

Badanie opływu płata

Cel ćwiczenia

Wyznaczenie siły nośnej działającej na profil metoda pomiaru rozkładu ciśnień na profilu.

Wprowadzenie

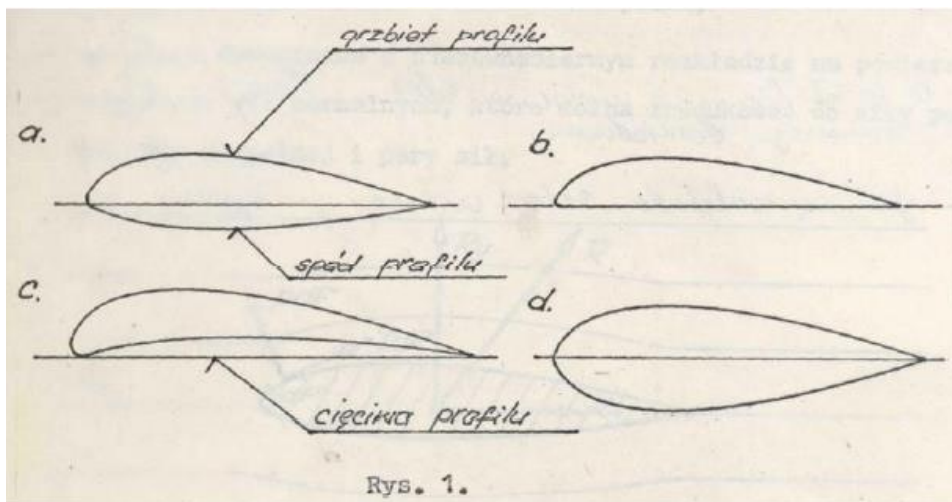
Pod względem aerodynamicznym ciała opływane płynami lepкими (rzeczywistymi) można podzielić na opływowe i nieopływowe. Podział ten wynika z różnic w obrazie opływu: ciała opływowe powodują tylko odchylenie linii prądu, natomiast ciała nieopływowe - odchylenie i oderwanie. Do ciał o kształtach opływowych należą bryły wydłużone (profile lotnicze, łopatki sprężarek i turbin, spoilery samochodowe, natomiast ciała nieopływowe mają kształt pogrubiony (walec, kula). Należy jednak pamiętać, że poprzeczne lub skośne ustawienie ciała opływowego w stosunku do kierunku przepływu powoduje wystąpienie oderwania warstwy przyściennej od jego powierzchni co jest charakterystyczne dla ciał nieopływowych.

Profile są to ciała opływowe, zapewniające dużą siłę nośną i stosunkowo mały opór przepływu. Ich kształt obliczany jest teoretycznie i korygowany doświadczalnie. Duże ośrodki badawcze (np. NASA) opracowują całe serie profilów o odpowiednio różniących się własnościach.

Ze względu na kształt profile można podzielić (rys. 1) na:

- a) dwuwypukłe
- b) płasko wypukłe
- c) wklęsło wypukłe

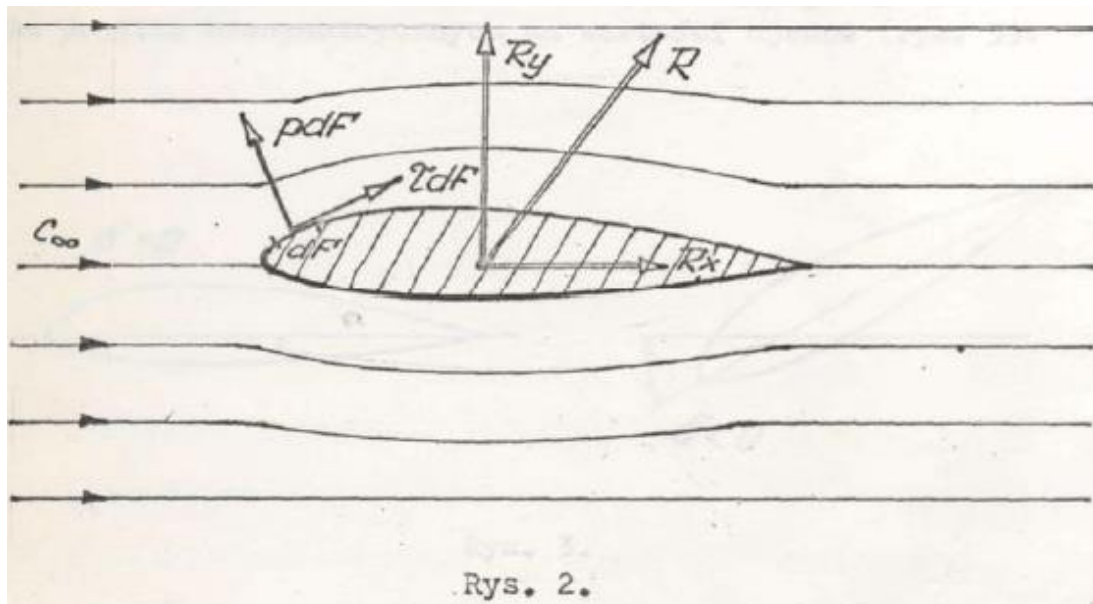
Szczególny przypadek profilu dwuwypukłego stanowi profil symetryczny d).



Mechanizm powstawania siły nośnej.

Umieszczenie ciała w jednorodnym przepływie płynu lepkiego (rys. 2) powoduje lokalne zakłócenie linii prądu. Elementy płynu dopływające do profilu ulegają rozdziłowieniu: część opływa stronę grzbietową, reszta stronę dolną. W ogólnym przypadku gdy profil ma kształt niesymetryczny (rys. 2) cząstki opływające grzbiet mają do przebycia dłuższą drogę niż cząstki poruszające się wzdłuż spodu (części dolnej). W konsekwencji płyn po stronie grzbietowej ma większą prędkość niż na spodzie profilu. W obszarze zakłóconym powstają więc pewne gradienty prędkości a na powierzchni ciała uformuje się pole ciśnień dynamicznych (wyższe na spodzie profilu). Wynikiem dynamicznego oddziaływania strumienia płynu lepkiego na ciało opływane jest siła R , której pochodzenie jest dwójakie:

- gradient prędkości i towarzyszące im naprężenia styczne wywołane lepkością dają siły powierzchniowe styczne
- ciśnienia dynamiczne o nierównomiernym rozkładzie na powierzchni dają zbiór sił normalnych, które można zredukować do siły powierzchniowej normalnej i pary sił.

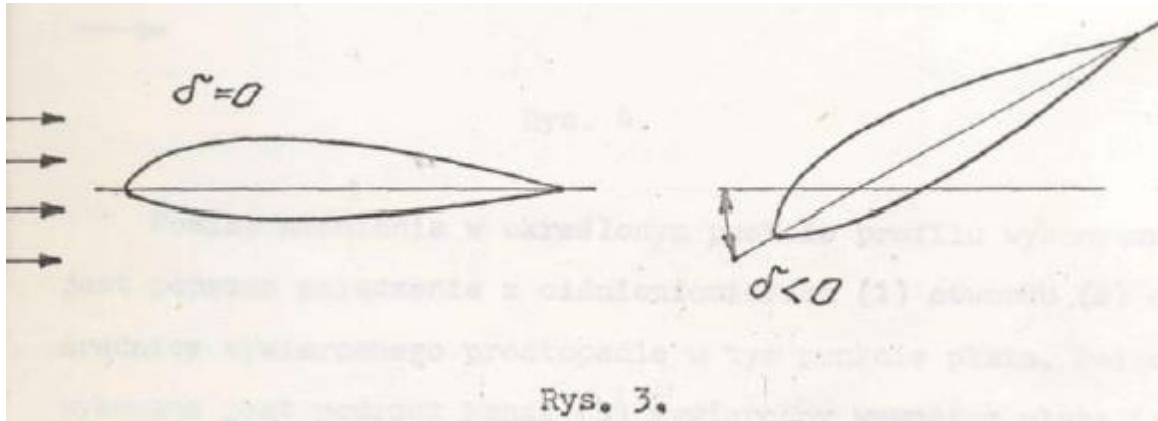


Siła R , będąca wypadkową obu wymienionych rodzajów sił może być rozłożona na dwie składowe:

- siła oporu R_x
- siła nośna R_y

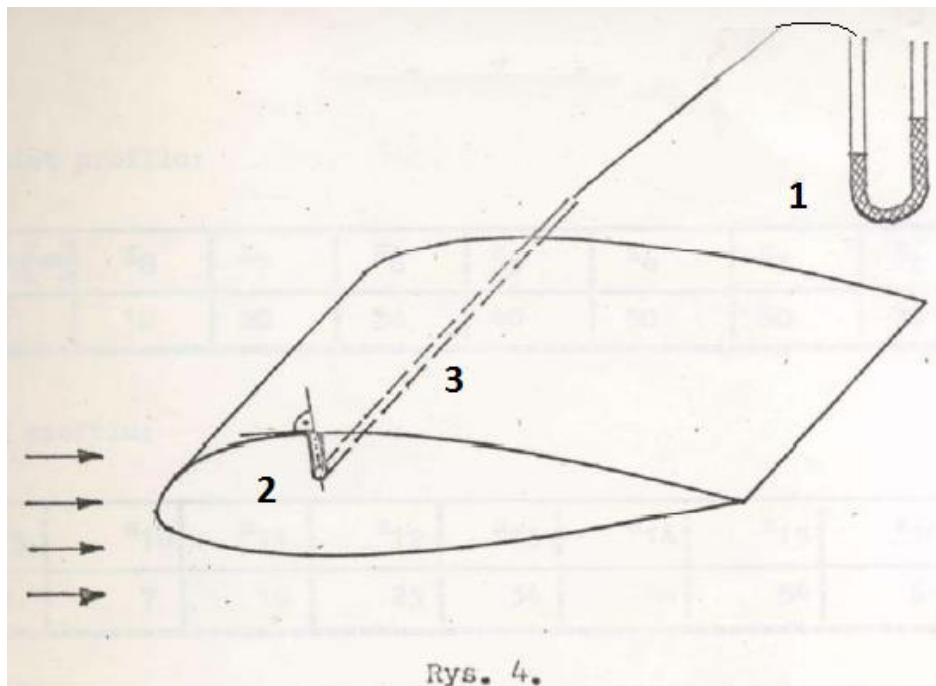
Zwrot i wartość siły nośnej zależy nie tylko od kształtu profilu, ale i od jego usytuowania w stosunku do przepływu niezakłóconego. Najczęściej profile kształtowane są tak, by siła nośna zwrócona była do góry. W szczególnych zastosowaniach (np. spoilery samochodowe) siła nośna ma zwrot ku dołowi dzięki czemu następuje dociążenie pojazdu. Każdy profil

opływowy (lotniczy) posiada tzw. kąt natarcia nośności zerowej δ_0 , przy którym siła nośna ma wartość równą zero oraz kąt krytyczny δ_{kr} , któremu odpowiada maksymalna wartość siły nośnej. Po przekroczeniu kąta δ_{kr} , warstwa przyścienna odrywa się od góry powierzchni profilu tuż za krawędzią natarcia, czemu towarzyszy szeroki obszar zaburzeń i gwałtowny spadek siły nośnej. Dla profilu symetrycznego kąt natarcia nośności zerowej jest równy 0° . Dla profili niesymetrycznych ma wartości ujemne (rys. 3).



Przebieg ćwiczenia.

Pomiar rozkładu ciśnień na profilu pozwala wyznaczyć jedynie część siły działającej na profil, a mianowicie siłę pochodzącą od naprężeń normalnych (ciśnień). Jest to główna część siły działającej na płat. Siła pochodząca od naprężeń stycznych wywołana lepkością płynu jest mniej istotna ponieważ jest w przybliżeniu skierowana wzdłuż cięciwy, a więc w kierunku w którym sztywność płata jest zazwyczaj największa. Pamiętając ponadto o tym, że profil jest to ciało opływowe o wysokim stopniu doskonałości aerodynamicznej (siła nośna jest bardzo duża w porównaniu z siłą oporu) można przyjąć, że poprzez pomiar rozkładu ciśnień wyznaczona zostaje z niedużym błędem jedynie siła nośna.



Pomiar ciśnienia w określonym punkcie profilu wykonywany jest poprzez manometr (1) połączony kanałem (3) (wywierconym wewnątrz płata) z otworem (2) gdzie pobierany jest impuls ciśnienia. Otwór (2) nawiercony jest prostopadle w stosunku do powierzchni płata (rys. 4).

Rozmieszczenie otworów pomiarowych w badanym profilu przedstawiono na rysunku 5. W tabelach 1 i 2 zachowano numerację otworów wykonaną na profilu wraz z ich odległościami od czoła płata.

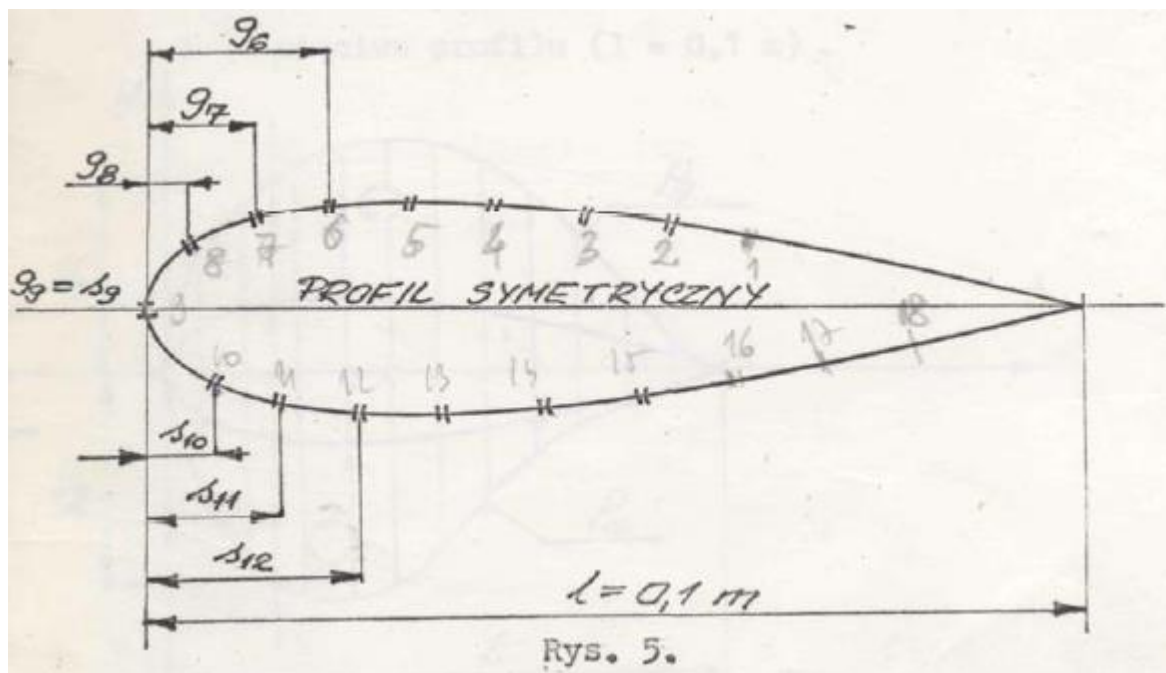


Tabela 1 - Grzbiet profilu

g ₉	g ₈	g ₇	g ₆	g ₅	g ₄	g ₃	g ₂	g ₁
0	10	20	30	40	50	60	70	80

Tabela 2 - Spód profilu

S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅	S ₁₆	S ₁₇	S ₁₈
0	7	16	25	34	44	54	64	74	86

Otwór czołowy nr 9 jest wspólny dla grzbietu i spodu profilu.

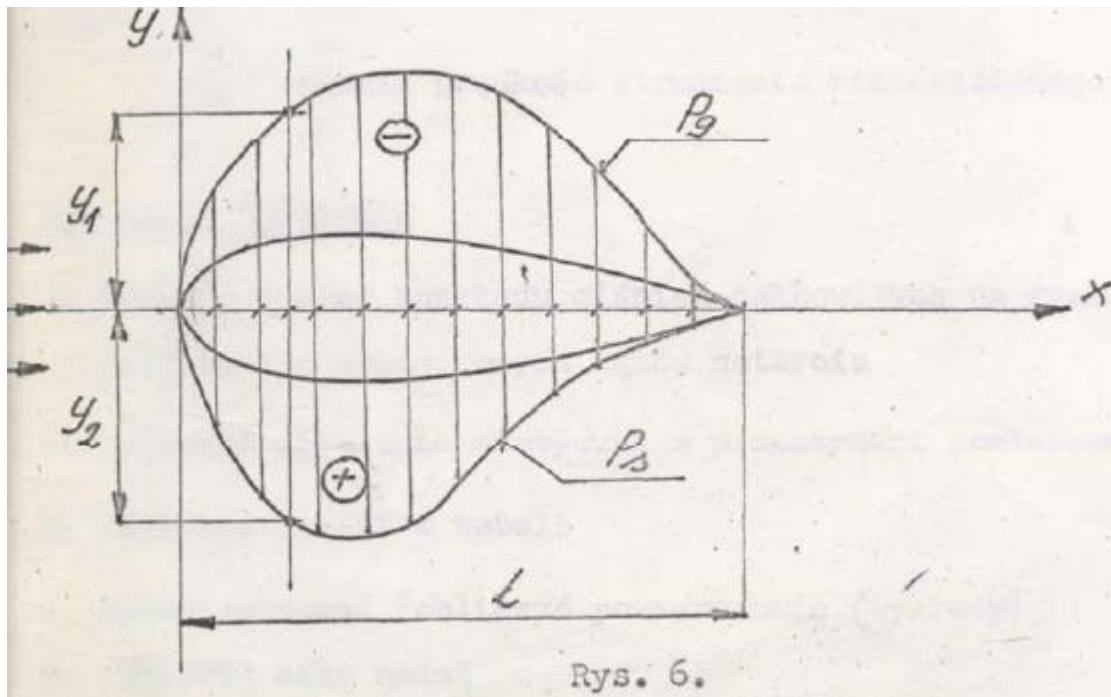
Znając rozkład ciśnień na profilu można obliczyć siłę nośną za pomocą wzoru:

$$F_y = b \cdot \int_0^l (p_s - p_g) \cdot dl$$

gdzie:

b = 0,113 [m] – długość profilu

l = 0,1 [m] – cięciwa profilu



Ciśnienie p_s i p_g należy traktować z uwzględnieniem znaku, a więc, w wypadku rozkładu ciśnień jak na rysunku 6 różnica $p_s - p_g$ oznacza sumę rzędnych:

$$y_1 + y_2$$

Całkę wyznacza się planimetrując wykres. Znając wartość siły nośnej:

$$R_y = C_y \cdot \rho \cdot \frac{C_\infty^2}{2} \cdot b \cdot l$$

Można obliczyć współczynnik siły nośnej:

$$C_y = \frac{2}{\rho} \cdot \frac{1}{C_\infty^2} \cdot \frac{1}{b \cdot l} \cdot R_y$$

Współczynnik C_y dla określonego kształtu profilu zależy od kąta natarcia δ . W oparciu o jego wartość (dla stałego δ) można wyznaczyć siłę nośną dla innych wartości ρ i C_∞ .

gdzie:

C_∞ - oznacza prędkość strumienia niezakłóconego

Wykonanie ćwiczenia

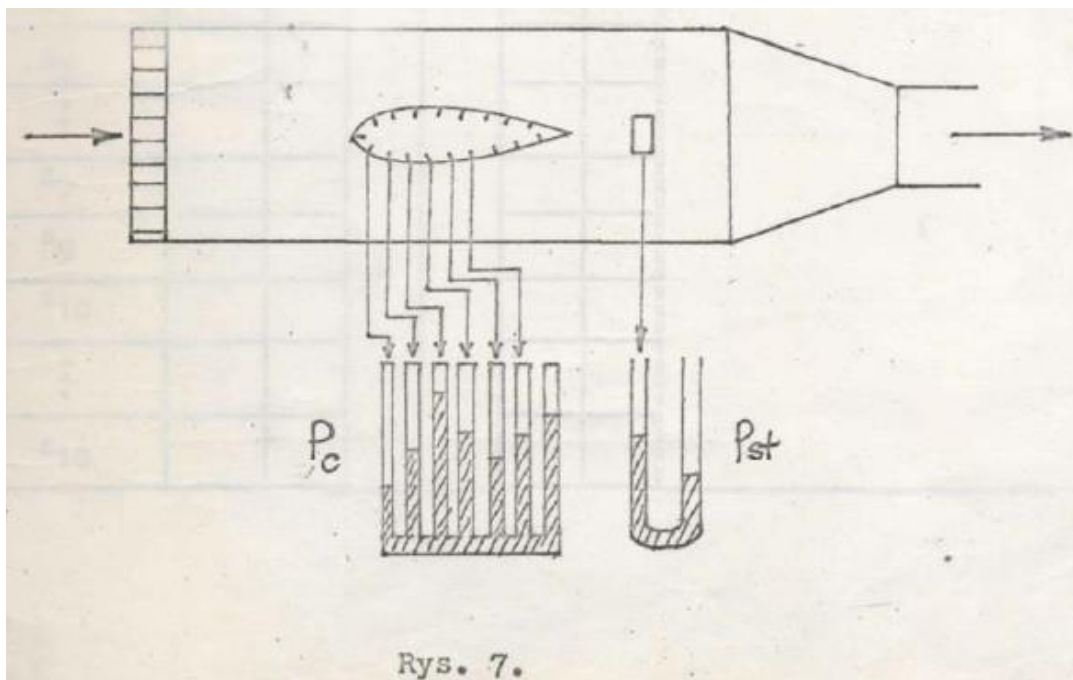
1. Wykonać pomiar rozkładu ciśnień całkowitych na grzbiecie i spodzie profilu dla wyznaczonych kątów natarcia.
2. Zmierzyć ciśnienie statyczne w przestrzeni pomiarowej
3. Zestawić wyniki w tabeli
4. Wykonać wykresy jak na rysunku 6 i splanimetrować (obliczyć) ich powierzchnie
5. Obliczyć siłę nośną
6. Wyznaczyć współczynnik siły nośnej w funkcji kąta natarcia
7. Zmieniając wartość C_∞ (czyli zmieniając liczbę Re) powtórzyć czynności 1 – 6
8. Dołączyć własne spostrzeżenia uwagi i wnioski

Schemat stanowiska pomiarowego.

Na rysunku 7 przedstawiono schematycznie stanowisko pomiarowe. Przez kanał o przekroju prostokątnym przepływa powietrze odsysane przez wentylator. Zmianę kąta natarcia badanego profilu wykonuje się przy pomocy obrotowej głowicy. Otworki pomiarowe połączone są z manometrami bateryjnymi.

Uwaga

Jako prędkość C_∞ należy przyjąć prędkość zmierzoną przy pomocy otworu nr 9 umieszczonego w krawędzi natarcia przy zerowym kącie natarcia.



czyli:

$$C_\infty = \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{P_{d9}}$$

gdzie:

$$\rho = \rho_n \cdot \frac{(p - \varphi \cdot p_n) \cdot T_n}{p_n \cdot T} + \varphi \cdot \rho_n$$

$$P_n = 10^5 \text{ [Pa]}$$

$$T_n = 273 \text{ [K]}$$

$$\rho_n = 1.276 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Tabela 3 – pomiary i wyniki

$C_{\infty} = \dots [m/s]$						
Numer otworu	$\delta = \dots^{\circ}$					$\delta = \dots^{\circ}$
	p_c		p_{st}		p_d	
	[mm]	[Pa]	[mm]	[Pa]	[mm]	[Pa]
g ₁						
g ₂						
g ₃						
g ₄						
g ₅						
g ₆						
g ₇						
g ₈						
g ₉						
S ₉						
S ₁₀						
S ₁₁						
S ₁₂						
S ₁₃						
S ₁₄						
S ₁₅						
S ₁₆						
S ₁₇						
S ₁₈						

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Schemat stanowiska pomiarowego.
2. Zwymiarowany schemat badanego płata.
3. Tabelę pomiarów i wyników.
4. Rozkłady ciśnień (na papierze milimetrowym).
5. Wartość siły nośnej i jej współczynnika.
6. Uwagi i spostrzeżenia.

Literatura

1. Mieczysław Litwińczyk "Ćwiczenia laboratoryjne z mechaniki płynów"
Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1991.
2. Janusz Walczak "Inżynierska mechanika płynów" Wydawnictwo Politechniki
Poznańskiej, Poznań 2006.