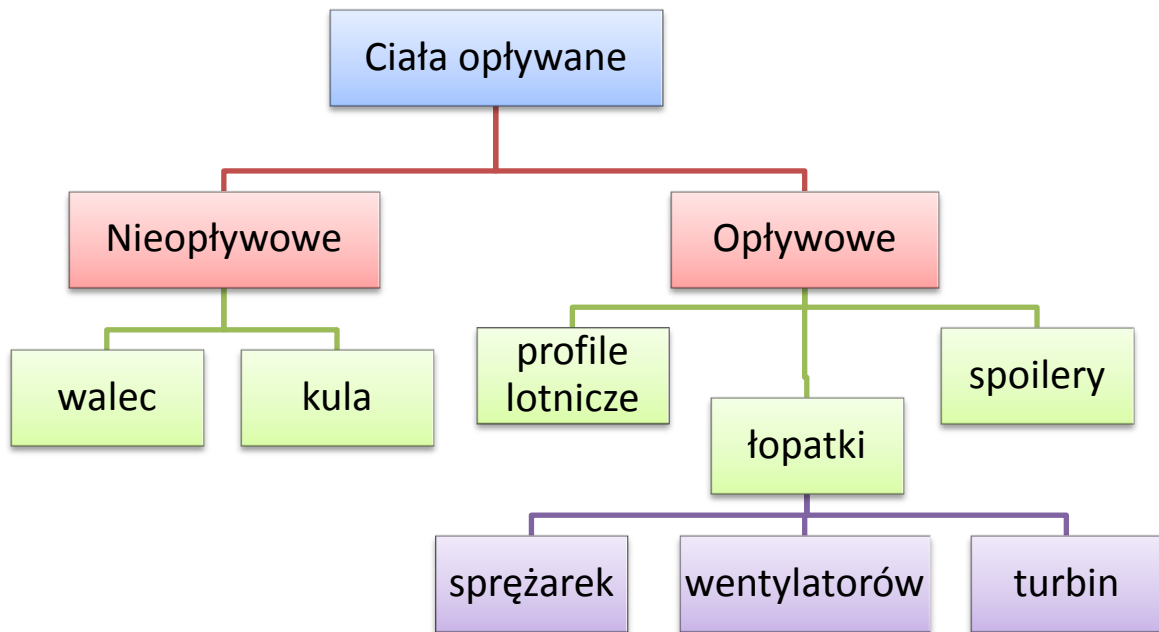
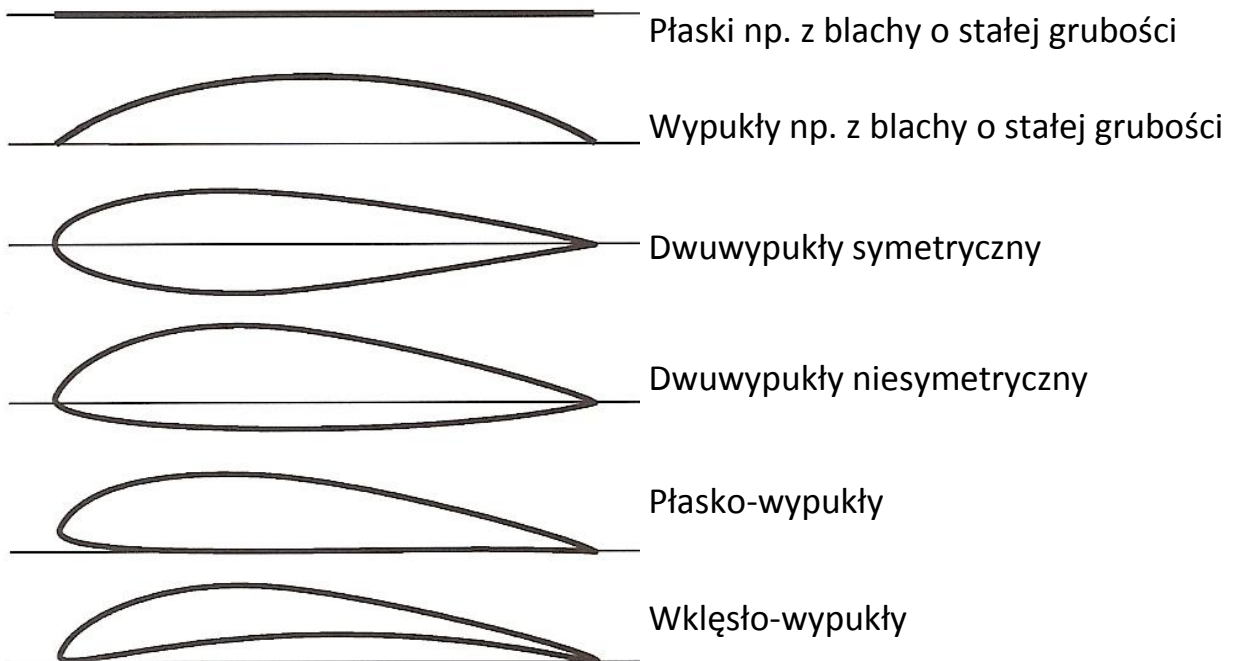


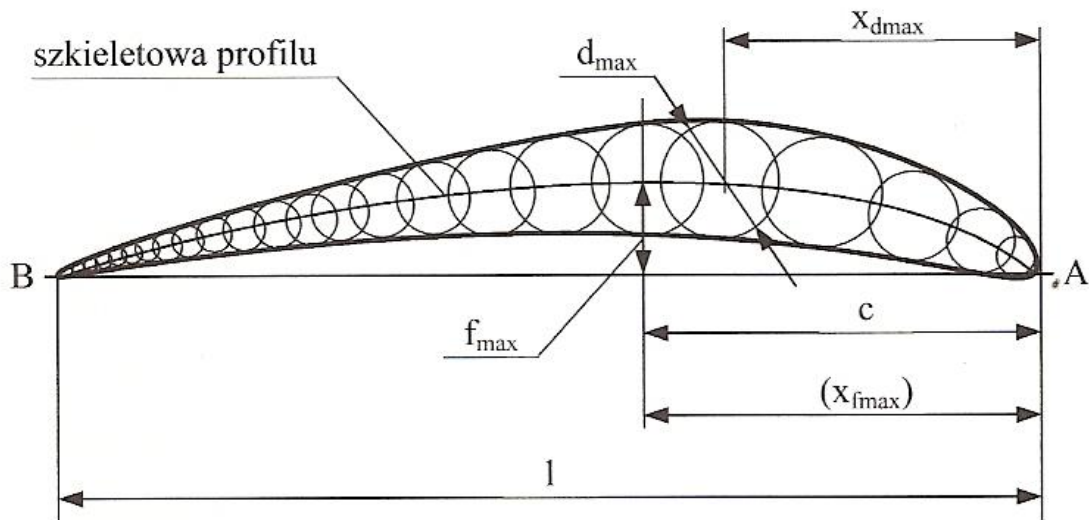
# OPŁYW PROFILU



**Rys. 1.** Podział ciał opływanych pod względem aerodynamicznym



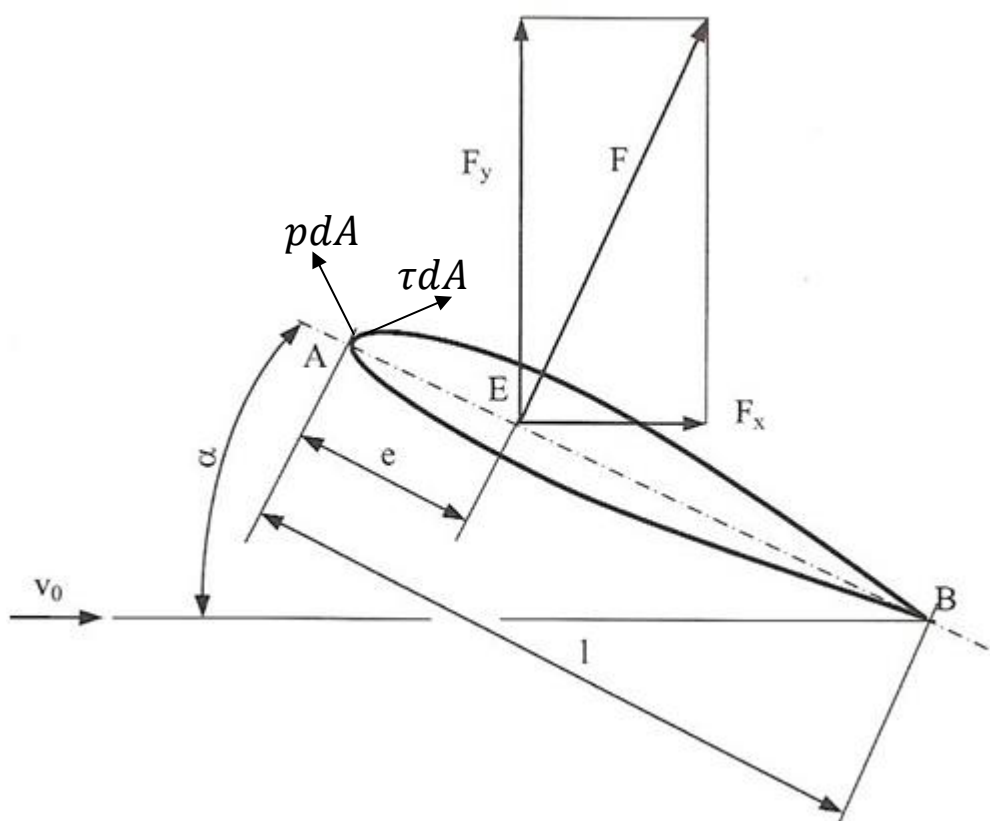
**Rys.2.** Różne kształty profili lotniczych, łopatek maszyn przepływowych i spoilerów



**Rys.3.** Charakterystyczne wymiary profilu

**Z geometrią profilu wiążą się następujące pojęcia:**

- profil aerodynamiczny – przekrój poprzeczny skrzydła (płata),
- długość płata  $L$ ,
- cięciwa profilu  $l$  – prosta łącząca punkty A i B,
- powierzchnia charakterystyczna skrzydła –  $A = L \cdot l$ ,
- obrys płata – jego kształt w rzucie na płaszczyznę cięcia,
- krawędź wlotowa A (krawędź natarcia, nosek),
- krawędź splotu B (ostrze),
- górna część profilu – wierzch profilu,
- dolna część profilu – spód profilu,
- szkieletowa profilu – miejsce geometryczne środków kół wpisanych w obrys profilu,
- grubość profilu  $g = d_{max}$  – średnica największego koła wpisanego w obrys profilu,
- $x_{dmax}$  – położenie maksymalnej grubości,
- $f_{max}$  – maksymalna strzałka ugięcia szkieletowej,
- $c = x_{fmax}$  – położenie maksymalnej strzałki.



**Rys.4.** Wypadkowa sił aerodynamicznych i środek parcia E

**Siły działające na profil opływany płynem rzeczywistym:**

1. Siły tarcia  $\tau dA$  (styczne) pochodzące od naprężeniami stycznych wywołanych lepkością płynu,
2. Siły normalne  $p dA$  pochodzące od nierównomiernego rozkładu ciśnienia na profilu.

$$\vec{F} = \iint_0^A \vec{\tau} dA + \iint_0^A \vec{p} dA$$

Wypadkową siłę aerodynamiczną  $F$  będącą konsekwencją wymienionych rodzajów sił rozkładamy na dwie składowe prostopadłe:

1. Siłę oporu  $F_x$
2. Siłę nośną  $F_y$

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$$

Siłę oporu aerodynamicznego  $F_x$  liczymy ze wzoru:

$$F_x = \frac{1}{2} \rho_0 v_0^2 A c_x$$

$c_x$  - współczynnik oporu aerodynamicznego

$$c_x = f_1(\text{geometry}, \alpha, Re, M)$$

Siłę nośną  $F_y$  liczymy ze wzoru:

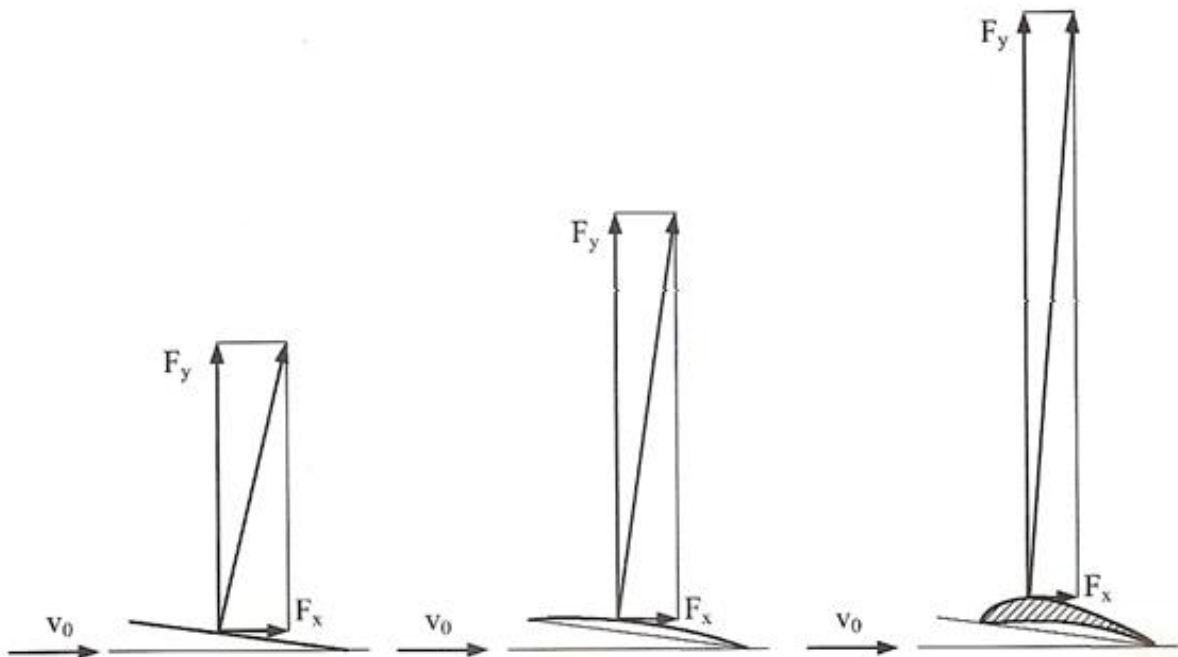
$$F_y = \frac{1}{2} \rho_0 v_0^2 A c_y$$

$c_y$  - współczynnik siły nośnej

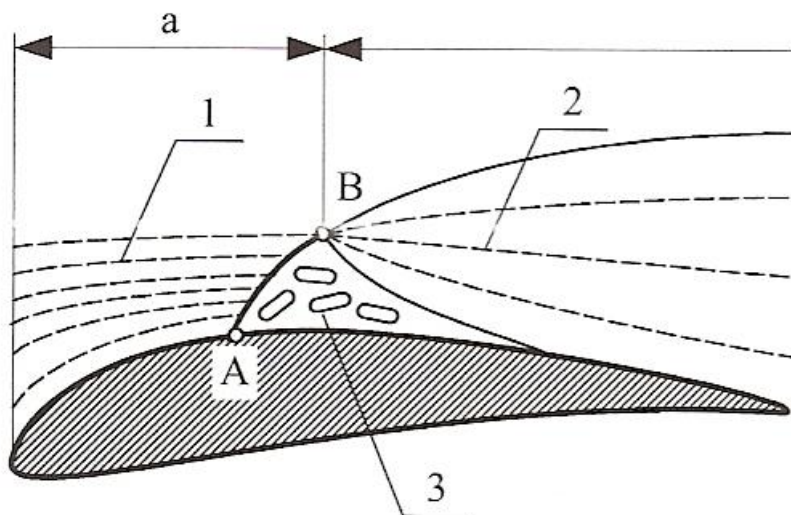
$$c_y = f_2(\text{geometry}, \alpha, Re, M)$$

Współczynnik doskonałości aerodynamicznej:

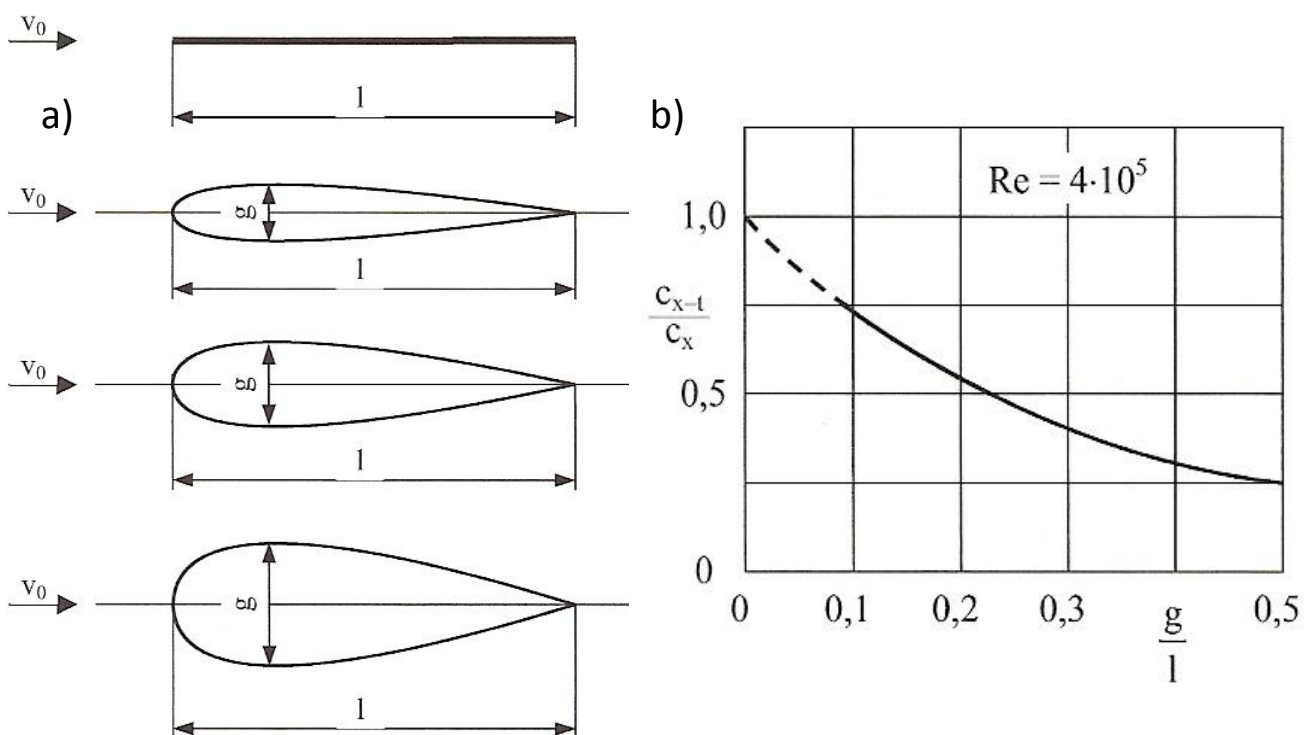
$$k = \frac{c_y}{c_x} = \frac{F_y}{F_x}$$



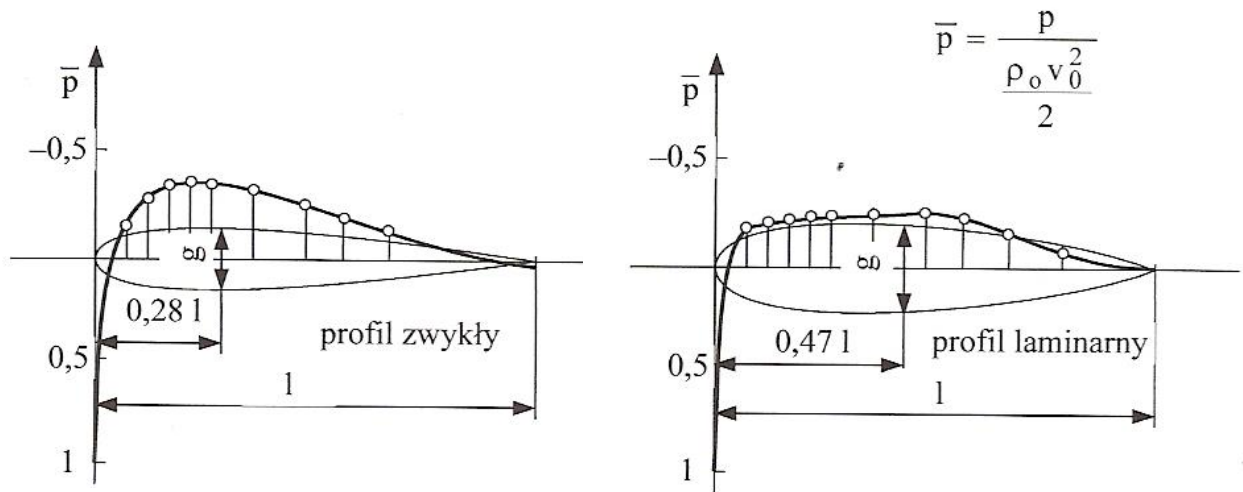
**Rys.5.** Zależność siły nośnej oraz oporu od kształtu profilu



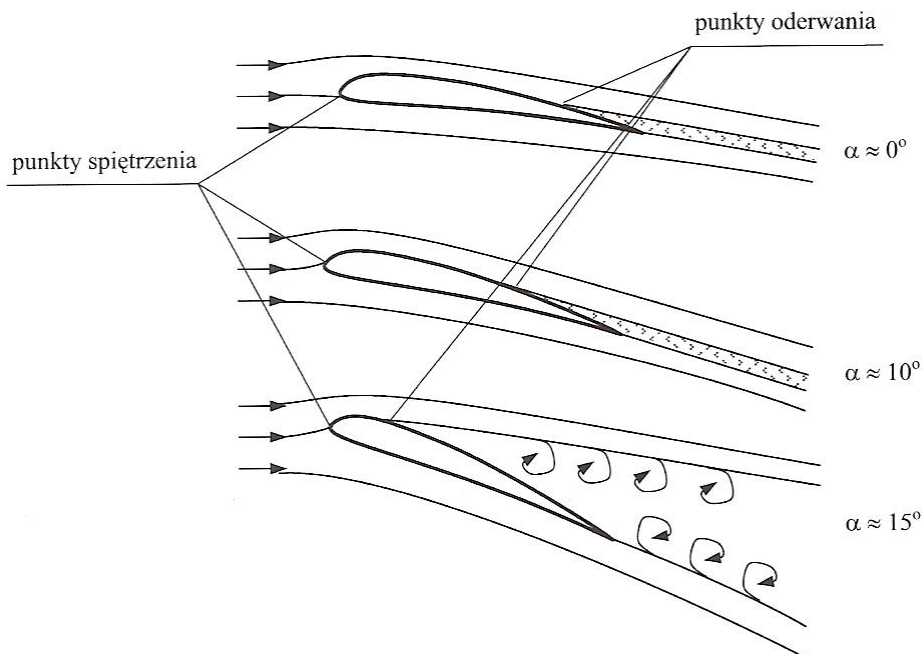
**Rys.6.** Optyw górnej strony profilu: 1 – laminarna warstwa przyścienna, 2 – turbulenta warstwa przyścienna, 3 – pęcherz oderwania laminarnego, A – początek oderwania laminarnego, B – przejście warstwy laminarnej w turbulentną.



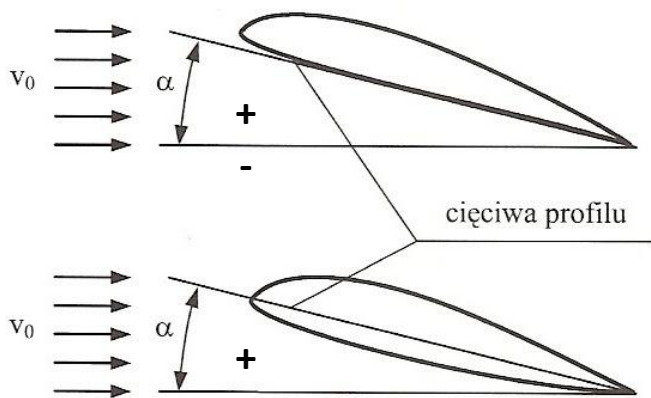
**Rys.7.** a) profile symetryczne o różnych grubościach, udział oporów tarcia  $c_{x-t}$  w ogólnym oporze profilowym  $c_x$  w funkcji grubości względnej



**Rys.8.** Rozkład ciśnienia na profilu zwykłym i laminarnym



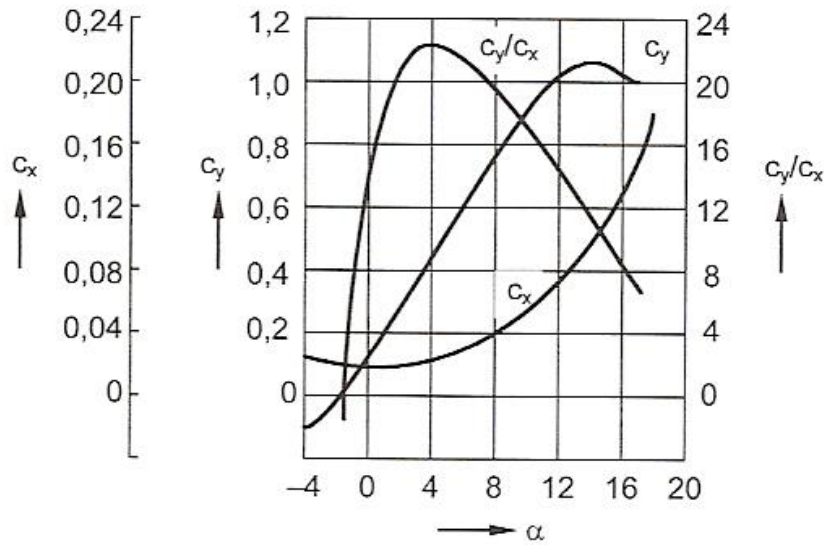
**Rys.9.** Obraz opływu profilu przy różnych kątach napływu



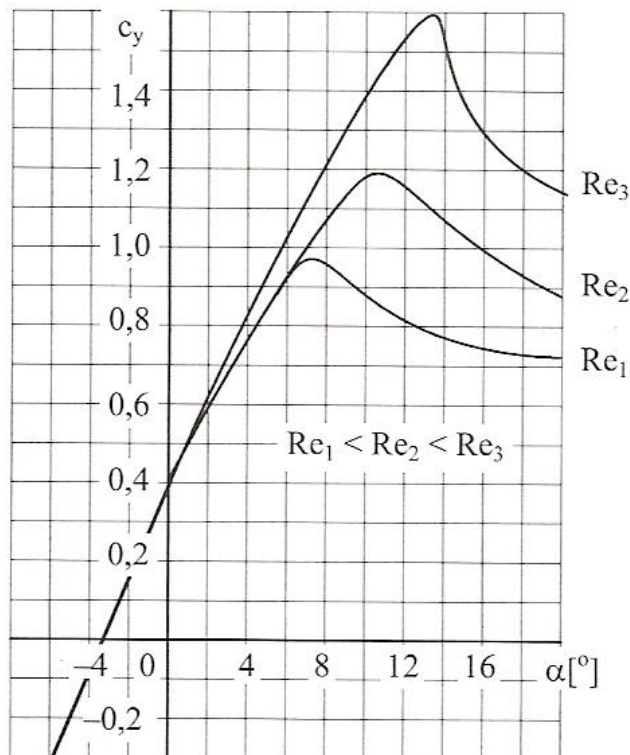
**Kąt krytyczny  $\alpha_{kr}$**  - kąt dla którego siła nośna ma wartość maksymalną

**Kąt nośności zerowej  $\alpha_0$**  - kąt dla którego siła nośna ma wartość równą zero

**Rys.10.** Określenie kąta natarcia na profil



**Rys.11.** Charakterystyka przykładowego profilu aerodynamicznego, zależność  $c_x$  i  $c_y$  od kąta natarcia, przy stałej liczbie  $Re$  i  $M$



**Rys.11.** Wpływ liczby Reynoldsa na przebieg  $c_y = f(\alpha)$

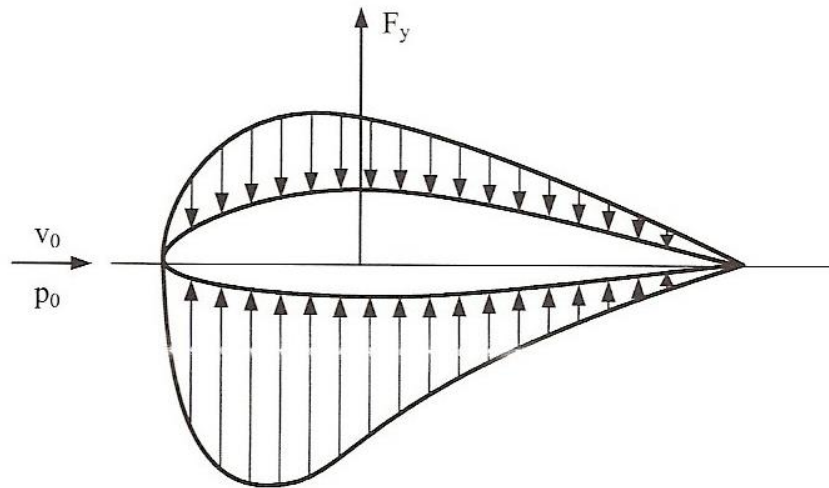
**Wpływ liczby Macha** uwidacznia się przy  $M=0,8$  dla profili cienkich i  $M=0,7$  dla profili grubszych. Przy tych wartościach mogą wystąpić lokalnie przekroczenia dźwięku oraz fale uderzeniowe, co powoduje zwiększenie siły oporu aerodynamicznego.

## POWSTAWANIE SIŁY NOŚNEJ

Równanie Bernoulliego:

$$\frac{1}{2} \rho_0 v_0^2 + p = \text{const.}$$

Jeśli górna część profilu jest bardziej wypukła niż dolna, to prędkości nad profilem będą większe, a ciśnienia mniejsze niż na dolnej części profilu.



**Rys.12.** Składowa pionowa parcia od ciśnienia na dolnej i górnej części profilu niesymetrycznego

Wartość siły nośnej możemy obliczyć z twierdzenia Kutty – Żukowskiego:

*Jeżeli opływ wokół profilu o dowolnym kształcie jest cyrkulacyjny, to na ten profil działa siła nośna. Jest ona proporcjonalna do gęstości płynu, prędkości przepływu niezakłóconego i cyrkulacji po konturze K otaczającym profil. Kierunek i zwrot siły nośnej wyznaczony jest przez wektor  $v_0$  obrócony o kąt prosty przeciwnie do kierunku cyrkulacji.*

$$F_y = \rho_0 v_0 \Gamma$$

gdzie cyrkulacja wynosi:

$$\Gamma = \oint_K \vec{v} d\vec{s}$$