

Procesy wewnętrzne w turbinowym silniku odrzutowym

Dr inż. Robert JAKUBOWSKI

Analiza zespołów silnika

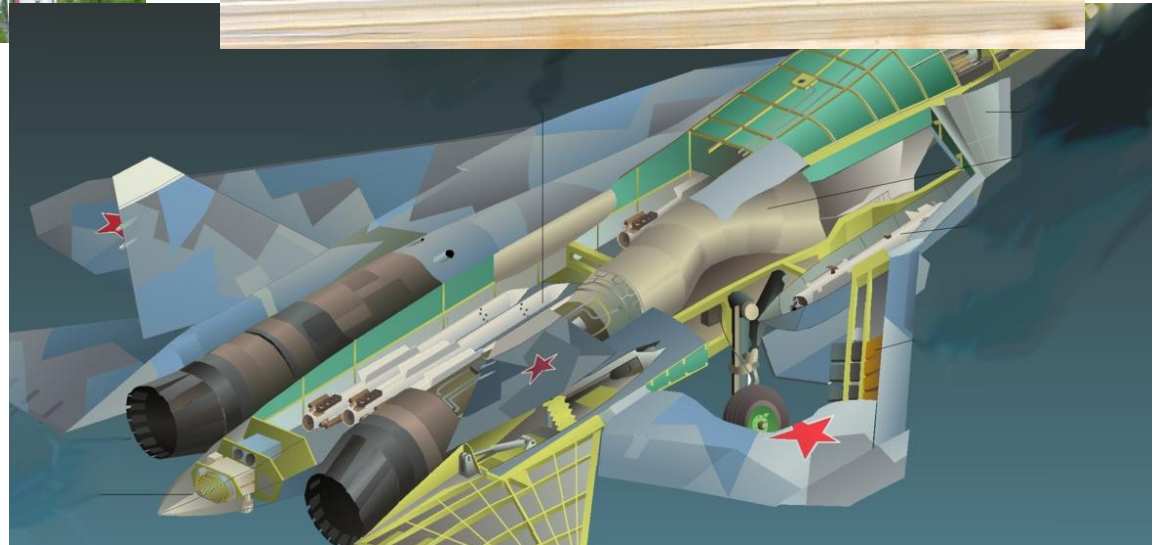
WLOT

Wlot silnika

- Jest elementem integrującym silnik z płatowcem
 - Jest elementem silnika
 - Jest elementem gondoli silnikowej
 - Jest elementem płatowca

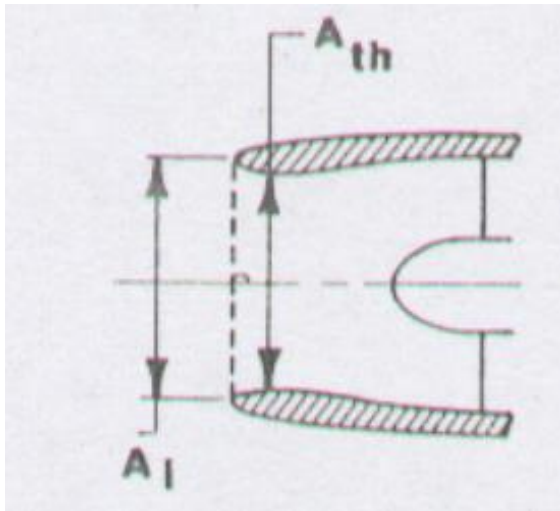
Jego zadaniem jest dostarczenie odpowiedniej ilości powietrza do silnika z możliwie małymi stratami przepływowymi, o określonym profilu prędkości, oraz w przypadku warunków przelotowych także jego wstępne sprężenie.

Wloty silników lotniczych



Podział wlotów ze względu na prędkość przelotową aparatów latających

WLOTY PODDŹWIEKOWE



Pole powierzchni wlotu - równanie ciągłości

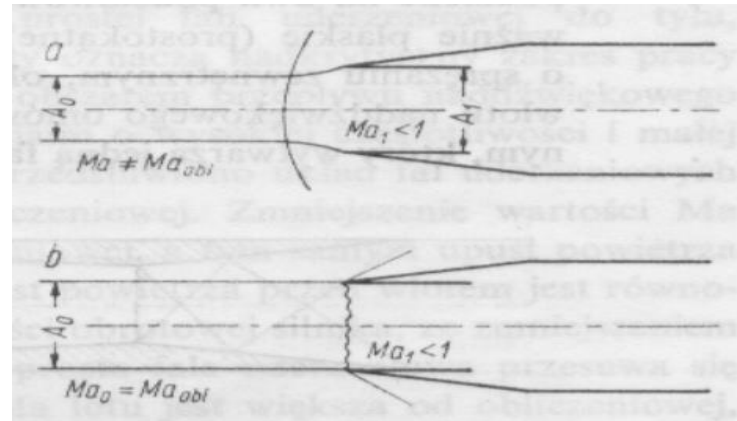
$$A = \frac{\dot{m}}{\rho c}$$

- A - Pole powierzchni wlotu
- \dot{m} - Wydatek masowy powietrza we wlocie
- ρ - Gęstość powietrza we wlocie
- c - Prędkość powietrza we wlocie



Wloty naddźwiękowe

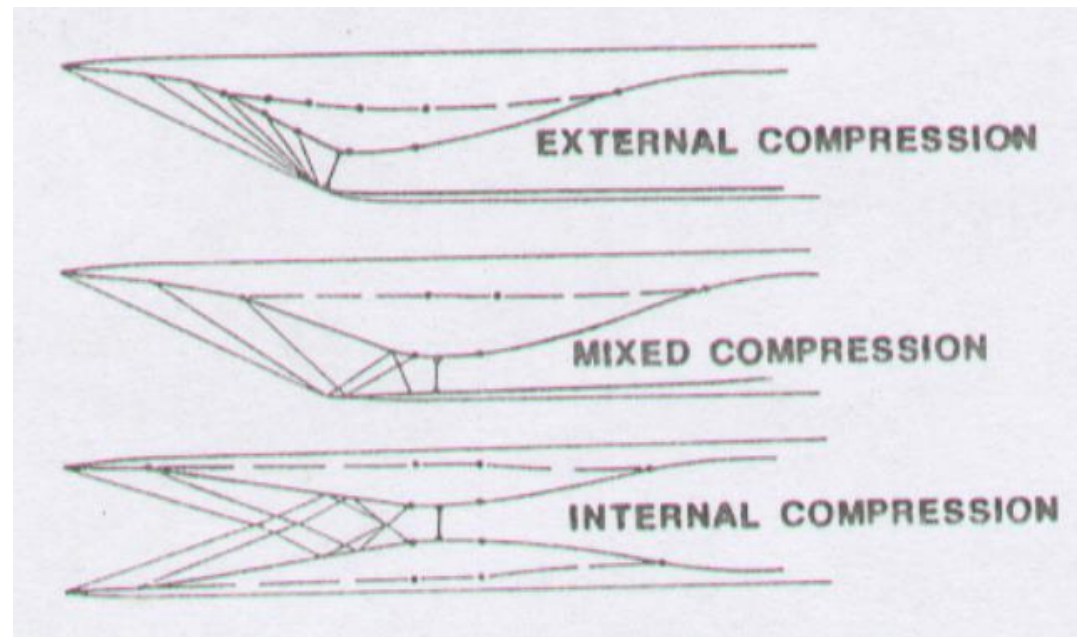
W zakresie niedużych prędkości naddźwiękowych



O sprężaniu zewnętrznym

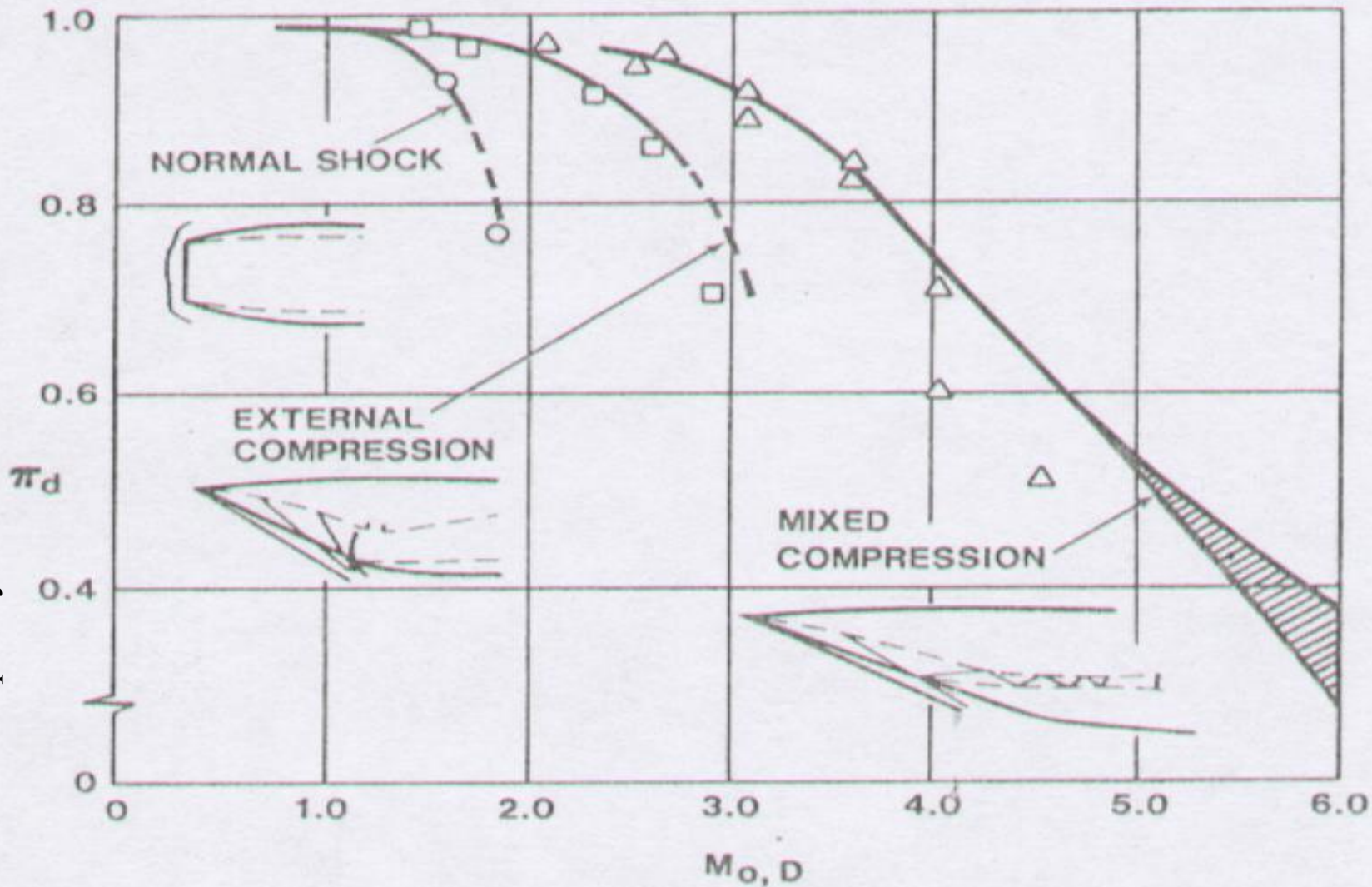
O sprężaniu mieszanym

O sprężaniu wewnętrznym

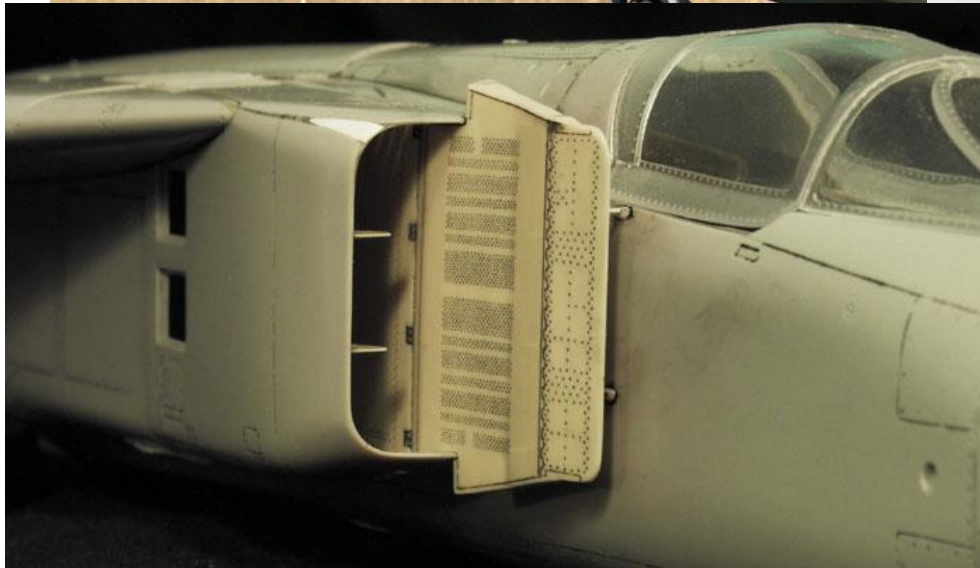


Wloty naddźwiękowe

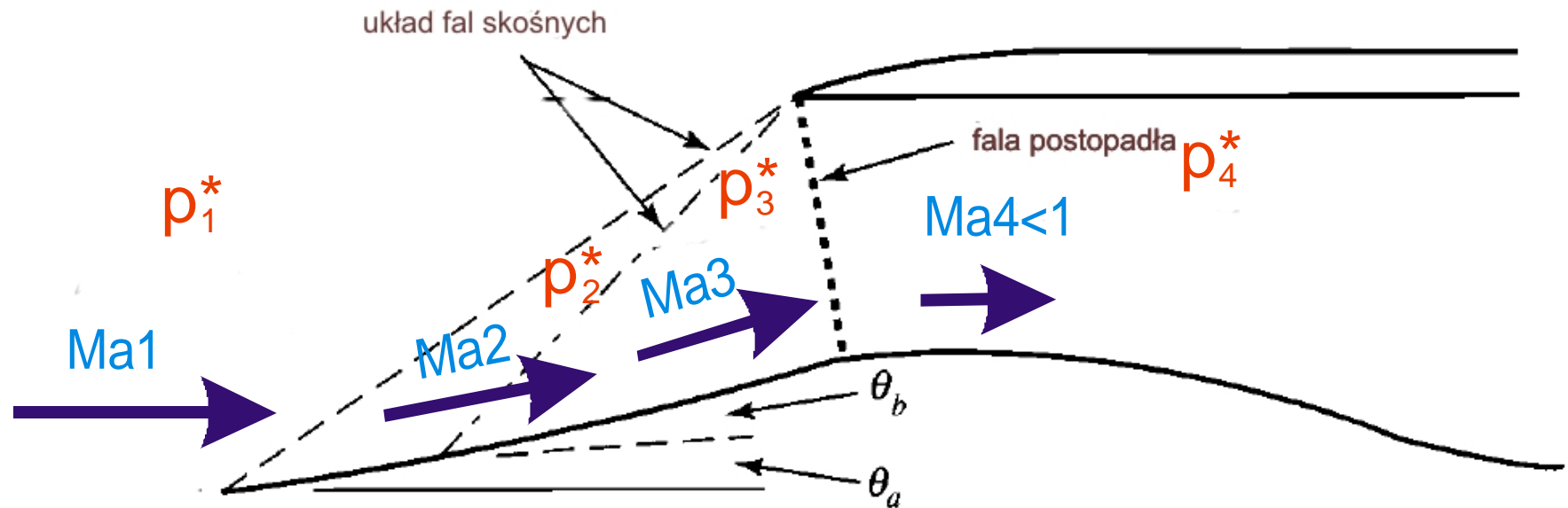
Współczynnik strat we wlocie



Przykłady wlotów naddźwiękowych



Zasada pracy wlotu naddźwiękowego



$$p_1^* = p_H \left(1 + \frac{k-1}{2} Ma_1^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

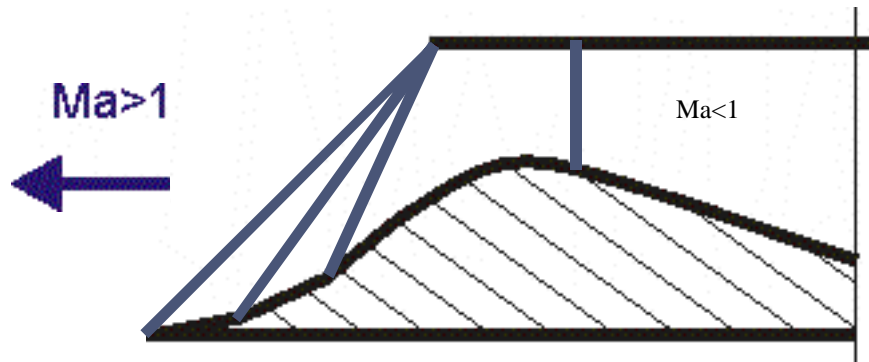
$Ma_1 > Ma_2 > Ma_3 > 1 > Ma_4$ - wyhamowanie strumienia w układzie fal uderzeniowych

$p_1^* > p_2^* > p_3^* > p_4^*$ - straty ciśnienia całkowitego na falach

$p_1 < p_2 < p_3 < p_4$ - przyrost ciśnienia statycznego

Praca wlotu przy dużej prędkości naddźwiękowej

WLOT SILNIKA NADDŹWIĘKOWEGO



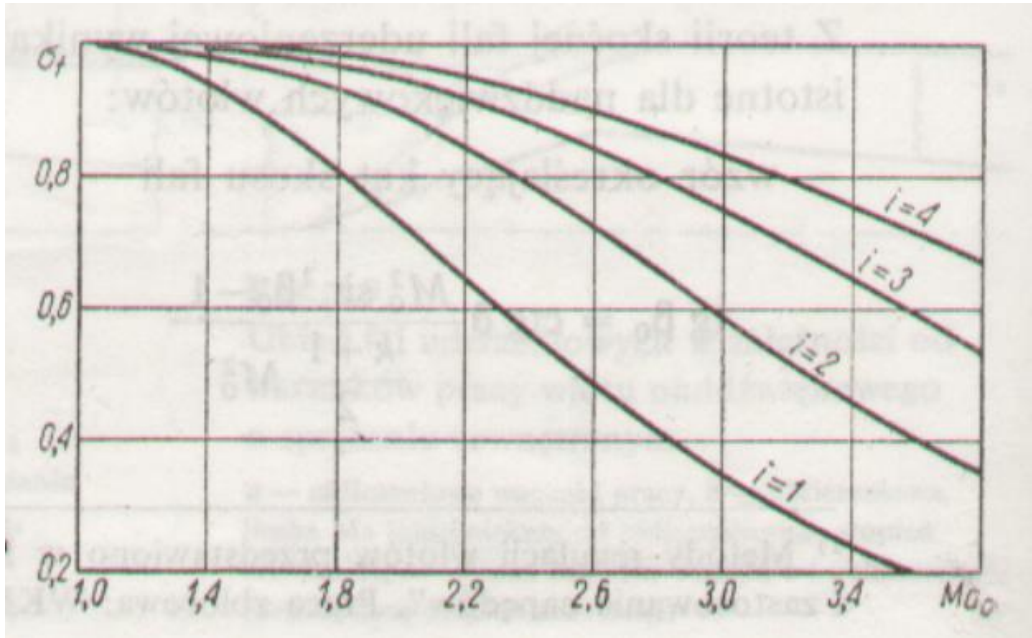
Spręż dynamiczny idealny

$$\pi_{dyn} = \frac{p_H^*}{p_H} = \left(1 + \frac{k-1}{2} Ma^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Przyrost ciśnienia we wlocie

$$\frac{p_1^*}{p_H} = \sigma_{WL}^* \cdot \pi_{dyn} = \sigma_{KAN_WL}^* \cdot \sigma_{fal}^* \cdot \pi_{dyn} \quad \sigma_{fal}^* = f(M_2 / M_1, \Theta)$$

Wpływ prędkości lotu na starty we wlocie



Prędkość lotu Ma	Spręż dynamiczny		
	idealny	$i=1$	$i=3$
1	1,89	1,89	1,89
1,5	3,67	3,41	3,63
2	7,82	5,47	7,43
2,5	17,09	8,55	15,04
3	36,73	12,86	27,55

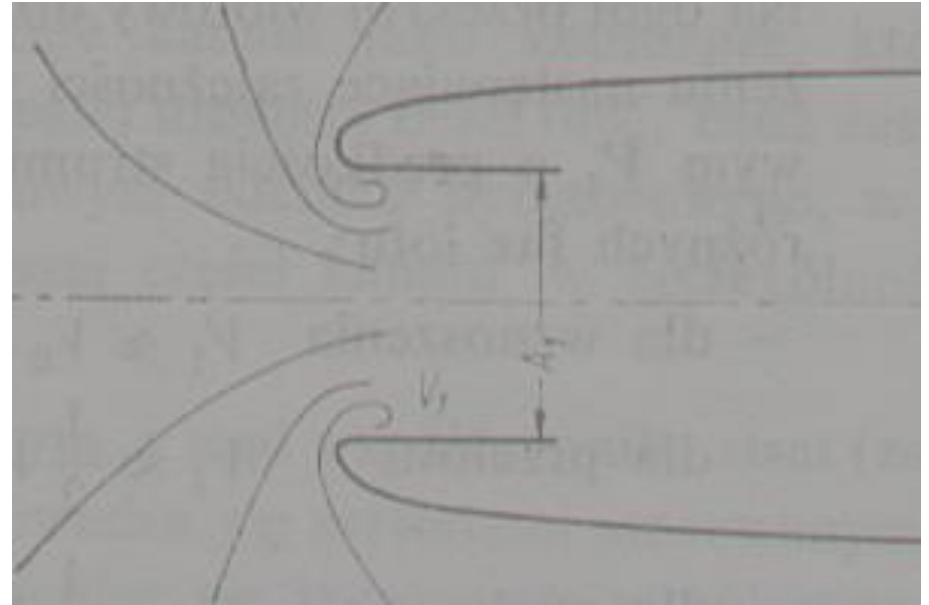
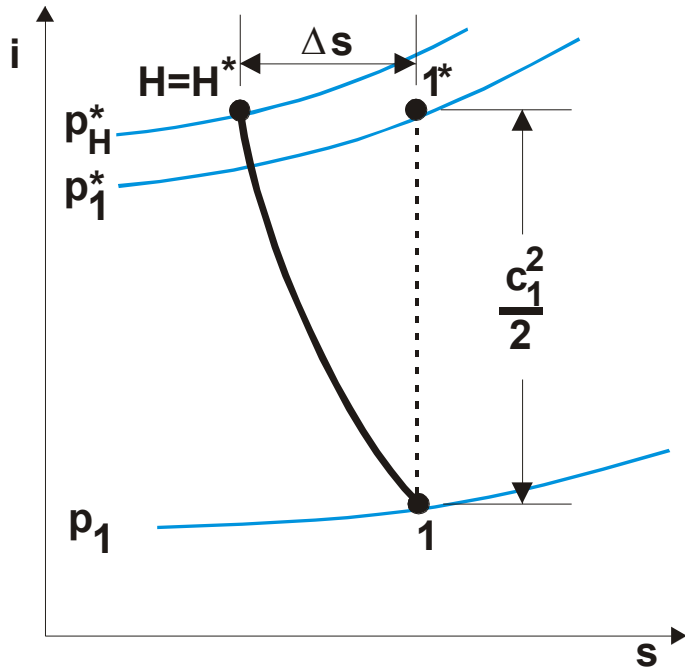
Zależność współczynnika strat falowych od prędkości lotu i liczby fal uderzeniowych i prędkości lotu [1]

WLOT

- Ze względu na pracę wlotu można wyróżnić
 - Pracę z prędkością lotu mniejszą do prędkości strumienia powietrza w gardzieli wlotu
 - Pracę z prędkości lotu równą prędkości strumienia we wlocie
 - Pracę z prędkością lotu większą od prędkości strumienia we wlocie

Wlot - praca w warunkach statycznych

DLA PRĘDKOŚCI LOTU 0



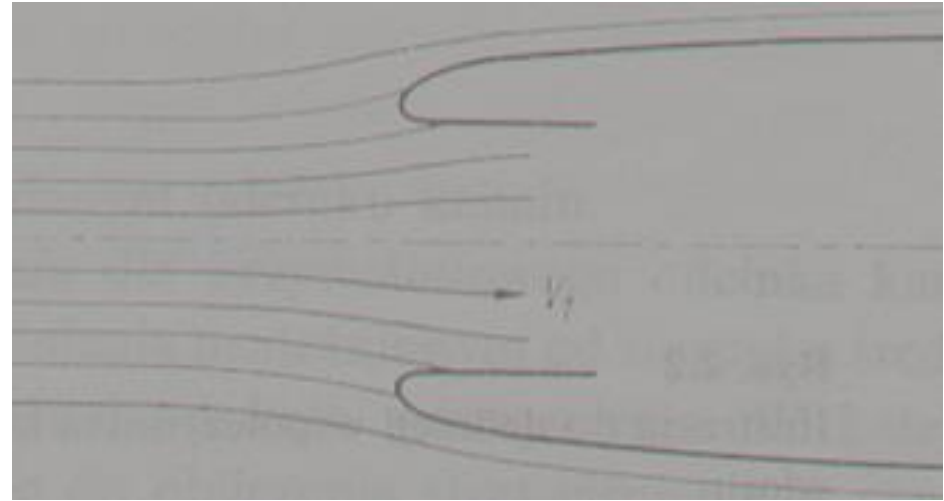
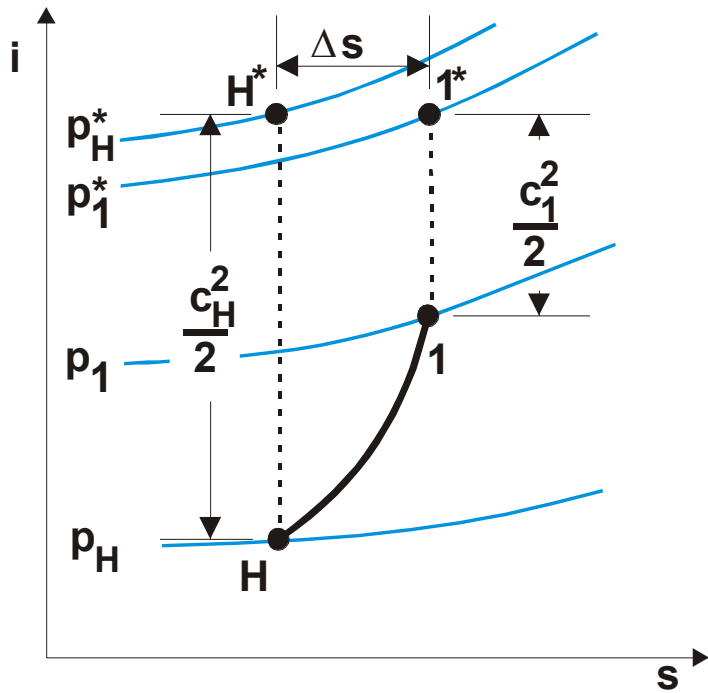
Zmiana entalpii we wlocie

$$i_1^* = i_H^* = c_p \cdot T_H^*$$

$$T_1^* = T_H^*$$

Wlot - praca w warunkach przelotowych przy prędkości lotu większej od obliczeniowej

DLA WARUNKÓW PRZELOTOWYCH



Parametry charakteryzujące pracę wlotu

Współczynnik siły oporu dodatkowego wlotu:

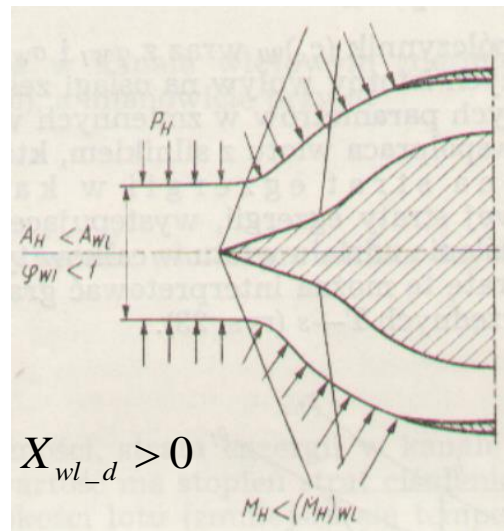
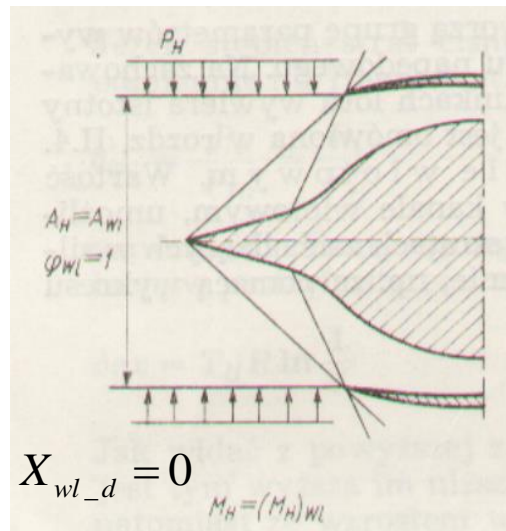
$$C_{X_{wl_d}} = \frac{2X_{wl_d}}{\rho_H A_{wl} V_H^2}$$

$$X_{wl_d} = \int_{A_H}^{A_{wl}} (p - p_H) dA$$

Siła oporów tarcia gondoli: X_T

Ciąg efektywny:

$$K_e = K - X_{wl_d} - X_T$$



Stopień przewężenia strumienia we wlocie:

$$\phi_{wl_d} = A_{wl} / A_H$$

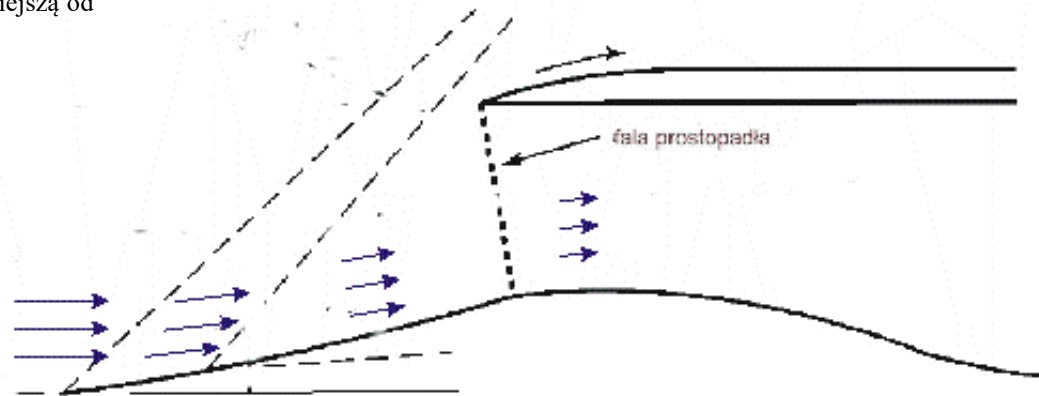
$$\phi_{wl_d} \leq 1 \Rightarrow C_{X_{wl_d}} = 0$$

$$\phi_{wl_d} > 1 \Rightarrow C_{X_{wl_d}} > 0$$

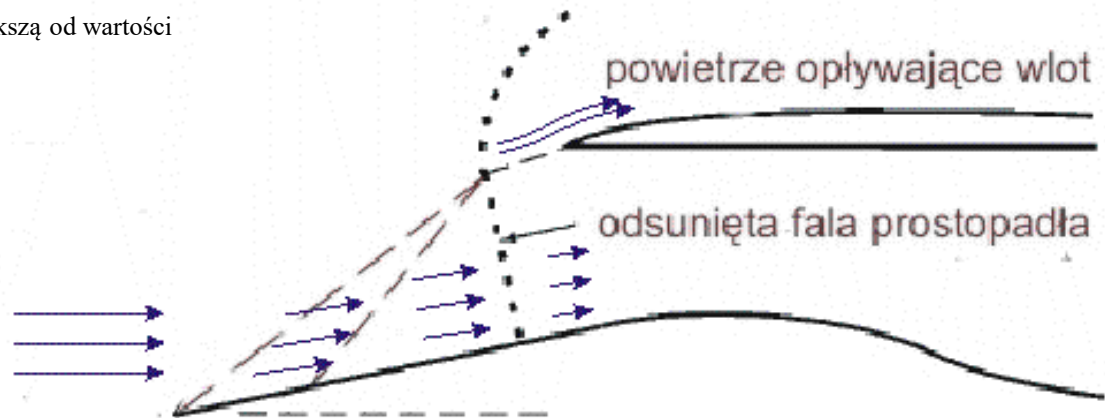
Przy pracy wlotu z prędkością lotu większą od obliczeniowej pojawia się dodatkowa składowa oporu

Praca wlotu w warunkach pozaobliczeniowych

Praca z prędkością lotu naddźwiękową, ale mniejszą od wartości obliczeniowej

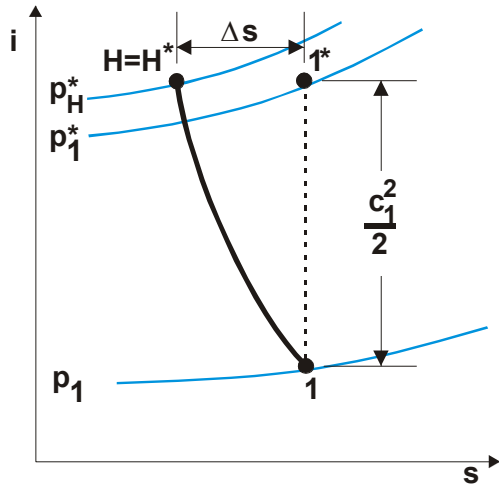


Praca z prędkością lotu naddźwiękową większą od wartości obliczeniowej



Problemy oblodzenia wlotu śmigłowca

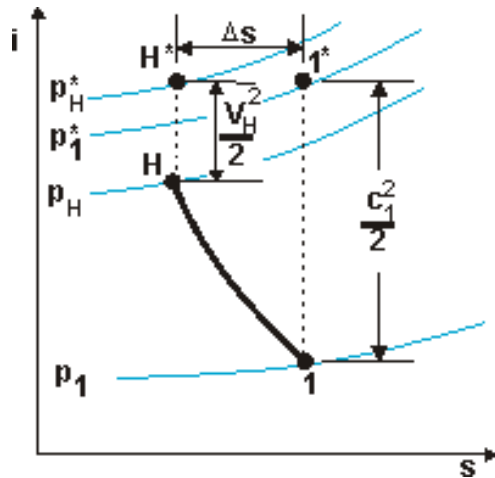
DLA PRĘDKOŚCI LOTU 0



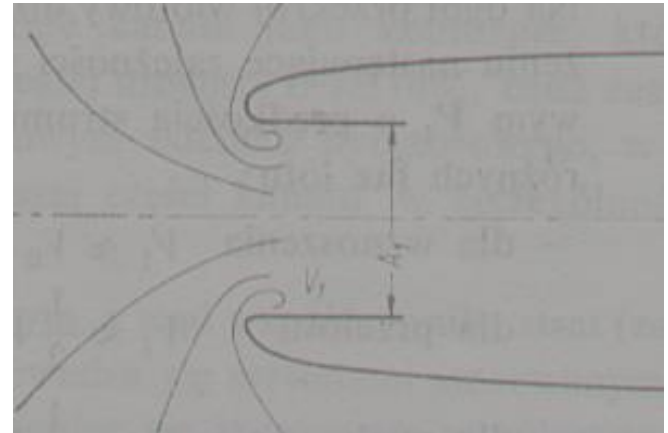
$$T_H = T_1 + \frac{c_1^2}{2 c_p}$$



DLA PRĘDKOŚCI LOTU WIĘKSZEJ OD 0



$$T_H + \frac{V_H^2}{2 c_p} = T_1 + \frac{c_1^2}{2 c_p}$$



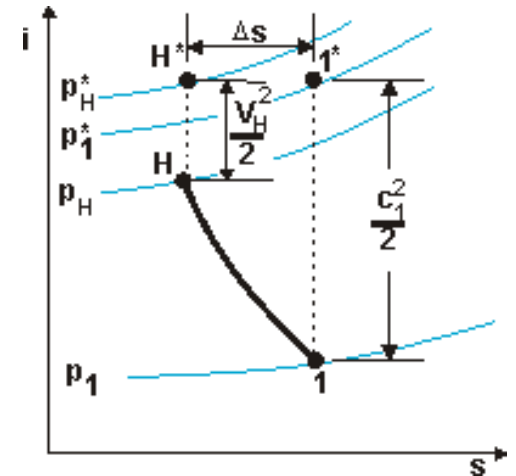
Przykład obliczeniowy

Temperatura otoczenia wynosi 8C (281 K). Obliczyć jaka temperatura będzie we wlocie gdy strumień powietrza ma we wlocie ma prędkość 180 m/c, zaś śmigłowiec a) nie porusza się, b) porusza się z prędkością 150 km/h

a)
$$T_1 = T_H - \frac{c_1^2}{2 c_p} = 281 - \frac{180^2}{2 * 1000} = 265 K = -8 C$$

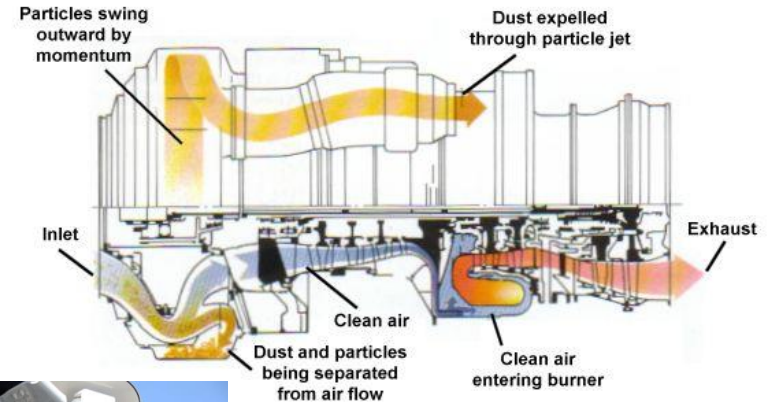
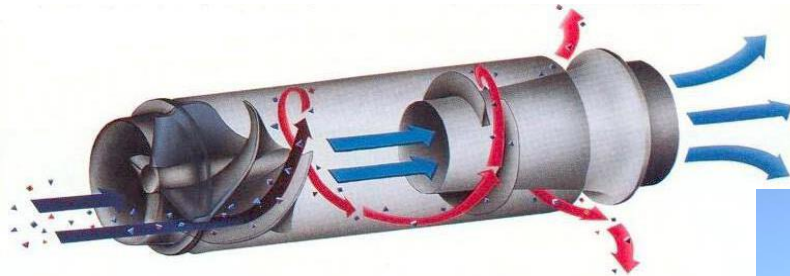
b)
$$V_H = 150 \frac{km}{h} = 41,67 m/s$$

$$T_1 = T_H + \frac{V_H^2}{2 c_p} - \frac{c_1^2}{2 c_p} = 281 + \frac{41,67^2}{2 * 1000} - \frac{180^2}{2 * 1000} = 266 K = -7 C$$



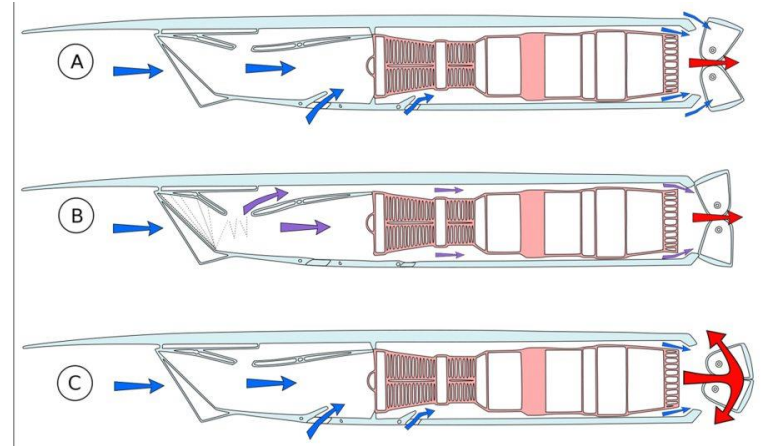
Dodatkowe zadania wlotu

- Ochrona silnika przed pyłem i kurzem



- Ustatecznianie pracy silnika dla różnych warunków lotu

- a) Dla warunków startowych
- b) Dla warunków lotu z dużymi prędkościami
- c) Dla pracy z włączonym odwracaczem ciągu



Dziękuję za uwagę