

Arkadiusz MACEK¹

Opiekun naukowy: Maciej ZAWIŚLAK²

DOI: <https://doi.org/10.53052/9788366249837.16>

ANALIZA WPLYWU AERODYNAMIKI LUSTEREK SAMOCHODU CIĘŻAROWEGO NA ZUŻYCIE PALIWA

Streszczenie: Praca przedstawia proces optymalizacji opływu powietrza przez lusterka samochodu ciężarowego oraz wpływ powstałych oporów aerodynamicznych na zużycie paliwa. Kluczową częścią pracy było zaprojektowanie i optymalizacja kształtu lusterek bocznych samochodu ciężarowego, gdyż ich wpływ na opory aerodynamiczne jest znaczący. W pracy przedstawiono wyniki wielu symulacji 3D z zakresu numerycznej mechaniki płynów. Analizowane były kształty lusterek o założonych z góry wymiarach oraz umiejscowieniu, ponieważ zaprojektowane elementy spełniają odpowiednie Europejskie normy z zakresu budowy pojazdów samochodach.

Słowa kluczowe: mechanika płynów, numeryczna mechanika płynów, CFD, samochód ciężarowy, lusterko

THE ANALYSIS OF WING MIRRORS AERODYNAMICS IMPACT ON FUEL CONSUMPTION OF HEAVY DUTY VEHICLE

Summary: The thesis analyzes the effect of wing mirrors aerodynamics on fuel consumption in heavy-duty vehicle. Essential part of my thesis was designing and optimizing the shape of wing mirrors in heavy-duty vehicle, due to their hefty impact on aerodynamic drag in these types of vehicles. This thesis presents the results of many 3D simulations of computational fluid dynamics. The dimensions and location of the mirrors was predetermined, based on European standards in the construction of heavy-duty vehicles.

Keywords: fluid mechanics, numerical fluid mechanics, CFD, heavy-duty vehicles, mirror

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach zaobserwowano znaczący trendy w optymalizacji pracy samochodów ciężarowych. Konstruktorzy starają się poprawić efektywność pracy

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, specjalność: Mechanika i Budowa Maszyn, 226850@student.pwr.edu.pl

² prof. uczelni dr hab. inż., Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, maciej.zawislak@pwr.edu.pl

jednostek spalinowych, ergonomii pracy kierowcy oraz poprawę aerodynamiki tych pojazdów. Na drogach poruszają się olbrzymie ilości tych pojazdów, zużywają one znaczące ilości paliwa. Każda nawet najmniejsza poprawa w konstrukcji pojazdu przekłada się na ekologiczną i ekonomiczną poprawę ich eksploatacji.

Jednak pojazdy te muszą spełniać szereg obostrzeń oraz norm. W przypadku lusterek zewnętrznych samochodów ciężarowych normą jaką muszą spełniać te pojazdy na terenie Unii Europejskiej to: „Regulamin nr 46 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Jednolite wymagania dotyczące homologacji urządzeń widzenia pośredniego oraz homologacji pojazdów silnikowych w odniesieniu do instalacji tych urządzeń”[1]. Norma ta określa ilość oraz położenie lusterek w pojeździe. Każde z lusterek ma określony cel oraz powinno zapewnić odpowiednie pole widzenia do operatora pojazdu.

Z punktu widzenia aerodynamiki pojazdu największą rolę odgrywają lusterka boczne, są one największe oraz ich położenie powoduje znaczące opory aerodynamiczne pojazdu. Z tego powodu ich kształt ma znaczący wpływ na poprawę aerodynamiki całego pojazdu oraz na opory jakie powstają w tym pojeździe.

2. Założenia projektowe

Podczas procesu analizy wykorzystano następujące założenia:

- masa samochodu ciężarowego, 40 000 [kg],
- długość pojazdu, 18,75 [m],
- szerokość pojazdu, 2,55 [m],
- wysokość pojazdu, 3,5 [m],
- prędkość, stała 25 [m/s],
- podłoże, asfalt,
- brak wzniesienia (ruch po płaskim podłożu),
- spalanie samochodu ciężarowego przed optymalizacją, 35l/100km.

Opory ruchu pojazdu zostały wyliczone na podstawie następujących wzorów:

$$F = F_t + F_p + F_w + F_b + F_u \quad (1)$$

F_t – opory toczenia,

F_p – opory powietrza,

F_w – opory wzniesienia,

F_b – opory bezwładności mas wirujących,

F_u – opory uciągu.

Opory toczenia:

$$F_t = G f_t \quad (2)$$

G – ciężar samochodu,

f_t – współczynnik oporu toczenia,

Opory powietrza:

$$F_p = 0,5 \rho c_d A V^2 \quad (3)$$

ρ – gęstość,
 c_d – współczynnik oporów aerodynamicznych,
 A – pole przekroju poprzecznego.

Opory wzniesienia:

$$F_w = G \sin \alpha \quad (4)$$

G – ciężar samochodu,
 α – kąt wzniesienia.

Opory bezwładności:

$$F_b = \delta G \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

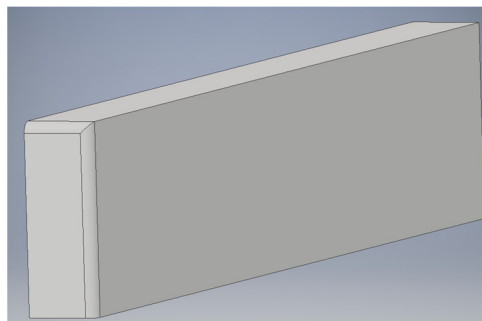
δ – współczynnik oporów bezwładności mas samochodu, uwzględniający wpływ mas obrotowych,
 G – ciężar samochodu.

Opory uciążu:

$$F_u = F_t' + F_p' + F_w' + F_b' \quad (6)$$

3. Model wykorzystany do analizy CFD

Do wykonania modeli geometrycznych wykorzystano oprogramowanie AutoCAD Inventor. Natomiast obliczenia CFD wykonano w oprogramowaniu Ansys Fluent 2019 R2. Podczas obliczeń wykorzystano wskazówki zawarte w książce „Metoda projektowania i modernizacji maszyn oraz układów przepływowych z zastosowaniem numerycznej mechaniki płynów”[2]. Model geometryczny wykorzystany do odwzorowania ciągnika siodłowego wraz z naczepą przedstawiono na rysunku 1.

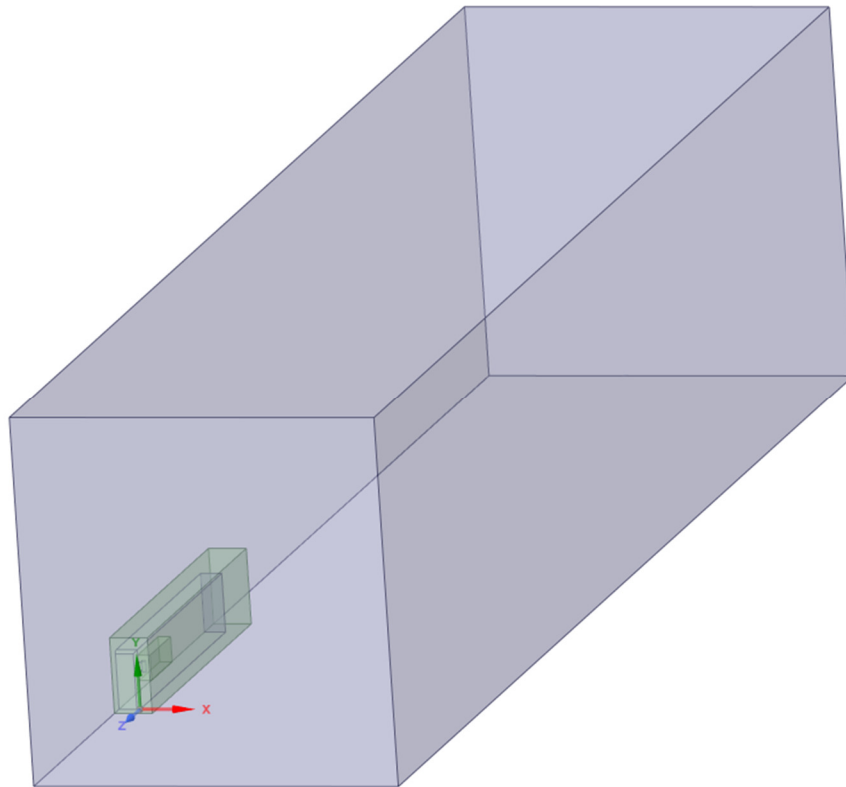


Rysunek 1. Model geometryczny

Model ten został maksymalnie uproszczony oraz wykorzystano symetrię w celu poprawy czasu obliczeń.

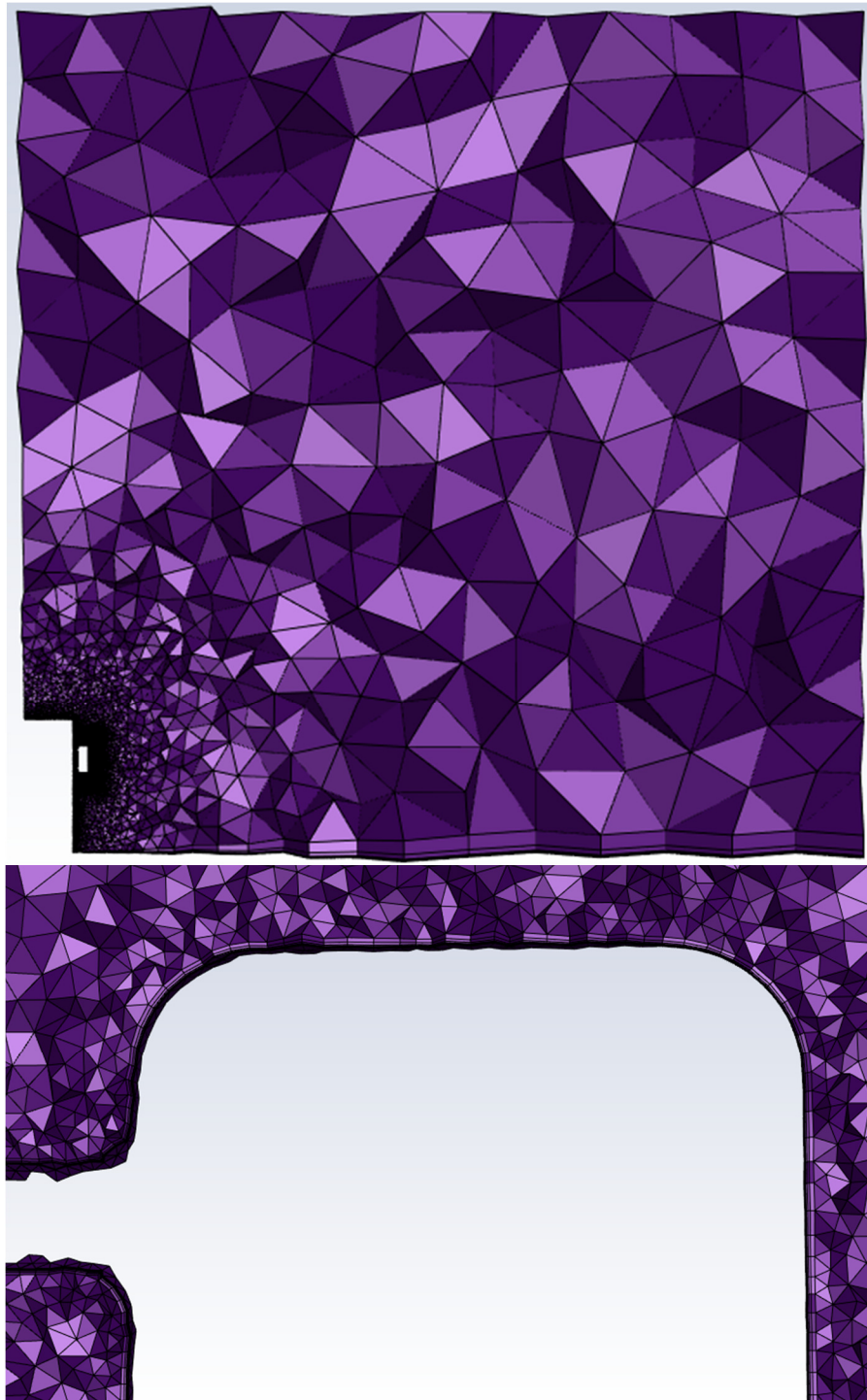
Do obliczeń CFD wykorzystano domenę obliczeniową widoczną na rysunku 2. Domena ta posiada wymiary 100x22x22 [m]. Takie wymiary domeny obliczeniowej

pozwalają na skuteczny odwzorowanie wszystkich zjawisk aerodynamicznych. Ściany domeny zostały odpowiednio oddalone od geometrii (z zachowaniem ok. jednej długości modelu przed, jednej długości modelu w bok, jednej długości modelu w górę oraz trzech odległości za modelem).



Rysunek 2. Domena obliczeniowa

Model dyskretny składał się z około 7 miliona elementów, wynikało to z braku wystarczająco satysfakcjonującej mocy obliczeniowej. W dyskretyzacji modelu użyte zostały elementy sześciennie. Dla odpowiedniego odwzorowania warstwy przyściennej użyte były dodatkowo elementy typu pryzm (10 warstw, y^+ zależny od wielkości elementu). Zastosowane wielkości komórek zostały przedstawione na rysunku 3. Stosowane były także dodatkowe zagęszczenia wolumetryczne, w obszarach występowania największych turbulencji.



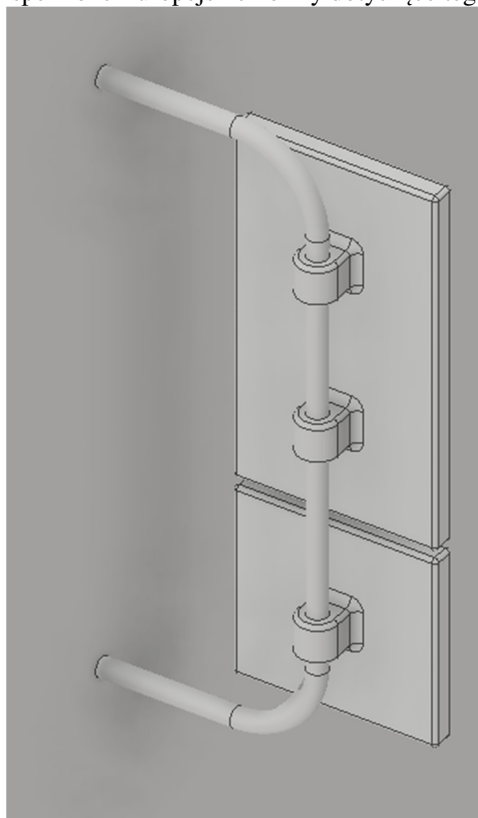
Rysunek 3. Siatka modelu dyskretnego

Medium jakie zostało wykorzystane podczas analizy to powietrze (air) pochodzące z bazy danych wbudowanych w oprogramowanie. Wybrano model obliczeniowy k-omega (2 eqn) SST. Warunki brzegowe dostosowano by jak największym stopniu odwzorować rzeczywistość. Powietrze trafiające do domeny porusza się z prędkością 25 [m/s], czyli 90 [km/h]. Jest to prędkość z jaką poruszają się po drogach publicznych samochody ciężarowe. W celu lepszego odwzorowania ruchu powierzchnia dolna (ground) porusza się z prędkością 25 [m/s], odwzorowując poruszające się podłoże. Elementy modelu są odwzorowane dzięki ścianą lepkiem, natomiast ściana demony obliczeniowej jest ścianą nie lepką (nie oddziaływa na nią siły lepkości).

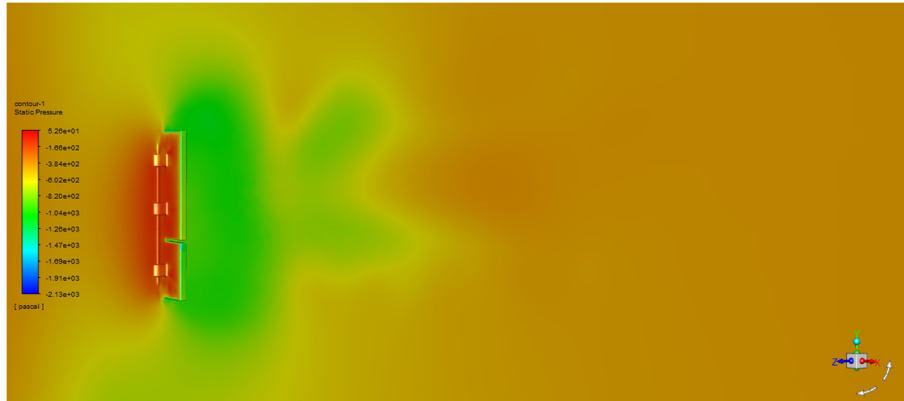
4. Analiza wariantów obliczeniowych

Do analizy wykorzystano trzy modele lusterek spełniających europejskie normy oraz jeden model kamery.

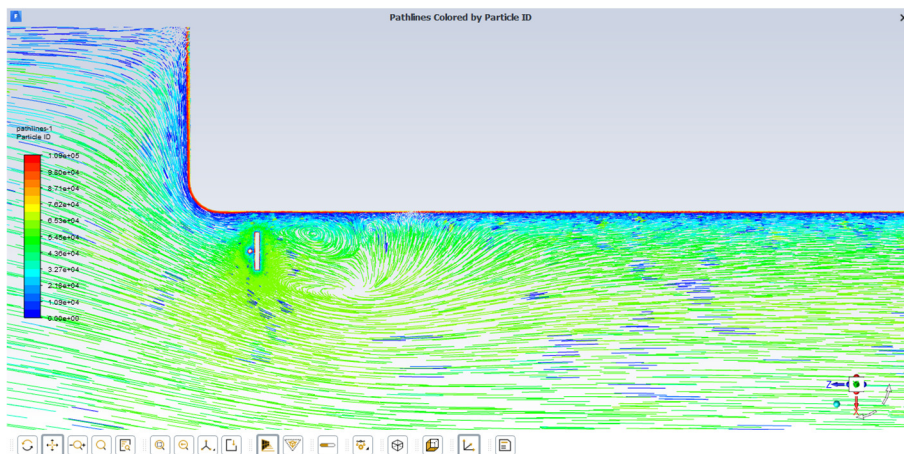
Model pierwszej symulacji (rysunek 4) przedstawia nieskomplikowaną budowę, lusterka tego typu stosowane był w starszych modelach samochodów ciężarowych. Charakteryzuje się prostokątnymi kształtami o wymiarach 250x450 [mm] oraz 250x240 [mm], mocowaniem zbudowanym z zakrzywionej rury. Wymiary zostały tak dobrane by były spełnione Europejskie normy dotyczące tego elementu.



Rysunek 4. Model pierwotnego lusterka



Rysunek 5. Rozkład ciśnień dla pierwszego lusterka



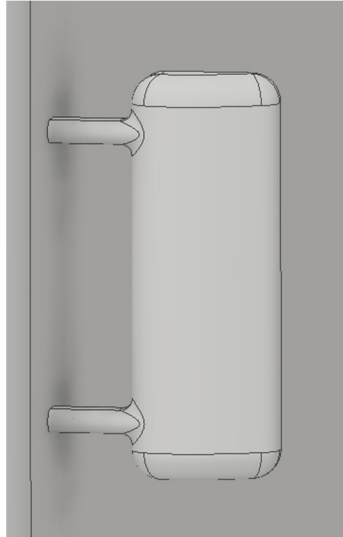
Rysunek 6. Linie przepływu dla pierwszego lusterka

Tabela 1. Wyniki obliczeń dla pierwszej symulacji

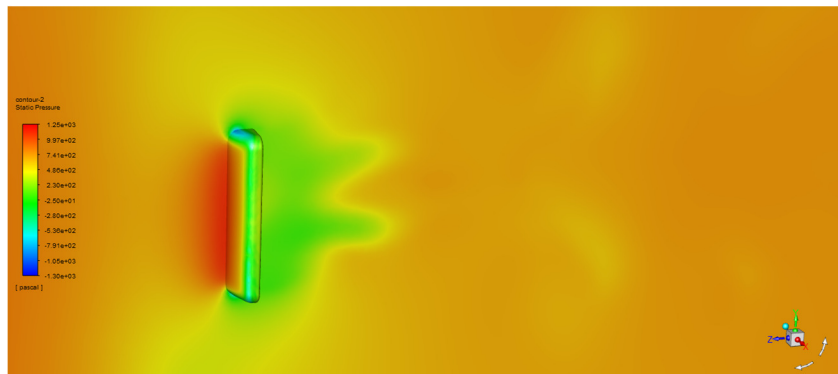
Współczynnik C_d	Siła oporów [N]
1,63	114,9

Model powoduje bardzo duże zawirowania powietrza, oraz dużą separację. Widoczne jest to na rysunku 6. Spadek ciśnienia widoczny na rysunku 5 powoduje znaczne opory aerodynamiczne. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 1.

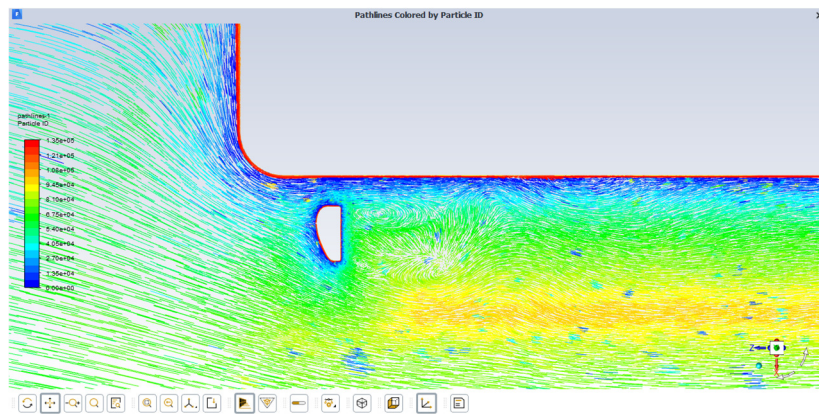
Kolejny model, po pierwszej optymalizacji kształtu. Charakteryzuje się, zmienionymi kształtami powierzchni czołowej, innym mocowaniem oraz połączeniem dwóch części lusterek w jedną bryłę, widoczne jest to na rysunku 7. Lusterko to w znacznym stopniu polepszyło warunki opływu powietrza, zmniejszył się stopień zawirowań oraz separacji. Wartości oporów znacząco spadły widoczne jest to w tabeli 2.



Rysunek 7. Model drugiego lusterka



Rysunek 8. Rozkład ciśnień dla drugiego lusterka

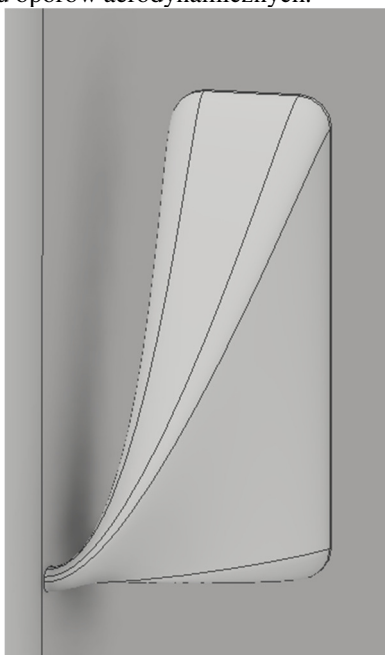


Rysunek 9. Linie przepływu dla drugiego lusterka

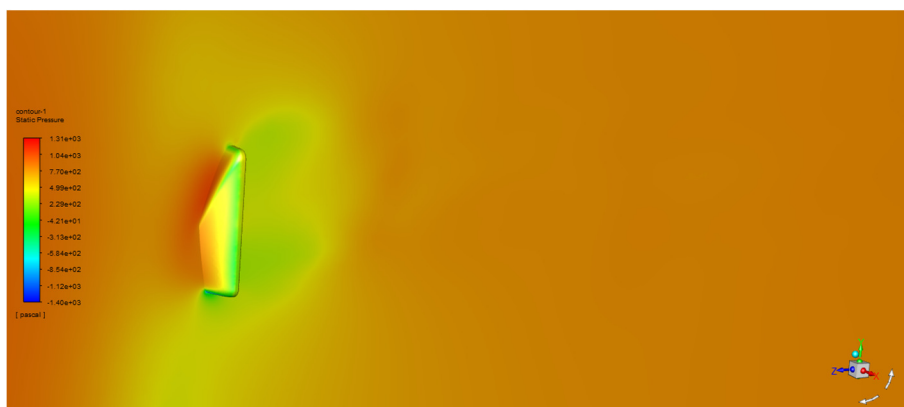
Tabela 2. Wyniki obliczeń dla drugiej symulacji

Współczynnik C_d	Siła oporów [N]
0,99	72,1

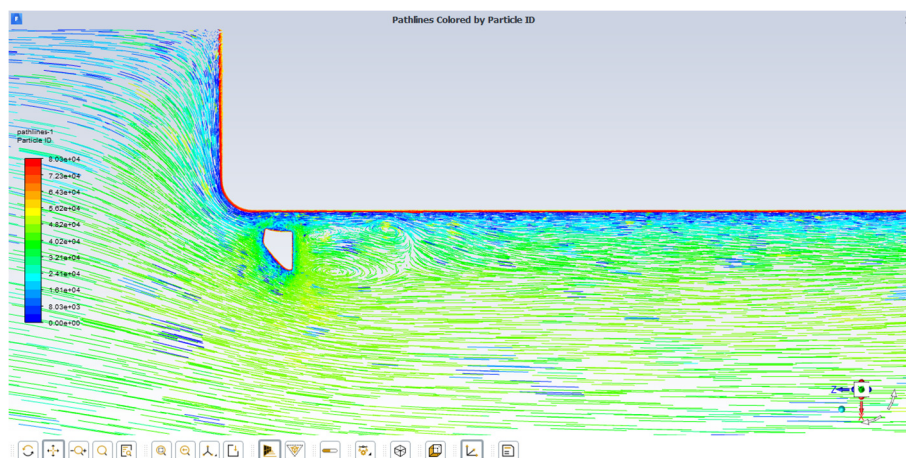
W kolejnym stopniu optymalizacji skupiono się na dalej idącej zmianie kształtu oraz system mocowania lusterka. Wymiary zostawały zastosowane jak w poprzednim modelu, jednak system mocowania został umiejscowiony tylko w dolnej części elementu. Kształt lusterka jest dużo bardziej opływowy (sugerowano się, kształty lusterek w samochodach sportowych). W wyniku modyfikacji osiągnięto dalej idącą poprawę w zmniejszeniu oporów aerodynamicznych.



Rysunek 10. Model trzeciego lusterka



Rysunek 11. Rozkład ciśnień dla trzeciego lusterka

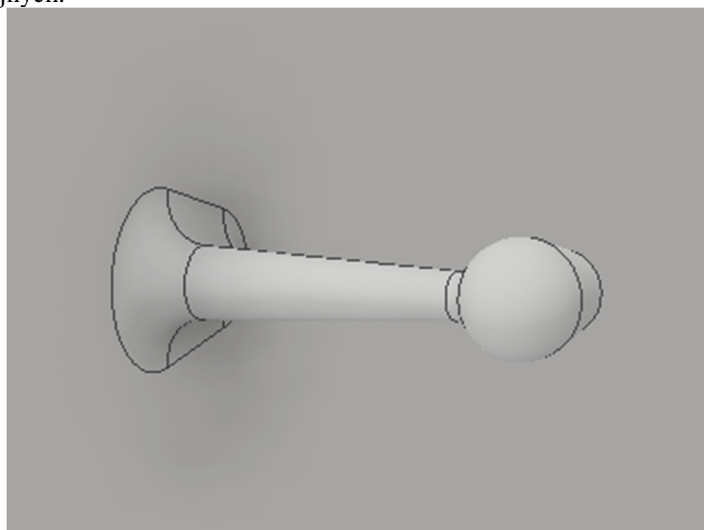


Rysunek 12. Linie przepływu dla trzeciego lusterka

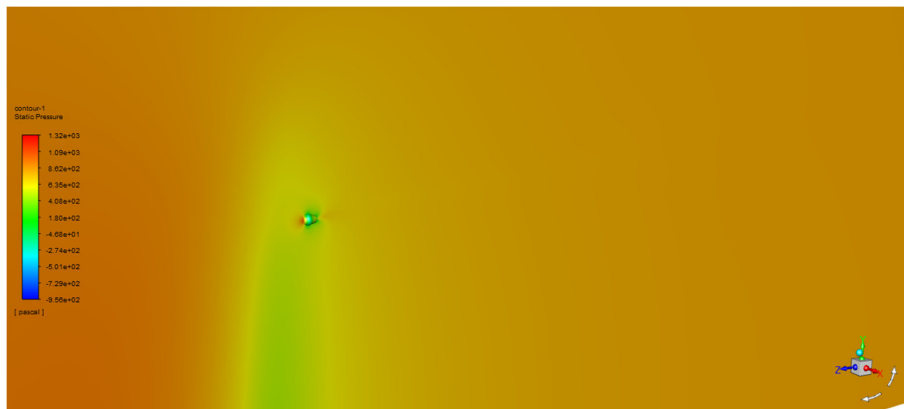
Tabela 3. Wyniki obliczeń dla trzeciego modelu lusterka

Współczynnik C_d	Siła oporów [N]
0,83	59,8

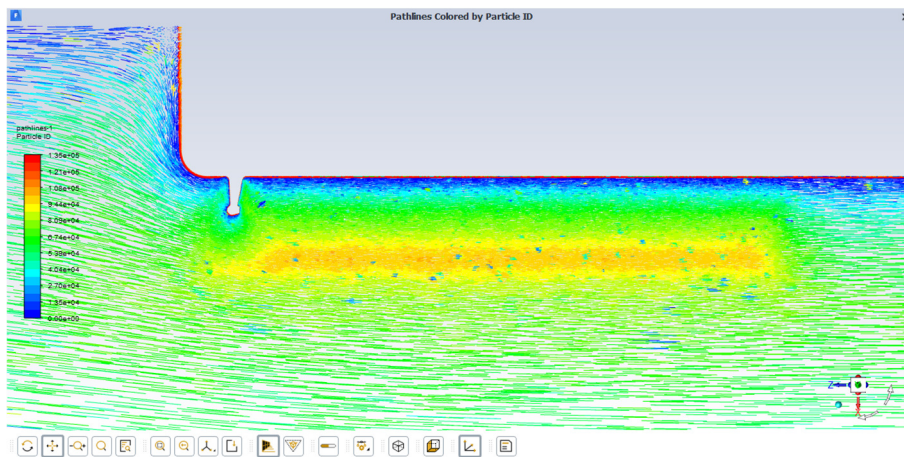
Ostatnim modelem jest, zamiana lusterka w inne urządzenie widzenia pośredniego, jest to uchwyt kamery. Zgodnie z prawem dopuszczalne jest zainstalowanie urządzenia składającego się z kamery oraz monitora, zastępującego klasyczne lusterko. Wymiary tego urządzenia są znacznie mniejsze rysunek 13, to powoduje znaczne spadki oporów aerodynamicznych, widocznych na rysunku 14. Jednak dopiero w ostatnich latach rozpoczęto wprowadzanie tego typu urządzeń do pojazdów komercyjnych.



Rysunek 13. Model kamery



Rysunek 14. Rozkład ciśnień dla kamery



Rysunek 15. Linie przepływu dla kamery

Tabela 4. Wyniki obliczeń dla kamery

Współczynnik C_d	Siła oporów [N]
0,36	4,2

4. Podsumowanie

Wyniki optymalizacji przedstawiono w tabeli 5. Wnioski z tabeli pozwalają ocenić iż, kształt lusterka pojazdu ciężarowego ma znaczący wpływ na opory aerodynamiczne wytwarzane przez ten pojazd. Wartości sił oporów spadły z 229,8 [N] do 119,6 [N] w przypadku lusterka oraz do 8,4 [N] w przypadku kamery. Są to znaczne wartości które przedstawiają znaczące zmniejszenie zużycia paliwa przez tego typu pojazd. Suma wszystkich sił działających na pojazd 3193 [N], z czego 2793 [N] czyli 87,47% to siły wynikające z oporów aerodynamicznych. Przy założeniu że samochód ciężarowy spala 35l/100km oraz że lusterko pierwszego modelu jest punktem

odniesienia, obliczyć obliczono przedstawione w tabeli 5 wartości. Dla najbardziej opływowego lusterka uzyskano spadek zużycia paliwa na poziomie 1,2 [l/100km]. Jest to znaczący wynik. Przykładowo pojazd tego typu pokonuje dziennie ok. 700 [km], czyli dzienna oszczędność paliwa wynosi 8,4 [l]. W przypadku kamery spadek zużycia paliwa jest jeszcze większy, wynosi 2,43 [l/100km]. Daje on dzienna oszczędność paliwa na poziomie 17,01 [l].

Tabela 5. Wyniki przeprowadzonej analizy

Model	Siła oporów aerodynamicznych powstałych na lusterkach po obu stronach pojazdu [N]	Zmniejszenie oporów aerodynamicznych w [%]	Zmniejszenie zużycia paliwa w [%]	Zmniejszenie zużycia paliwa w [l] na 100 [km]
Lusterko 1	229,8	-	-	-
Lusterko 2	144,2	3,1	2,7	0,94
Lusterko 3	119,6	4	3,4	1,2
Kamera	8,4	7,9	6,4	2,43

LITERATURA

1. Regulamin nr 46 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Jednolite wymagania dotyczące homologacji urządzeń widzenia pośredniego oraz homologacji pojazdów silnikowych w odniesieniu do instalacji tych urządzeń.
2. ZAWIŚLAK M.: Metoda projektowania i modernizacji maszyn oraz układów przepływowych z zastosowaniem numerycznej mechaniki płynów, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2017.