

6ο ΕΞ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ
ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΕΣ – Διδάσκων: Κ. Γιαννάκογλου - Σεπτ. 2024
ΛΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ

Άσκηση 1 (7 μονάδες): Μονοβάθμιος αξονικός συμπιεστής (χωρίς οδηγία πτερύγια εισόδου) λειτουργεί στη βιομηχανία [IND] συμπιέζοντας 12.5 kg/sec αέρα (τέλειο αέριο), με είσοδο 1 bar / 25°C & λόγο πίεσης 1.3. Στην είσοδο (1), η ακτίνες ποδός & κεφαλής είναι $R_{1H}=16\text{cm}$ & $R_{1S}=23\text{cm}$, αντίστοιχα. Κάθε μονοδιάστατος υπολογισμός γίνεται σε σταθερή ακτίνα ίση με τον αριθμητικό μέσο των R_{1H} και R_{1S} . Σε κάθε σημείο λειτουργίας, δεχόμαστε ότι η αξονική ταχύτητα είναι σταθερή στις τρεις θέσεις (1-2-3). Επίσης, η επαπτόμενη στη μέση γραμμή κυρτότητας του πτερυγίου στην έξοδο της κινητής πτερυγώσης σχηματίζει γωνία 28° με την αξονική κατεύθυνση, και (λόγω αρκετών πτερυγίων) ευσταθεί η υπόθεση ότι η ροή εκεί ακολουθεί πλήρως τη μορφή του πτερυγίου. Ο συμπιεστής μεταφέρεται στο εργαστήριο [LAB], όπου δοκιμάζεται στο αντίστοιχο σημείο λειτουργίας σε συνθήκες αναφοράς, στα 9500rpm.

(α) Ποια η παροχή μάζας στο σημείο [LAB]; →

(β) Για το σημείο [IND] βρείτε στην κόλλα σας και συμπληρώστε τα μεγέθη του πίνακα:

$V_a(\text{m/s})=$ 134,62	$T_1(\text{K})=$ 288,98	$\beta_1(^{\circ})=$ -55,69	$W_1(\text{m/s})=$ 238,87
$p_1(\text{bar})=$ 0,89801	$T_2(\text{K})=$ 305,8	$\beta_2(^{\circ})=$ -28	$p_2(\text{bar})=$ δεν υπολογίζεται
$\Delta S_{1-3}/C_p=$ 0,004673		$N(\text{RPM})=$ 9663,52	

(γ) Υπολογίστε ισεντροπικό και πολυτροπικό βαθμό απόδοσης του συμπιεστή στο LAB και IND. Συμπληρώστε τον πίνακα & σχολιάστε.

	$\eta_{\text{isentropic}}$	$\eta_{\text{polytropic}}$
LAB	0,939	0,9413
IND	0,939	0,9413

Σε ότι απαντάτε βάζετε προσεκτικά δείκτες IND ή LAB ώστε να μην μπερδευτείτε/ούμε! Αν κάποια από τις ζητούμενες ποσότητες δεν μπορείτε να την υπολογίσετε γράψτε «ΟΧΙ» στο κουτάκι της, και στην κόλλα σας εξηγήστε τι σας λείπει για να την υπολογίσετε.

Λύση:

$$\text{(α) Είναι } \sqrt{\theta} = \sqrt{\frac{T_{t,IND}}{288}} = \sqrt{\frac{273+25}{288}} = 1,01721$$

και $\delta=1$ (παραλείπονται τα δευαδικά ...)

$$N_{LAB} = \frac{N_{IND}}{\sqrt{\theta}} \Rightarrow N_{IND} = N_{LAB} \sqrt{\theta} = 9663,52 \text{ RPM.}$$

$$\dot{m}_{LAB} = \frac{\dot{m}_{IND} \sqrt{\theta}}{\delta} = 12,715 \text{ kg/s.}$$

και

$$\gamma_{C,IND} = \gamma_{C,LAB} = 1,30 \text{ κοινό!}$$

(β) Εργαζόμαστε για το IND, όπου ξέρω $\alpha_1=0^\circ$ αλλά και τις τιμές των $P_{t1}, T_{t1}, \dot{m}_{IND}$ και

Το εμβαδόν διατομής $A_1 = \pi (R_{1s}^2 - R_{1H}^2) = 0,085765 \text{ m}^2$
 Με την επαναληπτική μέθοδο/δοκιμής, βρίσκω
 (Εάν κόλλα Gas ΕΣΕΕ να δείξετε 2-3 επαναλ.)

$$V_1 = 134,62 \text{ m/s} = V_{a1}$$

$$U = \omega R = \frac{2\pi N \text{IND}}{60} R = 197,33 \text{ m/s}$$

$$V_{u1} = 0, \quad W_{u1} = V_{u1} - U = -U = -197,33 \text{ m/s}$$

$$W_1 = (V_{a1}^2 + W_{u1}^2)^{1/2} = 238,87 \text{ m/s}$$

$$T_1 = T_{t1} - \frac{1}{2c_p} V_1^2 = 288,98 \text{ K}$$

$$\rho_1 = \frac{\dot{m} \text{IND}}{V_{a1} A_1} = 1,08264 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad p_1 = R T_1 \rho_1 = 89801,02 \text{ Pa}$$

$$\beta_1 = \text{atan}\left(\frac{W_{u1}}{V_{a1}}\right) = -55,69^\circ$$

Προχωρώ στη θέση (2) όπου $V_{a2} = V_{a1} = \omega R$:

$$W_2 = \frac{V_a}{\cos \beta_2} = \frac{V_a}{\cos \beta_2'} = \frac{V_a}{\cos(-28^\circ)} = 152,47 \text{ m/s}$$

$$W_{u2} = W_2 \sin \beta_2 = -71,58 \text{ m/s}$$

$$V_{u2} = W_{u2} + U = 125,75 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 184,2 \text{ m/s} \quad \text{και από το θεωρ. Euler:}$$

$$T_{t2} = T_{t1} + \frac{1}{2} c_p U (V_{u2} - V_{u1}) = 322,7 \text{ K}$$

$$T_2 = T_{t2} - \frac{1}{2c_p} V_2^2 = 305,8 \text{ K}$$

Προχωρώ στη θέση 3, όπου $T_{t3} = T_{t2} = 322,7 \text{ K}$

$$P_{t3} = P_{t1} \pi_c = 1,3 \text{ bar}$$

$$T_{t3}' = T_{t1} \pi_c^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 321,19 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \eta_{is} = \frac{T_{t3}' - T_{t1}}{T_{t3} - T_{t1}} = \frac{23,19}{24,7} = 0,939$$

Ο η_{15} είναι προφανώς ίδιος και στο LAB και στο IND (αντιστοιχία σημεία λειτουργίας).

Αύξηση εντροπίας:

$$\Delta S_{13} = C_p \ln\left(\frac{T_{t3}}{T_{t1}}\right) - R \ln\left(\frac{P_{t3}}{P_{t1}}\right) \Rightarrow \frac{\Delta S_{13}}{C_p} = 0,004673$$

(x) Ο πολυτρονικός β.α. στο IND είναι:

$$\frac{T_{t3}}{T_{t1}} \Big|_{IND} = \gamma^{\frac{n-1}{n}} \Big|_{IND}, \text{ όπου } \frac{n-1}{n} \Big|_{IND} = \frac{\ln(T_{t3}/T_{t1})}{\ln(\gamma^{\frac{n-1}{n}} \Big|_{IND})} =$$

$$= 0,3035, \text{ οπότε:}$$

$$\frac{n-1}{n} \Big|_{IND} = \frac{\gamma-1}{\gamma} \cdot \frac{1}{\eta_{P,IND}} \Rightarrow \eta_{P,IND} = 0,9413$$

Δεν χρειάζεται να κάνω τον αντιστοιχικό υπολογισμό στο LAB (βυνιστώ όμως να το κάνετε για πιστοποίηση). Έχουμε ίδιο γ , ίδιο η_{15} , άρα θα έχουμε και ίδιο $\eta_p \Rightarrow$

$$\Rightarrow \eta_{P,LAB} = 0,9413$$

Check: $0,9413 > 0,939$ ως φείδι —