

Pomiar rozkładu ciśnień na modelu samochodu Polonez

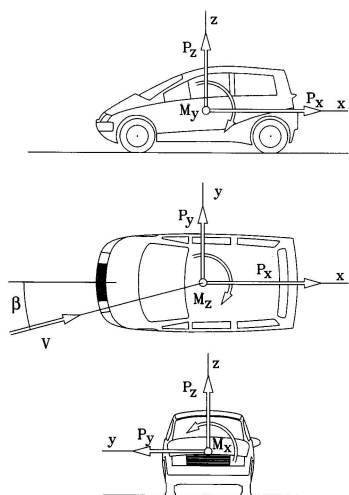
(Część instrukcji dotycząca aerodynamiki samochodu opracowano na podstawie książki J. Piechny „Podstawy aerodynamiki pojazdów”, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000)

Cele ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi metodami pomiaru ciśnień w układach wielokanałowych oraz pomiar rozkładu ciśnień na modelu samochodu Polonez.

Wiadomości podstawowe z aerodynamiki pojazdów

W wyniku wzajemnego oddziaływania pomiędzy samochodem a ośrodkiem, w którym się on porusza, na pojazd działa wypadkowa siła aerodynamiczna oraz moment. Przyjmując układ współrzędnych związany z pojazdem i skierowany tak, że oś x jest skierowana przeciwnie do kierunku ruchu, oś y prostopadłe do osi x a oś z pionowo do góry, otrzymamy składowe siły i momenty przedstawione na rys. 1.



Rys. 1 Siły i momenty działające na pojazd

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 często 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).

Opór aerodynamiczny, współczynnik oporu

Siła oporu przeciwdziałająca ruchowi pojazdu pochodzi częściowo od oporu toczenia kół, a częściowo od oporu aerodynamicznego. Opory toczenia przeważają przy prędkościach poniżej 65-80 km/h, powyżej dominuje opór aerodynamiczny.

Bezwymiarową wielkością służącą do porównań dla różnych kształtów samochodów jest tzw. współczynnik oporu, definiowany jako

$$C_x = \frac{P_x}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

gdzie:

P_x – siła oporu,

ρ – gęstość powietrza,

V – prędkość,

A – powierzchnia odniesienia.

W aerodynamice samochodów jako powierzchnię odniesienia A przyjmuje się z reguły tzw. powierzchnię czołową, czyli największą powierzchnię w płaszczyźnie yz . Współczynnik oporu C_x zależy głównie od kształtu samochodu, ale także od innych czynników jak liczba podobieństwa Reynoldsa czy poziom turbulencji powietrza.

Siła oporu aerodynamicznego zależy w ogólnym przypadku od rozkładu ciśnień na powierzchni opływanej bryły (tzw. **opór ciśnieniowy**), sił tarcia (**opór tarcia powierzchniowego**) oraz tzw. **oporu indukowanego**, który wynika z istnienia za pojazdem trójwymiarowych struktur wirowych (tzw. wiry krawędziowe).

Ogólnie zatem siła oporu

$$P_x = P_c + P_t + P_i$$

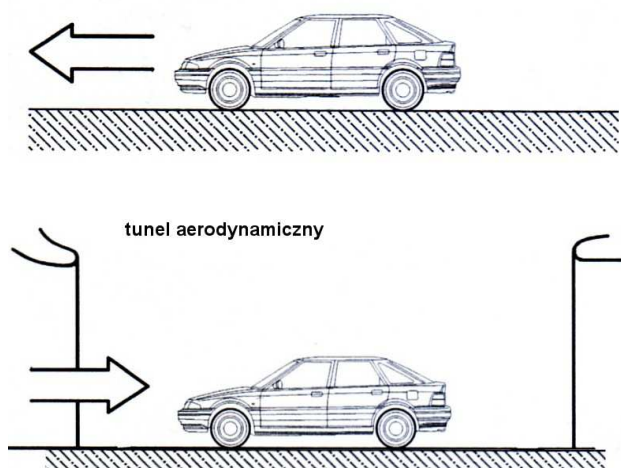
gdzie:

P_c – opór ciśnieniowy, P_t – opór tarcia, P_i – opór indukowany.

Całkowitą siłę oporu można wyznaczyć na drodze pomiarów wagowych. Poprzez pomiar ciśnień na powierzchni modelu można wyznaczyć natomiast sam opór ciśnieniowy.

Badania tunelowe modeli samochodów

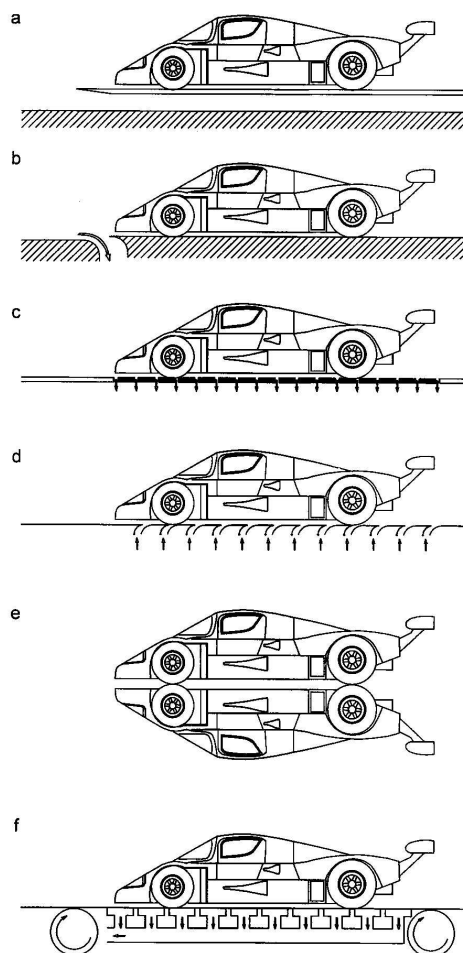
Umieszczenie modelu pojazdu w tunelu aerodynamicznym powoduje, że strumień powietrza napływający na model ma nieco inny rozkład prędkości niż w przypadku ruchu samochodu po nieruchomej jezdni (rys. 2).



Rys. 2 Różnice w opływie dla ruchu rzeczywistego (rysunek górny) i w tunelu aerodynamicznym (rysunek dolny)

Na ścianie dolnej tunelu tworzy się warstwa przyścienne, która w przypadku dużych tuneli może mieć grubość dochodzącą do 0.1 m, a więc znaczącą np. w porównaniu z prześwitem pod samochodem. Dlatego też w przypadku badań tunelowych stosuje się różne sposoby eliminowania „efektu podłoża”. Należą do nich (rys. 3):

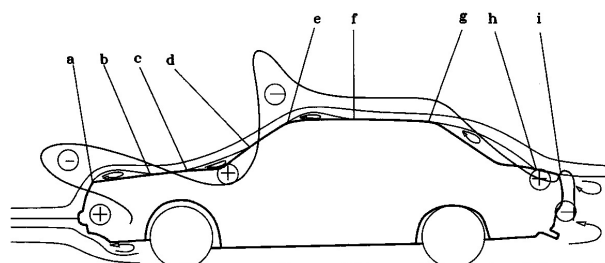
- umieszczenie modelu na specjalnej płycie o ostrej krawędzi w celu „odcięcia” warstwy przyściennej. „Nowa” warstwa przyściennej, rozpoczynająca się od ostrza jest już dużo cieńsza.
- odsysanie warstwy przyściennej przed modelem.
- odsysanie warstwy przyściennej pod całą powierzchnią modelu
- nadmuchiwanie powietrza pod model w celu uzupełnienia masy i energii w warstwie przyściennej
- zastosowanie dwóch identycznych modeli w celu wykorzystania symetrii opływu,
- zastosowanie ruchomej taśmy symulującej ziemię. Taśma musi poruszać się z prędkością równą prędkości napływającego strumienia powietrza. W przypadku jej zastosowania pojawiają się problemy z zamocowaniem modelu do układu wagowego (mocowanie może być tylko z tyłu lub z góry), co zmienia charakter opływu modelu. Dodatkowe trudności pojawiają się w przypadku napływu skośnego.



Rys. 3 Sposoby eliminowania efektu podłoża

Rozkłady ciśnień na powierzchni nadwozia

Rozkłady ciśnień na nadwoziu są silnie zależne od jego kształtu. Typowy rozkład w płaszczyźnie symetrii XZ przedstawiono na rys. 4 (znak „+” oznacza, że ciśnienie w danym miejscu jest większe od ciśnienia w strumieniu napływającym, znak „-”, że mniejsze).



Rys. 4 Rozkład ciśnień w płaszczyźnie symetrii samochodu

Rozkłady ciśnień najlepiej jest przedstawiać w formie bezwymiarowej. Użyteczną wielkością jest tu tzw. **współczynnik ciśnienia**, definiowany jako

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2}$$

gdzie:

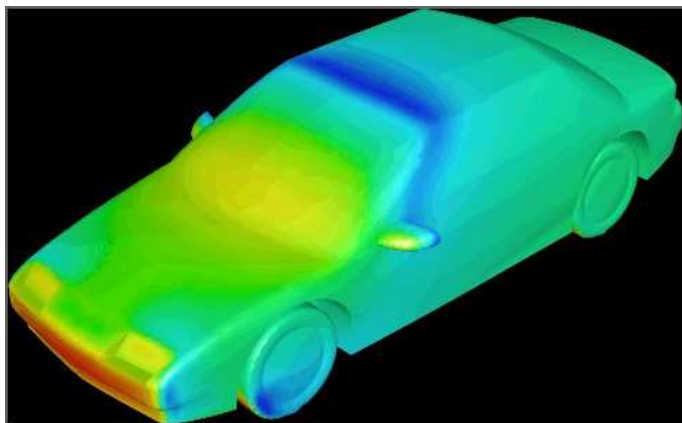
p – lokalne ciśnienie na powierzchni nadwozia,
 p_{∞} - ciśnienie w „nieskończoności” - w przypadku badań w tunelu aerodynamicznym jest to prędkość strumienia napływającego ,

ρ - gęstość powietrza,

V_{∞} – prędkość pojazdu w nieruchomym ośrodku (w przypadku badań w tunelu aerodynamicznym jest to prędkość strumienia napływającego)

Uzyskane w trakcie pomiarów laboratoryjnych rozkłady ciśnień na modelu nadwozia, choć bardzo cenne z punktu widzenia poznawczego, mają jedną istotną wadę. Ponieważ liczba punktów pomiarowych jest ograniczona zwykle do kilkudziesięciu, nie da się na podstawie takiego pomiaru określić prawidłowo oporu ciśnieniowego.

Dużo większe możliwości stwarzają tu metody numeryczne, przy użyciu których można wyznaczyć dokładnie rozkład ciśnienia na całym modelu. Przykład takiego rozkładu ciśnień pokazano na rys. 5.



Rys. 5 Rozkłady ciśnień na nadwoziu samochodu uzyskane przy użyciu metod numerycznej mechaniki płynów

Wizualizacje opływu

Oprócz badań rozkładów ciśnień oraz pomiarów wagowych istotną rolę w badaniach aerodynamiki pojazdów odgrywają różnego rodzaju wizualizacje. Są one szczególnie ważne na etapie projektowania. Pozwalają określić charakter przepływu w warstwie przyściennej, punkty oderwania, charakter przepływów powrotnych i wiele innych cech opływu.

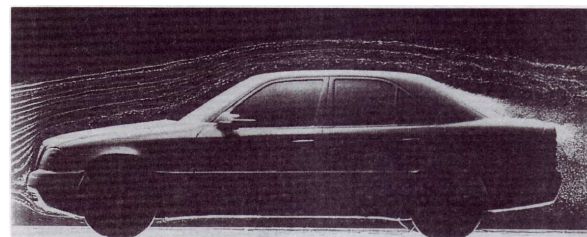
Metody wizualizacji w tunelach (rys. 6):

- wizualizacja za pomocą strugi dymu (wizualizacja przestrzenna).
- wizualizacja za pomocą pęcherzyków wodoru (wizualizacja przestrzenna).
- wizualizacja olejowa. Polega ona na pokrywaniu powierzchni badanego obiektu ciekłym barwnikiem (jest to mieszanina oleju z farbą).

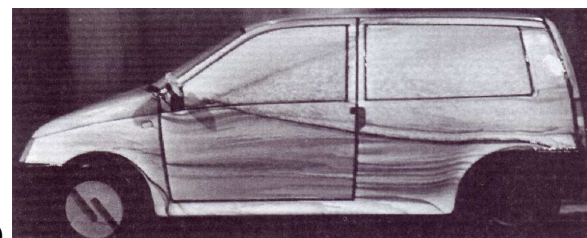
- wizualizacja tzw. wskaźnikami kierunku (może służyć do wizualizacji kierunku przepływu na powierzchni lub w przestrzeni ponad lub za modelem)



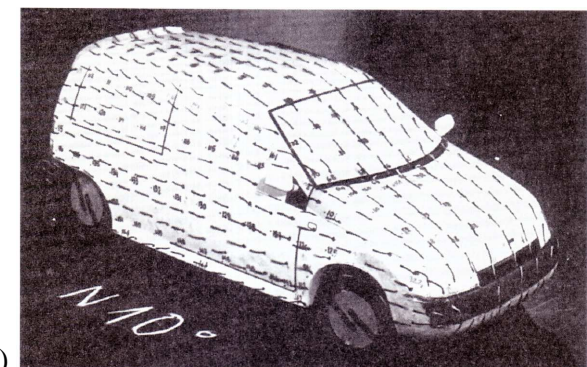
a)



b)



c)



d)

Rys. 6 Metody wizualizacji opływu nadwozia samochodowego

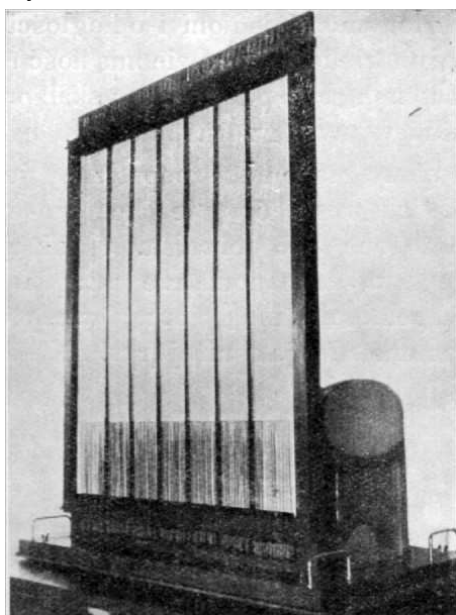
Wielokanałowy pomiar ciśnień

W celu dokonania pomiaru rozkładu ciśnień na modelu samochodu należy zaopatrzyć go w szereg otworków pomiarowych o małej średnicy (z reguły 0.3 – 0.5 mm) wykonanych tak, aby powierzchnia modelu pozostawała gładka. Następnie do każdego z otworków podłącza się cienki przewód elastyczny i wprowadza poza model (rys. 7).



Rys. 7 Model samochodu Polonez z podłączonymi przewodami elastycznymi

Aby dokonać równoczesnego pomiaru ciśnienia we wszystkich otworkach, model musi zostać podłączony do wielokanałowego manometru. Najprostszym rozwiązaniem stosowanym dawniej była bateria manometrów wodnych. Składała się ona z kilkudziesięciu rurek pionowych, podłączonych do wspólnego zbiornika z cieczą. Przykład takiej baterii pokazuje rysunek 8.



Rys. 8 Bateria manometrów wodnych

Zaletą stosowania baterii manometrów jest uniknięcie wzorcowania każdej z rurek z osobna. Wadą natomiast - długi czas odczytu. W celu wyeliminowania go stosuje się baterie z odczytem elektronicznym (rys. 9).



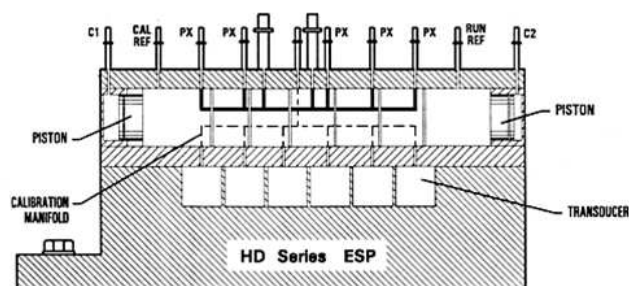
Rys. 9 Bateria manometrów wodnych z odczytem elektronicznym

W celu wyeliminowania dużych baterii manometrów stosuje się współcześnie zminiaturyzowane, wielokanałowe skanery ciśnienia (rys. 10). Mierzą one różnicę ciśnienia w stosunku do ciśnienia wzorcowego, którym może być ciśnienie atmosferyczne, ciśnienie otoczenia (np. podczas pomiaru samolotu na pewnej wysokości) albo jakieś inne ciśnienie.



Rys. 10 16- kanałowy miniaturowy skaner ciśnienia

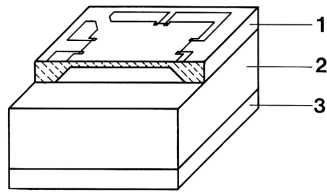
Każda rurka połączona jest z własnym piezorezystywnym przetwornikiem ciśnienia (rys. 11).



Rys. 11 Układ połączeń mechanicznych wewnątrz skanera

Dzięki specjalnemu tłokowi przesuwanemu wewnątrz obudowy skanera możliwa jest jednoczesna kalibracja wszystkich kanałów.

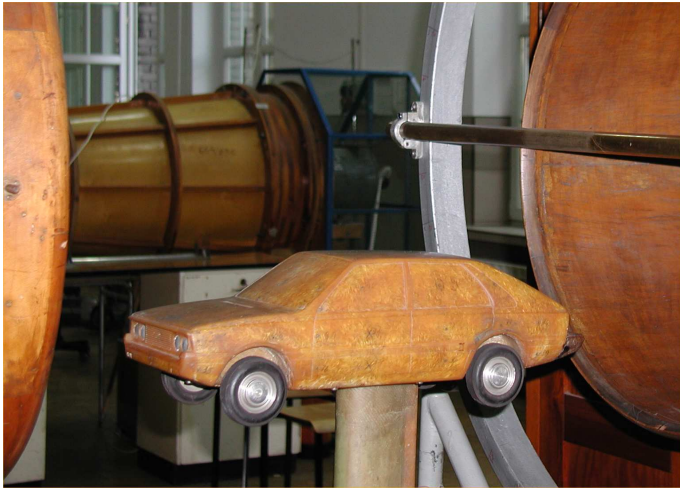
Pojedynczy przetwornik stanowi płytka krzemowa z rezystorami wytworzonym w jej powierzchni metodą implantacji jonów (rys. 12).



Rys. 12 Pojedynczy przetwornik ciśnienia

Stanowisko pomiarowe

Badania rozkładu ciśnień na modelu samochodu Polonez wykonywane zostaną w pionowym tunelu aerodynamicznym o średnicy przestrzeni pomiarowej $\varnothing=500$ mm (Rys. 13).



Rys. 13 Model samochodu Polonez podczas montażu w tunelu

Wszystkie otworki pomiarowe na modelu podłączone są poprzez przewody elastyczne z 64-ro kanałowym skanerem ciśnienia obsługiwany przez program komputerowy.