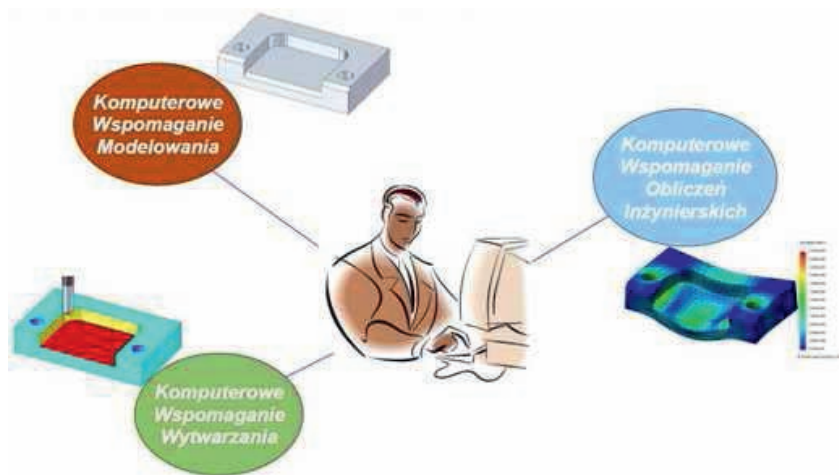


Marcin Kowalski, Krzysztof Bryła, Mateusz Sztangret

Zastosowanie obliczeniowej dynamiki płynów w badaniach aerodynamicznych dla przemysłu motoryzacyjnego

Wprowadzenie

W latach 90. XX w. nastąpiła daleko idąca integracja komputerowych technik wspomagania CAD/CAM/CAE (rys. 1). Trudno wyodrębnić system przeznaczony wyłącznie do projektowania. Inżynier może dziś tworzyć modele 3D wszystkich części urządzenia, wykonać złożenie całego zespołu, wygenerować kompletną dokumentację techniczną, ale także przeprowadzić szereg analiz, w tym wytrzymałościowych oraz kinematycznych mechanizmów, mających na celu weryfikację projektu. Następnie aplikacja, w oparciu o geometrię modelu, wygeneruje kody dla ścieżki narzędzi obróbkowych, które wysłane zostaną do maszyny obróbkowej sterowanej numerycznie.



Rys. 1. Pełna integracja systemu komputerowego wspomagania CAD/CAM/CAE

Wizualizacja wyników symulacji obrazuje te miejsca i obszary w modelu, które nie spełniają założeń projektowych. W znaczący sposób ułatwia to konstruktorowi wyciągnięcie wniosków dotyczących optymalizacji projektu. Inżynier może

zmodyfikować geometrię modelu, a system automatycznie przebuduje wszystkie części zależne od niego. Aktualizacji ulegnie również dokumentacja techniczna oraz kod wysyłany na obrabiarkę sterowaną numerycznie.

Systemy te znajdują zastosowanie między innymi w przemyśle lotniczym, transportowym oraz maszynowym. Wykorzystanie aplikacji CAD/CAM/CAE pozwala na skrócenie czasu modelowania, walidację projektu oraz procesu wytwarzania. Wymierne są również korzyści finansowe. W konsekwencji na rynek szybciej może trafić produkt, który będzie spełniał wszystkie założenia projektowe, a jego cena będzie relatywnie niższa. Oprogramowanie to jest więc niezbędne w firmach projektowych i dużych korporacjach.

To, co jeszcze parę lat temu było luksusem, dziś stało się standardem. Firmy projektowe oraz concerny z przemysłu motoryzacyjnego, lotniczego czy maszynowego korzystają z możliwości systemów CAD/CAM/CAE. Nie sposób wymienić wszystkich zastosowań tych aplikacji. Ważne, że sprawdzają się one zarówno w projektowaniu części maszyn, jak i modelowaniu produktów konsumenckich we wzornictwie przemysłowym. Z racji tego, że praca ta jest poświęcona analizie oporu przepływu powietrza na karoserii samochodu osobowego, to właśnie w tym zakresie sprawdzimy przydatność aplikacji komputerowego wspomagania. Test polegać będzie na wykonaniu modelu 3D karoserii samochodu marki BMW serii 3, a następnie przeprowadzeniu badań aerodynamicznych i porównaniu otrzymanych wyników z tymi, które podaje producent.

Badania modelowe aerodynamiki nadwozia pojazdu

Wierne odwzorowanie modelu BMW serii 3 umożliwiło przeprowadzenie analizy aerodynamicznej i pomiaru współczynnika oporu powietrza oraz skorelowanie wyników z tymi, jakie podaje producent. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania SolidWorks [5]. Jako że model 3D wykonano w skali 1:10, należało dziesięciokrotnie zwiększyć prędkość czynnika niezaburzonego, aby spełnione zostało kryterium podobieństwa przepływu. Zabieg ten ujawnił zjawiska, które dla przepływu z niską prędkością nie zachodzą. Z tej przyczyny podczas interpretacji wyników należy mieć na uwadze fakt, iż dla prędkości z jakimi poruszają się samochody osobowe, obraz przepływu może różnić się od tego, który jest wynikiem analiz opływu modelu w skali 1:10 przy prędkości 250 m/s [1–4].



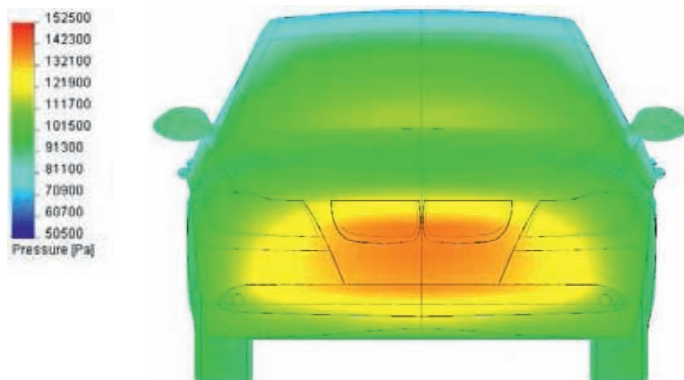
Rys. 2. Rozkład ciśnienia w płaszczyźnie symetrii

Pola ciśnienia i prędkości w płaszczyźnie symetrii samochodu przedstawiają rysunki 2 i 3. Wyszczególnić można tu obszary spiętrzenia wokół frontu nadwozia auta, gdzie ciśnienie osiąga wartość maksymalną, a prędkość maleje (rys. 3). Dalej wzdłuż linii przedniej maski prędkość powietrza rośnie. U podstawy przedniej szyby, tam gdzie gwałtownie zmienia się krzywizna nadwozia – powietrze wyhamowuje, a ciśnienie wzrasta.

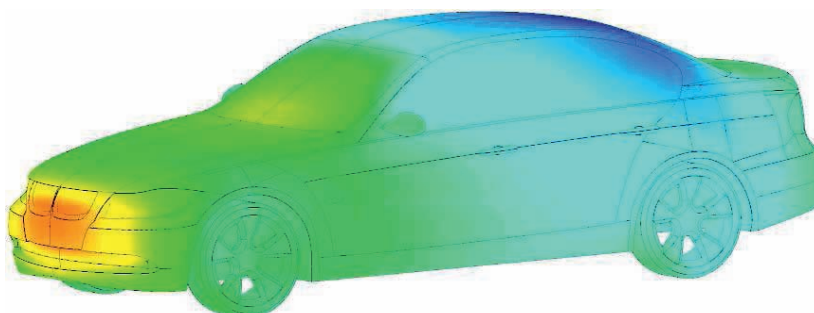


Rys. 3. Rozkład prędkości w płaszczyźnie symetrii

Ponieważ linia dachu łagodnie łączy się z szybami, a ich powierzchnie przechodzą bez załamań na krawędziach, powietrze może rozwinąć prędkość. Powierzchnia dachu jest zatem obszarem niskich ciśnień w przepływie. Potwierdza to również wizualizacja rozkładu ciśnienia na powierzchni karoserii (rys. 4 i 5).



Rys. 4. Rozkład ciśnienia na karoserii samochodu – widok z przodu



Rys. 5. Rozkład ciśnienia na karoserii samochodu – widok z boku

Za pojazdem generują się struktury wirowe, we wnętrzu których prędkość maleje do zera. Strefa ta dokładnie widoczna jest na rysunku 9. Na skutek różnicy ciśnień powietrze to spychane jest w dół. Strefy powietrza, których prędkość nie przekracza w warunkach rzeczywistych 15 m/s, pokazano na rysunku 6.

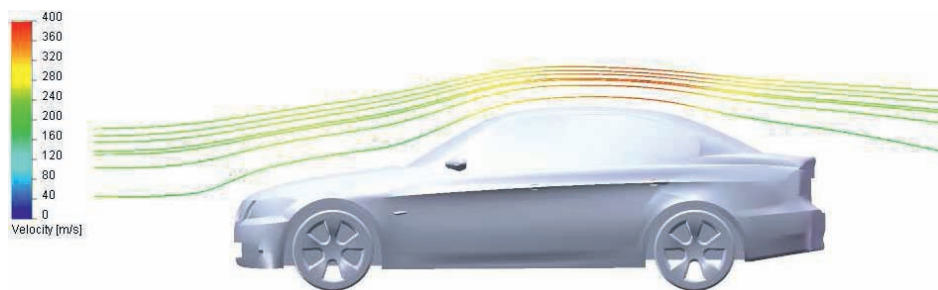


Rys. 6. Obszary ciśnienia, w których prędkość przepływu nie przekracza 15 m/s



Rys. 7. Obszar ciśnienia powyżej 1120 hPa

Rysunek 7 przedstawia obszary przepływu, w których ciśnienie przekracza 1120 hPa. Takie strefy występują u podstawy szyby przedniej oraz na przedniej powierzchni samochodu, gdzie występuje obszar spiętrzenia. Taka wizualizacja pozwala wyszczególnić strefy przepływu o danej wartości wielkości fizycznej. W ten sposób można pokazać w przestrzeni rozkład powietrza o interesujących nas parametrach. Analiza linii prądu w płaszczyźnie symetrii (rys. 8) pozwala określić, czy dana geometria karoserii jest opływowa. Jeśli linie prądu podążają za kształtem nadwozia, oznacza to, że pojazd posiada płynne przejścia pomiędzy poszczególnymi powierzchniami, a konstrukcja jest opływowa.



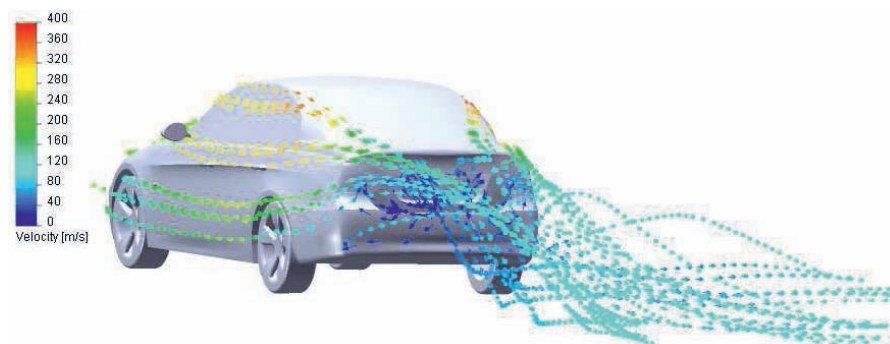
Rys. 8. Linie prądu w płaszczyźnie symetrii

Ponieważ przepływ wokół karoserii samochodu osobowego jest trójwymiarowy, konieczna jest analiza strug powietrza w przestrzeni (rys. 9). Na podstawie linii prądu, które podążają za kształtem nadwozia, stwierdzić można, że geometria BMW serii 3 jest opływowa.



Rys. 9. Trajektorie powietrza podczas opływu karoserii

Struktury wirowe powstające za samochodem przedstawia rysunek 10. Kierunek wektorów pokazuje, że powietrze ściągnięte jest przez wiry z części tylnej. Prędkość w rdzeniu wirowym maleje do zera, co również znajduje potwierdzenie na poniższym rysunku.



Rys. 10. Struktury wirowe za pojazdem

Podsumowanie

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania obliczeniowej dynamiki płynów do analizy aerodynamicznej pojazdów. Koncern BMW podaje dla analizowanego modelu współczynnik oporu $c_x = 0.25$. W przedstawionych badaniach używana wartość tego współczynnika wynosi 0.35. Należy jednak wziąć pod uwagę, że w procesie modelowania pominięto szereg istotnych elementów geometrycznych, na przykład wloty powietrza do przedziału silnika i układ chodzenia, aerodynamiki pojazdu. Rzeczywiste wartości współczynników oporu powietrza dokładnie określa się podczas badań modelu w naturalnej wielkości tunelu aerodynamicznym. Niemniej można uznać, że oprogramowanie oparte na obliczeniowej dynamice płynów może być z powodzeniem używane w projektowaniu geometrii aerodynamicznych, przed poddaniem ich badaniom w rzeczywistym tunelu aerodynamicznym.

Literatura

- [1] Chung T., *Computational fluid dynamics*, Cambridge University Press, 2003.
- [2] Gryboś R., *Podstawy mechaniki płynów*, PWN, Warszawa 1998.
- [3] Kazimierski Z., *Podstawy mechaniki płynów i metod komputerowej symulacji przepływów*, Podręczniki Akademickie, Politechnika Łódzka, Łódź 2004.
- [4] Piechna J., *Podstawy aerodynamiki pojazdów*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.
- [5] CosmosFloWorks documentation.

Application of computational fluid dynamics in aerodynamic researches for automotive industry

Abstract

The paper presents an aerodynamic analysis of the car body. The computer 3D simulations were made for BMW car (series no. 3). During the study computational fluid dynamics (CFD) method was used. The aerodynamic drag coefficient for chosen car geometry was calculated using SolidWorks software.

Key words: computational fluid dynamics, aerodynamic analysis, computer simulation

Marcin Kowalski, Krzysztof Bryła
UP – Kraków
Instytut Techniki

Mateusz Sztangret
Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej
Uniwersytet Techniczny AGH