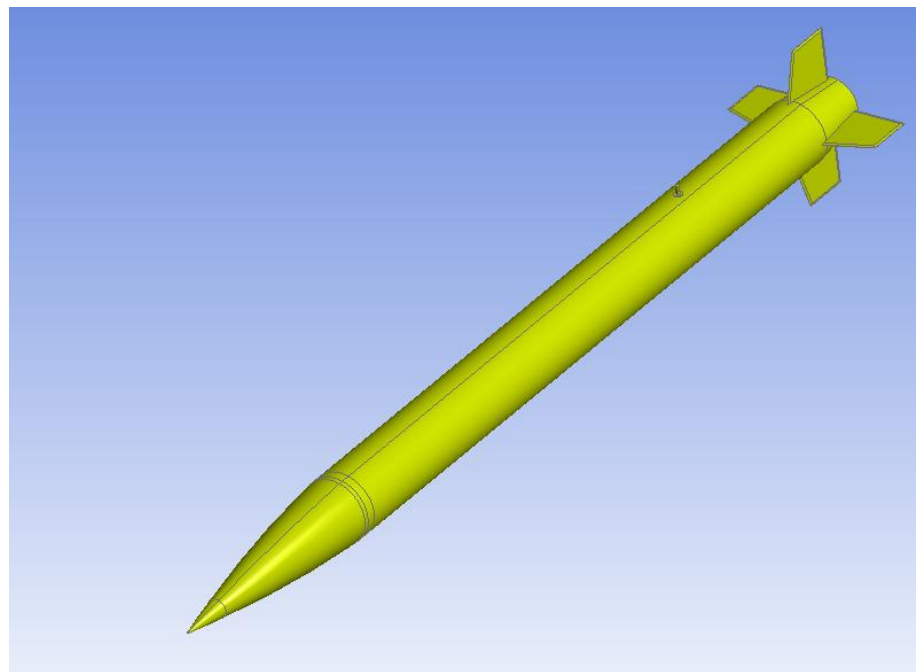
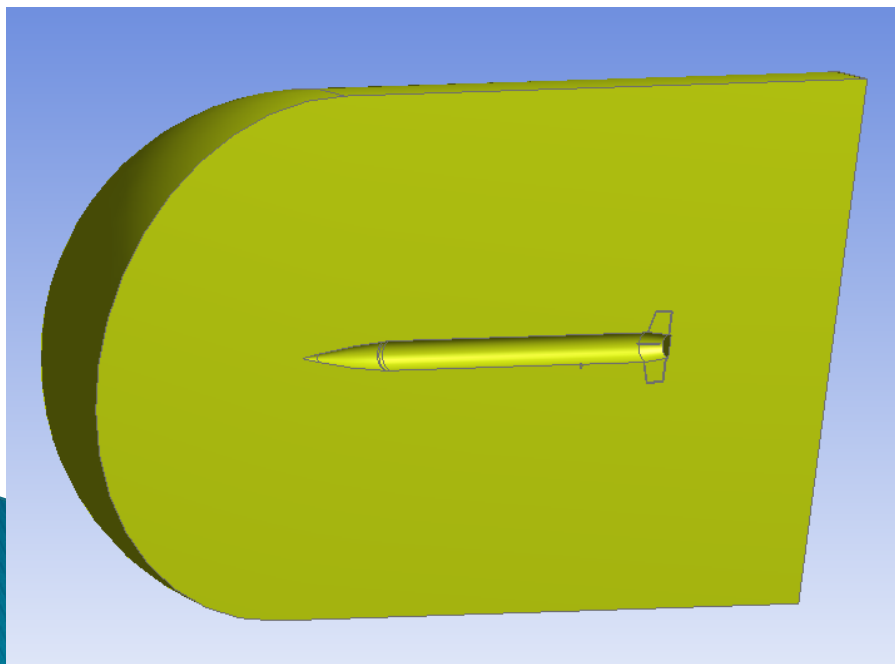


# **Analiza lotu – wyznaczenie współczynników siły nośnej i siły oporu dla rakiety Twardowski**

Filip Solarczyk

# Model geometryczny

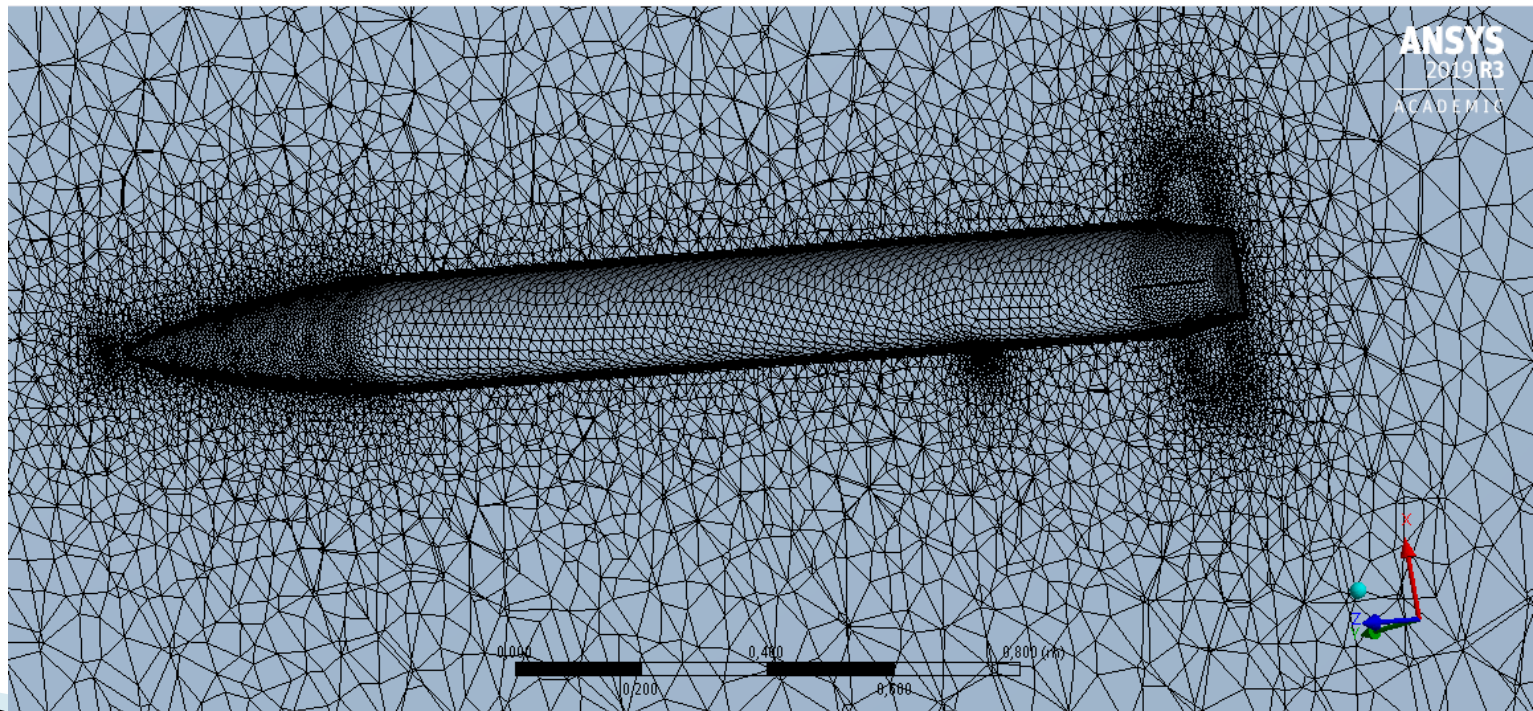
Model geometryczny rakiety do obliczeń został zaimportowany z Catii. Wygenerowano obszar dookoła rakiety – powierzchnię walcową z sferycznym zakończeniem, tak by wlot powietrza w analizie był równomierny (w przypadku działania oporu powietrza w kilku osiach).



# Model dyskretny

Siatka którą wygenerowano jest typu tetra, jeden element posiada 4 punkty całkowania (na każdym węźle). Siatka w obszarze głowicy, skrzydeł a także przy złączce do tankowania jest dokładniejsza i wynosi 9 mm. Siatka na długości rakiety jest równa 22,5 mm. Wysokość siatki przy ścianie rakiety: 0,0005mm, współczynnik wzrostu siatki: 1,2 (mniejsza gęstość na zewnętrznych ściankach powierzchni walcowej).

Statystyki siatki:  
Liczba elementów:  
511752  
Liczba node'ów:  
151425



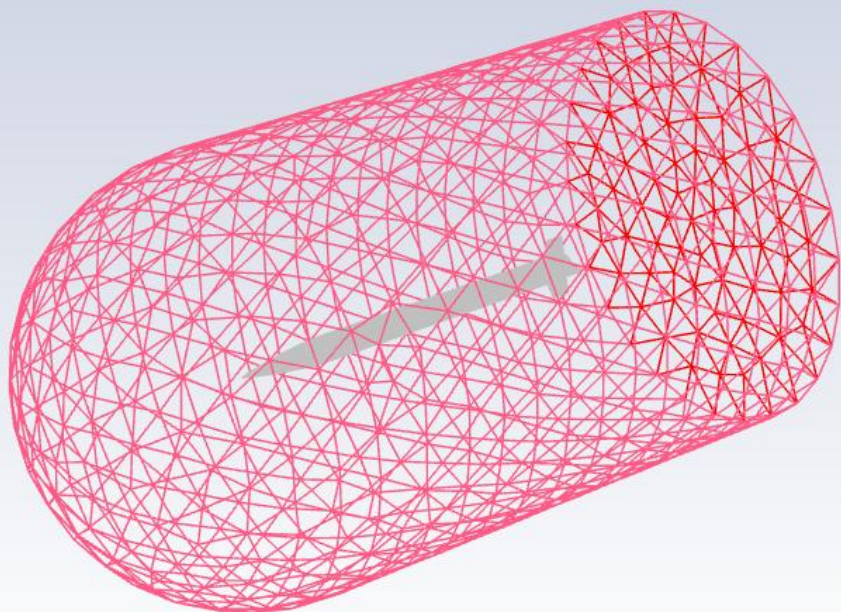
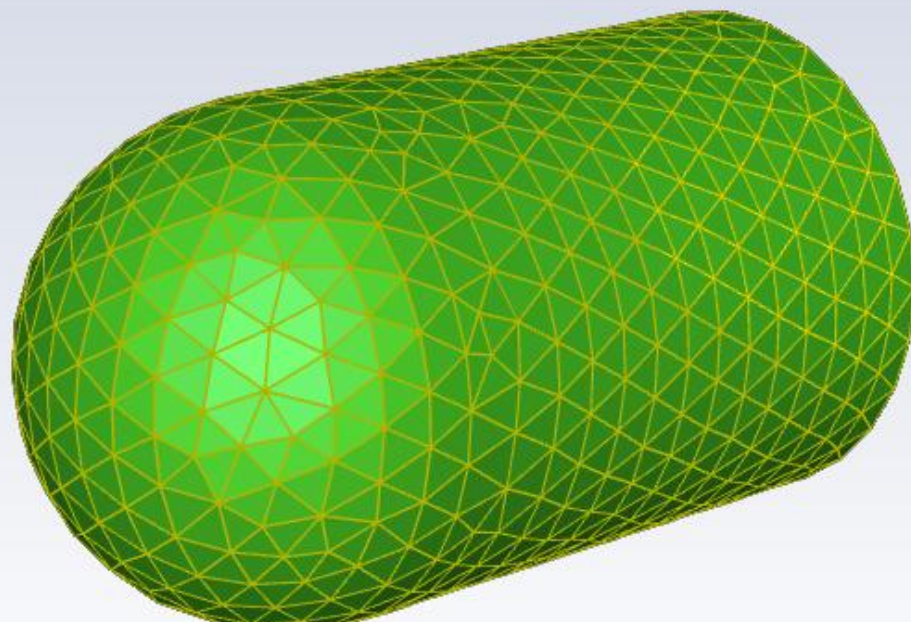
# Ustawienia symulacji

- Materiał: powietrze (standardowe ustawienia, gęstość – gaz idealny – obliczane z równania Clapeyrona)
- Model lepkościowy: k-omega SST (standardowe wartości)
- Metoda obliczeniowa: implicit (iteracyjne znajdowanie zbieżności po każdym kroku obliczeniowym)
- Liczba Couranta: 10 (określenie związku między wielkością siatki, prędkością propagacji fali przepływającej przez badany ośrodek a wielkością kroku czasowego/ w tym wypadku obliczeniowego) → w przypadku obliczeń typu implicit liczba Couranta jest dostosowywana do ilości iteracji potrzebnych do osiągnięcia zbieżności (wartość 10 jest tylko wyjściowa dla pierwszej iteracji)
- Przed każdymi obliczeniami przeprowadzona została inicjalizacja (standardowa) z zadanymi wartościami prędkości, tak aby wlot powietrza był ciągły w trakcie obliczeń a nie gwałtowny (czas w symulacji nie gra roli; tzn nie zmieniają się warunki brzegowe z czasem)

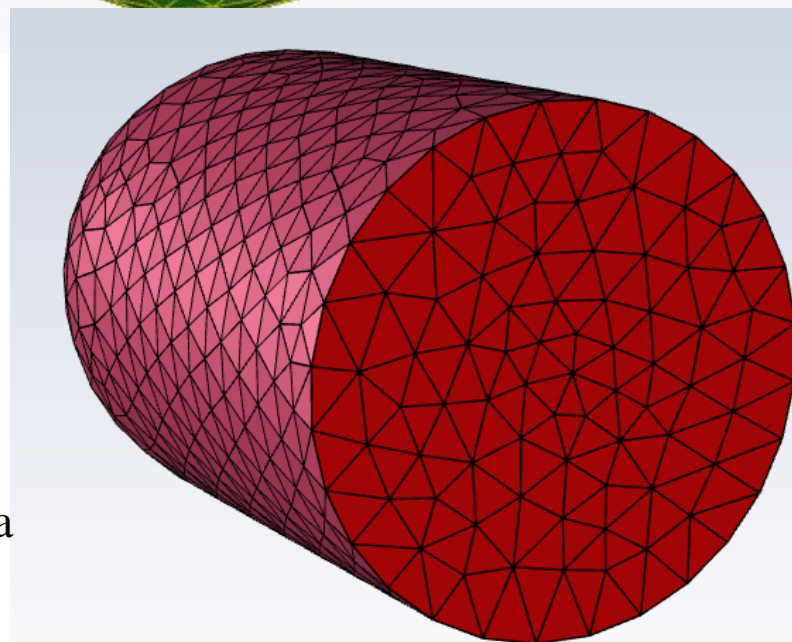


# Dane wsadowe do modelu obliczeniowego

Obszar wlotu powietrza –  
oznaczony jako pressure far  
field, pełna powierzchnia  
przednia i boczna walca



Obszar który opływa powietrze – oznaczony  
jako wall, czyli zewnętrzne ścianki rakiety



Obszar wylotu powietrza  
– oznaczony jako outlet

# Rozpatrywane przypadki

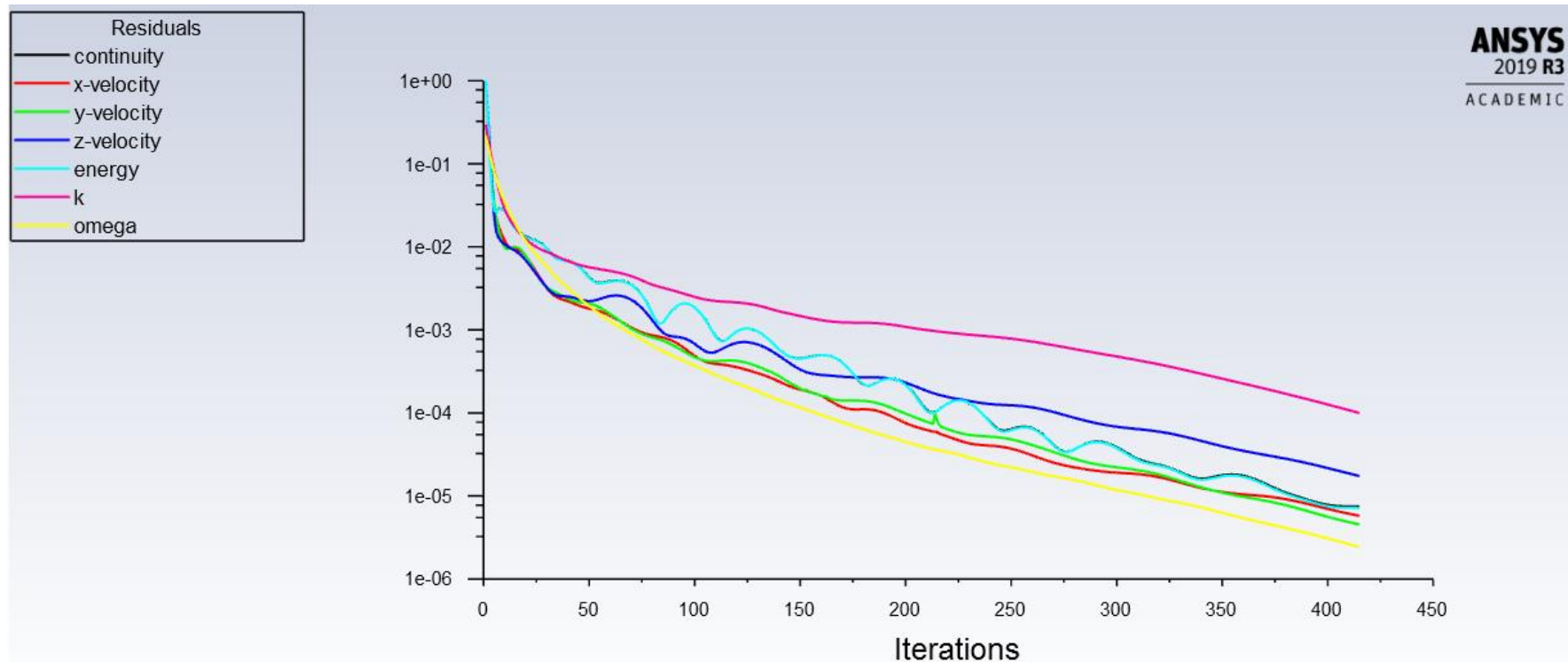
Prędkość powietrza (Ma)\kat natarcia (deg)	0	1	2	3	5	7	10	15	20	25
0,05	0	1	2	3	5	7	10	15	20	25
0,1	0	1	2	3	5	7	10	15	-	-
0,2	0	1	2	3	5	7	10	-	-	-
0,3	0	1	2	3	5	7	10	-	-	-
0,5	0	1	2	3	5	7	10	-	-	-
0,6	0	1	2	3	5	7	10	-	-	-

A więc rozpatrywane prędkości to 0,05 Ma, 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 0,6 Ma, o kilku wariantach kąta pod jakim powietrze uderza w zewnętrzne ścianki rakiety.

Przykładowo dla prędkości 0,3 Ma i kąta 7deg:

- ▶ Prędkość w osi Z to -103.36 m/s
- ▶ Prędkość w osi X to 12.69 m/s

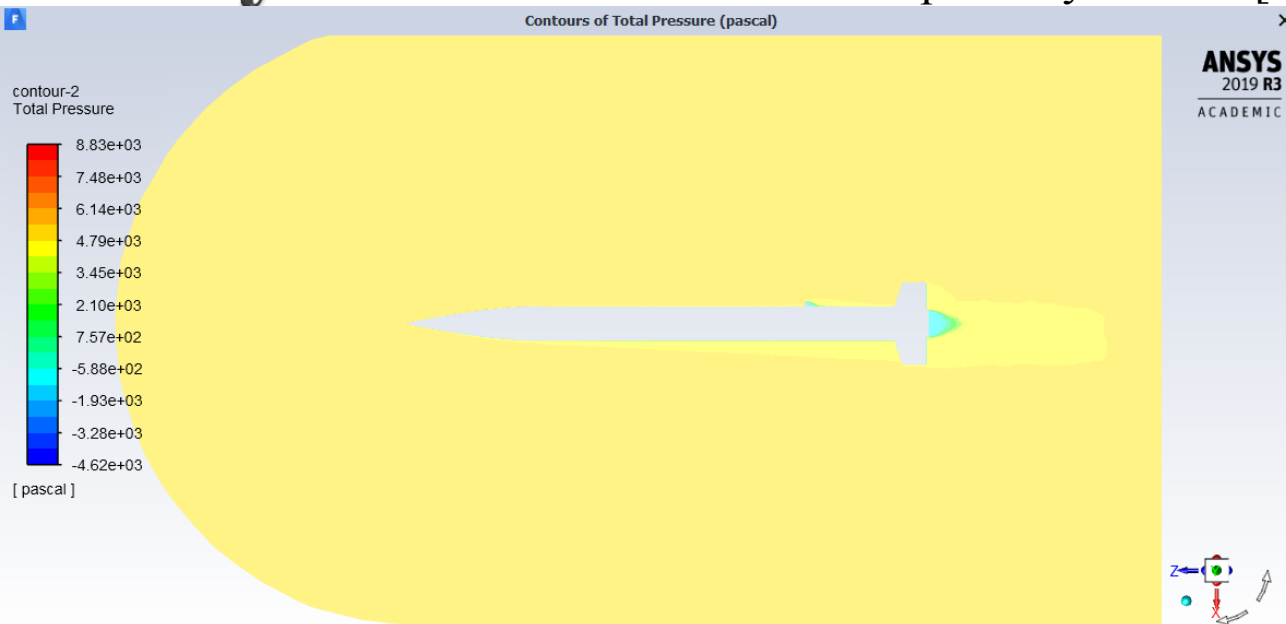
# Wyniki



Wykresy rezyduułów dla przypadku 0,3Ma i 7deg – w tym wypadku solver potrzebował około 420 iteracji do osiągnięcia zbieżności

# Wyniki

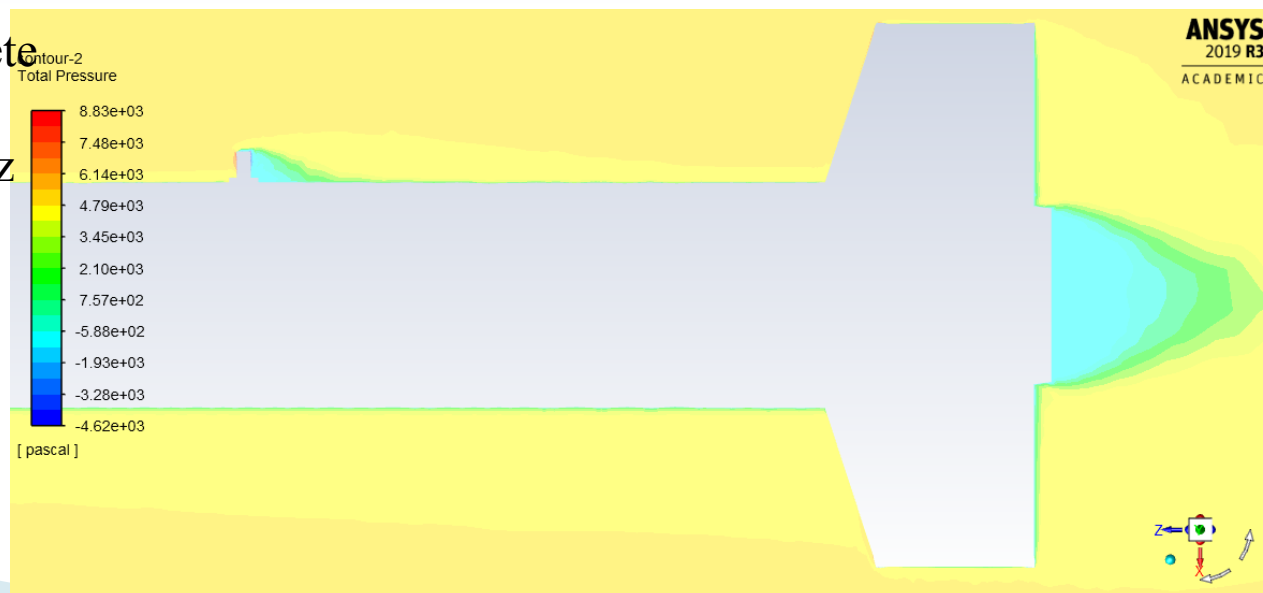
## Rozkład ciśnień na płaszczyźnie XZ [Pa]



Wykresy pochodzą z przypadku 0,3 Ma i kąta natarcia 7deg

Skrajne wartości zostały osiągnięte w miejscu złączki do tankowania oraz za rakietą (max 8830 Pa oraz min -4620 Pa).

Są to ciśnienia względne (nie uwzględniają ciśnienia atmosferycznego).



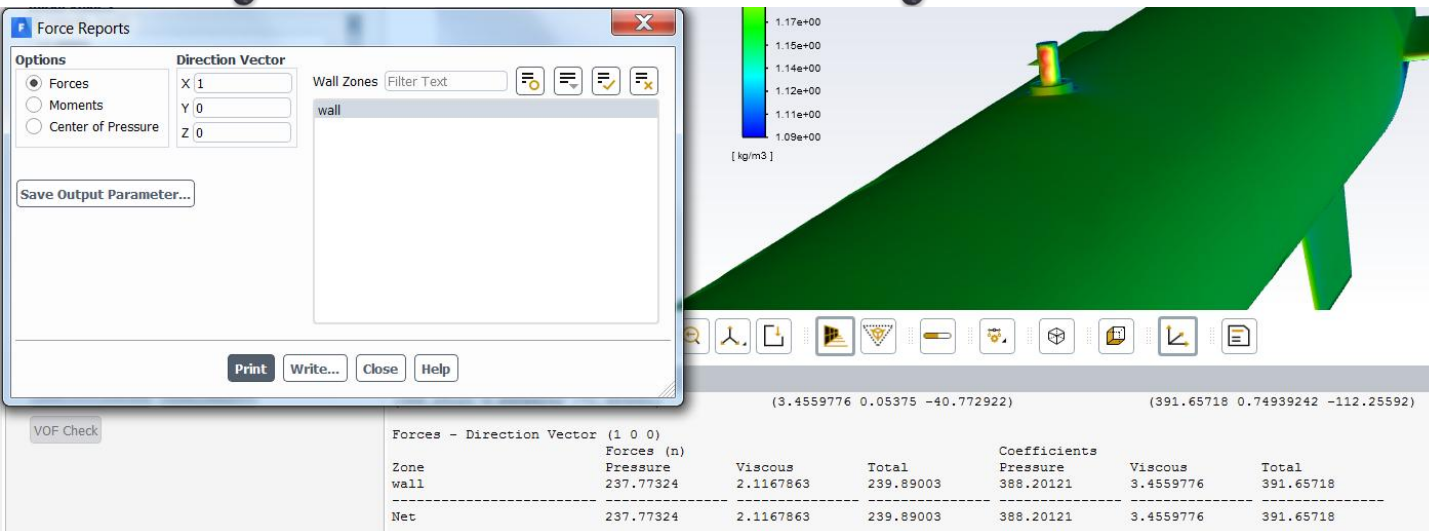


# Wyniki



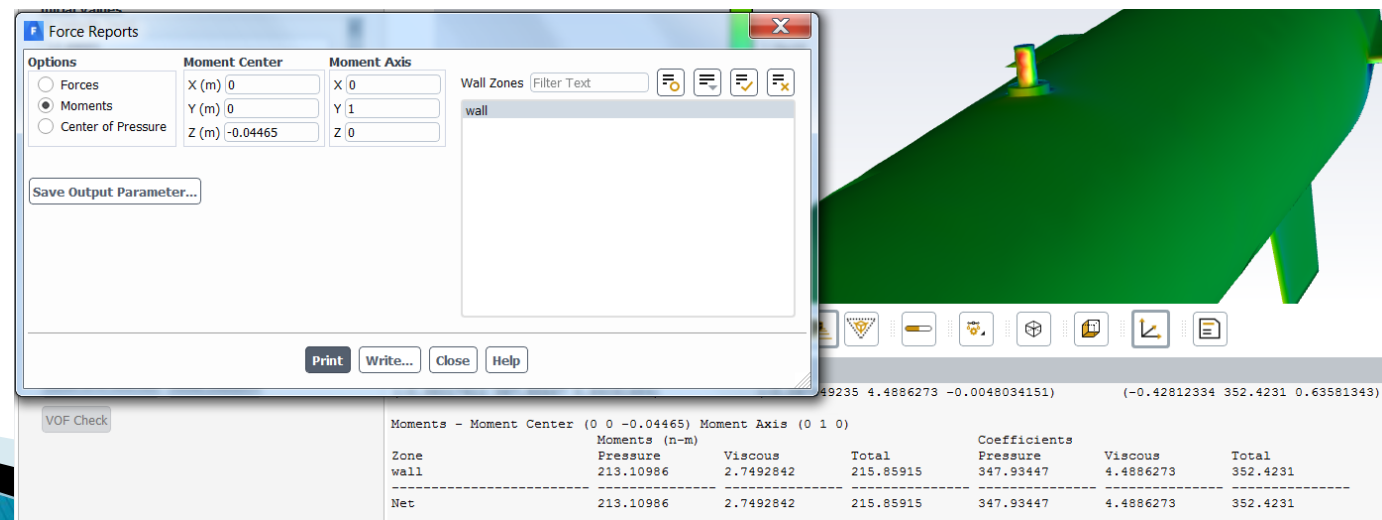
Rozkład prędkości w płaszczyźnie ZX [m/s]

# Wyświetlanie wyników



Sposób wyświetlania siły na osi X (współczynników sił nośnej)

Sposób wyświetlania momentu po osi Y (współczynników momentu)



# Wyniki

prędkość [Ma]	kąt [deg]	współczynnik siły oporu [-]	współczynnik siły nośnej [-]	współczynnik Y [-]
0,05	0	0,549	0,003	0,012
0,1	0	0,524	0,003	0,013
0,2	0	0,520	0,004	0,021
0,3	0	0,504	0,003	0,014
0,5	0	0,520	0,004	0,015
0,6	0	0,513	0,005	0,018
0,05	1	0,552	0,216	1,225
0,1	1	0,528	0,218	1,227
0,2	1	0,513	0,219	1,231
0,3	1	0,507	0,222	1,239
0,5	1	0,524	0,229	1,274
0,6	1	0,517	0,231	1,262
0,05	2	0,563	0,431	2,444
0,1	2	0,539	0,434	2,447
0,2	2	0,524	0,437	2,455
0,3	2	0,519	0,442	2,471
0,5	2	0,535	0,457	2,539
0,6	2	0,527	0,458	2,512
0,05	3	0,581	0,650	3,675
0,1	3	0,557	0,653	3,678
0,2	3	0,543	0,658	3,690
0,3	3	0,540	0,665	3,714
0,5	3	0,553	0,688	3,815
0,6	3	0,545	0,689	3,774

Wyniki współczynników siły oporu, siły nośnej oraz momentu po osi Y  
Pełne wyniki zebrane są w tabeli w pliku excel

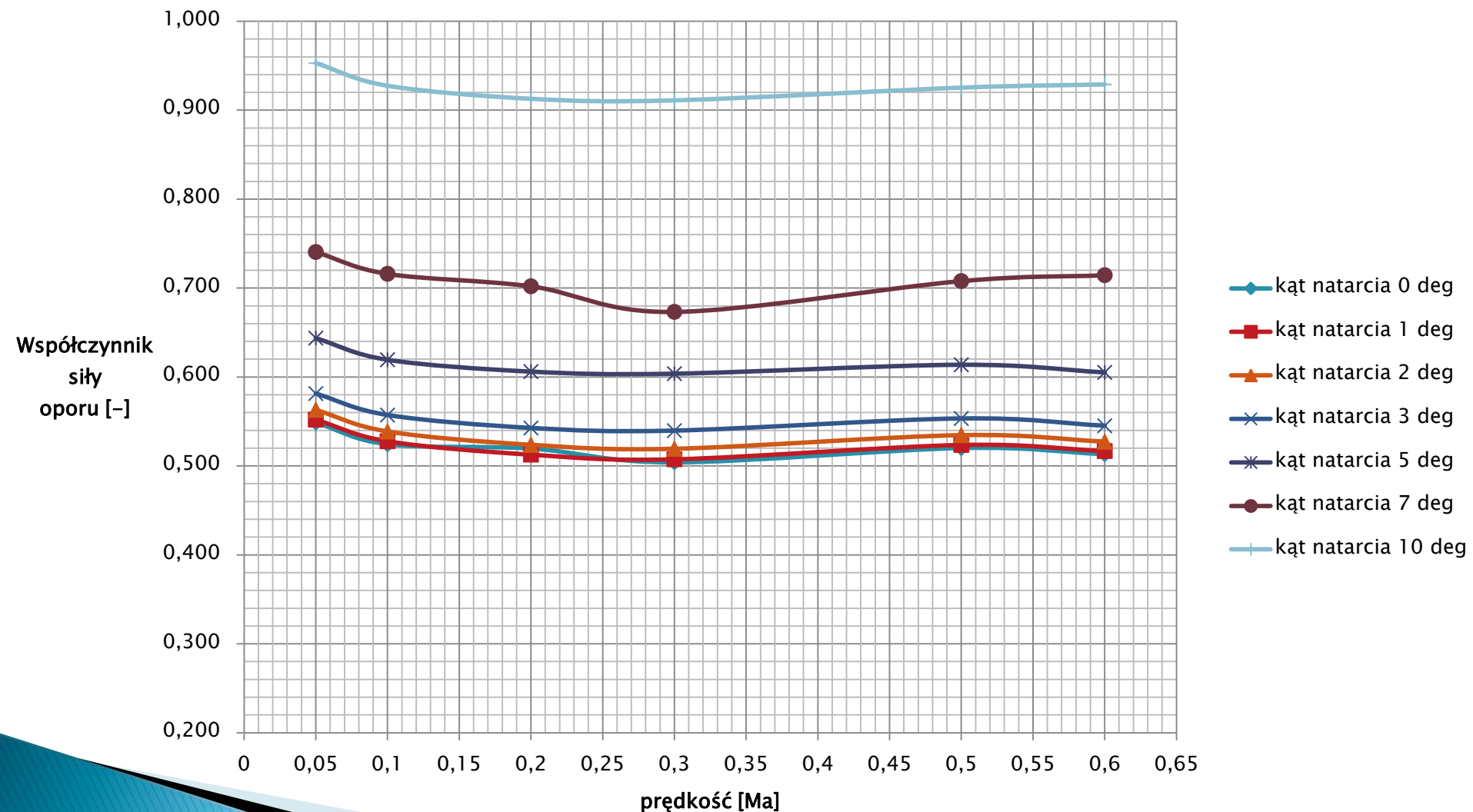
# Wyniki

prędkość [Ma]	kąt [deg]	współczynnik siły oporu [-]	współczynnik siły nośnej [-]	współczynnik Y [-]
0,05	5	0,644	1,102	6,184
0,1	5	0,619	1,106	6,186
0,2	5	0,606	1,113	6,206
0,3	5	0,604	1,124	6,246
0,5	5	0,614	1,163	6,412
0,6	5	0,605	1,165	6,347
0,05	7	0,741	1,578	8,769
0,1	7	0,716	1,583	8,768
0,2	7	0,702	1,593	8,792
0,3	7	0,673	1,587	8,770
0,5	7	0,708	1,660	9,074
0,6	7	0,715	1,677	9,003
0,05	10	0,953	2,329	12,773
0,1	10	0,928	2,336	12,760
0,2	10	0,913	2,349	12,786
0,3	10	0,911	2,371	12,861
0,5	10	0,925	2,446	13,192
0,6	10	0,929	2,459	13,103
0,05	15	1,477	3,526	19,714
0,1	15	1,451	3,533	19,646
0,05	20	2,175	4,444	26,672
0,05	25	3,043	5,253	34,144

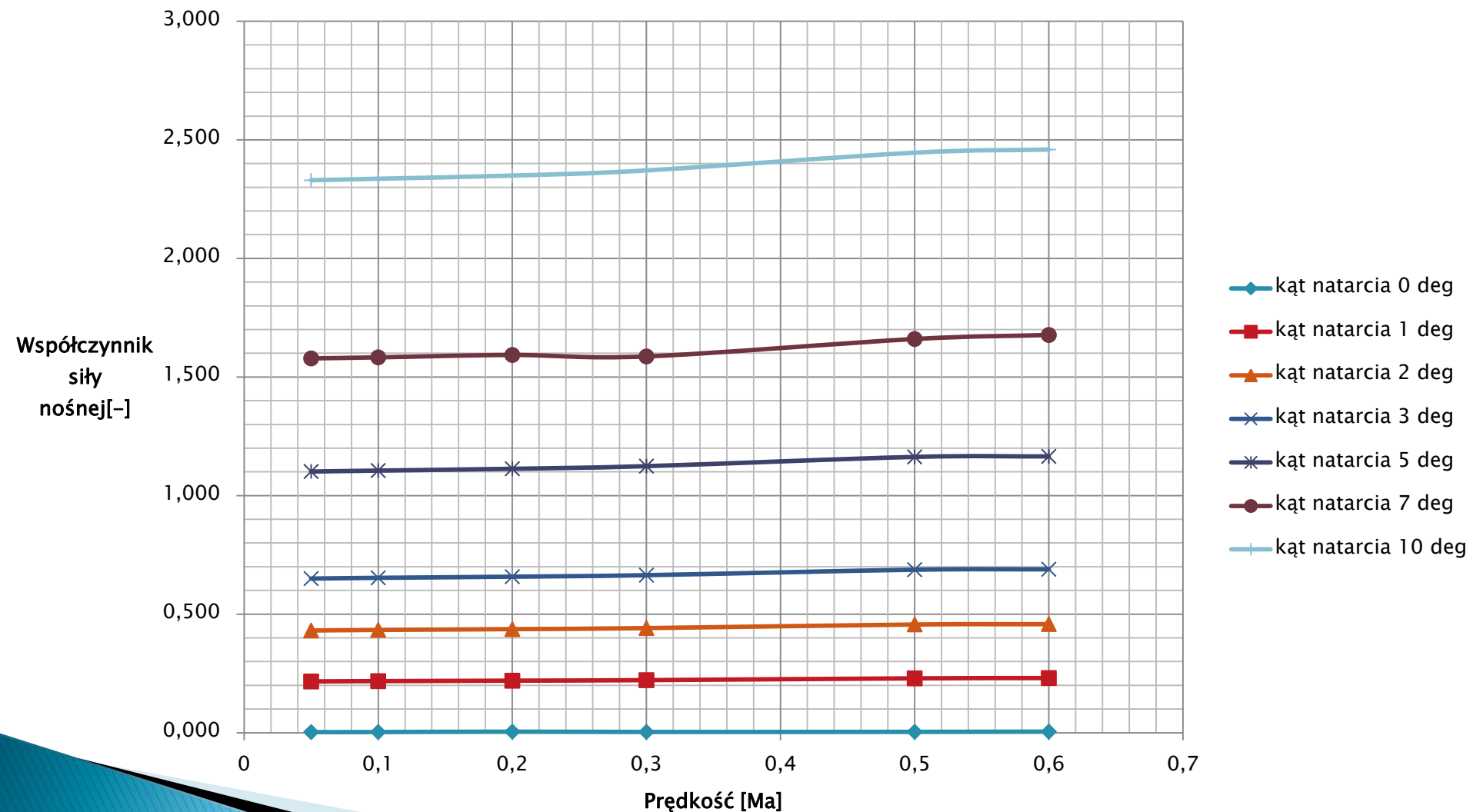
Wyniki współczynników siły oporu, siły nośnej oraz momentu po osi Y  
 Pełne wyniki zebrane są w tabeli w pliku excel



# Wykres współczynnika siły oporu dla różnych kątów natarcia i prędkości



# Wykres współczynnika siły nośnej dla różnych kątów natarcia i prędkości



# Wykres współczynnika momentu Y dla różnych kątów natarcia i prędkości

