

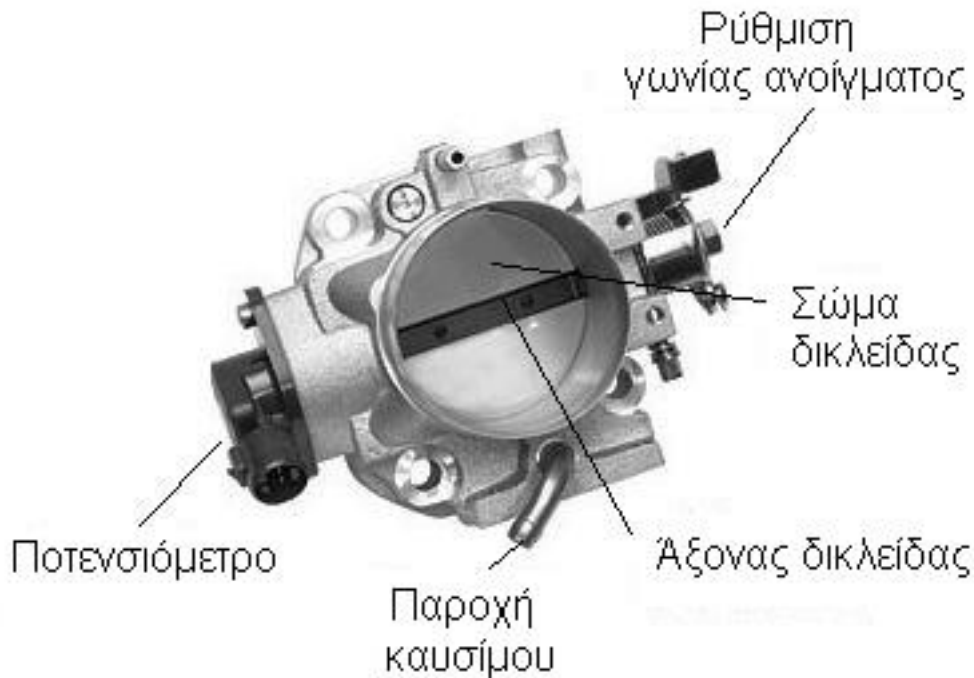
Κεφάλαιο 4: Ροή στις Πολλαπλές Εισαγωγής Και Εξαγωγής

Δημήτριος Θ. Χουντάλας
Καθηγητής ΕΜΠ
(dx1961@central.ntua.gr)

Γεώργιος Μαυρόπουλος
Αναπληρωτής Καθηγητής ΜΕΚ ΑΣΠΑΙΤΕ
Επιστημονικός Συνεργάτης
Εργαστήριο ΜΕΚ ΕΜΠ
(mavrop1@central.ntua.gr)

Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας

- Στραγγαλιστική δικλείδα (πεταλούδα):
 - Κινητήρες Otto για ρύθμιση φορτίου.
 - Ρυθμίζει μάζα αναρροφώμενης γόμωσης/ πίεση εισαγωγής (ποσοτική ρύθμιση).
 - Μείγμα σταθερού λόγου ισοδυναμίας αέρα/ καυσίμου ($\lambda \approx 1$ (λόγω και του τριοδικού καταλύτη))

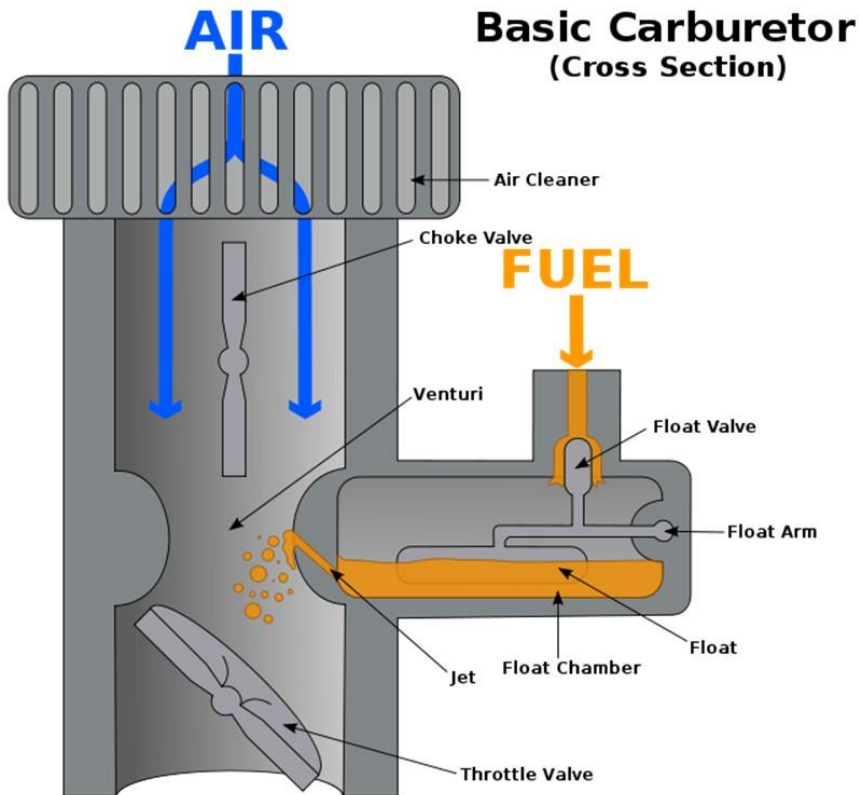


Κεφάλαιο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

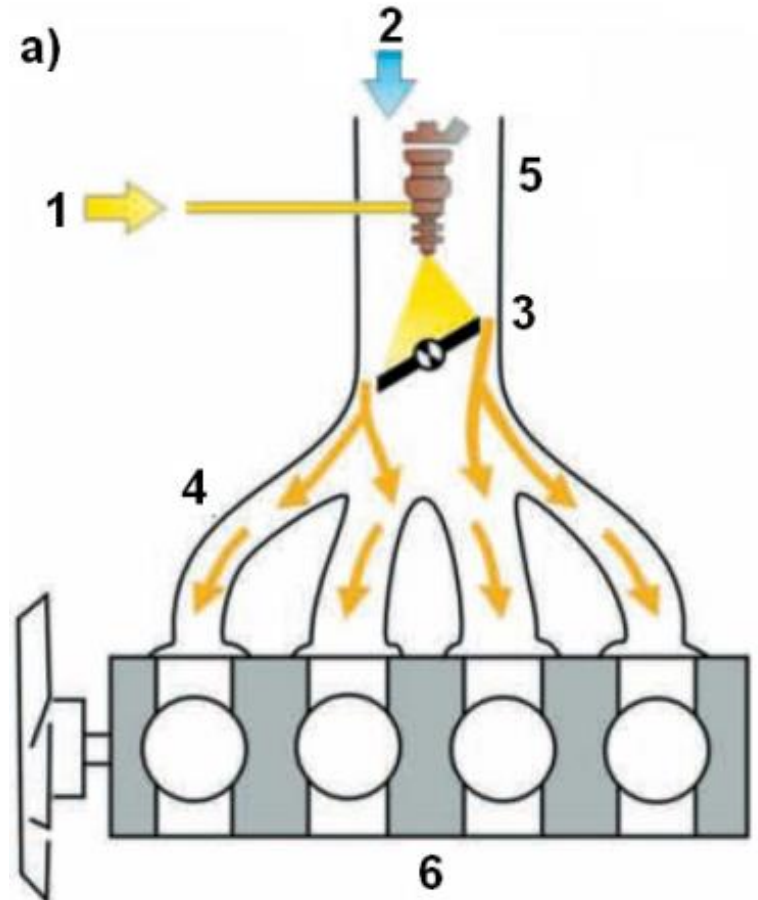
Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας

- Στραγγαλιστική δικλείδα (πεταλούδα):
- Επιταχύνει τη ροή και ευνοεί ανάμειξη αέρα/ καυσίμου

Εξαεριωτής



Έγχυση καυσίμου

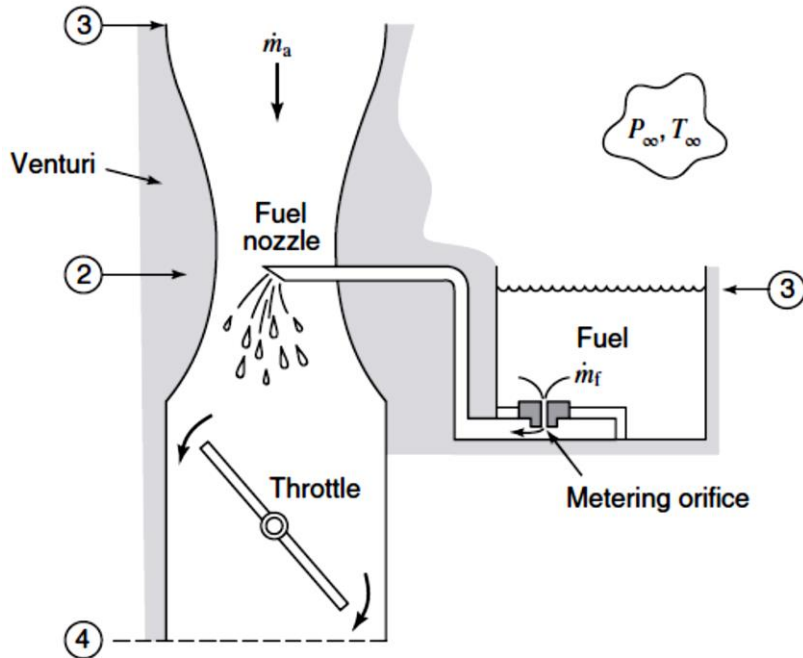


Κεφάλαιο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

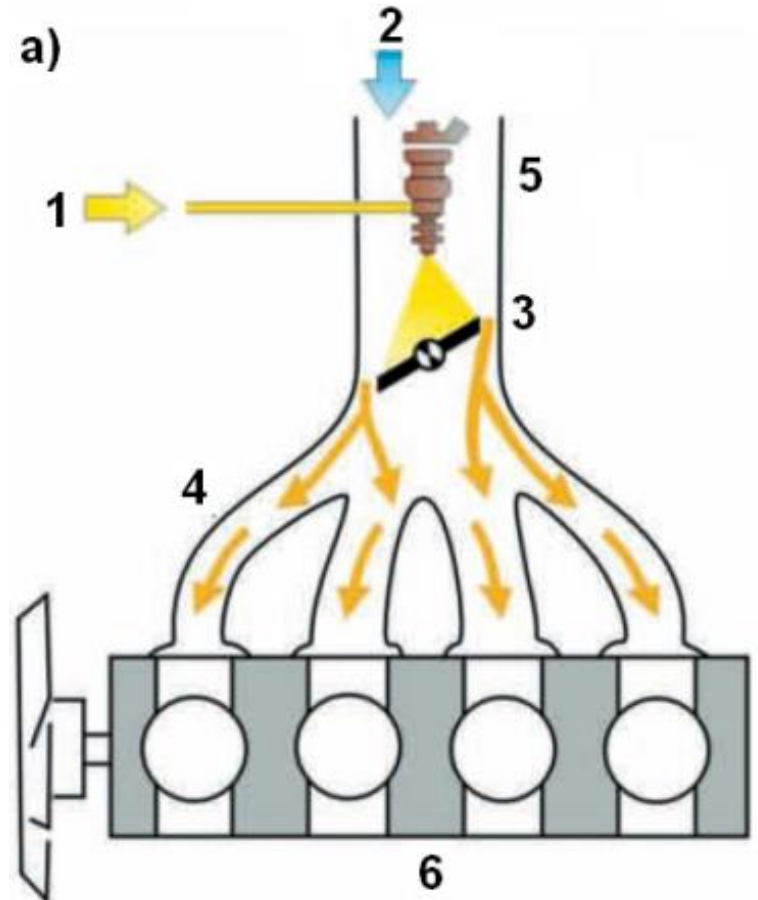
Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας

- Στραγγαλιστική δικλείδα (πεταλούδα):
- Επιταχύνει τη ροή και ευνοεί ανάμειξη αέρα/ καυσίμου

Εξαεριωτής



Έγχυση καυσίμου



Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας (πεταλούδα)

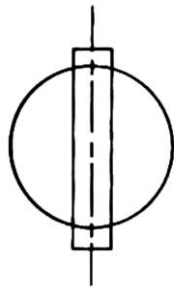
- Πτώση πίεσης στην πεταλούδα
 - Η πτώση πίεσης της δικλείδας είναι η πιο σημαντική πτώση πίεσης στην εισαγωγή, ειδικά σε μερικά φορτία (μέχρι και 90% της συνολικής).
 - Πίεση εισαγωγής (και φορτίο κινητήρα) εξαρτάται από επιφάνεια ροής πεταλούδας
 - Πτώση πίεσης στη δικλείδα (βλ. Σχέση 2.15):

$$p_{\alpha} - p_{im} = \Delta p_{th} = \zeta_{th} \rho_{\alpha} u_{th}^2 = \rho_{\alpha} \bar{c}_{\varepsilon}^2 \zeta_{th} \left(\frac{A_{\varepsilon}}{A_{th}} \right)^2 = p_u - p_d$$

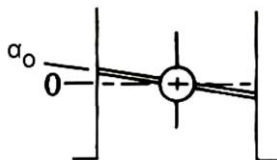
- Σημαντική συμβολή στη συνολική πτώση πίεσης στο σύστημα εισαγωγής (μέχρι και 90% της συνολικής).

Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας

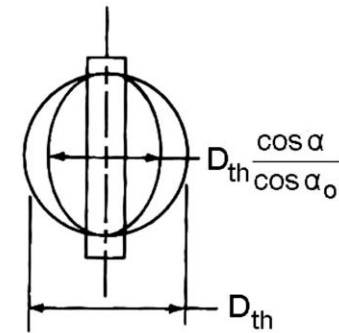
- Επιφάνεια ροής στην πεταλούδα
 - Λόγος μέγιστης/ ελάχιστη επιφάνεια διέλευσης ≈ 100
 - Επιφάνεια ροής= συνάρτηση γωνίας ανοίγματος
 - Πλήρως ανοιχτή (WOT-Wide Open Throttle) \rightarrow Μέγιστη επιφάνεια
 - Μερικώς ανοικτή (20-45°)
 - Κλειστή (5-15°)



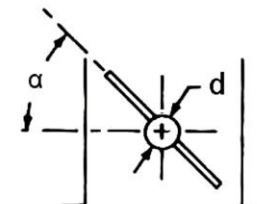
Κλειστή



d : διάμετρος άξονα
 D_{th} : διάμετρος αγωγού
 α : γωνία ανοίγματος
 α_0 : γωνία κλεισίματος ($>0^\circ$)



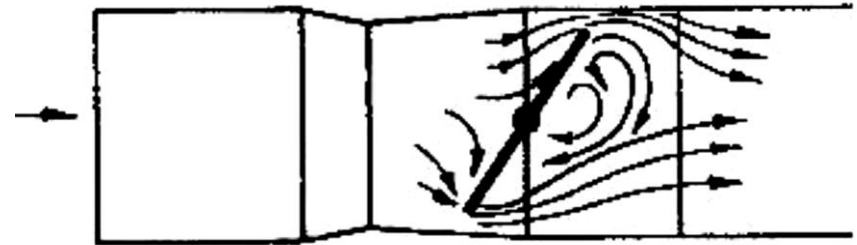
Ανοικτή (γωνία ' α ')



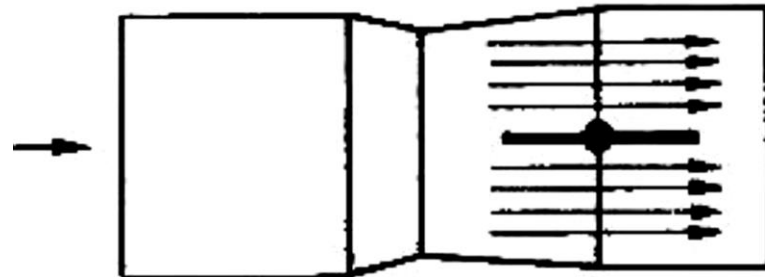
Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας

- Πεδίο ροής στην πεταλούδα
 - Γενικά: 3-Διαστατο πεδίο ροής
 - Σε πλήρες φορτίο (WOT) → Ομοιόμορφες συνθήκες ροής
 - Όσο κλείνει η δικλείδα → Αποκολλήσεις/ ανακυκλοφορία

Μερικώς ανοικτή

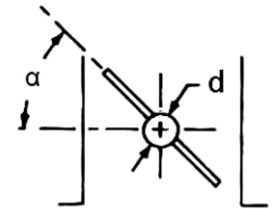


Ανοικτή



Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας

- Πεδίο ροής στην πεταλούδα
 - Σε πλήρες φορτίο(WOT)→ Η διάμετρος του άξονα d επηρεάζει επιφάνεια ροής/ πτώση πίεσης
 - $C_d = f(\text{Re}, \text{Pressure ratio}, \text{γωνίας ανοίγματος})$
 - Ροή υπάρχει ακόμη και για $\alpha = 0^\circ$ (ανοχές)
 - Πτώση πίεσης εξαρτάται κυρίως από επιφάνεια ροής πεταλούδας



Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας-Επιφάνεια Ροής

- Ολική κάθετη επιφάνεια διέλευσης του αέρα:

$$A_{th} = \frac{\pi D_{th}^2}{4} - \frac{D_{th}^2}{2} \sin^{-1} \left(\frac{d}{D_{th}} \right) - \frac{d}{2} \sqrt{D_{th}^2 - d^2} - \frac{\pi D_{th}^2}{4} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_0} +$$

$$+ \frac{D_{th}^2}{2} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_0} \sin^{-1} \left(\frac{d \cos \alpha_0}{D_{th} \cos \alpha} \right) + \frac{d}{2} \sqrt{D_{th}^2 - \frac{\cos^2 \alpha_0}{\cos^2 \alpha} d^2}$$

d: διάμετρος άξονα
 D_{th}: διάμετρος αγωγού
 α: γωνία ανοίγματος
 α₀: γωνία κλεισίματος (>0°)
 β=d/D_{th}

- Σε αδιάστατη μορφή:

$$\frac{A_{th}}{\pi D_{th}^2 / 4} = \frac{4A_{th}}{\pi D_{th}^2} = \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_0} \right) +$$

$$\frac{2}{\pi} \left[\frac{\beta}{\cos \alpha} \sqrt{(\cos^2 \alpha - \beta^2 \cos^2 \alpha_0)} + \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_0} \sin^{-1} \left(\frac{\beta \cos \alpha_0}{\cos \alpha} \right) - \beta \sqrt{1 - \beta^2} - \sin^{-1} \beta \right]$$

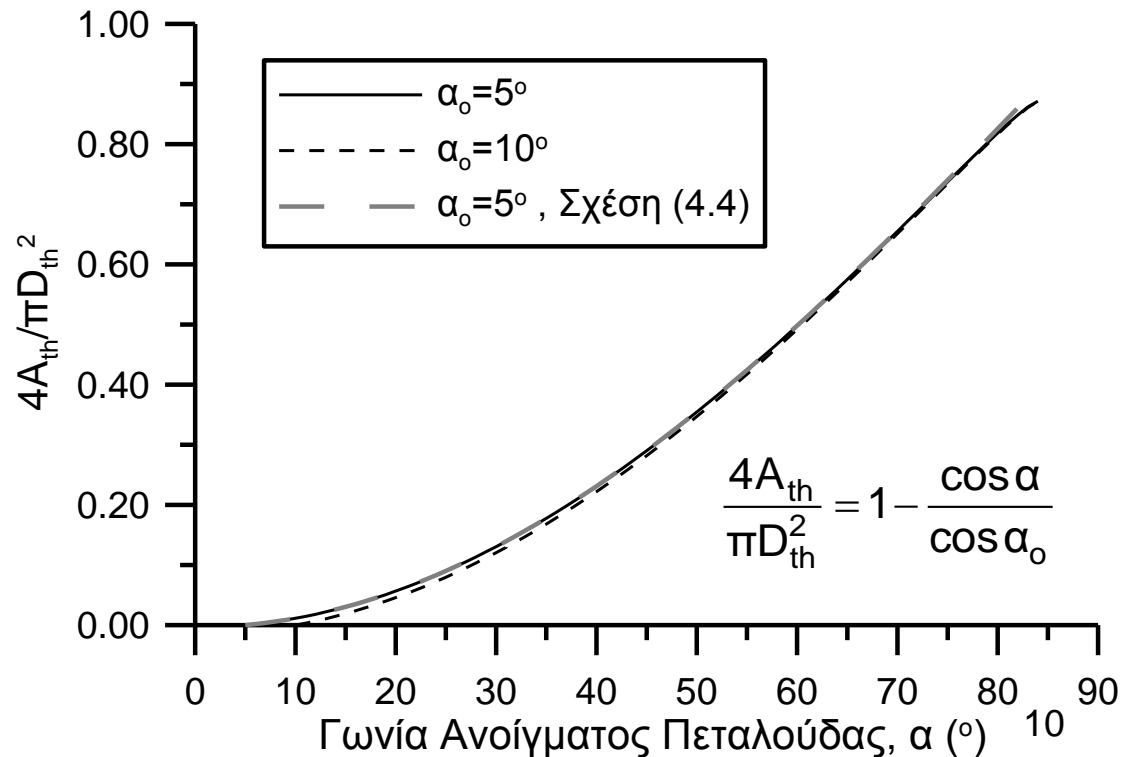
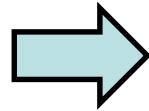
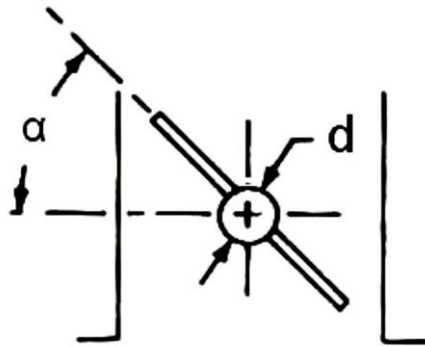
- Μέγιστη τιμή: $\approx \pi D_{th}^2 / 4 - d D_{th}$ όταν: $\cos^2 \alpha = \beta^2 \cos^2 \alpha_0 \Rightarrow \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_0} = \beta \Rightarrow \alpha = \cos^{-1}(\beta \cos \alpha_0)$

- Θεωρώντας $d \approx 0$ \Rightarrow

$$\frac{4A_{th}}{\pi D_{th}^2} = 1 - \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_0}$$

Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας

- Επιφάνεια ροής πεταλούδας
 - Εξάρτηση από γωνία στην οποία κλείνει πλήρως η δικλείδα
 - Μη γραμμική συσχέτιση



Κεφαλαίο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας-Επιφάνεια Ροής-Εναλλακτικές σχέσεις υπολογισμού

• Αδιάστατη ολική κάθετη επιφάνεια διέλευσης του αέρα:

$$\frac{4A_{th}}{\pi D_{th}^2} = 1 - \cos(c_0 \alpha + c_1) + \frac{4A_o}{\pi D_{th}^2}$$

c_0 και c_1 : απόκλιση γωνίας α , λόγω κατασκευαστικών ανοχών
 A_o : επιφάνεια διαρροής

$$\frac{4A_{th}}{\pi D_{th}^2} = c_0 + c_1 \alpha + c_2 \alpha^2$$

και

$$\frac{4A_{th}}{\pi D_{th}^2} = c_0 + c_1 \cos \alpha + c_2 \cos^2 \alpha$$

– Παροχή μάζας \rightarrow ισεντροπική ροή συμπιεστού αερίου μέσω συγκλίνοντος-αποκλίνοντος ακροφυσίου:

$$\dot{m}_{th} = \frac{c_{d,th} A_{th} p_u}{\sqrt{RT_u}} \left(\frac{p_d}{p_u} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_d}{p_u} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}$$

όταν $p_d / p_u \geq [2 / (\gamma + 1)]^{\gamma / (\gamma - 1)}$

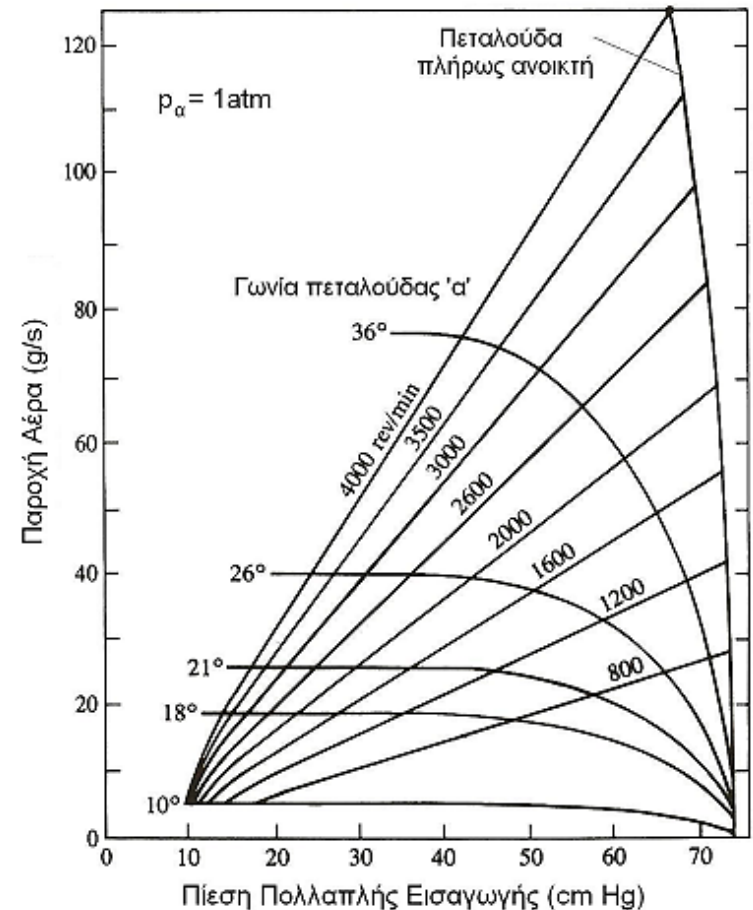
$$\dot{m}_{th,crit} = \frac{c_{d,th} A_{th} p_u}{\sqrt{RT_u}} \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}$$

όταν $p_d / p_u = [2 / (\gamma + 1)]^{\gamma / (\gamma - 1)}$

p_u, T_u : πίεση και θερμοκρασία ανάντι της πεταλούδας ($\approx p_\alpha, T_\alpha$)
 p_d : πίεση κατόντι (=πίεση πολλαπλής εισαγωγής = p_{im})
 $c_{d,th}$: συντελεστής εκροής (εξαρτάται από την A_{th} και υπολογίζεται πειραματικά)

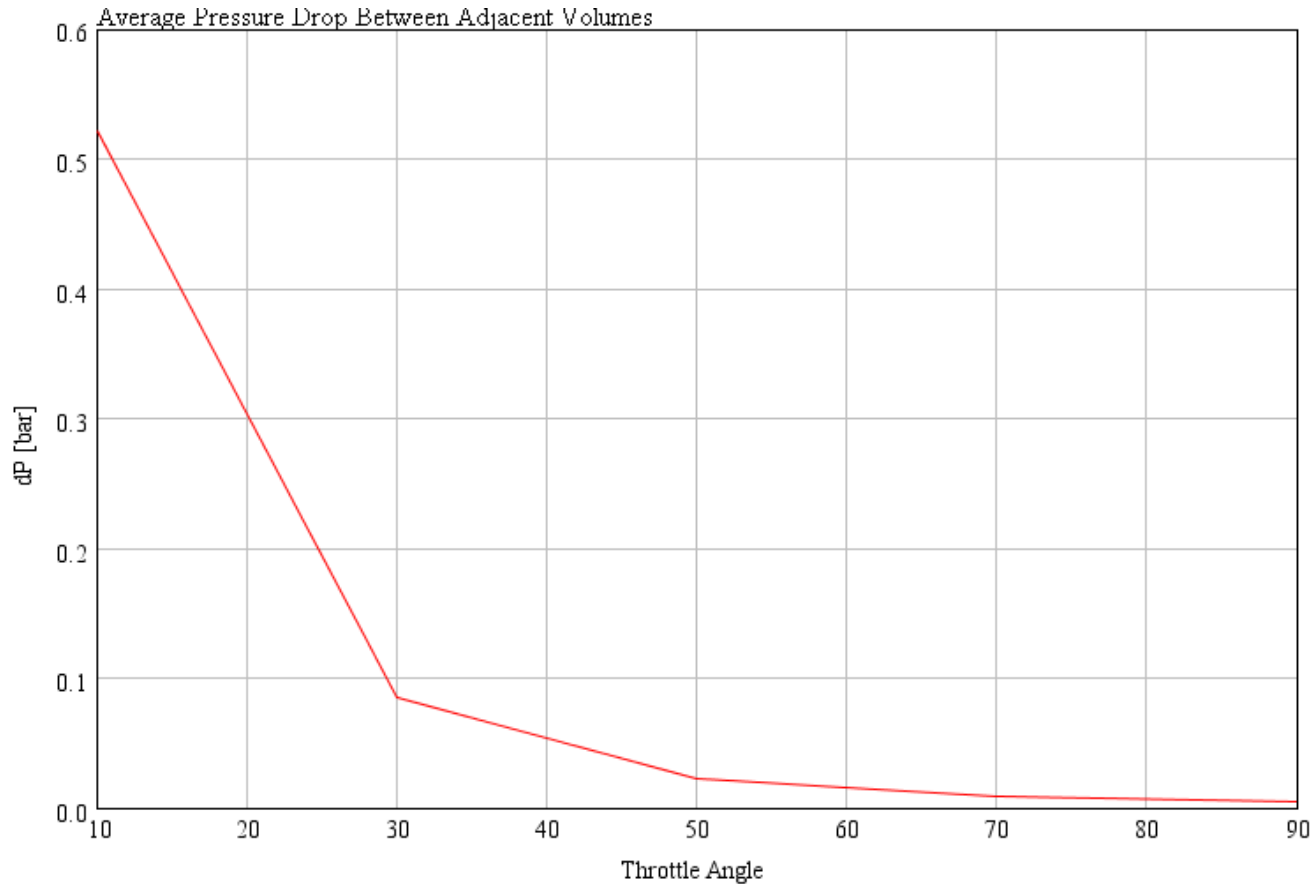
Ροή διαμέσου στραγγαλιστικής δικλείδας

- Ροή μάζας μέσω της πεταλούδας
 - Καλή προσεγγιση με χρήση συμπιεστής ισεντροπικής ροής (κατα τα γνωστα, όπως για βαλβίδες και θυρίδες)
 - Ηχητική ροή → Χαρακτηριστικές παροχής μαζας γίνονται οριζόντιες



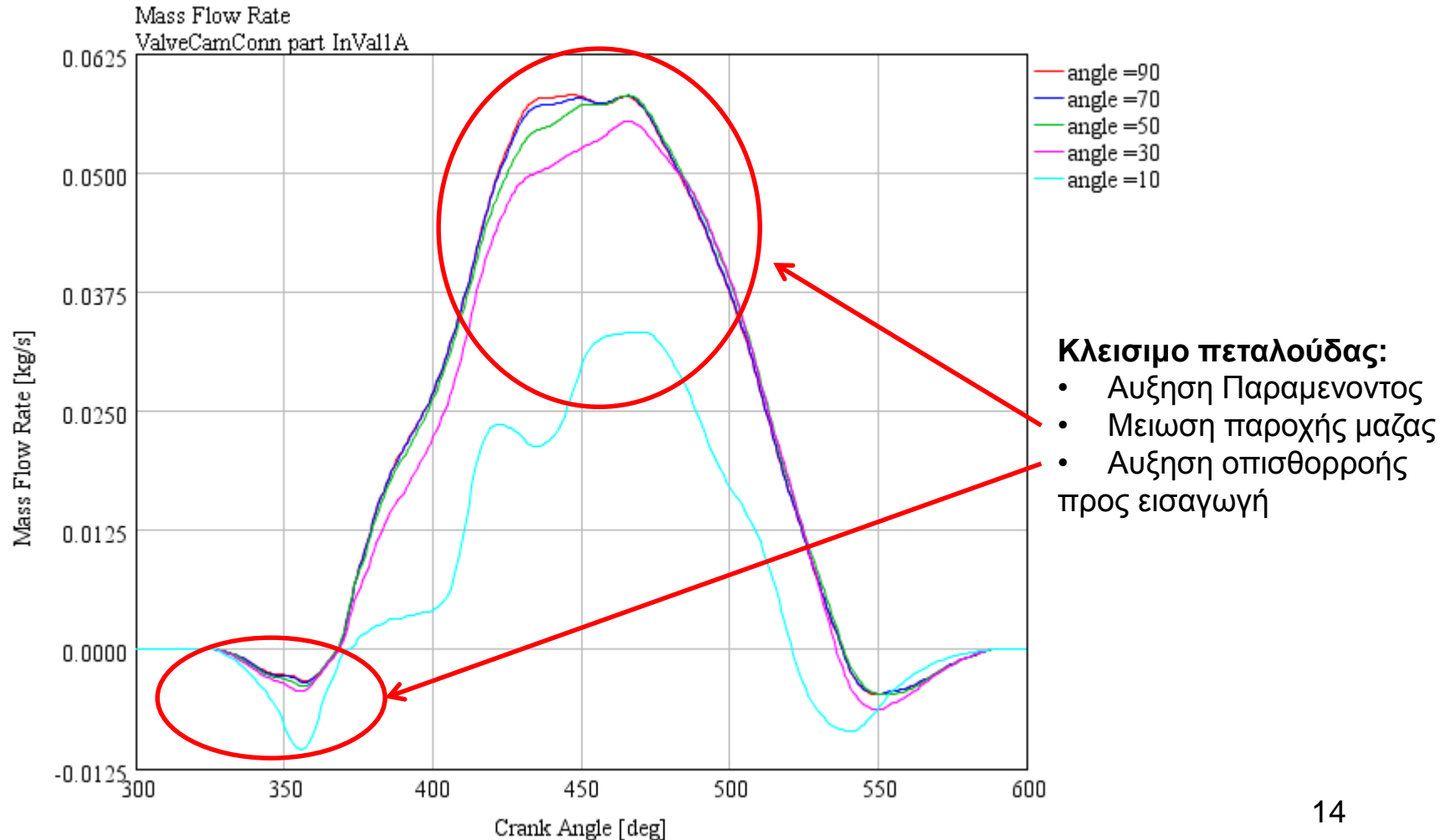
Ενδεικτικά αποτελέσματα προσομοίωσης 4-Χ Otto 2000 cc

- Πτώση Πίεσης στην πεταλούδα vs γωνία ανοίγματος πεταλούδας (3500 rpm)



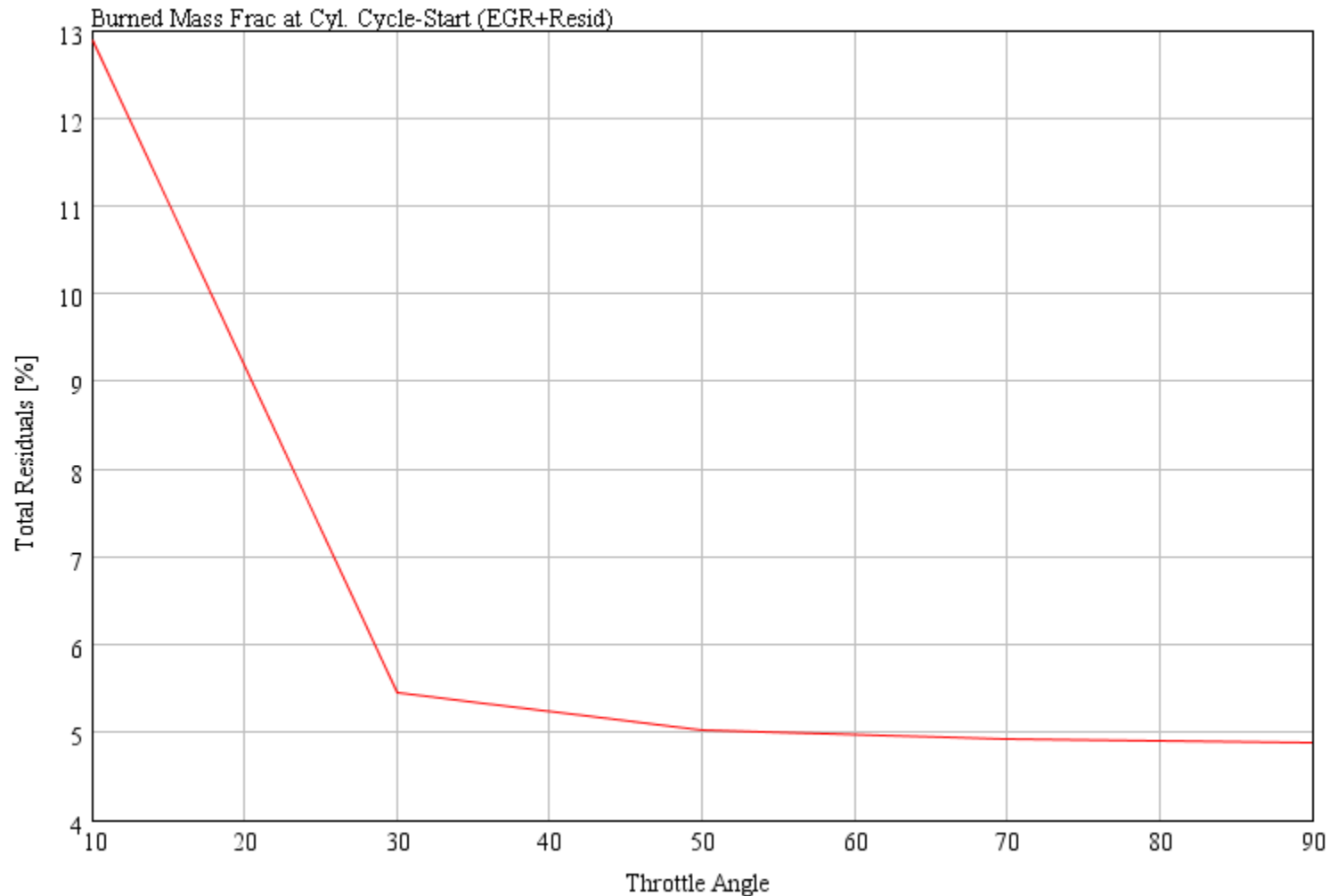
Ενδεικτικά αποτελέσματα προσομοίωσης 4-Χ Otto 2000 cc

- Ροή μάζας μέσω βαλβίδας εισαγωγής για διάφορες τιμές ανοίγματος πεταλούδας



Ενδεικτικά αποτελέσματα προσομοίωσης 4-Χ Otto 2000 cc

- Παραμένον καυσαέριο vs γωνία ανοίγματος πεταλούδας (3500 rpm)



Ροή στην πολλαπλή εισαγωγής/ εξαγωγής

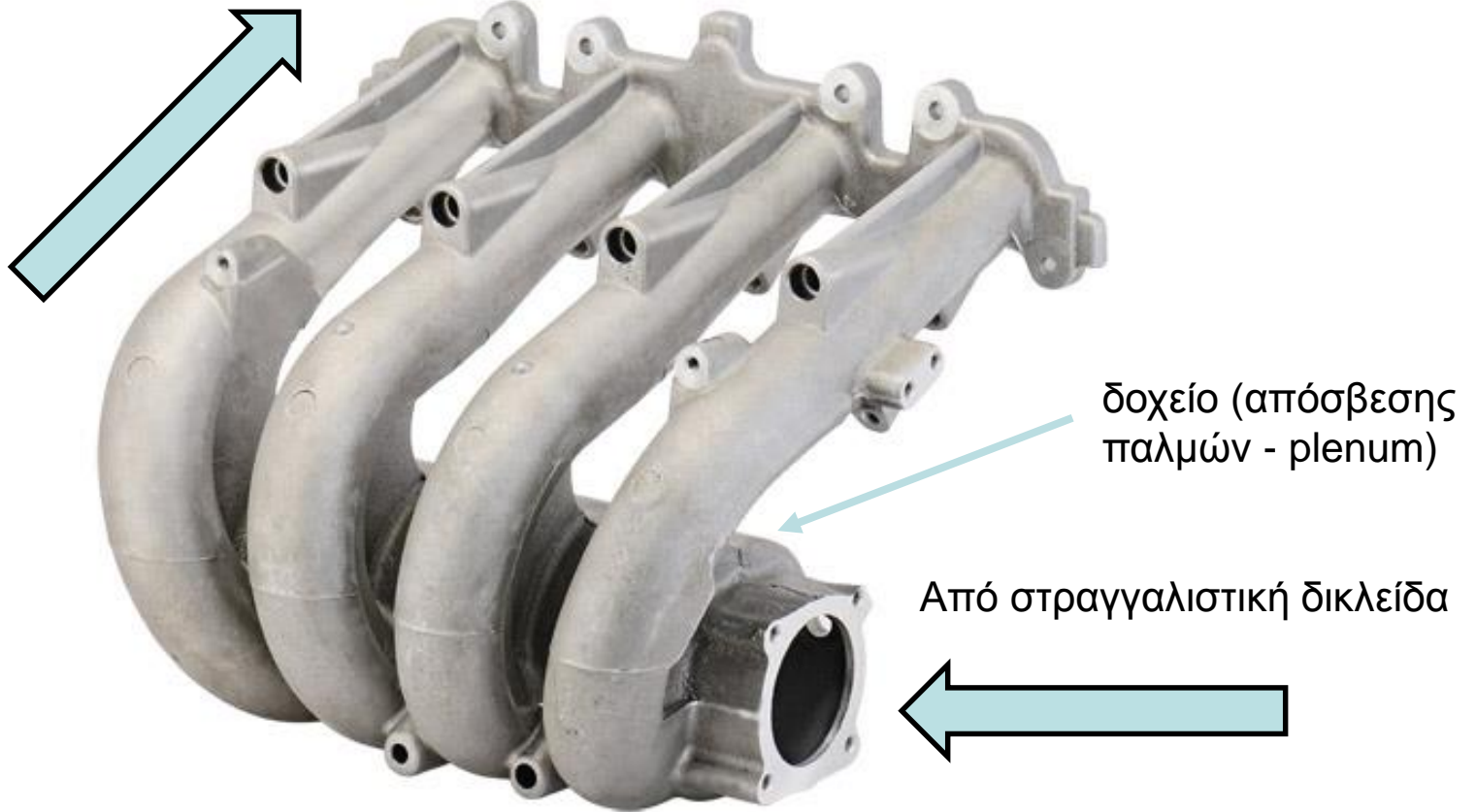
- Ροή στις πολλαπλές: Σύνθετο φαινόμενο (από τα πιο σύνθετα που απαντώνται σε τεχνικές εφαρμογές)
 - Παλμοί πίεσης
 - Ατμοποίηση/ Φίλμ καυσίμου (Otto)
 - Οπισθοροή / ανάμειξη καυσαερίου με φρέσκια γόμωση
 - Μεταφορά θερμότητας
 - Πτώση πίεσης/ αποκολλήσεις ροής
- Η πολυπλοκότητα αυξάνεται περεταίρω όταν ο κινητήρας λειτουργεί σε μεταβατική κατάσταση (μη σταθερό φορτίο)

Γεωμετρία πολλαπλής εισαγωγής

- Η Γεωμετρία έχει τους εξής στόχους:
 - Ελαχιστοποίηση αλληλεπίδρασης κυμάτων πίεσης από διαφορετικούς κυλίνδρους (αυξημένη πτώση πίεσης)
 - Ελαχιστοποίηση πτώσης πίεσης
 - Ομοιόμορφη διανομή μείγματος στους κυλίνδρους
 - Tuning, Ram Effect → Μεγιστοποίηση ογκομετρικού β.α
 - Σε Otto → εξασφάλιση συνθηκών για ατμοποίηση καυσίμου (θέρμανση/ ταχύτητες ροής)
 - Χρήση εξαεριωτή → Μικρότερες διατομές στην εισαγωγή (Αυξημένες πτώσεις πίεσης) και θέρμανση μείγματος (επίδραση σε ογκομετρικό)
 - Injection → Μεγαλύτεροι οχετοί, βελτίωση ογκομετρικού β.α (όχι θέρμανση φρέσκιας γόμωσης)

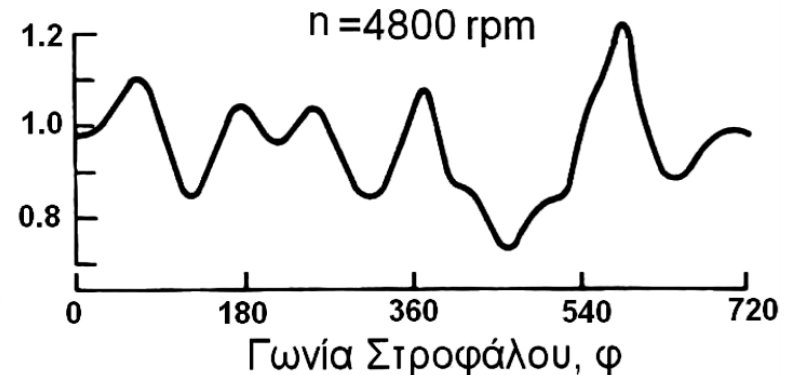
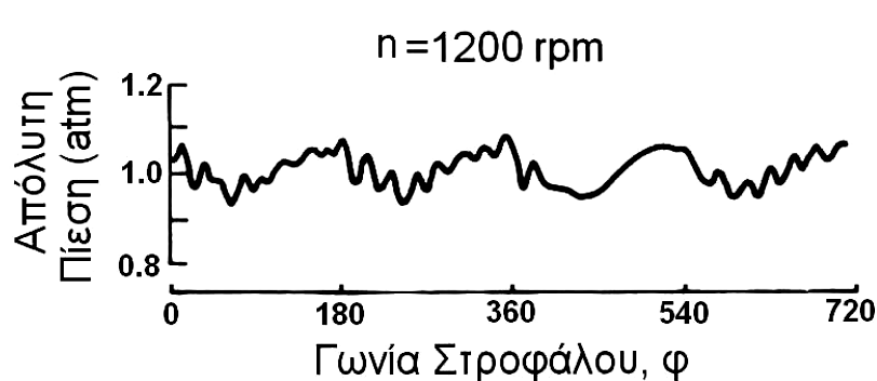
Πολλαπλή εισαγωγή

Προς βαλβίδες εισαγωγής/ κύλινδρο



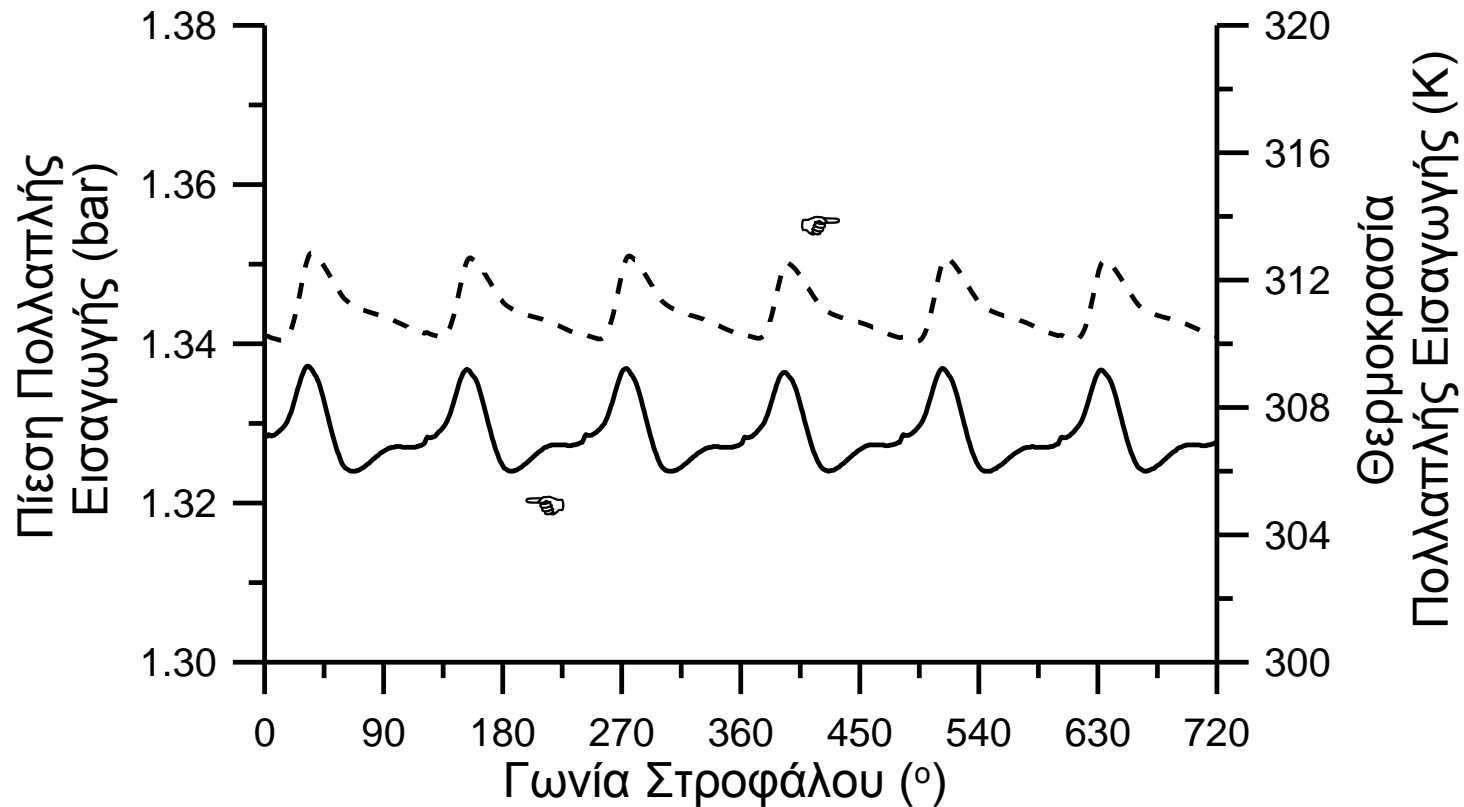
Ροή στην εισαγωγή

- Παλμοί πίεσης: Διακύμανση στιγμιαίας τοπικής πίεσης και θερμοκρασίας
 - Δημιουργούνται κυρίως από την εκτοπιστική δράση του εμβόλου στην αναρρόφηση
 - Συχνότητα, πλάτος και κυματομορφή εξαρτάται από ταχύτητα περιστροφής και γεωμετρία εισαγωγής
- Παραδειγμα για 4-cyl Otto (150 mm από βαλβίδα εισαγωγής)



Ροή στην εισαγωγή

- 6-cyl Diesel παράδειγμα



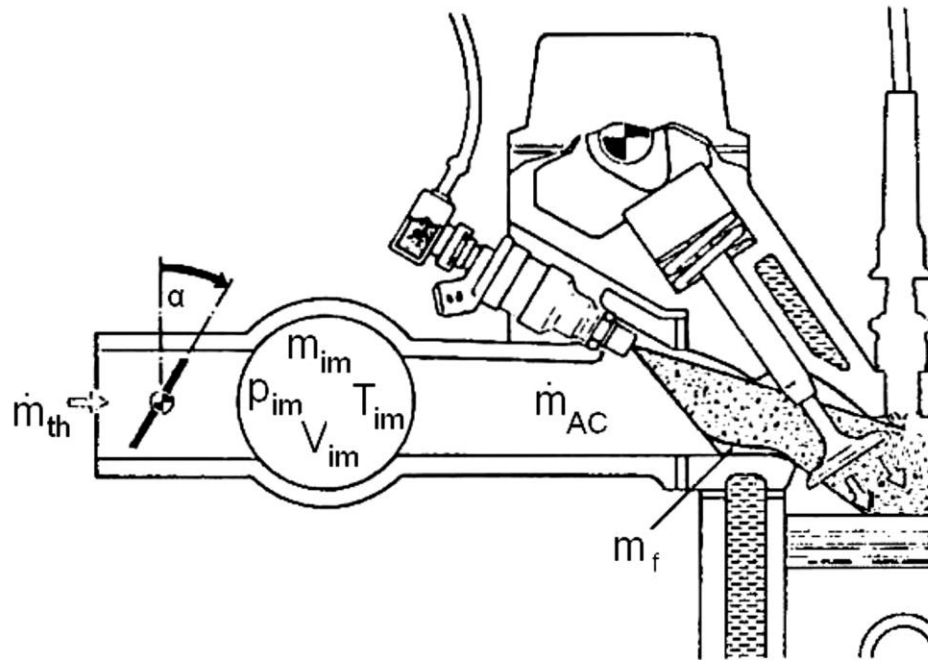
Ροή μάζας στην εισαγωγή

- Είσοδος στην πολλαπλή μέσω δικλείδας/ Έξοδος από αυλούς εισαγωγής προς κυλίνδρους
- Παροχές μάζας όχι συνεχείς → Ημι-στατικό φαινόμενο
 - Σε συνθήκες σταθερών στροφών / φορτίου οι κυματομορφές πίεσης στην εισαγωγή/ εξαγωγή επαναλαμβάνονται κάθε 360 (2-X) ή 720 (4-X) μοίρες
- Η στιγμιαία μάζα που εξέρχεται προς τους κυλίνδρους όχι ίση με μάζα που εισέρχεται από πεταλούδα → συσσώρευση και εκκένωση μάζας στην πολλαπλή
 - Συσσώρευση μάζας: Αύξηση στιγμιαίας πίεσης
 - Εκκένωση: Μείωση στιγμιαίας πίεσης

Κεφάλαιο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Μοντέλο πλήρωσης/εκκένωσης (filling and emptying)

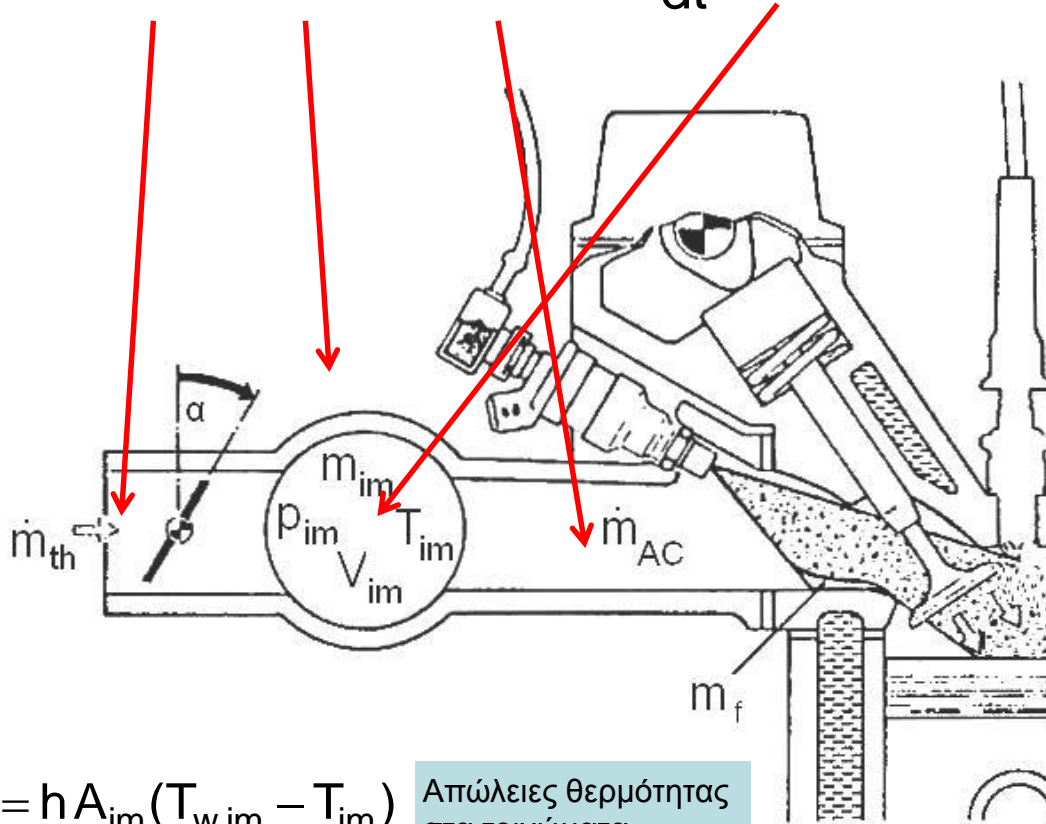
- Η πολλαπλή εισαγωγής/ εξαγωγής θεωρείται όγκος ελέγχου που περιέχει αέριο με χωρικά ενιαία τιμή πίεσης/ θερμοκρασίας/ σύστασης που μεταβάλλονται με το χρόνο.
- Διατήρηση ενέργειας/ μάζας στον όγκο ελέγχου



Μοντέλο πλήρωσης/ εκκένωσης

- Διατήρηση Ενέργειας:

$$\dot{m}_{th} h_{\alpha} + \dot{Q}_{im} - \dot{m}_{AC} h_{im} = \frac{d}{dt} (m_{im} h_{im})$$



'im': inlet manifold
h: συντελεστής μεταφοράς
A_{im}: επιφάνεια της πολλαπλής
T_{im}: θερμοκρασία αέρα της πολλαπλής
T_{w,im}: (μέση) θερμοκρασία του τοιχώματος
h_α: ενθαλπία του εισερχόμενου αέρα
h_{im}: ενθαλπία του αέρα στην πολλαπλή
ḡ_{th}: παροχή μάζας αέρα από τη δικλείδα
ḡ_{AC}: παροχή μάζας αέρα εισερχόμενη στον κύλινδρο

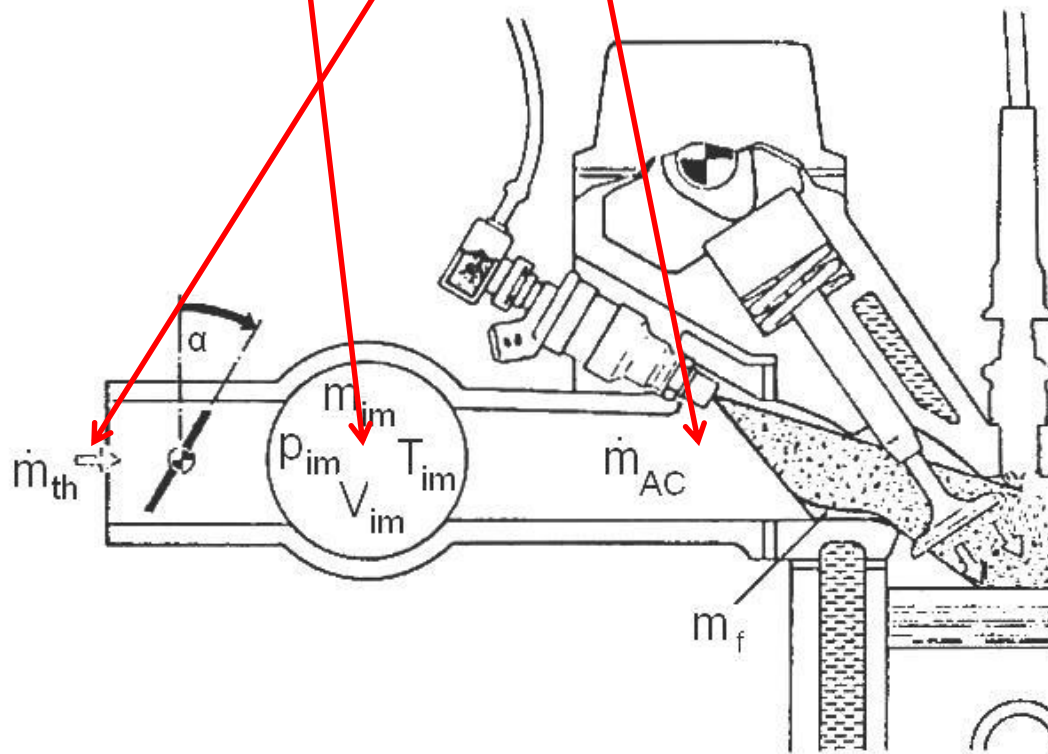
$$\dot{Q}_{im} = h A_{im} (T_{w,im} - T_{im})$$

Απώλειες θερμότητας στα τοιχώματα

Μοντέλο πλήρωσης/ εκκένωσης

- Διατήρηση Μάζας (εξίσωση της συνέχειας):

$$\frac{dm_{im}}{dt} = \dot{m}_{th} - \sum \dot{m}_{AC}$$



Κεφαλαίο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Μοντέλο πλήρωσης/ εκκένωσης: Απλοποιητικές παραδοχές/Αναλυτική λύση

- Παραδοχή: Ημιστατική συμπεριφορά για παροχή μάζας κυλίνδρου ($\rho_a = \rho_{im}$)

$$\sum \dot{m}_{AC} = \frac{\eta_{vol} \rho_a V_h n}{30K}$$

- Παραδοχή: Σταθερή θερμοκρασία T_{im} (είναι και $V_{im} = \text{σταθ.}$)

- Καταστατική εξίσωση στον οχετό εισαγωγής: $p_{im} V_{im} = m_{im} R T_{im}$

- Η καταστατική εξίσωση παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$\frac{d(p_{im} V_{im})}{dt} = \frac{dm_{im}}{dt} R T_{im} \Leftrightarrow \frac{dp_{im}}{dt} + \frac{\eta_{vol} V_h n}{30K V_{im}} p_{im} = \dot{m}_{th} \frac{R T_{im}}{V_{im}}$$

- Αν επιπλέον η_{vol} , \dot{m}_{th} ανεξάρτητο πίεσης πολλαπλής $P_{im} \rightarrow$

$$p_{im} = c \cdot e^{-t/\tau} + \dot{m}_{th} \frac{R T_{im}}{V_{im}} \tau \quad \text{όπου} \quad \tau = \frac{30K V_{im}}{\eta_{vol} V_h n}$$

Χρονική σταθερά
 $\approx 2-4$ φορές
η χρονική διάρκεια
της εισαγωγής

- Για λύση εξίσωσης ενέργειας/ μάζας χωρίς απλοποιητικές παραδοχές \rightarrow Αριθμητικές μέθοδοι σε Η/Υ

Κεφαλαίο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Μοντέλο πλήρωσης/ εκκένωσης: Απλοποιητικές παραδοχές/Αναλυτική λύση

- Απόδειξη της (4.15): → Καταστατική εξίσωση στον οχετό εισαγωγής:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{im} V_{im} = m_{im} R T_{im} \quad (4.14) \\ T_{im}, V_{im} = ct, \quad p_a = p_{im} \end{array} \right. \rightarrow p_{im} = p_{im} R T_{im}$$

$$\frac{d(p_{im} V_{im})}{dt} = \frac{dm_{im}}{dt} R T_{im} \Leftrightarrow \frac{dp_{im}}{dt} \cdot V_{im} = \left(\dot{m}_{th} - \frac{\eta_{vol} \cdot p_{im} V_h \cdot \eta}{30k} \right) R T_{im} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dp_{im}}{dt} V_{im} = \dot{m}_{th} R T_{im} - \frac{\eta_{vol} p_{im} V_h \cdot \eta}{30k} R T_{im} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dp_{im}}{dt} + \frac{\eta_{vol} p_{im} V_h \cdot \eta}{30k \cdot V_{im}} \cdot \frac{R T_{im}}{V_{im}} = \dot{m}_{th} \frac{R T_{im}}{V_{im}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dp_{im}}{dt} + \frac{\eta_{vol} V_h \cdot \eta}{30k \cdot V_{im}} p_{im} = \dot{m}_{th} \frac{R T_{im}}{V_{im}} \quad (4.15)$$

ΛΥΣΗ γέ $\eta_{vol}, \dot{m}_{th} = ct$:

$$\boxed{p_{im} = c e^{-t/\tau} + \dot{m}_{th} \frac{R T_{im}}{V_{im}} \tau} \quad (4.16)$$

$$\text{γέ } \tau = \frac{30k V_{im}}{\eta_{vol} \cdot V_h \cdot \eta} \quad (4.17)$$

$$\frac{d(p_{im} V_{im})}{dt} = \frac{dm_{im}}{dt} R T_{im} \Leftrightarrow \frac{dp_{im}}{dt} + \frac{\eta_{vol} V_h \eta}{30K V_{im}} p_{im} = \dot{m}_{th} \frac{R T_{im}}{V_{im}}$$



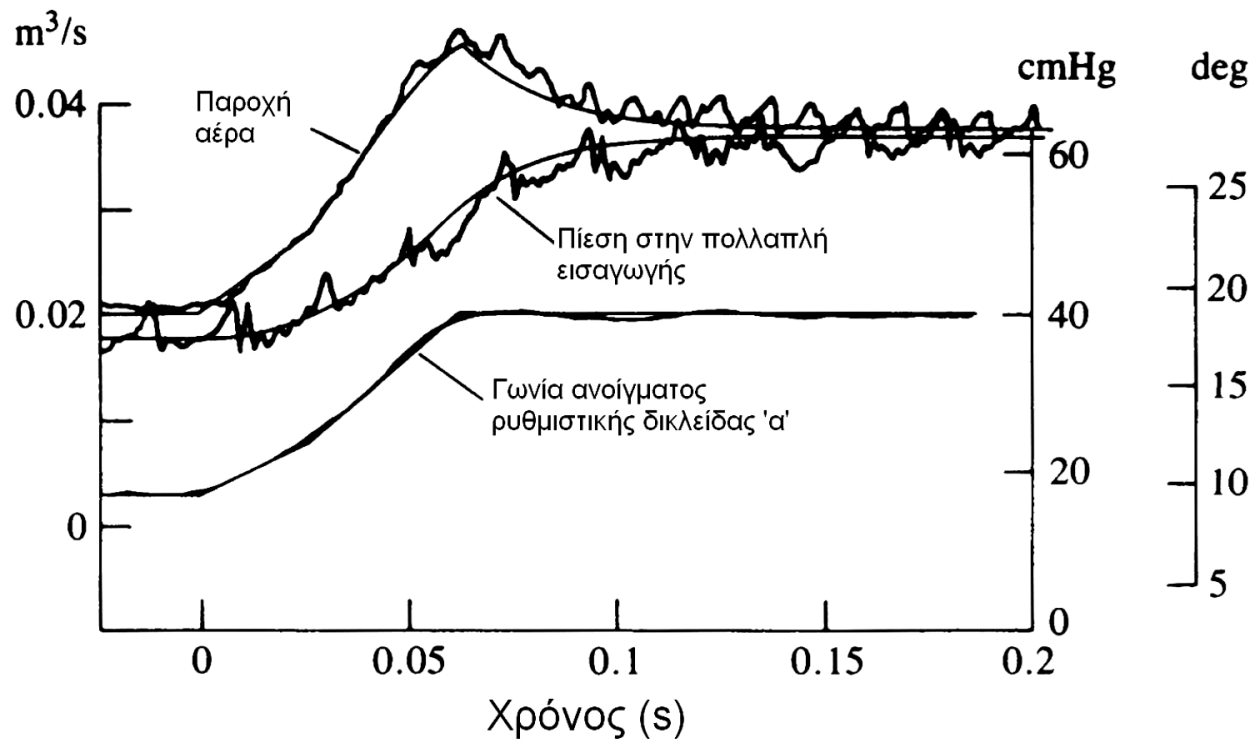
$$p_{im} = c \cdot e^{-t/\tau} + \dot{m}_{th} \frac{R T_{im}}{V_{im}} \tau$$

$$\tau = \frac{30K V_{im}}{\eta_{vol} V_h \eta}$$

Κεφάλαιο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Μοντέλο πλήρωσης/ κένωσης: Απλοποιητικές παραδοχές/ Αναλυτική λύση (2)

- Σύγκριση προσεγγιστικής μεθόδου με την ακριβή λύση



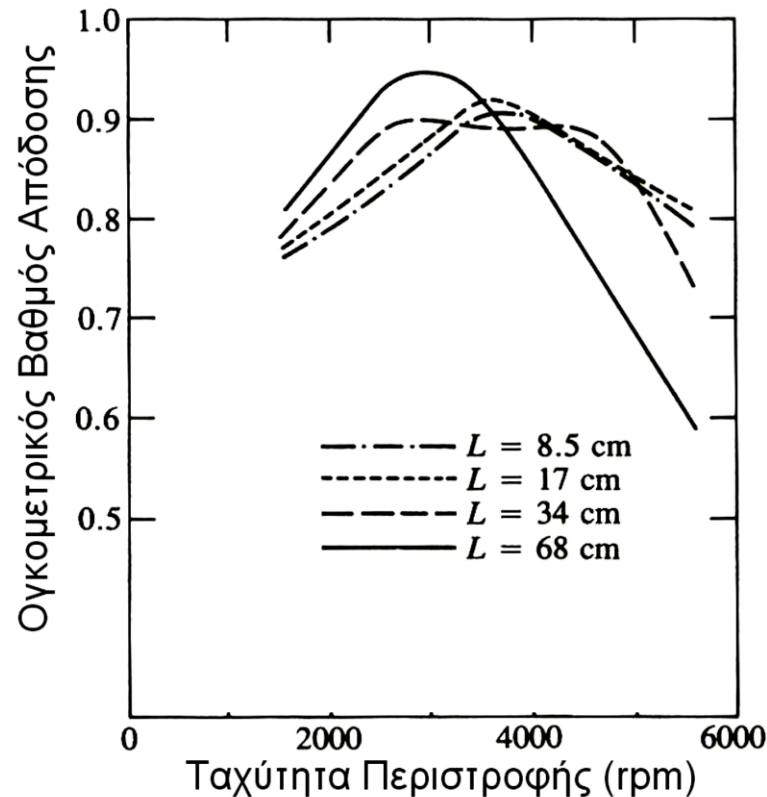
Βελτιστοποίηση εισαγωγής με μεθόδους ακουστικής

- Φαινόμενο συντονισμού (tuning) επιδρά σημαντικά στο n_{vol}
- Το φαινόμενο δεν μπορεί να αναλυθεί με μοντέλο πλήρωσης/ κένωσης.
- Σημαντικότερη παράμετρος: Μήκος L αγωγού εισαγωγής από την πολλαπλή προς τη βαλβίδα.



Επίδραση μήκους L στον ογκομετρικό β.α

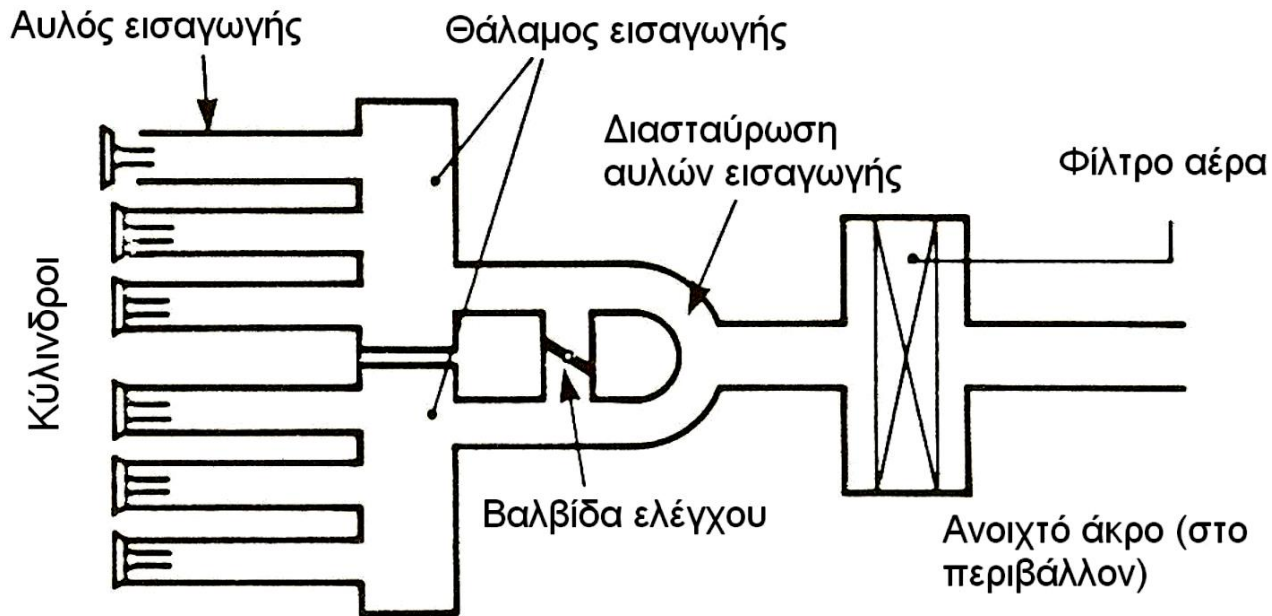
- 4-X Otto 2300 cc
- Αυξηση $L \rightarrow$ Βελτιστοποίηση n_{vol} σε χαμηλότερες στροφές
- $L=34 \rightarrow$ Διπλή κορυφή \rightarrow Βέλτιστος n_{vol} για ολόκληρο το φάσμα ταχύτητας περιστροφής



Κεφαλαίο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Σύστημα μεταβλητού μήκους αυλών εισαγωγής

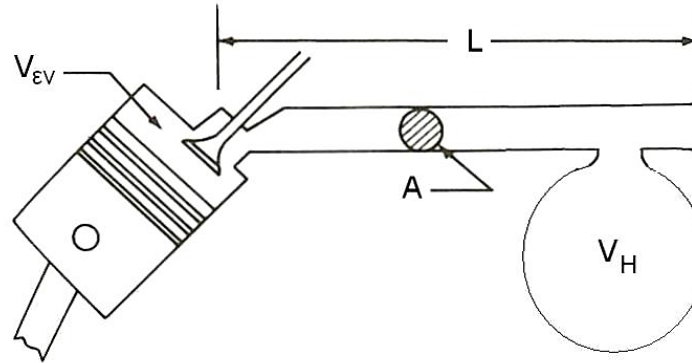
- Βελτιστοποίηση ογκομετρικού για ευρύ φάσμα στροφών λειτουργίας
- Αύξηση πολυπλοκότητας/ όγκου
- Τεχνολογία εναλλακτική του μεταβλητού χρονισμού βαλβίδων



Κεφαλαίο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Άλλες μέθοδοι βελτιστοποίησης γεωμετρίας εισαγωγής-Συντονισμός

- Αντηχείο Helmholtz (Helmholtz resonator): Αγωγός με ένα κλειστό / ένα ανοικτό άκρο.



α : ταχύτητα του ήχου
 A : μέση διατομή του αυλού
 L : μήκος του αυλού
 V : όγκος του συστήματος
 $V = V_{EV} + V_H$

- Συχνότητα συντονισμού f_H (Hz):
$$f_H = \frac{\alpha}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{LV}}$$

$$V_{EV} = \frac{V_H}{2} + V_c = \frac{V_H(\epsilon + 1)}{2(\epsilon - 1)}$$

- Μέγιστη θετική επίδραση όταν η ιδιοσυχνότητά του είναι 2-πλάσια της συχνότητας εμβόλου (=n/60 σε 4-X):

$$2 \frac{n}{60} = \frac{\alpha}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{LV}} \Rightarrow n = \frac{15}{\pi} \sqrt{\frac{A}{LV}}$$



Κεφαλαίο 4: ΡΟΗ ΣΤΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Άλλες μέθοδοι βελτιστοποίησης γεωμετρίας εισαγωγής-Συντονισμός

- Μουσικού οργάνου (Organ Pipe): κλειστό στο ένα άκρο



JOHANN SEBASTIAN BACH



NIKOLAUS AUGUST OTTO

- Συχνότητα συντονισμού f_H (Hz):

$$f_p = \frac{\alpha}{4L^*} \text{ και}$$

$$L^* = L + 0,3d$$

d: διάμετρος αυλού

Πολλαπλή εξαγωγή

- Η γεωμετρία εξαγωγής (ιδιαίτερα σε 4-Χ) έχει μικρότερη επίδραση στη λειτουργία και απόδοση του κινητήρα.
 - Πτώσεις πίεσης εξαγωγής έχουν μικρότερη επίδραση σε πλήρωση
 - Μεγάλο μέρος της εξαγωγής γίνεται με εκτόπιση.
- Σε υπερπληρωμένους κινητήρες η εξαγωγή επιδρά σε απόκριση κινητήρα και λειτουργία συστήματος υπερπλήρωσης → μεγαλύτερη επίδραση στον κινητήρα

Αποσιωπητήρες

- Εστίες θορύβου στο σύστημα εναλλαγής κινητήρα:

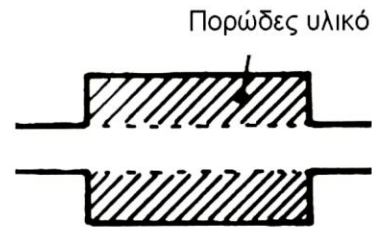
- Υψηλές ταχύτητες ροής
- Παλμοί πίεσης

- Εισαγωγή:

- Φίλτρο εισαγωγής αέρα.

- Εξαγωγή:

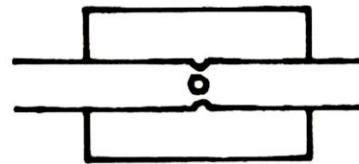
- Χρήση αποσιωπητήρα (muffler)



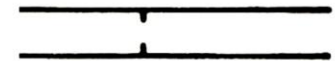
α Αποσιωπητήρας απορρόφησης



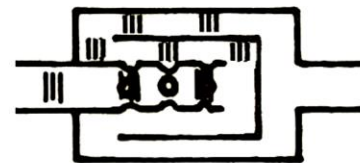
β Δοχείο εκτόνωσης



γ Πλευρικό αντηχείο



δ Στένωση



ε Φίλτρο παρεμβολής

||| Περιοχές κυμάτων ήχου κορυφών πίεσης