

PRELIMINARY CONCEPT OF NUMERICAL MODELLING OF COMBUSTION PROCESS FOR GUNPOWDER USING LS-DYNA CODE

Jacek Łazowski, Jerzy Małachowski, Tadeusz Niezgodą

Military University of Technology
Ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2 St., 00-908 Warszawa 49, Poland
tel.: +48 22 683 96 83, fax: +48 22 683 94 61
e-mail: j.malachowski@wme.wat.edu.pl

Abstract

In this paper the preliminary concept of numerical modelling of combustion process for gunpowder is presented. Such new computational methods like finite element analysis gave us opportunity to simulate such energetic and high-frequency process like pressure wave generation caused by chemical reaction. The main product of this process is a blast wave, which interacts at the first stage with surrounding (bullet and shell) and finally impel a bullet movement. In the considered case, the detonation product from gunpowder burning couple "produced" gas in Eulerian domain with the barrel-bullet system described in Lagrangian domain. In the performed analysis, the authors noticed some unwanted effects like asymmetry, which is probably related with the finite element mesh and computational errors. In the next conducting investigations some optimisation procedures related with a bullet movement in a barrel will be employed. The successful solution of such complicated problem like a proper simulation of the internal ballistic phenomena with taking into account all dynamic effects can significantly improve the problem of shooting accuracy. The initial calculations were performed using LS-Dyna code. At this stage the presented results have a qualitative character.

Keywords: barrel, bullet, numerical modelling, internal ballistic, gunpowder burning

WSTĘPNA KONCEPCJA NUMERYCZNEGO MODELOWANIA PROCESU SPALANIA ŁADUNKU MIOTAJĄCEGO W SYSTEMIE LS-DYNA

Streszczenie

W pracy omówiono koncepcję symulacji komputerowej spalania materiału wybuchowego miotającego w układzie lufa – nabój. Takie nowoczesne sposoby obliczeniowe, oparte na metodzie elementów skończonych mogą dostarczyć możliwości symulacji szybkozmiennych procesów energetycznych wynikających ze zamiany energii chemicznej prochu na ciśnienie gazów prochowych i w konsekwencji w energię kinetyczną pocisku. Okazuje się, że zamodelowanie wytwarzania produktów spalania materiału miotającego jest zadaniem trudnym. W takich ekstremalnych warunkach charakter współpracy obu ciał może być obciążony np. brakiem symetrii wynikającym między innymi z asymetrycznego rozkładu ciśnienia produktów spalania materiałów miotających. W przypadku modelu dyskretnego koncepcja ta może zostać wykorzystana do rozwiązania problemu głównego balistyki wewnętrznej i optymalizacji konstrukcji układu lufa – nabój oraz symulacji właściwości dynamicznych rozpatrywanych obiektów w różnych fazach współpracy. Poniżej przedstawiono klasyczne sformułowanie modelu dla broni lufowej oparte równań matematycznych i sposób zaimplementowania w modelu dyskretnym. Rozważania zilustrowano przykładowymi wynikami. Pracę realizowano przy wykorzystaniu licencjonowanego pakietu obliczeniowego LS-Dyna. Przedstawione wstępne wyniki mają charakter jakościowy.

Słowa kluczowe: lufa, pocisk, modelowanie numeryczne, balistyka wewnętrzna, spalanie.

1. Wstęp

Uzyskanie wyników o odpowiedniej jakości w przypadku komputerowej analizy układu lufa – nabój w warunkach gwałtownego wzrostu obciążenia wymaga modelowania nie tylko interakcji

między ciałami stałymi (pocisk, lufa) ale również współpracy płynu (gazy prochowe) z obiektami struktury. Towarzyszący w procesie spalania wzrost obciążenia jest przyczyną m.in. wzrostu przyspieszenia pocisku osiągającego wartość od 100000g do 200000g (gdzie g-przyspieszenie ziemskie). Prawidłowe wypełnienie zadania obciążania wszystkich elementów modelu numerycznego MES wymaga zastosowania sprzężenia opisu Eulera (gaz) i Lagrange'a (ciała stałe). W przypadku opisu Eulera ciała przemieszczają się na tle siatki, którą został opisany dany obszar, zaś w opisie Lagrange'a siatka odkształca wraz z deformowanym ciałem. Szczególnym zagadnieniem związanym z gwałtownym wzrostem obciążenia działającego na układ lufa-nabój jest modelowanie procesu spalania materiału wybuchowego miotającego w lufie. Rozwiązanie tego problemu i zastosowanie w opracowywanym modelu numerycznym układu lufa-nabój w pakiecie LS-DYNA opartym o Metodę Elementów Skończonych, może spowodować w dużym stopniu wyeliminowanie długotrwałych i kosztownych badań poligonowych. Zaproponowana koncepcja numerycznego modelowania procesu spalania ładunku miotającego pozwoli nie tylko obniżyć koszty prowadzenia badań, ale także określić wpływ na wynik jakości materiału wybuchowego miotającego oraz pozostałych części składowych naboju i właściwości balistycznych broni.

2. Prezentacja koncepcji

Na bazie klasycznych równań rozwiązania problemu głównego balistyki wewnętrznej znanego z literatury [1,2,3,4], opracowano dla pakietu LS-Dyna koncepcję modelowania spalania się materiału wybuchowego miotającego na podstawie klasycznych równań modelu matematycznego [3,4] tzn:

- równania bilansu energii

$$p = \frac{f \cdot \omega \cdot \Psi - 0,5 \cdot m \cdot \varphi \cdot k \cdot v^2}{w_0 + s \cdot l - \frac{\omega}{\delta} + \frac{\omega}{\delta} \cdot \Psi - \alpha \cdot \omega \cdot \Psi}, \quad (1)$$

- równaniu bilansu masy

$$\frac{d\Psi}{dt} = \Gamma \cdot p, \quad (2)$$

- równaniu ruchu pocisku

$$\varphi \cdot m \frac{dv}{dt} = p \cdot s, \quad (3)$$

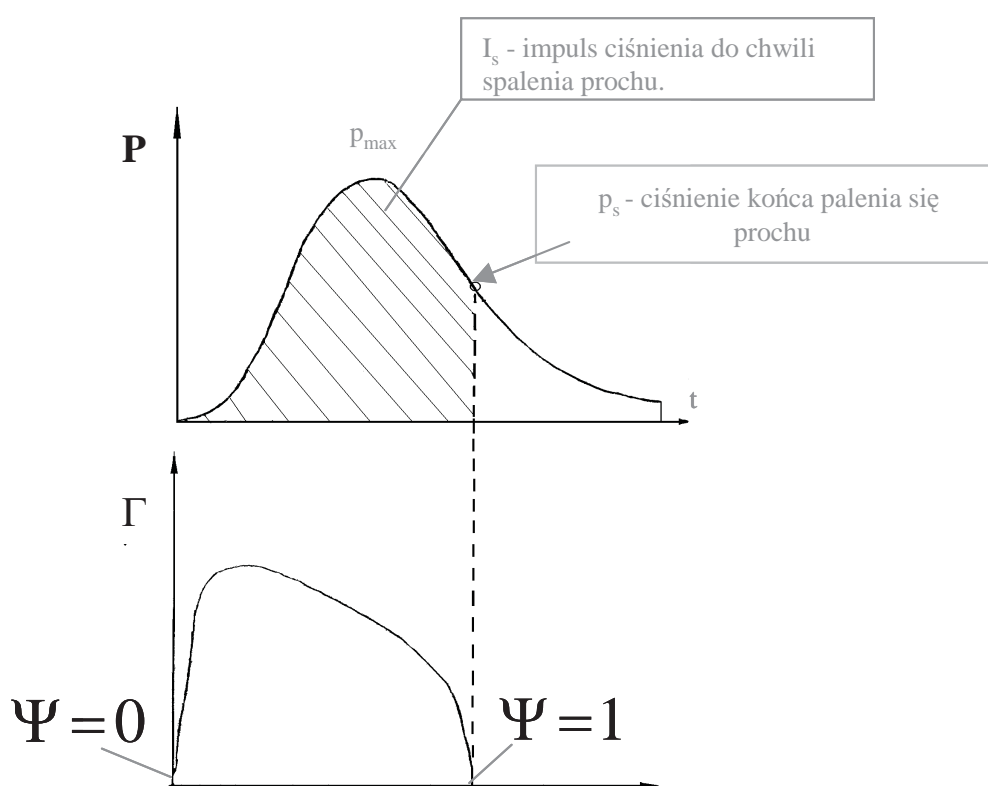
gdzie:

- f - siła prochu,
- ω - masa prochu,
- Ψ - względna masa spalonego prochu,
- m - masa pocisku,
- φ - współczynnik fikcyjności masy,
- k - wykładnik adiabaty,
- s - pole przekroju pocisku,
- l - droga przelotu pocisku przez lufę,
- δ - gęstość prochu,
- α - kowolumen,
- v - prędkość pocisku,
- Γ - intensywność powstawania gazów,

w_o - objętość konstrukcyjna,

p - ciśnienie obliczona w komorze naboju.

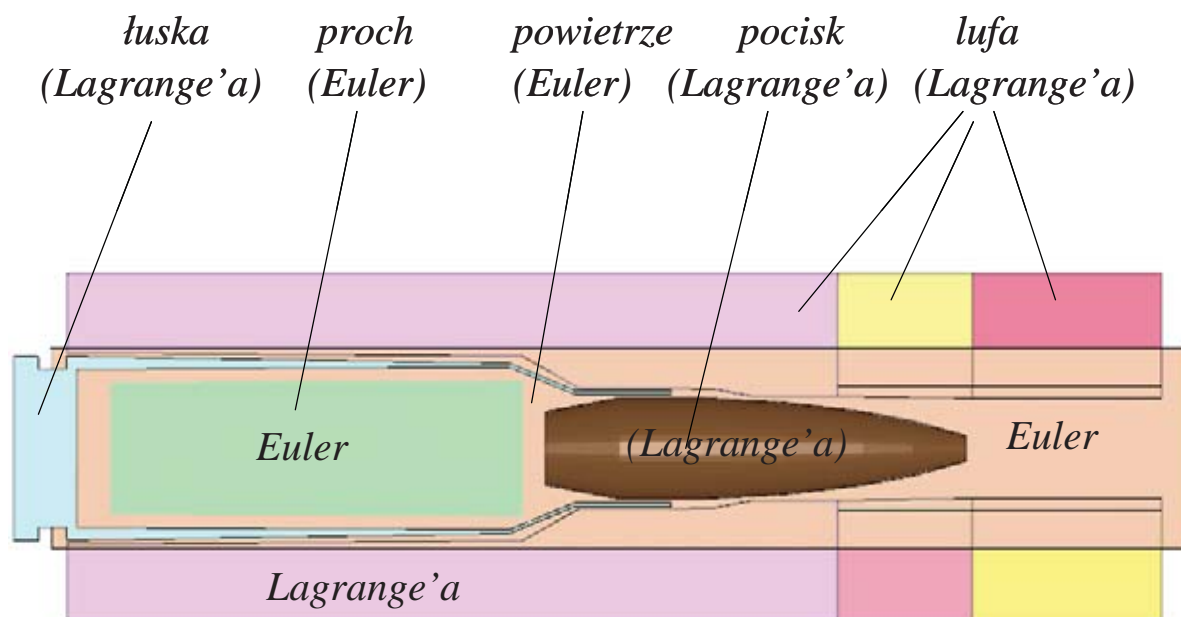
Obliczenia przy wykorzystaniu powyższego układu równań można prowadzić w oddzielnym pakiecie obliczeniowym, np. Matlab, przy założeniu całkowitego spalania się prochu zanim pocisk opuści lufę. Proces obliczeniowy można wykonywać metodą kojenych przybliżeń, przerywając iteracje, gdy względna różnica pomiędzy założoną i obliczoną wartością Ψ w chwili, gdy pocisk opuszcza przewód lufy, będzie mniejszy od założonego błędu ε . Poniżej zamieszczono rysunek przedstawiający sposób obliczania tworzenia się gazów prochowych w komorze naboju na podstawie znajomości intensywności powstawania gazów materiału wybuchowego miotającego. Wzrost ciśnienia gazów prochowych następuje gdy materiał wybuchowy miotający ulega spalaniu (okres wstępny, pirostatyczny i pirodynamiczny). Po spalaniu ($\Psi = 1$) nad układem lufa – nabój wykonywana jest praca adiabatycznie rozprężających się gazów.



Rys. 1. Idea powstawania gazów prochowych za pomocą intensywności powstawania gazów Γ

Fig. 1. The idea of propellant generation using Γ function

Charakterystykę intensywności powstawania gazów Γ (rys.1), która opisuje własności materiału wybuchowego miotającego (prochu) w funkcji względnej masy spalonego ładunku można otrzymać z ekperymentu przy użyciu lufy balistycznej bądź z literatury [1,7]. Istotnym elementem koncepcji jest również trójwymiarowy model dyskretny, na którym została rozpięta siatka węzłów wraz z elementami skończonymi. Model geometryczny (rys.2) uwzględnia odpowiadającym w rzeczywistości elementom konstrukcji takim jak: łuska, pocisk, lufa. Ruch tych deformujących się ciał został opisany współrzędnymi Lagrange'a. Dodatkowo model został uzupełniony o obszary w opisie we współrzędnych Euera, w którym występuje ruch płynów (gazy prochowe, powietrze). Sprzężenie między obszarami realizowane za pomocą metody opartej na funkcji kary.



Rys. 2. Wstępny model dyskretny układu lufa –nabój w opisie eulerowsko-lagrange'owskim
 Fig. 2. Preliminary FEM model of barrel-bullet system in Euler –Lagrange domain

Zmianę ciśnienia w pakiecie LSDYNA realizowano w obszarze, który modelował proch, za pomocą następującej relacji:

$$p_{LSDYNA} = p_{obl}(t), \dots \quad (4)$$

gdzie:

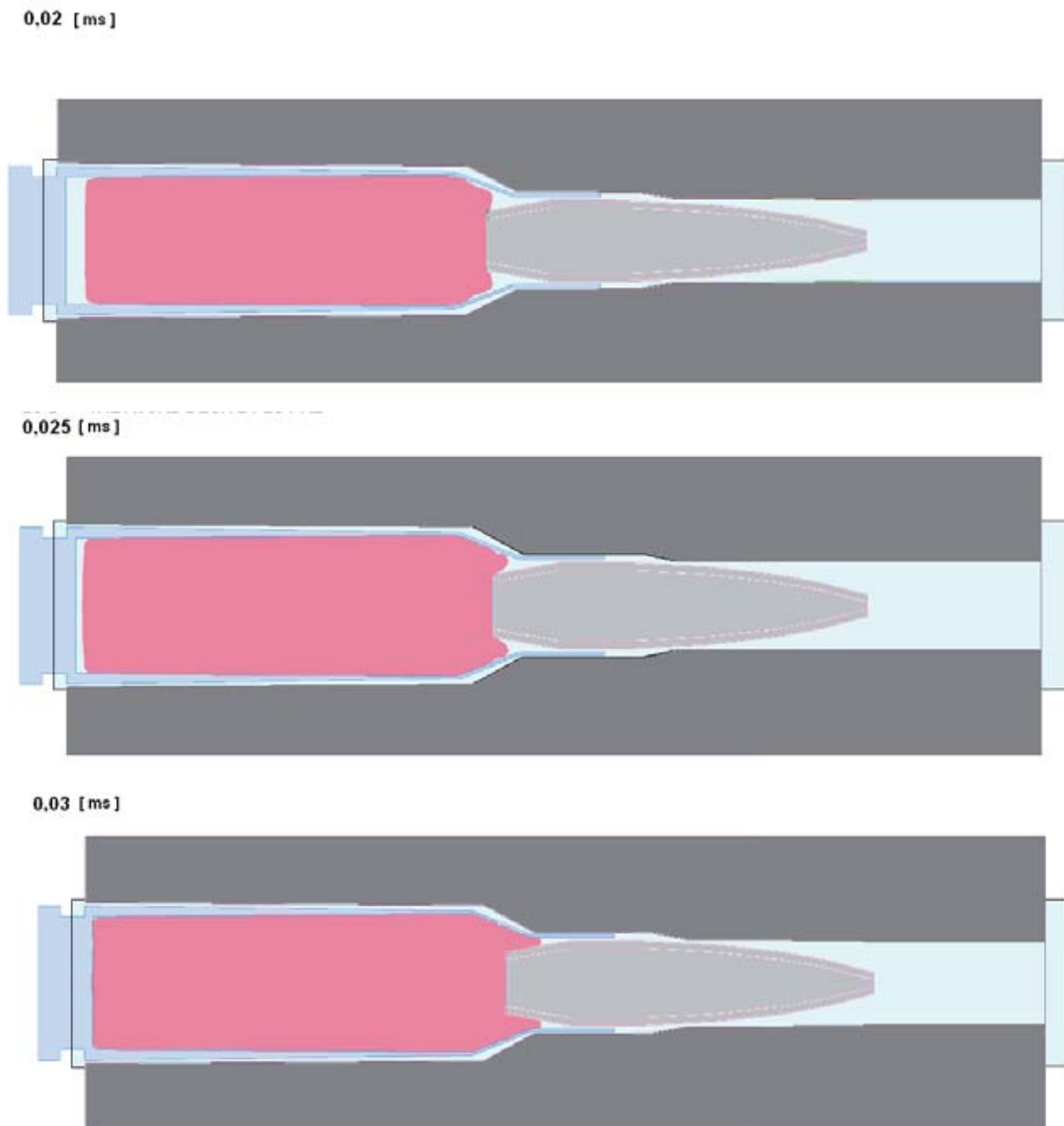
p_{LSDYNA} - ciśnienie realizowane w pakiecie LS-Dyna,

p_{obl} - ciśnienie gazów prochowych obliczone z równań 1,2,3.

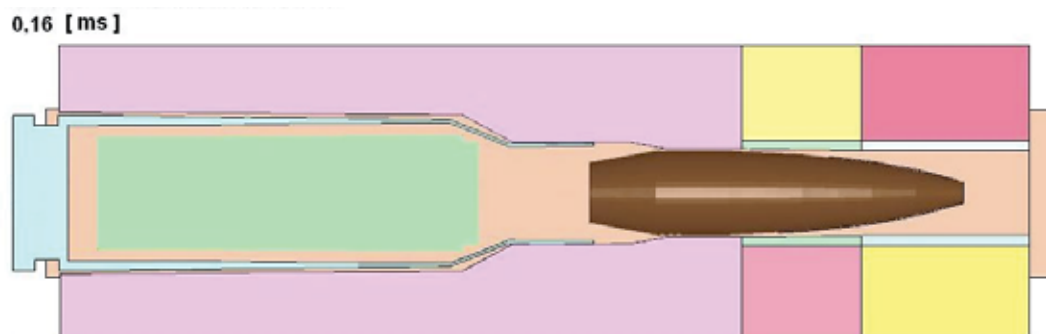
3. Podsumowanie

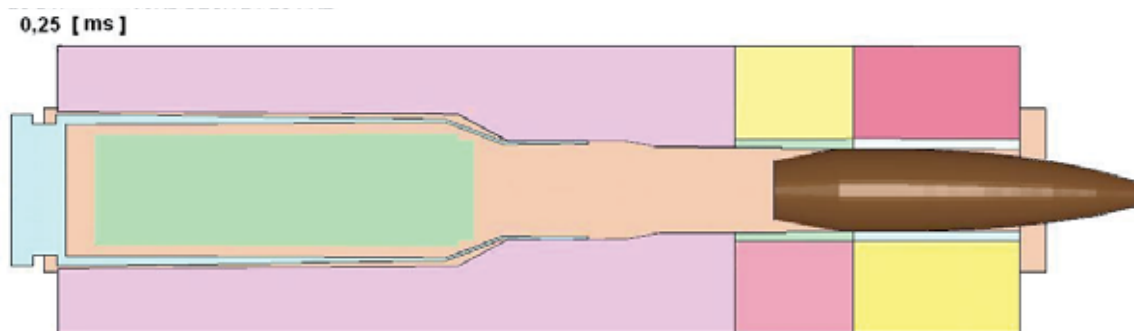
Omówiona teoretyczna koncepcja została wprowadzona do modelu eulerowsko-lagrange'owskiego zaimplementowanego w pakiecie LS-DYNA. W trakcie symulacji wysokoenergetycznego obciążenia układu lufa – nabój uzyskano wstępne wyniki, które zostały pokazane na rys. 3 i 4. Na rysunkach pokazano zmieniające się w czasie działanie płynu (gazy prochowe) na pocisk od momentu wzrostu ciśnienia do ukształtowania się obciążenia wokół pocisku oraz następnie jego ruch. Rysunki pokazują kolejne etapy oddziaływania gazów prochowych w początkowej fazie z elementami konstrukcji (pocisk, łuska, lufa) dla czasów: 0.020ms, 0.025ms, 0.03ms.

Przedstawiona koncepcja pozwoli efektywniej wykorzystać modele komputerowe i uzyskiwać rozwiązania złożonych problemów nieosiągalne innymi metodami (np. analitycznymi). Po procesie weryfikacji zaproponowanej koncepcji wymuszenia ruchu pocisku generującą się falą ciśnienia, zaproponowany model umożliwi prowadzenie dalszych analiz pracy układu lufa-nabój w aspekcie modyfikacji zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Istnieje również możliwość dalszego prowadzenia prac w zakresie testowania bardziej zaawansowanych sposobów realizacji procesów spalania materiału wybuchowego miotającego w systemie LS-DYNA, tak aby dotrzymać kroku światowym osiągnięciom w tej dziedzinie.



Rys. 3. Wstępne wyniki obliczeń oddziaływania płynu (gazów prochowych) na pocisk, lufę i łuskę. Liczby obok rysunków oznaczają czas w milisekundach
Fig. 3. Preliminary results of pressure wave propagation and its interaction with bullet, barrel and shell for chosen time steps





Rys. 4. Ruch pocisku w lufie na skutek wygenerowanego ciśnienia w układzie Euler'a
Fig. 4. The bullet movement in the barrel subjected to pressure wave generated in the Euler domain

Literatura

- [1] Radomski, M., *Zastosowanie symulacji komputerowej zjawiska strzału do sterowania jakością prochu w produkcji amunicji małokalibrowej*, Sympozjum Naukowo-Techniczne na temat Metody Symulacji Zjawisk Balistycznych, ISSN 0860-858X z.7, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995.
- [2] Leciejewski, Z., Surma, Z., *Komputerowe wspomaganie procesu dydaktycznego z zakresu balistyki wewnętrznej*, Sympozjum Naukowo-Techniczne na temat Metody Symulacji Zjawisk Balistycznych, ISSN 0860-858X z.7, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995.
- [3] Leciejewski, Z., *Badania pirostatyczne: Część I - wyznaczanie szybkości spalania prochu drobnoziarnistego*, VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia „Nowe aspekty techniki uzbrojenia” Waplewo 11-13.10.2006.
- [4] Torecki, S., *Balistyka wewnętrzna*, skrypt WAT, Warszawa 1980.
- [5] Łazowski, J., Niezgoda, T., Małachowski, J., *Modelowanie numeryczne współpracy pocisku z lufą*, VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojenia „Nowe aspekty techniki uzbrojenia” Waplewo 11-13.10.2006.
- [6] Łazowski, J., Małachowski, J., Niezgoda, T., *Wstępna analiza współpracy pocisku i lufy karabinu za pomocą MES*, Czasopismo naukowo-techniczne „Górnictwo Odkrywkowe” nr 7-8 Rocznik XLVIII Wrocław 2006.
- [7] Kapustka, Z., *Badania porównawcze szybkości spalania prochów drobnoziarnistych w stałej i zmiennej objętości*, PTUiR z.21, Zielonka 1979.

Praca jest realizowana w ramach projektu nr OT00B01429 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego