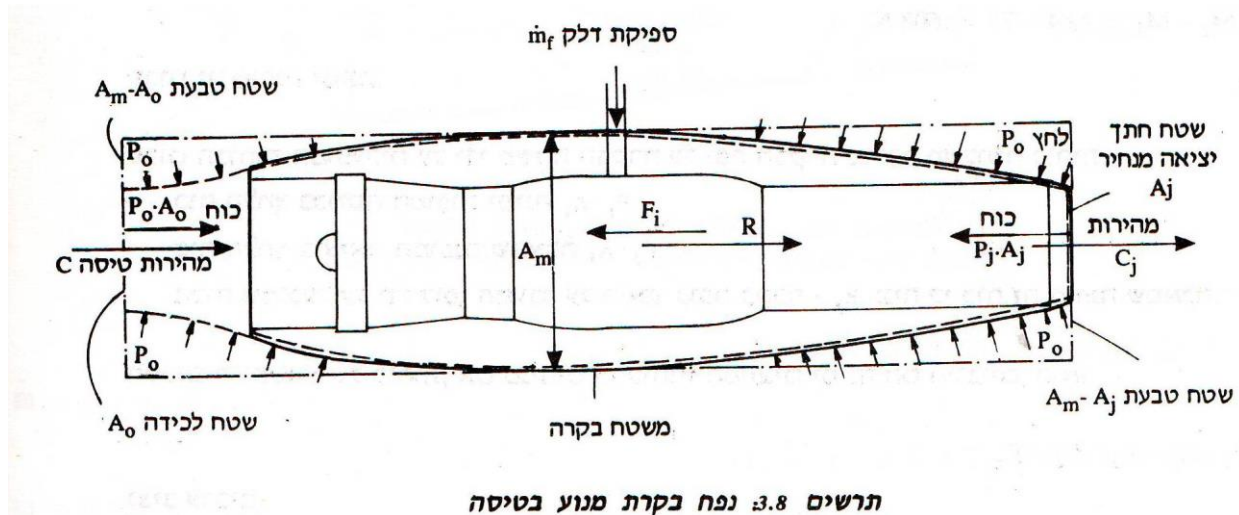


פיתוח משוואת כח הדחף במנוע טורבו סילון



משוואה 1 - כוח הדחף למנוע טורבו סילון:

$$F = \left(\dot{m}_a + \dot{m}_f \right) \cdot V_e - \dot{m}_a \cdot V_a + A_e \cdot (P_e - P_a)$$

להלן מפתח הסימנים והיחידות של הגורמים המופיעים בנוסחת כוח הדחף:

$F(N)$ - כוח הדחף של המנוע.

$\dot{m}_a \left(\frac{kg}{sec} \right)$ - ספיקת האוויר הנכנסת לכונס המנוע.

$\dot{m}_f \left(\frac{kg}{sec} \right)$ - ספיקת הדלק של המנוע.

$V_e \left(\frac{m}{sec} \right)$ - מהירות פליטת הגזים ביציאה מנחיר המנוע.

$V_a \left(\frac{m}{sec} \right)$ - מהירות הטיסה.

$A_e (m^2)$ - שטח החתך של נחיר הפליטה ביציאה.

$P_e \left(\frac{N}{m^2} \right)$ - הלחץ הסטטי של גז ביציאה מנחיר הפליטה.

$P_a \left(\frac{N}{m^2} \right)$ - לחץ הסביבה.



משוואה 2 - כוח הדחף למנוע טורבו סילון: $F = \dot{m}_a \cdot [(1 + f) \cdot V_e - V_a] + A_e \cdot (P_e - P_a)$

$$f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} : \text{יחס דלק אוויר}$$

3 מקרים בהם יכול להשתנות כח הדחף:

$$F = \dot{m}_a \cdot [(1 + f) \cdot V_e - V_a] \quad \Leftarrow \quad P_e = P_a \quad \text{א. מנוע מתואם}$$

$$f = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \Rightarrow \dot{m}_f < \dot{m}_a \quad \Leftarrow \quad f < 1 \quad \text{ב. יחס דלק אוויר זניח}$$

$\Downarrow$

$$F = \dot{m}_a (V_e - V_a) + A_e \cdot (P_e - P_a)$$

$$F = \dot{m}_a (V_e - V_a) \quad \Leftarrow \quad (P_e = P_a) \quad \text{ג. יחס דלק אוויר זניח} + \text{מנוע מתואם}$$

$$E.P.R = \frac{P_{08}}{P_{02}} = \frac{P_{03}}{P_{02}} \cdot \frac{P_{04}}{P_{03}} \cdot \frac{P_{05}}{P_{04}} \cdot \frac{P_{08}}{P_{05}} : \text{Engine Pressure Ratio - יחס לחצי מנוע}$$

$$\left(\dot{m}_a + \dot{m}_f \right) \cdot V_e = \dot{m}_e \cdot V_e : \text{דחף (שטף) התנע ביציאה}$$

$$F_p = A_e (P_e - P_a) : \text{דחף הלחץ}$$

$$F_{air} = \dot{m}_a (V_e - V_a) : \text{דחף התנע של האוויר}$$

$$F_{fuel} = \dot{m}_f \cdot V_e : \text{דחף התנע של הדלק}$$

דחף כולל: $F_{net} = F_{fuel} + F_{air} + F_p$

גרר התנע (כח גרר מגח): $F_R = \dot{m}_a \cdot V_a$

דחף גולמי: $F_G = \dot{m}_a(1+f) \cdot V_e + (P_e - P_a) \cdot A_e = \left(\dot{m}_a + \dot{m}_f \right) \cdot V_e + (P_e - P_a) \cdot A_e$

דחף נטו: $F_N = F_G - F_R = \dot{m}_a[(1+f) \cdot V_e - V_a] + (P_e - P_a) \cdot A_e$

דחף סגולי: $\frac{F}{\dot{m}_a}$

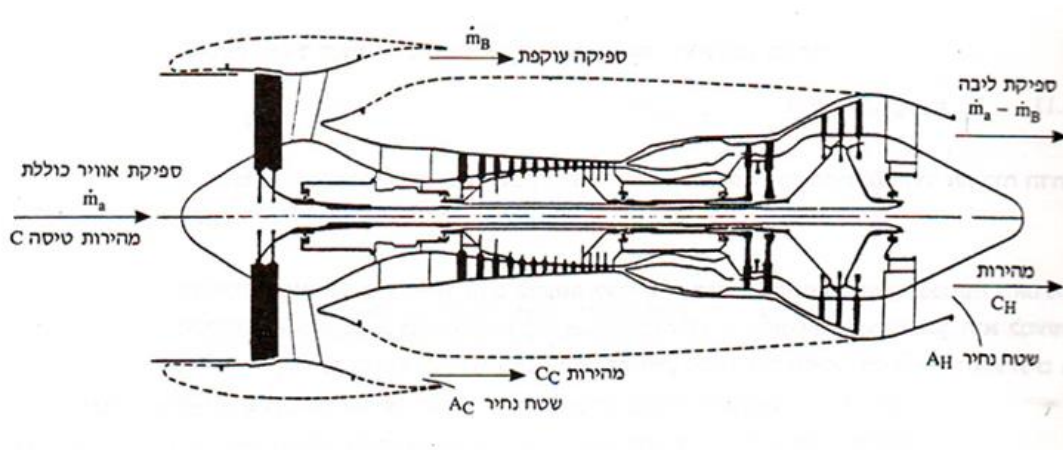
ספיקה מסית ביציאה מהמנוע (נחיר): $\dot{m}_e = \dot{m}_a + \dot{m}_f$

הכח הפועל על הגז הזורם במנוע: $R = \dot{m}_e \cdot V_e - \dot{m}_a \cdot V_a + P_e \cdot A_e - P_a \cdot A_a$

הכח הפועל על בית המנוע: $F_p = P_a \cdot (A_m - A_e) - P_e \cdot (A_m - A_e) = -P_a \cdot A_e + P_e \cdot A_e$

הכח הכולל הפועל על בית המנוע: $F = R + F_p = \dot{m}_e \cdot V_e - \dot{m}_a \cdot V_a + A_e(P_e - P_a)$

פיתוח משוואת כח הדחף במנוע טורבו מניפה



נוסחאות כח הדחף במנוע טורבו מניפה:

$$T = \dot{m}_{HOT} \cdot [(1+f)V_{eHOT} - V_a] + A_{eHOT} \cdot (P_{eHOT} - P_a) + \dot{m}_{COLD} \cdot (V_{eCOLD} - V_a) + A_{eCOLD} \cdot (P_{eCOLD} - P_a)$$



נצילות במנוע סילון:

קיימים 3 סוגי נצילות:

1. נצילות הנעה.
2. נצילות תרמית.
3. נצילות כוללת.

1. נצילות הנעה: $\eta_p = \frac{\text{הספק הדחף}}{\text{שינוי אנרגיה קינטית ליח' זמן}}$

$$\eta_p = \frac{\left\{ \dot{m}_a \cdot [(1+f) \cdot V_e - V_a] + A_e \cdot (P_e - P_a) \right\} \cdot V_a}{\frac{\dot{m}_a}{2} [(1+f) V_e^2 - V_a^2]} = \frac{F \cdot V_a}{\frac{\dot{m}_a}{2} [(1+f) V_e^2 - V_a^2]}$$

$$\eta_p = \frac{2 \left(\frac{V_a}{V_e} \right)}{1 + \frac{V_a}{V_e}} \quad : f \ll 1$$

למנוע מתואם ו- $f \ll 1$

נצילות הנעה מקסימלית כאשר: $\eta_{p_{\max}} \Rightarrow V_a = V_e$

במתקן הרצה - $\eta_p = 0$ (מכיוון שמהירות הטיסה שווה ל-0, $V_a = 0$)

הספק: $P = F \cdot V_a$

2. נצילות תרמית: $\eta_{th} = \frac{\text{שינוי אנרגיה קינטית ליח' זמן}}{\text{קצב הכנסת החום לתא השריפה}}$

$$\eta_{th} = \frac{(1+f) \frac{V_e^2}{2} - \frac{V_a^2}{2}}{f \cdot q_R}$$

$$\eta_{th} = \frac{F \cdot (V_e + V_a)}{2 \cdot \dot{m} \cdot f \cdot q_R}$$

$$\eta_{th} = \frac{V_e^2 - V_a^2}{2 \cdot f \cdot q_R} \quad : f \ll 1 \text{ כאשר}$$



$$\eta_{th} = \frac{P_s}{\dot{m} f \cdot q_R} \quad \text{נצילות תרמית עבור מנוע טורבו פרופ או טורבו ציר:}$$

P_s - הספק הציר.

$$\eta_{pr} = \frac{F_{pr} \cdot V_a}{P_T} \quad \text{נצילות פרופלור:}$$

F_{pr} - דחף פרופלור

p_T - הספק הדחף.

$$\eta_{pr} = \frac{F_{pr} \cdot V_a}{P_{es}} \quad \text{נצילות טורבו ציר:}$$

p_{es} - הספק אקווילנטי של הציר.

$$\eta_0 = \frac{\text{הספק הדחף}}{\text{קצב הכנסת החום למנוע}} \quad \text{3. נצילות כללית:}$$

$$\eta_0 = \eta_{th} \cdot \eta_p = \frac{F \cdot V_a}{\dot{m} f \cdot q_R} \quad (\text{נצילות כללית} = \text{נצילות תרמית כפול נצילות הנעה})$$

$$\eta_0 \cong 2\eta_{th} \cdot \frac{\frac{V_a}{V_e}}{1 + \frac{V_a}{V_e}} \quad \text{למנוע מתואם ו- } f \ll 1 :$$

$$\eta_0 = \frac{(V_e - V_a) \cdot V_a}{f \cdot q_R} \quad \text{במנוע מתואם:}$$

$$\eta_{0\max} = V_e = 2V_a \quad \text{נצילות כוללת מקסימלית:}$$

$$\dot{m}_{\max} = \sqrt{\frac{k}{R}} \cdot \frac{A \cdot P_o}{\sqrt{T_0}} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \quad \text{ספיקה מסית מקסימלית:}$$