

Κεφάλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

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

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

Κεφάλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

1. Γενικά

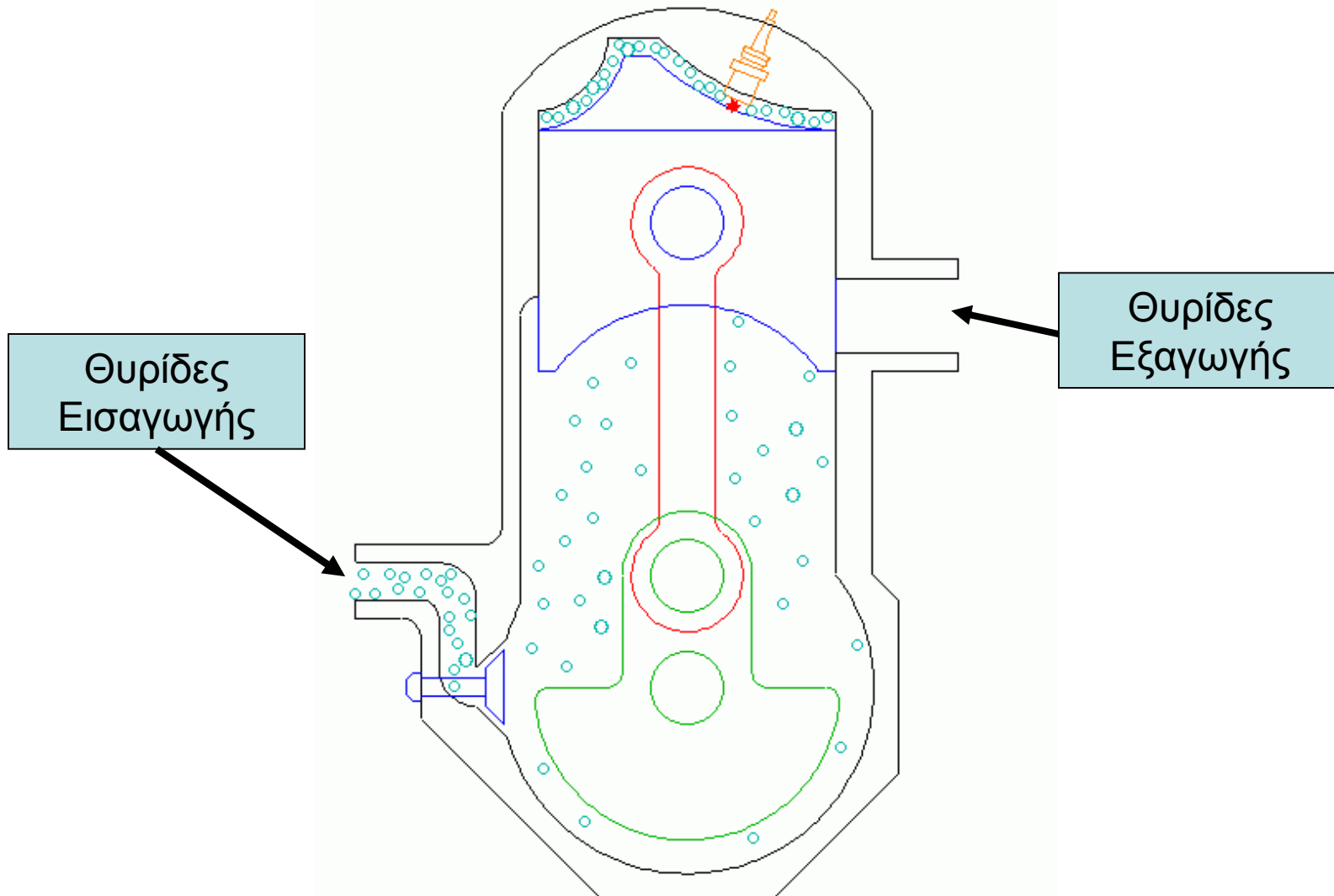
Διαφορές 2-Χ/ 4-Χ

- Κύκλος λειτουργίας 4-Χ: 2 περιστροφές στροφάλου ενώ για 2-Χ: 1 περιστροφή:
 - Εναλλαγή αερίων σε μικρό χρονικό διάστημα σε σχέση με 4-Χ.
 - Σε 2-Χ: Σάρωση (η απόπλυση) των προϊόντων καύσης
 - Εισερχόμενο φορτίο υπό υψηλή πίεση σε σχέση με εισαγωγή (πχ με χρήση αντλίας/ φουσητήρα → απορρόφηση μηχανικού έργου)
 - Βαθμός παγιδεύσεως μικρότερος από 4-Χ (μέχρι και 50%)
 - Σάρωση λαμβάνει χώρα κατά την φάση επικάλυψης βαλβίδων/ θυρίδων εισαγωγής/ εξαγωγής:
 - Θυρίδες εισαγωγής/ εξαγωγής αποκαλύπτονται η κλείνουν από την άνω ακμή του εμβόλου

Κεφάλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

1. Γενικά

2-Χ κινητήρας

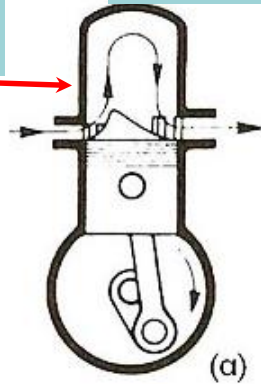


Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

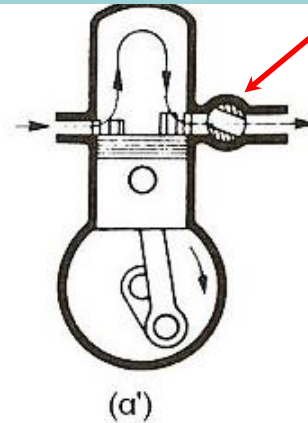
1. Γενικά

Διατάξεις αποπλύσεως

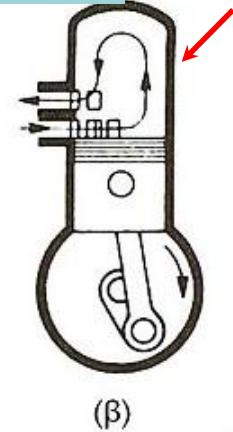
Εγκάρσια
(Cross-scavenge)



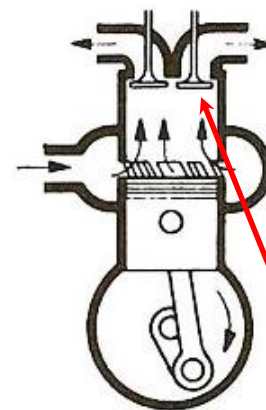
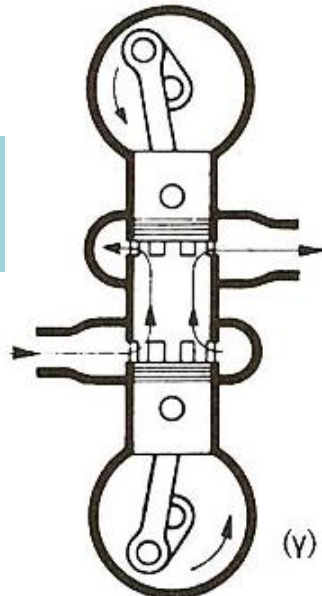
Εγκάρσια με περιστροφική βαλβίδα



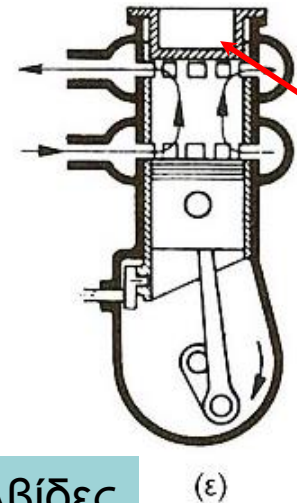
Βρογχοειδής
(Loop-scavenge)



Διαμήκης
(Uniflow-scavenge)



Διαμήκης με
σωληνοειδή
βαλβίδα



Διαμήκης με βαλβίδες
εξαγωγής

(ε)

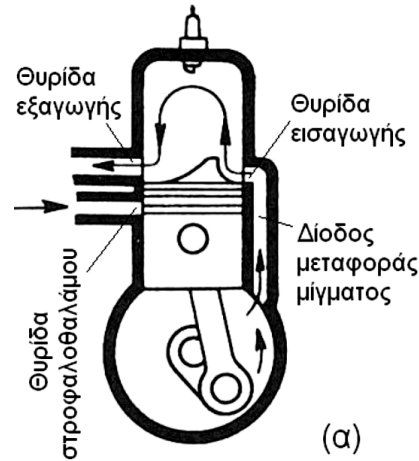
Διαμήκης Αντιθέτων εμβόλων

Κεφάλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

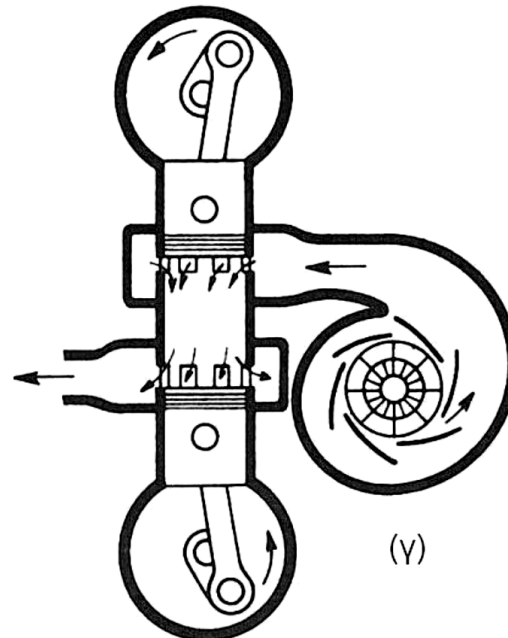
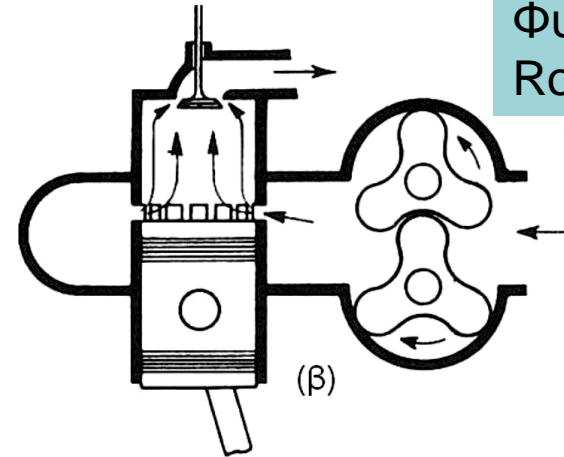
1. Γενικά

Διατάξεις υποβοήθησης σάρωσης

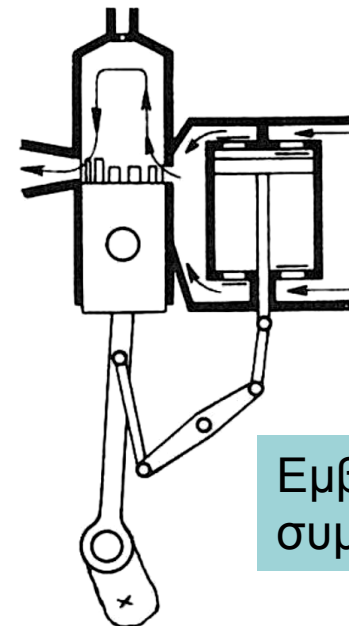
Άντληση από
στροφαλοθάλαμο
(μικροί κινητήρες)



Φυσητήρας
Roots



Ακτινικός
συμπιεστής



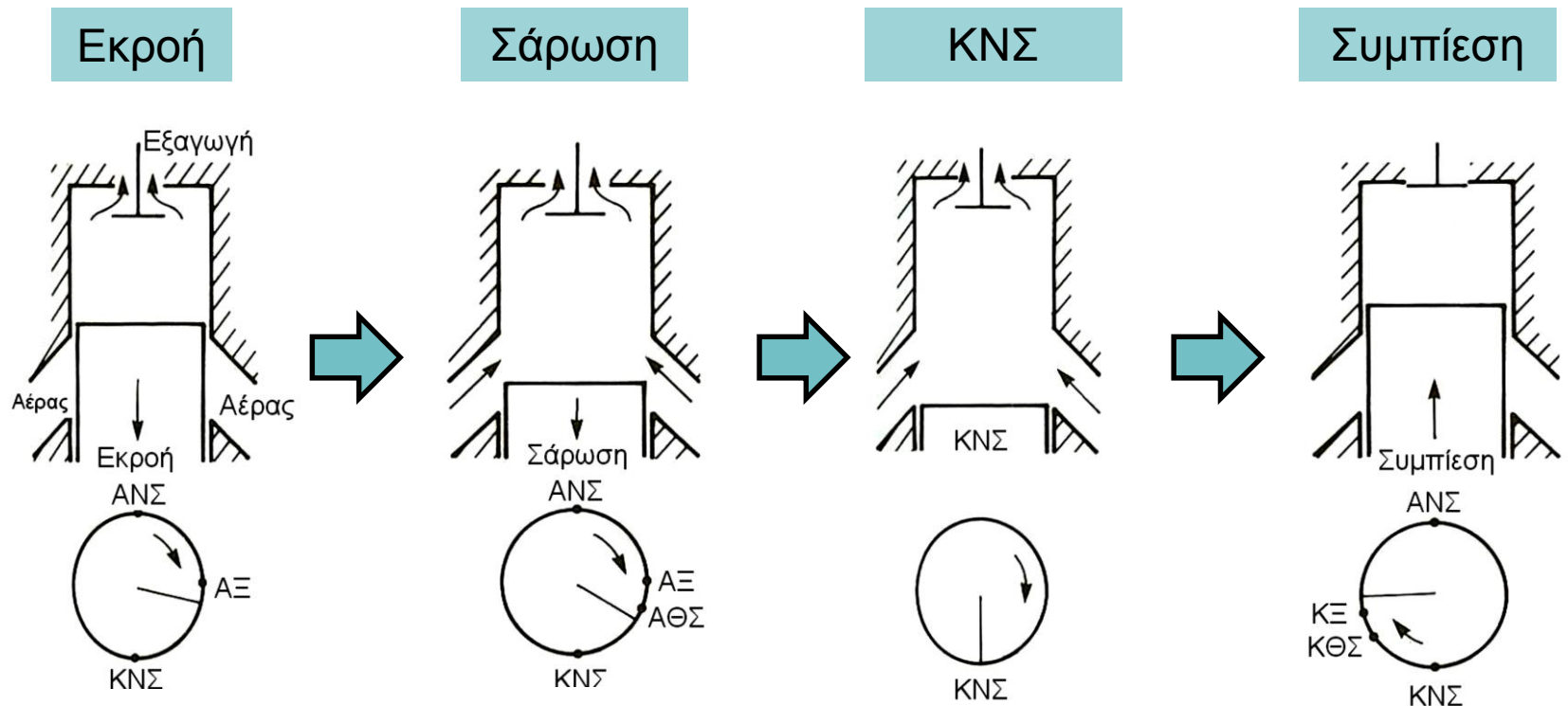
Εμβολοφόρος
συμπιεστής

Κεφάλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

1. Γενικά

Σύστημα διαμήκους απόπλυσης

- Μεγάλοι 2-Χ (ναυτικοί/ξηράς-ηλεκτροπαραγωγή)
 - Βαθμοί απόδοσης >50%

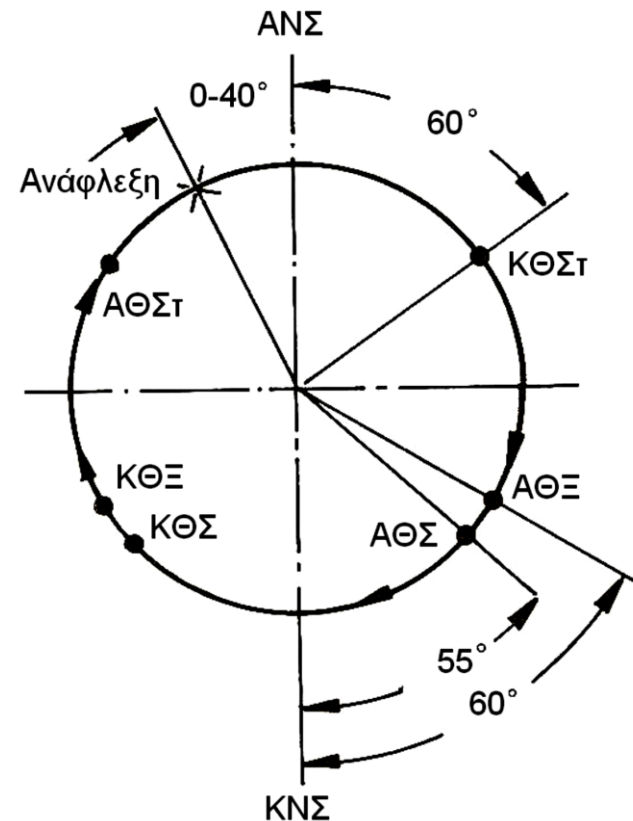
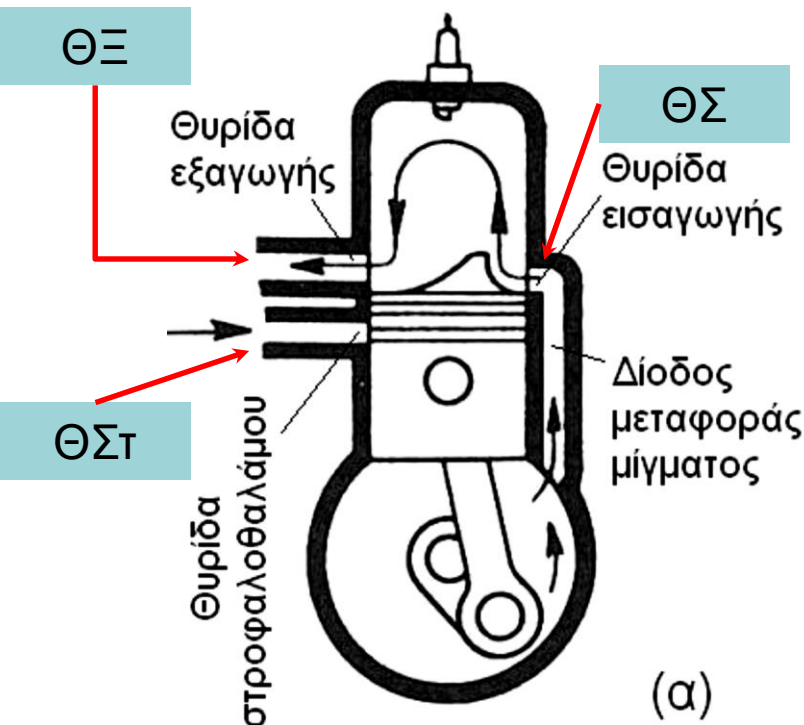


Κεφάλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

1. Γενικά

Σύστημα συμπίεσης στροφαλοθαλάμου

- Μικροί κινητήρες
- Συμμετρικό άνοιγμα θυρίδων ως προς ΑΝΣ/ ΚΝΣ
 - Μεινεκτημα: Θυρίδες εξαγωγής κλείνουν μετά από εισαγωγή \rightarrow απώλεια μίγματος σε εξαγωγή



Κεφάλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-X Κινητήρες

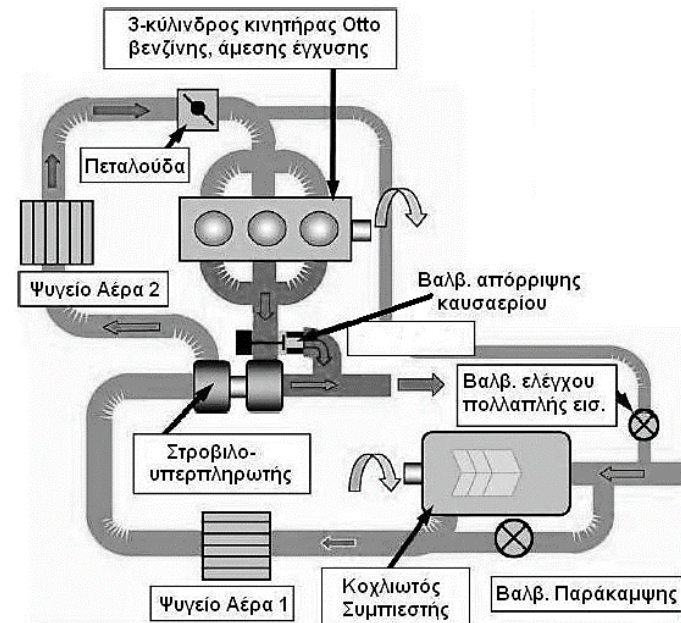
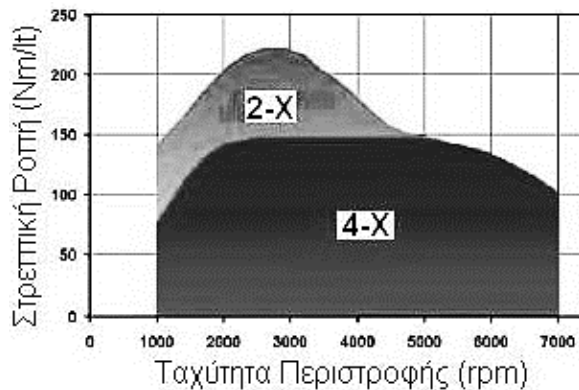
1. Γενικά

Απώλεια φρέσκιας γόμωσης στην εξαγωγή

- Ανάμειξη φρεσκιας γόμωσης με κατάλοιπο καυσαέριο ανεπιθύμητη → Εισερχόμενη μαζα 25-50% μεγαλύτερη από αναγκαία
- Σε Diesel: Άμελητα επίδραση επειδη η εγχυση γίνεται μετά την εναλλαγή αερίων (απώλεια αέρα μόνο)
- Σε Otto: Ακαυστο καύσιμο στην εξαγωγή και HC από οξείδωση σε εξαγωγή
 - Concept από Ricardo: 2-X κινητήρας

ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει

και σαν 4-x (3 κυλ. GDI)



Κεφάλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Λόγος κατάθλιψης (Delivery Ratio):

Λόγος κατάθλιψης

$$\Lambda = \frac{\text{συνολική μάζα παρεχόμενου αέρα για απόπλυση και πλήρωση}}{\text{μάζα αναφοράς}}$$

- Μάζα αναφοράς: Η μάζα αέρα σε συνθήκες περιβάλλοντος (p_a, T_a) στον όγκο εμβολισμού και επιζήμιο

$$\Lambda = \frac{\text{συνολική μάζα παρεχόμενου αέρα για απόπλυση και πλήρωση}}{\text{μάζα του αέρα στον επιζήμιο και τον όλο όγκο εμβολισμού σε } (p_a, T_a)} = \frac{m_{AC}}{m_{\alpha\epsilon}}$$

- Τυπικές τιμές 60–95%
- Μέγεθος ανάλογο n_{vol} για εφαρμογές 2-Χ ΜΕΚ
- Προκειμένου για υπολογιστική χρήση λαμβάνεται στον παρονομαστή η μάζα της παγιδευμένης γόμωσης του κυλίνδρου: $m_v = m_o + m_r$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Βαθμός παγίδευσης (trapping efficiency)

- Βαθμός παγίδευσης:

$$\eta_{\gamma} = \frac{\text{μάζα του αέρα στην αρχή της συμπίεσης}}{\text{συνολική μάζα παρεχόμενου αέρα για απόπλυση και πλήρωση}} = \frac{m_o}{m_{AC}}$$

- Ποσοστό παρεχόμενου αέρα διαθέσιμο στον κλειστό κύκλο
- Τυπικές τιμές 50–80% : Σημαντικό ποσοστό εισερχόμενης μάζας περνά απευθείας στην εξαγωγή

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Βαθμός απόπλυσης ή σάρωσης (scavenging efficiency)

- Βαθμός απόπλυσης :

$$\eta_{sc} = \frac{\text{μάζα του αέρα στην αρχή της συμπίεσης}}{\text{μάζα της παγιδευμένης γόμωσης του κυλίνδρου}} = \frac{m_o}{m_\gamma} = \frac{m_o}{m_o + m_r}$$

- Δεικτης ποιότητας εναλλαγής αερίων σε 2-Χ, ενδεικτικό παραμένοντος καυσαερίου
- Τυπικές τιμές 70–90 %

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Βαθμός πλήρωσης (charging efficiency) ως προς το περιβάλλον

- Βαθμός πλήρωσης:

$$\eta_{\lambda} = \frac{\text{μάζα του αέρα στην αρχή της συμπίεσης}}{\text{μάζα του αέρα στον επιζήμιο και τον όλο όγκο εμβολισμού σε } \rho_{\alpha}, T_{\alpha}} =$$
$$= \frac{m_o}{m_{\alpha\epsilon}} = (1 - \sigma_{\xi}) \frac{\rho_o}{\rho_{\alpha}}$$

- Αποτελεσματικότητα πλήρωσης κυλίνδρου
- σ_{ξ} : Σχετικό άνοιγμα θυρίδων εξαγωγής
- Τυπικές τιμές 50–90 %. Πολύ χαμηλές τιμές για απόπλυση τύπου στροφαλοθαλάμου

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Συσχετίσεις

→ Delivery Ratio: $\Lambda = \frac{m_{ac}}{m_{ae}}$ Λόγος κατάθλιψης $\left(= \frac{m_{ac}}{m_{\gamma}} \right)$

→ Βαθμός παγίδευσης (trapping eff)

$$\eta_{\gamma} = \frac{m_o}{m_{ac}}$$

→ Βαθμός απόπλ. ή σάρωσης (scavenging eff)

$$\eta_{sc} = \frac{m_o}{m_{\gamma}} = \frac{m_o}{m_o + m_r}$$

→ Βαθμός πλήρωσης (charge eff)

$$\eta_c = \frac{m_o}{m_{ae}} = (1 - \sigma_s) \frac{p_o}{p_a} \quad (\text{MEK-I})$$

- Συσχέτιση βαθμού πλήρωσης με λόγο κατάθλιψης και βαθμό παγίδευσης: $\eta_{\lambda} = \Lambda \eta_{\gamma}$
- Αν μάζα αναφοράς του $\Lambda =$ παγιδευμένη μάζα m_{γ} τότε: $\eta_{sc} = \Lambda \eta_{\gamma} \quad \left(\frac{m_o}{m_{\gamma}} = \frac{m_{ac}}{m_{\gamma}} \frac{m_o}{m_{ac}} \right)$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Μοντέλα απόπλυσης: Μοντέλο Τέλειας Εκτόπισης

- Μοντέλο Τέλειας Εκτόπισης: Η φρέσκια γόμωση εκτοπίζει τα προϊόντα καύσης χωρίς ανάμειξη αέρα-καυσαερίου
- Επιθυμητός μηχανισμός: Αυξημένη πλήρωση, μειωμένο κατάλοιπο καυσαερίου
- Παραδοχές ιδανικού μοντέλου:
 - Σταθερή πίεση/ όγκος
 - Μηδενικές απώλειες θερμότητας
 - Μάζα αναφοράς στο Λ : μάζα παγίδευσης m_γ

$$\eta_{sc} = \Lambda \quad \text{και} \quad \eta_\gamma = 1 \quad \text{για} \quad \Lambda \leq 1 \quad (m_o = m_{AC})$$

$$\eta_{sc} = 1 \quad \text{και} \quad \eta_\gamma = 1/\Lambda \quad \text{για} \quad \Lambda > 1 \quad (m_r = 0)$$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Μοντέλα απόπλυσης: Μοντέλο Τέλειας Εκτόπισης

A) Μοντέλο Τέλειας Εκτόπισης (δύο φάσεις)

φάση-1) $\omega_r > 0$ (Παραμένα κατά ειπυ καισαίριο σπιδ καθόλου σηώλεια)
Ιφρέσων αέρα

$$\eta_{\gamma} = 1 \text{ (εχελωβίσειται όλος)} \Rightarrow m_o = m_{ac}$$

$$\eta_{nc} = \Lambda$$

$$\kappa' \quad \Lambda = \frac{m_{ac}}{m_{\gamma}} = \frac{m_o}{m_{\gamma}} = \eta_{sc} < 1$$

$$\eta_{sc} = \Lambda \quad \text{και} \quad \eta_{\gamma} = 1 \quad \text{για} \quad \Lambda \leq 1 \quad (m_o = m_{ac})$$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Μοντέλα απόπλυσης: Μοντέλο Τέλειας Εκτόπισης

φάση-ii) Δεν παραβένει καμία ειγώ καυσαέριο ($m_r=0$) αλλά διαφεύγει μάζα
αέρα στην απόπλυση

$$\text{Τότε } \eta_{sc} = 1 \Rightarrow m_o = m_y$$

$$\kappa' \Lambda = \frac{m_{ac}}{m_y} = \frac{m_{ac}}{m_o} = \frac{1}{\eta_y} \Rightarrow \Lambda > 1$$

$$\kappa' \eta_y = \frac{m_o}{m_{ac}} < 1 \rightarrow \text{Διαφεύγει μάζα αέρα κατά την απόπλυση}$$

$$\eta_{sc} = 1 \quad \text{και} \quad \eta_y = 1/\Lambda \quad \text{για } \Lambda > 1 \quad (m_r=0)$$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Μοντέλα απόπλυσης: Μοντέλο Πλήρους Ανάμειξης

- Τέλεια ανάμειξη: ανάμειξη φρέσκιας γόμωσης με περιεχόμενο κυλίνδρου
- Μη επιθυμητός μηχανισμός στην πράξη: Αυξηση θερμοκρασίας γόμωσης/ κατάλοιπου καυσαερίου
- Παραδοχές ιδανικού μοντέλου: στο χρονικό διάστημα $dt \rightarrow$
 - Σταθερή πίεση/ όγκος
 - Μηδενικές απώλειες θερμότητας
 - Μάζα αναφοράς στο Λ : μάζα παγίδευσης m_γ

$$\eta_{sc} = 1 - e^{-\Lambda}$$

$$\eta_\gamma = \frac{1}{\Lambda} (1 - e^{-\Lambda})$$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Μοντέλα απόπλυσης: Μοντέλο Πλήρους Ανάμειξης

B) Μοντέλο πλήρους ανάμειξης

$m_y = m_o + m_r = Ct$ αλλά τα m_o & m_r φερεθ. διαρκώς μεταβάλλονται τη διάρκεια του t συνεπώς, όπως, το $x = \frac{m_o}{m_y}$

$$dm_o = dm_{ac} - dm_{ae} \Rightarrow dm_o = dm_{ac} - \frac{m_o}{m_y} dm_{ac} = \left(1 - \frac{m_o}{m_y}\right) dm_{ac} \Rightarrow$$

$x \rightarrow dm_o = m_y \cdot dx$

$$\Rightarrow dm_o = dm_{ac}(1-x) \Rightarrow m_y dx = dm_{ac}(1-x) \Rightarrow \boxed{\frac{dx}{1-x} = \frac{dm_{ac}}{m_y}}$$

Ολομ/τας από $A\Theta\Sigma \div K\Theta\Sigma \Rightarrow \boxed{\eta_{sc} = 1 - e^{-\Lambda}} = \Lambda m_y \Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{\eta_y = \frac{1 - e^{-\Lambda}}{\Lambda}}$$

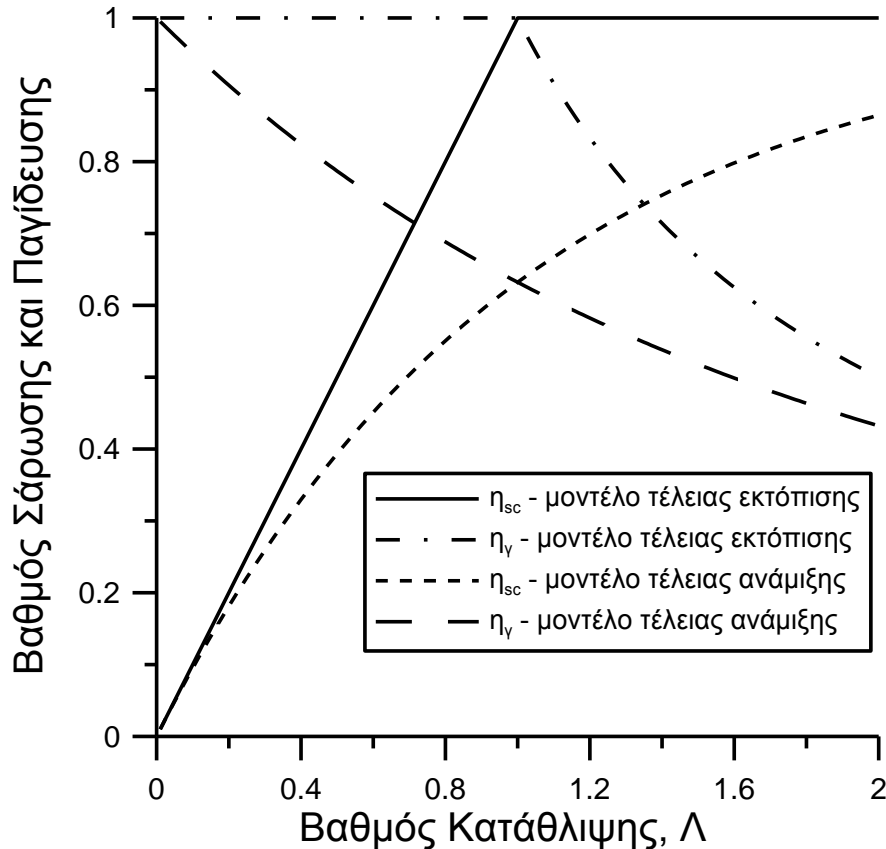
$$\boxed{\eta_{sc} = 1 - e^{-\Lambda}}$$

$$\boxed{\eta_y = \frac{1}{\Lambda}(1 - e^{-\Lambda})}$$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Μοντέλα απόπλυσης: Σύγκριση εκτόπισης/ πλήρους αναμείξεως



- Οι πραγματικοί βαθμοί απόπλυσης και παγίδευσης αναμένεται να βρίσκονται ανάμεσα στις εκάστοτε θεωρητικές καμπύλες δύο αυτών μοντέλων
- Προηγμένα Μοντέλα περισσότερων φάσεων και ζωνών (2-, 3- and multi-zone models).

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

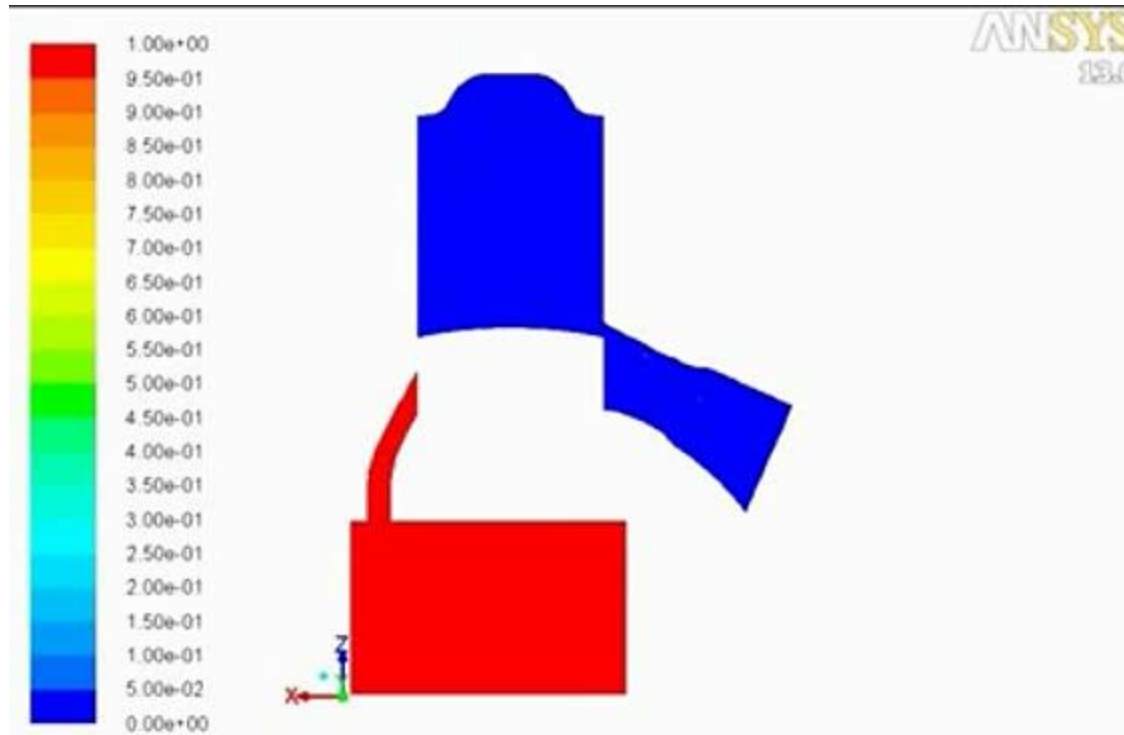
Διακλάδωση μείγματος (short circuiting)-θύλακες.

- Απευθείας διαφυγή εισαγόμενης φρέσκιας γόμωσης στην εξαγωγή χωρίς συμπάρασυρη καυσαερίου.
- Ανεπιθύμητο φαινόμενο, ιδιαίτερα σε Otto (άκαυστο μείγμα)
- Απώλεια φρέσκιας γόμωσης → Απώλειες αντλησης αυτής διαμέσω του κινητήρα
- Θύλακες: «νεκρές» περιοχές μέσα στον κύλινδρο, όπου το καυσαέριο παγιδεύεται και δεν μπορεί να διαφύγει προς την εξαγωγή, αφού η διαδρομή της ροής του φρέσκου μίγματος δεν τις επηρεάζει

Κεφαλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

2. Βαθμοί απόδοσης - Μοντέλα απόπλυσης

Διακλάδωση μείγματος (short circuiting)



Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

3. Πραγματικές διαδικασίες απόπλυσης

Πραγματικές διαδικασίες σάρωσης – Δυνατότητες διερεύνησης

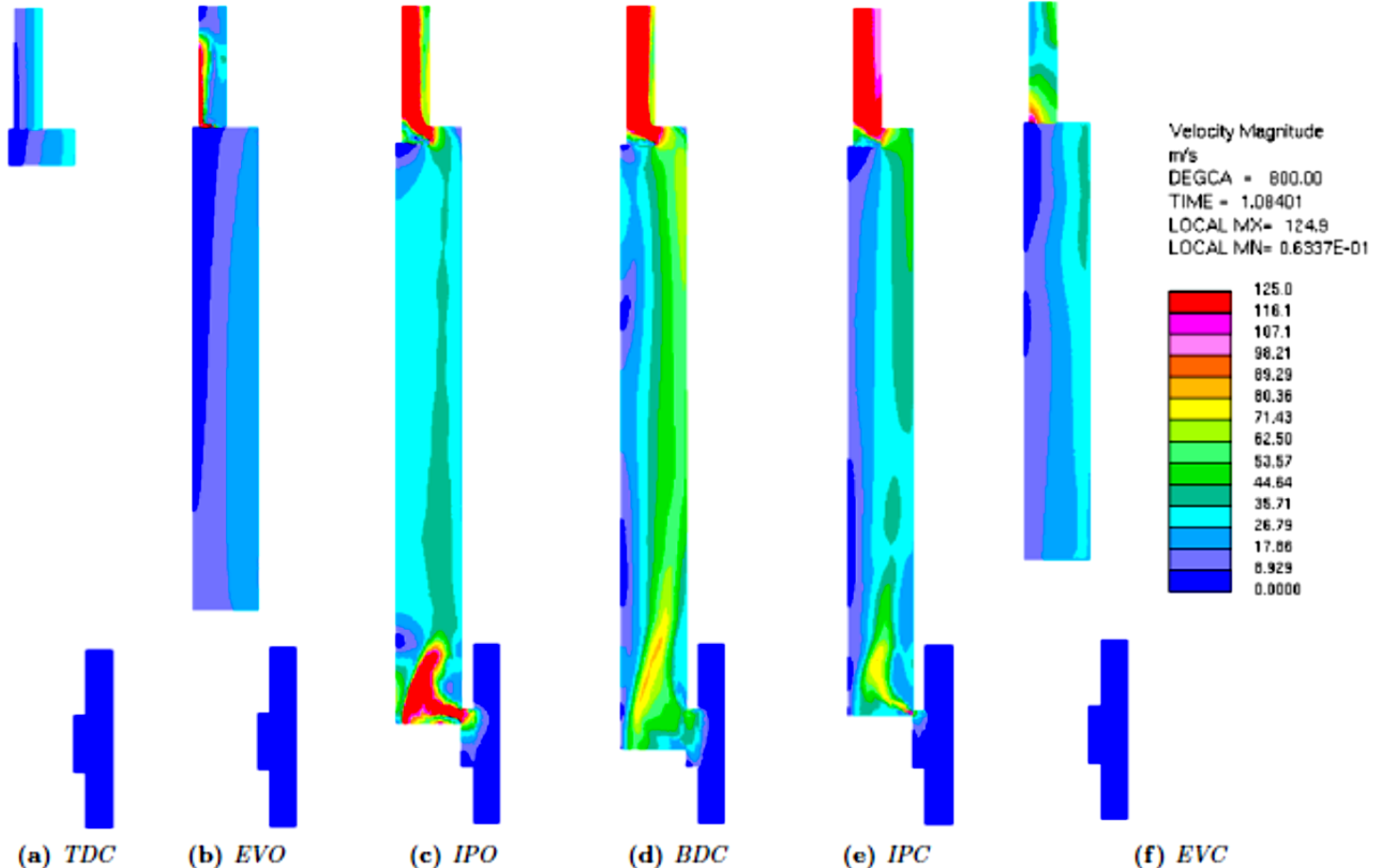
- Εξάρτηση από μέγεθος / γεωμετρία κινητήρα και θέση/ αριθμό θυρίδων βαλβίδων
- Πειραματική διερεύνηση για το βαθμό σάρωσης (n_{sc}) ιδιαίτερα δυσχερής:
 - Μετρήσεις πεδίου ροής εντός κυλίνδρου
 - Υπολογισμός της $imep$ μέσω του μετρημένου δυναμοδεικτικού
 - Μετρήσεις καυσαερίου
 - Flow Visualization (οπτική παρακολούθηση της κίνησης των ρευστών)
- Ανάμειξη ανάλογη της τύρβης → Μείωση τύρβης μειώνει την ανάμειξη ευνοώντας την εναλλαγή αερίων
- Ρευστοδυναμικές προσομοιώσεις

Κεφαλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

3. Πραγματικές διαδικασίες απόπλυσης

Προσομοίωση διαδικασίας σάρωσης σε 2-Χ Ναυτικό κινητήρα diesel

Καυσαέριο



Φρέσκια
γόμωση

Velocity magnitude in m/s, showing the gas flow in the whole engine, including scavenging port, engine cylinder and exhaust valve.

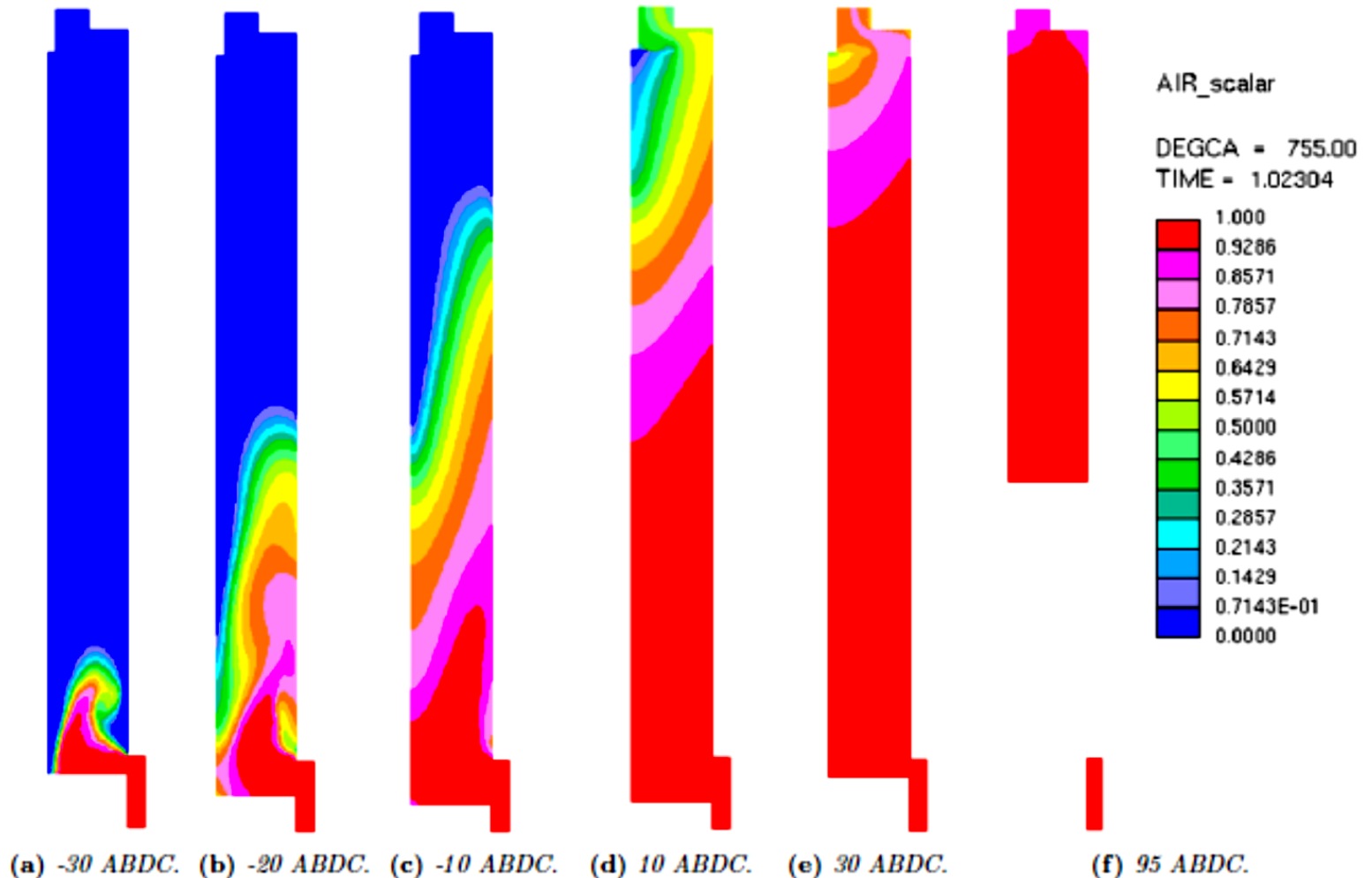
Κεφαλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

3. Πραγματικές διαδικασίες απόπλυσης

Προσομοίωση διαδικασίας σάρωσης σε 2-Χ Ναυτικό κινητήρα diesel

Καυσαέριο

Φρέσκια γόμωση



Mass concentration of the passive scalar given with piston position ABDC

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Γενικά - Γεωμετρία θυρίδων

- Η παροχή μέσω των θυρίδων εξαρτάται από πολυάριθμους παράγοντες:
 - Χρονισμός θυρίδων (εξαρτώμενος από θέση καθ' ύψος στον κύλινδρο)
 - Μέγεθος θυρίδων
 - Αριθμός θυρίδων
 - Γεωμετρία και θέση
 - Ταχύτητα και κατεύθυνση ροής
- Βέλτιστος σχεδιασμός θυρίδων με στόχο:
 - Μεγιστοποίηση της εισερχόμενης μάζας του αερίου (αέρα)
 - Μεγιστοποίηση της μάζας του εξερχόμενου καυσαερίου
 - Ελαχιστοποίηση της ποσότητας του εργαζόμενου μέσου που χρησιμοποιείται για απόπλυση
 - Βέλτιστη ανάμιξη του αέρα και του καυσίμου (diesel)
- Εισερχόμενη παροχή μάζας υποθέτοντας ασυμπίεστη ροή:

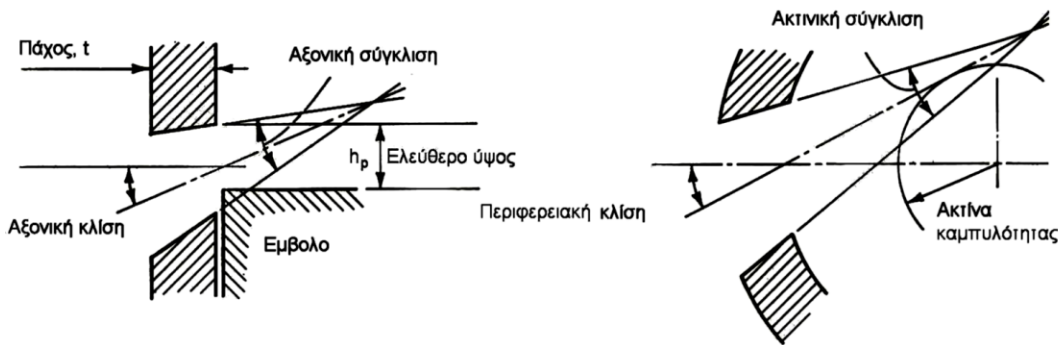
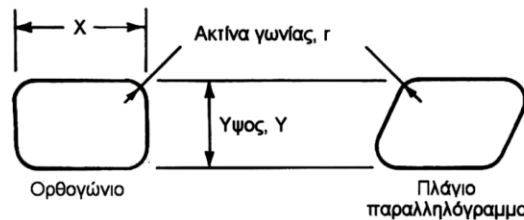
$$\dot{m}_{\text{εισ}} = \frac{1}{\varphi_{\text{ΚΘΣ}} - \varphi_{\text{ΑΘΣ}}} \rho u_{\text{εισ}} \int_{\varphi_{\text{ΑΘΣ}}}^{\varphi_{\text{ΚΘΣ}}} (c_d A_p)_{\text{εισ}} d\varphi$$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Γενικά - Γεωμετρία θυρίδων

- Η γεωμετρία επηρεάζει την παροχή μάζας και πεδίο ροής εντός του κυλίνδρου, καθώς και ποιότητα σάρωσης.
 - Ορθογώνιες θυρίδες: μεγιστοποίηση επιφάνειας ροής
 - Μπορεί να έχουν αξονική και περιφερειακή κλίση
 - Καμπυλότητα ακμών για αποφυγή αποκολλήσεων ροής



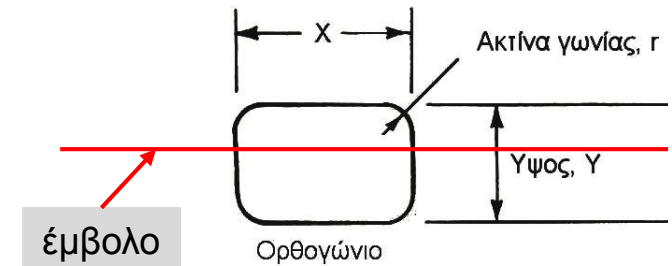
Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Γενικά - Γεωμετρία θυρίδων

- Για ελεύθερο ύψος ανοίγματος $r < h_p < (Y - r)$

$$A_p = Xh_p - 2\left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4}\right) \cong Xh_p - 0.43r^2$$



- Για πλήρως ανοιχτή θυρίδα $h_p = Y \rightarrow$ Επιφάνεια ροής σταθερή

$$A_p = Xh_p - 4\left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4}\right) \cong XY - 0.86r^2$$



Κεφαλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

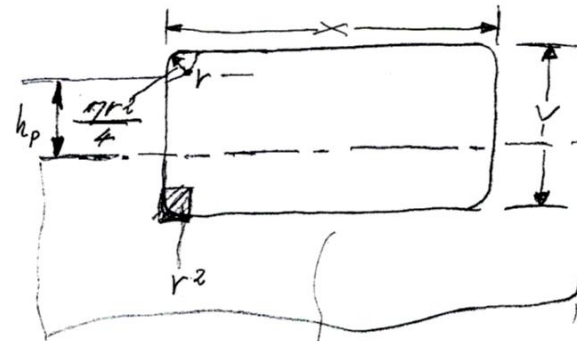
Γενικά - Γεωμετρία θυρίδων (επεξήγηση)

- Υπολογισμός της επιφάνειας αναφοράς για τον υπολογισμό του συντελεστή εκροής):

$$\dot{M}_{εισ} = \frac{1}{\phi_{κροσ} - \phi_{αθρ}} \rho U_{εισ} \int_{\phi_{αθρ}}^{\phi_{κροσ}} (C_d A_p)_{εισ} d\phi \quad (3.10)$$

→ ελεύθερη επιφάνεια θυρίδας:

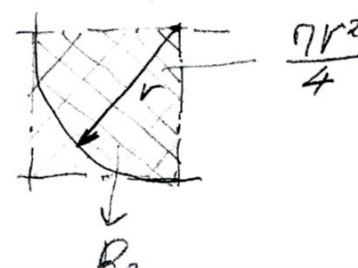
Μερικώς ανοικτή i) $r < h_p < (Y-r)$



$$A_p = X h_p - 2 \left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4} \right) \approx X h_p - 0.43 r^2$$

ii) Πλήρως ανοικτή

$$A_p = X h_p - 4 \left(r^2 - \frac{\pi r^2}{4} \right) \approx XY - 0.86 r^2$$



Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Γενικά – Συσχέτιση γεωμετρίας με βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά

- Βασικές γεωμετρικές διαστάσεις συσχετίζονται με βασική γεωμετρία κυλίνδρου πχ διαδρομή s , διάμετρο D κ.α.:

- Ύψος θυρίδας:

$$Y = k_1 s$$

- Συνολικό πλάτος όλων των θυρίδων:

$$X_{\text{tot}} = k_{2,\text{εισ}} k_3 \pi D$$

όπου $X_{\text{tot}} = N_{\text{p,εισ}} X$

- Συνολική επιφάνεια θυρίδων εισαγωγής:

$$A_{\text{p,εισ}} = N_{\text{p,εισ}} X Y = X_{\text{tot}} Y = k_1 s \cdot k_2 k_3 \pi D$$

(k_2 το ποσοστό της περιφέρειας του κυλίνδρου που καταλαμβάνουν οι θυρίδες εισαγωγής και k_3 το ποσοστό της καθαρής επιφάνειας των θυρίδων)

- Συνολική επιφάνεια θυρίδων εξαγωγής:

$$A_{\text{p,εξ}} = k_1 s \cdot k_{2,\text{εξ}} k_3 \pi D$$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Γενικά – Συσχέτιση γεωμετρίας με βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά

- Ανοιγμένες επιφάνειες θυρίδων
 - Εισαγωγής

$$\frac{A_{p,εισ}}{A_{\varepsilon}} = \frac{k_1 s \cdot k_{2,εισ} k_3 \pi D}{\pi D^2 / 4} = 4k_1 k_{2,εισ} k_3 \frac{s}{D}$$

- Εξαγωγής:

$$\frac{A_{p,εξ}}{A_{\varepsilon}} = 4k_1 k_{2,εξ} k_3 \frac{s}{D}$$

- Λόγος επιφανειών:

$$\frac{A_{p,εξ}}{A_{p,εισ}} = \frac{(k_1 k_2 k_3)_{εξ}}{(k_1 k_2 k_3)_{εισ}}$$

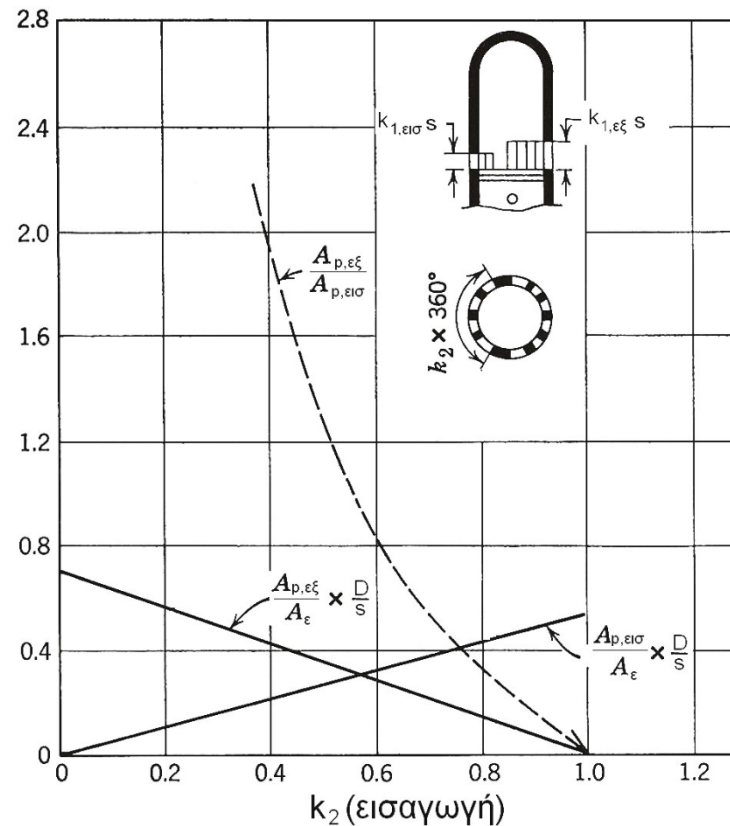
- Το ύψος θυρίδας επηρεάζει επιφάνεια ροής αλλά και το χρονισμό θυρίδας → Βελτιστοποίηση διαστάσεων ανάλογα με μέγεθος/ τύπο μηχανής

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Γενικά – Συσχέτιση γεωμετρίας με βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά

- Επίδραση του ποσοστού, k_2 , της περιφέρειας του κυλίνδρου που καταλαμβάνουν οι θυρίδες Εισαγωγής

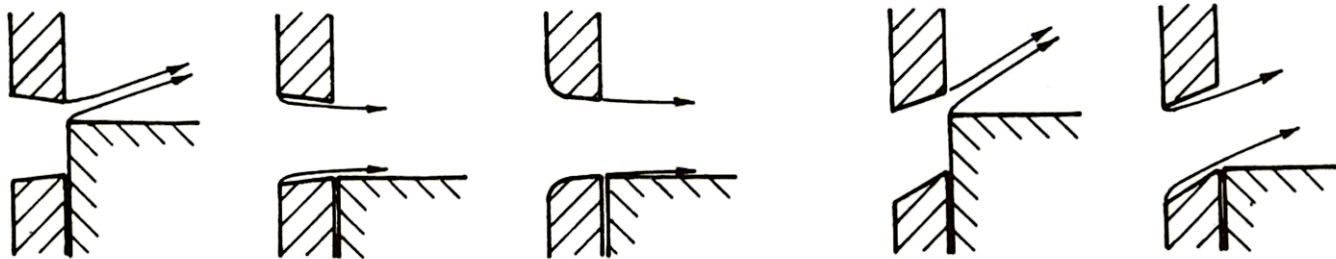


Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

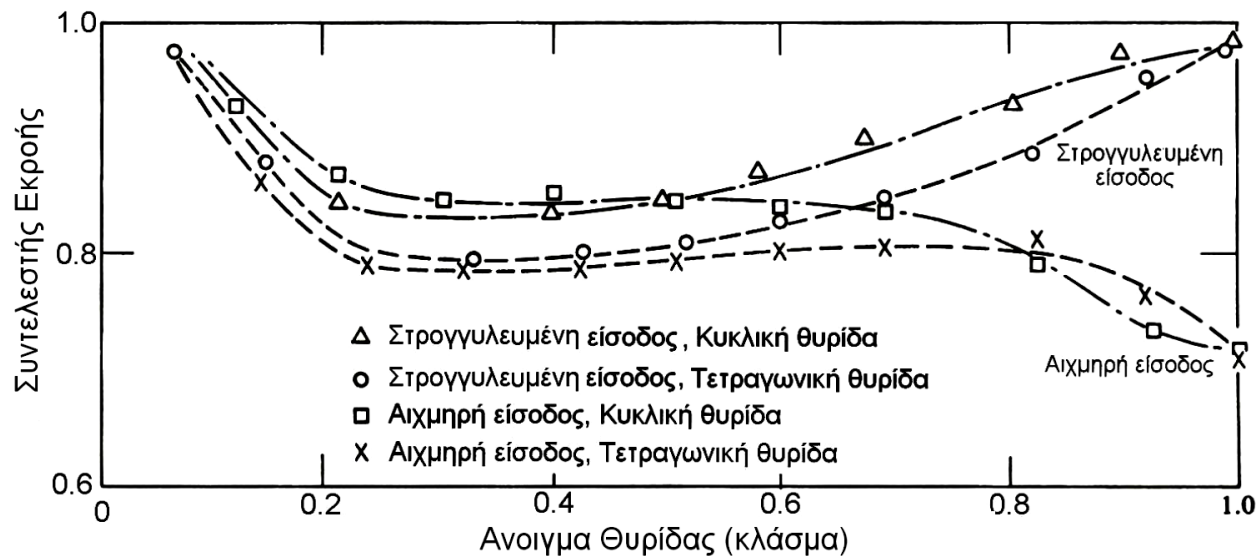
4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Γενικά – Συντελεστής εκροής θυρίδων c_d

- Ο συντελεστής εκροής εξαρτάται από γεωμετρία θυρίδας, πεδίο ροής και λόγο πίεσης εκατέρωθεν αυτής
 - Επίδραση ποσοστού ανοίγματος και γεωμετρίας



Πεδίο ροής συναρτήσει γεωμετρίας/ ανύψωσης

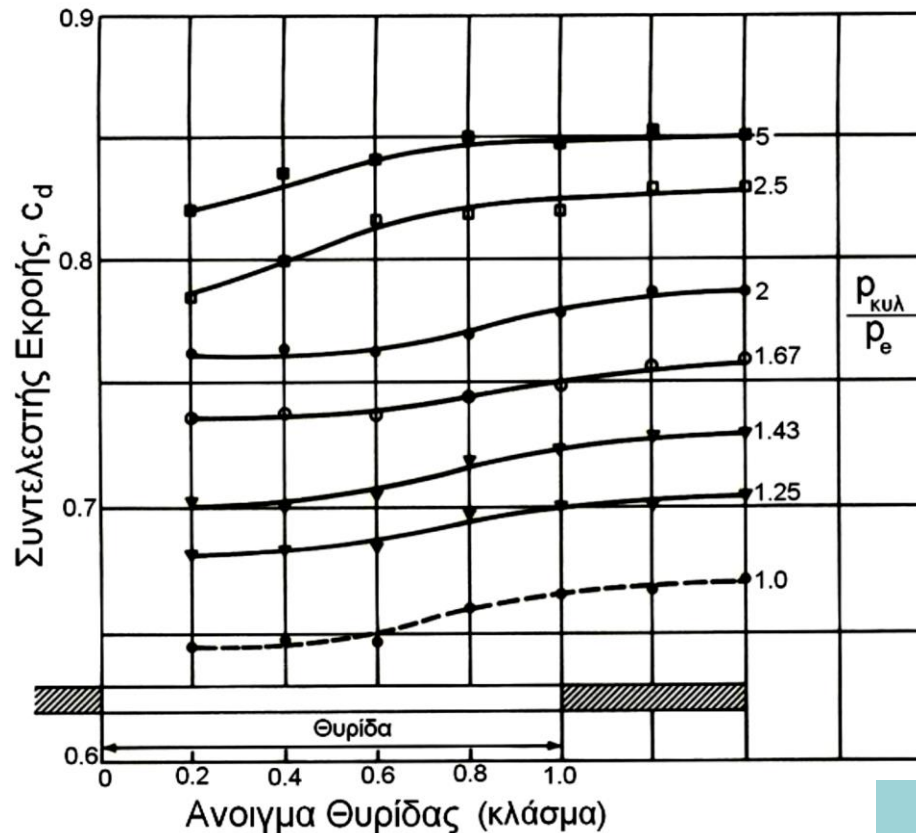


Κεφαλαιο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Γενικά – Συντελεστής εκροής θυρίδων c_d

- Ο συντελεστής εκροής εξαρτάται από γεωμετρία θυρίδας, πεδίο ροής και λόγο πίεσης εκατέρωθεν αυτής
 - Επίδραση του λόγου πίεσης



Συντελεστής εκροής
συναρτήσεϊ λόγου πίεσης

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Παροχή μάζας διαμέσου των θυρίδων

- Στιγμιαία παροχή: Παραδοχή συμπιεστής ισεντροπικής ροής σε συγκλίνον - αποκλίνον ακροφύσιο:

υποηχητική ροή $p_{εξ} / p_{εισ} > [2 / (\gamma + 1)]^{\gamma / (\gamma - 1)} \rightarrow \dot{m}_{AC} = \frac{C_{d,εισ} A_{p,εισ} p_{εισ}}{\sqrt{RT_{εισ}}} \left(\frac{p_{εξ}}{p_{εισ}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{p_{εξ}}{p_{εισ}} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]}$

υπερηχητική ροή $p_{εξ} / p_{εισ} \leq [2 / (\gamma + 1)]^{\gamma / (\gamma - 1)} \rightarrow \dot{m}_{AC} = \frac{(C_d A_{p,εισ})_1 p_{εισ}}{\sqrt{RT_{εισ}}} \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}}$

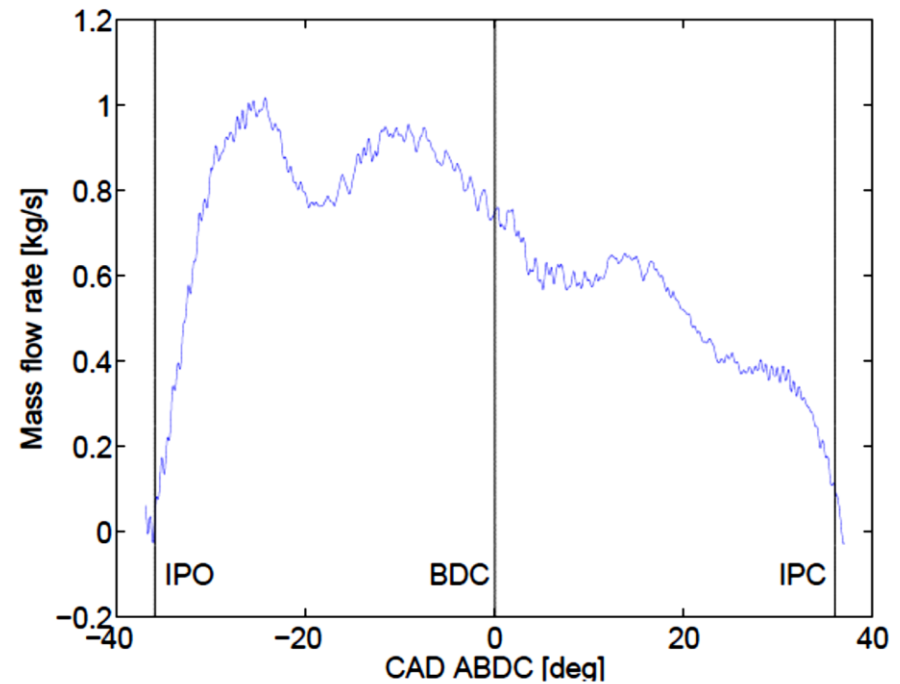
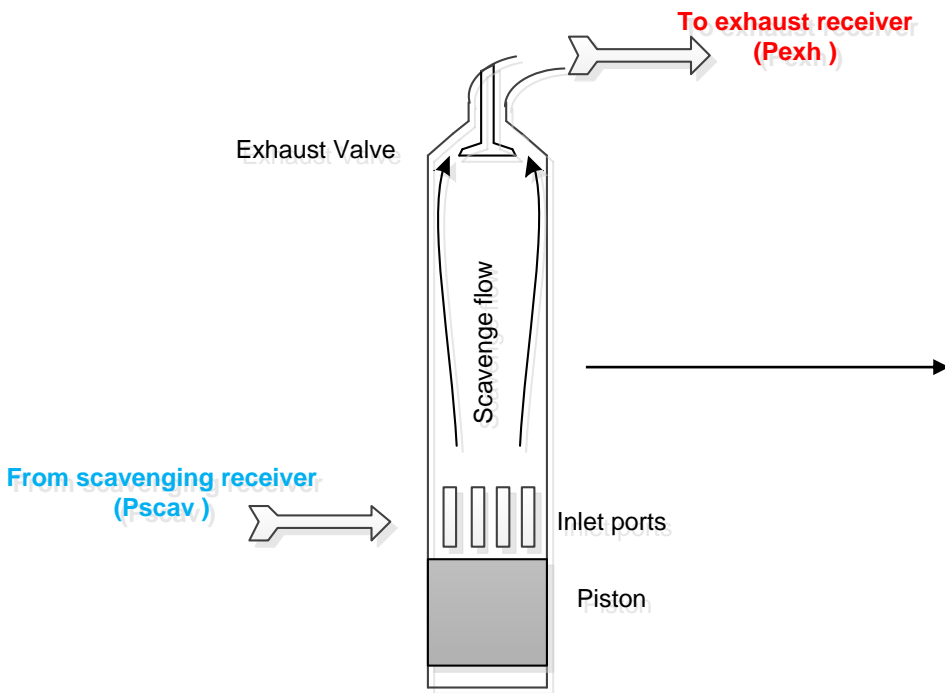
κατά την απόπλυση ισοδύναμη επιφάνεια ροής $\rightarrow A_{p,eq} = \frac{A_{p,εισ} A_{p,εξ}}{\sqrt{A_{p,εισ}^2 + A_{p,εξ}^2}}$

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Παροχή μάζας διαμέσου των θυρίδων

- Στιγμαία παροχή: Αποτελέσματα 3-D CFD simulation



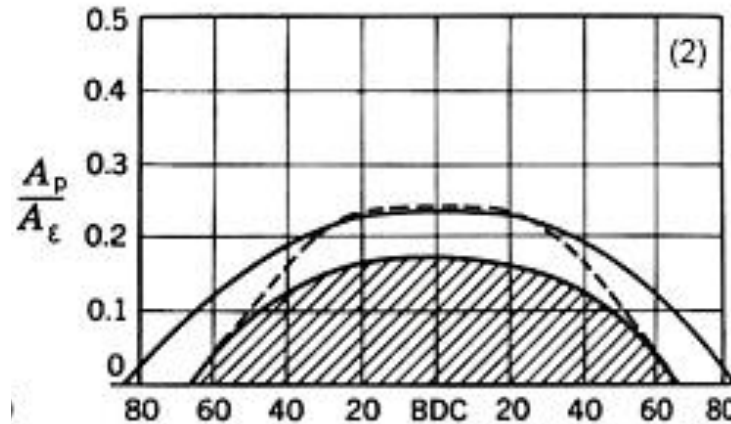
(a) Mass flow rate through scavenging port.

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

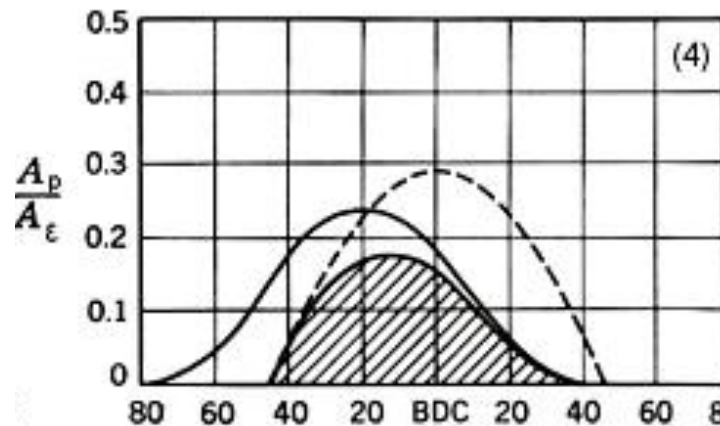
Τυπικά διαγράμματα επιφανειών εισαγωγής και εξαγωγής

- Diesel



— Επιφάνεια εξαγωγής/Επιφάνεια εμβόλου
- - - - - Επιφάνεια εισαγωγής/Επιφάνεια εμβόλου
▨ Ισοδύναμη επιφάνεια/Επιφάνεια εμβόλου

- Otto



Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Ταχύτητα ροής διαμέσου θυρίδων - στιγμιαία

→ Ταχύτητα ροής διαμέσου θυρίδων

→ Παροχή φάσας διαμέσου των θυρίδων εισαγωγής:

$$\dot{m}_{ac} = (C_d A_P)_{εισ} \cdot \rho_a \cdot u_{εισ} \quad (3.23)$$

→ Παροχή που παραμένει στον κύλινδρο:

$$\left. \begin{aligned} \dot{m}_o &= \frac{d(\rho_o V)}{dt} \\ \kappa \quad dt &= \frac{d\varphi}{\sigma\eta} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \dot{m}_o = G\eta\rho_o \frac{dV}{d\varphi} \quad (3.24)$$
$$\kappa \quad \eta\gamma = \frac{\dot{m}_o}{\dot{m}_{ac}} = \frac{\dot{m}_o}{\dot{m}_{ac}}$$

$$(3.23), (3.24) \Rightarrow u_{εισ} = \frac{\dot{m}_{ac}}{(C_d A_P)_{εισ} \rho_a} = \frac{\dot{m}_o}{(C_d A_P)_{εισ} \rho_a \cdot \eta\gamma} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{u_{εισ} = \frac{G\eta}{(C_d A_P)_{εισ}} \cdot \frac{\rho_o}{\rho_a} \cdot \frac{1}{\eta\gamma} \frac{dV}{d\varphi}} \quad (3.25)$$

στιγμιαία τιμή - θυρίδες εισαγωγής ανοικτές

Κεφαλαίο 3: Εναλλαγή Αερίων σε 2-Χ Κινητήρες

4. Μελέτη της ροής διαμέσου των θυρίδων

Ταχύτητα ροής διαμέσου θυρίδων - μέση

- Μέση τιμή για θυρίδες εισαγωγής

$$\bar{u}_{\text{εισ}} = \frac{6n V_h}{(c_d A_p \Delta\varphi)_{\text{εισ},\mu}} \frac{1}{\eta_\gamma}$$

- Πρέπει <220 m/s (φαινόμενα στραγγαλισμού/απώλειες)
- Μέση τιμή για εξαγωγή:

- Πριν το άνοιγμα εισαγωγής:
$$\bar{u}_{\text{εξ}} = \frac{6n}{(c_d A_p \Delta\varphi)_{\text{εξ},\mu}} \frac{m_{\text{εξ}}}{\bar{\rho}_{\text{εξ}}}$$

- Για το συνολικό διάστημα:
$$\bar{u}_{\text{εξ,ολ}} = \frac{6n\rho_\alpha V_h}{(c_d A_p \Delta\varphi)_{\text{εξ},\mu}} \frac{\eta_\lambda}{\eta_\gamma}$$