

PAWEŁ LEŚNIEWICZ

POLITECHNIKA ŁÓDZKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY
INSTYTUT MASZYN PRZEMYSŁOWYCH
E-MAIL: PAWEŁ.LESNIEWICZ@DOKT.P.LODZ.PL

Stanowisko badawcze do wizualizacji przepływu powietrza wokół izolowanego koła samochodowego

STRESZCZENIE

Niniejszy artykuł ma za zadanie przedstawienie stanowiska badawczego zbudowanego w Instytucie Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej w celu analizy oporu aerodynamicznego obracającego się koła samochodowego. Głównym elementem stanowiska jest bieżnia składająca się z beزشwowo łązonego pasa, który został rozciągnięty między dwoma rolkami. Napędzanie pasa oraz sterowanie jego prędkością uzyskano dzięki zastosowaniu silnika elektrycznego wraz z falownikiem. Prędkość jest monitorowana przy użyciu dwóch czujników laserowych. Odpowiednią pozycję testowanego modelu osiągnięto dzięki zastosowaniu ramienia pomiarowego zapewniającego stabilizację koła. Stanowisko zostało umieszczone w tunelu aerodynamicznym oraz zastosowane do badań mających na celu analizę przepływu powietrza wokół obracającego się koła. W tym celu zostało ono wyposażone w zestaw kamer oraz laser służące do wizualizacji przepływu metodą PIV.

SŁOWA KLUCZOWE

wizualizacja przepływu, PIV, aerodynamika

Wstęp

Eksperymentalna analiza charakterystyki przepływu powietrza wokół bryły pojazdu stanowi jeden z dwóch sposobów badań oporu aerodynamicznego generowanego przez poruszający się samochód. Obok prac eksperymentalnych stosuje się również analizy numeryczne, będące pierwszym krokiem w procesie optymalizacji bryły pojazdu. Wyniki symulacji komputerowych wymagają weryfikacji i uzupełnienia podczas prac eksperymentalnych. Dlatego też obecnie większość badań związanych z analizą oporu aero-

dynamicznego pojazdów zawiera część numeryczną i eksperymentalną¹. Przeprowadzenie eksperymentalnej analizy charakterystyki przepływu powietrza wokół bryły pojazdu wymaga zainwestowania ogromnych środków finansowych w budowę tunelu aerodynamicznego oraz stanowiska badawczego. Przykładem mogą być koszty jednego dnia testów w tunelu aerodynamicznym należącym do koncernu PSA, wynoszące około 30 tysięcy euro². Z tego też względu koncerny motoryzacyjne, jak i ośrodki badawcze decydują się na budowę mniejszych tuneli aerodynamicznych, w których możliwe jest przeprowadzanie testów pojazdów w skali lub też pojedynczych elementów. Testy samochodu w skali 1:1 przeprowadza się natomiast na końcowym etapie procesu optymalizacji bryły pojazdu.

Pierwsze wyniki prac eksperymentalnych dotyczących izolowanego koła samochodowego zostały przedstawione w latach siedemdziesiątych XX wieku przez brytyjskich badaczy z London Imperial College³. Od tego czasu kolejne testy związane z analizą charakterystyki przepływu powietrza wokół koła samochodowego były prowadzone zarówno przez ośrodki naukowe⁴, jak i centra rozwojowe przy współpracy koncernów motoryzacyjnych z uczelniami⁵.

W tunelu aerodynamicznym Instytutu Maszyn Przepływowych Politechniki Łódzkiej powstało stanowisko badawcze przeznaczone do analizy oporu aerodynamicznego obracającego się koła samochodowego. Ze względu na rozmiar tunelu aerodynamicznego oraz sekcji testowej postanowiono skonstruować stanowisko, na którym będzie możliwe przeprowadzanie testów modeli kół samochodowych w skali 1:3 i 1:4. Dzięki powstaniu stanowiska możliwe będzie porównanie wyników prac eksperymentalnych z wynikami symulacji komputerowych⁶.

¹ Ch. Landstrom, *Passenger Car Wheel Aerodynamics*, Chalmers University of Technology, 2011.

² Materiały koncernu PSA Peugeot Citroën.

³ J. E. Fackrell, *The Aerodynamics of an Isolated Wheel Rotating in Contact with the Ground*, Imperial College London University of London, 1974.

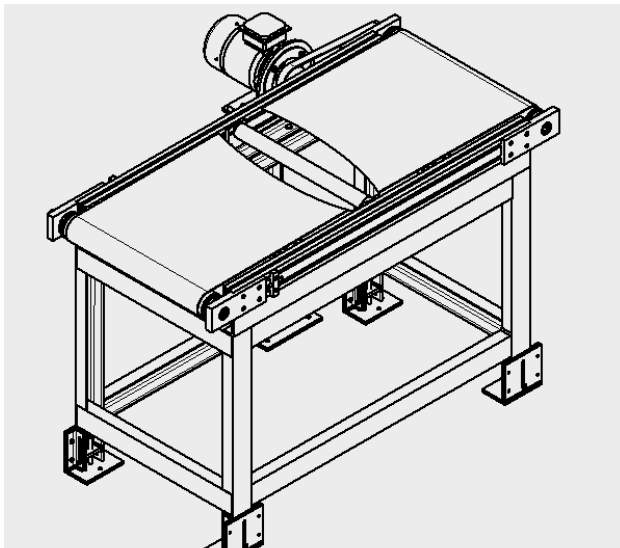
⁴ S. Diasinos, *The Aerodynamic Interaction of a Rotating Wheel and a Downforce Producing Wing in Ground Effect*, University of New South Wales, 2009.

⁵ M. Kulak, M. Karczewski, G. Spolaore, *Flow Around Rotating Wheels and Its Interaction with Vehicle Aerodynamics – CFD vs. Wind Tunnel Tests*, FISITA world congress, F2014-LWS-068.

⁶ P. Leśniewicz, M. Kulak, M. Karczewski, *Aerodynamic Analysis of an Isolated Vehicle Wheel*, "J. of Physics: Conf. Series" 2014, No. 530, 012064.

Główne elementy stanowiska

W celu symulacji obrotu koła zastosowano bezkońcowy pas poliuretanowy, co pozwoliło na wyeliminowanie łączy, które wpływałyby negatywnie na zachowanie się koła podczas testów. Pas został umieszczony na dwóch rolkach, które zapewniają jego napięcie oraz pozwalają na wyśrodkowanie go poprzez regulację naprężenia po obu stronach. W środkowej części pasa umieszczono dodatkową rolkę wspierającą pozycjonowanie koła. Powstały system napędzany jest przy pomocy silnika elektrycznego o mocy 1,1 kW, zapewniającego maksymalną prędkość obrotową wynoszącą 3000 obr·min⁻¹, osiąganą w ciągu 15 sekund od rozruchu stanowiska. Prędkość może być regulowana za pomocą trójfazowego falownika o mocy 1,5 kW, a przekazanie napędu odbywa się dzięki zastosowaniu wielorowkowego pasa klinowego. Schematyczny rysunek stanowiska został przedstawiony na ryc. 1. Prędkość pasa podczas testów musi być zsynchronizowana z prędkością powietrza w tunelu. W tym celu zastosowano czujniki laserowe, pozwalające na pomiar zarówno prędkości pasa, jak i koła poprzez zamontowanie punktów pomiarowych na rolce napędzającej oraz na badanym modelu. Powyższy zestaw został umieszczony na stalowej ramie dostosowanej do wymiarów pasa oraz wylotu powietrza w tunelu.

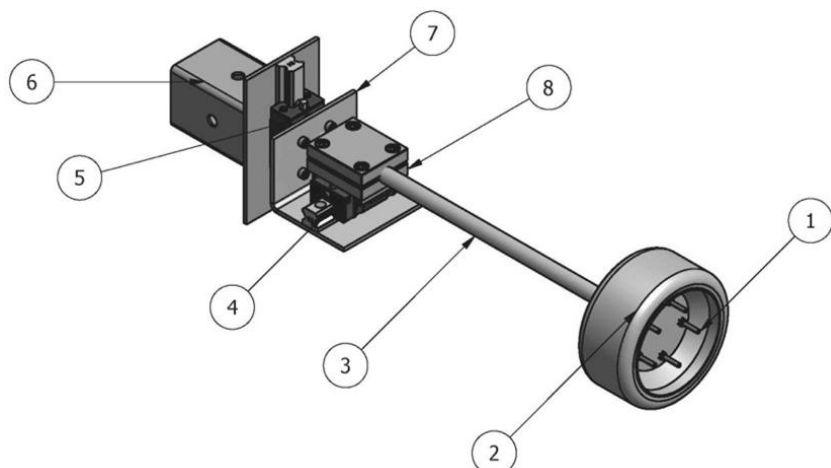


Ryc. 1. Schematyczny rysunek stanowiska

Źródło: J. Kopka, *Design of an Experimental Stand for Tests of Tire Aerodynamics*, Politechnika Łódzka, 2014.

Ramię pomiarowe

Stabilizacja modelu podczas przeprowadzania testów oraz poprawne jego umieszczenie na stanowisku są kluczowe dla przeprowadzanych badań. Model koła został umieszczony na ramieniu pomiarowym, którego głównymi elementami są liniowy układ jezdny osi oraz piasta wraz z łożyskami. Szczegółowa budowa ramienia została przedstawiona na ryc. 2.

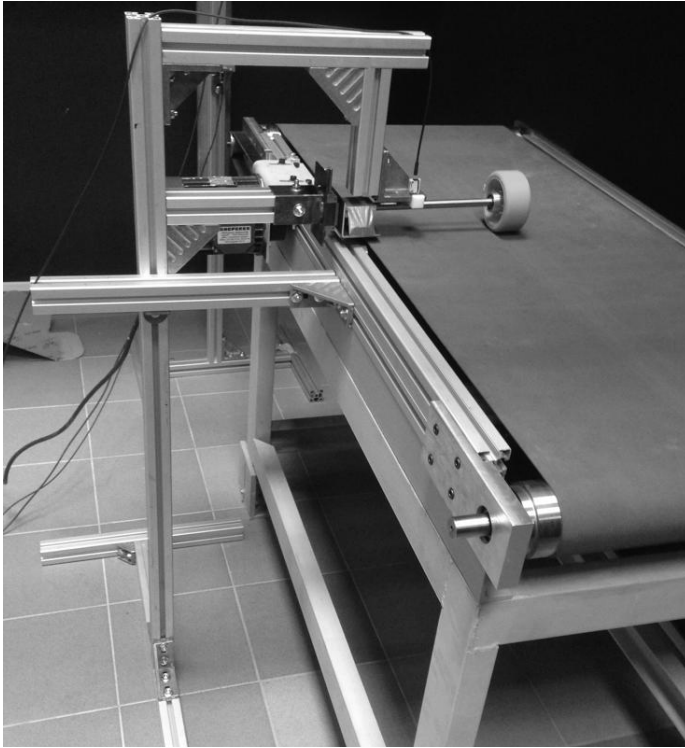


Ryc. 2. Ramię pomiarowe

Źródło: P. Pietrzak, *Construction of the Measuring Arm for the Experimental Stand in a Wind Tunnel Facility*, Politechnika Łódzka, 2016.

Głównymi elementami ramienia pomiarowego są: 1 – mocowanie koła, 2 – testowany model, 3 – oś, 4, 5 – liniowy układ jezdny, 6 – łącznik do profilu aluminiowego, 7 – płyta podporowa, 8 – mocowanie osi. W zastosowanym rozwiązaniu jedynymi ruchomymi elementami podczas testów są piasta z łożyskami oraz koło. Pozostała część ramienia jest nieruchoma, co zapewnia odpowiednią pozycję koła na pasie. Zdecydowano się na takie rozwiązanie konstrukcyjne ze względu na kilka zalet odgrywających ważną rolę podczas tworzenia stanowiska, jak również w czasie jego późniejszej eksploatacji. Zastosowane rozwiązanie sprawia, że łożyska poddawane są mniejszym obciążeniom, gdyż główne siły oddziałują na piastę. Relatywnie prosta konstrukcja ramienia pozwoliła na wykonanie wielu elementów w warsztacie znajdującym się w Instytucie, co miało znaczący wpływ na zmniejszenie kosztów oraz skrócenie czasu wykonania. Sposób mocowania koła do piasty bazujący na pięciu śrubach jest atutem zwłaszcza podczas testów po-

równawczych, gdy modele kół są często zmieniane. Dla zapewnienia sztywności całej konstrukcji ramię pomiarowe przymocowane jest do ramy stanowiska za pomocą profili aluminiowych. Ramię pomiarowe zostało przedstawione na ryc. 3 wraz z całym stanowiskiem badawczym.



Rys. 3. Ramię pomiarowe umieszczone na stanowisku badawczym

Źródło: materiały własne.

Wizualizacja przepływu

Podczas badań z zastosowaniem opisanego stanowiska wizualizacja przepływu powietrza wokół modelu izolowanego koła była przeprowadzana dzięki zastosowaniu metody PIV (Particle Image Velocimetry), bazującej na wizualizacji przepływu powietrza poprzez pomiar prędkości przepływu medium wraz z cząsteczkami znacznika (posiewu). Pomiar ten dokonywany jest na podstawie dwóch zdjęć cząsteczek posiewu wykonanych w bardzo krótkim odstępie czasu. Na podstawie różnicy w położeniu cząsteczek mię-

dzy zdjęciami możliwe jest obliczenie ich prędkości⁷. Podczas jednego pomiaru wykonuje się około 100 zdjęć, co pozwala na uśrednienie pola prędkości i wizualizację obszarów niskiej i wysokiej prędkości. W Instytucie Maszyn Przepływowych stosuje się do badań PIV sprzęt firmy LaVision, który umożliwia równoczesne zastosowanie dwóch kamer umieszczonych pod różnymi kątami. Pozwala to na uzyskanie dokładnej informacji o parametrach pola przepływu. Podczas badań używa się cząsteczek specjalnie przygotowanego oleju dostarczanego do przepływu w tunelu aerodynamicznym. Cząsteczki te poruszają się z taką samą prędkością jak powietrze. W celu odpowiedniego oświetlenia cząstek stosuje się specjalny laser o długości fali 532 nm, pozwalający na odfiltrowanie poruszających się cząsteczek od tła. Stanowisko badawcze wraz z elementami zestawu PIV zostało przedstawione na ryc. 4.

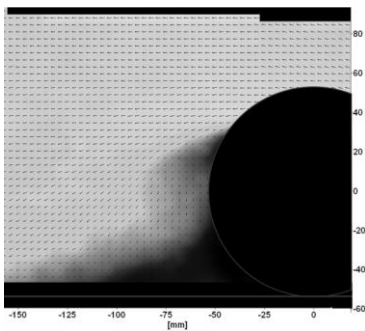


Ryc. 4. Stanowisko badawcze do wizualizacji przepływu powietrza wokół izolowanego koła samochodowego

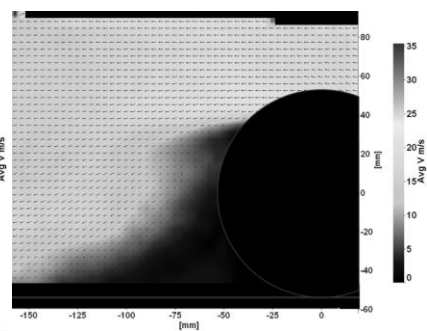
Źródło: materiały własne.

⁷ K. Olasek, M. Karczewski, *Multi-phase Modernisation of the Subsonic Wind Tunnel Oriented Towards Integration of cfd & Experiment*, XX Fluid Mechanics Conference, 2012.

Na ryc. 5 i 6 przedstawiono wyniki wstępnych badań, zawierające wizualizację przepływu powietrza wokół izolowanego koła samochodowego. Ryc. 5 przedstawia rozkład pól przepływu za kołem w płaszczyźnie równoległej do prędkości i w połowie szerokości koła dla geometrii typu *slick* (brak bieżnika), natomiast ryc. 6 – rozkład pól przepływu za kołem w płaszczyźnie równoległej do prędkości i w połowie szerokości koła dla geometrii typu *grooves* (bieżnik w postaci 3 wzdłużnych rowków). Pas napędowy poruszał się ze strony prawej do lewej, podobnie jak napływ powietrza. Koło zaś obracało się zgodnie z ruchem wskazówek zegara.



Ryc. 5. Rozkład pól prędkości,
opona *slick*
Źródło: materiały własne.



Ryc. 6. Rozkład pól prędkości,
opona *grooves*
Źródło: materiały własne.

Przedstawione powyżej wyniki stanowią wstępny etap prac, mających na celu analizę wpływu bieżnika na opór aerodynamiczny izolowanego koła samochodowego. Już na ryc. 5 i 6 można dostrzec różnice wynikające z zastosowanego typu bieżnika (*slick* vs. *grooves*). Wyniki uzyskane w ramach badań eksperymentalnych zostaną zweryfikowane z symulacjami komputerowymi wykonanymi z zastosowaniem numerycznej mechaniki płynów i będą przedstawione w kolejnych publikacjach.

Podsumowanie

Przedstawiony artykuł zawiera opis najważniejszych elementów stanowiska badawczego, jakie powstało dzięki realizacji grantów wewnętrznych Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej (I10/501/2/9124, 501-11-10-1/9116). Zaprezentowane stanowisko badawcze zostało wykorzystane podczas badań wpływu bieżnika na opór aerodynamiczny generowany przez izolowane koło samochodowe oraz podczas badań dotyczących analizy geometrii obręczy koła samochodowego.

TEST STAND TO VISUALIZE THE AIR FLOW AROUND THE ISOLATED VEHICLE WHEEL

ABSTRACT

The following article presents a test stand built at the Institute of Turbomachinery of Lodz University of Technology to analyse the aerodynamic resistance of a rotating vehicle wheel. The main component of the stand is an aluminium frame together with polyurethane belt that has been stretched between two rollers. The belt drive and speed control were obtained by using an electric motor with an inverter. Velocity is continuously monitored using two laser sensors. The correct position of the tested model is achieved by using a measuring arm to stabilize the wheel. Test stand was placed in the aerodynamic tunnel and used for research related to the research of the air flow around the rotating wheel. For this purpose, stand was equipped with a set of cameras and a laser for PIV visualization.

KEYWORDS

flow visualisation, PIV, aerodynamics

BIBLIOGRAFIA

1. Diasinos S., *The Aerodynamic Interaction of a Rotating Wheel and a Downforce Producing Wing in Ground Effect*, University of New South Wales, 2009.
2. Fackrell J. E., *The Aerodynamics of an Isolated Wheel Rotating in Contact with the Ground*, Imperial College London University of London, 1974.
3. Kopka J., *Design of an Experimental Stand for Tests of Tire Aerodynamics*, Politechnika Łódzka, 2014.
4. Kulak M., Karczewski M., Spolaore G., *Flow Around Rotating Wheels and Its Interaction with Vehicle Aerodynamics – CFD vs. Wind Tunnel Tests*, FISITA world congress, F2014-LWS-068.
5. Landstrom Ch., *Passenger Car Wheel Aerodynamics*, Chalmers University of Technology, 2011.
6. Leśniewicz P., Kulak M., Karczewski M., *Aerodynamic Analysis of an Isolated Vehicle Wheel*, "J. of Physics: Conf. Series" 2014, No. 530, 012064.
7. Materiały koncernu PSA Peugeot Citroën.
8. Olasek K., Karczewski M., *Multi-phase Modernisation of the Subsonic Wind Tunnel Oriented Towards Integration of cfd & Experiment*, XX Fluid Mechanics Conference, 2012.
9. Pietrzak P., *Construction of the Measuring Arm for the Experimental Stand in a Wind Tunnel Facility*, Politechnika Łódzka, 2016.