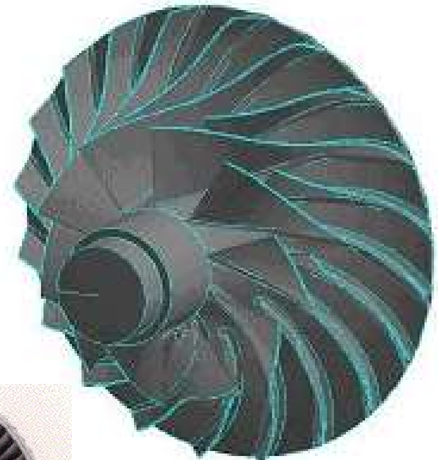
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
School of Mechanical Engineering
Lab. Of Thermal Turbomachines
Parallel CFD & Optimization Unit (PCOpt/NTUA)

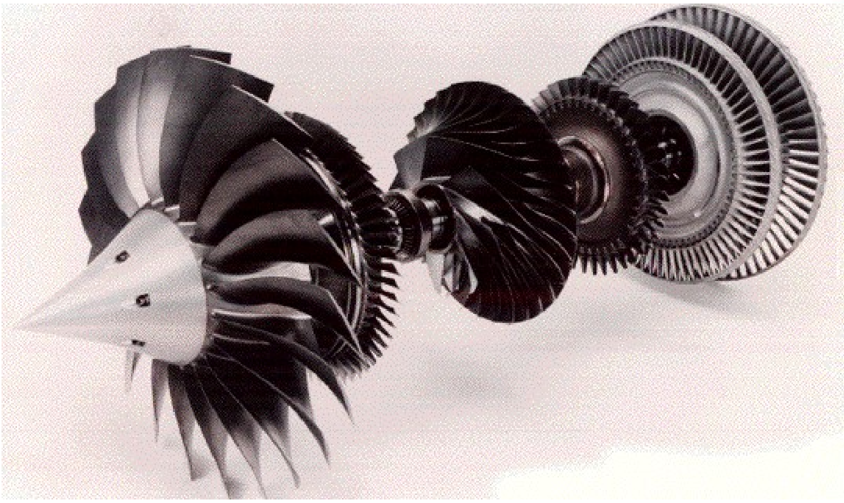
Ανάλυση Λειτουργίας Πτερυγώσεων

Kyriakos C. GIANNAKOGLOU, Professor NTUA
kgianna@mail.ntua.gr
http://velos0.ltt.mech.ntua.gr/research

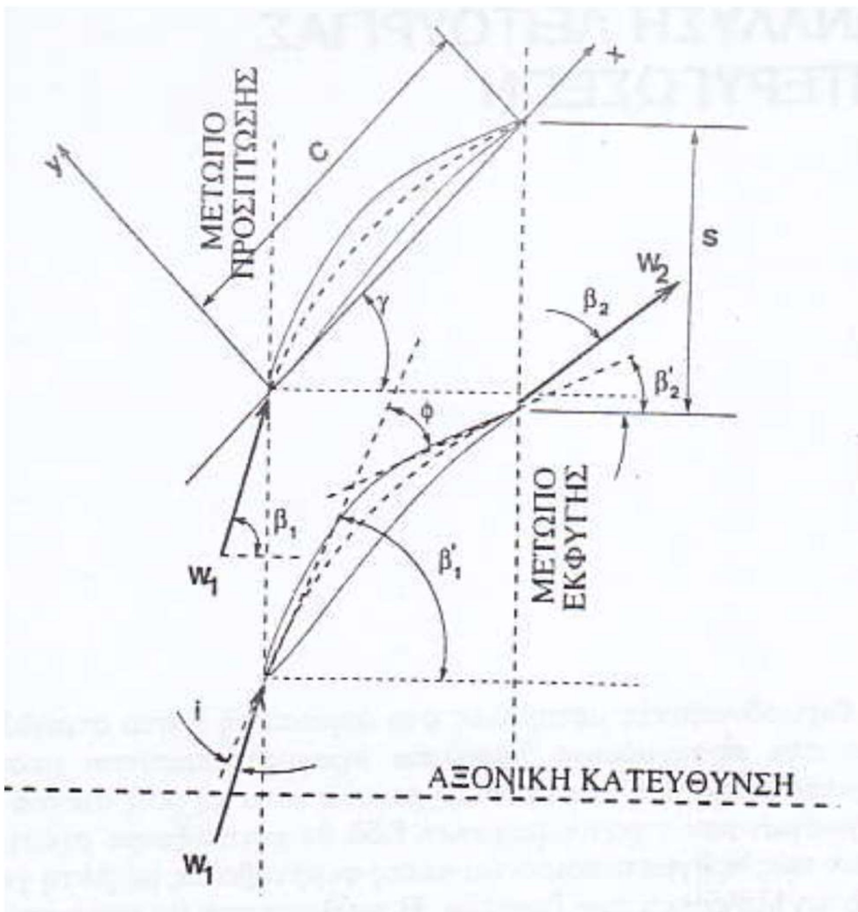
Γραμμική Πτερύγωση (Linear Cascade)

Περιφερειακή Πτερύγωση (Peripheral Cascade)





Βασική Ορολογία Πτερυγώσεων



Χορδή (Chord, c)
Βήμα Πτερύγωσης (Pitch, s)
Στερεότητα (Solidity, $\sigma=c/s$)
Ακμή Προσβολής (Leading Edge, LE)
Ακμή Εκφυγής (Trailing Edge, TE)
Μέση Γραμμή Κυρτότητας (Mean Camber Line)
Γωνία Κλίσης της Αεροτομής (Stagger Angle, γ)
Γωνία Μετάλλου στην Είσοδο (Inlet Metal Angle, $\alpha_1^{/}$, $\beta_1^{/}$)
Γωνία Μετάλλου στην Έξοδο (Exit Metal Angle, $\alpha_2^{/}$, $\beta_2^{/}$)
Γωνία Κυρτότητας (Camber Angle, $\phi=\alpha_1^{/}-\alpha_2^{/}$ ή με β)
Γωνία Εισόδου Ροής (Inlet Flow Angle, α_1, β_1)
Γωνία Εξόδου Ροής (Exit Flow Angle, α_2, β_2)
Γωνία Πρόσπτωσης (Incidence Angle, $i=\alpha_1-\alpha_1^{/}$ ή με β)
Γωνία Παρέκκλισης (Deviation Angle, $\delta=\alpha_2-\alpha_2^{/}$ ή με β)

Χρήσιμα Σχόλια

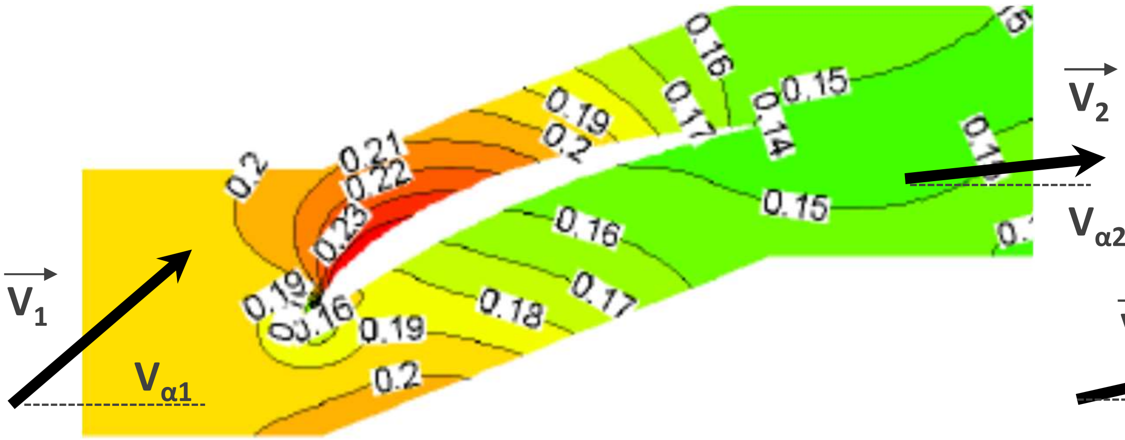
- **Διατήρηση της ολικής ενθαλπίας h_t (ακίνητη πτερύγωση, S) ή της σχετικής ολικής ενθαλπίας h_{tR} (περιστρεφόμενη πτερύγωση, R).**
- **Απώλειες μετρούμενες με πτώση της ολικής πίεσης p_t (αν S) ή της σχετικής ολικής πίεσης p_{tR} (αν R).**
- **Χρησιμοποιείστε την περιστρεφόμενη ολική ενθαλπία ή πίεση (h_{tr}, p_{tr}) αν η ακτίνα=σταθερή.**

$$h_{tR} = h + \frac{1}{2}W^2 - \frac{1}{2}U^2 \qquad p_{tR} = p + \frac{\rho}{2}W^2 - \frac{\rho}{2}U^2$$

$$h_{tr} = h + \frac{1}{2}W^2 \qquad p_{tr} = p + \frac{\rho}{2}W^2$$

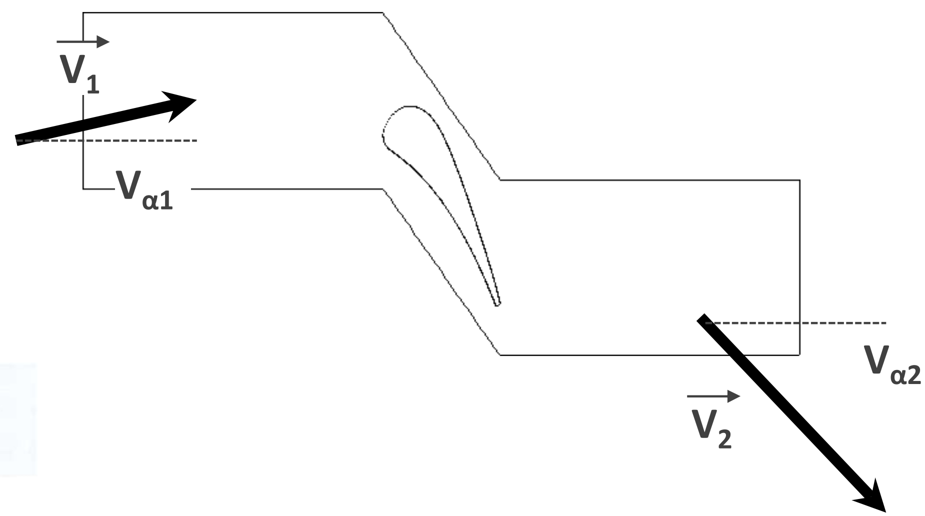
- **Προσαρμόζετε κάθε σχέση του κεφαλαίου αυτού αλλάζοντας τα V σε W, τις γωνίες α σε β, τα h_t, p_t σε h_{tR}, p_{tR} κλπ για να μελετήσετε R αντί για S. Θα ήταν παντελώς περιττό να παρουσιάζεται δύο φορές η θεωρία αυτή, μια φορά για S και μια για R.**
- **Προσέξτε ποιες από τις σχέσεις αφορούν συμπιεστό και ποιες ασυμπίεστο ρευστό.**
- **Τα συμπεράσματα από τις σχέσεις που δείχνονται για ασυμπίεστο ρευστό γενικεύονται ΠΟΙΟΤΙΚΑ και για συμπιεστό ρευστό (όπου όμως η απόδειξη είναι διαφορετική).**

Μεταβολή Στατικής Πίεσης p σε Πτερύγωση



Διατήρηση Παροχής:

$$\rho_1 V_1 \cos a_1 = \rho_2 V_2 \cos a_2$$



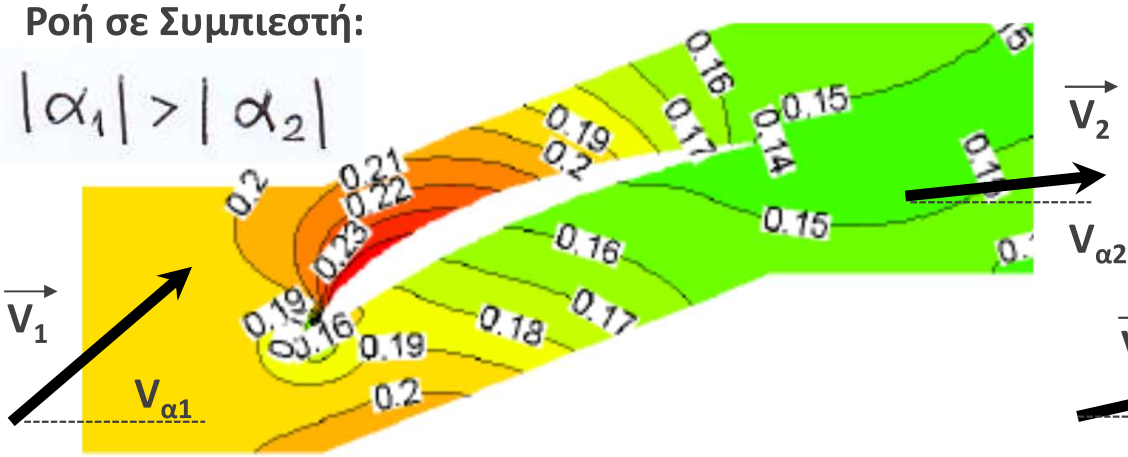
Άεργη (& Αδιαβατική) Μεταβολή:

$$h_{t_1} = h_{t2} \Rightarrow h_1 + \frac{1}{2} V_1^2 = h_2 + \frac{1}{2} V_2^2$$

Μεταβολή Στατικής Πίεσης p σε Πτερύγωση

Ροή σε Συμπιεστή:

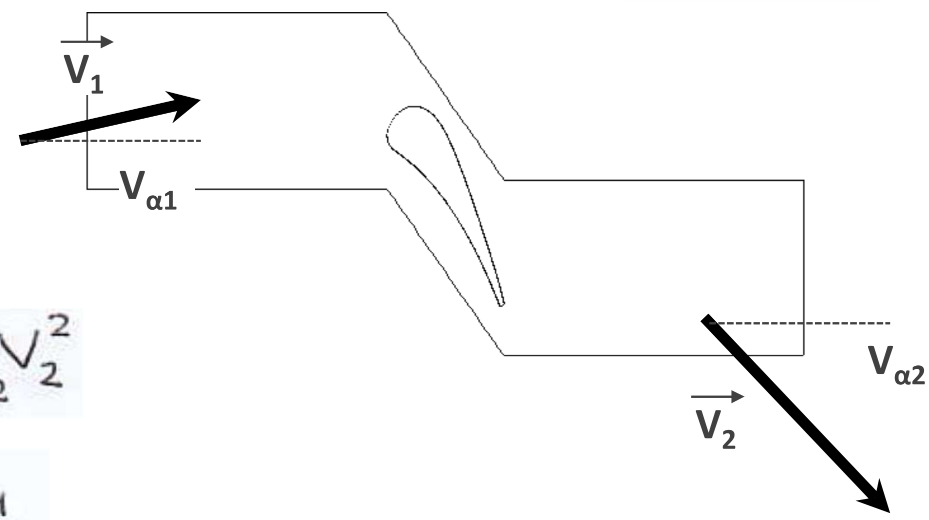
$$|\alpha_1| > |\alpha_2|$$



Ροή σε Στρόβιλο:

$$|\alpha_1| < |\alpha_2| \Rightarrow \alpha_1 < -\alpha_2$$

$$(\alpha_2 < 0)$$

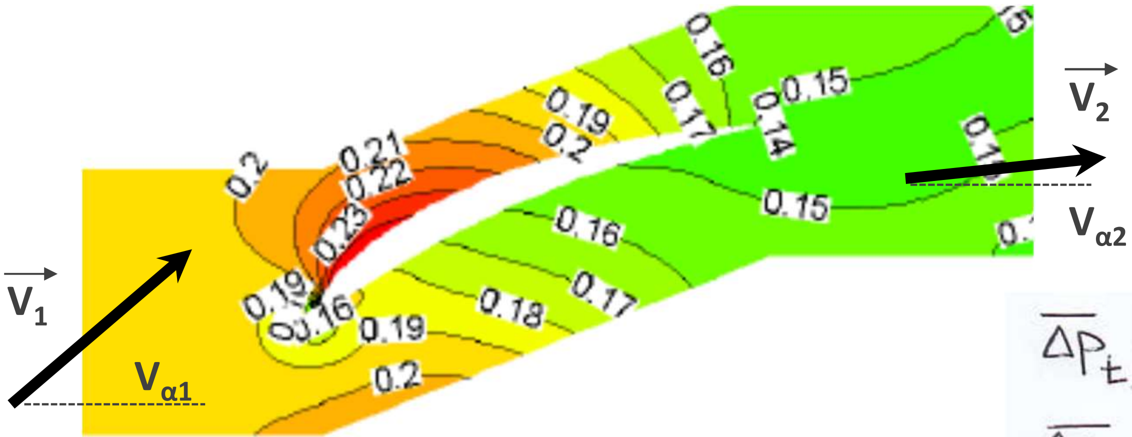


Ασυμπίεστη Ροή Χωρίς Απώλειες:

$$P_{t_1} = P_{t_2} \Rightarrow p_1 + \frac{1}{2}\rho_1 V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho_2 V_2^2$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\frac{1}{2}\rho V_1^2} = 1 - \frac{V_2^2}{V_1^2} = 1 - \frac{\cos^2 a_1}{\cos^2 a_2}$$

Συντελεστής Απωλειών Ολικής Πίεσης



Ροή σε Συμπιεστή ή Στρόβιλο (αδιάφορο!).
Έστω Ακίνητη Πτερύγωση (γενικεύστε το!)
Έστω ΑΣΥΜΠΙΕΣΤΗ Ροή:

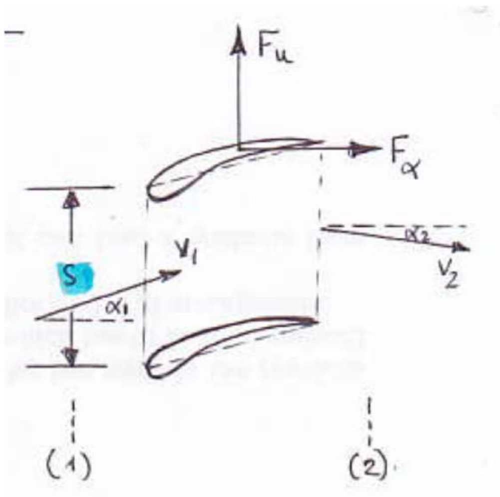
$$\overline{\Delta P_t} = P_{t_1} - P_{t_2} > 0$$

$$\overline{\Delta P_t} = P_1 - P_2 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 - \frac{1}{2}\rho V_2^2$$

$$\frac{P_2 - P_1}{1/2\,\rho V_1^2} = 1 - \frac{V_2^2}{V_1^2} - \frac{\overline{\Delta P_t}}{\frac{1}{2}\rho V_1^2} = 1 - \frac{\cos^2 a_1}{\cos^2 a_2} - \overline{\omega}_1$$

$$\overline{\omega}_1 = \frac{\Delta P_t}{1/2\,\rho V_1^2}$$

Ασκούμενες Δυνάμεις σε Πτερύγωση



$$F_u = \dot{m}\,(V_{u_1} - V_{u_2})$$

$$F_a = \dot{m}\,(V_{a_1} - V_{a_2}) - s\,(P_1 - P_2)$$

$$\dot{m} = \rho_1 V_{a_1} s = \rho_2 V_{a_2} s$$

Έστω ΑΣΥΜΠΙΕΣΤΗ Ροή:

$$\rho = \sigma\tau\alpha\theta. \qquad V_{a_1} = V_{a_2} = V_a. \qquad F_a = s\,(P_2 - P_1).$$

$$P_2 - P_1 = \frac{1}{2}\rho V_1^2 \left(1 - \frac{V_2^2}{V_1^2} - \frac{\Delta P_t}{1/2\,\rho V_1^2}\right) = \frac{1}{2}\rho\,(V_1^2 - V_2^2) - \overline{\Delta P_t} =$$

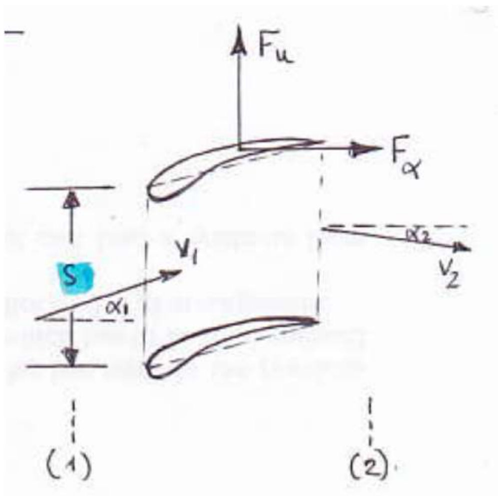
$$= \frac{1}{2}\rho V_a^2\, \frac{V_{u_1}^2 + V_a^2 - V_{u_2}^2 - V_a^2}{V_a^2} - \overline{\Delta P_t} =$$

$$= \frac{1}{2}\rho V_a^2 \left(\frac{V_{u_1}^2}{V_a^2} - \frac{V_{u_2}^2}{V_a^2}\right) - \overline{\Delta P_t}$$

$$\boxed{F_a = \frac{1}{2}\rho V_a^2 (\tan^2 a_1 - \tan^2 a_2)\, s - \overline{\Delta p_t} \cdot s}$$

$$\boxed{F_u = \dot{m}\,(V_{u_1} - V_{u_2}) = s\rho V_a^2 (\tan a_1 - \tan a_2)}$$

Περιφερειακή Συνιστώσα της Δύναμης - Μέση Ταχύτητα/Γωνία Ροής



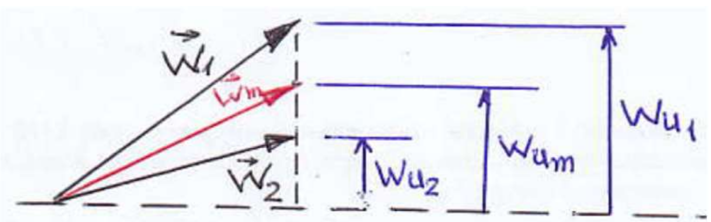
$$\boxed{F_u = \dot{m}\,(V_{u_1} - V_{u_2}) = s\rho V_a^2\,(\tan a_1 - \tan a_2)}$$

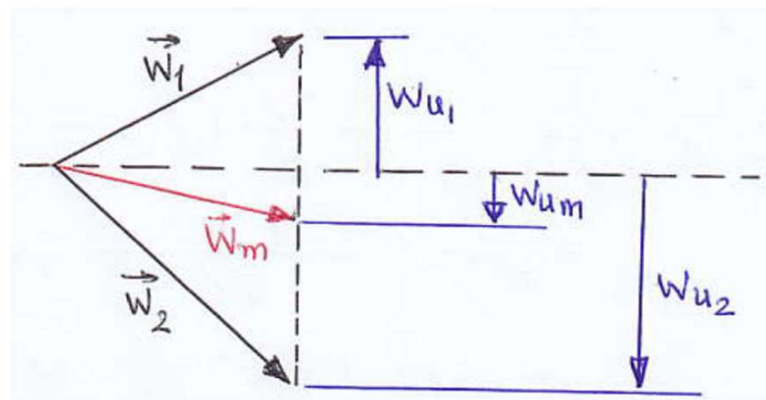
$$\beta_m = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\beta_1 + \tan\beta_2}{2}\right)$$

$$a_m = \tan^{-1}\left(\frac{\tan a_1 + \tan a_2}{2}\right)$$

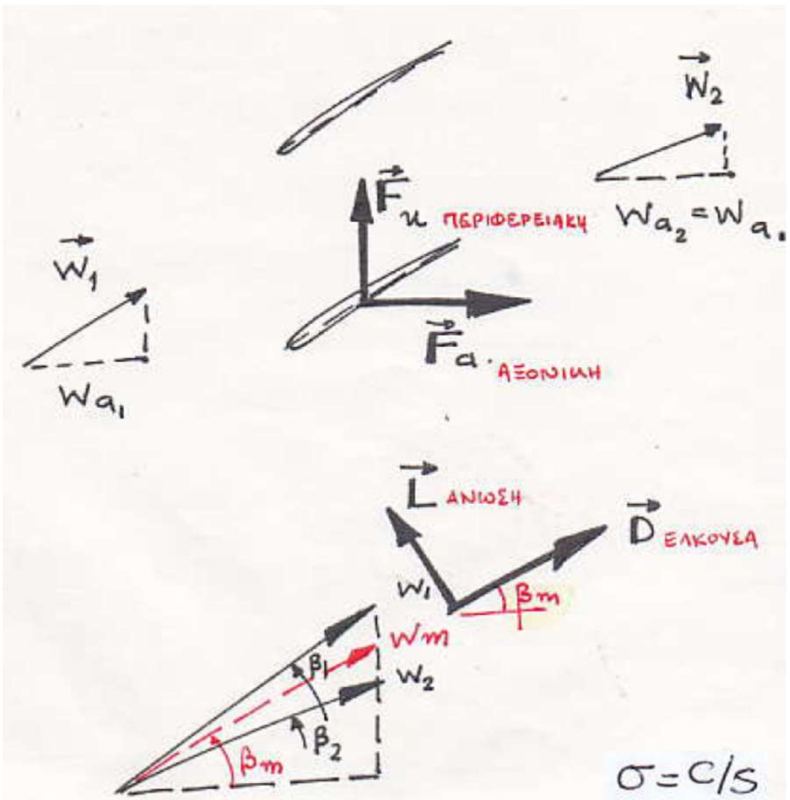
$$W_{u_m} = \frac{W_{u_1} + W_{u_2}}{2}$$

$$V_{u_m} = \frac{V_{u_1} + V_{u_2}}{2}$$





Ασκούμενες Δυνάμεις σε Πτερύγωση – Άνωση & (Οπισθ)Ελκουσα



$$F_a = s(P_1 - P_2)$$

$$F_u = \dot{m} V_a (\tan a_1 - \tan a_2)$$

$$L = F_u \cos a_m - F_a \sin a_m$$

$$D = F_u \sin a_m - F_a \cos a_m$$

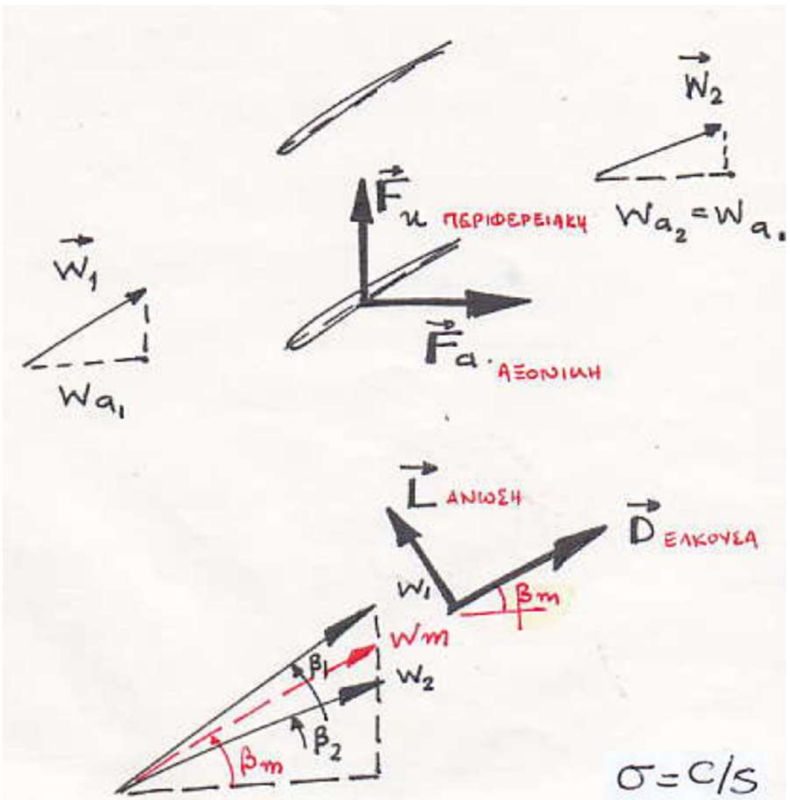
$$L = \dot{m} V_a (\tan a_1 - \tan a_2) \frac{1}{\cos a_m} - s \overline{\Delta P_t} \sin a_m$$

$$D = s \overline{\Delta P_t} \cos a_m$$

$$C_{L_1} = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V_1^2 c} = \frac{2}{\sigma}(\tan a_1 - \tan a_2)\frac{\cos^2 a_1}{\cos a_m} - \frac{\overline{\omega}_1}{\sigma} \sin a_m$$

$$C_{D_1} = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V_1^2 c} = \frac{\overline{\omega}_1}{\sigma} \cos a_m$$

Ασκούμενες Δυνάμεις σε Πτερύγωση – Άνωση & (Οπισθ)Ελκουσα

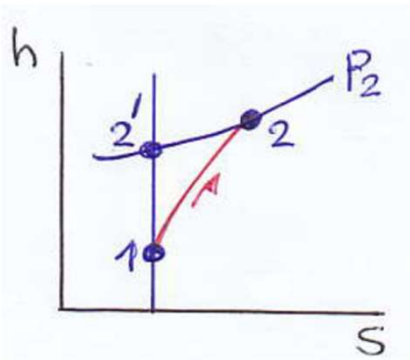


$$C_{L_1}=\frac{L}{\frac{1}{2}\rho V_1^2 c}=\frac{2}{\sigma}(\tan a_1-\tan a_2)\frac{\cos^2 a_1}{\cos a_m}-\frac{\bar{\omega}_1}{\sigma}\sin a_m$$

$$C_{D_1}=\frac{D}{\frac{1}{2}\rho V_1^2 c}=\frac{\bar{\omega}_1}{\sigma}\cos a_m$$

$$\boxed{C_{L_1}=\frac{2}{\sigma}(\tan a_1-\tan a_2)\frac{\cos^2 a_1}{\cos a_m}-C_{D_1}\tan a_m}$$

Βαθμός Απόδοσης Πτερύγωσης Συμπιεστή



$$\eta_{s\text{-}s,c} = \frac{h_{2'}-h_1}{h_2-h_1}$$

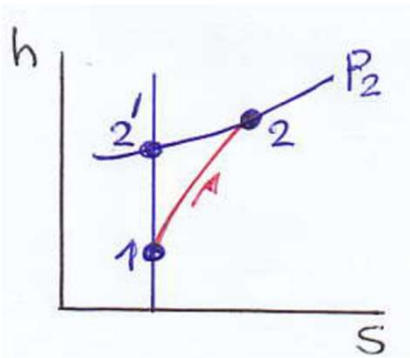
Έστω ΑΣΥΜΠΙΕΣΤΗ Ροή:

Ισεντροπική Μεταβολή (Αριθμητής): $\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho} \Rightarrow h_{2'}-h_1 = \frac{1}{\rho}(p_2-p_1)$

$$\eta_{s\text{-}s,c} = \frac{(p_2-p_1)/\rho}{\cancel{h_{t_2}}-\frac{1}{2}V_2^2-\cancel{h_{t_1}}+\frac{1}{2}V_1^2} = \frac{1-\frac{V_2^2}{V_1^2}-\frac{\overline{\Delta p_t}}{\frac{1}{2}\rho V_1^2}}{1-\frac{V_2^2}{V_1^2}} =$$

$$= \frac{1-\frac{\cos^2 a_1}{\cos^2 a_2}-\frac{\overline{\Delta p_t}}{\frac{1}{2}\rho V_1^2}}{1-\frac{\cos^2 a_1}{\cos^2 a_2}} = 1-\frac{\overline{\Delta p_t}}{\frac{1}{2}\rho V_a^2\underbrace{(\tan^2 a_1-\tan^2 a_2)}_{(+)}}$$

Βαθμός Απόδοσης Πτερύγωσης Συμπιεστή



Λόγος Έλκουσας προς ‘Ανωση:

$$\varepsilon = \frac{D}{L} \cong \frac{s\,\overline{\Delta P_t}\cos a_m}{\rho V_1^2 s\,(\tan a_1 - \tan a_2)\frac{\cos^2 a_1}{\cos a_m}} = \frac{\overline{\Delta P_t}\cos^2 a_m}{\rho V_a^2 (\tan a_1 - \tan a_2)}$$

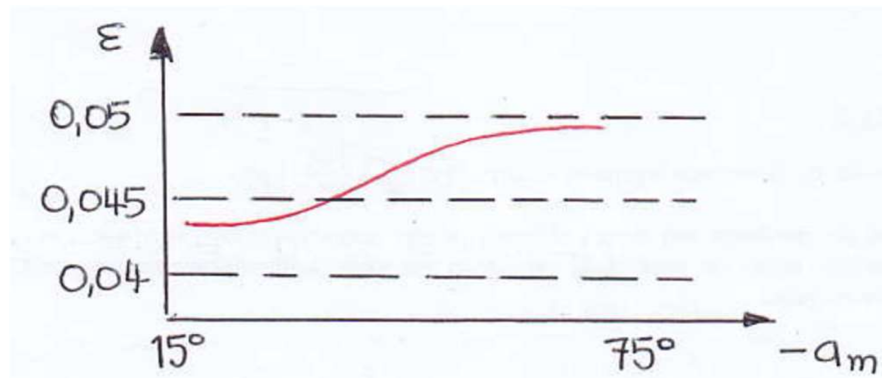
(…αμελώντας όρο απωλειών στην L)

$$\eta_{s\text{-}s,c} = 1 - \varepsilon \cdot \frac{2}{\tan a_1 + \tan a_2} \cdot \frac{1}{\cos^2 a_m} = 1 - \frac{2\varepsilon}{\sin 2a_m}$$

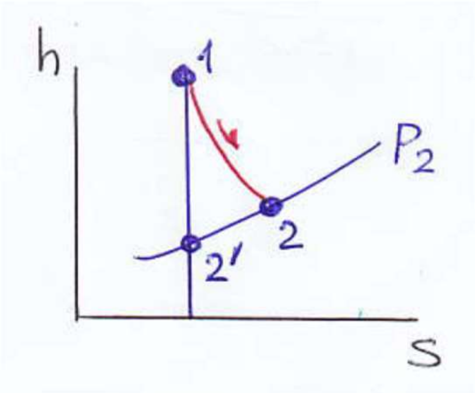
Βέλτιστη α_m:

$$\frac{\partial \eta_{s\text{-}s,c}}{\partial a_m} = \emptyset \Rightarrow a_m^{OPT} = 45^\circ$$

$$\eta_{s\text{-}s,c}^{OPT} = 1 - 2\varepsilon$$



Βαθμός Απόδοσης Πτερύγωσης Στροβίλου

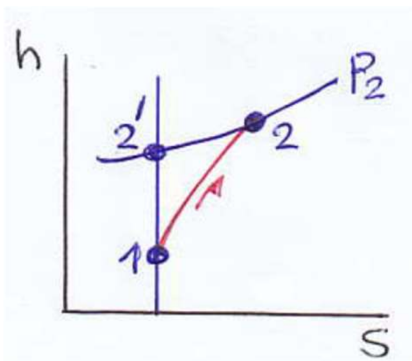


$$\eta_{s\text{-}s,T} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2'}}$$

$$\eta_{ss,T} = \frac{1}{1 + \dfrac{\Delta \overline{P}_t}{\frac{1}{2}\rho V_a^2 (\tan^2 a_2 - \tan^2 a_1)}}$$

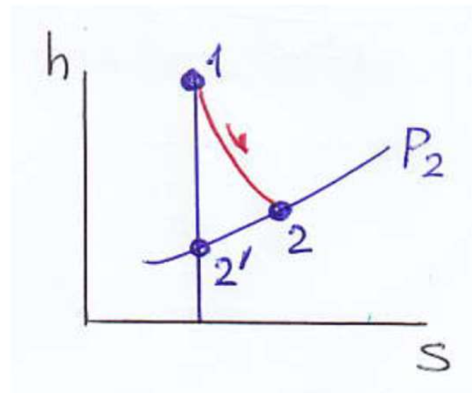
$$\eta_{s\text{-}s,T} = \frac{1}{1 + \dfrac{2\varepsilon}{\sin 2a_m}}$$

Σχόλια - Σύνδεση με Προηγούμενες Γνώσεις



$$\eta_{s\text{-}s,C} = 1 - \frac{2\varepsilon}{\sin 2a_m}$$

Συμπιεστής



$$\eta_{s\text{-}s,T} = \frac{1}{1 + \frac{2\varepsilon}{\sin a_m}}$$

Στρόβιλος

Παραπομπή στο Τυπολόγιο

Οι σχέσεις της Ενότητας 'Ανάλυση Πτερυγώσεων' έχουν προκύψει με την παραδοχή ΑΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ ΡΟΗΣ:

- **Συντελεστής Απωλειών Ολικής Πίεσης:** Είναι το $\overline{\omega}_1$, με:

$$\frac{p_2-p_1}{\rho V_1^2/2} = 1-\frac{V_2^2}{V_1^2}-\overline{\omega}_1 \ , \quad \overline{\omega}_1 = \frac{\overline{\Delta p_t}}{\rho V_1^2/2}$$

όπου $\overline{\Delta p_t}$ είναι η απώλεια ολικής πίεσης στην πτερύγωση ($\overline{\Delta p_t}=p_{t1}-p_{t2}$).

- **Δυνάμεις σε Πτερύγωση:** Η αξονική και η περιφερειακή δύναμη (ανά μονάδα ύψους) σε κάθε πτερύγιο επίπεδης πτερύγωσης με βήμα s είναι:

$$F_a = \frac{1}{2}\rho V_{a1}^2(tan^2a_1-tan^2a_2)s-\overline{\Delta p_t}s$$
$$F_u = \rho V_{a1}^2(tana_1-tana_2)s$$

Αναλύοντας τη συνολική δύναμη κατά τη και κάθετα στη διεύθυνση της μέσης γωνίας a_m, με $tana_m=\frac{1}{2}(tana_1+tana_2)$ προκύπτει η άνωση L και η έλκουσα D, ως:

$$L = \rho V_1^2(tana_1-tana_2)s\frac{cos^2a_1}{cosa_m}-s\overline{\Delta p_t}sina_m$$
$$D = s\overline{\Delta p_t}cosa_m$$

- **Συντελεστές Άνωσης, Έλκουσας:**

$$C_L = \frac{2}{\sigma}(tana_1-tana_2)\frac{cos^2a_1}{cosa_m}-\frac{\overline{\omega_1}}{\sigma}sina_m$$
$$C_D = \frac{\overline{\omega_1}}{\sigma}cosa_m$$

όπου $\sigma=c/s$ η στερεότητα (c=χορδή).

Παραπομπή στο Τυπολόγιο

- **Ανάλυση Πτερύγωσης Συμπιεστή:** Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στατικές-προς-στατικές συνθήκες:

$$\eta_{s-s,C} = \frac{h_2^{/} - h_1}{h_2 - h_1}$$

που για ασυμπίεστη ροή γράφεται:

$$\eta_{s-s,C} = 1 - \frac{\overline{\Delta p_t}}{\frac{1}{2}\rho V_a^2 (tan^2 a_1 - tan^2 a_2)}$$

Λόγος έλκουσας προς άνωση:

$$\epsilon = \frac{D}{L} = \frac{\overline{\Delta p_t} cos^2 a_m}{\rho V_a^2 (tan a_1 - tan a_2)}$$

ή $\eta_{s-s,C} \approx 1 - \frac{2\epsilon}{sin(2a_m)}$

- **Ανάλυση Πτερύγωσης Στροβίλου:** Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στατικές-προς-στατικές συνθήκες:

$$\eta_{s-s,T} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2^{/}}$$

που για ασυμπίεστη ροή γράφεται:

$$\eta_{s-s,T} = \frac{1}{1 + \frac{2\overline{\Delta p_t}}{\rho V_a^2 (tan^2 a_2 - tan^2 a_1)}} \approx \frac{1}{1 + \frac{2\epsilon}{sin(2a_m)}}$$

Παραπομπή στο Τυπολόγιο

- **Ανάλυση Πτερύγωσης Συμπιεστή:** Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στατικές-προς-στατικές συνθήκες:

$$\eta_{s-s,C} = \frac{h_2^{/} - h_1}{h_2 - h_1}$$

που για ασυμπίεστη ροή γράφεται:

$$\eta_{s-s,C} = 1 - \frac{\overline{\Delta p_t}}{\frac{1}{2}\rho V_a^2(tan^2 a_1 - tan^2 a_2)}$$

Λόγος έλκουσας προς άνωση:

$$\epsilon = \frac{D}{L} = \frac{\overline{\Delta p_t} cos^2 a_m}{\rho V_a^2(tana_1 - tana_2)}$$

ή $\eta_{s-s,C} \approx 1 - \frac{2\epsilon}{sin(2a_m)}$

- **Ανάλυση Πτερύγωσης Στροβίλου:** Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στατικές-προς-στατικές συνθήκες:

$$\eta_{s-s,T} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2^{/}}$$

που για ασυμπίεστη ροή γράφεται:

$$\eta_{s-s,T} = \frac{1}{1 + \frac{2\overline{\Delta p_t}}{\rho V_a^2(tan^2 a_2 - tan^2 a_1)}} \approx \frac{1}{1 + \frac{2\epsilon}{sin(2a_m)}}$$

Άσκηση 03

3. Σε αεριοστρόβιλο απλής ατράκτου και για συγκεκριμένες στροφές λειτουργίας μετράμε και πιστοποιούμε από τις διαθέσιμες χαρακτηριστικές τα εξής στοιχεία:

(α) για το συμπιεστή (μεταβολή 1→2):

$$\frac{p_{t_2}}{p_{t_1}} = 4{,}7 \quad , \quad \frac{\dot{m}\sqrt{T_{t_1}}}{p_{t_1}} = 33{,}8 \quad , \quad \eta_C = 0{,}79$$

(β) για το στρόβιλο (μεταβολή 3→4):

$$\frac{p_{t_3}}{p_{t_4}} = 4{,}5 \qquad \frac{\dot{m}\sqrt{T_{t_3}}}{p_{t_3}} = 14{,}2 \quad , \quad \eta_T = 0{,}85$$

όπου η_C και η_T είναι οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης του συμπιεστή και του στροβίλου αντίστοιχα, ενώ οι εμπλεκόμενες ποσότητες p_t, $\dot{m}$, T_t μετρώνται σε bar, kg/s και K, αντίστοιχα.

Αμελούμε κάθε απώλεια ολικής πίεσης στους αγωγούς εισόδου και εξόδου. Ο θάλαμος καύσης έχει απώλεια ολικής πίεσης 3% και ο μηχανικός βαθμός απόδοσης άξονα και παρελκομένων είναι $\eta_M = 0{,}98$. Δεχόμαστε ότι η ροή

Άσκηση 03

μάζας μέσα στο συμπιεστή και το στρόβιλο είναι ίδιες, ενώ ο εκθέτης ισεντροπικής μεταβολής για όλα τα εργαζόμενα μέσα είναι $\gamma = 1{,}4$. Για τον αέρα είναι $C_{p,\alpha} = 1004{,}5$ J/kg K και για το καυσαέριο $C_{p,\kappa} = 1160$ J/kg K. Αν ο αεριοστρόβιλος λειτουργεί στις στροφές αυτές, σε περιβάλλον 1 bar και 288 K, υπολογίστε την ολική θερμοκρασία στην είσοδο και την έξοδο του στροβίλου και την ισχύ που δίνει ο αεριοστρόβιλος.

Άσκηση 05

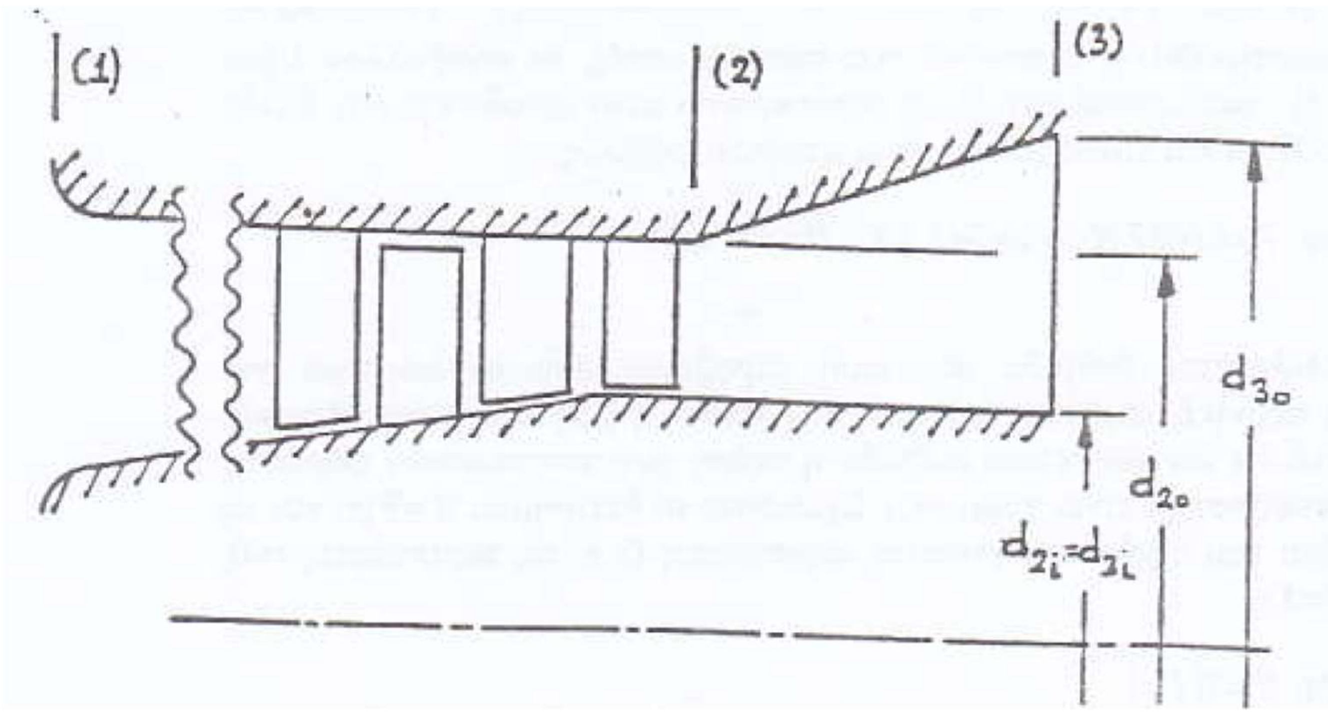
5. Εστω ο αξονικός συμπιεστής του σχήματος που αναρροφά αέρα από το περιβάλλον και φέρει διαχύτη στην έξοδο. Ο συμπιεστής αποτελείται από δυο ακίνητες πτερυγώσεις που ακολουθούν την περιστρεφόμενη πτερύγωση, ώστε να εξασφαλίζεται αξονική κατεύθυνση της ροής στην έξοδο της τελευταίας από αυτές. Γνωρίζουμε τα παρακάτω γεωμετρικά στοιχεία: εσωτερική διάμετρος στις θέσεις 2 και 3 ίση με $d_{2i}=d_{3i}=0{,}4854$ m, εξωτερική διάμετρος στη θέση 2 ίση με $d_{2o}=0{,}5393$ και κλίση των τοιχωμάτων του διαχύτη

$$\frac{2L}{d_{3o}-d_{3i}}=5$$

όπου L το μήκος του διαχύτη.

Η ταχύτητα στην είσοδο του διαχύτη είναι 200 m/s και στην ίδια διατομή επικρατούν ολικές συνθήκες $p_{t_2}=5\,\text{bar}$ και $T_{t_2}=450\,\text{K}$. Θεωρείστε το εργαζόμενο μέσο τέλειο αέριο και υπολογίστε τις υπόλοιπες διαστάσεις του κωνικού δακτυλιοειδούς διαχύτη, την παροχή του, τους βαθμούς απόδοσης και τα στοιχεία ροής στην έξοδό του, έτσι ώστε ο θεωρητικός συντελεστής ανάκτησης πίεσης να είναι $C_{pr,th}=0{,}55$. Δίνεται ο συντελεστής απωλειών ολικής πίεσης του διαχύτη ίσος με 0,10.

Άσκηση 05



Άσκηση 24

24. Σε αεριοστρόβιλο απλής ατράκτου με δύο στροβίλους (1:είσοδος συμπιεστή, 2:είσοδος θαλάμου καύσης, 3:είσοδος στροβίλου ΥΠ, 4:είσοδος στροβίλου ΧΠ, 5:έξοδος στροβίλου ΧΠ) η όλη μεταβολή γίνεται ιδανικά, δηλαδή με αδιαβατικές και αναστρέψιμες συμπιέσεις και αποτονώσεις, χωρίς απώλειες ολικής πίεσης στους ενδιάμεσους αγωγούς ή το θάλαμο καύσης, όπου η καύση είναι τέλεια για όλο το καύσιμο. Αέρας και καυσαέριο θα λογίζονται με ίσες παροχές και σταθερά γ και C_p, κοινά για τα δύο μέσα. Η είσοδος και η έξοδος από τον αεριοστρόβιλο γίνεται με την ίδια ολική πίεση.

(α) Σχεδιάστε ποιοτικά τη μεταβολή 1-5 σε διάγραμμα T-S.

(β) Αν π_C είναι ο λόγος πίεσης του συμπιεστή, αποδείξτε ότι, με τις παραπάνω παραδοχές, ο θερμικός βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι

$$\eta_\theta = 1 - \pi_C^{-\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

(γ) Δώστε την έκφραση του καθαρού έργου που δίνεται στον άξονα ανά μονάδα μά-ζας εργαζόμενου μέσου συναρτήσει των ολικών θερμοκρασιών στις θέσεις 1,2 και 3.

(δ) Για δεδομένες ολικές θερμοκρασίες στις θέσεις 1 και 3, εκφράστε (ως συνάρτηση των T_{t1}, T_{t3}) την ολική θερμοκρασία της θέσης 2 και το λόγο πίεσης του συμπιεστή που αντιστοιχούν σε μέγιστο αποδιδόμενο έργο στον άξονα.

Άσκηση 33

33. Μελετάται στροβιλοαντιδραστήρας διπλού ρεύματος, διπλής ατράκτου με λόγο παράκαμψης 6. Ο Στροβιλοαντιδραστήρας αποτελείται κατά σειρά από τον ανεμιστήρα (fan), το συμπιεστή, το στρόβιλο ΥΠ και το στρόβιλο ΧΠ. Η πρώτη άκτρακτος συνδέει τον ανεμιστήρα με το στρόβιλο ΧΠ ενώ η δεύτερη άτρακτος συνδέει το συμπιεστή με το στρόβιλο ΥΠ. Και οι 4 συνιστώσες του στροβιλοαντιδραστήρα έχουν τον ίδιο ισεντροπικό βαθμό απόδοσης ολικών - προς-ολικές συνθήκες που ισούται με 0,90. Επίσης, κάθε ζεύγος συνιστωσών που συνδέεται με την ίδια άκτρακτο είναι σε ενεργειακή ισορροπία. Δίνονται:

- Συνθήκες στην είσοδο του ανεμιστήρα 259,5K και 46 kPa
- Λόγος πίεσης ανεμιστήρα 1,6
- Λόγος πίεσης συμπιεστή 25
- Ολική θερμοκρασία στην είσοδο του στροβίλου ΥΠ 1450K

Με την απλοποιητική παραδοχή ότι το εργαζόμενο μέσο και στις 4 συνιστώσες είναι αέρας (Τέλειο Αέριο), που ουσιαστικά σημαίνει ότι ο θάλαμος καύσης προκαλεί μόνο αύξηση ενθαλπίας στο εργαζόμενο ρευστό που παραμένει αέρας (χωρίς να αυξηθεί η παροχή του) και με την υπόθεση ότι η πτώση πίεσης στο θάλαμο καύσης είναι αμελητέα, υπολογίστε :

- τις συνθήκες στην έξοδο του ανεμιστήρα
- τις συνθήκες στην έξοδο του συμπιεστή
- τις συνθήκες στην έξοδο του στροβίλου ΥΠ και το λόγο πίεσης του
- τις συνθήκες στην έξοδο του στροβίλου ΧΠ και το λόγο πίεσης του

και σχεδιάστε το θερμοδυναμικό διάγραμμα (T-S) της μεταβολής, με βάση τα αριθμητικά σας αποτελέσματα. Υπενθυμίζεται ότι ο λόγος παράκαμψης ορίζεται ως πηλίκο της παροχής μάζας του αγωγού παράκαμψης προς την παροχή μάζας που περνά από το κυρίως σώμα (συμπιεστής-θάλαμος καύσης-στρόβιλος) του στροβιλοαντιδραστήρα.

Άσκηση 33