

Prowadzący:

Dr inż. Mateusz Żbikowski

Metody Komputerowe w Spalaniu

Porównanie temperatury oraz ciśnienia
samozapłonu różnych mieszanek palnych

Raport

Autorzy:

Szymon Maciejuk 304272

Hubert Piwowarski 304374

Data oddania raportu: 05.06.2023

Ocena: _____

1. Wstęp teoretyczny

Celem niniejszego projektu jest porównanie parametrów samozapłonu różnych mieszanek palnych w zależności od stopnia ich sprężenia. Realizowane to będzie programem napisanym przy użyciu biblioteki Cantera w języku Python. Doświadczenie będzie polegać na stopniowym sprężaniu mieszanki w cylindrze za pomocą tłoka. W trakcie ruchu tłoka Cantera będzie obliczać ciśnienie oraz temperaturę mieszanki. Model reprezentuje prosty silnik tłokowy o następujących danych:

- $n = 600 \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right]$, $\omega = 62,83 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$ – prędkość obrotowa silnika,
- $V_H = 0,5 \text{ [l]} = 0,0005 \text{ [m}^3\text{]}$ – objętość skokowa cylindra,
- $\varepsilon = 20 \text{ [–]}$ – stopień sprężania silnika,
- $d = 83 \text{ [mm]} = 0,083 \text{ [m]}$ – średnica tłoka.

Wykresy temperatury oraz ciśnienia będą przedstawiały ich wartość w zależności od kąta ustawienia tłoka na wale, przy czym 180° oznacza dolne martwe położenie, a 360° – górne martwe położenie tłoka. Z tego powodu będzie trzeba przeliczyć otrzymane wyniki na zależne od stopnia sprężenia według poniższych zależności:

$$\varepsilon(\phi) = \frac{V_{max}}{\frac{l}{2} \cdot (1 - \cos \phi) \cdot A + V_{min}}$$

gdzie:

$V_{min} = \frac{V_H}{\varepsilon - 1} = 0,0263 \text{ [l]} = 0,0000263 \text{ [m}^3\text{]}$ – objętość w górnym martwym położeniu tłoka,

$V_{max} = V_H + V_{min} = 0,5263 \text{ [l]} = 0,0005263 \text{ [m}^3\text{]}$ – objętość w dolnym martwym położeniu tłoka,

$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,005411 \text{ [m}^2\text{]}$ – powierzchnia tłoka,

$l = \frac{V_H}{A} = 0,0924 \text{ [m]}$ – długość suwu tłoka,

$\phi \text{ [}^\circ\text{]}$ – ustawienie kątowe wału,

$\varepsilon(\phi)$ – stopień sprężenia mieszanki, w zależności od ustawienia kątowego wału korbowego.

2. Model numeryczny

Silnik został zamodelowany jako zero-wymiarowy cylinder wypełniony mieszkanką gazu roboczego oraz powietrza (model gazu idealnego). Definicja gazu nastąpiła poprzez funkcję `ct.Solution`, reaktora reprezentującego cylinder poprzez funkcję `ct.IdealGasReactor(gas)`. Tłok został zamodelowany jako poruszająca się ściana poprzez funkcję `ct.Wall(ambient_air,cylinder)`. Zamodelowano także wtryski powietrza i paliwa (naszego gazu roboczego) oraz ich wyloty jako obiekty kontrolujące przepływ masowy poprzez funkcję `ct.MassFlowController(injector,cylinder)`.

3. Analizowane mieszanki

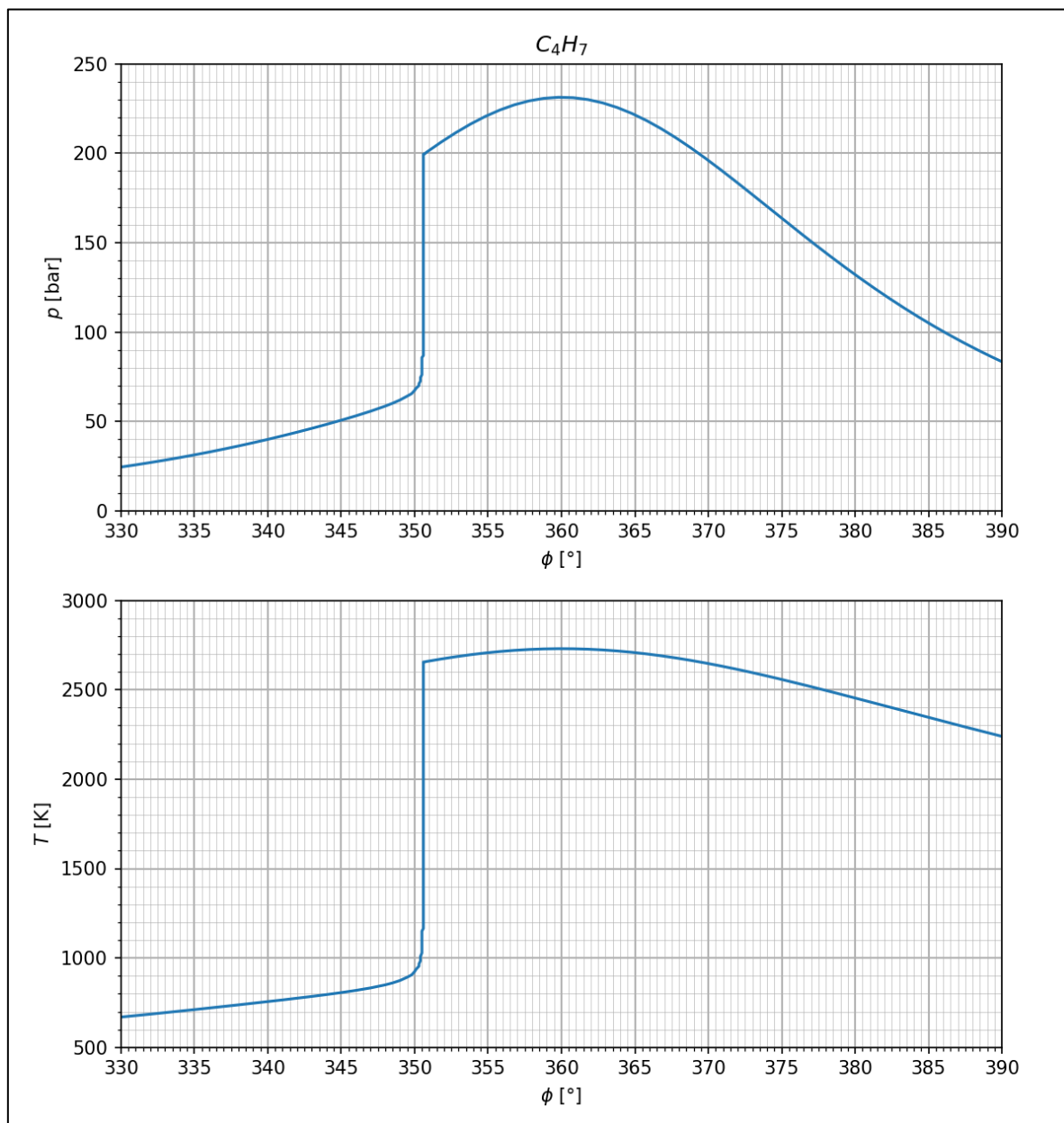
Dla każdej mieszanki reakcja spalania przeprowadzana jest w proporcjach gaz:tlen równych 1:1. Wybrane mieszanki to:

- $C_4H_7 + O_2 + 3,76N_2$
- $C_4H_8 + O_2 + 3,76N_2$
- $C_5H_{11} + O_2 + 3,76N_2$
- $C_{12}H_{26} + O_2 + 3,76N_2$
- $C_6H_{12} + O_2 + 3,76N_2$
- $H_2O + O_2 + 3,76N_2$

Dla każdej mieszanki z wykresu zostanie odczytana temperatura i ciśnienie samozapłonu oraz kąt przy którym ono występuje. Dodatkowo kąt zostanie przeliczony na stopień sprężania.

4. Wyniki

4.1. Mieszanki palne

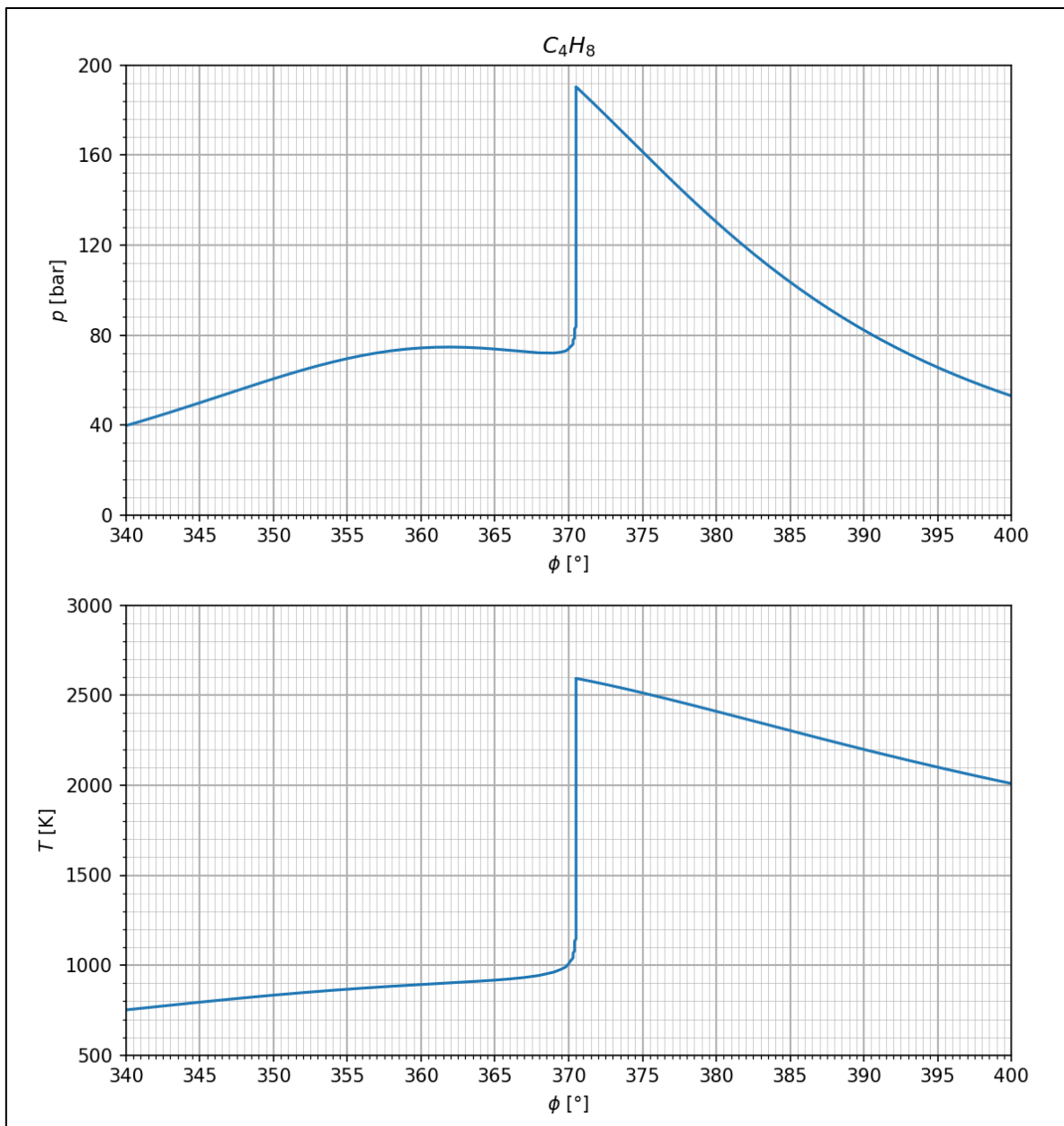


$$T_s = 930 \text{ [K]}$$

$$P_s = 68 \text{ [bar]}$$

$$\phi = 350,1 \text{ [}^\circ\text{]}$$

$$\varepsilon(\phi) = 17,521 \text{ [-]}$$

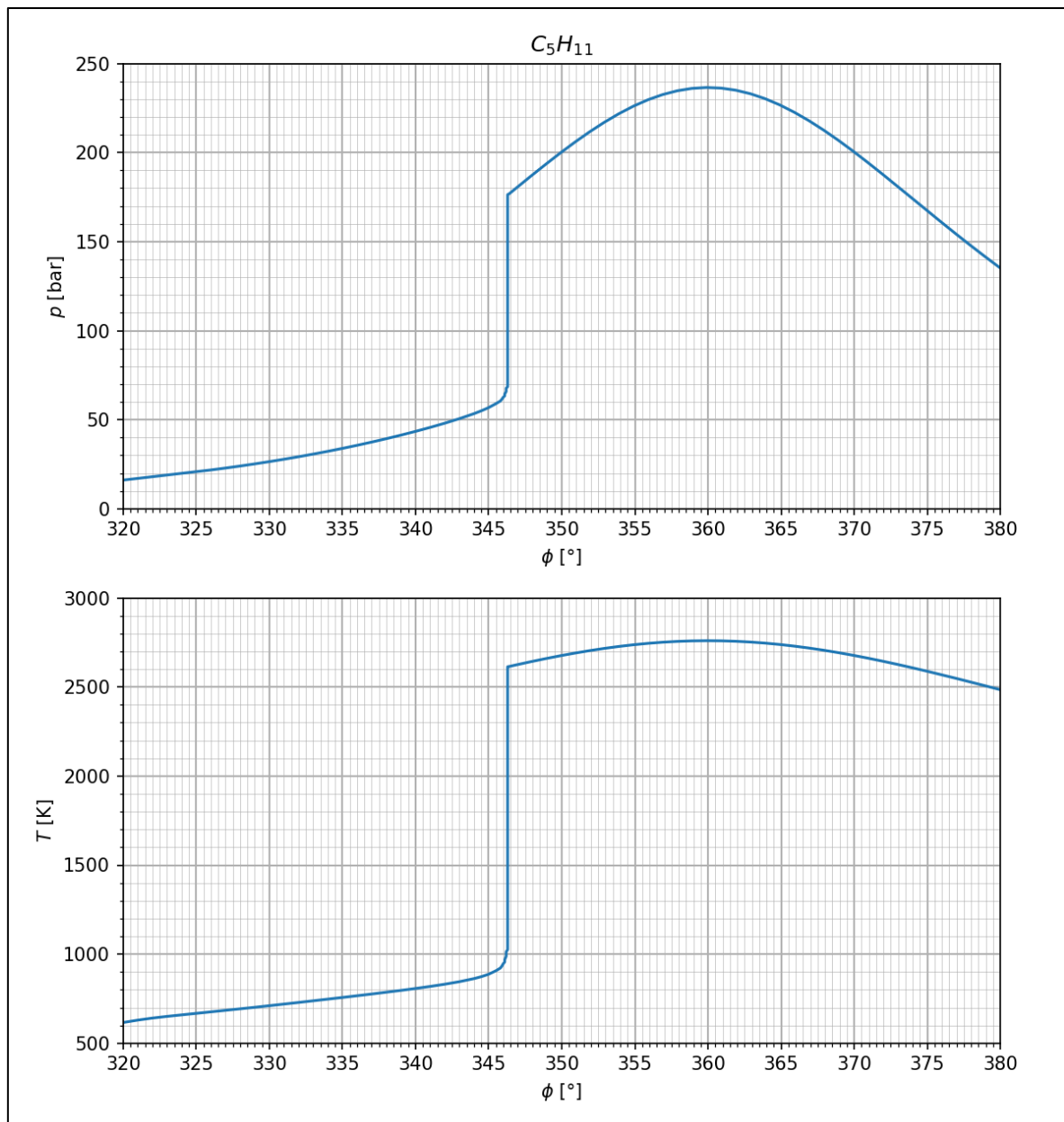


$$T_s = 980 [K]$$

$$P_s = 74 [bar]$$

$$\phi = 369,9 [^\circ]$$

$$\varepsilon(\phi) = 17,521 [-]$$

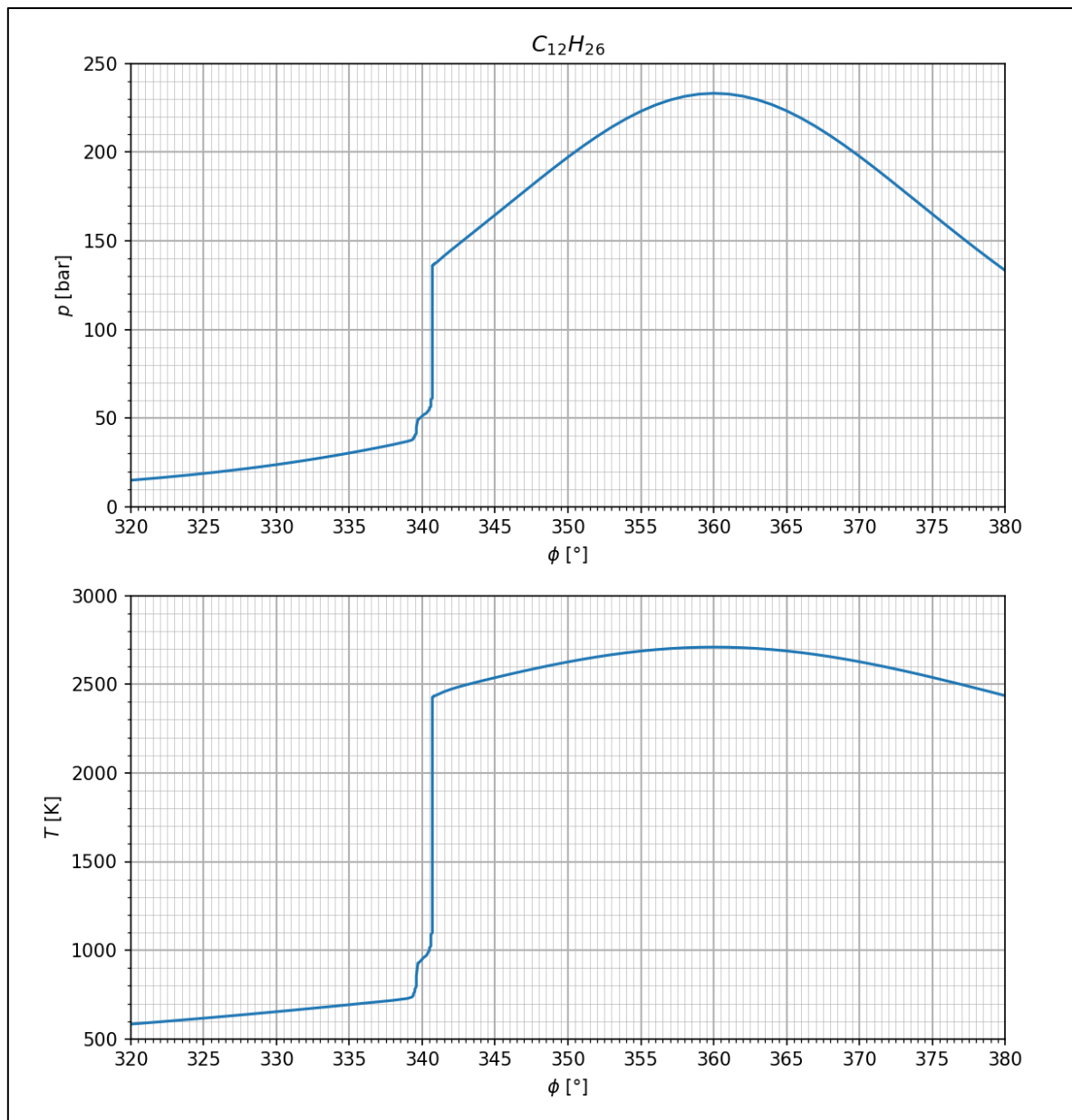


$$T_s = 920 [K]$$

$$P_s = 63 [bar]$$

$$\phi = 345,9 [^\circ]$$

$$\varepsilon(\phi) = 15,549 [-]$$



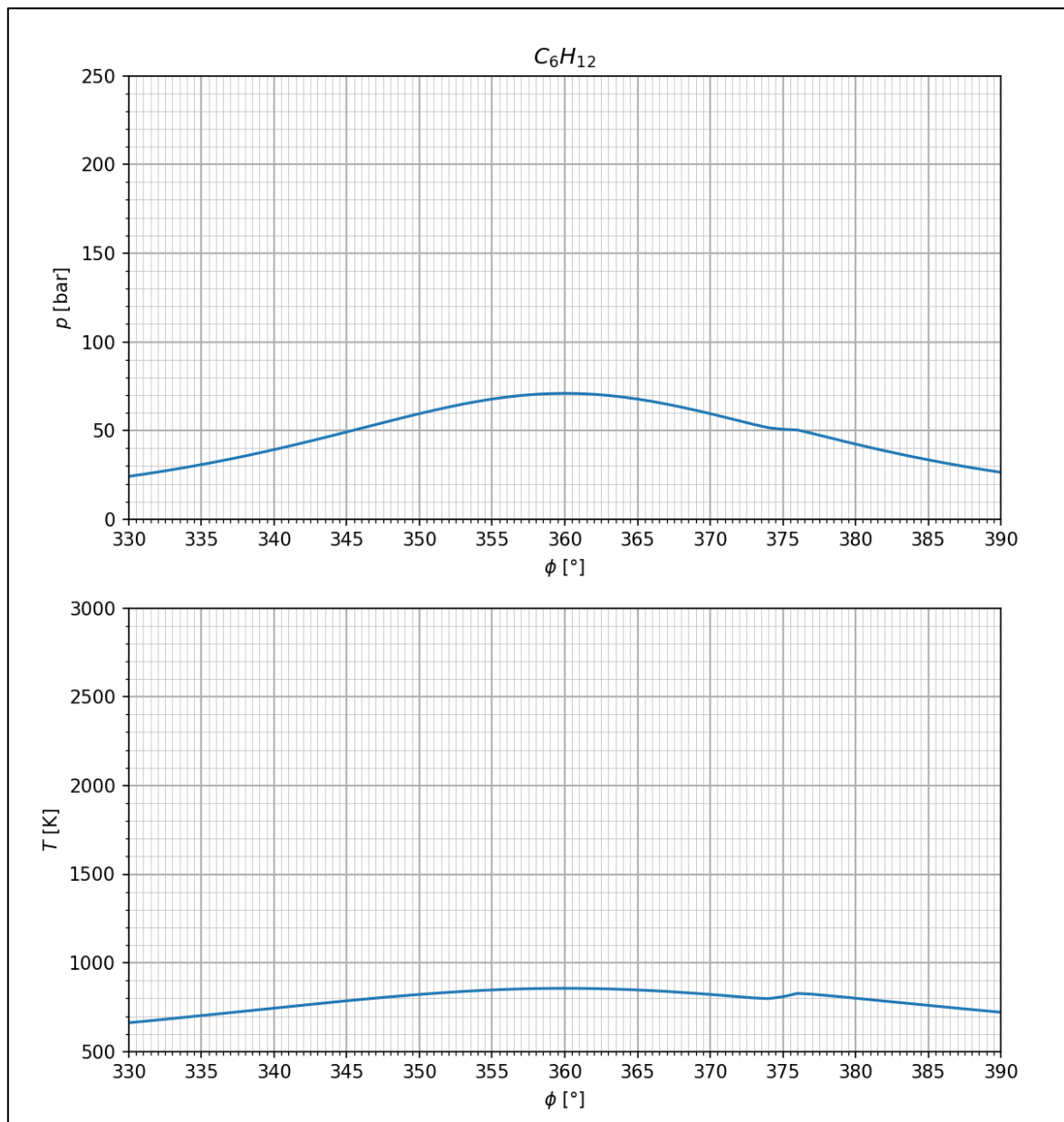
$$T_s = 930 \text{ [K]}$$

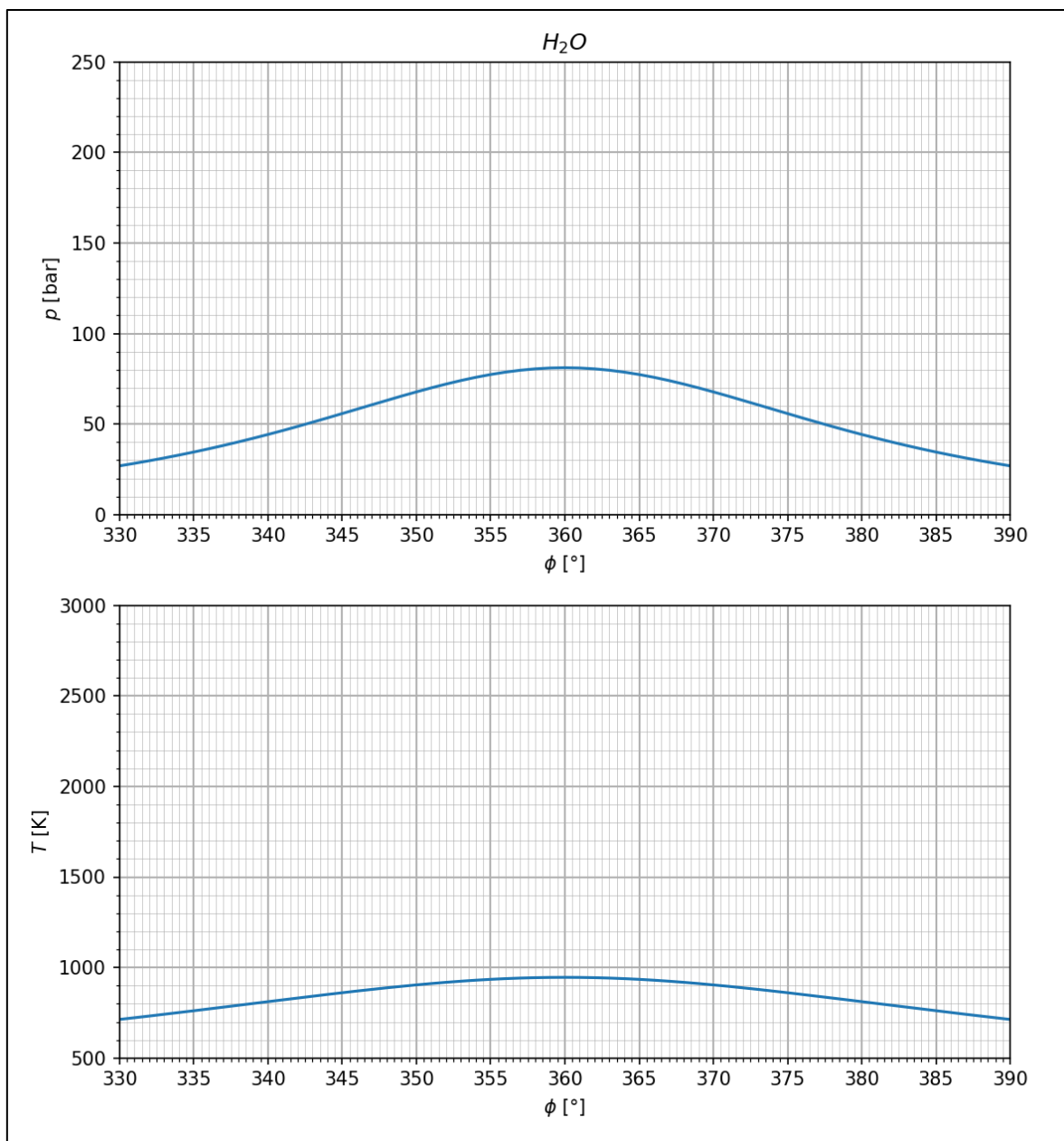
$$P_s = 68 \text{ [bar]}$$

$$\phi = 350,1 \text{ [}^\circ\text{]}$$

$$\varepsilon(\phi) = 17,521 \text{ [-]}$$

4.2. Mieszanki niepalne





Jak widać nie wszystkie gazy palą się w zadanych warunkach – okazuje się, iż para wodna również należy do tej grupy.

5. Wnioski

Okazuje się, że mieszanki mają bardzo podobne właściwości. Mieszanki z C_4H_7 oraz $C_{12}H_{26}$ wypadły wręcz identycznie. Przy takim samym stopniu sprężenia, jak u dwóch poprzednich, nastąpił zapłon mieszanki z C_4H_8 . Jednak stało się to długo, bo aż $\sim 10^\circ$ po przekroczeniu górnego martwego położenia tłoka. Na wykresach widać jak wysoka temperatura i ciśnienie nie utrzymują się. Bardzo szybko i gwałtownie spadają. Nie jest to więc dobra mieszanka do wykorzystania

jako paliwo palne, ponieważ podczas suwu pracy przez długi czas nic się nie dzieje, co z kolei prowadzi do bardzo małej efektywności. Najlepiej natomiast wypadła mieszanka zawierająca C_5H_{11} . Temperatura, ciśnienie oraz stopień sprężenia potrzebny do samozapłonu są stosunkowo niższe. Również położenie tłoka przy którym ów niezbędny stopień sprężenia występuje jest niższe, co pozwala na dłuższe wykorzystanie wysokiego ciśnienia i temperatury. Maksymalne ciśnienie w górnym martwym położeniu również jest najwyższe ze wszystkich.

Bibliografia

<https://python-charts.com/matplotlib/grid/>

https://matplotlib.org/stable/api/as_gen/matplotlib.axes.Axes.set_xticks.html

https://matplotlib.org/stable/api/as_gen/matplotlib.pyplot.xticks.html

<https://stackabuse.com/how-to-set-axis-range-xlim-ylim-in-matplotlib/>

https://cantera.org/examples/python/reactors/ic_engine.py.html