



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

School of Mechanical Engineering

Lab. Of Thermal Turbomachines

Parallel CFD & Optimization Unit (PCOpt/NTUA)

Αγωγοί (Ακροφύσια & Διαχύτες)

Kyriakos C. GIANNAKOGLOU, Professor NTUA

kgianna@mail.ntua.gr

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



Αγωγοί - Γενικά

Αντικείμενο: Μεταβολές κατάστασης σε χώρους χωρίς πτερύγια – Δακτυλιοειδείς αγωγοί

Παραδείγματα:

- Αγωγός εισόδου στον Συμπιεστή ενός Στροβιλοαντιδραστήρα (Turbojet)
- Ακροφύσιο Εξόδου ενός Στροβιλοαντιδραστήρα (Turbojet)
- Αγωγός Εξόδου ενός Συμπιεστή
- Ακτινικός Διαχύτης στην έξοδο Ακτινικού/Φυγοκεντρικού Συμπιεστή

Βασικά Χαρακτηριστικά τη Ροής σε Αγωγούς:

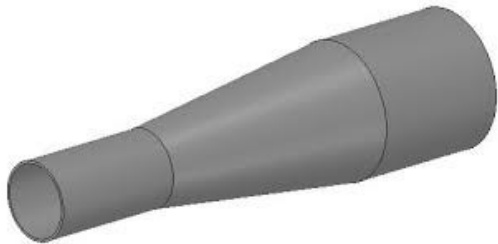
- Άεργη ροή, ελλείψει περιστρεφόμενων πτερυγίων (διατήρηση h_t)
- Αδιαβατική ροή (πλην εξαιρέσεων, λχ στο Θάλαμο Καύσης) («μικρή» πτώση του p_t)

Κατηγοριοποίηση Αγωγών:

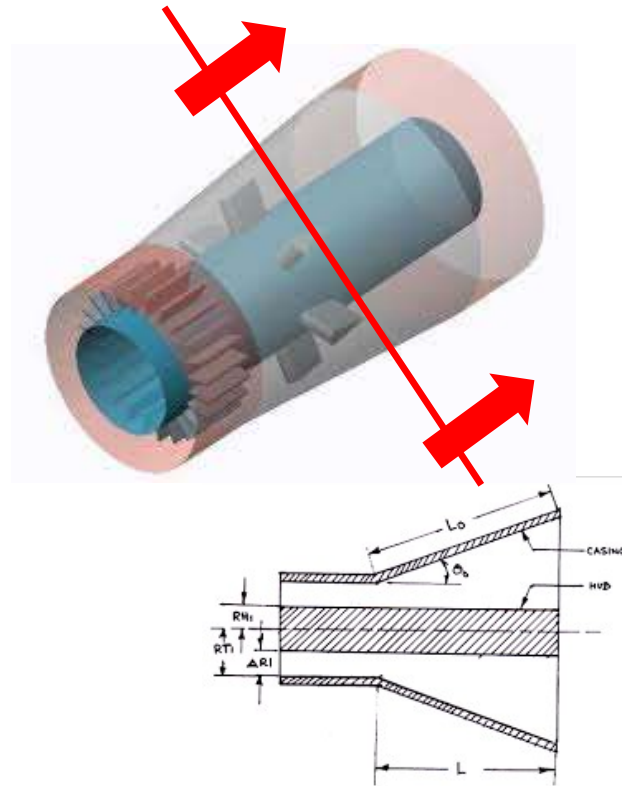
- Επιταχυνόμενη Ροή → Συγκλίνων Αγωγός → Ακροφύσιο (Nozzle, **N**)
- Επιβραδυνόμενη Ροή → Αποκλίνων Αγωγός → Διαχύτης (Diffuser, **D**)



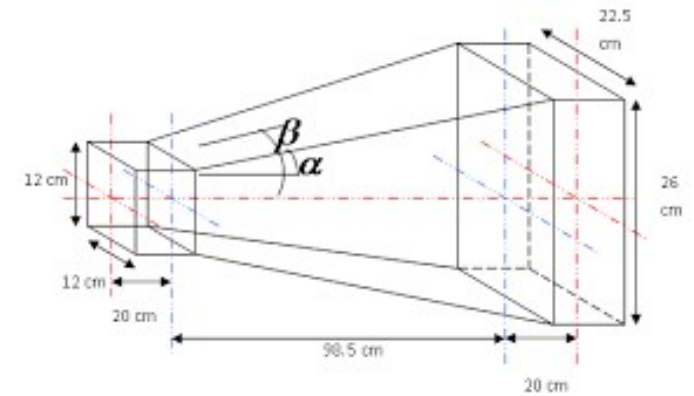
Τύποι Διαχύτη



Κωνικοί Διαχύτες



Δακτυλιοειδείς Διαχύτες



Διαχύτες Ορθογωνικής Διατομής



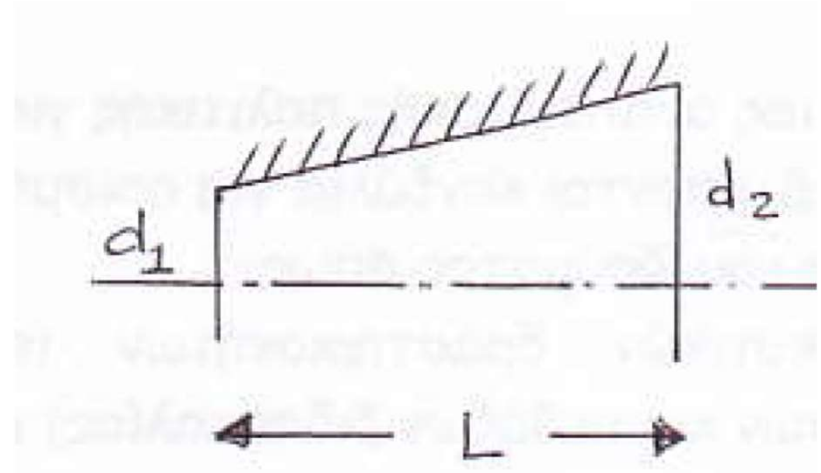
Σχόλια – Κωνικός Διαχύτης

Δεδομένο $d_2/d_1 \rightarrow$ ελάχιστο L :

- Μεγάλη γωνία
- Απότομη Επιβράδυνση
- Ταχεία ανάπτυξη οριακών στρωμάτων
- Πιθανότητα αποκόλλησης της ροής

Δεδομένο $L \rightarrow$ μέγιστο d_2/d_1 :

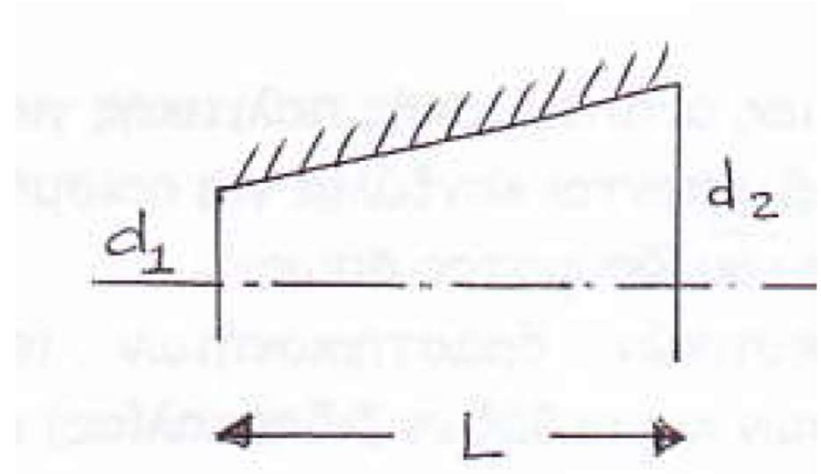
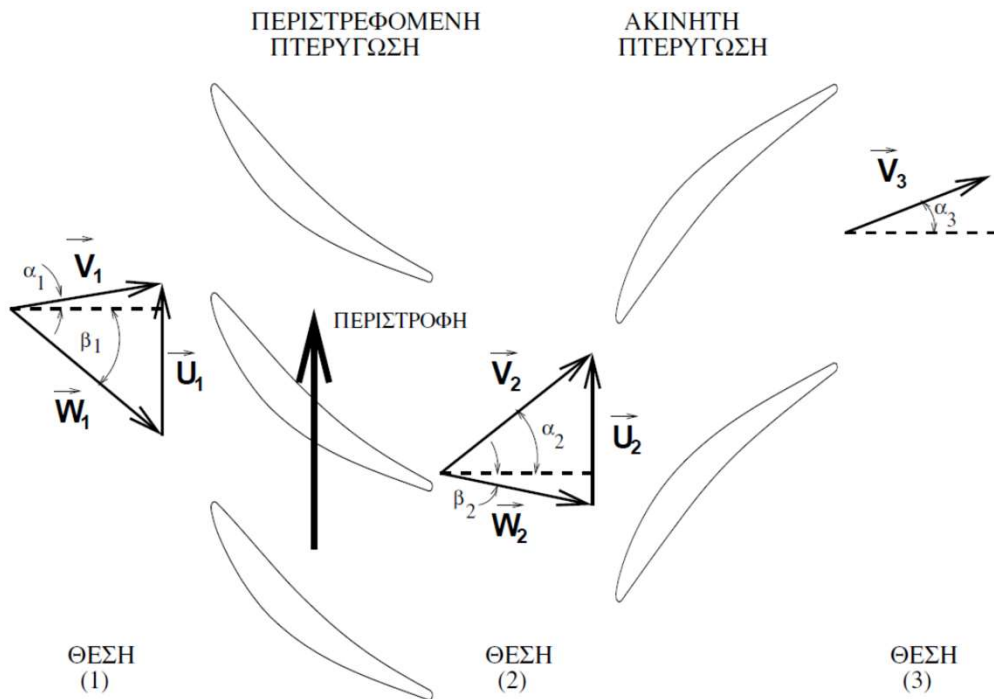
- Όχι πάντα εφικτό ένα μεγάλο L
- Αυξημένες απώλειες λόγω τριβών



ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ \rightarrow Χρυσή τομή ανάλογα με την εφαρμογή!

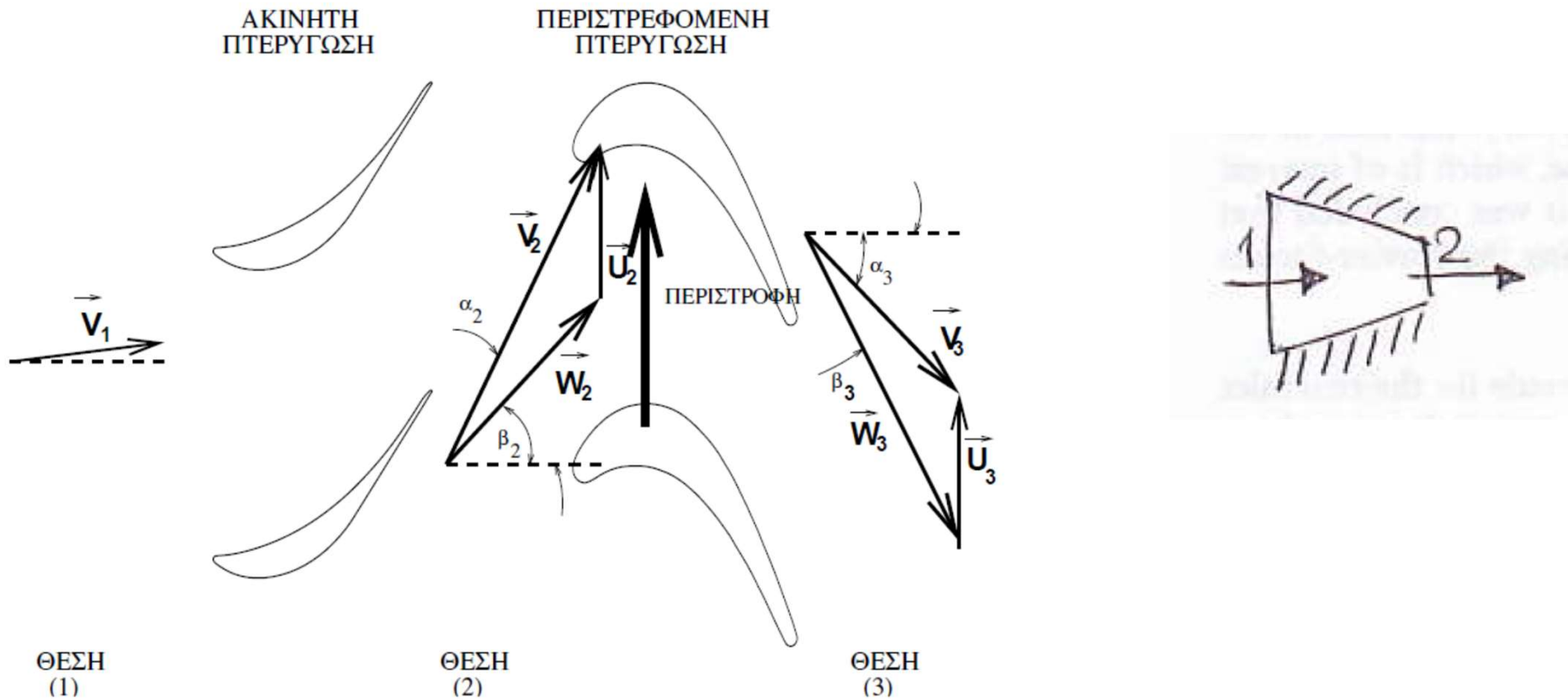


Συσχέτιση Διαχύτη με Συμπιεστή



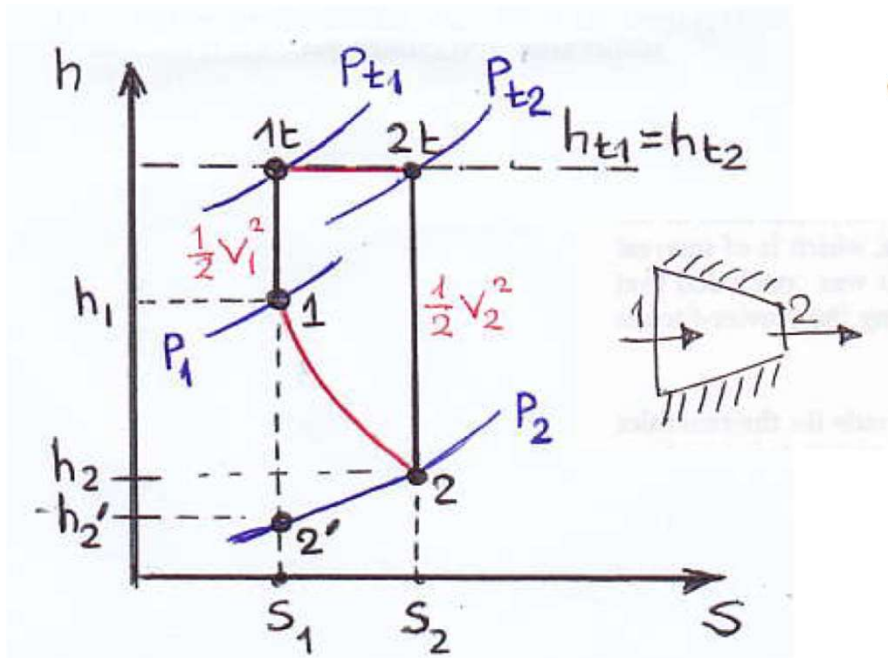


Συσχέτιση Ακροφυσίου με Στρόβιλο





Ακροφύσιο – Nozzle (N)



- **Ακροφύσια:** Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στατικές-προς-στατικές συνθήκες:

$$\eta_{s-s,N} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'}$$

Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης ολικές-προς-στατικές συνθήκες:

$$\eta_{t-s,N} = \frac{h_{t1} - h_2}{h_{t1} - h_2'}$$

$$T_{t1} = T_{t2} \quad \text{ή} \quad h_{t1} = h_{t2}$$



Φυσική Σημασία

- **Ακροφύσια:** Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στατικές-προς-στατικές συνθήκες:

$$\eta_{s-s,N} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'}$$

**Δ(Κιν. Ενέργειας)
Πραγματικό (In/Out)**

**Δ(Κιν. Ενέργειας)
Ιδανικό (In/Out)**

Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης ολικές-προς-στατικές συνθήκες:

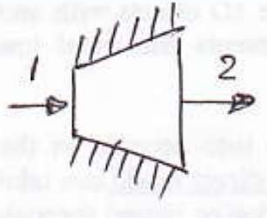
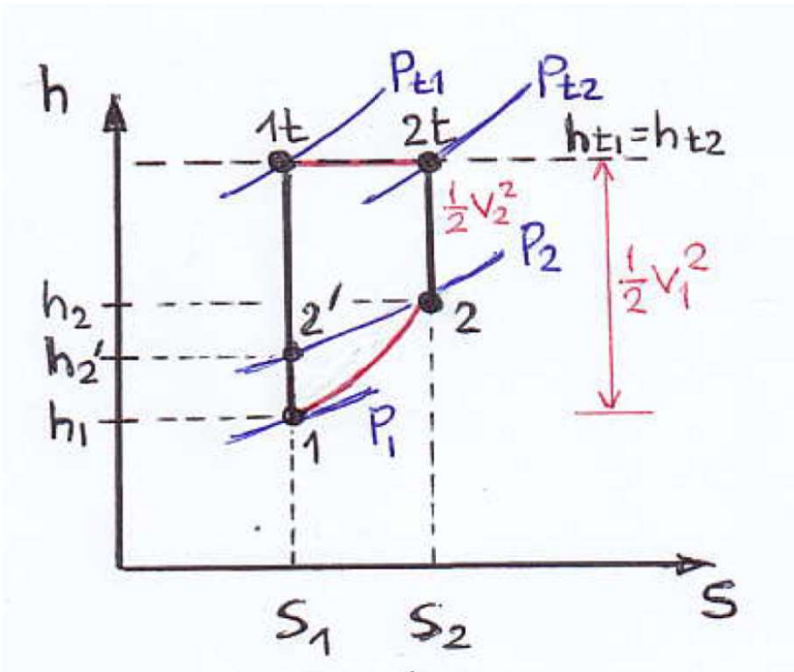
$$\eta_{t-s,N} = \frac{h_{t1} - h_2}{h_{t1} - h_2'}$$

**Κιν. Ενέργεια Out
Πραγματική**

**Κιν. Ενέργεια Out
Ιδανική**



Διαχύτης – Diffuser (D)



- **Διαχύτες:** Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στατικές-προς-στατικές συνθήκες:

$$\eta_{s-s,D} = \frac{h_2' - h_1}{h_2 - h_1}$$

Για **ασυμπίεστο** ρευστό, αποδεικνύεται ότι:

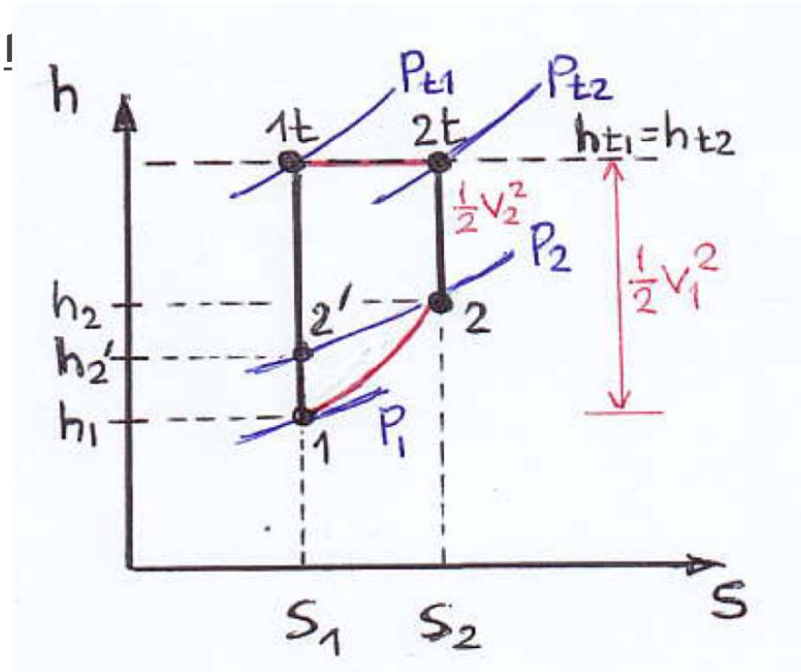
$$\eta_{s-s,D} = \frac{1}{1 + \frac{p_{t1} - p_{t2}}{p_2 - p_1}}$$

Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης στατικές-προς-ολικές συνθήκες:

$$\eta_{s-t,D} = \frac{h_{t2}' - h_1}{h_{t2} - h_1}$$



Διαχύτης – Diffuser (D)



$$\eta_{s-s,D} = \frac{h_2' - h_1}{h_2 - h_1}$$

Ισεντροπική Μεταβολή:

$$T ds = dh - v dp \Rightarrow \Delta h = \frac{1}{\rho} \Delta p$$

$$\Rightarrow h_2' - h_1 = \frac{p_2 - p_1}{\rho}$$

Πραγματική Μεταβολή:

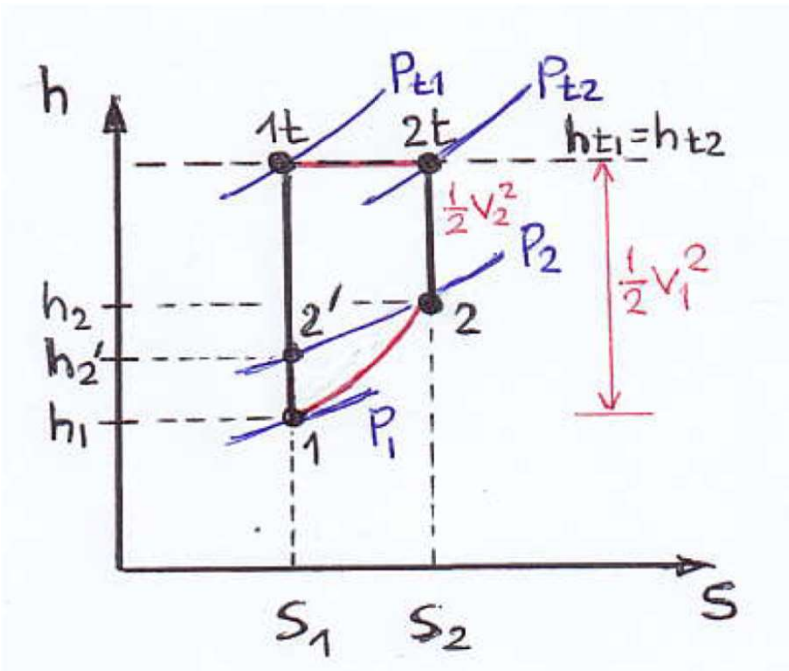
$$\begin{aligned} h_2 - h_1 &= \left(h_{t2} - \frac{1}{2} V_2^2 \right) - \left(h_{t1} - \frac{1}{2} V_1^2 \right) = \\ &= \frac{1}{2} (V_1^2 - V_2^2) = \frac{1}{\rho} (p_{t1} - p_1) - \frac{1}{\rho} (p_{t2} - p_2) \end{aligned}$$

$$\eta_{s-s,D} = \frac{1}{1 + \frac{p_{t1} - p_{t2}}{p_2 - p_1}}$$

Φυσική Σημασία!



Παραπομπή στο Τυπολόγιο



- **Συντελεστής Ανάκτησης Πίεσης σε Διαχύτη:** Ο Συντελεστής Ανάκτησης Πίεσης ορίζεται ως $C_{pr} = \frac{p_2 - p_1}{p_{t1} - p_1}$ και για ασυμπίεστη-ατριβή ροή γράφεται και ως $C_{pr} = 1 - (V_2/V_1)^2$. Ο Θεωρητικός Συντελεστής Ανάκτησης Πίεσης ορίζεται ως $C_{pr,th} = 1 - (V_2/V_1)^2$ χωρίς προϋποθέσεις. Στις ασυμπίεστες ροές είναι $\eta_{s-s,D} = C_{pr}/C_{pr,th}$.

Για Ασυμπίεστη & Ισεντροπική ροή:

$$C_{pr} = \frac{P_2 - P_1}{P_{t1} - P_1} \quad \rightarrow \quad C_{pr,th} = \frac{\cancel{P_{t2}} - \frac{1}{2}\rho V_2^2 - \cancel{P_{t1}} + \frac{1}{2}\rho V_1^2}{\frac{1}{2}\rho V_1^2} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{V_1^2} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$$

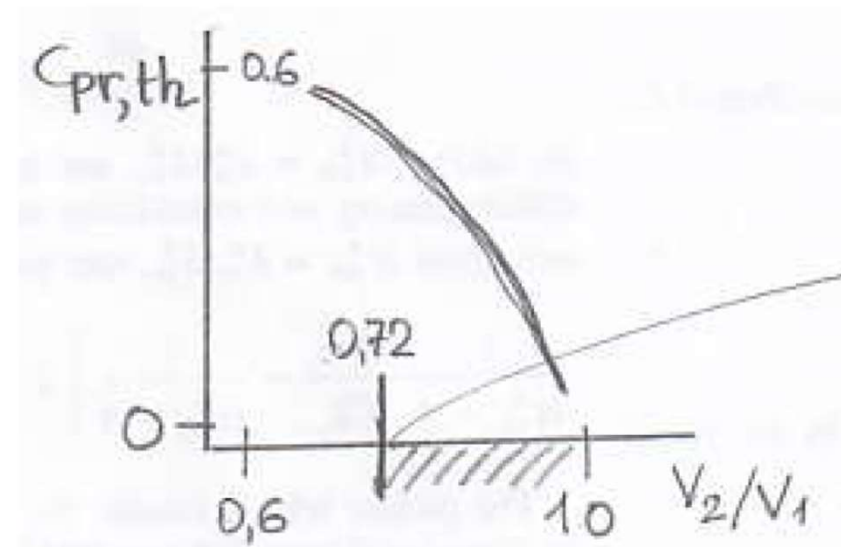


Παραπομπή στο Τυπολόγιο

- **Κριτήριο de Haller:** Υποδεικνύει μέγιστο επιτρεπόμενο όριο επιβράδυνσης. Πρέπει V_2/V_1 ή (κατά περίπτωση) $W_2/W_1 \geq 0,72$.

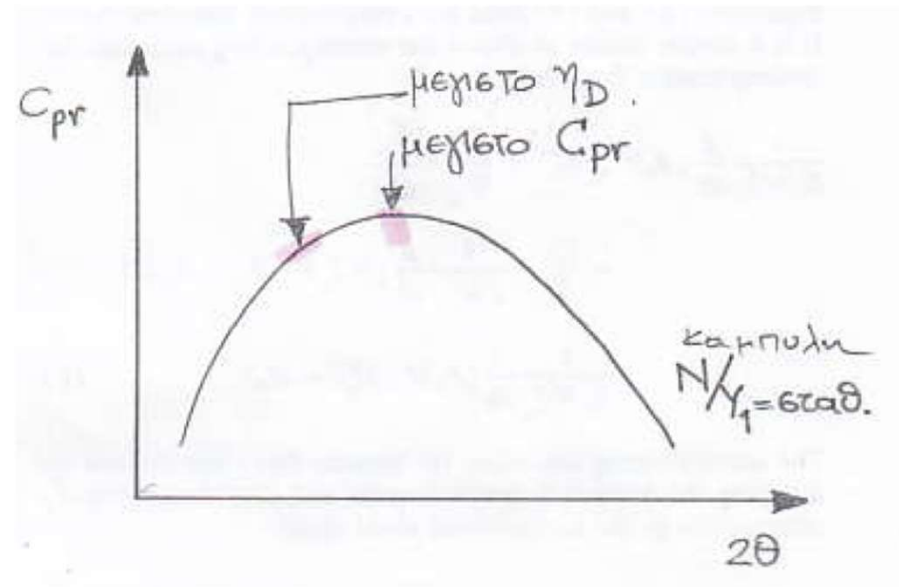
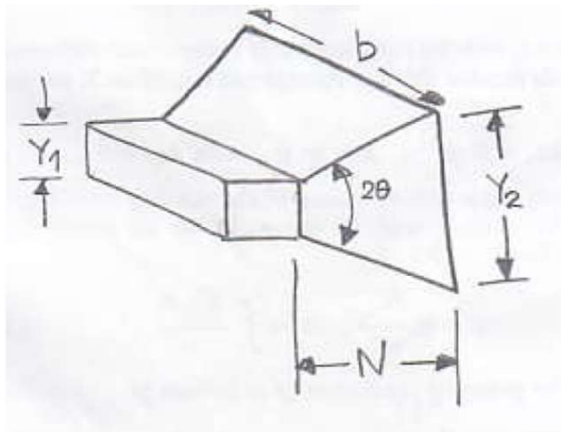
$$C_{pr,th} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$$

Προσοχή: Το $C_{pr,th}$ ορίζεται έτσι και δεν απαιτεί οποιαδήποτε παραδοχή!





Ευθύς Διαχύτης - Σχόλια



Diffuser Effectiveness:

$$\eta_D = C_{pr} / C_{pr,th}$$

Για εξάσκηση: Δείξτε ότι για Ασυμπίεστο Ρευστό, ο η_D ισούται με τον $\eta_{s-s,D}$