

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ  
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΓΑΤΣΙΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Σααντ Φαντι**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2017**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΚΑΥΣΑΕΡΙΩΝ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΩΝ  
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΓΑΤΣΙΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΑΜ:5030**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ:**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία προσπαθώ να αναδείξω την σημαντικότητα των συστημάτων εξαγωγής καυσαερίων τετράχρονων πετρελαιομηχανών. Τα καυσαέρια προσφέρουν αρκετή ενεργεία στον στροβιλοϋπερπληρωτή αρκεί το σύστημα εξαγωγής καυσαερίων να είναι αποδοτικό. Η εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας των καυσαερίων έχει σαν αποτέλεσμα την παραπέρα αύξηση της απόδοσης της μηχανής.

Πρακτικά ο τρόπος σύνδεσης της εξαγωγής των καυσαερίων από την εξαγωγή των κυλίνδρων προς στροβιλοσυμπιεστές έχει κάποιες δυσκολίες στους διάφορους τύπους των μηχανών. Οι δυσκολίες αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι κατά τον χρόνο της εισαγωγής σε έναν κύλινδρο, όπου είναι για κάποιες μοίρες ανοικτές οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, ταυτόχρονα σε κάποιον άλλο κύλινδρο θα είναι ανοικτή η βαλβίδα εξαγωγής. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει το ενδεχόμενο να ανακατευτούν ο αέρας εισαγωγής με τα καυσαέρια.

Με τον κατάλληλο σχεδιασμό και μία ειδική κατασκευή των αγωγών της μηχανής ξεπεράστηκε η παραπάνω δυσκολία και έγινε εφικτή η χρησιμοποίηση της δύναμης των καυσαερίων. Αυτό έγινε με τον διαχωρισμό του οχετού εξαγωγής των καυσαερίων σε επί μέρους οχετούς ανά ομάδες κυλίνδρων σε συνάρτηση με την σειρά καύσης των κυλίνδρων της μηχανής για τις τετράχρονες μηχανές, ή με την τοποθέτηση μιας βαλβίδας εξαγωγής ανά κύλινδρο στις δίχρονες μηχανές. Στην πορεία χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι για την αποφυγή της ανάμιξης του αέρα εισαγωγής με τα καυσαέρια όπως είναι ο κατάλληλος σχεδιασμός της κεφαλής του εμβόλου, τοποθέτηση ειδικής βαλβίδας στο οχετό εξαγωγής και άλλα.

## Abstract

In this paper I try to highlight the importance of exhaust systems of four-stroke diesel engines. The exhaust gases offer enough energy to the turbocharger provided the exhaust system is efficient. The exploitation of this exhaust energy results in a further increase in engine performance.

In practice, the way of connecting exhaust gases from the extraction of cylinders to turbochargers has some difficulties in the different types of machines. These difficulties are due to the fact that at the time of insertion into a cylinder, where for some degrees open the inlet valves and extraction, simultaneously to another cylinder to open the exhaust valve. In this case entails the possibility of commingling the intake air with the exhaust gases.

With the proper design and a special construction of the machine lines, the above difficulty was overcome and the exhaust force was utilized. This was done by separating the exhaust manifold into individual manifolds per group of cylinders in relation to the combustion sequence of the exhaust gases cylinder machines for the four stroke engines, or by placing an extraction valve per cylinder in two stroke engines. Various methods have been used and are still used to avoid mixing the air inlet with the exhaust gas such as the appropriate design of the piston head, placing a tap at the outlet chute and others.

## Πρόλογος

Το θέμα της πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση και η εξήγηση των συστημάτων εξαγωγής καυσαερίων τετράχρονης πετρελαιομηχανής. Επέλεξα να αναλύσω τα συστήματα εξαγωγής καυσαερίων τετράχρονης πετρελαιομηχανής για να δείξω πόσο σημαντικά είναι για την λειτουργία μιας μηχανής. Επίσης επέλεξα αυτή την πτυχιακή διότι στις μέρες μας προσπαθούμε να κάνουμε τις μηχανές αποδοτικότερες με αποτέλεσμα η σωστή επιλογή συστήματος εξαγωγής καυσαερίων να βοηθήσει στην επίτευξη αυτού του σκοπού.

Σκοπός των συστημάτων καυσαερίων είναι η συλλογή των καυσαερίων του κινητήρα και η οδήγηση τους στο στρόβιλο του υπερπληρωτή με τρόπο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της διαθέσιμης ισχύος τους. Στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιαστούν τα συστήματα εξαγωγής καυσαερίων, τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα του κάθε συστήματος και η λειτουργία των συστημάτων. Η μεθοδολογία έγινε από βιβλιογραφική έρευνα σε ελληνικά και ξένα άρθρα και βιβλία σε σχέση με τα συστήματα εξαγωγής καυσαερίων τετράχρονης πετρελαιομηχανής.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στα συστήματα καυσαερίων, όπου τα καυσαέρια κατά την έξοδό τους από το κύλινδρο κατά την φάση της εξαγωγής έχουν μεγάλα ποσά ενέργειας λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της πίεσης που έχουν από την λειτουργία της μηχανής. Μέρος αυτής της ενέργειας εκμεταλλευόμαστε με την χρήση της δύναμης των καυσαερίων για την κίνηση των στροβιλοφυσητήρων, για την συμπίεση του αέρα και την υπερπλήρωση της μηχανής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται το σύστημα σταθερής πίεσεως των καυσαερίων το οποίο χρησιμοποιείται στις δίχρονες αργόστροφες μεγάλες μηχανές με θυρίδες εισαγωγής- εξαγωγής ή σε μηχανές με θυρίδες εισαγωγής και βαλβίδα εξαγωγής. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται και σε τετράχρονες μηχανές για τον λόγο ότι έχουμε χαμηλότερη ειδική κατανάλωση του καυσίμου. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό τα καυσαέρια οδηγούνται σε κοινό οχετό εξαγωγής οπότε εξισώνεται η πίεση τους με αποτέλεσμα την ομαλή και χωρίς διακυμάνσεις της πίεσης στη λειτουργία του στροβιλοσυμπιεστή.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται το σύστημα παλμικής ροής το οποίο λειτουργεί αποδοτικά και στα χαμηλά φορτία της μηχανής διότι δίνεται προπορεία εξαγωγής και τα καυσαέρια έχουν μεγάλη ενέργεια ακόμα και στις χαμηλές στροφές της μηχανής,

οπότε δεν είναι αναγκαία η χρήση ηλεκτροκίνητου φυσητήρα. Για την αποφυγή της απώλειας του παλμού των καυσαερίων θα πρέπει το μήκος του οχετού εξαγωγής να μην είναι πολύ μεγάλο αλλά και η διάμετρος του οχετού να είναι κανονική για να μην χάνεται ο παλμός όταν η διάμετρος είναι μεγάλη, αλλά και να μην στραγγαλίζονται τα καυσαέρια αν είναι μικρή οπότε η ροή τους δεν θα έχει απόδοση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα υβριδικά συστήματα τα οποία αναπτύχθηκαν για να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα των συστημάτων σταθερής πίεσεως και παλμικής ροής.

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή στα συστήματα καυσαερίων

Σκοπός των συστημάτων καυσαερίων είναι η συλλογή των καυσαερίων του κινητήρα και η οδήγησή τους στο στρόβιλο του στροβιλοϋπερπληρωτή με τρόπο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της διαθέσιμης ισχύος τους.

Τα καυσαέρια εξερχόμενα από τον κύλινδρο (είτε από τις βαλβίδες είτε από τις θυρίδες εξαγωγής) έχουν αρκετή διαθέσιμη ενέργεια (υπό μορφή κινητικής ενέργειας, πίεσεως και θερμικής εσωτερικής ενέργειας). Ένα τμήμα αυτής της ενέργειας χάνεται στη μεταφορά λόγω μεταδόσεως θερμότητας προς το περιβάλλον, ειδικά αν το κέλυφος εισαγωγής των καυσαερίων του στροβιλοϋπερπληρωτή είναι ψυχόμενο με νερό. Αν δεν υπάρχει ψύξη, το ποσοστό της ενέργειας των καυσαερίων που χάνεται πριν τον στροβιλοϋπερπληρωτή δεν υπερβαίνει συνήθως το 5% της ενέργειας των καυσαερίων κατά την έξοδο τους από τον κύλινδρο.

Η διαθέσιμη ενέργεια των καυσαερίων αυξάνεται με την αύξηση της πίεσεως εξόδου των καυσαερίων. Αυξημένη πίεση εξόδου των καυσαερίων σημαίνει ότι μειώνεται το παραγόμενο έργο του εμβόλου, αφού το έμβολο καταναλώνει έργο για να εξωθήσει τα καυσαέρια υπό υψηλή πίεση μέσα από το σύστημα των καυσαερίων. Στην συνέχεια θα περιγραφούν τα διαφορετικά είδη συστημάτων καυσαερίων, τα οποία έχουν αναπτυχθεί για την καλύτερη εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας των καυσαερίων εντός του στροβίλου του στροβιλοϋπερπληρωτή. Πριν από την περιγραφή των συστημάτων θα γίνει μία ανάλυση του θερμοδυναμικού κύκλου ενός πετρελαιοκινητήρα που είναι εφοδιασμένος με στροβιλοϋπερπληρωτή, ώστε να γίνει καλύτερα κατανοητή η λειτουργία των συστημάτων αυτών.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΕΩΣ

Στο σχήμα 8.5<sup>α</sup> παρουσιάζεται το γνωστό διάγραμμα p-V του ιδανικού πρότυπου κύκλου αέρα τετράχρονου κινητήρα, που ακολουθεί το μεικτό κύκλο. Με το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής στη θέση 5, τα καυσαέρια εκτονώνονται ισόογκα μέχρι την ατμοσφαιρική πίεση στη θέση 1. Όμως, αν επιτρεπόταν στο έμβολο να εκτελέσει αδιαβατική εκτόνωση μέχρι το σημείο 6, θα υπήρχε επιπλέον παραγωγή έργου ίση με το εμβαδόν (5-6-1-5) του διαγράμματος. Αυτό προϋποθέτει τη σημαντική αύξηση της διαδρομής του εμβόλου κατά την εκτόνωση, με αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας του μηχανισμού αλλά και των τριβών. Το επιπλέον καθαρό έργο που κερδίζεται είναι εξαιρετικά μικρό, για να δικαιολογήσει την αυξημένη πολυπλοκότητα του μηχανισμού κίνησης του εμβόλου.

Το διαθέσιμο αυτό έργο μπορεί να απορροφηθεί από ένα στρόβιλο που θα τοποθετηθεί στην έξοδο των καυσαερίων. Ο στρόβιλος, κινούμενος από τα καυσαέρια, περιστρέφει συμπιεστή, ο οποίος παρέχει αέρα στον κινητήρα σε πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Το διάγραμμα p-V του ιδανικού πρότυπου κύκλου αέρα, για να υπερπληρούμενο κινητήρα που εκτελεί μεικτό κύκλο, παρουσιάζεται στο σχήμα 8.5β. Ο συμπιεστής έχει αυξήσει την πίεση του αέρα εξαγωγής μέχρι την  $p_{12}$ , και η φάση εισαγωγής περιγράφεται από τη μεταβολή 12-1. Η διαθέσιμη ενέργεια των καυσαερίων περιγράφεται από την περιοχή (5-8-9-5) η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ενός ατμοσφαιρικού κινητήρα, λόγω των μεγαλύτερων πιέσεων στις οποίες λειτουργεί ο υπερπληρούμενος κινητήρας. Η διαδικασία εξαγωγής των καυσαερίων περιγράφεται στο διάγραμμα από τη διαδρομή 5-13-11, όπου η μεταβολή 5-13 περιγράφει την ισόογκη έξοδο των καυσαερίων από τον κύλινδρο κατά το άνοιγμα των βαλβίδων εξαγωγής και η μεταβολή 13-11 περιγράφει το υπόλοιπο τμήμα της φάσεως εξαγωγής, κατά την κίνηση του εμβόλου από το κάτω στο άνω νεκρό σημείο. Η πίεση εξαγωγής είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση, λόγω της παρουσίας του στρόβιλου στην έξοδο των καυσαερίων. Το έργο που περιγράφεται από το εμβαδόν (13-11-10-9-13) καταναλώνεται από το έμβολο για την εξώθηση των καυσαερίων, θα μπορούσε όμως να ανακτηθεί εντός του στρόβιλου. Έτσι η μέγιστη δυνατή διαθέσιμη ενέργεια που



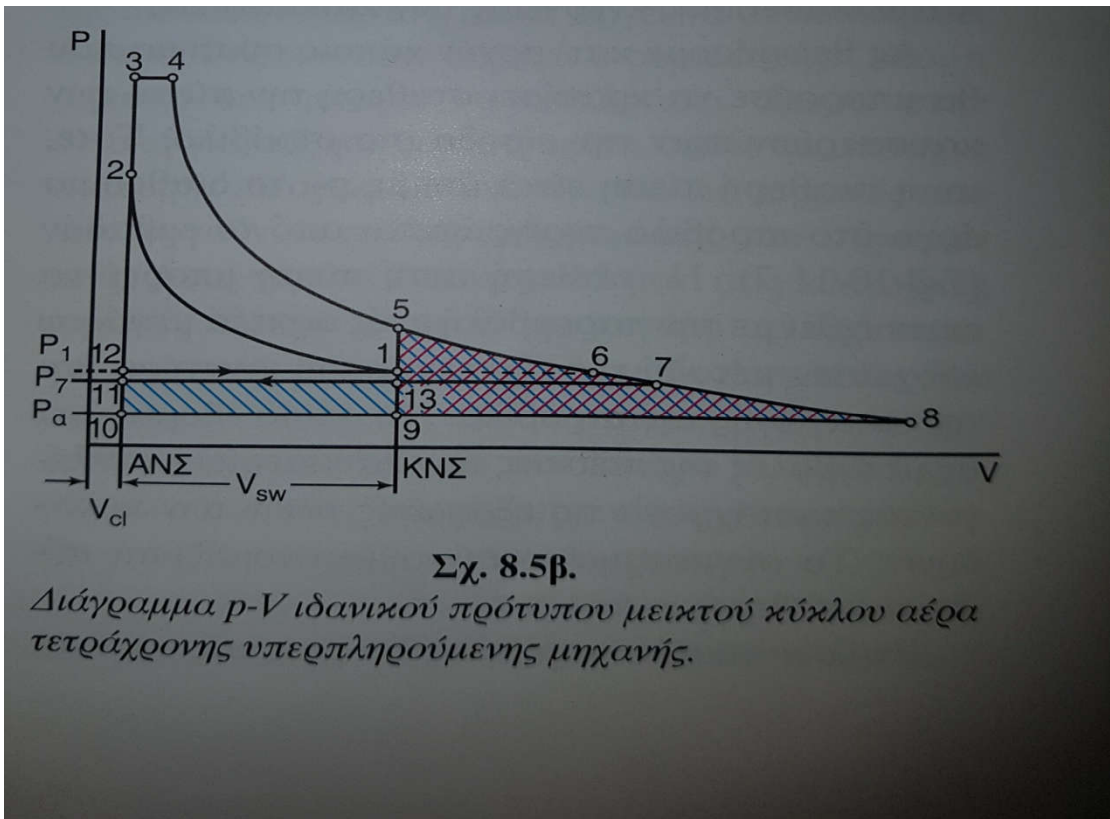
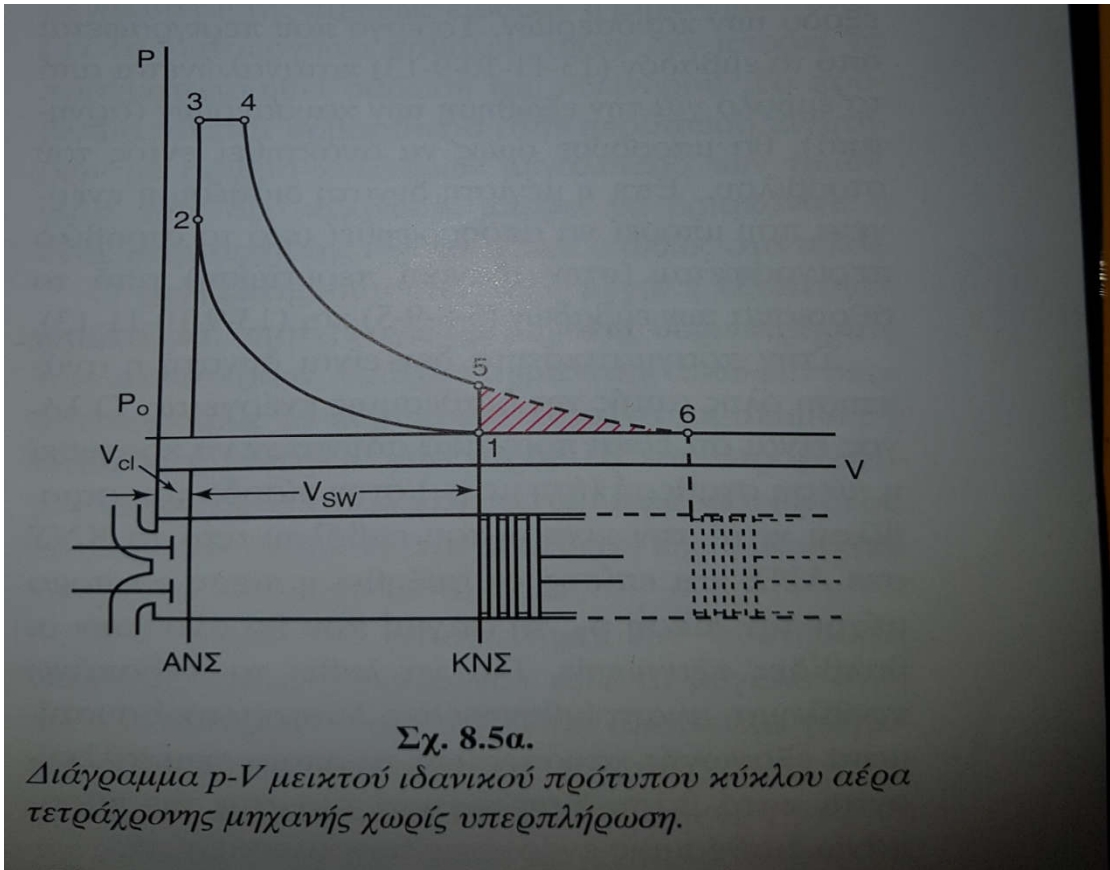
μπορεί να απορροφηθεί από το στρόβιλο περιγράφεται από το άθροισμα των εμβαδών (5-8-9-5) και (13-9-10-11-13).

Στην πραγματικότητα δεν είναι δυνατή η ανάκτηση όλης της διαθέσιμης ενέργειας. Ο λόγος είναι πρακτικά αδύνατον να κρατηθεί η πίεση σταθερή (ίση με  $p_7$ ) στην είσοδο του στροβίλου κατά την κίνηση του εμβόλου από τον ΚΝΣ στο ΑΝΣ και επίσης να αυξηθεί η πίεση απότομα μέχρι την πίεση  $p_5$ , από τη στιγμή που θα ανοίξουν οι βαλβίδες εξαγωγής. Για να λυθεί το παραπάνω πρόβλημα, αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικά συστήματα εξαγωγής καυσαερίων, τα οποία εκμεταλλεύονται κατά βάση διαφορετικά τμήματα της παραπάνω διαθέσιμης ενέργειας των καυσαερίων.

Ας θεωρήσουμε κατ' αρχήν κάποιο σύστημα που θα μπορούσε να κρατήσει σταθερή την πίεση των καυσαερίων πριν την είσοδο στο στρόβιλο. Τότε αν η σταθερή πίεση είναι ίση με  $p_7$ , το διαθέσιμο έργο στο στρόβιλο περιγράφεται από το εμβαδόν (7-8-10-11-7). Η σταθερή αυτή πίεση μπορεί να επιτευχθεί με την παρεμβολή ενός αρκετά μεγάλου <<δοχείου>> μεταξύ της εξαγωγής του κινητήρα και της εισαγωγής του στροβίλου, το οποίο εξομαλύνει τις μεταβολές της πίεσεως των καυσαερίων, συλλέγοντας ταυτόχρονα τις εξαγωγές όλων των κυλίνδρων. Το συγκεκριμένο σύστημα ονομάζεται σύστημα σταθερής πίεσεως.

Εναλλακτικά, ο στρόβιλος θα μπορούσε να τοποθετηθεί ακριβώς στην έξοδο του κυλίνδρου (ή τουλάχιστον πολύ κοντά σε αυτή). Στην περίπτωση που ο στρόβιλος είναι αρκετά μεγάλος, τα καυσαέρια εκτονώνονται μέσα από το στρόβιλο κατά την ισεντροπική μεταβολή 5-7-8, ενώ ταυτόχρονα η πίεση εντός του κυλίνδρου πέφτει ισόογκα κατά τη διαδρομή 5-1-9. Έτσι κατά την κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ η μεταβολή περιγράφεται από τη διαδρομή 9-10 και όχι από την 13-11 της προηγούμενης περιπτώσεως. Έτσι το αρνητικό έργο του εμβόλου είναι πλέον μηδενικό, αφού η πίεση στην έξοδο έχει πέσει στην ατμοσφαιρική πίεση. Η διαθέσιμη ενέργεια του στροβίλου περιγράφεται από το εμβαδόν (5-8-9-5). Η παραπάνω λειτουργία υλοποιείται στο σύστημα παλμικής ροής.

Οι δύο διαφορετικές περιπτώσεις περιγράφηκαν παραπάνω στην ιδανική κατάσταση. Στην πραγματικότητα εμφανίζονται αρκετές αποκλίσεις από τα παραπάνω. Η προηγούμενη περιγραφή είναι όμως ιδιαίτερα χρήσιμη, γιατί δίνει με απλό τρόπο τις βασικές αρχές στις οποίες στηρίζονται τα δύο συστήματα, από τις οποίες θα προκύψουν και μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά τους.



## Κεφάλαιο 2

### Σύστημα σταθερής πίεσεως (Constant pressure turbocharging)

Στο σύστημα σταθερής πίεσεως τα καυσαέρια από τους κυλίνδρους οδηγούνται σε κοινό συλλέκτη καυσαερίων με μεγάλη διάμετρο, όπου γίνεται η απόσβεση της ενέργειας των κυμάτων πίεσεως (σχήμα 8.5γ). Οι χρονικές διακυμάνσεις πίεσεως και παροχής (λόγω της φύσεως των παλινδρομικών μηχανών) εξομαλύνονται, με αποτέλεσμα ο στρόβιλος που ακολουθεί να λειτουργεί υπό σταθερές χρονικά συνθήκες.

Το σύστημα σταθερής πίεσεως απαιτεί την ύπαρξη συλλέκτη καυσαερίων μεγάλου σχετικά όγκου (ώστε να αποσβένονται τα κύματα πίεσεως), ο οποίος συνδέεται με την έξοδο των κυλίνδρων με κοντούς οχετούς εξαγωγής και συστήματα ανακτήσεως πίεσεως (διαχύτης), όπως φαίνεται στο σχήμα 8.5δ. Ο συλλέκτης έχει συνήθως κυλινδρικό σχήμα και τοποθετείται παράλληλα με τον άξονα της μηχανής. Στους κινητήρες τύπου V τοποθετείται ανάμεσα στις δύο σειρές των κυλίνδρων. Στο συλλέκτη μπορεί να συνδεθεί και ένας μόνο υπερπληρωτής. Συνήθως στις μεγαλύτερες μηχανές συνδέονται περισσότεροι μικρότεροι υπερπληρωτές, για λόγους ασφαλείας, ώστε στην περίπτωση βλάβης του ενός, οι υπόλοιποι να δίνουν ένα τμήμα της πίεσεως υπερπληρώσεως.

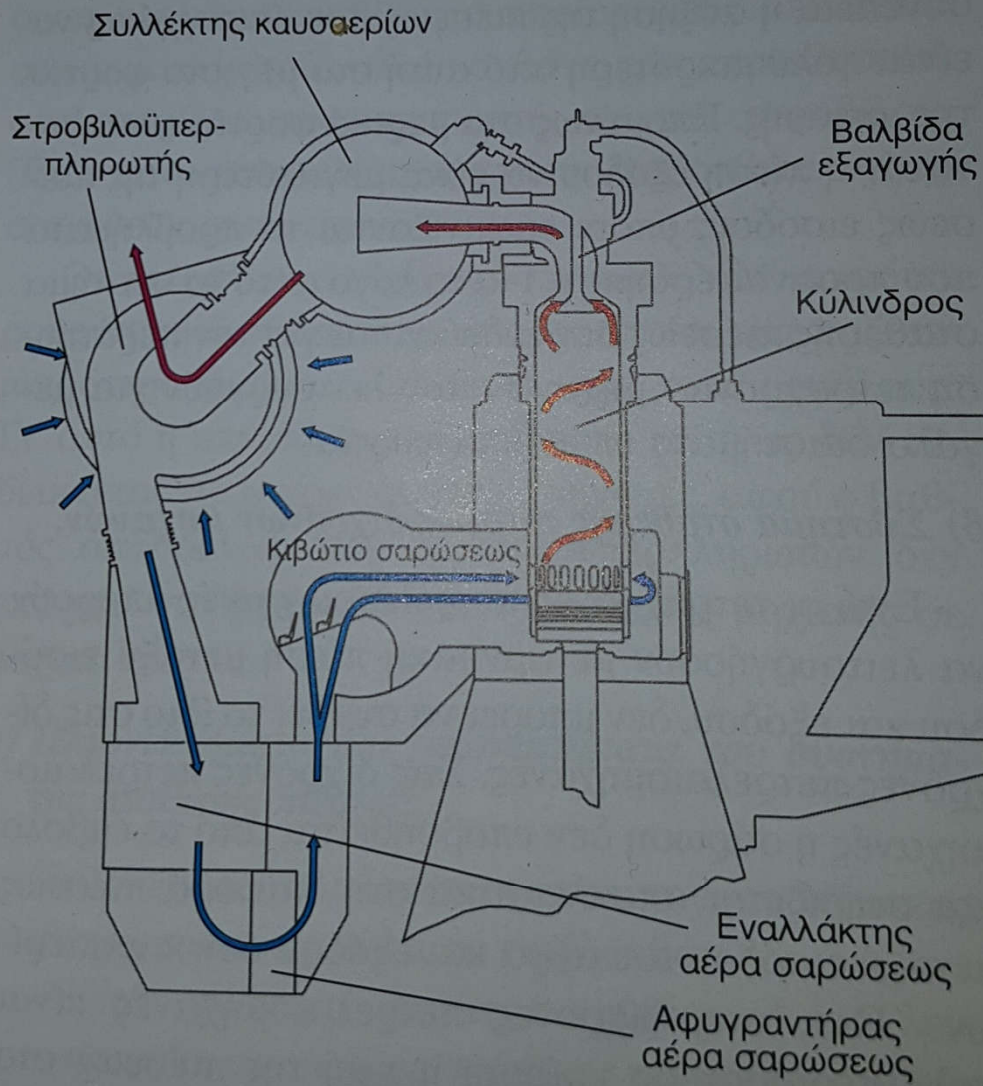
Το μέγεθος του συλλέκτη καυσαερίων παίζει σημαντικό ρόλο, ειδικά στους δίχρονους κινητήρες, όπου οι διακυμάνσεις πίεσεως μπορούν να αναστρέψουν τη ροή των καυσαερίων. Αν ο συλλέκτης δεν είναι αρκετά μεγάλος, το κύμα πίεσεως από τον κύλινδρο, που βρίσκεται στην αρχή της φάσεως της εξαγωγής, θα ανεβάσει σημαντικά την πίεση εντός του συλλέκτη. Έτσι οι κύλινδροι που βρίσκονται κοντά στο τέλος της φάσεως εξαγωγής, θα αντιμετωπίσουν στην έξοδό τους μεγαλύτερη πίεση από την εσωτερική, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ολοκληρωθεί η εξαγωγή των καυσαερίων. Ειδικά στην περίπτωση που υπάρχει επικάλυψη στο άνοιγμα των βαλβίδων ή θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής δεν θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της σάρωσης. Το πρόβλημα είναι πιο σημαντικό στην περίπτωση των δίχρονων μηχανών, όπου η σάρωση του κυλίνδρου γίνεται μόνο λόγω της πίεσεως εισόδου του αέρα και της ορμής του κατά την είσοδο και δεν συμμετέχει καθόλου η κίνηση του εμβόλου (όπως αντιθέτως συμβαίνει στις τετράχρονες μηχανές). Έτσι, αν η πίεση εξόδου γίνει μεγαλύτερη της πίεσεως εισόδου η μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει καθόλου, αφού δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σάρωση του

κυλίνδρου. Το πρόβλημα γίνεται σοβαρότερο στην περίπτωση κινητήρων με αριθμό κυλίνδρων μεγαλύτερο των τριών, γιατί τότε δύο κύλινδροι μπορεί να βρίσκονται ο ένας στην αρχή της εξαγωγής και ο άλλος στο τέλος.

Ο συλλέκτης διαθέτει πολύ μεγάλη εξωτερική επιφάνεια, όποτε λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας των καυσαερίων υπάρχει σημαντική απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον. Για να μη μειωθεί η διαθέσιμη ενέργεια στο στρόβιλο του στροβιλοϋπερπληρωτή, ο συλλέκτης είναι θερμομονωμένος. Παράλληλα αποφεύγεται η αύξηση της θερμοκρασίας εντός του μηχανοστασίου.

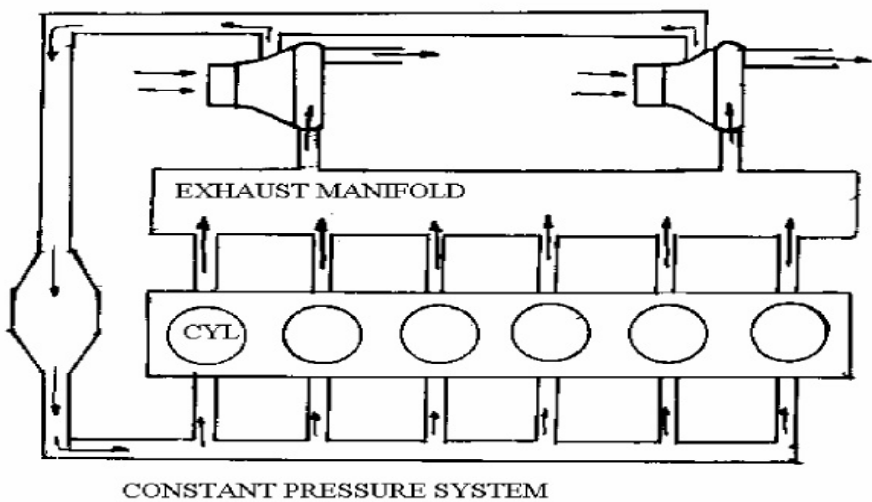
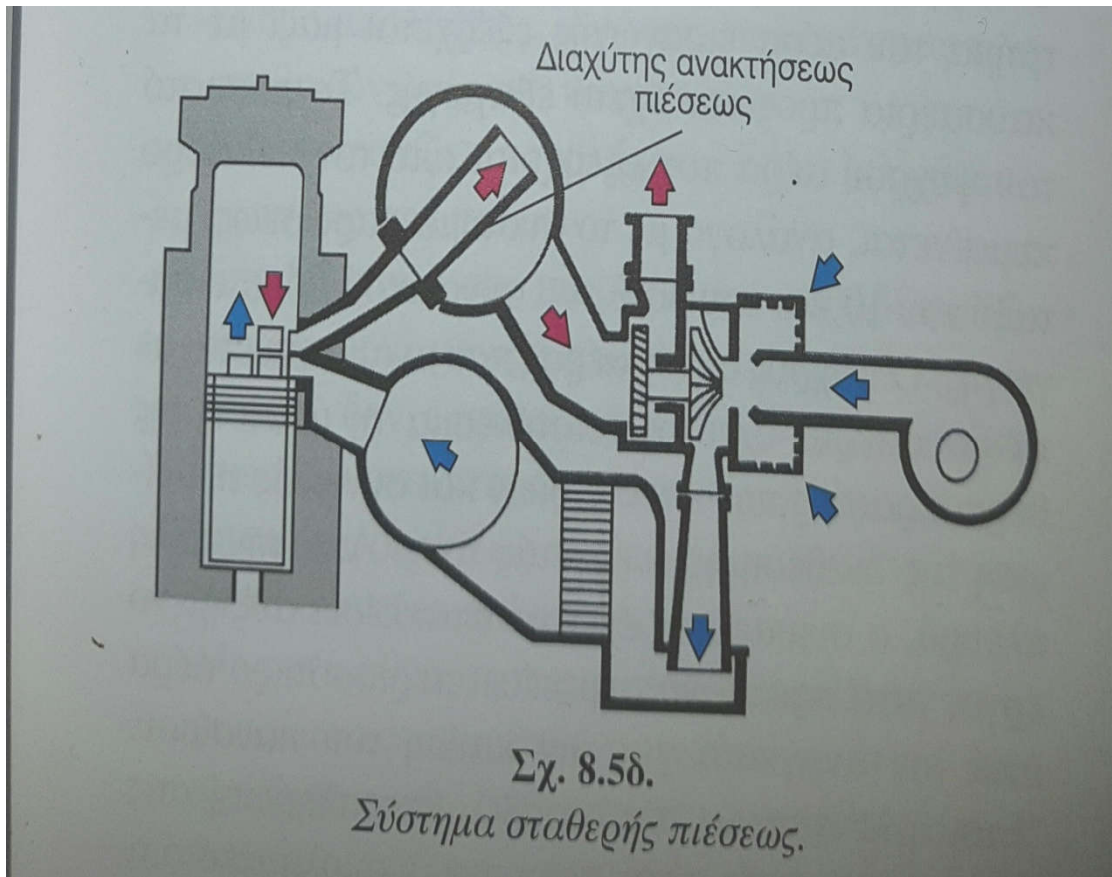
Ένα σημαντικό μειονέκτημα του συστήματος σταθερής πίεσεως προκύπτει από το μεγάλο όγκο του συλλέκτη καυσαερίων. Όταν απαιτείται γρήγορη αύξηση των στροφών της μηχανής ο μεγάλος όγκος του συλλέκτη δεν επιτρέπει γρήγορη αύξηση της πίεσεως εντός του, οπότε αργεί να ανταποκριθεί ο στρόβιλος και συνεπώς και ο συμπιεστής. Έτσι η μηχανή δεν μπορεί να αντιδράσει άμεσα στην εντολή για αύξηση των στροφών, οπότε το σύστημα σταθερής πίεσεως δεν ενδείκνυται για μηχανές που λειτουργούν με πολλές αυξομειώσεις των στροφών τους. Αυτό γίνεται έντονα αντιληπτό στις κινητήριες μηχανές πλοίων με μέσο και μεγάλο αριθμό στροφών κατά τη διάρκεια των ελιγμών. Αντιθέτως δεν έχει καμιά επίδραση στις κινητήριες μηχανές ηλεκτροπαραγωγών ζευγών και επιδρά ελάχιστα στις μεγάλες δίχρονες κύριες μηχανές πλοίων, που λειτουργούν με μικρούς αριθμούς στροφών.

Το σύστημα σταθερής πίεσεως έχει σημαντικές διαφορές μεταξύ των δίχρονων και των τετράχρονων πετρελαιομηχανών.



**Σχ. 8.5γ.**

Σύστημα υπερπληρώσεως σταθερής πίεσεως, σε συνδυασμό με ευθύγραμμη σάρωση κυλίνδρου με βαλβίδα εξαγωγής, σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή.



Class 2 TurboChargers

Σχήμα 8.ιγ.

## Σύστημα σταθερής πίεσεως τετράχρονων μηχανών.

Στις τετράχρονες μηχανές η απόπλυση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια πραγματοποιείται με την κίνηση του εμβόλου, ενώ οι φάσεις της εισαγωγής και της εξαγωγής είναι εντελώς διακριτές μεταξύ τους. Έτσι οι τετράχρονες μηχανές μπορούν να λειτουργήσουν και με μεγαλύτερη πίεση εξόδου από αυτή της εισόδου. Αυτό όμως είναι ανεπιθύμητο για τους ακόλουθους λόγους:

Πρώτον, η μεγάλη πίεση που συναντά το έμβολο για να εξωθήσει τα καυσαέρια από τον κύλινδρο αυξάνει το αρνητικό έργο του κύκλου, μειώνοντας την ισχύ και το βαθμό αποδόσεως της μηχανής.

Δεύτερον, είναι ότι με μεγάλη πίεση εξόδου η απόπλυση πραγματοποιείται ατελώς, με αποτέλεσμα κάποιο μέρος των καυσαερίων να παραμένει στον κύλινδρο και να μειώνεται η ποσότητα του εισερχόμενου αέρα.

Τέλος, κατά τη διάρκεια της επικάλυψης των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής στην ανοικτή θέση, ένα τμήμα των καυσαερίων είναι δυνατόν να εισέλθει στον αγωγό εισαγωγής, αυξάνοντας υπερβολικά τις επικαθήσεις εξανθρακωμάτων. Αντιθέτως, η ύπαρξη θετικής διαφοράς πίεσεως μεταξύ εισαγωγής και εξαγωγής (μεγαλύτερη πίεση εισαγωγής από την πίεση στο συλλέκτη καυσαερίων) έχει ιδιαίτερα θετική επίδραση στην απόπλυση των κυλίνδρων, ειδικά όταν υπάρχει επικάλυψη στο άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Το μεγάλο διάστημα επικάλυψης στο άνοιγμα βελτιώνει σημαντικά την απόπλυση, αλλά μειώνει επίσης και το εύρος της περιοχής στροφών στο οποίο η μηχανή λειτουργεί με τη μέγιστη απόδοσή της. Έτσι είναι επιθυμητό για μηχανές που λειτουργούν σε σταθερό αριθμό στροφών ηλεκτρομηχανές, αλλά όχι και για μηχανές που πρέπει να έχουν καλή απόδοση σε μεγάλο εύρος και συχνές εναλλαγές στροφών (κινητήριες μηχανές πλοίων).

Κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε μερικό φορτίο μειώνεται σημαντικά η θερμοκρασία των καυσαερίων, οπότε αντίστοιχα μειώνεται και η διαθέσιμη ενέργεια τους. Ως αποτέλεσμα, μειώνεται η ενέργεια που μπορεί να απορροφήσει ο στρόβιλος. Αυτό εντείνεται και από το γεγονός ότι στα μερικά φορτία ο στρόβιλος λειτουργεί εκτός του σημείου σχεδίασεως, οπότε λειτουργεί λιγότερα αποδοτικά. Έτσι τελικά στο συμπιεστή φθάνει, πολύ λιγότερη ισχύς, με συνέπεια η

αύξηση της πίεσεως που επιτυγχάνει να είναι πολύ μικρότερη από αυτή στο μέγιστο φορτίο της μηχανής.Επομένως στα μερικά φορτία είναι δυνατόν η πίεση εξόδου να είναι μεγαλύτερη της πίεσεως εισόδου, οπότε εμφανίζονται τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν.Για το λόγο αυτό το σύστημα σταθερής πίεσεως δεν ενδείκνυται για την περίπτωση τετράχρονων μηχανών που λειτουργούν για μεγάλα διαστήματα σε μερικά φορτία.

## **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος σταθερής πίεσεως**

Τα κυριότερα **πλεονεκτήματα** του συστήματος σταθερής πίεσεως είναι τα ακόλουθα:

- Είναι σύστημα ιδιαίτερα αποδοτικό για λειτουργία σε υψηλές πιέσεις(και μεγάλα φορτία)
- Εμφανίζει απλότητα στη σχεδίαση και κατασκευή της διατάξεως των αγωγών
- Επιτρέπει λειτουργία του στροβίλου με υψηλό βαθμό αποδόσεως, λόγω της σταθερότητας των συνθηκών ροής των καυσαερίων
- Δεν εμφανίζει προβλήματα λόγω αλληλεπιδράσεως των παλμών
- Επειδή η ροή στα πτερύγια του στροβίλου είναι χρονικά μόνιμη και περιφερειακά ομοιόμορφη, δεν εμφανίζονται προβλήματα ταλαντώσεων στα πτερύγια του στροβίλου και καμπτικής φορτίσεως των τριβέων ( σε αντίθεση με το σύστημα παλμικής ροής).
- Με την υιοθέτηση του κεντρικού συλλέκτη καυσαερίων καταργήθηκε η ανάγκη χρήσεως της προβληματικής ανεπίστροφης βαλβίδας καυσαερίων
- Μειώνει την ειδική κατανάλωση καυσίμου της μηχανής σε σχέση με το σύστημα παλμών (κατά περίπου 5 %).

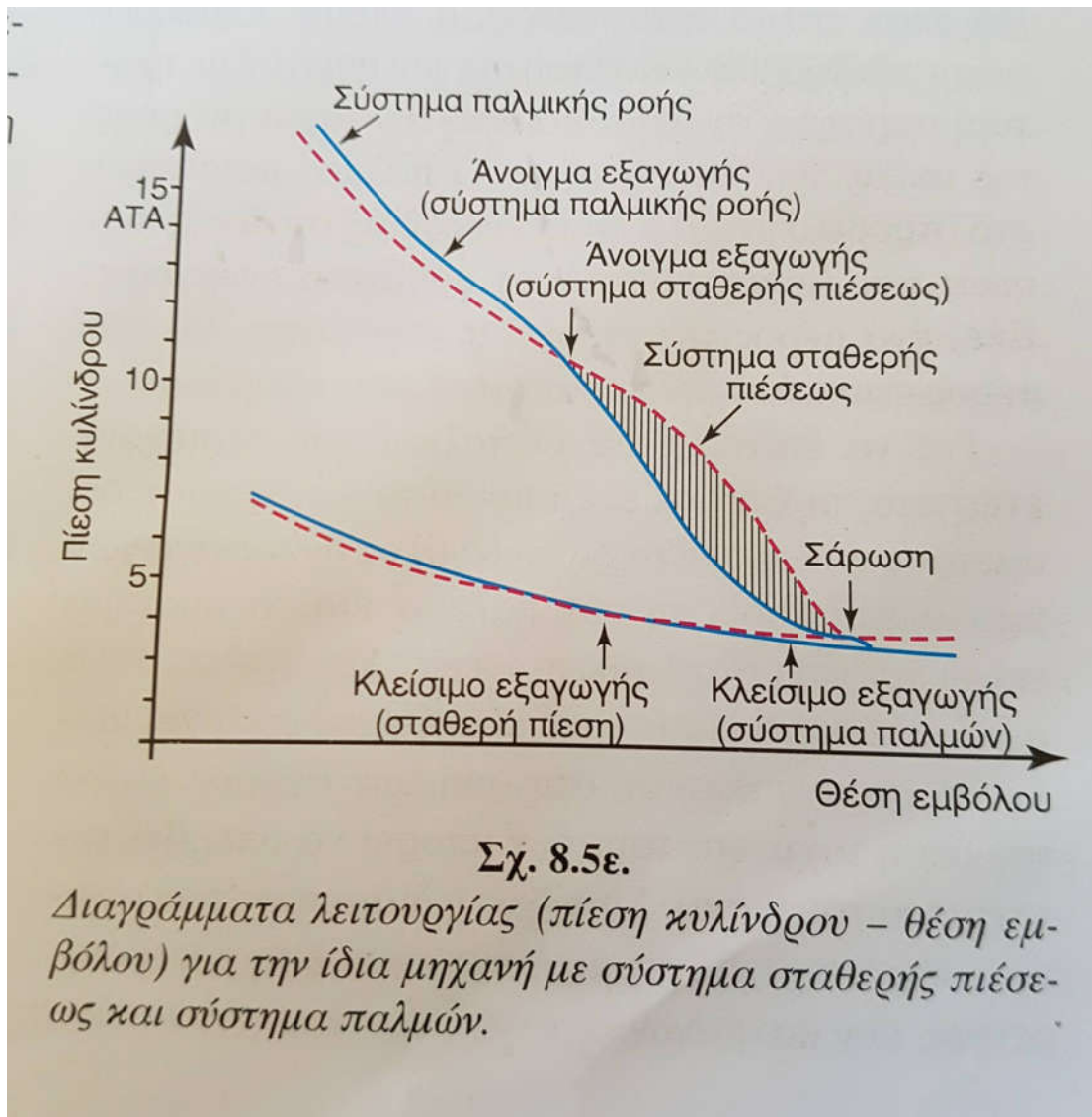
Τα κυριότερα **μειονεκτήματα** του συστήματος είναι τα ακόλουθα :



- Λόγω του μεγάλου όγκου του συλλέκτη καυσαερίων εμφανίζεται υστέρηση της αποκρίσεως του στροβιλοϋπερπληρωτή στη γρήγορη αλλαγή του φορτίου του κινητήρα.
- Το σύστημα έχει μειωμένη απόδοση σε χαμηλά φορτία (μέχρι 50% του μέγιστου) όπου χρειάζεται υποβοήθηση με ηλεκτροκίνητο φυσητήρα για την επιτάχυνση της μηχανής ή χρήση των εμβόλων για υποβοήθηση της συμπίεσεως.
- Απαιτεί την ύπαρξη στροβιλοϋπερπληρωτή με μεγάλο βαθμό αποδόσεως για τη σύνδεση σε δίχρονους κινητήρες. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει πρόβλημα με τη σάρωση του κινητήρα.

Έτσι το σύστημα, στην περίπτωση των δίχρονων μηχανών, είναι ευαίσθητο στις επικαθήσεις στα πτερύγια και τη ρύπανση των φίλτρων, λόγω της μείωσης στο βαθμό αποδόσεως που προκαλούν.

Το σύστημα αυτό οδήγησε στην αύξηση του μήκους του εμβόλου (ποδιάς) ώστε να μην οδηγούνται τα καυσαέρια στο κιβώτιο σαρώσεως κατά την άνοδο του εμβόλου. Το σύστημα σταθερής πίεσεως δίνει τελικά μικρότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου, για αυτό χρησιμοποιείται τελευταία εκτός από τις δίχρονες, και σε τετράχρονες μηχανές εφόσον ο σχετός σταθερής πίεσεως μπορεί (λόγω όγκου) να τοποθετηθεί χωρίς μεγάλο κόστος.



Στο σχήμα 8.5<sup>ε</sup> παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα λειτουργίας (πίεση κυλίνδρου – θέση εμβόλου) για την ίδια μηχανή με σύστημα σταθερής πίεσεως και σύστημα παλμικής ροής. Είναι φανερό ότι το σύστημα σταθερής πίεσεως επιτρέπει την παραγωγή περισσότερου έργου από τη μηχανή με αποτέλεσμα τη μείωση της ειδικής καταναλώσεως καυσίμου κατά περίπου 5 % για τη συγκεκριμένη μηχανή.

## Κεφάλαιο 3

### ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΛΜΙΚΗΣ ΡΟΗΣ (PULSE PRESSURE TURBOCHARGING)

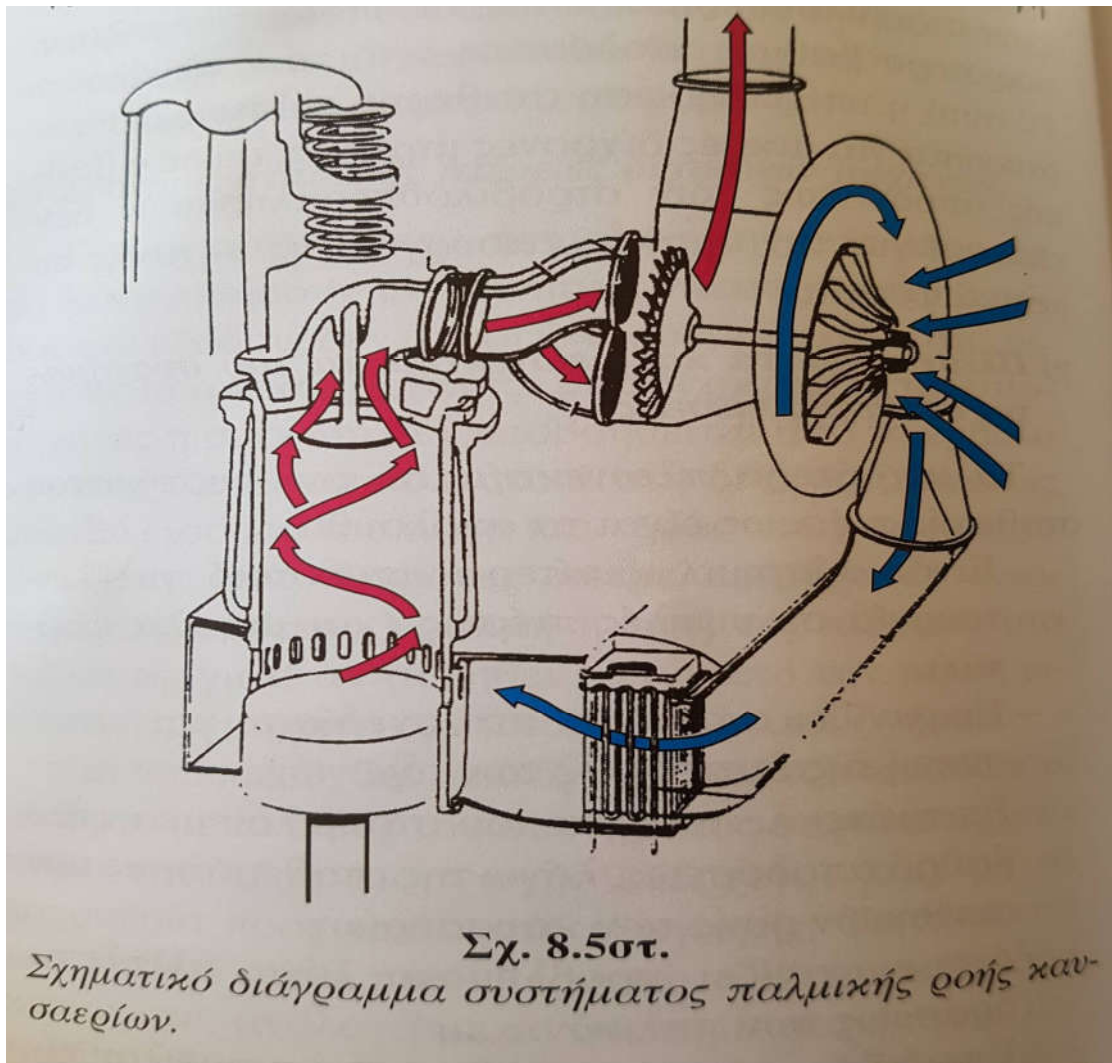
Το σύστημα παλμικής ροής ή σύστημα παλμών αναπτύχθηκε, όπως ήδη έχει αναφερθεί, τη δεκαετία του 1930 από τον Buchi (στις τετράχρονες μηχανές)

Και έδωσε μεγάλη ώθηση στη χρήση της στροβιλοϋπερπληρώσεως, επιτρέποντας τη χρήση στροβιλοϋπερπληρωτών με χαμηλό βαθμό αποδόσεως. Χρησιμοποιείται κυρίως σε τετράχρονες μηχανές και περιορισμένα σε δίχρονες μηχανές με βαλβίδες εξαγωγής. Στις δίχρονες μηχανές με θυρίδες εξαγωγής χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με ανεπίστροφη βαλβίδα στον οχετό εξαγωγής. Η λύση αυτή λόγω των αυξημένων προβλημάτων που παρουσίαζε έχει εγκαταλειφθεί.

Στις μηχανές αντιθέτων εμβόλων (Doxford) το σύστημα καυσαερίων ήταν παλμικής ροής ενώ χρησιμοποιούνταν συμπύεση του αέρα κάτω από τα έμβολα για να υποβοηθηθεί ο στροβιλοϋπερπληρωτής. Το άνω έμβολο άνοιγε κατά 8-12 γωνίας στροφάλου νωρίτερα τις θυρίδες εξαγωγής πριν το άνοιγμα των θυρίδων εισαγωγής από το κάτω έμβολο. Το σύστημα χρησιμοποιούνταν σε συνδυασμό με ανεπίστροφη βαλβίδα στον οχετό καυσαερίων.

Στο σύστημα παλμικής ροής στενοί αγωγοί συνδέουν τις βαλβίδες εξαγωγής με το στρόβιλο. Η διαφορά πίεσεως μεταξύ των δύο πλευρών της βαλβίδας τη στιγμή που ανοίγει, δημιουργεί έναν παλμό εκτονώσεως, ο οποίος ταξιδεύει μέχρι το στρόβιλο εντός του στενού αγωγού με ηχητική ταχύτητα, ανεξάρτητα από την ταχύτητα ροής της μάζας των καυσαερίων. Ο παλμός μεταφέρει στο στρόβιλο μεγάλο ποσό ενέργειας στατικής πίεσεως και μικρότερο ποσό κινητικής ενέργειας. Εκεί ένα μέρος της ενέργειας ανακλάται και ένα μέρος προκαλεί την περιστροφή του στροβίλου.

Για να διατηρηθούν οι παλμοί που περιέχουν ενέργεια, πρέπει να είναι μικρό το μήκος και η διάμετρος των αγωγών, διότι μεγάλος όγκος αγωγών προκαλεί απόσβεση των παλμών και το σύστημα τείνει να γίνει σταθερής πίεσεως. Δεν πρέπει όμως η διάμετρος να είναι πολύ μικρή γιατί υπάρχει κίνδυνος στραγγαλισμού στη ροή των αερίων. Συνήθως η διάμετρος των αγωγών στις τετράχρονες μηχανές είναι όση και η διάμετρος των βαλβίδων.

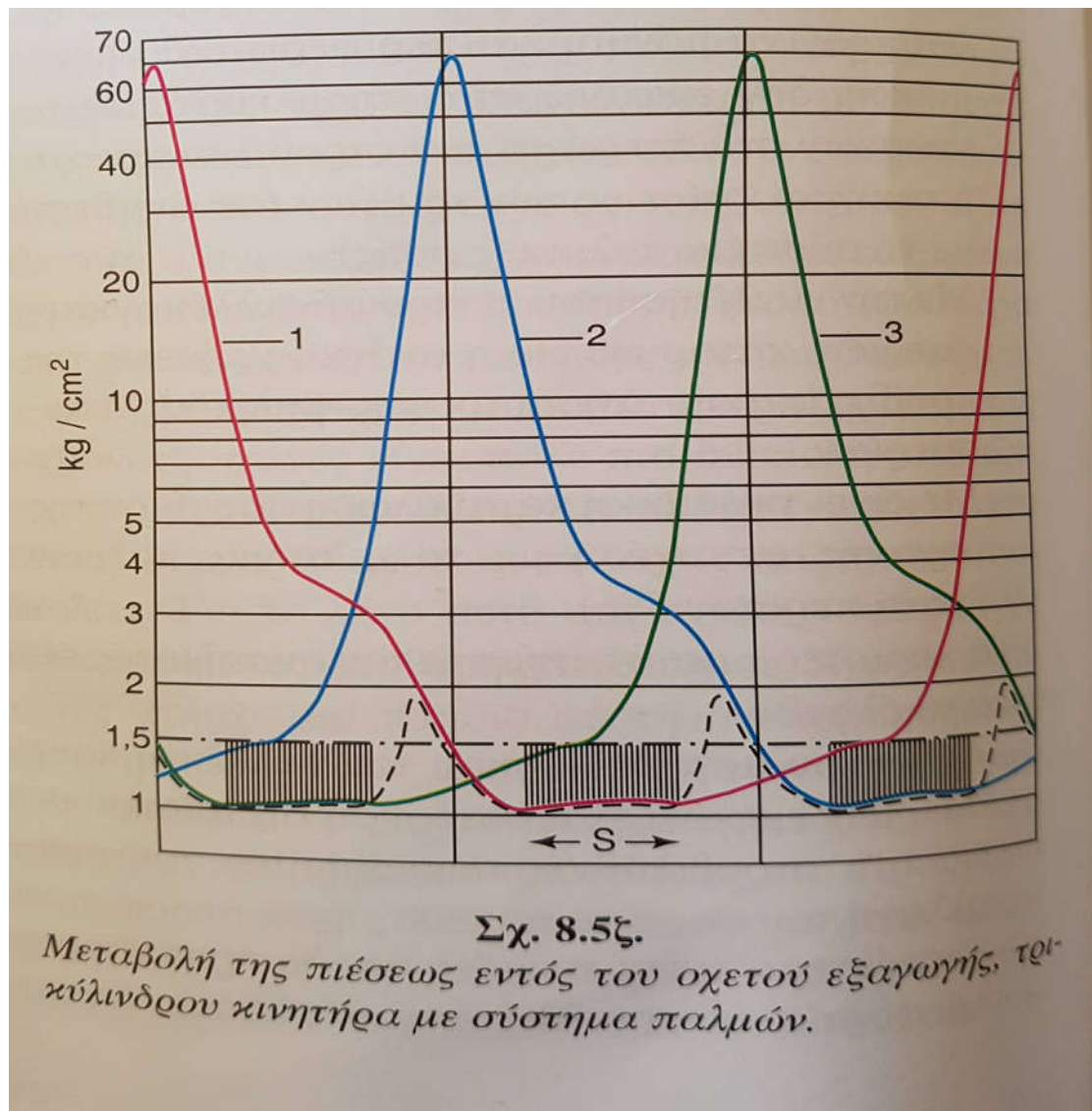


Στο σύστημα παλμικής ροής ο στρόβιλος δέχεται μεταβαλλόμενη χρονικά πίεση καυσαερίων. Οι χρονικές μεταβολές στην πίεση των καυσαερίων μπορούν να μειωθούν με κατάλληλη σύνδεση αγωγών περισσότερων κυλίνδρων, ώστε οι παλμοί να έχουν αλληλοεπικάλυψη. Η αλληλοεπικάλυψη μπορεί όμως να δημιουργήσει προβλήματα ανακλάσεως των παλμών. Για το λόγο αυτό το βέλτιστο αποτέλεσμα εμφανίζεται όταν συνδεθούν μέχρι τρεις κύλινδροι στον ίδιο οχετό εξαγωγής στις τετράχρονες μηχανές μεταχρονισμένοι κατά  $240^\circ$  και στις δίχρονες κατά  $120^\circ$ .

Έτσι αποφεύγεται το ανεπιθύμητο φαινόμενο της επιστροφής των καυσαερίων μέσα στον κύλινδρο, λόγω ανακλάσεως των παλμών στο στρόβιλο και δημιουργίας κύματος καυσαερίων με μεγαλύτερης πίεσεως και αντιθέτου ροής.

Η σύνδεση πολλών κυλίνδρων στον ίδιο οχετό επιτρέπει επίσης την αύξηση της διατομής του οχετού πριν το στρόβιλο με θετικό αποτέλεσμα στην απόδοσή του.

Οι ομάδες των αγωγών εξαγωγής πρέπει να εξασφαλίζουν ομοιομορφία ροής στα εξαγωγές σε σχέση με τη σειρά αναφλέξεως, η οποία πρέπει να δίνει καλή ζυγοστάθμιση, ομοιομορφία ροπής στρέψεως και ομοιόμορφη φόρτιση των εδράνων του στροβιλοϋπερπληρωτή.



## Πλεονεκτήματα του συστήματος παλμικής ροής

Τα καυσαέρια έχουν μεγάλη ενέργεια από το πρόωρο άνοιγμα των βαλβίδων, οπότε και στα χαμηλά φορτία ο στροβιλοϋπερπληρωτής περιστρέφεται με πολλές στροφές, παρέχοντας υψηλή πίεση, χωρίς να απαιτείται βοηθητικός συμπιεστής. Έτσι το σύστημα εμφανίζει ικανοποιητική λειτουργία σε μεγάλο φάσμα στροφών.

- Δεν απαιτείται μεγάλος βαθμός αποδόσεως του στροβιλοϋπερπληρωτή για τη λειτουργία του συστήματος
- Λόγω της ανεξαρτησίας της λειτουργίας από το βαθμό αποδόσεως , η ρύπανση των πτερυγίων του στροβίλου από επικαθήσεις επηρεάζει ελάχιστα τη λειτουργία του συστήματος
- Ο στροβιλοϋπερπληρωτής εμφανίζει πολύ γρήγορη απόκριση στις αλλαγές του φορτίου , λόγω της ηχητικής ταχύτητας μεταδόσεως των κυμάτων πίεσεως στους αγωγούς του συστήματος.

## **Μειονεκτήματα του συστήματος παλμικής ροής**

- Η διάταξη των οχετών εξαγωγής των καυσαερίων είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη.
- Το σύστημα είναι ακατάλληλο για πολύ υψηλές πιέσεις υπερπληρώσεως
- Λόγω της μερικής διαβροχής των πτερυγίων του στροβίλου από τα καυσαέρια και της μη μόνιμης ροής, απαιτείται μεγαλύτερο μέγεθος στροβίλου, ενώ ο στροβίλος λειτουργεί με κακό βαθμό αποδόσεως και τα πτερύγια καταπονούνται από ταλαντώσεις
- Εμφανίζεται απώλεια έργου από το πρόωρο άνοιγμα των βαλβίδων εξαγωγής
- Όταν οι κύλινδροι δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν ανά τρεις, δυσχεραίνεται η απόπλυση του κινητήρα, πέφτει ο βαθμός αποδόσεως του στροβίλου, καθώς και ο βαθμός ανακτήσεως της ενέργειας των καυσαερίων
- Εμφανίζεται αυξημένη διάβρωση στο σύστημα εξαγωγής στις περιπτώσεις χρήσεως βαρέων πετρελαίων.
- Προκαλείται αύξηση της ειδικής καταναλώσεως της μηχανής .
- Εμφανίζονται συχνότερα βλάβες στη βαλβίδα εξαγωγής, λόγω υψηλής θερμοκρασίας των καυσαερίων
- Προκαλούνται ταλαντώσεις στα πτερύγια του στροβίλου λόγω της ανομοιόμορφης διαβροχής τους και της χρονικά μεταβαλλόμενης ροής.
- Εμφανίζονται ροπές κάμψεως στα έδρανα του στροβιλοσυμπιεστή και δυσμενής φόρτισή τους λόγω της ανομοιόμορφης διαβροχής των πτερυγίων του στροβίλου

Αριθμός κυλίνδρων	Σειρά αναφλέξεως	
4	1-3-4-2	
5	1-2-4-5-3	
6	1-5-3-6-2-4	
7	1-3-5-7-6-5-4	
8	1-6-2-4-8-3-7-5 1-5-7-3-8-4-2-6 1-3-2-5-8-6-7-4	
8V	4 2 1 3 Λ 1 3 4 2	
12V	6 2 4 1 5 3 Λ 1 5 3 6 2 4	
16V	8 4 2 6 1 5 7 3 Λ 1 5 7 3 8 4 2 6	

Σχ. 8.5η.

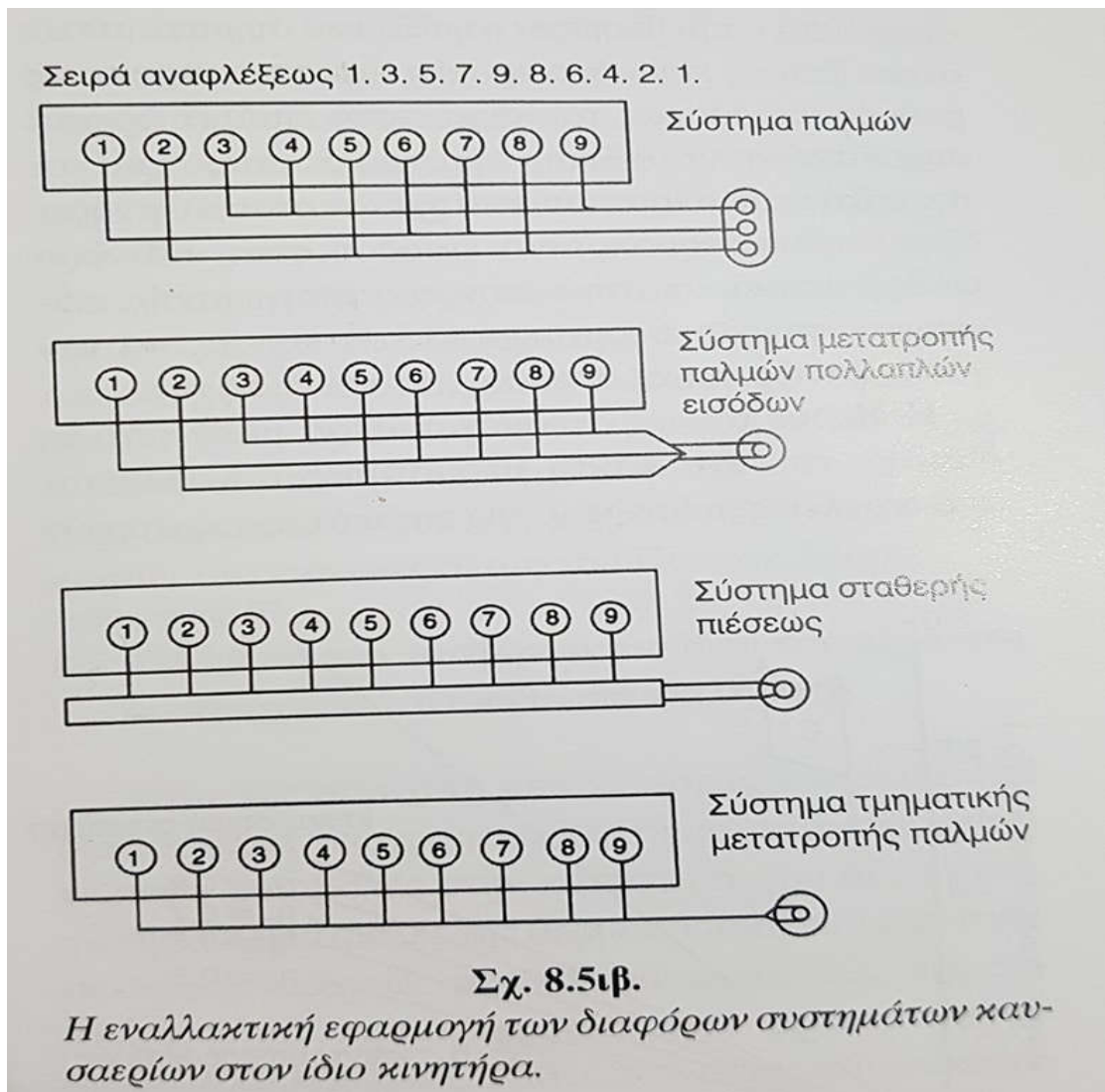
Δυνατότητες συνδέσεως εξαγωγών πολυκυλίνδρων μηχανών με σύστημα παλμών.

## Κεφάλαιο 4

### ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα υβριδικά συστήματα αναπτύχθηκαν για να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα των δύο συστημάτων σταθερής πίεσεως και παλμών αντίστοιχα. Στο σύστημα μετατροπής παλμών (pulseconverter) οι αγωγοί από τους κυλίνδρους της μηχανής καταλήγουν σε κοινό αγωγό και μετά οδηγούνται στο στρόβιλο του υπερπληρωτή. Η λειτουργία του στρόβιλου είναι και εδώ χρονικά μεταβαλλόμενη αλλά αποφεύγονται τα μειονεκτήματα της μερικής και ανομοιόμορφης διαβροχής του στρόβιλου από τα καυσαέρια διαφορετικών κυλίνδρων. Τα σημεία συνδέσεως των αγωγών σχεδιάζονται με τρόπο ώστε οι παλμοί να μην διαδίδονται αντίθετα σε γειτονικούς αγωγούς. Αυτό επιτυγχάνεται με μείωση της διατομής των αγωγών στο σημείο συνδέσεως. Η μείωση της διατομής επιταχύνει τη ροή και μειώνει την πίεση, οπότε μειώνεται ο κίνδυνος αντίθετης κινήσεως των παλμών σε γειτονικούς αγωγούς.





Το σύστημα τοποθετείται σε μεσόστροφες πετρελαιομηχανές με 4 , 8 ή 16 κυλίνδρους, αριθμοί που είναι ακατάλληλοι για εφαρμογή καθαρού συστήματος παλμών. Στους κινητήρες με 8 κυλίνδρους, οι κύλινδροι ανά τέσσερις καταλήγουν σε δύο κύριους αγωγούς, οι οποίοι στη συνέχεια σε κοινό στρόβιλο. Σε κινητήρα με 16 κυλίνδρους οι αγωγοί, με αντίστοιχο τρόπο καταλήγουν σε δύο διαφορετικούς στρόβιλους.

Το συγκεκριμένο σύστημα μειώνει την καταπόνηση των πτερυγίων του στρόβιλου, ενώ είναι απλούστερο κατασκευαστικά και σχεδιαστικά σε με το σύστημα παλμών. Όμως έχει μικρή απόδοση σε χαμηλά φορτία και είναι κατάλληλο για μηχανές με συγκεκριμένο αριθμό κυλίνδρων. Σε σχέση με το σύστημα σταθερής πίεσεως εμφανίζει πολύ μικρότερο όγκο αγωγών.

Στο σύστημα τμηματικής μετατροπής παλμών (modularpulseconverter) όλοι οι αγωγοί εξόδου των κυλίνδρων ενώνονται σε κοινό αγωγό, με πολύ μικρότερο όμως μέγεθος από το συλλέκτη του συστήματος σταθερής πίεσεως. Το σύστημα αυτό είναι πιο κοντά στο σύστημα σταθερής από το προηγούμενο. Η πίεση εξόδου διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα με επιτάχυνση των καυσαερίων στους στενούς αγωγού

## **Επίλογος - Συμπεράσματα**

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάστηκαν τα συστήματα εξαγωγής καυσαερίων που χρησιμοποιούνται. Συγκεκριμένα τα συστήματα αυτά ήταν το σύστημα σταθερής πίεσεως, το σύστημα παλμικής ροής και τα υβριδικά συστήματα.

Συμπεραίνουμε ότι για να εκμεταλλευτεί την ενέργεια των καυσαερίων μια τετράχρονη πετρελαιομηχανή θα πρέπει να χρησιμοποιήσει το κατάλληλο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων. Συνήθως στις τετράχρονες πετρελαιομηχανές ναυτικού τύπου χρησιμοποιείται το σύστημα παλμικής ροής. Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιείται συνηθέστερα είναι ότι λειτουργεί αποδοτικά και στα χαμηλά φορτία της μηχανής.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί το τελευταίο και παράλληλα το πιο δημιουργικό στάδιο της φοίτησης μου στη σχολή Μηχανικών της Ακαδημίας Εμπορικού Ναυτικού. Η πορεία μου στη σχολή φτάνει στο τέλος της έχοντας αποκομίσει μέσα από αυτή πλήθος γνώσεων και εμπειριών οι οποίες θα με καθοδηγούν για τα υπόλοιπα χρόνια. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κ. Σάαντ Φαντί για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την πτυχιακή εργασία δίνοντας μου έτσι την αφορμή να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο πτυχιακής.

## Βιβλιογραφία

- 1) ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ Β' (Κλιάνης Λ.- Νικολός Ι.- Σιδέρης Ι. 2003)
- 2) <http://marineengineeringonline.com/tag/advantages-and-disadvantages-for-constant-pressure-system/>
- 3) [http://www.ccsnpower.com/en/News/Lectures\\_on\\_Power\\_Generators/2013/0424/379.html](http://www.ccsnpower.com/en/News/Lectures_on_Power_Generators/2013/0424/379.html)
- 4) [http://www.readorrefer.in/article/Turbo-Chargers\\_6306/](http://www.readorrefer.in/article/Turbo-Chargers_6306/)
- 5) [https://en.wikipedia.org/wiki/Exhaust\\_pulse\\_pressure\\_charging](https://en.wikipedia.org/wiki/Exhaust_pulse_pressure_charging)
- 6) <http://marineengineeringonline.com/tag/pulse-system-of-turbocharging/>
- 7) [http://www.ccsnpower.com/en/News/Lectures\\_on\\_Power\\_Generators/2013/0403/362.html](http://www.ccsnpower.com/en/News/Lectures_on_Power_Generators/2013/0403/362.html)

## Κατάλογος σχημάτων

- Σχήμα 8.5.α :Διάγραμμα P-Vμεικτού ιδανικού πρότυπου κύκλου αέρα τετράχρονης μηχανής χωρίς υπερπλήρωση.....σελ:10
- Σχήμα 8.5.β : Διάγραμμα P-V ιδανικού πρότυπου μεικτού κύκλου αέρα τετράχρονης υπερπληρούμενης μηχανής.....σελ:10
- Σχήμα 8.5.γ :Σύστημα υπερπληρώσεως σταθερής πίεσεως , σε συνδυασμό με ευθύγραμμη σάρωση κυλίνδρου με βαλβίδα εξαγωγής , σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή.....σελ:13
- Σχήμα 8.5.δ : Σύστημα σταθερής πίεσεως..... σελ:14
- Σχήμα 8.ιγ :Απεικόνιση συστήματος σταθερής πίεσεως.....σελ:14
- Σχήμα 8.5.ε: Διαγράμματα λειτουργίας (πίεση κυλίνδρου – θέση εμβόλου ) για την ίδια μηχανή με σύστημα σταθερής πίεσεως και σύστημα παλμών.....σελ:18
- Σχήμα 8.5.στ:Σχηματικό διάγραμμα συστήματος παλμικής ροής καυσαερίων.. σελ:20
- Σχήμα 8.5.ζ : Μεταβολή της πίεσεως εντός του οχετού εξαγωγής τρικύλινδρου κινητήρα με σύστημα παλμών.....σελ: 21
- Σχήμα 8.5.η : Δυνατότητες συνδέσεως εξαγωγών πολυκυλίνδρων μηχανών με σύστημα παλμών.....σελ: 24
- Σχήμα 8.5.ιβ : Η εναλλακτική εφαρμογή των διαφόρων συστημάτων καυσαερίων στον ίδιο κινητήρα.....σελ: 25

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	σελ:3
Abstract.....	σελ:4
Πρόλογος.....	σελ:5
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup>	
Εισαγωγή στα συστήματα καυσαερίων.....	σελ:7
Θεωρητικοί κύκλοι με παρουσία υπερπληρώσεως.....	σελ: 8
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup>	
Σύστημα σταθερής πίεσεως.....	σελ: 11
Σύστημα σταθερής πίεσεως τετράχρονων μηχανών.....	σελ: 15
Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα του συστήματος σταθερής πίεσεως....	σελ: 16
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup>	
Σύστημα παλμικής ροής.....	σελ: 19
Πλεονεκτήματα του συστήματος παλμικής ροής .....	σελ: 22
Μειονεκτήματα του συστήματος παλμικής ροής .....	σελ: 23
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup>	
Υβριδικά συστήματα .....	σελ: 25
Επίλογος- Συμπεράσματα .....	σελ: 28
Βιβλιογραφία .....	σελ: 29
Κατάλογος σχημάτων.....	σελ: 30