

Prof. dr hab. inż. Artur TYLISZCZAK
Katedra Maszyn Ciepłych
Politechnika Częstochowska

Al. Armii Krajowej 21
42-201 Częstochowa

tel.: (034) 3250505; fax: (034) 3250555
e-mail: artur.tyliszczak@pcz.pl

Częstochowa, 12.07.2023

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Kurec „The influence of car body moving surfaces on the car aerodynamics”

Recenzja została opracowana na zlecenie Prof. dr hab. inż. Roberta Sitnika zawarte w skierowanym do mnie piśmie z dnia 5 kwietnia 2023r.

1. Ocena ogólna.

Tematyka pracy dotyczy numerycznej i częściowo eksperymentalnej analizy przepływów wokół samochodów z zamontowanymi elementami aerodynamicznymi (spojlery, płaty) poprawiającymi stabilność i ekonomię jazdy. W pracy wykorzystywano komercyjne oprogramowanie ANSYS, a badania eksperymentalne prowadzono w tunelu aerodynamicznym Instytutu Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Zasadniczym celem pracy była analiza wpływu kształtu, umiejscowienia i ustawienia wspomnianych powyżej elementów aerodynamicznych na współczynniki oporu, siły nośnej oraz siłę docisku w trzech samochodach, Honda del Sol, Arrinera Hussarya oraz DriveAer. Dwa ostatnie to samochody koncepcyjne, prototypy. **W mojej ocenie temat pracy i użyte w niej metody analizy rozpatrywanych zagadnień pozwalają zakwalifikować ją do dyscypliny inżynieria mechaniczna. Praca jest oryginalna i reprezentuje stopień złożoności zwyczajowo spotykany w pracach doktorskich. Na podkreślenie zasługuje fakt, że część prezentowanych w pracy wyników uzyskano w trakcie realizacji projektu badawczego NCBiR PBS3/B6/34/2015.**

2. Ocena szczegółowa.

Praca została napisana w języku angielskim dzięki czemu może służyć jako pomoc naukowa szerokiemu gronu naukowców. Układ pracy **nie jest typowy** w porównaniu do dotychczas recenzowanych przeze mnie prac doktorskich. Zasadnicza jej część składa się ze szczegółowego opisu sześciu publikacji doktoranta, w których przedstawiono stosowane metody symulacji i pomiarów, wyniki oraz najważniejsze wnioski. W oryginalnej postaci, tj. opublikowanej przez czasopisma, publikacje te zamieszczono w dalszej części pracy. Biorąc pod uwagę, że są to publikacje w wysoko punktowanych czasopismach, International Journal of Mechanical Sciences, Energies (140pkt wg listy ministerialnej) oraz Journal of Advanced Transportation (70pkt) rola recenzenta jest ułatwiona. Mam tutaj na myśli to, że trudno jest

kwestionować wyniki badań już raz ocenione i zaakceptowane przez ekspertów w dziedzinie, której praca doktorska dotyczy. Ponadto, w efekcie przeprowadzonych badań powstały dwa zgłoszenia patentowe. Niemniej, po lekturze pracy i artykułów pojawiają się pewne pytania, które formułuję dalej. Pewne, zastrzeżenia budzić może też liczba autorów publikacji (5-6 autorów w publikacjach P3 i P6), co przy niezadeklarowanym przez doktoranta procentowym wkładzie własnym nie pozwala jednoznacznie ocenić jaki był jego rzeczywisty wkład w przygotowanie tych publikacji.

Przeгляд literatury przedstawiony we wprowadzeniu jest bardzo obszerny. Pokazuje on aktualny stan wiedzy na temat stosowanych metod kontroli przepływów wokół samochodów, problemów z tym związanych oraz metodyki badań mających na celu ich ulepszenie i analizę efektywności działania. Po tym przeglądzie można odnieść wrażenie, że pole do popisu doktorant miał niewielkie, gdyż większość rozwiązań zostało już przetestowanych przez producentów samochodów. Teżę pracy sformułowano następująco: „Active aerodynamics using small moving aerodynamic elements located in critical places of the body can significantly improve the driving stability and safety of all classes of cars.” W mojej ocenie udowodnienie tej tezy nie było stosunkowo trudne, jest ona poniekąd oczywista i zostało to w pracy jednoznacznie pokazane. W niniejszej recenzji nie będę powtarzał tego co przedstawiono w pracy dla poszczególnych analizowanych przypadków testowych. Generalnie, wykazanie, że możliwe jest kilkunastoprocentowe zwiększenie siły oporu i wykorzystanie jej do zwiększenia siły hamowania, lub kilkudziesięcioprocentowe zwiększenie siły docisku są bez wątpienia dużymi osiągnięciami. W dalszej części recenzji ograniczę się raczej do zagadnień, których wg mnie w pracy zabrakło i które budzą moje wątpliwości. Uważam, że bardzo wartościowe byłoby szczegółowe wyjaśnienie i opis mechanizmów powodujących istotną poprawę własności trakcyjnych samochodu. Na przykład, dlaczego współczynnik ciśnienia zmienia się w ten czy inny sposób, co jest tego przyczyną? Co powoduje zwiększenie/zmniejszenie powstających stref recyrkulacji? Czy obserwowany w niektórych przypadkach kilkudziesięcioprocentowy wzrost siły docisku lub wzrost współczynnika oporu jest liniową/nieliniową funkcją kąta odchylenia spojlera? W jakim stopniu efektywność stosowanych elementów aerodynamicznych jest zależna od prędkości przepływu? Czy w momencie nagłej zmiany warunków przepływu, np. na skutek silnego podmuchu bocznego, spełniają one swoją rolę? Analizy tego typu są dość czasochłonne, ale łatwe do wykonania stosując CFD. Proszę, aby doktorant spróbował ustosunkować się do powyższych pytań. W pracy, w większości przypadków analizowano przepływy ustalone, które nie odzwierciedlają zmiennych w czasie warunków rzeczywistych – zmienna prędkość pojazdu, zmienny kąt napływu, zmienna intensywność turbulencji. Sądzę, że stosując metodę RANS i stosunkowo rzadkie siatki obliczeniowe (kilka milionów elementów), można było spróbować wykonać symulacje *unsteady* RANS ze zmiennymi w czasie warunkami brzegowymi. Proszę o informację o czasochłonności obliczeń wykonanych w pracy i oszacowanie jak bardzo czasochłonne byłyby zaproponowane przeze mnie symulacje.

Pytania szczegółowe.

1. W większości symulacji stosowano model k-omega SST. Tabela 3 na stronie 101 (publikacja P3) pokazuję, że w zależności od porównywanego parametru uzyskiwane za jego pomocą wyniki na tle 4 innych modeli RANS lepiej lub gorzej zgadzają się z

danymi eksperymentalnymi. Który parametr zdecydował o wyborze modelu k-omega SST do większości symulacji?

2. Dlaczego stosowano dwa typy siatek obliczeniowych, tj. tetrahedralne/hexahedralne i polyhedralne? Czy było to podyktowane specyfiką kształtu analizowanego samochodu? Czy siatki polyhedralne zapewniały większą dokładność?
3. Konstrukcja ze spojlerami na dachu i przedniej masce samochodu wydaje się bardzo skomplikowana (publikacja P5). Przepływ pomiędzy poszczególnymi elementami byłby silnie turbulentny i niestacjonarny, a powstające struktury wirowe oddziaływałyby ze spojlerami, być może powodując ich drgania przenoszące się na konstrukcję samochodu. Proszę o oszacowanie jakiego rzędu siły oddziałują na poszczególne spojlerki i jaką sztywność (np. grubość, rodzaj materiału, rodzaj zamocowania) musiałyby mieć te elementy, aby wykluczyć powstawanie powyżej wspomnianych drgań.
4. W publikacji P1 prędkość napływu wynosiła 23 m/s, $Ti=3.5\%$, a turbulentna skala długości $L=5\text{mm}$. Analizowano model w skali 1:2.5. Czy proporcjonalne przeskalowanie L do warunków rzeczywistych ($L \times 2.5=12.5\text{mm}$) odzwierciedlałoby warunki drogowe? Sądzę, że nie. Proszę o komentarz/oszacowanie/przykład z jakimi Ti i L mamy do czynienia w rzeczywistości.
5. Proszę o informację jak w publikacji P1 zdefiniowano GCI (tabela 1) oraz niepewność (uncertainty w tabelach 2 i 3). Dlaczego współczynnik oporu (C_g) wyznaczony w CFD zgadza się z danymi eksperymentalnymi zdecydowanie lepiej niż współczynnik siły nośnej (C_l)? Jeśli niepewność pomiarowa C_l w eksperymencie wynosi 4.4% to czy informacja o poprawności wyznaczenia C_l na poziomie 4.3% jest wiarygodna?
6. Jak należy rozumieć podpis „Mesh resolution” na Rys. 14 str. 105?
7. Czy w pracy pokazywane są kontury prędkości czy modułu prędkości? Po skali prędkości (>0) domyślam się, że pokazywany jest moduł prędkości. Proszę o informację, jakiego rzędu są wartości prędkości (składowe) w strefach recyrkulacji w śladzie aerodynamicznym.
8. W publikacji P6 pokazano, że kąt nachylenia płata (20 lub 50 deg) ma bardzo istotny wpływ na współczynnik oporu i praktycznie żaden wpływ na współczynnik siły nośnej. Dlaczego tak jest?
9. Na str. 60 (publikacja P1) jest odniesienie do Rys. 3 z informacją, że pokazano na nim platformę, na której umieszczony był model samochodu. Ja nie widzę tej platformy na tym rysunku.

Zarówno praca doktorska, jak i przedstawione w niej artykuły, są napisane w sposób jasny i komunikatywny. W pracy zauważyłem kilka błędów językowych i literówek, ale generalnie praca jest zrozumiała i będzie czytelna zarówno dla „native speakerów” jak i dla pozostałych osób. W żaden sposób tego typu błędy, które niestety większość z nas popełnia, nie wpływają na moją merytoryczną ocenę pracy. **Bez wątpienia przedstawiona praca wystawia pozytywne świadectwo wiedzy i umiejętnościom doktoranta. Uzyskane przez niego wyniki, analizowane i proponowane rozwiązania stanowią wartościowy wkład w badania aerodynamiki samochodów oraz pokazują ogromny potencjał stosowania w tym celu metod CFD.**

3. Konkluzja

Reasumując, przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest w mojej ocenie rozwiązaniem złożonego zadania naukowego. Doktorant wniósł oryginalny wkład w badania aerodynamiki samochodów z wykorzystaniem metod CFD. Uzyskane wyniki mają dużą wartość poznawczą, a przygotowane przez doktoranta modele geometryczne i przypadki testowe będą mogły być z pewnością wykorzystywane w przyszłości. Niewątpliwie, zrealizowane zostały założone cele pracy, a postawiona teza, choć nieco oczywista, została udowodniona. Przedstawiona rozprawa doktorska dowodzi wiedzy doktoranta w zakresie modelowania numerycznego przepływów i wykorzystania komercyjnych narzędzi obliczeniowych oraz stanowi potwierdzenie umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska, którą przedstawił mgr inż. Krzysztof Kurec spełnia wymogi Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym i wnoszę o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.


Prof. dr hab. inż. Artur Tylińczak