

KONCEPCJA METODY OGRANICZANIA STREFY WIRÓW ZA PORUSZAJĄCYM SIĘ AUTOBUSEM MIEJSKIM

Strefy wirów powodujące fluktuację ciśnienia na tylnej powierzchni poruszającego się pojazdu, stanowią jedną z głównych przyczyn oporu aerodynamicznego. W niniejszej pracy przedstawiono rozważania dotyczące możliwości zmniejszenia oporu aerodynamicznego autobusu miejskiego, poprzez wykorzystanie deflektorów powietrza w tylnej strefie nadwozia. W pracy przedstawiono również koncepcyjny model deflektora powietrza, dostosowanego do karoserii przykładowego współczesnego autobusu miejskiego.

WSTĘP

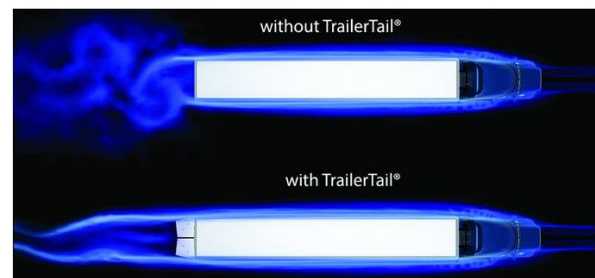
Podczas ruchu autobusu, prędkość opływającego powietrza w poszczególnych strefach ulega dynamicznym zmianom. Powietrze nie zawsze płynnie podąża za kształtem opływanej bryły, w wyniku czego powstają niestateczne obszary oderwania strugi. Obszary te są szczególnie widoczne w śladzie aerodynamicznym za poruszającym się pojazdem o urwistym kształcie nadwozia, takim jak np. autobusy miejskie, gdzie powstaje strefa obniżonego ciśnienia (w odniesieniu do ciśnienia atmosferycznego). Zmiana ciśnienia za pojazdem powoduje powstanie oporu indukowanego, stanowiącego jedną z głównych składowych całkowitego oporu aerodynamicznego poruszającego się pojazdu. Wynika stąd potrzeba do zapewnienia jak najlepszych warunków opływu struktury nadwozia pojazdu i ograniczenie obszarów oderwania przepływu, szczególnie w jego tylnej strefie.

W niniejszej pracy przedstawiono zagadnienie turbulencji w strefie znajdującej się bezpośrednio za poruszającym się pojazdem oraz przedstawiono koncepcję rozwiązania konstrukcyjnego, mającego na celu ułatwienie stabilizacji ciśnienia za poruszającym się pojazdem. Przedstawiona praca jest kontynuacją cyklu prac mających na celu ograniczenie oporu aerodynamicznego autobusów miejskich, a tym samym zwiększenia ich sprawności i obniżenia kosztów eksploatacji. Przedstawione w pracy rozważania stanowią wstęp do dalszych prac badawczych i symulacyjnych.

1. ŚCIEŻKA WIROWA ZA PORUSZAJĄCYM SIĘ POJAZDEM

Podczas ruchu w otoczeniu niewidzialnej bariery powietrznej, bezpośrednio za pojazdem tworzy się pusta strefa o cechach zbliżonych do próżni. Wpływ negatywnego działania strefy obniżonego ciśnienia za pojazdem jest bezpośrednio związany z jego prędkością i jest szczególnie widoczny przy większych prędkościach ruchu. Zjawisko to wynika z bezwładności molekuł powietrza, które nie są w stanie wypełnić przestrzeni za pojazdem na tyle szybko, zanim ten wytworzy nowy obszar obniżonego ciśnienia w wyniku ciągłego przemieszczania się. Skutkiem działania strefy podciśnienia znajdującej się bezpośrednio za pojazdem jest więc siła działająca w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu. W wyniku gwałtownej zmiany ciśnienia, która w połączeniu z bezwładnością molekuł powietrza następuje zjawisko oderwania przepływu. Oderwanie

przepływu występuje w momencie, gdy warstwa przyścienna przemieszcza się na tyle daleko w kierunku przeciwnym do gradientu ciśnienia, że jej prędkość w stosunku do pojazdu spada prawie do zera [1,2]. W momencie oderwania, przepływ staje się burzliwy i chaotyczny, co bezpośrednio przyczynia się do wzrostów oporów ruchu pojazdu. Porównanie opływu klasycznego pojazdu ciężarowego z pojazdem wyposażonym w system stabilizacji ciśnienia za pojazdem przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Porównanie opływu aerodynamicznego klasycznego pojazdu ciężarowego z pojazdem wyposażonym w system TrailerTail, [13]

Zgodnie z wynikami, przedstawionymi w [3], wartości sił składowych oporu aerodynamicznego, wskazują na istotny wpływ tej strefy na całkowity poziom oporu aerodynamicznego autobusu miejskiego. Siła oporu wynikająca ze strefy obniżonego ciśnienia za pojazdem F_2 nie przekracza siły oporu wynikającej z działania ciśnienia na jego czołowej części F_1 , jednak przy prędkości 100 km/h wartość siły stanowi około 50% siły F_1 . Ponadto wartość stosunku sił F_1 i F_2 wykazuje tendencją malejącą wraz ze wzrostem prędkości. Przykładowe rozwiązania mające na celu zmniejszenie strefy obniżonego ciśnienia za poruszającymi się pojazdami przedstawiono szczegółowo w pracach [2,4-6,13]. Obecne rozwiązania nie wyczerpują jednak w pełni zagadnienia ograniczania oporu aerodynamicznego i wiążą się z pewnymi ograniczeniami. Autobusy miejskie, ze względu na swoje przeznaczenie, należą do grupy pojazdów nieaerodynamicznych. Ogólna bryła autobusu miejskiego nie może być poddawana znacznym modyfikacjom, całkowicie zmieniającym bryłę nadwozia, np. wydłużana czy zaokrąglana w celu uzyskania kształtów aerodynamicznych. W związku z wysokim załadowaniem obszarów w których autobusy miejskie są użytkowane (zazwyczaj centra miast), oczekuje się jak najwyższej funkcjonalności

ści przy jednoczesnym zachowaniu odpowiednio kompaktowych rozmiarów, zwłaszcza jeśli chodzi o ich długość. Zasadne jest więc dążenie do opracowania rozwiązania, niewpływającego w znacznym stopniu na geometrię nadwozia, a skutecznie ograniczającego opory aerodynamiczne. Ponadto, ze względów ekonomicznych, rozwiązanie powinno charakteryzować się modułową konstrukcją, pozwalającą na możliwe łatwe zaadaptowanie do karoserii już istniejącego autobusu, bez dodatkowych modyfikacji wiążących się bezpośrednio z dodatkowymi kosztami.

2. OPIS ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNEGO

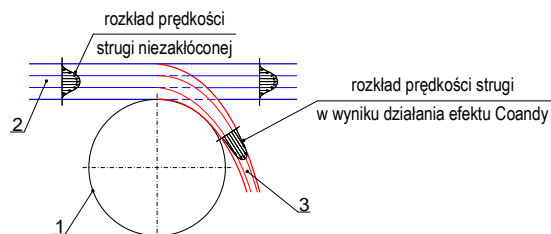
Przepływ powietrza w tylnej strefie pojazdu ulega rozproszeniu, co powoduje utratę „potencjalności” przepływu powietrza w tej strefie i pojawienie się za pojazdem wirów Karmana. Powstałe wiry powodują okresowe zmiany (pulsację) ciśnienia w śladzie aerodynamicznym. Intensywność zjawiska oderwania przepływu za pojazdem zależy bezpośrednio od prędkości pojazdu. Wynika stąd potrzeba zaprojektowania rozwiązania, skutecznego dla pełnego zakresu prędkości przejazdowych danego pojazdu.

Metoda zmniejszenia oporu autobusu miejskiego polega na przekierowaniu strugi powietrza, tuż przed oderwaniem przepływu na tylnej krawędzi splywu. Koncepcja opiera się o zastosowanie deflektora powietrza przy jednoczesnym dodatkowym wykorzystaniem efektu Coandy na jego wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni. Przyjęty do analizy pojazd to popularny, współczesny autobus miejski Mercedes Conecto, rys. 2.



Rys. 2. Model autobusu przyjęty do modyfikacji, [13]

Zjawisko efektu Coandy określa się jako zdolność strumienia płynu do swoistego „przyklejania się” do omywanej powierzchni ciała stałego [12]. Przebieg tego zjawiska przedstawiono schematycznie na rys. 2, w postaci optywu walca dwoma strumieniami. Strumień koloru niebieskiego przedstawia przepływ teoretyczny - niezakłócony, natomiast strumień koloru czerwonego - przepływ rzeczywisty zgodnie ze zjawiskiem Coandy, gdzie widoczna staje się zdolność do „przyklejania się” strugi., rys 3.



Rys. 3. Schemat ilustrujący przebieg zjawiska Coandy. 1- ciało stałe (walec), 2 - przepływ strugi niezakłóconej bez efektu Coandy (przypadek teoretyczny), 3 - przepływ strugi w warunkach rzeczywistych pod działaniem efektu Coandy

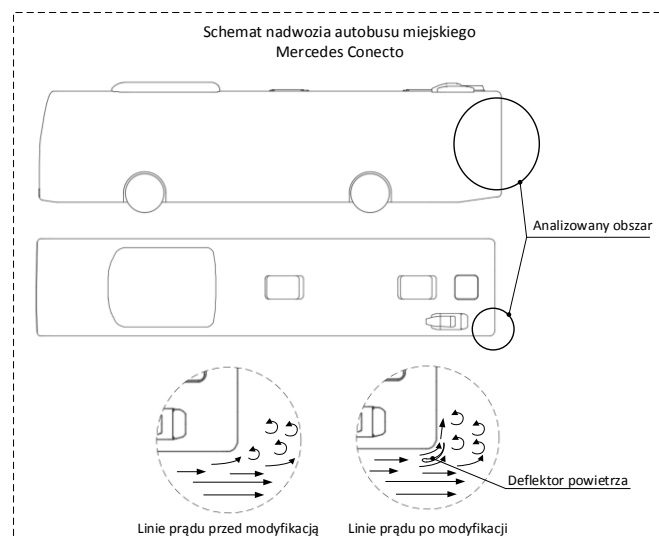
Efekt Coandy jest od dawna wykorzystywany w aerodynamice pojazdowej gdzie unika się ostrych przejść pomiędzy krawędziami

nadwozia. Efekt ten, coraz częściej jest stosowany w autobusach miejskich, gdzie poza względami wizualnymi stosuje się gładkie przejścia tylnych krawędzi nadwozia w celu zmniejszenia oporu aerodynamicznego. Zjawisko Coandy nie jest jednak tak skuteczne jak wymuszenie zmiany kierunku przepływu poprzez obiekty fizyczne. Deflektory powietrza są obecnie popularnie stosowane jako elementy przedniej części karoserii współczesnych autobusów oraz samochodów ciężarowych. Przykład deflektora powietrza przedstawiono na rys. 3.



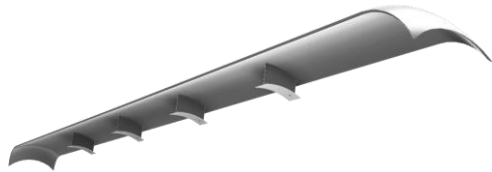
Rys. 3. Przykładowy deflektor powietrzny, stosowany seryjnie w ciągniku siodłowym Mercedes Actros, [13]

Przedstawiony deflektor powietrza ma za zadanie stabilizację i ułatwienie przepływu powietrza, kierowanego na boki pojazdu w wyniku spiętrzenia na przedniej powierzchni nadwozia. Skutkuje to zmniejszeniem strefy oderwania przepływu na bocznych krawędziach pojazdu, a tym samym prowadzi do zmniejszenia oporów aerodynamicznych. Odwrócenie działania przedstawionego deflektora, poprzez zamontowanie go w tylnej części nadwozia autobusu może spowodować intensyfikację procesu wyrównywania ciśnienia, a w związku z tym ograniczenie oporów aerodynamicznych. Zastosowanie dodatkowego elementu na drodze przepływu powietrza może jednocześnie prowadzić do dodatkowego wzrostu siły oporu. Powierzchnia zewnątrz została więc dodatkowo pokryta strukturą porowatą. Zgodnie z wnioskami płynącymi z prac [8-11] stosowanie wgłębień powierzchni zakrzywionych, takich jak krawędzie natarcia i splywu płynu powoduje, tak jak podczas optywu struktury piłeczki golfowej, oddalenie strefy oderwania przepływu, a w konsekwencji zmniejszenie oporu aerodynamicznego.



Rys. 4. Hipotetyczna struktura linii prądu w strefie oderwania przepływu

Koncepcję geometrii deflektora powietrza, dostosowanego do nadwozia autobusu miejskiego Mercedes Conecto, przedstawiono poglądowo na rys. 5.



Rys. 5. Geometria deflektora powietrza, dostosowanego do nadwozia autobusu miejskiego Mercedes Conecto

Geometrię wykonano na podstawie wymiarów rzeczywistego autobusu, wykorzystując oprogramowanie Autodesk Fusion 360. Porównanie modelu karoserii autobusu przed i po modyfikacji przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Porównanie wybranych elementów modelu autobusu przed modyfikacją (strona lewa) i po modyfikacji (strona prawa)

PODSUMOWANIE

Rosnące ceny paliw, stale zmniejszające się naturalne zasoby ropy naftowej oraz coraz bardziej rygorystyczne normy dotyczące emisji spalin prowadzą do coraz silniejszego uwzględniania aerodynamiki pojazdów, w tym również autobusów miejskich. Bez względu na to z jaką prędkością porusza się dany pojazd, zawsze część mocy napędowej pojazdu zostaje utracona na pokonanie oporów aerodynamicznych, które bezpośrednio przekładają się na zużycie paliwa. W niniejszej pracy została przedstawiona koncepcyjna metoda pozwalająca na dodatkowe zmniejszenie oporu aerodynamicznego autobusu miejskiego, poprzez wykorzystanie deflektora powietrza, jako dodatkowego elementu nadwozia. Przedstawioną koncepcję należy zweryfikować i zoptymalizować w środowisku CFD, a następnie model poddać testom stanowiskowym w tunelu aerodynamicznym. Należy pamiętać, że w zależności od rodzaju aplikacji, zjawiska towarzyszące opływowi obiektu mogą skutkować zmniejszeniem lub zwiększeniem oporu aerodynamicznego. W

przypadku autobusów miejskich, ważne jest dopasowanie rozwiązania w taki sposób, aby było skuteczne dla szerokich zakresów prędkości przejazdowej. W kolejnych pracach przedstawiony zostanie model numeryczny oraz wyniki symulacji i analizy wpływu pokrycia karoserii autobusu miejskiego na opór aerodynamiczny.

BIBLIOGRAFIA

1. Piechna J., Podstawy aerodynamiki pojazdów. WKiŁ, Warszawa 2000.
2. Katz J., New Directions in Race Car Aerodynamics, Designing for Speed. Bentley Publishers, 1995.
3. Peddie M. K., Gonzalez F. L., CFD Study on the Diffuser of a Formula 3 Racecar. University of Sydney Undergraduate Research Journal, vol.1,(1),2009
4. Hucho W. H., Aerodynamika samochodu od mechaniki przepływu do budowy pojazdu. WKiŁ, Warszawa 1988.
5. Leeuwen P.M., Computational Analysis of Base Drag Reduction Using Active Flow Control delft University of Technology, 2009
6. Paszko M., Analiza możliwości
7. A. Seifert, I. Dayan, C. Horrell, J. Grossmann and A., Heavy Trucks Fuel Savings Using the SaOB. The Aerodynamics of Heavy Vehicles III: Trucks, Buses and Trains. Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics 79. Potsdam 2010
8. Li D., Li R., Yang C., Wang X., Effects of surface roughness on aerodynamic performance of a wind turbine airfoil, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Chengdu, 2010.
9. Poh A. C. K., Yuana C. S., Yamina A. K. M., Jalaluddina A. J., Ishakb I. S., Mansorb S., The Assessment of the Effect of Surface Roughness on Drag Coefficient and Aerodynamics Features of Loggerhead Sea Turtle Carapace, Jurnal Mekanikal 2008, vol. 26.
10. Shapiro T. A., The effect of surface roughness on hydrodynamic drag and turbulence, U.S. Naval Academy, Annapolis 2004.
11. Ren N., Ou J., Numerical Simulation of Surface Roughness Effect on Wind Turbine Thick Airfoils, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Wuhan 2009 .
12. Carpenter W., Greek P.N., The aeroacoustics and aerodynamics of high speed Coanda devices. Part1 Conventional arrangement of exit nozzle and surface. Part2 - Effects of modifications for flow control and noise reduction. Journal of Sound and Vibration (1997r.) 208(5).
13. Źródła internetowe:
 - www.buses.mercedesbenzme.com
 - www.stemco.com

Conception of Method of Reducing Trailing Vortices Behind a Moving City Bus

Swirl zones causing pressure fluctuations on the rear surface of a moving vehicle are one of the major causes of aerodynamic drag. In this paper, author presented the possibility of reducing the aerodynamic drag of a city bus by using air deflectors in the rear bodywork. The paper also presents a conceptual model of an air deflector adapted to the bodywork of an exemplary contemporary city bus.

Autor:

mgr inż. **Mateusz Paszko** – Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych