

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

ZAKŁAD SILNIKÓW LOTNICZYCH

METODY KOMPUTEROWE W SPALANIU

Porównanie detonacji Chapman–Jouguet trzech mieszanin

Autor:

Piotr Tomikowski

Prowadzący:

dr inż. Mateusz Żbikowski

Contents

1	Wstęp	3
2	Przegląd literatury	3
3	Opis modelu	4
4	Wyniki	5
5	Podsumowanie wyników	5
6	Bibliografia	6

1 Wstęp

Celem projektu jest zapoznanie się przez studenta z open-source'owym pakietem obliczeniowym SDToolbox, używanego do obliczania parametrów spalania detonacyjnego. Między innymi można otrzymać z jego pomocą parametry detonacji Chapmana-Jouget'a. By to osiągnąć, zasymulowano detonację stechiometrycznych mieszanin metanu, etanu i propanu, po czym porównano otrzymane wyniki z danymi z literatury.

2 Przegląd literatury

Detonacja Chapmana-Jouget'a to szczególny przypadek detonacji[1]. Na rysunku 1 zaznaczone są dwa punkty, U oraz L. Opisywany w tym projekcie przypadek to punkt U. Jest to granica między silną, a słabą detonacją. Jest ona niezwykle istotna m.in. ze względów bezpieczeństwa przy obcowaniu z wybuchowymi mieszaninami.

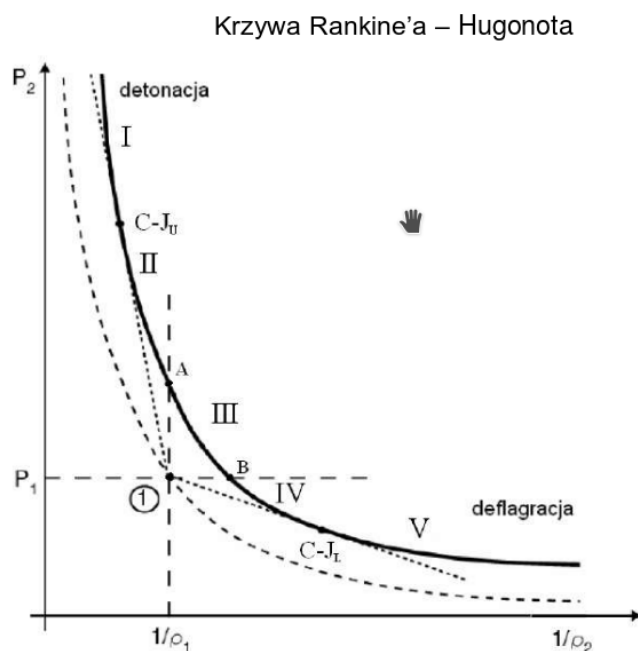


Figure 1: Krzywa Rankina-Hugoniot'a

Fala detonacyjna Chapmana-Jouget'a porusza się w nieruchomym gazie z prędkością naddźwiękową. W punkcie U prędkość przemieszczania się stabilnej fali detonacyjnej osiąga minimum, dlatego też jest to tak ważna cecha w kwestii bezpieczeństwa.

Mieszaniny gazów z utleniaczem w różnych warunkach przyjmują różne wartości prędkości fali detonacyjnej. Dla kilku popularnych gazów w mieszaninie z powietrzem i tlenem przedstawiono na rysunku 2 rozkłady prędkości detonacji w zależności od współczynnika nadmiaru powietrza.

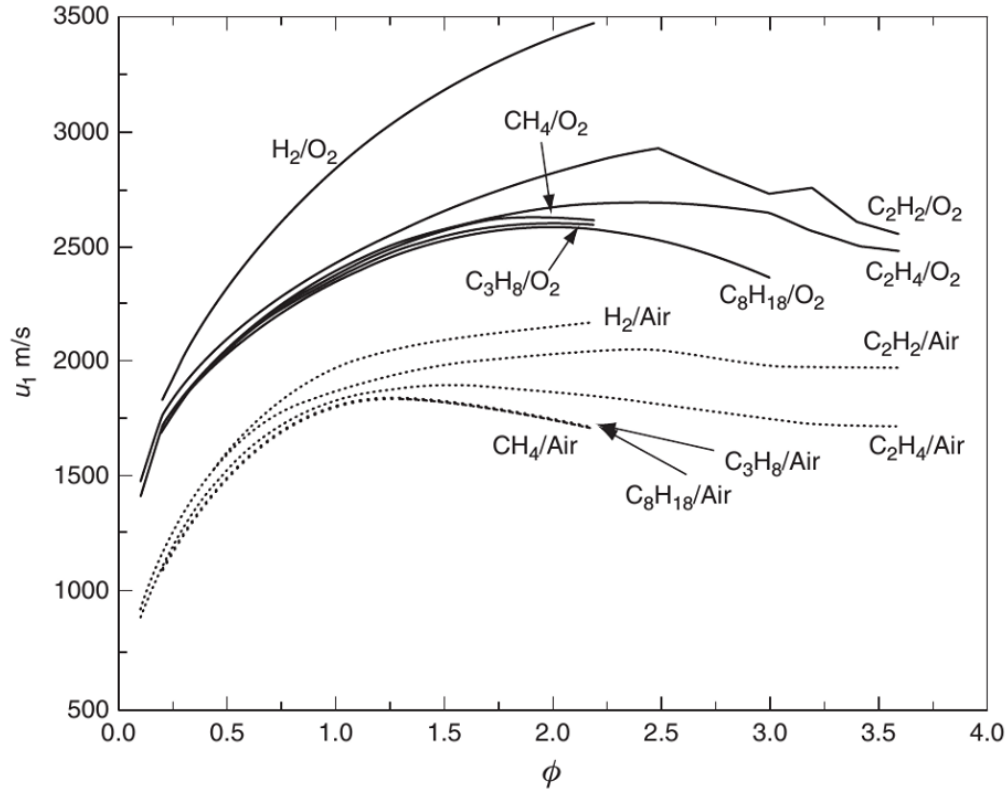


Figure 2: Prędkość detonacji mieszanin gazowych w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza

Jak widać dla rozpatrywanych w projekcie gazów w mieszaninie z powietrzem, jest to około $1750 [\frac{m}{s}]$ dla metanu i propanu oraz nieco więcej, około $1770 [\frac{m}{s}]$ dla etanu.

3 Opis modelu

Modele mieszanin pozostają w stechiometrycznych stosunkach. Model powietrza otrzymano poprzez uwzględnienie cząsteczek azotu. Stężenia molowe prezentują się następująco:

- CH_4 : 1, O_2 : 2, N_2 : 7.52
- C_2H_6 : 1, O_2 : 3.5, N_2 : 13.6
- C_3H_8 : 1, O_2 : 5, N_2 : 18.8

Warunki początkowe dla każdej mieszaniny to ciśnienie $p_o = 1[atm]$ oraz $T_0 = 300[K]$.

Obliczana jest prędkość fali detonacyjnej C-J oraz prędkości dźwięku dwoma modelami. Jeden z nich nie uwzględnia niektórych czynników, np. chemicznych, „zamrażając” je, dlatego z j. angielskiego nazwany jest 'frozen'. W drugim podejściu przyjmuje się stan równowagi, z angielskiego equilibrium. W projekcie tym nie rozpatrywane są szczegóły tych metod

Mechanizm reakcji chemicznej to Gri Mech 3.0 przystosowany do wysokich temperatur. Użyto go dlatego, żeby uwzględnić poboczne reakcje wpływające na przebieg spalania i prędkość detonacji.

4 Wyniki

4. Poniżej w tabeli przedstawione są wyniki obliczeń

Mieszanina	Metan	Etan	Propan
Prędkość detonacji $\left[\frac{m}{s}\right]$	1803.04	1793.26	1799.80
Stosunek ciśnienia $\frac{p_2}{p_1}$	17.04	17.61	18.10
Prędkość dźwięku $a_{frozen} \left[\frac{m}{s}\right]$	1031.64	1025.93	1028.97
Prędkość dźwięku $a_{equilibrium} \left[\frac{m}{s}\right]$	998.35	991.99	993.91

Table 1: Wyniki symulacji

5 Podsumowanie wyników

Jak widać w tabeli 1, prędkość detonacji jest zbliżona do tej zaczerpniętej z literatury. Prędkość detonacji C-J jest nieco wyższa niż ta pokazana na rysunku 2. Również stosunek ciśnienia wywołanego powstaniem detonacji do ciśnienia początkowego jest na zbliżonym poziomie, co można porównać z rysunkiem 3.

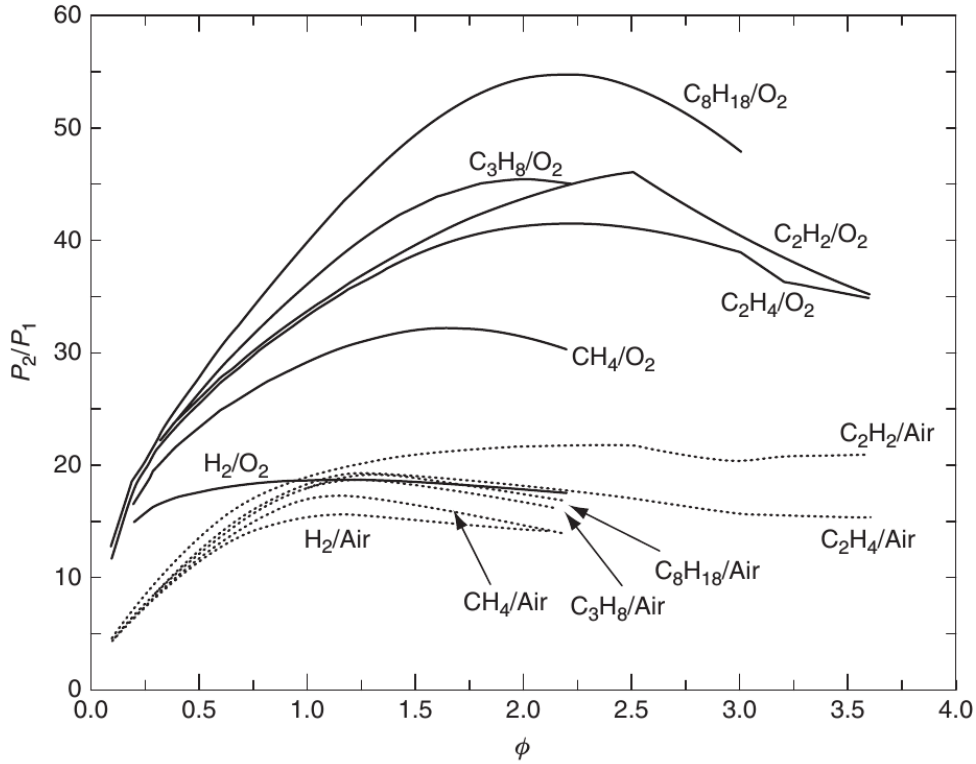


Figure 3: Stosunek ciśnienia w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza

Z przeprowadzonej symulacji wynika, że może być ona narzędziem do zgrubnego określenia parametrów mieszanin wybuchowych. Dla dokładniejszych wyników potrzeba bardziej rozbudowanych modeli obliczeniowych jak i mechanizmów reakcji.

6 Bibliografia

[1] Wójcicki S. Spalanie

[2] Glassman I., Yetter R. A. Combustion