



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

School of Mechanical Engineering

Lab. Of Thermal Turbomachines

Parallel CFD & Optimization Unit (PCOpt/NTUA)

Ο Ακτινικός Στρόβιλος

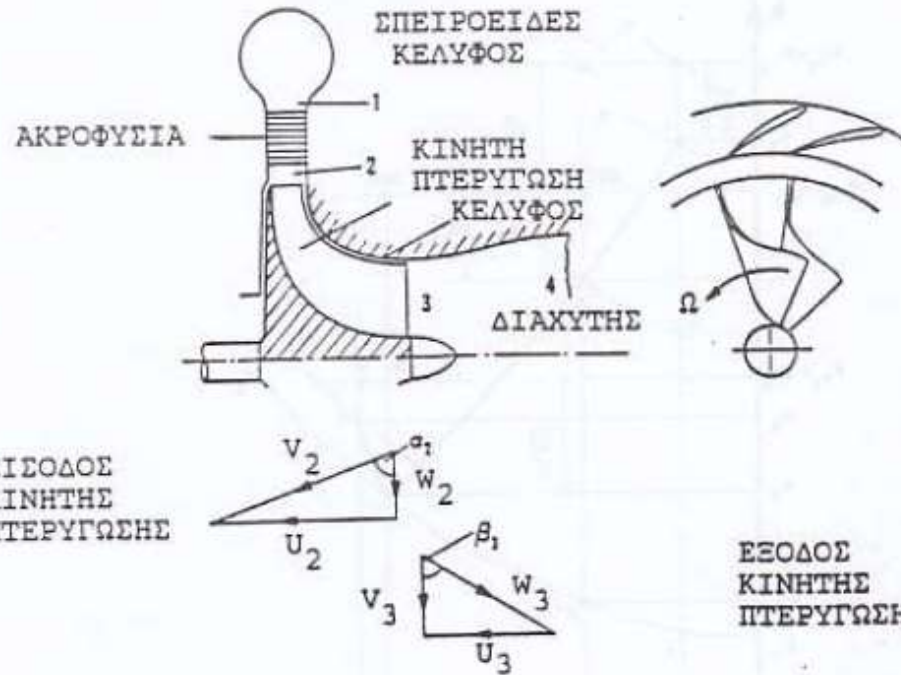
Kyriakos C. GIANNAKOGLOU, Professor NTUA

kgianna@mail.ntua.gr

<http://velos0.ltt.mech.ntua.gr/research>



Βαθμίδα Ακτινικού Στροβίλου



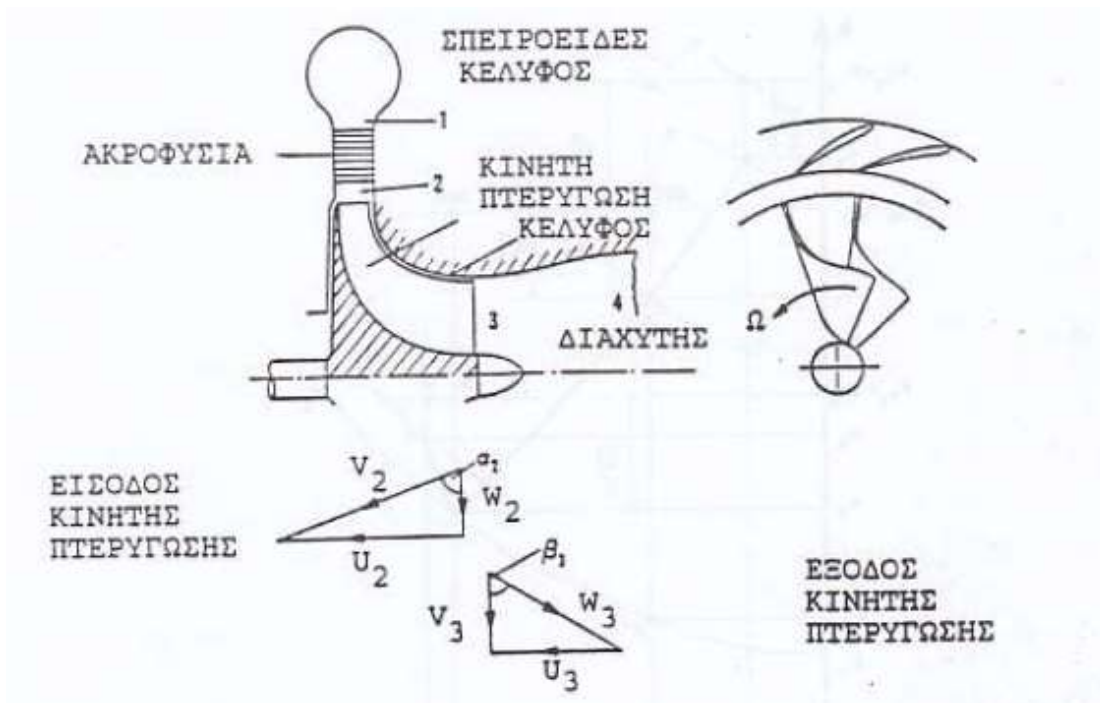
Προσοχή σε ποιο επίπεδο ανήκει κάθε τρίγωνο ταχυτήτων !!!

Τα δύο ορθογώνια τρίγωνα ταχυτήτων εκατέρωθεν της πτερωτής είναι συνηθισμένη περίπτωση, αλλά όχι υποχρεωτικό!!!

Radial Inflow Turbine

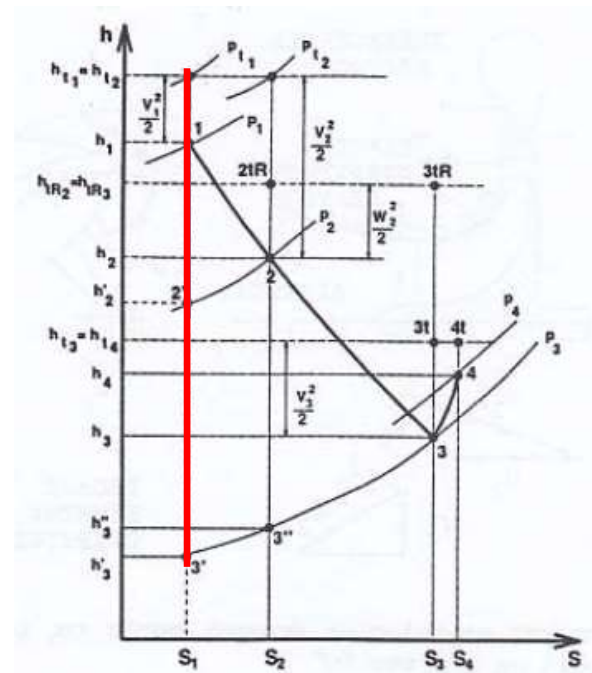


Βαθμίδα Ακτινικού Στροβίλου



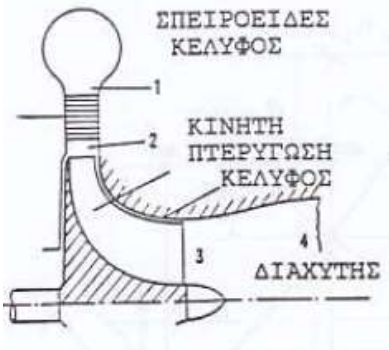
$W_2 = \text{radial}, V_3 = \text{axial}$

Αν η $V_3 = \text{axial}$, τι είναι η V_4 ?





Βαθμίδα Ακτινικού Στροβίλου



$$h_1 - h_2 = \frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

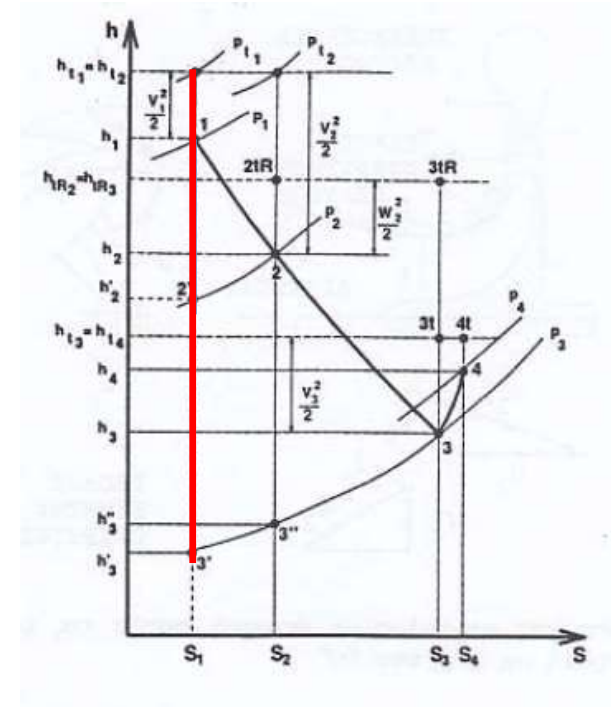
$$h_2 - h_3 = \frac{1}{2} [(U_2^2 - U_3^2) - (W_2^2 - W_3^2)]$$

$$h_{t1} - h_{t3} = U_2 V_{u2} - U_3 V_{u3}$$

$$h_{t1} - h_{t3} = \frac{1}{2} [(U_2^2 - U_3^2) + (W_3^2 - W_2^2) + (V_2^2 - V_3^2)]$$

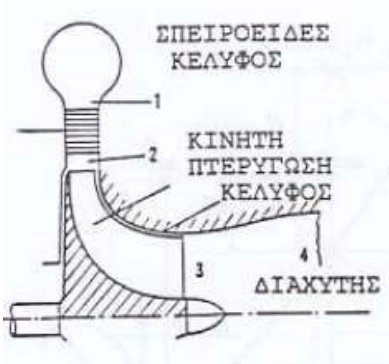
Αύξηση του έργου (ανά μονάδα μάζας) του στροβίλου αν:

- 1) $R_2 \gg R_3$, πλεονέκτημα της Radial Inflow έναντι Radial Outflow
- 2) $W_3 \gg W_2$, μεγάλη επιτάχυνση σχ. ροής στην πτερωτή
- 3) $V_2 \gg V_3$, μεγάλη επιβράδυνση απολ. ροής στην πτερωτή





Βαθμίδα Ακτινικού Στροβίλου

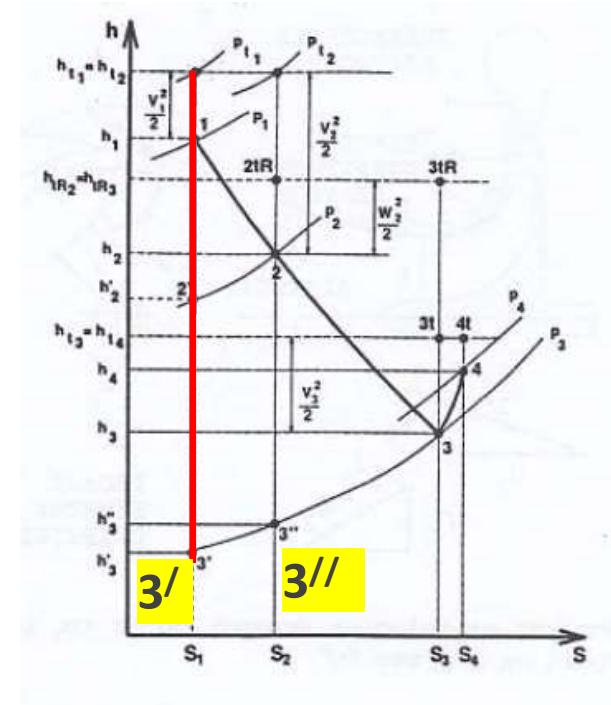


Γενικά, ο ακτινικός στρόβιλος δίνει μικρότερο Δh_t για τις ίδιες στροφές με τον αξονικό, όμως με υψηλότερο βαθμό απόδοσης, ειδικά στα μικρότερα μεγέθη, έχοντας και μικρό κόστος κατασκευής.

Radial Inflow Turbine: μεγαλύτερο ειδικό έργο.

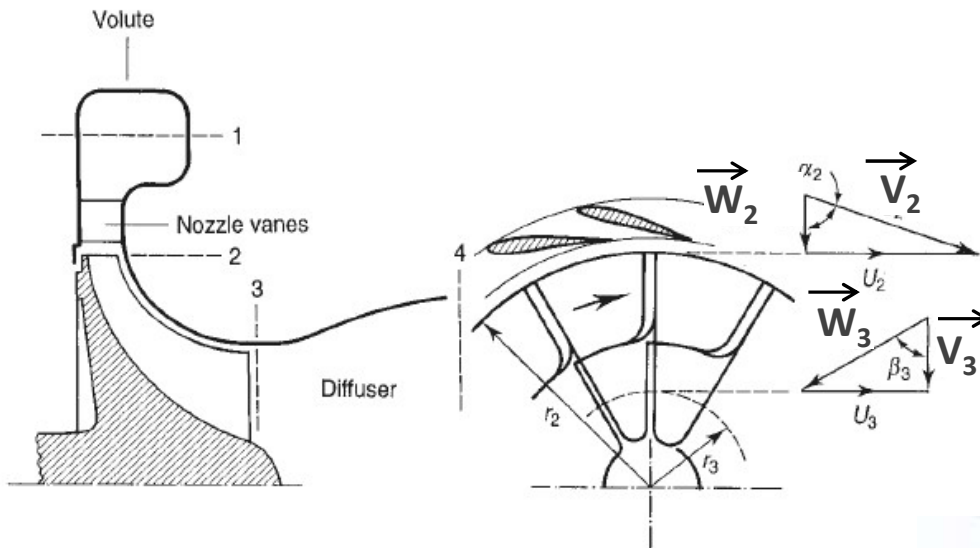
Ορισμός **ισεντροπικής** ταχύτητας:

$$1/2V_{is}^2 = ht_1 - h_3' = 2C_p T_{t1} (1 - T_3'/T_{t1}) = 2C_p T_{t1} (1 - (p_3/p_{t1})^{(\gamma-1)/\gamma})$$





Βαθμίδα Ακτινικού Στροβίλου



Για ορθογώνια τρίγωνα ταχυτήτων
εκατέρωθεν της πτερωτής.

$$\beta_2=0^\circ \text{ και } \alpha_3=0^\circ$$

$$\Delta h_t = U_2 V_{u2} - U_3 V_{u3} = U_2^2$$

$$V_2^2 = U_2^2 + W_2^2$$

$$W_3^2 = U_3^2 + V_3^2$$

$$h_2 - h_3 = \frac{1}{2} (U_2^2 - W_2^2 + V_3^2)$$

$$\frac{U_2}{W_2} = \tan \alpha_2$$

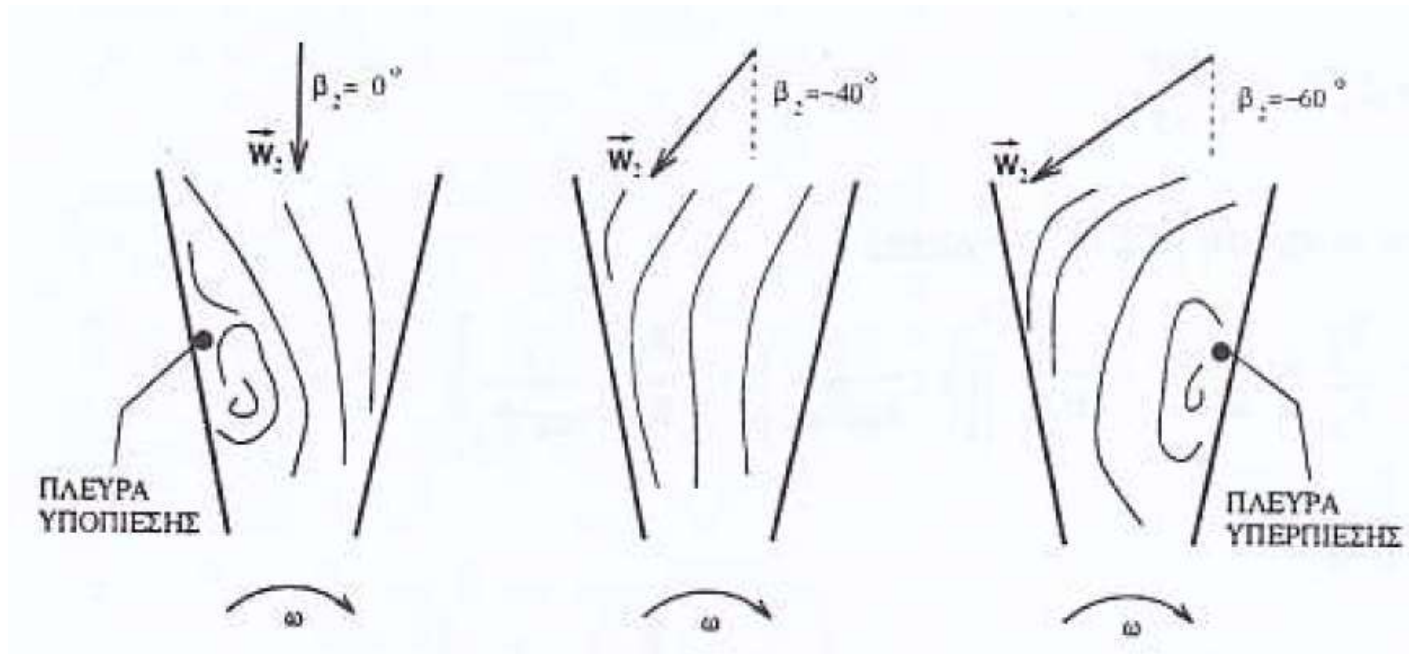
$$\frac{U_3}{V_3} = \tan \beta_3$$

$$h_2 - h_3 = \frac{1}{2} U_2^2 \left[\left(1 - \frac{1}{\tan^2 \alpha_2} \right) + \left(\frac{R_3}{R_2} \right)^2 \frac{1}{\tan^2 \beta_3} \right]$$

$$\frac{T_3}{T_2} = 1 - \frac{1}{2} (\gamma - 1) M_{u_2}^2 \left[\left(1 - \frac{1}{\tan^2 \alpha_2} \right) + \left(\frac{R_3}{R_2} \right)^2 \frac{1}{\tan^2 \beta_3} \right]$$



Βαθμίδα Ακτινικού Στροβίλου



Μορφή πεδίου ροής στην περιστρεφόμενη πτερύγωση. Βέλτιστη απόδοση για $\beta_2 = -20^\circ \dots -30^\circ$, με αποφυγή της αποκόλλησης.



Βαθμός Απόδοσης Ακτινικού Στροβίλου

$$\eta_{t-s,T} = \frac{h_{t_1} - h_{t_2}}{h_{t_1} - h_{3'}}$$

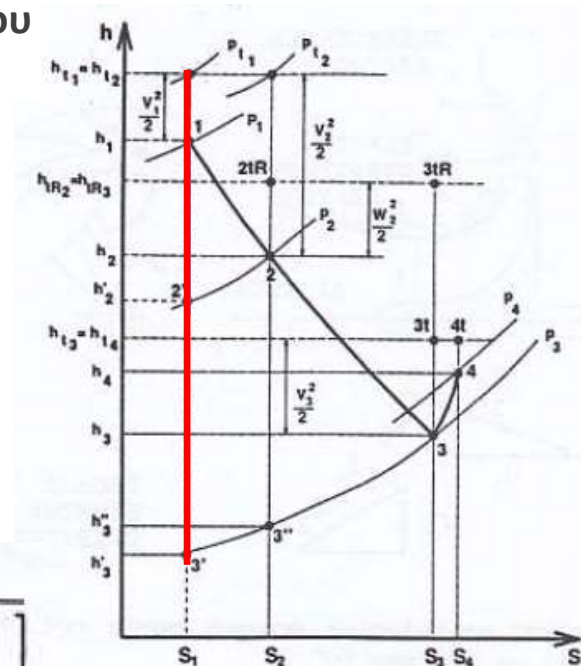
$$h_{t_1} - h_{3'}/=V_{is}^2/2$$

$$h_{t_1} - h_{3'} = (h_{t_1} - h_{t_2}) + (h_{t_2} - h_{3''}) + (h_{3''} - h_{3'}) + \frac{1}{2} V_3^2$$

$$h_{t_2} - h_{3''} = \frac{1}{2} \zeta_R W_3^2$$

Ολικές-προς-στατικές ολόκληρου του στροβίλου (διαχύτης?)

$$h_{3''} - h_{3'} = \frac{1}{2} \zeta_N \left(\frac{T_3}{T_2} \right) V_2^2$$



$$\eta_{t-s,T} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left[\frac{R_3^2}{R_2^2} \left(\frac{1}{\tan^2 \beta_3} + \zeta_R \frac{R_3^2}{R_2^2} \frac{1}{\sin^2 \beta_3} \right) + \zeta_N \frac{T_3}{T_2} \frac{1}{\sin^2 \alpha_2} \right]}$$



Χαρακτηριστικές Λειτουργίας Ακτινικού Στροβίλου

Συντελεστής φόρτισης:

$$\Psi = \frac{\Delta h_t}{U_2^2} = \frac{h_{t_2} - h_{t_3}}{U_2^2}$$

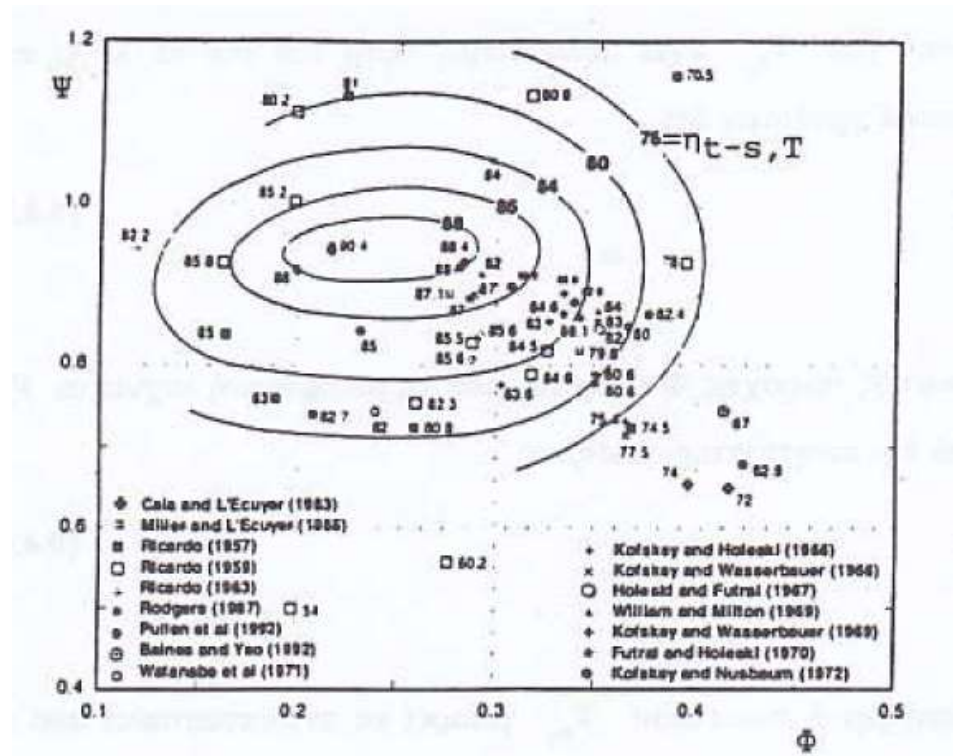
$$\Psi = \frac{V_{u_2}}{U_2} - \left(\frac{R_3}{R_2} \right) \frac{V_{u_3}}{U_2}$$

=0, αν $\alpha_3=0^\circ$

Συντελεστής παροχής:

$$\Phi = \frac{V_{m_3}}{U_2}$$

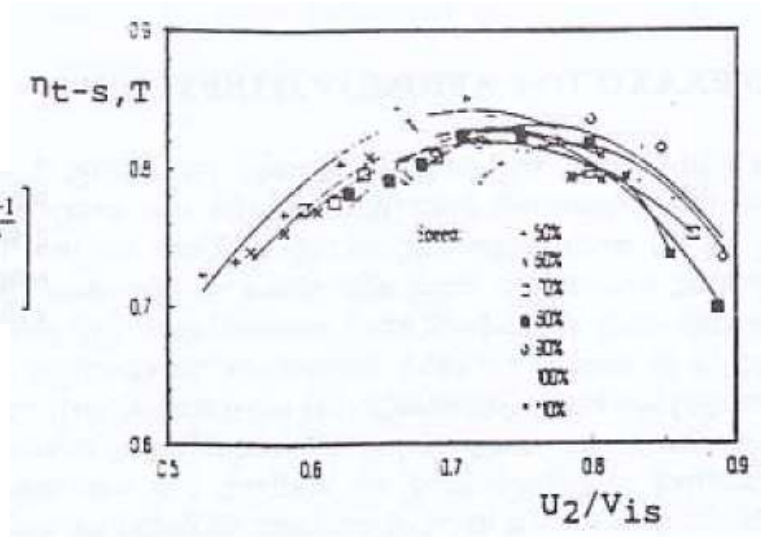
Μεσημβρινή συνιστώσα της ταχύτητας (meridional velocity) → δείκτης m





Χαρακτηριστικές Λειτουργίας Ακτινικού Στροβίλου

$$V_{is}^2 = 2C_p T_{t1} \left[1 - \left(\frac{P_3}{P_{t1}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$$



Βαθμός απόδοσης ολικών-προς-στατικές συνθήκες ακτινικού στροβίλου, ως συνάρτηση του λόγου U_2/V_{is} .

Σχεδόν ενιαία καμπύλη.
Μέγιστος βαθμός απόδοσης (~0.90)
για περίπου:

$$\left(\frac{U_2}{V_{is}} \right)_{opt} = 0.7$$

Στο Βέλτιστο:

$$\eta_{t-s,T} = 0.90 = 2\Delta h_t / V_{is}^2 = 2 (\Delta h_t / U_2^2) (U_2^2 / V_{is}^2) = 2\Psi (U_2 / V_{is})^2 = 2 * (0.7)^2 \Psi = \Psi$$

Άρα, στο βέλτιστο : $\eta_{t-s,T} = \Psi$