

Marcin Kowalski, Piotr Bogdanowicz, Jerzy Jura<sup>1</sup>

## Komputerowa analiza przepływu powietrza na powierzchni karoserii samochodowej

doskonalenie aerodynamicznego kształtu pojazdów drogowych jest od wielu lat jednym z podstawowych zadań ich konstruktorów. Szczególnie dotyczy to współczesnych samochodów użytkowych, a zwłaszcza ciągników siodłowych z naczepami. Pojazdy tego typu przemierzają codziennie wielkie odległości. Zmniejszenie ich współczynnika oporu skutkuje mniejszym zużyciem paliwa, a tym samym wpływa na obniżenie kosztów transportu.

Wzrost mocy obliczeniowej komputerów otwiera przed konstruktorami samochodów nowe możliwości modelowych badań aerodynamicznych, które są o wiele prostsze aniżeli badania doświadczalne przeprowadzane w tunelach aerodynamicznych.

Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie możliwości optymalizacji kształtu pojazdu pod kątem zmniejszenia oporów aerodynamicznych z użyciem programu *CosmosFloWorks* opartego na metodzie elementów skończonych [1, 2, 3].

### Aerodynamika pojazdu

Kształt pojazdu ma decydujący wpływ na współczynnik oporu, którego wartość umożliwia porównywanie aerodynamicznej doskonałości kształtów różnych modeli samochodów. Porównując dwa samochody poruszające się z taką samą prędkością i posiadające taką samą powierzchnię czołową większe opory aerodynamiczne będzie stwarzał pojazd o większym współczynniku oporu. Na wartość współczynnika oporu  $C_x$  (1) oprócz kształtu wpływ ma również charakter przepływu (laminarny lub turbulentny) oraz liczba *Reynoldsa*. Zależność od liczby *Reynoldsa* powoduje, że wraz ze zmianami prędkości przepływu zmienia się wartość współczynnika oporu  $C_x$ . Przy

<sup>1</sup> Akademia Pedagogiczna w Krakowie, Instytut Techniki, Instytut Metalurgii i Inż. Mat. PAN w Krakowie.

prędkościach przepływu z zakresu przeciętnych prędkości podróży zmiany te są zwykle nieistotne i  $C_x$  może być traktowany jako stały.

$$C_x = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (1)$$

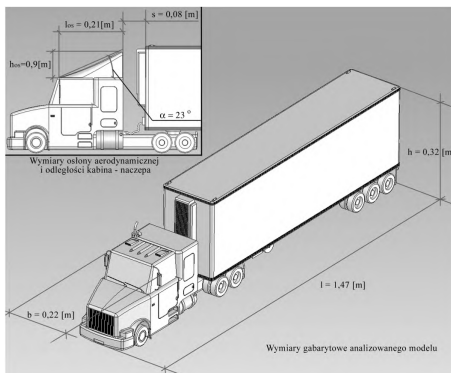
gdzie:  $F_x$  – siła oporu aerodynamicznego,  $\rho$  – gęstość powietrza,  $V$  – względna prędkość pojazdu w stosunku do powietrza,  $A$  – powierzchnia czołowa pojazdu.

Powyższy wzór umożliwia obliczenie współczynnika oporu  $C_x$  analizowanej bryły [4, 5].

Przez wiele lat własności aerodynamiczne samochodów ciężarowych uznawano za nieistotne. Za takim przekonaniem przemawiało to, iż poruszają się one znacznie wolniej od samochodów osobowych i mają duże opory toczenia. Dopiero w latach 70., a dokładniej po roku 1974, w którym miał miejsce kryzys paliwowy, konstruktorzy samochodów ciężarowych rozpoczęli poprawę niedoskonałych aerodynamicznie kształtów ciągników siodłowych, jak i naczep. Pod koniec lat 70. inżynierowie z uniwersytetu Maryland oszacowali, że stosowanie prostych urządzeń zmniejszających opór aerodynamiczny w dużych pojazdach ciężarowych mogłoby przynieść 10-procentową oszczędność paliwa zużywanego przez pojazdy tego typu w skali rocznej. Powyższe szacunki nie uwzględniały zachodzących jednocześnie zmian warunków jazdy. Wraz ze zmniejszeniem oporów aerodynamicznych pojazdu wzrasta osiągnięta przez niego prędkość, a to może sprawić, że zmniejszenie zużycia paliwa może w ogóle nie wystąpić bądź okazać się znikome [4 ÷ 7].

## Testowany model samochodu ciężarowego

Na rys. 1 przedstawiono model samochodu ciężarowego poddany analizie. Jest on dziesięciokrotnie mniejszy od rzeczywistego pojazdu. Obliczenia zostały przeprowadzone dla liczby *Reynoldsa*  $10^6$  dla dwóch konfiguracji różniących się geometrią (model z osłoną aerodynamiczną i bez osłony).



Rys. 1. Model poddany analizie

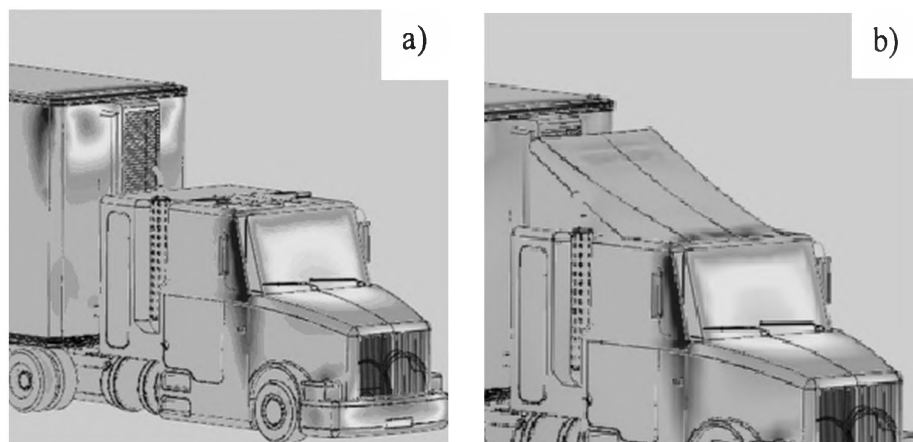
## Wyniki i ich analiza

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano rozkłady ciśnienia na czołowej powierzchni karoserii ciężarówki (rys. 2) oraz rozkłady prędkości powietrza przepływającego wokół karoserii (rys. 3), a także obliczono współczynniki  $C_x$ .

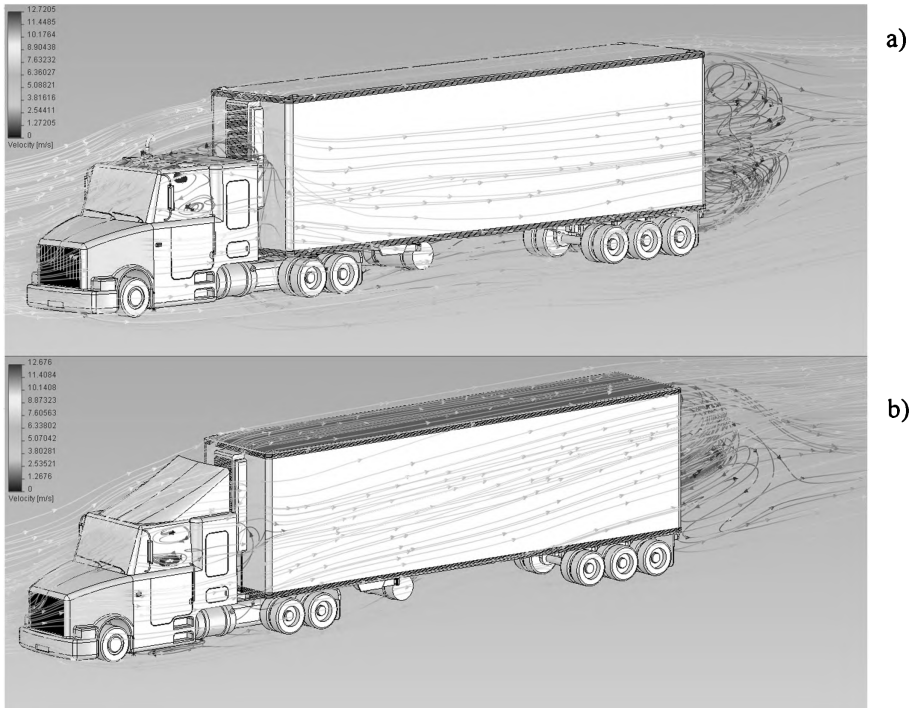
Porównanie rozkładu ciśnień na powierzchni modelu z osłoną aerodynamiczną i bez pozwala stwierdzić, że zastosowanie owiewki na kabinie kierowcy spowodowało zanik obszarów o wysokim ciśnieniu (szczegół A – rys. 2a) na czołowej ścianie naczepy. Przyczyniło się to do zmniejszenia obliczonego współczynnika oporu  $C_x$  z 0,618 (bez owiewki) do 0,580 (z owiewką). Obliczone wartości współczynnika  $C_x$  pozwalają na stwierdzenie, że zastosowanie osłony aerodynamicznej zmniejsza wartość współczynnika oporu.

W modelu bez osłony aerodynamicznej w tylnej części dachu kabiny kierowcy powstaje obszar o zerowej prędkości przepływu. Na rys. 3a widać powstałe w tym miejscu zawirowania. Zastosowanie owiewki pozwoliło na zmniejszenie zawirowań powstających za tylną ścianą naczepy i skierowało przepływ na jej górną powierzchnię.

Owiewka zastosowana w modelu zmienia całe pole przepływu wokół pojazdu. Obszar o niskiej prędkości przepływu znajdujący się pod naczepą (rys. 3) uległ zmniejszeniu w pojeździe z owiewką.



**Rys. 2.** Rozkład ciśnienia na powierzchni ciągnika siodłowego z naczepą dla  $Re 10^6$ :  
a) bez owiewki, b) z owiewką



**Rys. 3.** Trajektorie przepływu powietrza wokół pojazdu: a) bez owiewki, b) z owiewką

### Podsumowanie i wnioski

Ciągły rozwój metod obliczeniowych, stosowanie bardziej precyzyjnych modeli opisujących zachodzące zjawiska oraz wzrost mocy obliczeniowej komputerów pozwala na uzyskiwanie wyników coraz bardziej zbliżonych do badań doświadczalnych. Komputerowa analiza przepływu powietrza wokół karoserii samochodowych otwiera nowe możliwości przed konstruktorami, których zadaniem jest poprawa właściwości aerodynamicznych pojazdów.

Symulacje komputerowe są znacznie tańsze od badań doświadczalnych przeprowadzanych w tunelach aerodynamicznych, lecz dostarczają niezbyt dokładnych wyników. W celu poprawy dokładności obliczeń należy wykonywać modele o dużej dokładności, z siatką elementów skończonych zawierającą często miliony elementów. Powoduje to znaczne wydłużenie czasu obliczeń, a tym samym wzrost kosztów. Niewielka zmiana geometrii modelu wiąże się z koniecznością rozwiązania problemu od początku.

Symulacja komputerowa ma zastosowanie, gdy nie jest wymagana duża precyzja obliczeń. Można ją z powodzeniem używać we wstępnej fazie projektowania w celu rozpatrywania położenia i kształtu elementów zmniejszających opór aerodynamiczny pojazdu.

Zawarta w pracy analiza przepływu powietrza wokół ciągnika siodłowego pokazuje, że w prosty sposób przy pomocy komputera osobistego można rozwiązać problem polegający na przedstawieniu różnic dla pojazdu z osłoną aerodynamiczną i bez osłony. Wykonane obliczenia pokazują, że zastosowana w modelu owiewka zmniejsza opór aerodynamiczny przynosząc oczekiwany rezultat.

## Bibliografia

- [1] Cosmos FloWorks Documentation 2004 : Fundamentals
- [2] Cosmos FloWorks Documentation 2004 : Introducing COSMOSFloWorks
- [3] Kleiber M., *Wprowadzenie do metody elementów skończonych*, Politechnika Poznańska, Poznań 1984
- [4] Piechna J., *Podstawy aerodynamiki pojazdów*, WKŁ, Warszawa 2000
- [5] Wituszyński K., *Aerodynamika samochodu. Od mechaniki przepływu do budowy pojazdu*. WKŁ, Warszawa 1988
- [6] Buckley F., Marks C.H., Walston W.N., *A study of aerodynamic methods tor improving fuel economy*, US National Science Foundation, University of Maryland 1987
- [7] Barnard R.H., *Road Vechicle Aerodynamic Design*, Longman 1996

## Computer analysis of airflow around car body

### Abstract

In this work the computer analysis of airflow around car body was made. The pressure on front surface of truck and airflow trajectories for different cab profiles were calculated. The calculations were carried out using CosmosFloWorks commercial software based on finite element method.

Key words: computer simulation, airflow, aerodynamic resistance, CosmosFloWorks