

Edyta REITER, Krzysztof KUKIELKA

## PROJEKTOWANIE CZĘŚCI POJAZDÓW W MODULE CFX PROGRAMU ANSYS

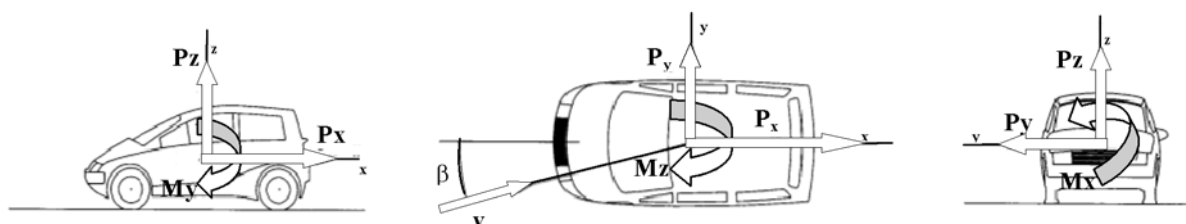
### Streszczenie

W pracy omówiono składowe siły aerodynamiczne oraz momenty działające na samochód podczas jazdy. Przedstawiono wybrane aspekty geometrii nadwozia samochodowego i ich wpływ na bezpieczeństwo i komfort podróżowania. Scharakteryzowano badania samochodów z użyciem kanału aerodynamicznego. Badania symulacyjne wykonano w module CFX programu Ansys z użyciem równania Naviera-Stokesa dla wybranych elementów nadwozia samochodowego. Przedstawiono przykładowe wyniki analizy numerycznej dla różnych wariantów zderzaków.

**Słowa kluczowe:** aerodynamika samochodu, ANSYS CFX, kanał aerodynamiczny, zderzak samochodowy

### 1. SIŁY I MOMENTY DZIAŁAJĄCE NA SAMOCHÓD PODCZAS JAZDY

Na pojazd poruszający się w ośrodku jakim jest powietrze działają siła aerodynamiczna oraz moment aerodynamiczny. Przyjmując układ współrzędnych kartezjańskich zorientowany w ten sposób, że oś  $x$  jest skierowana przeciwnie do kierunku jazdy, oś  $y$  jest prostopadła do osi  $x$ , pionowo do góry jest skierowana oś  $z$ , otrzymuje się składowe siły i momentów (rys. 1).



Rys. 1. Siły i momenty działające na pojazd [1]

Składowa siły aerodynamicznej wzdłuż osi  $x$  nazywana jest siłą oporu aerodynamicznego  $P_x$ , składowa wzdłuż osi  $z$  siłą nośną  $P_z$  a składowa wzdłuż osi  $y$  siłą boczną  $P_y$ . Jeśli siła nośna ma wartość ujemną, wtedy nazywa się ją siłą docisku. Moment względem osi  $y$  nazywa się momentem pochylającym  $M_y$ , względem osi  $x$  momentem przechylającym  $M_x$ , a względem osi  $z$  momentem odchyłającym  $M_z$  [1].

Podczas jazdy z prędkością nieprzekraczającą 65-80 km/h dominującą siłą oporu działającą na samochód podczas jazdy jest opór toczenia kół samochodu natomiast powyżej tych prędko-

ści dominującą jest siła oporu aerodynamicznego. Bezwymiarową wartością służącą do opisu cech geometrii poszczególnych samochodów służy współczynnik oporu aerodynamicznego.

W przepływie płaskim opływanej powierzchni siła oporu aerodynamicznego zależy od rozkładu ciśnień (oporu ciśnieniowego i oporu tarcia powierzchniowego). Ze względu na to, iż samochód jest bryłą trójwymiarową pojawia się dodatkowa siła oporu tzw. opór indukowany, wynikający z występujących za samochodem wirów krawędziowych.

Siła nośna powstaje poprzez opływ strug powietrza od góry pojazdu, które zwiększają swoją prędkość w stosunku do strug napływających. Następuje spadek ciśnienia, czego konsekwencją jest skierowana do góry siła aerodynamiczna. Powietrze przepływające pod samochodem może tę siłę wzmacniać lub działając w przeciwnym kierunku tworząc docisk [1].

## **2. ASPEKTY BEZPIECZEŃSTWA I KOMFORTU**

Na komfort jazdy pojazdem wynikającym z jego aerodynamiki ma między innymi wpływ: zabrudzenie świateł i szyb, sposób odprowadzenia wody z szyby przedniej, sposób chłodzenia hamulców, drgania nadwozia i hałas.

Podczas jazdy z włączonymi wycieraczkami może wystąpić zalewanie wodą szyb oraz lusterek bocznych. Można temu zapobiegać poprzez specjalne systemy odprowadzenia wody lub kształtowanie słupków przednich.

Kurz i woda podrywające się w czasie jazdy osiadają na tylnej części nadwozia. Tworzeniu się takiego zjawiska można przeciwdziałać poprzez stosowanie specjalnych kierownic strug powietrza lub ukształtowanie szyby tylnej pod specjalnym kątem.

Konstrukcja nadwozia powinna zapewnić przepływ powietrza do chłodzenia hamulców oraz wnętrza samochodu bez włączania wentylatora.

Na drgania podczas jazdy wynikające z sił działających na konstrukcje są najbardziej narażone pokrywa przedziału silnika, boki i dachy furgonów, szyby w drzwiach bez ramkowych.

W nadwoziach otwartych powstają zawirowania powietrza za szybą przednią. Najbardziej odczuwalne przez kierowcę i pasażera. W celu złagodzenia takiej sytuacji montuje się trójkątne szybki boczne, lub specjalne osłony z azurowego tworzywa.

Powietrze opływające nadwozie wywołuje hałasy. Eliminacja tego zjawiska wymaga indywidualnych badań każdego modelu [2].

Kształtowanie jak najniższych oporów to bardzo złożony proces. Ostateczny kształt otrzymany na drodze procesu optymalizacji jest wynikiem kompromisu właściwości trakcyjnych karoserii, linii i kształtu wyznaczonego przez stylistów oraz funkcjonalności samochodu. Niekiedy jest tak, że zdecydowanie przeważa jedna z tych koncepcji [4].

## **3. BADANIA TUNELOWE**

Współczesne badania z użyciem kanału aerodynamicznego umożliwiają wizualizację sił i ciśnień oraz momentów aerodynamicznych. Urządzeniem pomiarowym jest specjalna waga sześcioukładowa, służąca do pomiaru sił i momentów działających na samochód w trakcie nadmuchu.

Stosuje się dwa rodzaje tuneli z obiegiem zamkniętym lub otwartym. Do wizualizacji opływu powietrza wokół samochodu w tunelu stosuje się kilka metod. Najprostszą jest naklejenie wąskich kawałków tkaniny w wybranych miejscach karoserii. Zmiany położenia tych pasków pozwalają na wyznaczenie miejsc przepływów powietrza w danym kierunku. Najczęściej jednak stosuje się dysze dymowe (rys. 2). Obecnie wszystkie badania są wykonywane z uwzględnieniem wpływu jezdni. Najczęściej funkcję tą przejmuje podłoże kanału aerodynamicznego wyposażonego w ruchomą taśmę [2].



**Rys. 2.** Badania samochodu w kanale aerodynamicznym [4]

Rozwój przemysłu motoryzacyjnego wymusza na producentach samochodów ciągle doskonalenie ich konstrukcji. Efektem czego stał się rozwój metod wspomagających pracę inżynierów, zastępując użycie kanałów aerodynamicznych [3].

#### **4. BADANIA Z WYKORZYSTANIEM MODUŁU CFX PROGRAMU ANSYS**

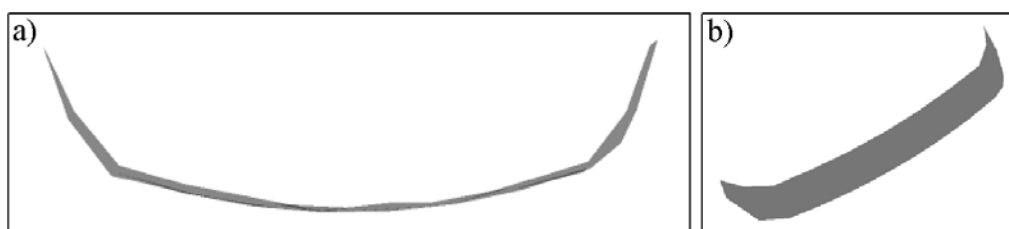
Rozwój techniki komputerowej doprowadził do budowy nowoczesnych stanowisk służących do badań aerodynamicznych metodą komputerową. Pionierami w tym zakresie były firmy niemieckie.

W badaniach stosuje się równania Naviera-Stokesa, które poza członami z równań Eulera zawiera również człony uwzględniające lepkość. W obliczeniach trójwymiarowych niezbędne jest wykonanie dyskretyzacji dzielącej element na dużą liczbę węzłów. Ze względów oszczędnościowych tworzy się siatki mieszane. Równanie Naviera-Stokesa jest stosowane w pobliżu elementów, gdzie dominuje efekt lepkości. Natomiast w dalszej odległości stosowane są równania Eulera [2]. Takie rozwiązania pozwalają na zmniejszenie czasu badań, kosztów oraz możliwość wprowadzenia zmian w geometrii nadwozia i podwozia samochodu na dowolnym etapie ich projektowania.

Badaniom poddano geometrie zderzaków samochodowych wykonanych w programie Solid Works. Zamodelowano warunki występujące podczas poruszaniu się pojazdu z prędkością 72 km/h, przy gęstości powietrza  $\rho = 1,168 \text{ kg/m}^3$ . Każdą z geometrii podzielono na ponad 250 tys. elementów skończonych.

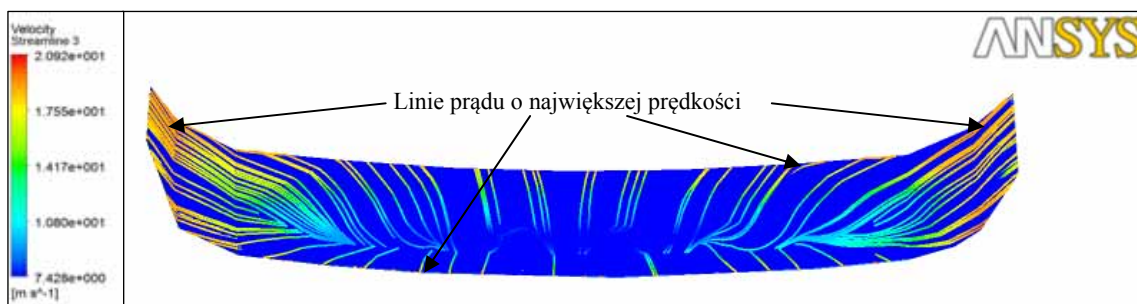
##### **4.1. Badania zderzaka samochodowego bez otworów aerodynamicznych**

Analizie poddano geometrię wzorowaną na obecnych standardach w projektowaniu samochodów osobowych (rys. 3).



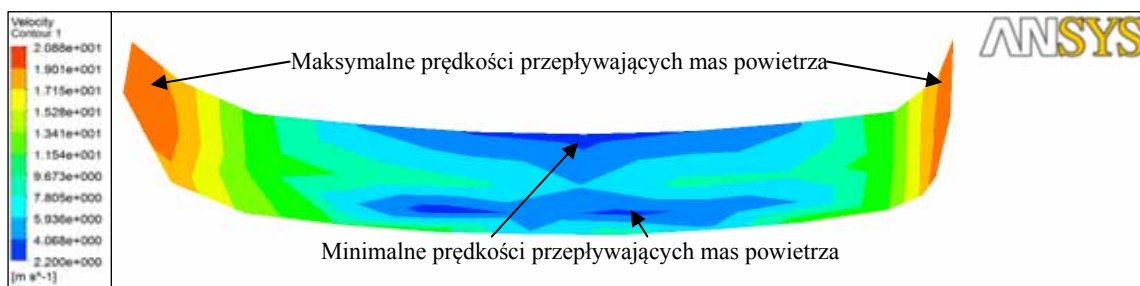
**Rys. 3.** Analizowany model zderzaka samochodowego: a) widok z góry, b) widok izometryczny  
Źródło: Opracowanie własne.

Wzdłuż badanej konstrukcji linie prądu prędkości przepływającego powietrza rozchodzą się wzdłuż powierzchni od jej środka proporcjonalnie do zakończenia ścianek konstrukcji, gdzie występują największe prędkości (rys. 4) i najmniejsze ciśnienia (rys. 6).



**Rys. 4.** Linie prądu na elemencie badanym

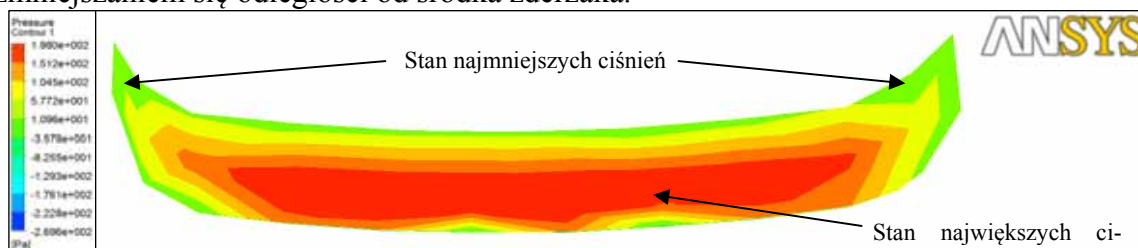
Źródło: Opracowanie własne.



**Rys. 5.** Rozkład prędkości mas powietrza na powierzchni zderzaka

Źródło: Opracowanie własne.

Analiza wykazała, że maksymalne prędkości przepływających mas powietrza znajdują się na końcowej części zderzaka (rys. 5). Ich wartości proporcjonalnie maleją wraz ze zmniejszaniem się odległości od środka zderzaka.



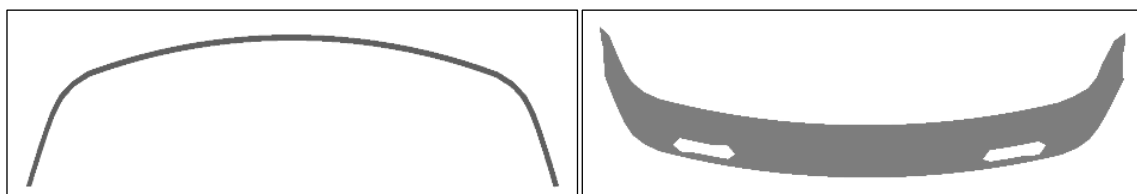
**Rys. 6.** Rozkład ciśnienia na powierzchni zderzaka

Źródło: Opracowanie własne.

Największe wartości ciśnienia wystąpiły w środkowej części elementu badanego (rys. 6). Najmniejsze ich wartości w miejscu największych prędkości przepływu (rys. 5).

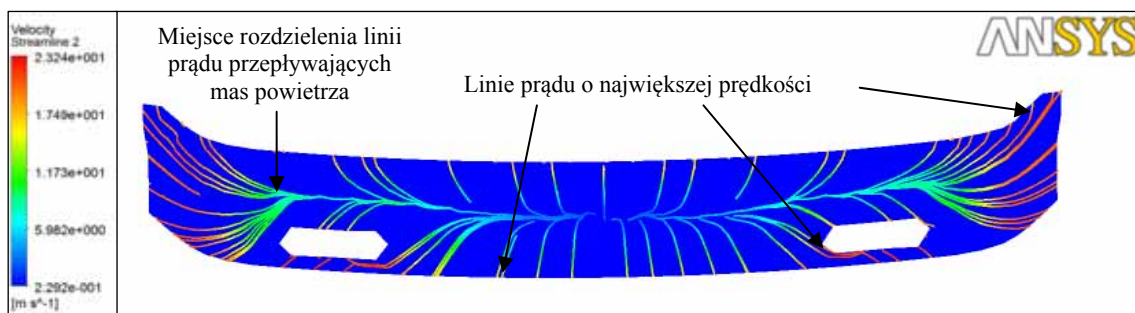
#### 4.2. Badania zderzaka samochodowego z otworami aerodynamicznymi

Analizie poddano identyczną geometrię zderzaka jak w punkcie 4.1, dla której dodatkowo wykonano wgłębienia aerodynamiczne występujące w niektórych markach samochodów (rys. 7).



**Rys. 7.** Analizowany zderzak samochodowy: a) widok z góry, b) widok izometryczny

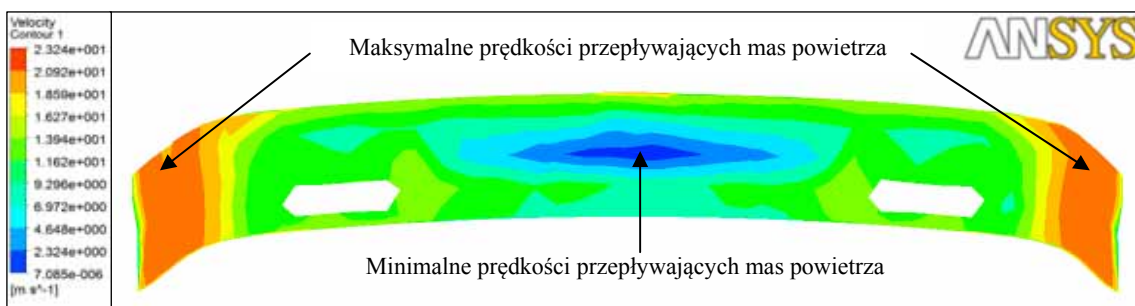
Źródło: Opracowanie własne.



**Rys. 8.** Linie prądu na elemencie badanym

Źródło: Opracowanie własne.

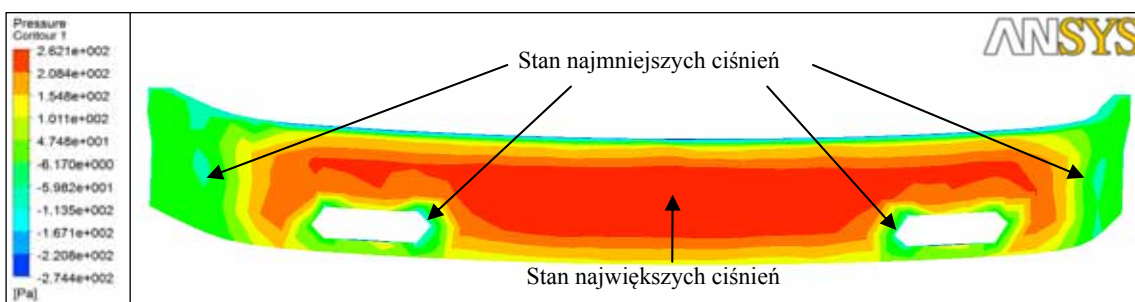
Linie prądu przepływającego powietrza rozchodzą się wzdłuż powierzchni od jej środka proporcjonalnie do zakończenia ścianek, gdzie występują największe ich prędkości. Widoczne jest miejsce rozchodzenia się sływu mas powietrza i ich rozdzielenie w miejscu odchylenia zderzaka do części tylnej samochodu pod znacznym kątem. Występowanie otworów aerodynamicznych w geometrii zderzaka powoduje powstawanie linii prądu w ich kierunku (rys. 8) co jest spowodowane spadkiem ciśnienia w obszarze ich umiejscowienia (rys. 10).



**Rys. 9.** Rozkład prędkości mas powietrza na powierzchni zderzaka

Źródło: Opracowanie własne.

Największe prędkości mas powietrza wystąpiły na tylnej części sływu zderzaka. Najmniejsze w części środkowej (rys. 9), gdzie występuje rozchodzenie się linii prądu powietrza (rys. 8).



**Rys. 10.** Rozkład ciśnienia na powierzchni zderzaka

Źródło: Opracowanie własne.

Dla badanej powierzchni zderzaka stan największych ciśnień występuje na powierzchni czołowej elementu. Wraz ze zwiększaniem się promieniowo odległości od tego miejsca następuje stopniowy spadek ciśnienia. Najmniejsze wartości ciśnień zlokalizowane zostały przy otworach aerodynamicznych oraz w miejscach sływu mas powietrza, gdzie zderzak jest wyprofilowany do tyłu o znaczny kąt (rys. 10).

## PODSUMOWANIE

W dobie rozwoju przemysłu motoryzacyjnego samochody osiągają coraz większe sprawności. Zawdzięczają to między innymi bardziej sprawnemu silnikowi i układowi przeniesienia napędu, a przede wszystkim swojej aerodynamicie. Ograniczenie zużycia paliwa i emisji spalin powoduje coraz większe naciski konstruktorów na prace związane z projektowaniem nadwozia i podwozia samochodowego. Dąży się do stworzenia optymalnej geometrii o jak najmniejszym współczynniku oporów aerodynamicznych, zapewniając tym samym mniejsze zużycie paliwa i emisję spalin.

Metody numeryczne wykorzystywane między innymi w programie Ansys CFX pozwalają na szybką weryfikację geometrii nadwozi i podwozi samochodowych zaprojektowanych w programie Solid Works. Możliwa jest analiza wpływu każdego elementu oddzielnie, np.: geometrii zderzaka, lusterka i lampy, pochylenia szyby przedniej, itp. W wyniku symulacji określa się siły działające na samochód, rozkład ciśnień oraz prędkości przepływającego ośrodka. Zaletą metod symulacyjnych jest możliwość analizy dowolnej wielkości konstrukcji, dzięki czemu następuje przyspieszenie procesu produkcji nowego i ulepszanego typu samochodu. Unika się w ten sposób inwestowania w budowę drogich tuneli aerodynamicznych i ich wyposażenie pomiarowe.

## BIBLIOGRAFIA

1. Piechny J., *Podstawy aerodynamiki pojazdów*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.
2. Zieliński A., *Konstrukcja nadwozi samochodów osobowych i pochodnych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.
3. Reiter E., Kukielka K., *Porównanie geometrii szyb samochodowych pod względem właściwości aerodynamicznych*. Materiały VII Konferencji studentów i młodych pracowników nauki Wydziału Mechanicznego. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2010.
4. [www.atokult.pl](http://www.atokult.pl).

## DESIGN OF THE CAR ELEMENTS IN CFX MODULE OF ANSYS PROGRAM

### *Abstract*

*The paper discusses the components of the aerodynamic forces and moments acting on the car while driving. Selected aspects of the car body geometry and their impact on safety and comfort are presented. Car tests were characterized using the aerodynamic channel. Simulation studies were performed in ANSYS CFX module using the Navier-Stokes equations for selected components of motor-car body. Some results of numerical analysis for the different buffers.*

**Key words:** aerodynamics of the car, ANSYS CFX, aerodynamic channel, car fender.

### *Autorzy:*

mgr inż. **Edyta Reiter** – Politechnika Koszalińska

dr inż. **Krzysztof Kukielka** – Politechnika Koszalińska