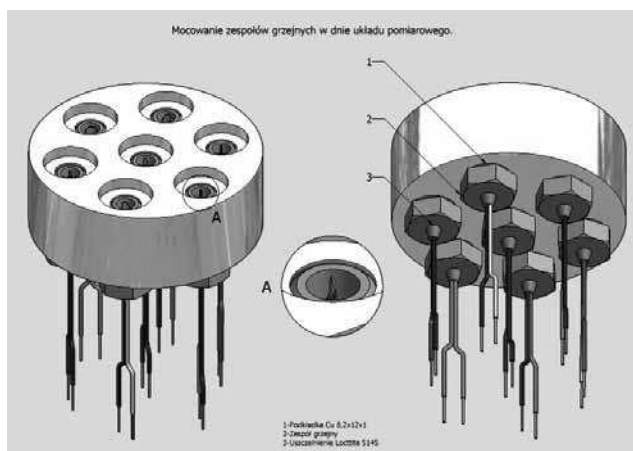
Pomiar energii emitowanej przez tabletki pirogeniczne będzie wykonywany przy pomocy czujników – termometrów oporowych z cienkiej folii metalowej (grubości ~ 1 mikrometra) nałożonej na ściankę zbudowaną z materiału, będącego elektrycznym izolatorem [3]. Czujniki takie rejestrują przebieg temperatury powierzchni ścianki, nagrzewanej strumieniem gazów, z rozdzielczością czasową rzędu 1 mikrosekundy. Traktując sygnał z czujnika jako warunek brzegowy dla równania przewodnictwa ciepła w materiale ścianki można obliczyć strumień ciepła przejmowanego przez ściankę w funkcji czasu, a na tej podstawie określić energię emitowaną przez tabletkę. Przygotowany został do tego celu odpowiedni program komputerowy.

### 4. Projektowanie aparatury

Przeprowadzono obliczenia dla różnych konfiguracji geometrycznych i ciśnieniowych. W początkowym etapie rozpatrywano możliwość zastosowania kulistej obudowy metalowej, wewnątrz której miały być umieszczone czujniki termorezystancyjne wraz z układem pomiarowym i tabletkami. Okazało się, że takie rozwiązanie nie zapewni wystarczającej dokładności pomiaru. W efekcie kolejnych obliczeń i dyskusji uzyskanych parametrów zdecydowano się na rozwiązanie jak na rys 1.



Rys 1. Stanowisko do badania strumienia energii emitowanej przez tabletki pirogeniczne.



Rys 2. Schemat układu zapłonowego.

## 5. Wnioski

1. Zaproponowano metodę pozwalającą zmierzyć, z dostateczną rozdzielczością czasową, energię emitowaną przez tabletki pirogeniczne.
2. Warunkami dla zapewnienia odpowiedniej rozdzielczości czasowej są:
  - wykonanie pomiarów w próżni, lub przynajmniej przy obniżonym ciśnieniu,
  - dostatecznie mała odległość między tabletką i czujnikiem.
3. Zaprojektowano aparaturę pozwalającą na pomiar całkowitego strumienia energii emitowanej przez tabletki pirogeniczne.

## Literatura

- [1] T. Wolszakiewicz, M. Cieślukowska, M. Moskalewicz, *The examination of chosen ballistic parameters of igniter charge  $BKNO_3$  for igniters of solid propellant rocket motors*, Int. Sem. "New Trends in research of energetic materials" University of Pardubice, 2004.
- [2] A. Bird, *Molecular gas dynamics and the direct simulation of gas flows*, Clarendon Press, Oxford, 1994.
- [3] Z. A. Walenta, *Analogue networks for high heat-transfer rate measurements*, UTIAS Technical Note No. 84, AFOSR 65-0261, November 1964.