



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΛΙΚΑΣ ΣΤΗ  
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΙΧΡΟΝΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL**

ΜΑΓΚΟΣ Ν. ΧΡΗΣΤΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. ΧΟΥΝΤΑΛΑΣ  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2012





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΛΙΚΑΣ ΣΤΗ  
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΙΧΡΟΝΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL**

**ΜΑΓΚΟΣ Ν. ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. ΧΟΥΝΤΑΛΑΣ  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, καθηγητής Ε.Μ.Π.**

**ΑΘΗΝΑ 2012**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛΙΔΑ
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Πρόλογος.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Εισαγωγή.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Γενικές Αρχές Λειτουργίας και Διαμόρφωση των Εμβολοφόρων ΜΕΚ.....	11
3.1 Εισαγωγή.....	11
3.2 Εξωτερική Λειτουργία.....	12
3.3 Εσωτερική Λειτουργία.....	13
3.4 Ρύθμιση Ισχύος Κινητήρων Otto.....	14
3.5 Ρύθμιση Ισχύος Κινητήρων Diesel.....	15
3.6 Βοηθητικές Λειτουργίες των Εμβολοφόρων ΜΕΚ.....	16
3.7 Υπερπλήρωση των Εμβολοφόρων ΜΕΚ.....	16
3.8 Κατάταξη-Σύγκριση-Εφαρμογές των Εμβολοφόρων ΜΕΚ.....	17
3.9 Δίχρονοι Ναυτικοί Κινητήρες Diesel.....	18
3.10 Περιγραφή του Δίχρονου Κινητήρα Diesel που Χρησιμοποιείται στη Διερεύνηση.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Βασικές Αρχές Πρόωσης Πλοίων.....	21
4.1 Περιγραφή Μορφών Γάστρας.....	21
4.2 Αντίσταση Πλοίου.....	21
4.3 Τύποι Ελίκων.....	24
4.4 Συνθήκες Ροής Γύρω από την Έλικα.....	24
4.5 Βαθμοί Απόδοσης.....	26
4.6 Διαστάσεις της Έλικας.....	28
4.7 Ολίσθηση.....	29
4.8 Ο Νόμος της Έλικας.....	30
4.9 Πρόωση και Σημεία Λειτουργίας της Μηχανής.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Περιγραφή του Διαγνωστικού Λογισμικού EDS-V.....	35
5.1 Εισαγωγή.....	35
5.2 Επιλογή 'Engine_Trials'.....	37
5.3 Επιλογή 'Simulator'.....	40
5.4 Επιλογή 'Fuel'.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Έλεγχος Προβλεπτικής Ικανότητας του Προσομοιωτή του Λογισμικού EDS-V.....	45
6.1 Προσομοίωση Shop Test.....	45
6.2 Σύγκριση Προσομοίωσης με Shop Test.....	46

6.2.1 Θέση Κανόνα Αντλίας Καυσίμου.....	46
6.2.2 Κατανάλωση Καυσίμου.....	48
6.2.3 Καμπύλη Λειτουργίας.....	51
6.2.4 Μέγιστη Πίεση Καύσης.....	51
6.2.5 Συνθήκες Αέρα Σαρώσεως.....	53
6.2.6 Ψυγεία Αέρα Σαρώσεως.....	56
6.2.7 Φίλτρο Αέρα.....	58
6.2.8 Συνθήκες Καυσαερίων.....	60
6.2.9 Σύστημα Υπερπλήρωσης.....	65
6.3 Συμπεράσματα Προβλεπτικής Ικανότητας του Προσομοιωτή EDS-V.....	69

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Προσομοίωση Λειτουργίας Ναυτικού Κινητήρα για Διάφορες Τιμές Ολίσθησης της Έλικας.....71**

7.1 Υπολογισμοί.....	71
7.2 Προσομοίωση της Λειτουργίας του Κινητήρα για Διάφορες Τιμές Ολίσθησης της Έλικας.....	74
7.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης.....	75
7.3.1 Προσομοίωση Κατανάλωσης Καυσίμου.....	76
7.3.2 Προσομοίωση Καμπύλης Λειτουργίας.....	80
7.3.3 Προσομοίωση Μέγιστης Πίεσης Καύσης.....	81
7.3.4 Προσομοίωση Συνθηκών Αέρα Σαρώσεως.....	83
7.3.5 Προσομοίωση Παραμέτρων που Σχετίζονται με τα Ψυγεία Αέρα Σαρώσεως.....	87
7.3.6 Προσομοίωση Παραμέτρων που Σχετίζονται με το Φίλτρο Αέρα.....	91
7.3.7 Προσομοίωση Παροχής Αέρα/Καυσαερίων.....	93
7.3.8 Προσομοίωση Συνθηκών Καυσαερίων.....	97
7.3.9 Προσομοίωση Παραμέτρων που Σχετίζονται με το Σύστημα Υπερπλήρωσης.....	103
7.4 Γενικά Συμπεράσματα Προσομοίωσης για την Επίδραση της Ολίσθησης στη Λειτουργική Συμπεριφορά του Κινητήρα.....	108

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Προσομοίωση Λειτουργίας Κινητήρα Συναρτήσεως της Ολίσθησης της Έλικας-Απεικόνιση Αποτελεσμάτων Συναρτήσεως της Ολίσθησης.....110**

8.1 Προσομοίωση Συναρτήσεως της Ολίσθησης.....	110
8.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Συναρτήσεως της Ολίσθησης.....	110
8.2.1 Απεικόνιση Κατανάλωσης Καυσίμου.....	111
8.2.2 Απεικόνιση Καμπύλης Λειτουργίας.....	113
8.2.3 Απεικόνιση Μέγιστης Πίεσης Καύσης.....	114
8.2.4 Απεικόνιση Συνθηκών Αέρα Σαρώσεως.....	115

8.2.5 Απεικόνιση Παραμέτρων που Σχετίζονται με τα Ψυγεία Αέρα Σαρώσεως.....	117
8.2.6 Απεικόνιση Παραμέτρων που Σχετίζονται με το Φίλτρο Αέρα.....	119
8.2.7 Απεικόνιση Παροχής Αέρα/Καυσαερίων.....	120
8.2.8 Απεικόνιση Συνθηκών Καυσαερίων.....	122
8.2.9 Απεικόνιση Παραμέτρων που Σχετίζονται με το Σύστημα Υπερπλήρωσης.....	125
8.3 Συμπεράσματα Προσομοίωσης Συναρτήσεως της Ολίσθησης.....	127
<b>ΚΕΦΑΚΑΙΟ 9 Συμπεράσματα.....</b>	<b>129</b>

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. 'Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.' Κ.Δ. Ρακόπουλος
2. 'Μ.Ε.Κ. ΙΙ' Κ.Δ. Ρακόπουλος
3. 'Εναλλαγή Αερίων και Υπερπλήρωση Μ.Ε.Κ.' Κ.Δ. Ρακόπουλος, Ε.Γ. Γιακουμής
4. 'Καύση-Ρύπανση Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.' Κ.Δ. Ρακόπουλος, Δ.Θ. Χουντάλας
5. 'Basic Principles of Ship Propulsion' MAN B&W
6. 'Using a Ship's Propeller for Hull Condition Monitoring' K.P. Logan
7. 'Camshaft Controlled Two-Stroke Engines' MAN B&W
8. 'MC(MC-C) Engines Operation and Data' MITSUI-MAN B&W
9. 'Propeller Handbook' Dave Gerr
10. 'Ship Design and Performance for Masters and Mates' Dr C.B. Barrass
11. 'Pythia-V/EDS-V Diagnostic System: User Manual' D.T. Hountalas





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Πρόλογος

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης που έχει η ολίσθηση της έλικας του πλοίου στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα του. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν διαγράμματα στα οποία θα φαίνεται η επίδραση που έχει η ολίσθηση, για διάφορες τιμές αυτής εντός λογικών ορίων που απατώνται στην πράξη, σε σημαντικά μεγέθη του κινητήρα, όπως είναι η ισχύς του κινητήρα, η ειδική κατανάλωση καυσίμου κ.α.

Αυτό θα γίνει εφικτό μέσω του προγράμματος EDS-V που έχει αναπτυχθεί από τον κ. Χουντάλα Δημήτριο, καθηγητή του Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, και αφού πρώτα ελεγχθεί η αξιοπιστία του προγράμματος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που μας παρέχει με τις μετρήσεις που υπάρχουν από την εταιρία κατασκευής του κινητήρα. Αφού διαπιστώθηκε ότι το πρόγραμμα παρέχει ακριβή αποτελέσματα, έγινε η προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα του πλοίου για διάφορες τιμές της ολίσθησης της έλικας του και ακολούθως κατασκευάστηκαν το προαναφερθέντα διαγράμματα.

Κλείνοντας τον πρόλογο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Χουντάλα Δημήτριο, επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς με την καθοδήγησή του, τις υποδείξεις του και τις επεξηγήσεις του, με βοήθησε τα μέγιστα στη διεκπεραίωσή της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους υπόλοιπους διδάσκοντες των μαθημάτων με γνωστικό αντικείμενο τις μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), κ. Ρακόπουλο Κωνσταντίνο, καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, και κ. Γιακουμή Ευάγγελο, επίκουρο καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, καθώς με τη διδασκαλία τους με ώθησαν στον συγκεκριμένο πολύ ενδιαφέροντα τομέα.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο 'Επίδραση της Ολίσθησης της Έλικας στη Λειτουργική Συμπεριφορά Δίχρονου Ναυτικού Κινητήρα Diesel' έχει ως σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της ολίσθησης της έλικας του πλοίου στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα του και αποτελείται από επτά κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στις γενικές αρχές και τη διαμόρφωση των εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ. (Μηχανές Εσωτερικής Καύσης) μιας και ο κινητήρας του πλοίου της παρούσας εργασίας υπάγεται στην κατηγορία αυτή. Οι αρχικές ενότητες ασχολούνται γενικά με τις Μ.Ε.Κ., ενώ οι δύο τελευταίες εμβαθύνουν στους δίχρονους ναυτικούς κινητήρες Diesel.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές αρχές πρόωσης των πλοίων. Αρχικά περιγράφονται οι μορφές γάστρας των πλοίων, η αντίσταση του πλοίου και ακολούθως οι τύποι ελίκων που χρησιμοποιούνται. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις συνθήκες ροής που επικρατούν γύρω από την έλικα. Τέλος ορίζεται η ολίσθηση, που αποτελεί βασικό φαινόμενο στην παρούσα εργασία, και αναλύεται ο νόμος της έλικας που αποτελεί ένα σημαντικό νόμο, με βάση τον οποίο θα γίνουν οι υπολογισμοί μας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του χρησιμοποιούμενου διαγνωστικού λογισμικού EDS-V με το οποίο έγινε η προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα για διάφορες τιμές ολίσθησης της έλικας του πλοίου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο έγινε έλεγχος της προβλεπτικής ικανότητας του προσομοιωτή ώστε να αποδειχθεί ότι το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων του προσομοιωτή με μετρήσεις που υπάρχουν από την εταιρία κατασκευής του κινητήρα.

Αφού αποδείχθηκε ότι το λογισμικό παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα, στο κεφάλαιο πέντε έγινε προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα για διάφορες τιμές της ολίσθησης της έλικας του πλοίου και τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται σε διαγράμματα.

Στο κεφάλαιο έξι δίνονται διαγράμματα που φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται οι διάφορες παράμετροι λειτουργίας του κινητήρα συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου, που είναι ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο κεφάλαιο επτά τέλος, συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## Γενικές Αρχές Λειτουργίας και Διαμόρφωση των Εμβολοφόρων ΜΕΚ

### 3.1 Εισαγωγή

Οι θερμικές μηχανές εκμεταλλεύονται, μέσω της διαδικασίας της καύσης, τη χημική ενέργεια που είναι αποταμιευμένη στα καύσιμα και μετατρέποντάς την σε θερμική ενέργεια μας προσφέρουν μηχανικό έργο.

Διαχωρίζονται σε μηχανές εξωτερικής καύσης και μηχανές εσωτερικής καύσης. Στις πρώτες η θερμότητα που παράγεται από την καύση του αέρα και του καυσίμου μεταφέρεται μέσω μιας επιφάνειας συναλλαγής σε ένα άλλο ρευστό το οποίο αποτελεί το εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή της ισχύος. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) τα προϊόντα της καύσης αποτελούν και το εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή της μηχανικής ισχύος.

Στις ΜΕΚ υπάγονται οι εμβολοφόροι κινητήρες, οι αεριοστρόβιλοι, οι στροβιλοαντιδραστήρες, οι στατοί θερμοαντιδραστήρες και οι πυραυλοκινητήρες. Ως εργαζόμενο μέσο στις ΜΕΚ θεωρούμε τον αέρα και το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την καύση, με εξαίρεση τους πυραυλοκινητήρες που το εργαζόμενο μέσο είναι οι προωθητικές ουσίες.

Η πιο συχνή ΜΕΚ είναι η εμβολοφόρος. Είναι απλής κατασκευής, μπορεί να χρησιμοποιεί εργαζόμενο μέσο που έχει υψηλή θερμοκρασία, που λόγω της κυκλικής αλλαγής θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου τα θερμικώς φορτιζόμενα μέρη του κινητήρα βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτό, και συνδυάζει καλό ολικό βαθμό απόδοσης με υψηλή συγκέντρωση ισχύος. Αυτά τα πλεονεκτήματα κάνουν τις εμβολοφόρες ΜΕΚ να χρησιμοποιούνται σχεδόν κατά αποκλειστικότητα στις μεταφορές (αυτοκίνητα, πλοία, τραίνα, αεροπλάνα χαμηλής ταχύτητας).

Οι ΜΕΚ μας προσφέρουν το ωφέλιμο μηχανικό έργο με την εξής διαδικασία. Ο κινητήρας αναρροφά το εργαζόμενο μέσο (αέρα ή αέρα με καύσιμο) και το συμπιέζει μέχρι μιας ορισμένης πίεσης. Έτσι αυξάνεται η θερμοκρασία του. Ακολούθως προσδίδεται η απαραίτητη θερμική ενέργεια, που προέρχεται από την καύση του καυσίμου, και έτσι αυξάνεται περαιτέρω η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου καθώς επίσης η πίεση ή και ο όγκος του. Μετά ακολουθεί το στάδιο της αποτόνωσης από το οποίο προέρχεται, κατά κύριο λόγο, το κινητήριο έργο, ένα μέρος του οποίου χρησιμοποιείται για την προαναφερθείσα συμπίεση και το υπόλοιπο αποτελεί το ωφέλιμο έργο της μηχανής.

Συμπεραίνουμε επομένως ότι οι βασικές φάσεις λειτουργίας των εμβολοφόρων ΜΕΚ είναι η συμπίεση, η καύση και η αποτόνωση, οι οποίες

τελούνται εντός του ίδιου χώρου που είναι ο κύλινδρος της μηχανής. Τέλος μεγάλη σημασία για τη λειτουργία της μηχανής έχει και η εναλλαγή των αερίων, δηλαδή η διαδικασία κατά την οποία έχουμε την εξαγωγή των καυσαερίων μέσα από τον κύλινδρο μετά το τέλος του κύκλου λειτουργίας καθώς επίσης και η εισαγωγή της νέας γόμωσης (αέρας ή αέρας και καύσιμο) για να πραγματοποιηθεί ο επόμενος κύκλος λειτουργίας.

### 3.2 Εξωτερική Λειτουργία

Ο κινηματικός μηχανισμός στον οποίο βασίζεται η λειτουργία των εμβολοφόρων κινητήρων είναι αυτός του εμβόλου-διωστήρα-στροφάλου, δηλαδή καθώς το έμβολο παλινδρομεί εντός του κυλίνδρου μεταφέρει την ισχύ μέσω του διωστήρα στη στροφαλοφόρο άτρακτο.

Αρα στις παλινδρομικές εμβολοφόρες μηχανές το έμβολο ακινητεί σε δύο θέσεις πριν αρχίσει την ανάστροφη διαδρομή του, το άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ) και το κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ). Η απόσταση μεταξύ του ΑΝΣ και του ΚΝΣ καλείται διαδρομή ή 'χρόνος' της μηχανής και αντιστοιχεί σε μισή περιστροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου ( $180^\circ$ ).

Βασικά μεγέθη για τον εμβολοφόρο κινητήρα είναι ο όγκος εμβολισμού  $V_h$ , δηλαδή ο όγκος του κυλίνδρου που σαρώνεται από το έμβολο κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής, ο επιζήμιος όγκος  $V_c$ , δηλαδή ο όγκος του κυλίνδρου πάνω από την κεφαλή του εμβόλου όταν αυτό βρίσκεται στο ΑΝΣ, και ο βαθμός συμπίεσης  $\epsilon$ , όπου:

$$\epsilon = (V_h + V_c) / V_c \quad (3.1)$$

Τέλος να αναφέρουμε για τον όγκο εμβολισμού ότι:

$$V_h = \pi D^2 s / 4 \quad (3.2)$$

, όπου  $D$  είναι η διάμετρος του εμβόλου και  $s$  η διαδρομή του εμβόλου.

Έτσι λοιπόν μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τους εμβολοφόρους κινητήρες ως προς την εξωτερική τους λειτουργία σε δίχρονους (2-X) και τετράχρονους (4-X).

Οι δίχρονοι κινητήρες ολοκληρώνουν έναν κύκλο λειτουργίας σε  $360^\circ$  ή μια περιστροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου, δηλαδή έχουμε δύο διαδρομές του εμβόλου, από τις οποίες μόνο περίπου το  $2 \times 1/4 = 1/2$  (κοντά στο ΚΝΣ) χρησιμοποιείται για την εναλλαγή των αερίων. Η εναλλαγή ρυθμίζεται από την πάνω ακμή του εμβόλου η οποία καλύπτει ή αποκαλύπτει θυρίδες που βρίσκονται στην παράπλευρη επιφάνεια του κυλίνδρου. Γίνεται εύκολα αντιληπτό επομένως ότι υπάρχει δυσχέρεια στην εκκένωση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια και την πλήρωση του με νέα γόμωση. Έτσι είναι απαραίτητη η χρήση ειδικών αντλιών απόπλυσης ή σάρωσης που ωθούν την νέα γόμωση εντός του κυλίνδρου βίαια, με αποτέλεσμα και να πληρούται ο κύλινδρος αλλά και να εξέρχονται τα καυσαέρια από αυτόν. Βέβαια οι αντλίες αυτές απορροφούν πολύτιμο μηχανικό έργο από την στροφαλοφόρο άτρακτο. Από την άτρακτο αυτή παίρνει κίνηση και η εκκεντροφόρος άτρακτος, με σχέση μετάδοσης ένα προς ένα, η οποία εξυπηρετεί την καύση

(αντλία καυσίμου) αλλά και άλλα βοηθητικά όργανα. Να αναφέρουμε τέλος ότι οι συνηθέστερες διατάξεις απόπλυσης είναι η εγκάρσια, η βρογχοειδής και η διαμήκης, με τη διαμήκη απόπλυση με θυρίδες εισαγωγής και βαλβίδες ή βαλβίδα εξαγωγής να παρουσιάζει την καλύτερη απόπλυση αλλά και μεγαλύτερη πολυπλοκότητα λόγω της ύπαρξης των βαλβίδων.

Στους τετράχρονους κινητήρες ο κύκλος λειτουργίας διαρκεί  $720^\circ$  ή δύο πλήρεις περιστροφές της στροφαλοφόρου ατράκτου, δηλαδή έχουμε τέσσερις διαδρομές του εμβόλου, από τις οποίες η πρώτη και η τέταρτη χρησιμοποιείται για την εναλλαγή των αερίων, έτσι αυτή πραγματοποιείται με σχετική άνεση και κάτω από τον έλεγχο της εκτοπιστικής δράσης του εμβόλου. Η έναρξη της καύσης, η εισαγωγή της νέας γόμωσης καθώς και εξαγωγή των καυσαερίων ρυθμίζεται από τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, οι οποίες κινούνται από την εκκεντροφόρο άτρακτο, η οποία με τη σειρά της παίρνει κίνηση από την στροφαλοφόρο άτρακτο. Η εκκεντροφόρος άτρακτος έχει τη μισή ταχύτητα από αυτήν της στροφαλοφόρου ατράκτου και πέρα από τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κινεί και την αντλία καυσίμου καθώς και άλλα βοηθητικά όργανα. Επίσης η έναρξη της καύσης ρυθμίζεται και από την αντλία καυσίμου, τον εγχυτήρα ή διανομέα όπως επίσης και από τον σπινθηριστή.

### 3.3 Εσωτερική Λειτουργία

Πέρα από την εξωτερική διάκριση σε 2-Χ και 4-Χ, οι κινητήρες μπορούν να ταξινομηθούν και με βάση την εσωτερική τους λειτουργία σε κινητήρες Otto και κινητήρες Diesel. Η διάκριση αυτή γίνεται με βάση τον τρόπο αναφλέξεως (εναύσεως) ο οποίος επιδρά στον τρόπο καύσης του καυσίμου.

Στους κινητήρες Otto (από τον εφευρέτη τους Nicolaus August Otto) ή εκρήξεως ή εναύσεως με σπινθήρα η ανάφλεξη γίνεται πάντοτε με τη χρήση κάποιας εξωτερικής πηγής, η οποία συνήθως είναι ένας ηλεκτρικός σπινθήρας.

Στους κινητήρες Diesel (από τον εφευρέτη τους Rudolf Diesel) ή καύσεως ή εναύσεως με συμπίεση (αυτανάφλεξη) έχουμε πάντοτε αυτανάφλεξη καθώς το καύσιμο εγχύεται την κατάλληλη στιγμή εντός του κυλίνδρου, δηλαδή όταν το περιεχόμενό του έχει θερμανθεί επαρκώς λόγω της προηγηθείσας σχετικά υψηλής συμπίεσεως.

Οι κινητήρες Otto διακρίνονται σε αεριομηχανές και βενζινομηχανές ανάλογα με το καύσιμο το οποίο χρησιμοποιούν. Έτσι οι αεριομηχανές χρησιμοποιούν ως καύσιμο φυσικά ή τεχνητά αέρια που έρχονται σε επαφή με τον απαραίτητο για την καύση ατμοσφαιρικό αέρα, εντός του κυλίνδρου, μέσω ειδικής βαλβίδας ανάμειξης που συνδυάζεται συνήθως με τη βαλβίδα εισαγωγής.

Από την άλλη οι βενζινομηχανές χρησιμοποιούν ως καύσιμο τη βενζίνη αλλά και γενικότερα ελαφρά υγρά καύσιμα μεγάλης πτητικότητας. Σε

αυτές τις μηχανές έχουμε αναρρόφηση από τον κινητήρα ομογενούς μείγματος αέρα καυσίμου (ατμών), το οποίο έχει προετοιμαστεί σε ειδικό όργανο που ονομάζεται εξαεριωτής. Βέβαια υπάρχουν και άλλες διατάξεις, οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα περισσότερο μιας και η χρήση εξαεριωτή ειδικά στην αυτοκίνηση έχει εγκαταλειφθεί πλέον, με μηχανική έγχυση της βενζίνης μέσω κατάλληλα διαμορφωμένου συγκροτήματος αντλίας καυσίμου-εγχυτήρα. Οι διατάξεις αυτές διακρίνονται σε διατάξεις συνεχούς και διακοπτόμενης εγχύσεως. Στη συνεχή έγχυση έχουμε έγχυση της βενζίνης συνεχώς σε συγκεκριμένη θέση του σωλήνα εισαγωγής του αέρα, ενώ στη διακοπτόμενη έγχυση έχουμε χωριστή έγχυση της βενζίνης σε κάθε κύλινδρο μέσω ειδικού εγχυτήρα. Τέλος να αναφέρουμε ότι οι διατάξεις διακοπτόμενης έγχυσης κατηγοριοποιούνται με τη σειρά τους σε διατάξεις αμέσου εγχύσεως, όπου έχουμε την έγχυση της βενζίνης εντός του κυλίνδρου, και σε διατάξεις εμμέσου εγχύσεως, όπου η έγχυση της βενζίνης πραγματοποιείται λίγο πριν από τη βαλβίδα εισαγωγής.

Στου κινητήρες Diesel, οι οποίοι καλούνται και πετρελαιομηχανές, έχουμε πάντα αναρρόφηση ατμοσφαιρικού αέρα από τον κινητήρα και ως καύσιμο χρησιμοποιούμε τα βαρύτερα της βενζίνης υγρά καύσιμα της κατηγορίας των πετρελαίων. Επίσης στους μέσων και μεγάλων διαστάσεων κινητήρων χρησιμοποιείται το ελαφρό ή το βαρύ καύσιμο λεβήτων. Για τη δημιουργία του καυσίμου μείγματος εντός του κυλίνδρου πραγματοποιείται έγχυση με μηχανικό τρόπο του πετρελαίου, δηλαδή χρησιμοποιούμε ισχυρή πίεση η οποία δημιουργείται από ένα σύστημα αντλίας καυσίμου-εγχυτήρα, και έτσι διασκορπίζεται το πετρέλαιο στη μάζα του ήδη συμπιεσμένου αέρα.

Επίσης υπάρχουν και κάποια συστήματα που συνδυάζουν τις δύο παραπάνω κατηγορίες, όπως ο κινητήρας Semi-Diesel και ο κινητήρας Diesel-Gas. Τέλος υπάρχει και ο κινητήρας πολλών καυσίμων που είναι κινητήρας Diesel και μπορεί να λειτουργήσει με καύσιμα από ανθεκτική σε κρουστική καύση βενζίνη έως ελαφρύ λιπαντικό έλαιο.

### **3.4 Ρύθμιση Ισχύος Κινητήρων Otto**

Η παραδοσιακή ρύθμιση ισχύος στους κινητήρες Otto γίνεται με τη χρήση του εξαεριωτή. Το μείγμα αέρα-καυσίμου ποετοιμάζεται σε μια στενή περιοχή αναμείξεως, που είναι κοντά στη στοιχειομετρική, και είναι απαραίτητη για τη διάδοση της φλόγας, την κίνηση δηλαδή του μετώπου της φλόγας δια μέσου του ακαύστου ομογενούς μείγματος.

Έτσι η ρύθμιση της ισχύος στους κινητήρες αυτούς είναι ποσοτική, αφού η αυξομείωση του έργου και της ισχύος γίνεται με αλλαγή στην ποσότητα που πληροί τον κύλινδρο. Η αλλαγή αυτή επιτυγχάνεται μέσω μιας στραγγαλιστικής δικλείδας, γνωστής και ως πεταλούδας, η οποία με την περιστροφή της προκαλεί αλλαγή στην πίεση κατά την είσοδο στον κύλινδρο και επομένως και αλλαγή στην μάζα που εισέρχεται στον κύλινδρο. Η ποιότητα του μείγματος παραμένει σταθερή και κοντά στη στοιχειομετρική.



Επίσης να αναφέρουμε ότι η μηχανική έγχυση της βενζίνης χρησιμοποιείται πλέον μόνο σε υψηλής ποιότητας κινητήρες. Προσφάτως έχουμε και τη δυνατότητα ηλεκτρονικής έγχυσης της βενζίνης, η οποία πραγματοποιείται μέσω της επεξεργασίας σε έναν Η/Υ.

Τέλος υπάρχουν δύο ειδικές μορφές κινητήρων Otto, ο κινητήρας στρωματικής γόμωσης και ο κινητήρας πτωχού μείγματος. Στον πρώτο κινητήρα γύρω από το σπινθηριστή το μείγμα είναι πιο πλούσιο, για να γίνει η ανάφλεξη, ενώ μακριά από αυτόν πιο φτωχό και έτσι έχουμε μειωμένο κίνδυνο κρουστικής καύσης στο ακραίο σημείο του κυλίνδρου, αφού η κρουστική καύση ευνοείται κοντά στη στοιχειομετρική περιοχή. Στον κινητήρα πτωχού μείγματος η καύση επιτυγχάνεται με αύξηση της τύρβης της γομώσεως και πιο συγκεντρωτικό θάλαμο πλησίον της βαλβίδας εξαγωγής, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο μεγαλύτερο βαθμό συμπίεσης και άρα καλύτερο βαθμό απόδοσης του κινητήρα.

### 3.5 Ρύθμιση Ισχύος Κινητήρων Diesel

Στον κινητήρα Diesel, σε αντίθεση με τον κινητήρα Otto, έχουμε την καύση ετερογενούς μείγματος. Το υγρό καύσιμο εγχύεται προς το τέλος της συμπίεσης. Το σύστημα έγχυσης είναι μηχανικό και υψηλών προδιαγραφών, αφού η έγχυση πραγματοποιείται υπό πίεση της τάξης των 150÷1500 bar. Το σύστημα προσαγωγής του καυσίμου αποτελείται από την αντλία καυσίμου, τον εγχυτήρα καθώς επίσης και από το σωλήνα κατάθλιψης που ενώνει την αντλία με τον εγχυτήρα.

Η ρύθμιση ισχύος στους κινητήρες αυτούς είναι ποιοτική, αφού η ρύθμιση του φορτίου, δηλαδή η αυξομείωση της ισχύος και του έργου του κινητήρα πραγματοποιείται μέσω της μεταβολής της ποσότητας του εγχυόμενου καυσίμου ανά κύκλο λειτουργίας. Δηλαδή η ποσότητα του αναρροφούμενου στον κύλινδρο αέρα παραμένει σταθερή, για σταθερές στροφές περιστροφής, και αυτό που μεταβάλλεται είναι η ποσότητα του καυσίμου και άρα η ποιότητα του μίγματος, αφού η ποσότητά του παραμένει πρακτικά σταθερή.

Το μέγιστο φορτίο τίθεται από την καύση, δηλαδή αντιστοιχεί στο φορτίο εκείνο πέρα από το οποίο έχουμε απαράδεκτο καπνό (άκαυστος άνθρακας) στην εξαγωγή.

Κλείνοντας να αναφέρουμε ότι η ποιότητα καύσης εξαρτάται από την ποιότητα εγχύσεως του καυσίμου καθώς επίσης και από το επίπεδο κίνησης του αέρα στον κύλινδρο. Η καλή ποιότητα εγχύσεως επιτυγχάνεται με τη χρήση ακροφυσίων πολλών οπών υπό υψηλή πίεση εγχύσεως, ενώ το υψηλό επίπεδο κίνησης του αέρα εντός του κυλίνδρου επιτυγχάνεται με την κατάλληλη διαμόρφωση του θαλάμου καύσης. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν ο ενιαίος και ο διμερής θάλαμος καύσης. Στους μεγάλων και μέσων διαστάσεων κινητήρες χρησιμοποιούμε ενιαίο θάλαμο καύσης με άμεση έγχυση του καυσίμου.

### 3.6 Βοηθητικές Λειτουργίες των Εμβολοφόρων ΜΕΚ

Ως βοηθητικές λειτουργίες των εμβολοφόρων ΜΕΚ εννοούμε την ψύξη και τη λίπανση, που είναι μείζονος σημασίας για τη σωστή και οικονομική λειτουργία του κινητήρα.

Η ψύξη είναι απαραίτητη για τον κινητήρα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στο κάλυμμα του κυλίνδρου, το χιτώνιο του κυλίνδρου και το έμβολο, αφού αυτά είναι εκτεθειμένα στα υψηλής θερμοκρασίας αέρια του θαλάμου καύσης. Υπάρχουν δύο είδη κινητήρων με βάση την ψύξη τους, οι υδρόψυκτοι και οι αερόψυκτοι. Να επισημάνουμε τέλος ότι σε κινητήρες μεγαλύτερων διαστάσεων απαιτείται έντονη εσωτερική ψύξη του εμβόλου με έλαιο ή νερό.

Η λίπανση είναι και αυτή απαραίτητη για τον κινητήρα καθώς έτσι μειώνονται οι τριβές μεταξύ των τριβομένων επιφανειών. Το σύστημα λίπανσης αναρροφά το λιπαντικό έλαιο από την ελαιολεκάνη του στροφαλοθαλάμου μέσω ενός φίλτρου και μέσω σωληνώσεων ή οχετών το διοχετεύει στις θέσεις λίπανσης. Στους κινητήρες μεγάλης ισχύος απαιτείται ψύξη του λιπαντικού ελαίου με αέρα ή νερό.

### 3.7 Υπερπλήρωση των Εμβολοφόρων ΜΕΚ

Σκοπός της υπερπλήρωσης ενός κινητήρα είναι η αύξηση της ισχύος του. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξαναγκασμένη πλήρωση του κυλίνδρου με αέρα υπό πίεση που προέρχεται από έναν συμπιεστή και αντικαθιστά έτσι τη 'φυσική αναπνοή'.

Γνωρίζουμε γενικά ότι η ισχύς ενός κινητήρα είναι ανάλογη με την ποσότητα του καυσίμου που μπορεί να καεί σε αυτόν, άρα και με την παροχή του αναρροφούμενου αέρα. Αυξάνοντας επομένως μέσω της υπερπλήρωσης την ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα μπορούμε να αυξήσουμε και την καιόμενη ποσότητα καυσίμου και συνεπακόλουθα και την ισχύ του κινητήρα.

Η υπερπλήρωση προϋποθέτει στιβαρότερη κατασκευή του κινητήρα μιας και αναπτύσσονται υψηλότερες πιέσεις. Έτσι οι κινητήρες Diesel είναι ιδανικοί για υπερπλήρωση μιας και είναι στιβαροί και επίσης δεν εμφανίζουν κρουστική καύση, επιτρέποντάς μας έτσι να επιτύχουμε υψηλότερες πιέσεις. Στους κινητήρες Otto εφαρμόζεται υπερπλήρωση αλλά λόγω της αυξημένης πιθανότητας εμφάνισης κρουστικής καύσης η πίεση υπερπλήρωσης είναι γενικά μικρή με αποτέλεσμα να έχουμε περιορισμένη αύξηση της ισχύος του κινητήρα.

Οι μέθοδοι υπερπλήρωσης που χρησιμοποιούνται είναι να έχουμε εξωτερικά κινούμενο συμπιεστή, συμπιεστή κινούμενο από τη στροφαλοφόρο άτρακτο (μηχανική υπερπλήρωση), συμπιεστή κινούμενο από στρόβιλο καυσαερίων (στροβιλο-υπερπλήρωση) και χωρίς τη χρήση συμπιεστή αλλά με συμπίεση μέσω κύματος πίεσης που προέρχεται από την αποτόνωση του καυσαερίου σε δρομέα με πτερύγια.

Όταν έχουμε υψηλή υπερπλήρωση εφαρμόζεται ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης σε ψυγείο το οποίο τοποθετείται μετά το συμπιεστή και πριν από την είσοδο στους κυλίνδρους του κινητήρα. Έτσι αυξάνουμε την πυκνότητα του αέρα υπερπλήρωσης, άρα και την παροχή αναρροφούμενου αέρα εντός των κυλίνδρων του κινητήρα, αφού η συμπίεση του αέρα από το συμπιεστή είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και άρα την μείωση της πυκνότητάς του.

Να επισημάνουμε τέλος ότι ειδικά για τη στροβιλο-υπερπλήρωση υπάρχουν τρεις μέθοδοι που καλούνται σταθερής πίεσης, παλμών πίεσης και μετατροπέα παλμών. Στους μεγάλους δίχρονους κινητήρες Diesel, που μας αφορούν στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιείται η μέθοδος σταθερής πίεσης, δηλαδή τα καυσάερια των κυλίνδρων συγκεντρώνονται σε έναν σχετικά μεγάλο οχετό εξαγωγής και έτσι απορροφούνται οι διακυμάνσεις της πίεσης.

### **3.8 Κατάταξη-Σύγκριση-Εφαρμογές των Εμβολοφόρων ΜΕΚ**

Οι εμβολοφόρες ΜΕΚ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν επίσης σε οριζόντιες ή κάθετες, σε δεξιόστροφες ή αριστερόστροφες, σε κινητήρες ορισμένης φοράς περιστροφής ή αναστρέψιμοι, σε ξηράς θάλασσας ή αέρα, σε απλής ή διπλής ενεργείας, σε κινητήρες με ή χωρίς ζύγωμα και σε κινητήρες διαφόρων διατάξεων κυλίνδρων. Για λόγους πληρότητας να αναφέρουμε την ύπαρξη ενός κινητήρα με περιστρεφόμενο έμβολο, γνωστού και ως κινητήρα Wankel.

Στο σημείο αυτό θα ήταν χρήσιμο να περιγράψουμε το βάκτρο και το ζύγωμα, μιας και αυτά χρησιμοποιούνται σε μεγάλες δίχρονες μηχανές. Το βάκτρο έχει απλή κυλινδρική μορφή και συνδέεται (πάκτωση) με το έμβολο μέσω περιαιχενίου με αντίστοιχη εισδοχή στο έμβολο. Με τον ίδιο τρόπο συνδέεται και το βάκτρο με το ζύγωμα ή συνηθέστερα το βάκτρο διαπερνά το ζύγωμα και χρησιμοποιούμε ισχυρό περικόχλιο στο τμήμα του βάκτρου που προεξέχει. Τέλος το ζύγωμα συνδέει το βάκτρο με την άνω κεφαλή του διωστήρα και μεταβιβάζει, μέσω ενός πεδύλου που διαθέτει, την εγκάρσια δύναμη στην στερεωμένη στο σκελετό του κινητήρα ευθυντηρία.

Όσον αφορά τώρα τις διατάξεις των κυλίνδρων, γενικά χρησιμοποιούνται πολυκύλινδροι κινητήρες διαφόρων διατάξεων, όπως εν σειρά, σε διάταξη V, σε διάταξη W, Boxer, αστεροειδής, αντίθετων εμβόλων και σε διάταξη H. Τα πλεονεκτήματα χρησιμοποίησης πολλών κυλίνδρων είναι ότι με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση ισχύος, καλύτερη ομοιομορφία της ταχύτητας περιστροφής, ευκολότερη ζυγοστάθμιση μαζικών δυνάμεων και ροπών και ευχερέστερη εκκίνηση.

Ενδιαφέροντα συμπεράσματα μπορούμε να εξάγουμε συγκρίνοντας τους δίχρονους με του τετράχρονους κινητήρες. Η σύγκριση αυτή αναφέρεται κυρίως σε κινητήρες Diesel αφού ο δίχρονος τύπος δεν προσφέρεται για

κινητήρες Otto επειδή κατά τη σάρωση ποσότητα του χρήσιμου μείγματος (καυσίμου- αέρα) αναμειγνύεται με τα καυσαέρια και χάνεται.

Ο δίχρονος κινητήρας έναντι του τετράχρονου πλεονεκτεί στο ότι έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση ισχύος αφού ο δίχρονος κινητήρας παράγει έργο σε κάθε δεύτερη διαδρομή του εμβόλου ενώ ο τετράχρονος σε κάθε τέταρτη, στο ότι ο δίχρονος κινητήρας έχει λιγότερες βαλβίδες και επομένως απλούστερο μηχανισμό και στο ότι έχει πιο ομοιόμορφο διάγραμμα ροπής στρέψεως από τον τετράχρονο κινητήρα.

Από την άλλη πλευρά ο τετράχρονος κινητήρας πλεονεκτεί του δίχρονου κινητήρα αφού στον τετράχρονο κινητήρα έχουμε άνεση χρόνου όσον αφορά την εναλλαγή των αερίων και έτσι έχουμε καλύτερη πλήρωση του κυλίνδρου. Επίσης, ακριβώς πάλι λόγω της καλύτερης εναλλαγής των αερίων, στον τετράχρονο κινητήρα έχουμε καλύτερη απαγωγή της θερμότητας από τα θερμικώς φορτιζόμενα τμήματα του κινητήρα και έτσι μπορούμε να έχουμε υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής καθώς επίσης και μεγαλύτερο βαθμό υπερπλήρωσης από ότι στους δίχρονους κινητήρες. Τέλος στον τετράχρονο κινητήρα είναι ευκολότερο να μεταβάλουμε τα στοιχεία διανομής μεταβάλλοντας τη γωνία των εκκέντρων στην εκκεντροφόρο άτρακτο.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε σύντομα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των κινητήρων Otto και Diesel, με βάση τα οποία καθορίζεται και το πεδίο εφαρμογής τους.

Ο κινητήρας Otto παρουσιάζει μικρότερο βαθμό απόδοσης λόγω κυρίως μειωμένου βαθμού συμπίεσης, αφού υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης κρουστικής καύσης. Έτσι χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούμε αθόρυβη και ελαστική λειτουργία του κινητήρα, όπως είναι η αυτοκίνηση. Για το λόγο αυτό οι κινητήρες Otto κατασκευάζονται συνήθως σε ισχείς μικρότερες των 250 kW και είναι τετράχρονοι.

Απεναντίας ο κινητήρας Diesel έχει καλύτερο βαθμό απόδοσης και πιο φθινό καύσιμο επομένως η χρήση του είναι ευρεία. Στις μικρές και μέσες στροφές έχουμε τετράχρονους κινητήρες ενώ σε κινητήρες μεγάλων διαστάσεων έχουμε δίχρονους κινητήρες. Σε ναυτικές εφαρμογές οι κινητήρες κατηγοριοποιούνται με βάση την ταχύτητα περιστροφή τους σε βραδύστροφους, μεσόστροφους και ταχύστροφους κινητήρες. Εμείς θα ασχοληθούμε με αργόστροφο κινητήρα.

### **3.9 Δίχρονοι Ναυτικοί Κινητήρες Diesel**

Οι δίχρονοι ναυτικοί κινητήρες Diesel παράγουν το ωφέλιμο έργο με διεργασίες που ολοκληρώνονται σε μία περιστροφή της στροφαλοφόρου άτρακτου. Αρχικά έχουμε τη συμπίεση του αέρα. Ακολούθως πραγματοποιείται η αποτόνωση της γόμωσης από όπου παίρνουμε το ωφέλιμο έργο. Έπειτα γίνεται η εξαγωγή των καυσαερίων από τους

κυλίνδρους του κινητήρα. Τέλος έχουμε την απόπλυση των κυλίνδρων από τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου λειτουργίας.

Ως απόπλυση ορίζεται η φάση κατά την οποία είναι ταυτόχρονα ανοιχτές οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής, ή οι βαλβίδες εξαγωγής εάν υπάρχουν αντί των θυρίδων εξαγωγής. Ο κινητήρας της παρούσας εργασίας χρησιμοποιεί διαμήκης απόπλυση με θυρίδες εισαγωγής και βαλβίδες εξαγωγής.

Να υπενθυμίσουμε ότι η εναλλαγή των αερίων γίνεται υπό δυσμενείς συνθήκες και για αυτό απαιτείται ο εισερχόμενος στον κύλινδρο αέρας να έχει υψηλή πίεση προκειμένου να πραγματοποιηθεί η απόπλυση. Η αύξηση της πίεσης αυτής μπορεί να υλοποιηθεί με έναν ξεχωριστό φυσητήρα ή αντλία, που γενικά απορροφά πολύτιμο μηχανικό έργο. Η αύξηση της πίεσης του εισερχόμενου αέρα, στον κινητήρα που χρησιμοποιείται για την παρούσα διερεύνηση, γίνεται μέσω των συμπιεστών των στροβιλο-υπερπληρωτών.

Οι δίχρονοι ναυτικοί κινητήρες κατηγοριοποιούνται σε βραδύστροφους (54÷250rpm) και μεσόστροφους (400÷750rpm).

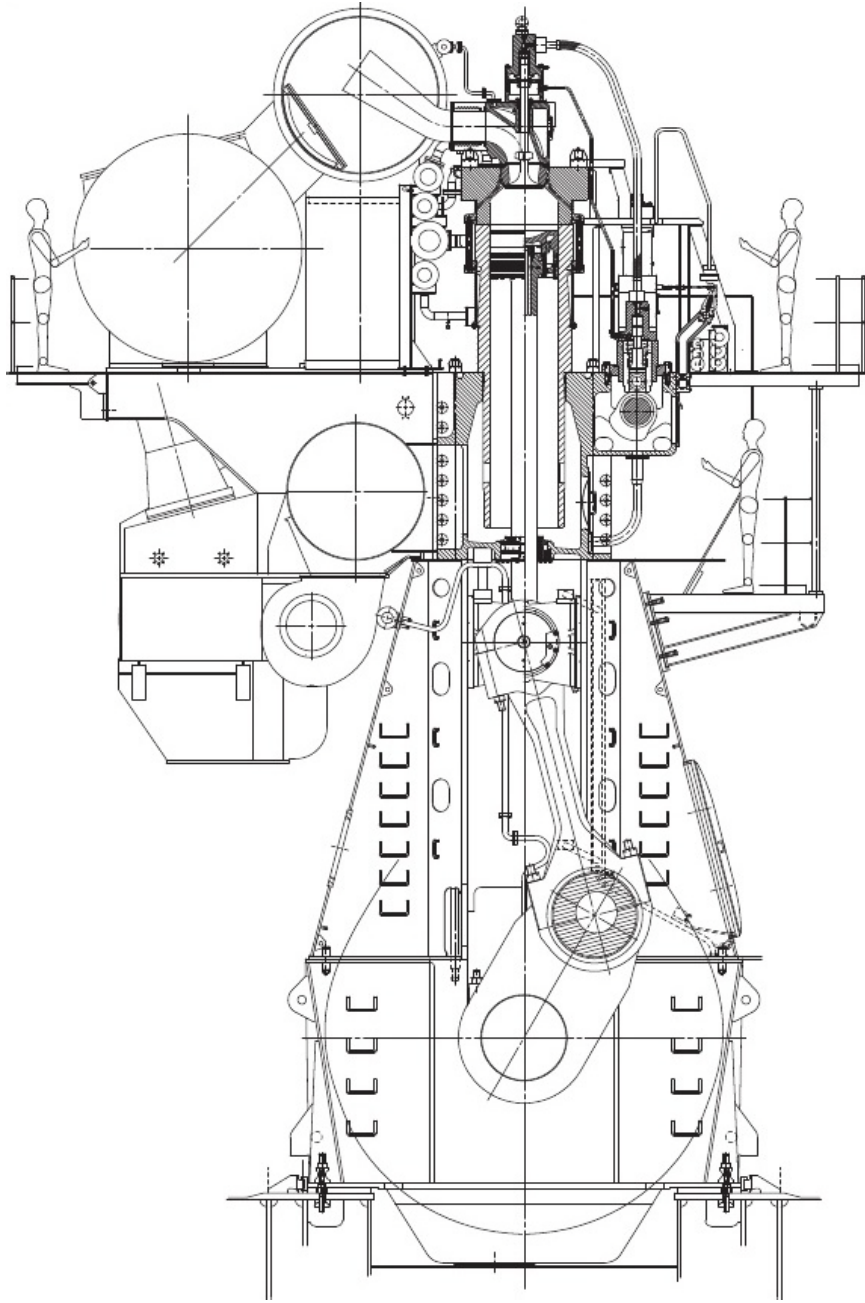
Τέλος να αναφέρουμε ότι η σύνδεση της έλικας στους μεσόστροφους κινητήρες γίνεται μέσω μειωτήρα στροφών ενώ στους βραδύστροφους γίνεται απευθείας με την έλικα.

### **3.10 Περιγραφή του Δίχρονου Κινητήρα Diesel που Χρησιμοποιείται στη Διερεύνηση**

Ο κινητήρας με τον οποίο θα ασχοληθούμε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένας αργόστροφος δίχρονος εξακύλινδρος κινητήρας, με πολύ μεγάλη διαδρομή εμβόλου, με διάμετρο εμβόλου 70 cm, όπου η στροφαλοφόρος άτρακτος ελέγχει την έγχυση του καυσίμου καθώς επίσης και το χρονισμό των βαλβίδων εξαγωγής. Επίσης διαθέτει ζύγωμα και βάκτρο. Γνωρίζουμε ακόμα ότι ο κάθε κύλινδρος έχει τη δική του αντλία έγχυσης καυσίμου.

Διαθέτει δύο στροβιλο-υπερπληρωτές με ψύξη του αέρα σάρωσης σε ψυγεία που βρίσκονται ένα μετά από τον κάθε συμπιεστή. Ο αναρροφούμενος συμπιεσμένος αέρας μετά από τα δύο ψυγεία οδηγείται σε έναν οχετό, τον οχετό του αέρα σάρωσης, και ακολούθως εισάγεται εντός των κυλίνδρων.

Μετά την καύση τα καυσαέρια, μέσω των βαλβίδων εξαγωγής, οδηγούνται σε έναν οχετό, άρα έχουμε τη μέθοδο της σταθερής πίεσης. Τέλος τα καυσαέρια κινούν τους δύο στροβίλους, έναν για κάθε στροβιλο-υπερπληρωτή. Παρακάτω παραθέτουμε ένα σχέδιο του κινητήρα (σχέδιο 3-1).



Σχέδιο 3-1 Δίχρονος Ναυτικός Κινητήρας Diesel

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## Βασικές Αρχές Πρόωσης Πλοίων

### 4.1 Περιγραφή Μορφών Γάστρας

Όπως μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό, οι απαιτήσεις πρόωσης ενός πλοίου εξαρτώνται και από το τμήμα της γάστρας που βρίσκεται κάτω από την ίσαλο γραμμή. Χρησιμοποιούνται διάφορες διαστάσεις του πλοίου για την περιγραφή της μορφής της γάστρας του, όπως είναι το μήκος του (αν και χρησιμοποιείται το μήκος της ισάλου γραμμής και το μήκος μεταξύ καθέτων καθώς το ολικό μήκος του πλοίου δεν φέρει καμία επίδραση στον υπολογισμό της υδροδυναμικής αντίστασης του πλοίου), το βύθισμά του και το μεγαλύτερο πλάτος στην ίσαλο γραμμή. Όλα αυτά τα μεγέθη αναφέρονται στο βύθισμα σχεδίασης του πλοίου, δηλαδή χρησιμοποιείται το συνηθέστερο βύθισμα μεταξύ του βυθίσματος στην έμφορτη κατάσταση και αυτού σε κατάσταση ερματισμού.

Έτσι προκύπτουν διάφοροι συντελεστές που εκφράζουν το σχήμα της γάστρας του πλοίου, όπως είναι ο συντελεστής γάστρας, ο συντελεστής ισάλου επιφάνειας, ο συντελεστής μέσης τομής, ο διαμήκης πρισματικός συντελεστής, το διάμηκες κέντρο άντωσης και ο συντελεστής λεπτότητας.

### 4.2 Αντίσταση Πλοίου

Προκειμένου να κινηθεί ένα πλοίο θα πρέπει να υπερνικήσει την αντίσταση, τη δύναμη δηλαδή εκείνη που δρα αντίθετα στην ώση. Επομένως για να εκλέξουμε κατάλληλη έλικα και ακολούθως κατάλληλη κύρια μηχανή ώσης θα πρέπει προηγουμένως να έχουμε υπολογίσει την αντίσταση.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την αντίσταση είναι η ταχύτητα του πλοίου, το εκτόπισμά του και η μορφή της γάστρας του. Η συνολική αντίσταση  $R_T$  αποτελείται από πολλές συνιστώσες αντιστάσεων  $R$ , οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε:

- αντίσταση τριβής  $R_F$
- υπόλοιπη αντίσταση  $R_R$
- αντίσταση αέρα  $R_A$

Η σχετική επιρροή της αντίστασης τριβής και της υπόλοιπης αντίστασης εξαρτώνται από το πόσο μεγάλο είναι το τμήμα της γάστρας που βρίσκεται κάτω από την ίσαλο γραμμή του πλοίου ενώ η αντίσταση αέρα εξαρτάται από το πόσο μεγάλο είναι το τμήμα του πλοίου που βρίσκεται πάνω από την ίσαλο γραμμή. Έτσι η αντίσταση αέρα θα έχει για παράδειγμα

επίδραση σε πλοία εμπορευματοκιβωτίων που μεταφέρουν πολλά από αυτά στο κατάστρωμά τους.

Γνωρίζουμε από τον νόμο του Bernoulli ότι νερό με ταχύτητα  $V$  και πυκνότητα  $\rho$  έχει δυναμική πίεση ίση με  $\frac{1}{2}\rho V^2$ . Επομένως όταν το νερό σταματήσει πάνω σε ακίνητο στερεό σώμα θα εξασκήσει πάνω σε αυτό μια δύναμη λόγω της δυναμικής πίεσης που αναπτύσσεται πάνω στην επιφάνεια του σώματος. Η σχέση αυτή αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό των διαφόρων αντιστάσεων  $R$  της γάστρας του πλοίου μέσω αδιάστατων συντελεστών  $C$ . Επομένως οι  $C$  σχετίζονται με την δύναμη αναφοράς  $K$ , δηλαδή την δύναμη που ασκεί η δυναμική πίεση του νερού, κινούμενο με μια ταχύτητα  $V$  ίση με την ταχύτητα του πλοίου, πάνω σε μια βρεχόμενη επιφάνεια, που είναι ίση με τη βρεχόμενη επιφάνεια της γάστρας  $A_S$  συμπεριλαμβανομένης και της επιφάνειας του πηδαλίου. Άρα για την δύναμη αναφοράς θα έχουμε ότι:

$$K = \frac{1}{2}\rho V^2 \quad (4.1)$$

και για τις διάφορες αντιστάσεις θα ισχύει ότι:

$$R = CK \quad (4.2)$$

Χρησιμοποιώντας πολλά πειραματικά δεδομένα και κατάλληλους αδιάστατους συντελεστές, όπως αυτούς που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι για τον υπολογισμό όλων των αναγκαίων συντελεστών αντίστασης και άρα και τις διάφορες αντιστάσεις.

Συγκεκριμένα η αντίσταση τριβής  $R_F$  της γάστρας εξαρτάται από το μέγεθος της βρεχόμενης επιφάνειας της γάστρας  $A_S$  καθώς επίσης και από τον συντελεστή αντίστασης τριβής  $C_F$ . Αυτό που είναι σημαντικό είναι να διατηρείται η γάστρα του πλοίου χωρίς ρύπανση, ώστε να έχουμε μικρή τριβή, καθώς η γάστρα ρυπαίνεται από θαλάσσιους μικροοργανισμούς, όστρακα, φύκια κ.α. Να αναφέρουμε επίσης ότι η αντίσταση τριβής αυξάνεται περίπου ανάλογα με το τετράγωνο της ταχύτητας του πλοίου και αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της συνολικής αντίστασης του ~~πλοίου~~ πλοίου της συνολικής αντίστασης για αργά πλοία και κάτω από το 40% για γρήγορα πλοία. Έτσι η αντίσταση τριβής υπολογίζεται ως:

$$R_F = C_F K \quad (4.3)$$

Όσον αφορά τώρα την υπόλοιπη αντίσταση  $R_R$ , αυτή περιλαμβάνει την αντίσταση κυματισμού και την αντίσταση δινών. Ως αντίσταση κυματισμού ορίζουμε την αντίσταση εκείνη που αφορά απώλειες ενέργειας λόγω της δημιουργίας κυμάτων από το σκάφος, κατά την πρόωσή του μέσα στο νερό, που σε μικρές ταχύτητες είναι ανάλογες του τετραγώνου της ταχύτητας αλλά αυξάνουν γρήγορα για υψηλότερες ταχύτητες. Έτσι για αργά πλοία μπορεί να είναι το 10÷25% της συνολικής αντίστασης ενώ για γρήγορα πλοία μπορεί να είναι το 40÷60%. Η αντίσταση δινών από την άλλη ορίζεται ως η αντίσταση που προκαλεί απώλειες ενέργειας εξαιτίας της αποκόλλησης της ροής και της δημιουργίας δινών ειδικά στην πρύμνη του πλοίου. Επιπροσθέτως μεγάλη



επίδραση στην υπόλοιπη αντίσταση μπορεί να έχουν τα ρηχά νερά αφού το εκτοπιζόμενο νερό κάτω από το πλοίο δυσκολεύεται περισσότερο στο να κινηθεί προς τα πίσω. Τέλος η υπόλοιπη αντίσταση υπολογίζεται ως:

$$R_R = C_R K \quad (4.4)$$

, όπου το  $C_R$  υπολογίζεται με διαδικασία που περιγράφεται σε εξειδικευμένη βιβλιογραφία.

Επίσης έχουμε και την αντίσταση του αέρα  $R_A$ . Γνωρίζουμε ότι σε ήρεμο νερό η αντίσταση αυτή είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του πλοίου καθώς και της μετωπικής επιφάνειας που βρίσκεται πάνω από την ίσαλο γραμμή. Να επισημάνουμε ότι αντιπροσωπεύει περίπου το 2% της συνολικής αντίστασης, αν και σε πλοία εμπορευματοκιβωτίων μπορεί να φθάσει και το 10%. Τέλος υπολογίζεται, με όμοιο τρόπο όπως οι προηγούμενες αντιστάσεις ως:

$$R_A = C_A K \quad (4.5)$$

, αλλά και ως το 90% της δυναμικής πίεσης του αέρα, δηλαδή:

$$R_A = 0.90 \frac{1}{2} \rho_{air} V^2 A_{air} \quad (4.6)$$

, όπου  $\rho_{air}$  είναι η πυκνότητα του αέρα και  $A_{air}$  η επιφάνεια της διατομής του πλοίου πάνω στο νερό.

Έχοντας υπολογίσει τις επιμέρους αντιστάσεις μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε τη συνολική αντίσταση ρυμουλκήσεως του πλοίου  $R_T$  ως:

$$R_T = R_F + R_R + R_A \quad (4.7)$$

Η αντίστοιχη ισχύς ρυμουλκήσεως  $P_E$  που είναι απαραίτητη προκειμένου να κινηθεί το πλοίο μέσα στο νερό, δηλαδή η ισχύς που απαιτείται για να ρυμουλκηθεί το πλοίο με ταχύτητα  $V$ , είναι:

$$P_E = V R_T \quad (4.8)$$

Ωστόσο η ισχύς που απορροφάται από την έλικα  $P_D$ , ώστε να κινήσει το πλοίο με την ίδια ταχύτητα  $V$ , είναι λίγο υψηλότερη καθώς σημαντικό ρόλο παίζουν οι συνθήκες ροής γύρω από την έλικα όπως επίσης και η απόδοσή της.

Το γενικό συμπέρασμα που εξαγεται επομένως είναι ότι όλες οι επιμέρους αντιστάσεις είναι ανάλογες του τετραγώνου της ταχύτητας και αυτό που προκαλεί διαφοροποίηση είναι η μεγάλη αύξηση της αντίστασης κυματισμών σε μεγάλες ταχύτητες. Για το λόγο αυτό έχουμε ορίσει μια ταχύτητα, για δεδομένη σχεδίαση της γάστρας, που αποκαλείται 'wave wall (τοίχος κύματος)'. Όταν το πλοίο πλέει με αυτήν την ταχύτητα και αυξήσουμε την ισχύ της πρόωσης θα διαπιστώσουμε ότι η ταχύτητα του πλοίου αυξάνεται λίγο καθώς το περισσότερο μέρος της ισχύος θα μετατρέπεται σε ενέργεια κυματισμών.

Κλείνοντας αυτήν την ενότητα να αναφέρουμε ότι η αντίσταση του πλοίου μπορεί να αυξηθεί με τη ρύπανση της γάστρας του και της έλικάς του, με τη μη ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου του και τέλος με τον άσχημο καιρό, όπου ο άσχημος καιρός επιδρά μέσω των αντίθετων ανέμων και ρευμάτων ή με τα μεγάλα κύματα.

### 4.3 Τύποι Ελίκων

Για την κίνηση του πλοίου χρησιμοποιείται η έλικα. Συνήθως χρησιμοποιείται μία, μερικές φορές δύο και σπανιότερα πάνω από δύο έλικες. Η βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία της έλικας είναι η αρχή διατήρησης της ορμής. Συγκεκριμένα η μάζα του νερού που επιταχύνεται προς τα πίσω πολλαπλασιαζόμενη με την ταχύτητα του νερού, ισούται με την μάζα του πλοίου επί την ταχύτητά του. Βέβαια στην πραγματικότητα η κατάσταση είναι αρκετά πιο περίπλοκη λόγω της αντίστασης του νερού στη γάστρα του πλοίου που τείνει να μειώσει την ταχύτητά του.

Υπάρχουν δύο τύποι ελίκων, οι έλικες σταθερού βήματος και οι έλικες μεταβλητού βήματος.

Οι έλικες σταθερού βήματος είναι ενιαία χυτά κομμάτια. Η θέση των πτερυγίων τους δεν μπορεί να μεταβληθεί και έτσι έχουν σταθερό βήμα. Αυτό έχει ως επακόλουθο σε συνθήκες λειτουργίας, όπως για παράδειγμα άσχημου καιρού, το πλήρωμα να μην μπορεί να αλλάξει τις καμπύλες απόδοσής της, δηλαδή το συνδυασμό ισχύος και ταχύτητας, καθώς αυτές ακολουθούν τους φυσικούς νόμους. Τέτοιες έλικες διαθέτουν πλοία που δε χρειάζεται να έχουν ειδικές καλές ελεγκτικές ικανότητες.

Οι έλικες μεταβλητού βήματος έχουν μεγαλύτερη πλύμνη από τις έλικες σταθερού βήματος, καθώς διαθέτουν υδραυλικό μηχανισμό για τον έλεγχο της γωνίας των πτερυγίων τους ο οποίος βρίσκεται στην πλύμνη. Για το λόγο αυτό όμως έχουν και ελαφρώς μικρότερη απόδοση. Είναι πιο ακριβές από τις έλικες σταθερού βήματος και χρησιμοποιούνται σε πλοία που απαιτείται να έχουν υψηλές ελεγκτικές ικανότητες. Να αναφέρουμε τέλος ότι λόγω πολυπλοκότερης κατασκευής οι έλικες αυτές είναι πιθανότερο να εμφανίσουν προβλήματα κατά τη λειτουργία τους.

### 4.4 Συνθήκες Ροής Γύρω από την Έλικα

Οι συνθήκες ροής γύρω από την έλικα προσδιορίζονται μέσω δύο συντελεστών, του συντελεστή ποσοστού ομόρρου  $w$  και του συντελεστή μείωσης ώσης  $t$ .

Προκειμένου να ορίσουμε το συντελεστή ομόρρου θα πρέπει να αναφερθούμε πρώτα στη ροή του νερού γύρω από το πλοίο και γύρω από την έλικά του.

Το πλοίο με την κίνησή του δημιουργεί, λόγω της τριβής της γάστρας του, ένα οριακό στρώμα νερού γύρω από τη γάστρα, τη λεγόμενη ζώνη τριβής. Για το οριακό στρώμα γνωρίζουμε ότι η ταχύτητα του νερού στην επιφάνεια της γάστρας είναι ίση με την ταχύτητα του πλοίου και όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της γάστρας αυτή μειώνεται. Σε κάποια απόσταση από τη γάστρα η ταχύτητα του νερού είναι ίση με την ταχύτητα της

περιβάλλουσας υδάτινης μάζας. Η απόσταση αυτή ονομάζεται πάχος του οριακού στρώματος και μας ορίζει την εξωτερική επιφάνεια της ζώνης τριβής.

Καθώς απομακρυνόμαστε από το πρωραίο τμήμα της γάστρας το πάχος της ζώνης τριβής αυξάνεται. Έτσι η ζώνη τριβής είναι παχύτερη στο πρυμναίο άκρο της γάστρας και το πάχος της είναι σχεδόν ανάλογο με το μήκος του πλοίου. Από αυτό καταλαβαίνουμε ότι θα υπάρχει κάποια ταχύτητα του ομόρρου που δημιουργείται από την τριβή κατά μήκος των πλευρών της γάστρας. Επίσης η κίνηση του πλοίου δημιουργεί κύματα τόσο προς την πλώρα όσο και προς την πρύμνη. Από όλα αυτά είναι εύκολα αντιληπτό πλέον ότι η έλικα πίσω από τη γάστρα λειτουργεί σε ένα πεδίο ομόρρου.

Επομένως το νερό στην έλικα θα έχει μια πραγματική ταχύτητα ομόρρου  $V_W$  που έχει την ίδια κατεύθυνση με αυτήν της ταχύτητας του πλοίου  $V$ , κυρίως λόγω του ομόρρου τριβής. Άρα η ταχύτητα του νερού που φθάνει στην έλικα  $V_A$  (ίση με την ταχύτητα προχώρησης της έλικας), εκφραζόμενη ως μέση ταχύτητα στον δίσκο της έλικας, θα είναι κατά  $V_W$  χαμηλότερη της ταχύτητας του πλοίου.

Συμπεραίνουμε επομένως ότι η πραγματική ταχύτητα ομόρρου στην έλικα είναι:

$$V_W = V - V_A \quad (4.9)$$

και μπορούμε να την εκφράσουμε σε αδιάστατη μορφή μέσω του συντελεστή ομόρρου  $w$ , όπου:

$$w = \frac{V_W}{V} = \frac{V - V_A}{V} \quad (4.10)$$

Ο συντελεστής αυτός επηρεάζεται σημαντικά από το σχήμα της γάστρας όπως επίσης και από τη θέση της έλικας και το μέγεθος της έχοντας σημαντική επίδραση στην απόδοση της έλικας.

Πιο συγκεκριμένα η σχέση της διαμέτρου της έλικας με το μήκος του πλοίου επηρεάζει κάπως το συντελεστή ποσοστού του ομόρρου καθώς ο λόγος της διαμέτρου της έλικας προς το μήκος του πλοίου μας δίνει μια προσεγγιστική ένδειξη του κατά πόσο η έλικα λειτουργεί στον ομόρρου της γάστρας. Επομένως όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος που προαναφέραμε τόσο μικρότερος είναι ο συντελεστής ποσοστού ομόρρου. Επίσης το  $w$  αυξάνεται όταν η γάστρα του πλοίου είναι ρυπασμένη. Για πλοία με μία έλικα το  $w$  παίρνει τιμές από 0,20÷0,45 και αυτό αντιστοιχεί σε μια ταχύτητα προχώρησης της έλικας  $V_A$  της τάξης του 0,55÷0,80 της ταχύτητας του πλοίου  $V$ . Επιπροσθέτως πλοία με μεγάλο συντελεστή γάστρας έχουν και μεγάλο συντελεστή ποσοστού ομόρρου, ενώ πλοία με δύο έλικες και συμβατικό πρυμναίο τμήμα γάστρας θα έχουν πολύ χαμηλότερο  $w$  καθώς οι έλικες θα βρίσκονται κανονικά εκτός της ζώνης τριβής.

Τέλος ένας υψηλός  $w$  αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης σπηλαίωσης της έλικας αφού κάτω από τέτοιες συνθήκες η κατανομή της ταχύτητας του νερού γύρω από την έλικα είναι γενικά ανομοιόμορφη. Για αυτό το λόγο χρειάζεται κάποιες φορές ένα πιο ομοιογενές πεδίο ομόρρου με υψηλότερη

ταχύτητα προχώρησης  $V_A$  της έλικας. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορες διατάξεις όπως για παράδειγμα έχοντας έλικες σε διατάξεις ακροφυσίων, αν και η καλύτερη μέθοδος είναι να έχει διαπιστωθεί ήδη κατά τη φάση της σχεδίασης ότι το πρυμναίο τμήμα της γάστρας έχει τέτοιο σχήμα που δημιουργεί το βέλτιστο πεδίο ομόρρου.

Ο συντελεστής μείωσης ώσης από την άλλη είναι και αυτός αδιάστατος και ορίζεται ως:

$$t = \frac{F}{T} = \frac{T - R_T}{T} \quad (4.11)$$

, όπου  $F$  είναι το ποσοστό μείωσης ώσης,  $T$  η συνολική απαιτούμενη δύναμη ώσης και  $R_T$  η αντίσταση του πλοίου.

Το φαινόμενο που προκαλεί την μείωση της ώσης έχει να κάνει με την περιστροφή της έλικας. Η περιστροφή αυτή προκαλεί αναρρόφηση του νερού που βρίσκεται μπροστά της πίσω προς την έλικα. Έτσι δημιουργείται μια επιπλέον αντίσταση στη γάστρα που αποκαλείται αύξηση αντίστασης ή, σε σχέση με τη συνολική απαιτούμενη δύναμη ώσης  $T$  στην έλικα, ποσοστό μείωσης ώσης  $F$ . Επομένως η ώση στην έλικα  $T$  θα πρέπει να υπερνικήσει και την αντίσταση του πλοίου  $R_T$  όπως επίσης και την απώλεια ώσης  $F$ . Η αδιάστατη έκφραση της  $F$  μας δίνει το συντελεστή μείωσης ώσης  $t$ .

Γνωρίζουμε ότι ο  $t$  αυξάνει όταν αυξάνεται και ο  $w$ . Σημαντική επίδραση στο συντελεστή μείωσης ώσης μπορεί να έχει το σχήμα της γάστρας αφού για παράδειγμα μια βολβοειδής πλώρα μπορεί κάτω από ορισμένες συνθήκες (χαμηλή ταχύτητα πλοίου) να προκαλέσει μείωση του  $t$ . Τέλος ο συντελεστής αυτός παίρνει τιμές από  $0,12 \div 0,30$  για πλοία με μία έλικα, αφού πλοία με υψηλό συντελεστή γάστρας έχουν και υψηλό συντελεστή μείωσης ώσης, ενώ για πλοία με δύο έλικες ο  $t$  θα είναι πολύ μικρότερες καθώς αυτές αναρροφούν πιο μακριά από τη γάστρα.

#### 4.5 Βαθμοί Απόδοσης

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε στους διάφορους βαθμούς απόδοσης που χρησιμοποιούνται προκειμένου να υπολογιστεί ο ολικός βαθμός απόδοσης.

Έτσι έχουμε το βαθμό απόδοσης της γάστρας  $n_H$  που ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ της ισχύος ρυμουλκήσεως  $P_E = R_T V$  και της ισχύος ώσης που η έλικα προσδίδει στο νερό και είναι ίση με:

$$P_T = T V_A \quad (4.12)$$

Άρα έχουμε ότι:

$$n_H = \frac{P_E}{P_T} = \frac{R_T V}{T V_A} = \frac{R_T / V}{V_A / V} = \frac{1-t}{1-w} \quad (4.13)$$

Για πλοία με μία έλικα ο βαθμός απόδοσης γάστρας παίρνει τιμές από  $1,1 \div 1,4$ , με την υψηλή τιμή να αναφέρεται σε πλοία με υψηλό συντελεστή γάστρας, ενώ για πλοία με δύο έλικες και συμβατική πρύμνη ο βαθμός

απόδοσης γάστρας παίρνει τιμές από 0,95÷1,05, όπου πάλι η υψηλή τιμή αναφέρεται σε πλοία με υψηλό συντελεστή γάστρας.

Επίσης έχουμε το βαθμό απόδοσης έλικας  $n_o$  σε ελεύθερη ροή, δηλαδή με την έλικα να λειτουργεί σε ομοιογενές πεδίο ομόρρου χωρίς την παρουσία γάστρας μπροστά της. Ο βαθμό απόδοσης έλικας σε ελεύθερη ροή εξαρτάται από τη ταχύτητα προχωρήσεως  $V_A$ , το ρυθμό περιστροφής  $n$ , τη διάμετρο  $d$  και από τη σχεδίαση της έλικας, δηλαδή από τον αριθμό των πτερυγίων, το λόγο εκτεταμένης επιφάνειας και από τη σχέση του βήματος με τη διάμετρο της έλικας. Οι τιμές τις οποίες παίρνει είναι από 0,35÷0,75, με την υψηλή τιμή να αναφέρεται σε έλικες με υψηλή ταχύτητα προχωρήσεως. Τέλος ορίζεται και ένας αδιάστατος συντελεστής, ο συντελεστής προχώρησης της έλικας ως:

$$J = \frac{V_A}{nd} \quad (4.14).$$

Επιπροσθέτως ορίζεται ο βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής  $n_R$ . Γνωρίζουμε ότι η ροή του νερού προς την έλικα πίσω από τη γάστρα δεν είναι σταθερή αλλά ούτε και σε ορθή γωνία προς το δίσκο της έλικας αλλά είναι ένα είδος περιστροφικής ροής. Έτσι, σε σχέση με την ελεύθερη ροή, ο βαθμός απόδοσης της έλικας επηρεάζεται από το συντελεστή  $n_R$ . Ο συντελεστής αυτός παίρνει τιμές για πλοία με μία έλικα α#0,017, έχει δηλαδή θετική επιρροή στο βαθμό απόδοσης της έλικας, και για πλοία με δύο έλικες και συμβατικό σχήμα γάστρας είναι περίπου 0,98.

Ακολούθως θα ορίσουμε το βαθμό απόδοσης της έλικας  $n_B$  που λειτουργεί πίσω από το πλοίο. Αυτός ο βαθμός απόδοσης ορίζεται ως το πηλίκο της ισχύος ώσης που η έλικα προσδίδει στο νερό προς την ισχύ  $P_D$  που προσδίδεται στην έλικα. Επομένως θα έχουμε ότι για μία έλικα που λειτουργεί πίσω από το πλοίο ότι ο βαθμός απόδοσής της θα είναι:

$$n_B = \frac{P_T}{P_D} = n_o n_R \quad (4.15)$$

Ακόμα υπάρχει ο βαθμός απόδοσης πρόωσης  $n_D$  που ισούται με το λόγο της ισχύος ρυμουλκήσεως προς την απαιτούμενη ισχύ που προσδίδεται στην έλικα. Δηλαδή ισχύει ότι:

$$n_D = \frac{P_E}{P_D} = \frac{P_E}{P_D} \frac{P_T}{P_D} = n_H n_B = n_H n_o n_R \quad (4.16)$$

Το συμπέρασμα που θα μπορούσε να εξαχθεί από αυτή τη σχέση είναι ότι μία μορφή γάστρας που δίδει υψηλό  $w$  και άρα υψηλό  $n_H$  θα δώσει τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης πρόωσης. Κάτι τέτοιο όμως δεν ισχύει αφού ο  $n_o$  εξαρτάται από την ταχύτητα προχώρησης η οποία μειώνεται με αύξηση του  $w$ . Έτσι γενικά ισχύει ότι τον καλύτερο βαθμό απόδοσης πρόωσης τον έχουμε όταν η έλικα λειτουργεί σε ομοιογενές πεδίο ομόρρου.

Τέλος υπάρχει και ο βαθμός απόδοσης του άξονα  $n_S$  που ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος  $P_D$  που προσδίδεται στην έλικα προς την ισχύ πέδης  $P_B$  που παράγει η κύρια μηχανή, δηλαδή έχουμε ότι:

$$n_S = \frac{P_D}{P_B} \quad (4.17)$$

Ο βαθμός απόδοσης αυτός παίρνει τιμές από 0,96÷0,995 και εξαρτάται από την ευθυγράμμιση και τη λίπανση των εδράνων του άξονα και του μειωτήρα αν υπάρχει.

Μπορούμε επομένως τώρα να ορίσουμε τον ολικό βαθμό απόδοσης  $n_T$  που ισούται με το πηλίκο της ισχύος ρυμουλκήσεως προς την απαιτούμενη ισχύ πέδης. Θα ισχύει άρα ότι:

$$n_T = \frac{P_E}{P_B} = \frac{P_E P_D}{P_D P_B} = n_D n_S = n_H n_O n_R n_S \quad (4.18)$$

#### 4.6 Διαστάσεις της Έλικας

Η απόδοση της έλικας εξαρτάται και από τις διαστάσεις της. Μια σημαντική διάσταση της έλικας είναι η διάμετρος της  $d$ . Γνωρίζουμε ότι ο υψηλότερος βαθμός αποδόσεως πρόωσης επιτυγχάνεται με τη μεγαλύτερη δυνατή διάμετρο της έλικας. Βέβαια τίθενται διάφοροι περιορισμοί οι οποίοι έχουν να κάνουν με το πρυμναίο τμήμα, καθώς αυτό μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το είδος του πλοίου ή με τη σχεδίασή του, αλλά και με την απαραίτητη ανοχή που πρέπει να υπάρχει μεταξύ του άκρου των πτερυγίων της έλικας και της γάστρας ανάλογα με τον τύπο της έλικας. Τέλος για λόγους αντοχής και παραγωγής η διάμετρος της έλικας γενικά δεν θα ξεπερνά τα 10 m και δεν θα απορροφά ισχύ μεγαλύτερη από 9000 kW.

Άλλο ένα γνώρισμα των ελίκων είναι ο αριθμός των πτερυγίων τους. Οι έλικες μπορεί να διαθέτουν 2, 3, 4, 5 ή ακόμα και 6 πτερύγια. Τα πλοία με δίχρονους κινητήρες είναι κατά κανόνα μεγάλα πλοία που φέρουν έλικες με τέσσερα πτερύγια. Για λόγους ταλαντώσεων συνίσταται μερικές φορές η αποφυγή χρησιμοποίησης έλικας με συγκεκριμένο αριθμό πτερυγίων σε ειδικές περιπτώσεις, ώστε να μην έχουμε φαινόμενα συντονισμού στη γάστρα ή στην υπερκατασκευή του πλοίου.

Επίσης χρησιμοποιούμε το συντελεστή εκτεταμένης επιφάνειας ο οποίος ορίζει την ανεπτυγμένη επιφάνεια της έλικας σε σχέση με την επιφάνεια του δίσκου της. Μια καλή τιμή του συντελεστή αυτού θεωρείται η 0,55. Τέλος στις παραδοσιακές τετραπτέρυγες έλικες ο συντελεστής αυτός έχει μικρή σημασία, καθώς μια υψηλότερη τιμή του θα οδηγούσε σε υψηλότερη αντίσταση στην ίδια την έλικα και έτσι θα είχε μικρό αντίκτυπο στο τελικό αποτέλεσμα.

Μεγάλης σημασίας είναι και ο λόγος του βήματος προς τη διάμετρο της έλικας  $p/d$ . Ως βήμα της έλικας αποκαλούμε την απόσταση που η έλικα 'βιδώνεται' προς τα μπροστά μέσα στο νερό ανά περιστροφή, με την προϋπόθεση ότι δεν έχουμε ολίσθηση. Επειδή το βήμα της έλικας μπορεί να ποικίλει κατά μήκος της ακτίνας του πτερυγίου, χρησιμοποιείται συνήθως το βήμα στα  $0,7r$ , όπου  $r=d/2$  η ακτίνα της έλικας. Προκειμένου τώρα να έχουμε τον καλύτερο βαθμό απόδοσης πρόωσης για δεδομένη διάμετρο θα πρέπει να εκλέξουμε το βέλτιστο λόγο βήματος προς διάμετρο ο οποίος αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο ρυθμό περιστροφής. Αν όμως εμείς επιθυμούμε ένα

χαμηλότερο ρυθμό περιστροφής τότε ο λόγος βήματος προς διάμετρο θα πρέπει να αυξηθεί, και αντίστροφα, μειώνοντας έτσι την απόδοση. Αν όμως επιλέξουμε μεγαλύτερη έλικα, εφόσον μας το επιτρέπει το βύθισμα του πλοίου βέβαια, τότε μπορούμε να έχουμε και χαμηλότερο ρυθμό περιστροφής αλλά και καλύτερο βαθμό απόδοσης έλικας.

Τέλος χρησιμοποιούμε και διάφορους αδιάστατους συντελεστές έλικας προκειμένου να μελετήσουμε τη θεωρία των ελίκων. Οι συντελεστές αυτοί έχουν ορισθεί με βάση τη διάμετρο  $d$ , το ρυθμό περιστροφής  $n$  και την πυκνότητα μάζας του νερού  $\rho$ . Έτσι έχουμε το συντελεστή προχώρησης που έχει ήδη ορισθεί ως:  $J = \frac{V_A}{nd}$  και είναι μια αδιάστατη έκφραση της ταχύτητας προχώρησης. Επίσης έχουμε την αδιάστατη έκφραση της δύναμης της ώσης  $K$ , που εκφράζεται με το συντελεστή ώσης  $K_T$  ως:

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 d^4} \quad (4.19)$$

Ακόμα έχουμε ότι η ροπή της έλικας δίνεται από τον τύπο:

$$Q = \frac{P_D}{2\pi n} \quad (4.20)$$

και η αδιάστατη έκφρασή της γίνεται μέσω του συντελεστή ροπής  $K_Q$ , όπου:

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 d^5} \quad (4.21)$$

Έτσι για το βαθμό απόδοσης της έλικας έχουμε και την εξής έκφραση:

$$n_B = \frac{P_T}{P_D} = \frac{TV_A}{Q2\pi n} = \frac{K_T J}{K_Q 2\pi} \quad (4.22)$$

Μέσω αρκετά περίπλοκων διαγραμμάτων της έλικας που περιέχουν και τους παραπάνω συντελεστές είναι εφικτό να υπολογισθούν ή να βρεθούν οι διαστάσεις της έλικας, ο βαθμός απόδοσης, η ώση, η ισχύς κ.α.

#### 4.7 Ολίσθηση

Η ολίσθηση της έλικας του πλοίου είναι ένα φαινόμενο που σχετίζεται με τις συνθήκες λειτουργίας της έλικας. Θα αναφερθούμε αναλυτικά σε αυτήν καθώς η επίδρασή της στον κινητήρα του πλοίου είναι το θέμα με το οποίο ασχολούμαστε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Προκειμένου να ορίσουμε όμως την ολίσθηση θα πρέπει πρωτίτερα να επεξηγήσουμε τις εξής τρεις ταχύτητες:

- την ταχύτητα που θα είχε η έλικα αν λειτουργούσε σε στερεό σώμα  $V_T$
- την ταχύτητα του πλοίου  $V$
- την ταχύτητα προχώρησης  $V_A$

Η έλικα λειτουργεί μέσα σε ένα ρευστό. Αν το ρευστό αυτό δεν υποχωρούσε κατά τη λειτουργία της έλικας, δηλαδή αν δεν επιταχυνόταν προς τα πίσω, τότε η έλικα θα προχωρούσε μπροστά με μία ταχύτητα:

$$V_T = \rho n \quad (4.23)$$

, όπου  $n$  είναι ο ρυθμός περιστροφής της έλικας και  $p$  το βήμα της. Η ταχύτητα αυτή συμβολίζεται με  $V_T$  και θεωρούμε το ρευστό μπροστά από την έλικα ακίνητο.

Στην πραγματικότητα όμως, η ταχύτητα της έλικας είναι μικρότερη από την  $V_T$  και ίση με την ταχύτητα του πλοίου  $V$ , αφού το νερό που φτάνει στην έλικα κινείται προς τα εμπρός και έτσι έχουμε μια απώλεια ενέργειας.

Επίσης έχουμε και την  $V_A$ , που είναι η ταχύτητα προχώρησης της έλικας, δηλαδή μας δίνει τη σχετική ταχύτητα του πλοίου σε σχέση με την ταχύτητα του νερού μέσα στο οποίο πλέει.

Επομένως ως φαινόμενη ολίσθηση ορίζουμε τη διαφορά  $V_T - V$  και ο αδιάστατος φαινόμενος λόγος ολίσθησης  $S_A$  θα ισούται με:

$$S_A = \frac{V_T - V}{V_T} = 1 - \frac{V}{V_T} \quad (4.24)$$

Ο λόγος αυτός δίνεται ως ποσοστό επί τοις εκατό, μπορεί να είναι θετικός, μηδέν ή αρνητικός και μπορεί να έχει μια διακύμανση από -15% έως +15%. Επίσης μας παρέχει μια αποτύπωση των φορτίων που ασκούνται στην έλικα κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Επιπροσθέτως ο λόγος αυτός μετράται από το πλήρωμα. Ο πιο ακριβής τρόπος είναι να μετρήσουμε το χρόνο που χρειάζεται το πλοίο προκειμένου να διανύσει ακριβώς ένα μίλι ώστε να βρούμε την ταχύτητά του. Έτσι γνωρίζοντας τις στροφές της έλικας και το βήμα της μπορούμε να υπολογίσουμε τον  $S_A$  από τον τύπο:

$$S_A = \frac{(P/12) - 101.3Kts}{(P/12)n} \quad (4.25)$$

, όπου  $Kts$  είναι η ταχύτητα του πλοίου  $V$  σε κόμβους και  $P$  το βήμα της έλικας σε ίντσες. Η ολίσθηση επηρεάζεται από παράγοντες όπως είναι τα διάφορα ρεύματα που επικρατούν, από την 'ισοστάθμιση' του πλοίου, από το βήμα της έλικας για πλοία με έλικα μεταβλητού βήματος, από τον καιρό, από τις πρόσκαιρες συνθήκες λειτουργίας του πλοίου (π.χ. μεταβολή της ταχύτητάς του), από τη ρύπανση της γάστρας και του πηδαλίου κ.α. Έτσι όταν το πλοίο για παράδειγμα πλέει αντίθετα με τον άνεμο ή τα κύματα ή όταν πλέει σε ρηχά νερά ή όταν η γάστρα είναι ρυπασμένη καθώς επίσης και όταν το σκάφος επιταχύνει ο φαινόμενος λόγος ολίσθησης αυξάνεται.

Εκτός από τη φαινόμενη ολίσθηση έχουμε και την πραγματική ολίσθηση. Ως πραγματική ολίσθηση ορίζεται η διαφορά  $V_T - V_A$ , και αντιστοίχως με πριν, ορίζουμε τον αδιάστατο πραγματικό λόγο ολίσθησης  $S_R$ , όπου:

$$S_R = \frac{V_T - V_A}{V_T} = 1 - \frac{V_A}{V_T} = 1 - \frac{V(1-w)}{V_T} \quad (4.26)$$

Ο πραγματικός λόγος ολίσθησης δίνεται και αυτός ως ποσοστό επί τοις εκατό και είναι πάντα θετικός και πολύ μεγαλύτερος από το φαινόμενο λόγο ολίσθησης, παίρνοντας τιμές ακόμα και έως 40%. Να αναφέρουμε τέλος ότι ο πραγματικός λόγος ολίσθησης δίνει μια πιο αληθινή εικόνα λειτουργίας της έλικας.

#### 4.8 Ο Νόμος της Έλικας



Ο νόμος της έλικας είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς μας παρέχει μια συσχέτιση ανάμεσα στην ταχύτητα του πλοίου και την ισχύ που απαιτείται προκειμένου να κινηθεί με αυτήν την ταχύτητα.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, για πλοία χαμηλής ταχύτητας πλεύσης, η αντίσταση  $R$  είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του πλοίου  $V$ . Επομένως ισχύει ότι:

$$R=cV^2 \quad (4.27)$$

, όπου  $c$  είναι μια σταθερά. Άρα η απαιτούμενη ισχύς θα είναι ανάλογη της τρίτης δύναμης της ταχύτητας του πλοίου  $V$  αφού:

$$P=RV=cV^3 \quad (4.28)$$

Για πλοία με έλικα σταθερού βήματος θα ισχύει ότι η ταχύτητα του πλοίου θα είναι ανάλογη του ρυθμού περιστροφής  $n$  της έλικάς του, δηλαδή:

$$P=cn^3 \quad (4.29)$$

Αυτός ακριβώς είναι και ο νόμος της έλικας σύμφωνα με τον οποίο, η αναγκαία ισχύς που απορροφάται από την έλικα είναι ανάλογη με την τρίτη δύναμη του ρυθμού περιστροφής της.

Από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί διαπιστώνουμε ότι η σχέση αυτή είναι αρκετά ικανοποιητική για μια δεδομένη κατάσταση καιρού. Αρκετά συχνά βέβαια χρησιμοποιούμε για τη σχέση ισχύος και ταχύτητας μια δύναμη μεγαλύτερη του τρία. Πιο συγκεκριμένα θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τις σχέσεις:

- $P=cV^{4.5}$  για πλοία υψηλών ταχυτήτων (4.30)

- $P=cV^4$  για πλοία μεσαίου μεγέθους και ταχύτητας (4.31)

- $P=cV^{3.5}$  για πλοία χαμηλής ταχύτητας (4.32)

Επίσης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον νόμο της έλικας για όμοιες λειτουργίες του πλοίου, όπως για παράδειγμα όταν η γάστρα του έχει ρυπανθεί, οπότε το πλοίο θα αντιμετωπίζει αυξημένη αντίσταση και επομένως η έλικα θα έχει μια υψηλή φόρτιση. Έτσι για την ίδια ισχύ στην έλικα ο ρυθμός περιστροφής της θα είναι χαμηλότερος και ο νόμος της έλικας θα ισχύει για μια 'υψηλότερη' καμπύλη έλικας από αυτή που έχουμε για καθαρή γάστρα πλοίου.

Ακόμα οι ίδιες κατά αναλογία συνθήκες ισχύουν και όταν το πλοίο πλέει με άσχημο καιρό αντίθετα στο ρεύμα, σε ένα δυνατό άνεμο ή σε μεγάλα κύματα, όπου η αντίσταση κυματισμού μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη φόρτιση της έλικας από όταν έχουμε ήρεμο καιρό. Από την άλλη πλευρά όταν το πλοίο πλέει σε κατάσταση ερματισμού, έχοντας δηλαδή χαμηλότερο εκτόπισμα, τότε ο νόμος της έλικας ισχύει για μια 'χαμηλότερη' καμπύλη έλικας, δηλαδή για την ίδια ισχύ της έλικας έχουμε αύξηση του ρυθμού περιστροφής της.

Γενικά ο νόμος της έλικας χρησιμοποιείται κατά κόρον για πλοία με έλικα σταθερού βήματος και λειτουργία σε μερική φόρτιση. Επίσης χρησιμοποιείται και στο διάγραμμα φόρτισης αλλά και στο πεδίο λειτουργίας

των κινητήρων Diesel ώστε να προσδιορίσει τις καμπύλες λειτουργίας του κινητήρα του πλοίου για καθαρή και ρυπασμένη γάστρα κ.λ.π.

Στο σημείο αυτό θα ήταν χρήσιμο να αναφέρουμε το πώς επιδρούν διάφοροι παράγοντες στον νόμο της έλικας. Για παράδειγμα, όταν το πλοίο πλέει με άσχημο καιρό, τότε θα πρέπει να προσθέσουμε ένα επιπλέον περιθώριο ισχύος, το οποίο επιλέγεται συνήθως να είναι 15%, που αποκαλείται περιθώριο θάλασσας. Αυτό το περιθώριο ισχύος αφορά την κάλυψη της επιπλέον αντίστασης που θα έχουμε λόγω του άσχημου καιρού. Βέβαια σε συνθήκες πολύ άσχημου καιρού ενδέχεται η επίδραση στην αντίσταση του πλοίου να είναι πολύ μεγαλύτερη. Επίσης όταν έχουμε άσχημο καιρό, ή γενικά αυξημένη αντίσταση, έχουμε και αύξηση της ολίσθησης της έλικας λόγω της αυξανόμενης ώσης που προκαλείται από τη αύξηση της αντίστασης του πλοίου. Τέλος σε συνθήκες άσχημου καιρού και με ρυπασμένη γάστρα ενδέχεται η αύξηση της απαιτούμενης ισχύος να είναι της τάξης ακόμα και του 100% ή και ακόμα μεγαλύτερη.

Επίσης όταν το πλοίο πλέει με άσχημο καιρό αντίθετα στο ρεύμα, με υψηλή αντίσταση κυματισμού, η επιπλέον φόρτιση σε σύγκριση με όταν έχουμε καλό καιρό είναι της τάξης του 7-8% και άρα ο ρυθμός περιστροφής της έλικας μειώνεται κατά το ίδιο ποσοστό. Σε τέτοιες συνθήκες προκειμένου να αποφύγουμε τη σφυρόκρουση του πλοίου, και άρα τις ζημιές στην πλώρα, και υπερτάχυνση της έλικας αν ξενερίζει, η ταχύτητα του πλοίου μειώνεται από τον καπετάνιο.

Άλλος ένα παράγοντας που επιδρά στον νόμο της έλικας είναι η επιτάχυνση του πλοίου. Αυτό συμβαίνει καθώς κατά την επιτάχυνση η φόρτιση της έλικας είναι υψηλότερη από όταν το πλοίο κινείται με σταθερή ταχύτητα και έτσι το σημείο λειτουργίας του κινητήρα θα αντιστοιχεί σε αυξημένη φόρτιση καθώς χρειάζεται κάποιο χρόνο για να αυξηθεί η ταχύτητα της έλικας.

Επιπροσθέτως όταν έχουμε πλεύση του πλοίου σε ρηχά νερά έχουμε αύξηση της φόρτισης της έλικας του λόγω αύξησης της υπόλοιπης αντίστασής του.

Το εκτόπισμα επιδρά επίσης στον νόμο της έλικας. Έτσι ένα πλοίο σε έμφορτη κατάσταση μπορεί να έχει για παράδειγμα 10% μεγαλύτερο ή μικρότερο όγκο εκτοπίσματος από αυτόν που αντιστοιχεί στην μέση έμφορτη κατάσταση. Θα έχουμε επομένως επίδραση στην αντίσταση του πλοίου και άρα στην απαιτούμενη ισχύ, αλλά η επίδραση στον νόμο της έλικας θα είναι μικρή. Αν το πλοίο βρίσκεται σε κατάσταση ερματισμού τότε ο όγκος εκτοπίσματος του μπορεί να είναι λόγω χάρη 2% χαμηλότερος συγκρινόμενος με αυτόν σε έμφορτη κατάσταση και άρα, για την ίδια ισχύ έλικας, να έχουμε αύξηση του ρυθμού περιστροφής της κατά 2%.

Ακόμα, υπάρχουν κάποιοι παράμετροι που επιφέρουν αυξημένη φόρτιση στην έλικα. Οι παράμετροι αυτοί αποτελούν ένα δείκτη ευαισθησίας εμφάνισης αυξημένης φόρτισης της έλικας κατά την πλεύση σε άσχημες

καιρικές συνθήκες. Έτσι μικρά πλοία είναι πιο ευαίσθητα, σε αντίθεση με τα μεγάλα πλοία όπου τα κύματα είναι σχετικά μικρά σε σχέση με το μέγεθός τους. Επίσης τα μικρά πλοία έχουν μικρή κατευθυντική ευστάθεια και επομένως χρειάζονται συχνές διορθώσεις του πηδαλίου και έτσι αυξάνεται η αντίστασή τους. Επιπροσθέτως τα υψηλής ταχύτητας πλοία είναι πιο ευαίσθητα από τα αργά επειδή τα κύματα ασκούν μεγαλύτερη δύναμη στα γρηγορότερα πλοία. Γνωρίζουμε ακόμα ότι πλοία με επίπεδη πλώρη επιβραδύνονται πιο γρήγορα από τα κύματα σε σχέση με αυτά που έχουν πιο οξεία πλώρη. Για το σκοπό αυτό η χρήση ενός βολβού σε σχήμα πέλεκυ μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της τάσης αύξησης της φόρτισης, αφού θα έκοβε καλύτερα τα κύματα. Άλλη μια παράμετρος αποτελεί η ρύπανση της γάστρας και της έλικας που οδηγεί σε αύξηση της αντίστασης. Τέλος πλοία με έλικα που φέρουν πτερύγια κεκκαμένης χορδής είναι ικανά να απορροφήσουν μεγαλύτερη ροπή υπό συνθήκες αυξημένης φόρτισης.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή θα αναφερθούμε στην ταχύτητα ελιγμών και την πλευρική ώση. Ως ταχύτητα ελιγμών ορίζουμε την ταχύτητα εκείνη κάτω από την οποία η ικανότητα του πηδαλίου δεν είναι ικανοποιητική ώστε να στρέψει το πλοίο, αφού η ταχύτητα του νερού που φθάνει στο πηδάλιο είναι πολύ χαμηλή. Αν και είναι αρκετά δύσκολο να προσδιορίσουμε την ταχύτητα αυτή, καθώς εξαρτάται από τον ομόρρου της έλικας, συνήθως αναφέρουμε ως ταχύτητα ελιγμών ταχύτητες της τάξης των 3,5-4,5 κόμβων. Επομένως αφού η ταχύτητα ελιγμών είναι μικρή, από τον νόμο της έλικας θα έχουμε ότι απαιτείται και αντιστοίχως μικρή ισχύ πρόωσης, η οποία βέβαια θα είναι υψηλότερη για λειτουργία με αυξημένη αντίσταση του πλοίου.

Τέλος όσον αφορά την πλευρική ώση, αυτή αποτελεί το αποτέλεσμα του γεγονότος ότι όταν ένα πλοίο πλέει τα πτερύγιά του 'πιάνουν' καλύτερα στην χαμηλότερη θέση από ότι στην υψηλότερη όπου η γάστρα εμποδίζει την ομαλή ροή του νερού. Έτσι η πλευρική ώση είναι τόσο μεγαλύτερη όσο ρηχότερο είναι το νερό, όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια των ελιγμών μέσα στα λιμάνια. Έχουμε λοιπόν ότι για μια δεξιόστροφη έλικα (που κινείται σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού κοιτώντας από την πρύμνη προς την πλώρα) θα τείνει να σπρώξει την πρύμνη του πλοίου προς τα δεξιά, δηλαδή θα στραφεί η πλώρα προς τα αριστερά κατά τη διάρκεια κανονικής πλεύσης. Αυτό το φαινόμενο θα πρέπει να αντισταθμιστεί από το πηδάλιο. Αντίστοιχη συμπεριφορά έχουμε όταν η έλικα λειτουργεί ανάστροφα, όπου η πλευρική ώση αυξάνεται όσο μειώνεται η ταχύτητα του πλοίου. Η δημιουργία πλευρικής ώσης κατά την ανάστροφη λειτουργία της έλικας οφείλεται στο ότι το επάνω τμήμα του ομόρρου της έλικας χτυπά την πρύμνη του πλοίου. Τέλος οι έλικες σταθερού βήματος σχεδιάζονται δεξιόστροφες για πλεύση προς τα εμπρός, ενώ οι μεταβλητού βήματος αριστερόστροφες.

#### **4.9 Πρόωση και Σημεία Λειτουργίας της Μηχανής**

Ως σημείο σχεδιάσεως PD ορίζεται ο συνδυασμός ταχύτητας και ισχύος που προκύπτει από εκτιμήσεις που έχουμε κάνει για την απαιτούμενη ισχύ της έλικας καθώς επίσης και για το ρυθμό περιστροφής της.

Επίσης έχουμε και το σημείο αυξημένης φόρτισης HR το οποίο εμπεριέχει την αύξηση ισχύος που θα πρέπει να δώσει ο κινητήρας του πλοίου προκειμένου να υπερνικήσει την αύξηση της αντίστασης που έχει προκληθεί από τη ρύπανση της γάστρας του.

Έχουμε ήδη αναφερθεί στο περιθώριο θάλασσας, απλώς εδώ να συμπληρώσουμε ότι για μεγάλα πλοία μπορεί να είναι ακόμα και το 30% του PD, ενώ για τα υπόλοιπα πλοία όπως έχουμε ήδη προαναφέρει είναι 15% του PD.

Ο συνδυασμός ταχύτητας και ισχύος που προκύπτει, έχοντας όμως λάβει υπόψη μας τη βαριά λειτουργία της έλικας HR αλλά και το περιθώριο θάλασσας, αποκαλείται ισχύς πρόωσης συνεχούς λειτουργίας SP με ρυπασμένη γάστρα και άσχημο καιρό. Η ισχυρώς φορτισμένη καμπύλη έλικας για ρυπασμένη γάστρα και άσχημο καιρό θα αποτελεί τη βάση για την καμπύλη λειτουργίας του κινητήρα, ενώ η καμπύλη έλικας για καθαρή γάστρα και ήρεμο νερό θα αντιπροσωπεύει την καμπύλη μειωμένης φόρτισης LR.

Επιπροσθέτως έχουμε την ισχύ συνεχούς λειτουργίας σε κατάσταση υπηρεσίας S που είναι η ισχύς, συμπεριλαμβανομένου και του περιθωρίου θάλασσας, στην οποία ο κινητήρας θεωρείται ότι λειτουργεί και το σημείο S είναι ίδιο με το SP, εκτός και αν υπάρχει εγκατεστημένη γεννήτρια στον άξονα.

Ακόμα, έχουμε το περιθώριο μηχανής που είναι συνήθως 10÷15% και προστίθεται ως ένα περιθώριο στη λειτουργία του κινητήρα. Το αντίστοιχο σημείο αποκαλείται προδιαγεγραμμένη μέγιστη συνεχή ισχύς για πρόωση MP.

Τέλος έχουμε και την προδιαγεγραμμένη μέγιστη συνεχή ισχύ M, που είναι η μέγιστη ισχύς που απαιτείται από το ναυπηγείο ή τον ιδιοκτήτη για συνεχή λειτουργία του κινητήρα. Το σημείο MP είναι ίδιο με το συγκεκριμένο σημείο MCR της μηχανής M, εκτός και αν υπάρχει εγκατεστημένη γεννήτρια στον άξονα.

Πριν κλείσουμε αυτό το κεφάλαιο να αναφέρουμε ότι το πεδίο ρυθμίσεως σε δίχρονους κινητήρες ορίζεται από δύο ευθείες μέσης πίεσης και άλλες δύο ευθείες σταθερής ταχύτητας του κινητήρα. Μέσα σε αυτό το πεδίο λειτουργίας μπορεί κανείς να επιλέξει ελεύθερα και να ορίσει ως MCR οποιοδήποτε σημείο M και το αντίστοιχο σημείο βέλτιστης λειτουργίας O, που είναι το βέλτιστο για το πλοίο και τις προδιαγραφές χρήσεως και λειτουργίας.

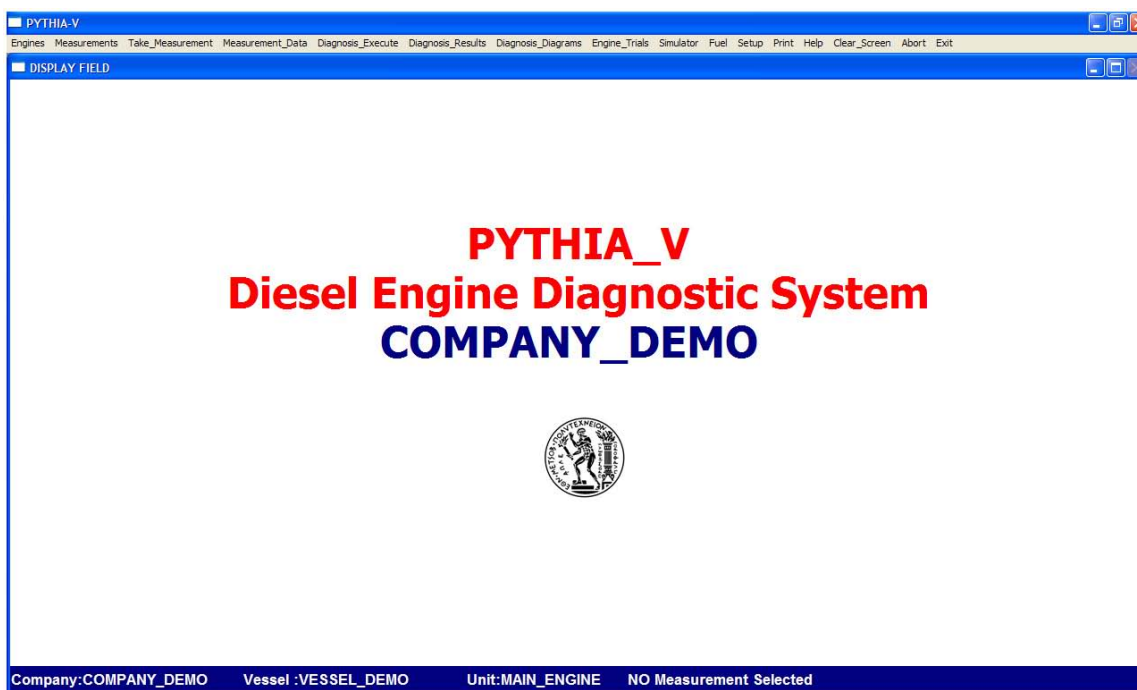
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## Περιγραφή του Διαγνωστικού Λογισμικού EDS-V

### 5.1 Εισαγωγή

Το πρόγραμμα αυτό έχει αναπτυχθεί από τον καθηγητή του Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κύριο Χουντάλα Δημήτριο. Πρόκειται για ένα διαγνωστικό κώδικα που έχει την ικανότητα και να προσομοιώσει τη λειτουργία του κινητήρα για διάφορες συνθήκες λειτουργίας, όπως για παράδειγμα μεταβάλλοντας τις στροφές του κινητήρα, την κατανάλωση καυσίμου κ.α. Επίσης έχει την ικανότητα λήψης μετρήσεων και την προσομοίωση βλαβών.

Παρακάτω φαίνεται η κύρια επιφάνεια εργασίας, όπου στο άνω μέρος διακρίνεται το κύριο μενού του προγράμματος και στο κάτω μέρος διακρίνονται το όνομα της εταιρείας, το όνομα του πλοίου, καθώς επίσης και ο υπό εξέταση κινητήρας αλλά και η μέτρηση στην οποία αναφερόμαστε.



Εικόνα 5-1 Κύρια Επιφάνεια Εργασίας

Το κύριο μενού περιλαμβάνει τις εξής επιλογές:

- Η πρώτη επιλογή είναι η **‘Engines’**, όπου από εκεί μπορούμε να διαλέξουμε την μηχανή που θέλουμε να διαγνώσουμε ή να πάρουμε μετρήσεις.
- Η δεύτερη επιλογή είναι η **‘Measurements’**, μέσω της οποίας μπορούμε να διαλέξουμε μια μέτρηση από τη βάση δεδομένων για διάγνωση ή να αποθηκεύσουμε την τελευταία μέτρηση ή να μεταφέρουμε δεδομένα σε μία εξωτερική μονάδα ή να αποθηκεύσουμε δεδομένα από μία εξωτερική μονάδα. Επίσης μπορούμε να διαγράψουμε μια μέτρηση και γενικά να ελέγξουμε τη βάση δεδομένων μας.
- **‘Measurement\_Data’** είναι η επόμενη επιλογή και μέσω αυτής μπορούμε να δούμε, να εισάγουμε ή να τροποποιήσουμε τα περιφερειακά δεδομένα μιας μέτρησης. Ακόμα μπορούμε να δούμε τις ανεπεξέργαστες μετρήσεις της πίεσης των κυλίνδρων και τα δεδομένα της έγχυσης καυσίμου.
- Ακολουθεί η επιλογή **‘Take\_Measurement’** που χρησιμοποιείται για να εκκινήσει τη διαδικασία λήψης μετρήσεων. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται ένα φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής με εγκατεστημένο το διαγνωστικό λογισμικό EDS-V. Αρχικά επιλέγουμε από την επιλογή **‘Engines’** τον κινητήρα στον οποίο θα γίνουν οι μετρήσεις. Ακολούθως συνδέεται το καλώδιο του αισθητήρα με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και με τον αισθητήρα πίεσης και επιλέγουμε από το κύριο μενού του λογισμικού την επιλογή **‘Take\_Measurement’**. Έπειτα εισάγονται οι στροφές του κινητήρα. Μετά συνδέεται ο μετασχηματιστής με τον κύλινδρο στον οποίο θα γίνει η μέτρηση και επιλέγοντας την επιλογή **‘Measure Cylinder’** γίνεται η μέτρηση. Αφού αποθηκευτεί η μέτρηση επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία και για τους υπόλοιπους κυλίνδρους του κινητήρα. Τέλος αποθηκεύονται όλες οι μετρήσεις και ορίζονται οι τιμές των περιφερειακών δεδομένων όπως είναι η πίεση και η θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως.
- Επίσης με την επιλογή **‘Diagnosis\_Execute’** μπορούμε να έχουμε μια απλή ή μία πιο λεπτομερή πρόβλεψη των λειτουργιών του κινητήρα.
- Προκειμένου να δούμε τα αποτελέσματα της πρόβλεψης χρησιμοποιούμε την επιλογή **‘Diagnosis\_Results’**.
- Ακόμα μέσω της επιλογής **‘Diagnosis\_Diagrams’** μπορούμε να έχουμε γραφική απεικόνιση της πίεσεως των κυλίνδρων, του ρυθμού της καύσης και της πίεσεως εγχύσεως του καυσίμου (αν είναι διαθέσιμη). Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης των διαγραμμάτων των διαφόρων κυλίνδρων με τα διαθέσιμα διαγράμματα αναφοράς.

- Επιπροσθέτως με την επιλογή **'Engine\_Trials'** μπορούμε να έχουμε πρόσβαση στις μετρήσεις που έχουν γίνει στο ναυπηγείο κατασκευής του πλοίου ή στις δοκιμές θαλάσσης. Επίσης χρησιμοποιούνται ως βάση για να υπολογίσει ο κώδικας τα διάφορα μεγέθη λειτουργίας του κινητήρα.
- Άλλη μια επιλογή είναι η **'Simulator'**. Αποτελεί μια ανεπτυγμένη διαδικασία που μας παρέχει προσομοίωση του κινητήρα χρησιμοποιώντας δεδομένα που έχουν ορισθεί από το χειριστή του προγράμματος, όπως είναι για παράδειγμα οι στροφές του κινητήρα, η προπορεία έγχυσης καυσίμου κ.α. Επίσης μέσω της συγκεκριμένης επιλογής μπορούμε να έχουμε προσομοίωση του κινητήρα με περιορισμό τυχόν λαθών του συστήματος. Μπορούμε ακόμα να τροποποιήσουμε την ευαισθησία των αισθητήρων ή και να προσθέσουμε νέα διαγράμματα αναφοράς κυλίνδρων μετά από την προσομοίωση.
- Με την επιλογή **'Fuel'** μπορούμε να ορίσουμε τις ιδιότητες του καυσίμου. Αυτές θα πρέπει να ορισθούν πριν από την προσομοίωση.
- **'Setup'** είναι η επόμενη επιλογή και μέσω αυτής ορίζουμε τις παραμέτρους της διάγνωσης, τα αποδεκτά όρια λειτουργίας του κινητήρα κ.α.
- Η επόμενη επιλογή είναι η **'Print'** και με αυτήν μπορούμε να τυπώσουμε το περιεχόμενο της οθόνης ή να το αποθηκεύσουμε ως αρχείο 'BMP'.
- Ακολουθεί η επιλογή **'Help'** που μας παρέχει βοήθεια για την κυρίως διαδικασία διάγνωσης.
- Έχουμε ακόμα την επιλογή **'Clear\_Screen'** με την οποία καθαρίζει η οθόνη.
- Η προτελευταία επιλογή είναι η **'Abort'** με την οποία τερματίζει η διαδικασία διάγνωσης κατά την εκτέλεσή της.
- Τέλος μπορούμε να βγούμε από το πρόγραμμα με την εντολή **'Exit'**.

## 5.2 Επιλογή **'Engine\_Trials'**

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό το πρόγραμμα αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι μετρώντας μόνο τις πιέσεις των κυλίνδρων, κάτι το οποίο γίνεται με πολύ απλό τρόπο, μπορούμε να εξάγουμε σημαντικά συμπεράσματα.

Επειδή ακριβώς οι δυνατότητες του προγράμματος είναι πολλές, στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου αυτού θα αναφερθούμε μόνο στις επιλογές που εμείς χρησιμοποιήσαμε από το κύριο μενού.

Αρχικά ασχοληθήκαμε με την επιλογή 'Engine\_Trials'. Μέσω αυτής μπορούμε να έχουμε πρόσβαση στα shop test (μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί από την εταιρία κατασκευής του πλοίου στο ναυπηγείο) και στα sea trials (δοκιμές θαλάσσης, μετρήσεις δηλαδή που έχουν πραγματοποιηθεί στη θάλασσα κατά την παραλαβή του πλοίου). Επίσης μας παρέχεται η δυνατότητα να εκτιμήσουμε τη λειτουργία του κινητήρα χρησιμοποιώντας τα δεδομένα αυτά. Η επιφάνεια εργασίας που εμφανίζεται όταν επιλέξουμε από το κύριο μενού την επιλογή 'Engine\_Trials' παρατίθεται παρακάτω.



Εικόνα 5-2 Επιφάνεια Εργασίας 'Engine\_Trials'

Όπως παρατηρούμε, επιλέγοντας την επιλογή 'Engine\_Trials', εμφανίζονται τρεις επιλογές. Η πρώτη είναι η 'Display Shop Test Data' με την οποία μας παρουσιάζονται τα shop test και η επιφάνεια εργασίας φαίνεται στην εικόνα 5-3. Αν επιλέξουμε τα κουμπιά που βρίσκονται στην πάνω δεξιά γωνία μπορούμε να μεταβούμε και στα υπόλοιπα shop test.



ENGINE TEST DATA											
Company:	COMPANY_DEMO		Vessel:	VESSEL_DEMO		Unit:	MAIN_ENGINE		Engine S/N:	SERIAL_1	
						Engine Name:	7CYL_2Str		Shop Test:	1	
General Operation Data											
Date	27-7-2011	Speed (rpm)	57.3	Load (%)	25.0	Fuel (kg/h)	905.0	Loaded/Ballast	Ballast		
Ind. Power (kW)	5281.6	Brake Power (kW)	4655.7	E/R Temperature (C)	27.5						
Fuel Density (kg/m <sup>3</sup> )	907.0	Fuel Temp. (C)	0.0	E/R Pressure (mbar)	1019.0						
H. Value (kcal/kg)	10015.0	Fuel Sulfur (%)	0.0					Sea Condition	Normal		
Cylinder Data											
	1	2	3	4	5	6			Mean		
Max. Pressure (bar)	75.0	76.0	75.0	77.0	77.0	76.0			76.0		
Compr. Pressure (bar)	49.0	49.0	50.0	50.0	50.0	50.0			49.7		
Cyl. Temp. (C)	295.0	300.0	300.0	295.0	300.0	310.0			300.0		
Fuel Pump Index (-)	53.0	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0			52.2		
VIT Index (-)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			52.2		
Gas Exchange System											
	Turbocharger Data						Air Cooler Data				
	1	2					1	2			
Speed (rpm)	5580.0	5589.0					Air Temperature Before Cooler (C)	53.0	52.0		
Scav. Pressure-Gauge (bar)	0.36	0.36					Scavenging Air Temperature (C)	26.0	26.0		
Exh. Man. Pressure-Gauge (bar)	0.28	0.28					Water Temperature In (C)	23.0	23.0		
Exh. Back Pressure (mmW)	10.0	10.0					Water Temperature Out (C)	24.0	23.0		
Turbine Inlet Temp. (C)	355.0	370.0					Pressure Drop (mmW)	72.0	70.0		
Turbine Outlet Temp. (C)	285.0	288.0					Air Filter Pressure Drop (mmW)	2.0	1.0		

Εικόνα 5-3 Επιφάνεια Εργασίας ‘Display Shop Test Data’

Η δεύτερη επιλογή που εμφανίζεται είναι η ‘Display Sea Trial-Site Test Data’ η οποία είναι παρόμοια της προηγούμενης, με τη διαφορά ότι εμφανίζει τα sea trials ή τα site tests (για σταθμούς παραγωγής ενέργειας) αντί των shop test.

Τέλος έχουμε την επιλογή ‘Estimate Output Using Trials’, με την οποία μπορούμε να εκτιμήσουμε τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του κινητήρα για μία δοσμένη ταχύτητα περιστροφής του ή για ένα δοσμένο φορτίο, βασιζόμενη στην κατάσταση του κινητήρα, δηλαδή για παράδειγμα ‘Marine’ ή ‘Stationary’. Ο κώδικας, μας παρέχει τα αποτελέσματα που επιθυμούμε στηριζόμενος στα διαθέσιμα trials ως σημεία αναφοράς. Έτσι ο χειριστής του προγράμματος εισάγει την ταχύτητα περιστροφής ή το φορτίο που επιθυμεί, όπως φαίνεται στην εικόνα 5-4.

**ENGINE OPERATING POINT**

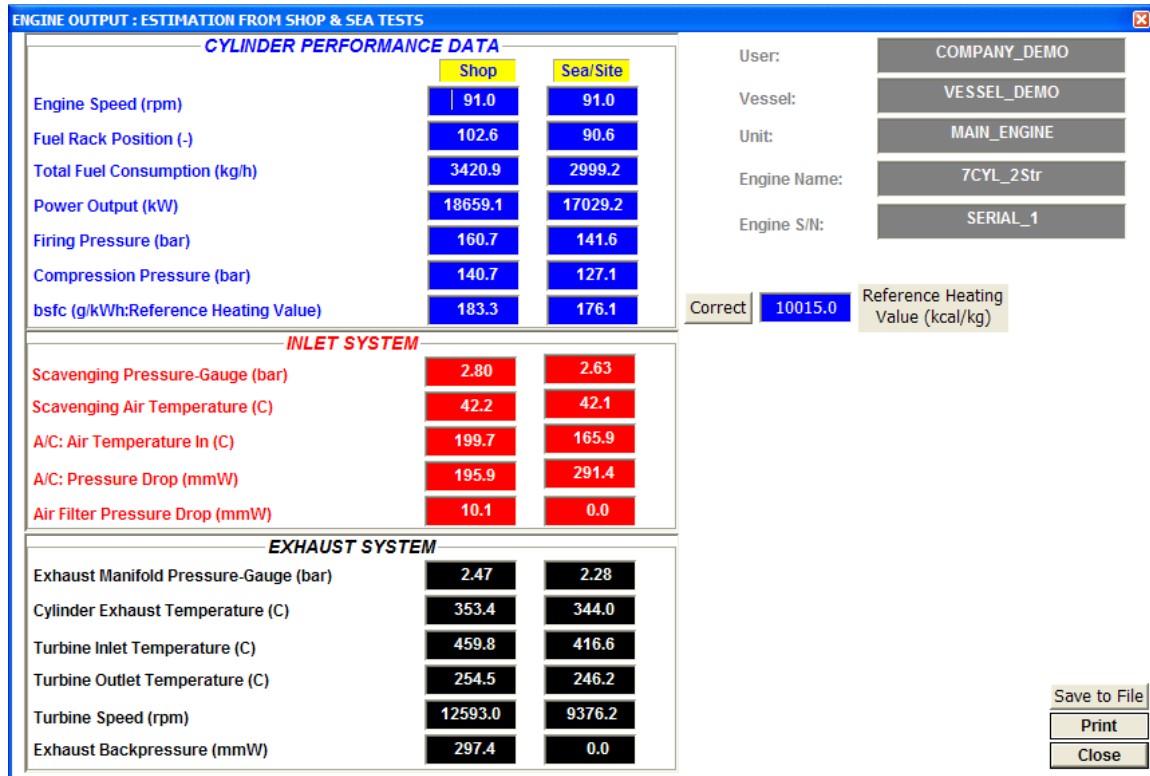
**Operating Data**

Engine Speed (rpm)

Engine Load (%)

Εικόνα 5-4 Εισαγωγή Δεδομένων για την Επιλογή ‘Estimate Output Using Trials’

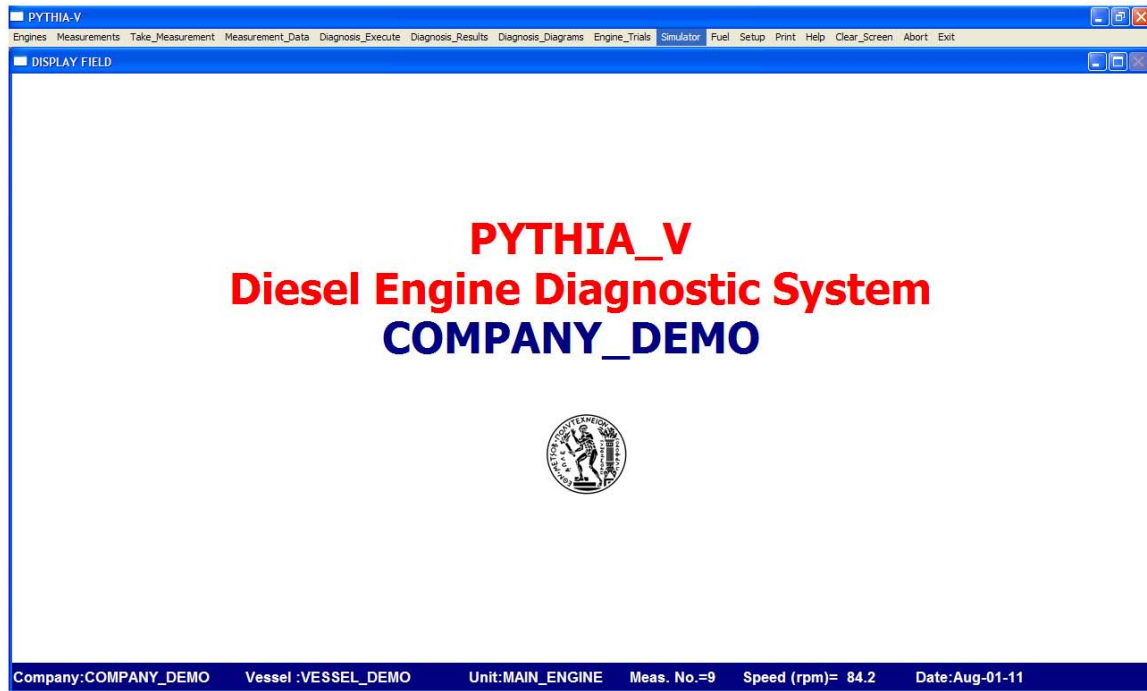
Ακολουθώντας λοιπόν αυτή τη διαδικασία παίρνουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα σε επιφάνεια εργασίας που φαίνεται παρακάτω (εικόνα 5-5). Αυτή η εικόνα εμφανίζεται και για τα δύο είδη των trials. Αποτελεί μια εναλλακτική μεθοδολογία, απλοϊκή, για την εκτίμηση της λειτουργικής συμπεριφοράς του κινητήρα χωρίς τη χρήση προσομοίωσης.



Εικόνα 5-5 Αποτελέσματα 'Estimate Output Using Trials'

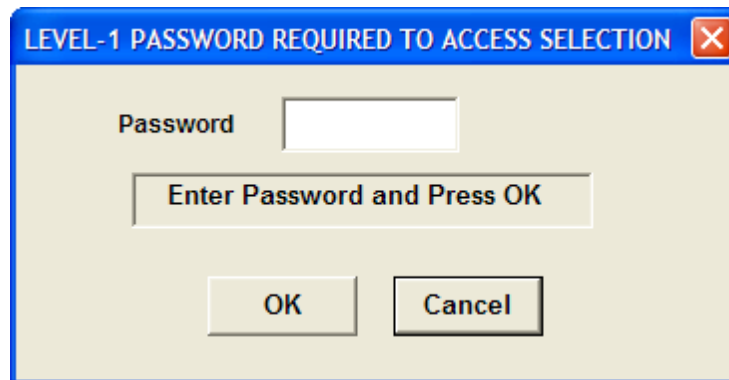
### 5.3 Επιλογή 'Simulator'

Πρόκειται για τον προσομοιωτή που είναι ενσωματωμένος στον κώδικα. Χρησιμοποιώντας αυτήν την επιλογή ενεργοποιείται η δυνατότητα προσομοίωσης των κινητήρων και φαίνεται η παρακάτω εικόνα 5-6.



Εικόνα 5-6 Επιφάνεια Εργασίας ‘Simulator’

Ακολούθως ζητείται από το χρήστη να εισάγει έναν κωδικό ώστε να επιτραπεί στο πρόγραμμα να εκτελέσει την προσομοίωση. Η εισαγωγή του κωδικού γίνεται σε παράθυρο που εμφανίζεται και φαίνεται στην εικόνα 5-7.



Εικόνα 5-7 Παράθυρο Εισαγωγής Κωδικού

Μετά εμφανίζεται ένα άλλο παράθυρο (εικόνα 5-8), που φαίνεται παρακάτω, στο οποίο ορίζουμε την κατάσταση των διαφόρων υποσυστημάτων του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εφικτή η προσομοίωση βλαβών του κινητήρα.

**ENGINE COMPONENT CONDITION**

**Cylinder Condition**

Compression Condition [%] 100.0

Exhaust Port Condition [%] 100.0

**Fuel System**

Injector Condition [%] 100.0

Fuel Pump Condition [%] 100.0

**Air Induction System**

Compressor Condition [%] 100.0

Air Cooler Efficiency [%] 100.0

Air Cooler Pressure Drop [%] 100.0

Air Filter Condition [%] 100.0

**Exhaust System**

Turbine Condition [%] 100.0

Turbine Inlet Nozzle Area [%] 100.0

Exhaust Pipe Condition [%] 100.0

OK Cancel

Εικόνα 5-8 Ορισμός Κατάστασης Υποσυστημάτων Κινητήρα

Έπειτα εμφανίζεται ακόμα ένα παράθυρο (εικόνα 5-9) στο οποίο ορίζουμε τις παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα. Μπορούμε επίσης να επιλέξουμε το 'Calc.' ώστε να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα δεδομένα που έχει από τα επίσημα shop test για τη συγκεκριμένη ταχύτητα περιστροφής 'rpm' ή για το συγκεκριμένο φορτίο 'load%'. Τα δεδομένα με την επιλογή 'Calc.' προκύπτουν από πρόγραμμα παρεμβολής. Προφανώς βέβαια ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα δεδομένα αυτά χειροκίνητα.

Επιπρόσθετα μας δίνεται η δυνατότητα να προσομοιώσουμε τη λειτουργία του στροβιλο-υπερπληρωτή 'T/C' ή του κανόνα της αντλίας καυσίμου 'rack'. Προκειμένου να προσομοιωθεί η λειτουργία του κανόνα καυσίμου, να υπολογισθεί δηλαδή η ποσότητα του καυσίμου, χρησιμοποιείται η θέση του κανόνα της αντλίας, η οποία μας δίνεται. Η προσομοίωση του στροβιλο-υπερπληρωτή και του κανόνα της αντλίας του καυσίμου βασίζονται στη ρύθμιση του προγράμματος, στα δεδομένα δηλαδή που έχουμε εμείς εισάγει, και στη διαθεσιμότητα των δεδομένων για την προσομοίωση.

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία εκτελείται η προσομοίωση και παίρνουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα με τη μορφή που φαίνεται στην εικόνα 5-10.

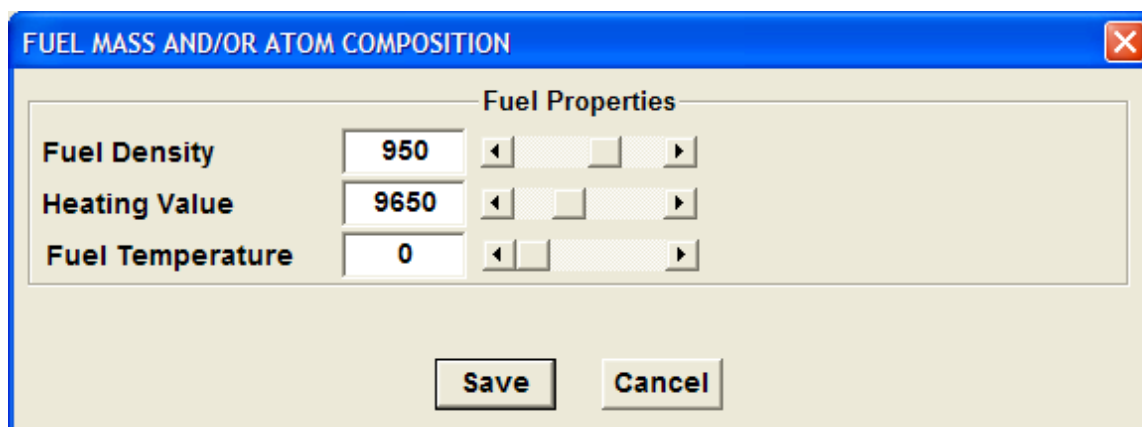
Ακολουθούν οι εικόνες 5-9 και 5-10 που έχουμε προαναφέρει.

Εικόνα 5-9 Ορισμός Παραμέτρων Λειτουργίας του Κινητήρα

Εικόνα 5-10 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης

## 5.4 Επιλογή 'Fuel'

Με την επιλογή αυτή μπορούμε να ορίσουμε τα χαρακτηριστικά του καυσίμου, όπως είναι η πυκνότητά του, η θερμογόνος δύναμή του και η θερμοκρασία του. Αν δεν γνωρίζουμε τις τιμές αυτές τότε το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις τιμές που έχει εξ' ορισμού. Τα απολύτως σημαντικά χαρακτηριστικά του καυσίμου είναι η θερμογόνος δύναμή του αρχικά και ακολούθως η πυκνότητά του. Ο καθορισμός των χαρακτηριστικών του καυσίμου γίνεται σε παράθυρο που φαίνεται στην εικόνα 5-11.



Εικόνα 5-11 Καθορισμός Χαρακτηριστικών Καυσίμου

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## Έλεγχος Προβλεπτικής Ικανότητας του Προσομοιωτή του Λογισμικού EDS-V

### 6.1 Προσομοίωση Shop Test

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής του λογισμικού EDS-V για τη διερεύνηση της επίδρασης της ολίσθησης της έλικας του πλοίου στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα του, θα πρέπει αρχικά να ελεγχθεί η προβλεπτική ικανότητα του προσομοιωτή.

Για το σκοπό αυτό έγινε προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα μέσω του λογισμικού για συνθήκες λειτουργίας που είναι γνωστές, δηλαδή για τις συνθήκες λειτουργίας κάτω από τις οποίες διεξήχθησαν οι μετρήσεις των shop test.

Έτσι, συγκρίνοντας σε διαγράμματα τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις με τις γνωστές από τα shop test μετρήσεις, μπορούμε να βγάλουμε συμπέρασμα για το αν το λογισμικό EDS-V είναι αξιόπιστο ώστε να το χρησιμοποιήσουμε για να προσομοιώσουμε τη λειτουργία του κινητήρα και για άλλες συνθήκες λειτουργίας.

Αρχικά ορίσαμε τις ιδιότητες του καυσίμου. Επιλέγοντας από το κύριο μενού την επιλογή 'Fuel', και έχοντας δει τα χαρακτηριστικά του καυσίμου των shop test, βλέπουμε ότι το καύσιμό μας έχει πυκνότητα  $907 \text{ kg/m}^3$  και θερμογόνο δύναμη  $10015 \text{ kcal/kg}$ .

Ακολούθως επιλέξαμε από το κύριο μενού την επιλογή 'Simulator' και μετά την επιλογή 'Engine Simulation'. Δώσαμε τον κωδικό που απαιτείται και μετά ορίσαμε ότι όλα τα υποσυστήματα του κινητήρα λειτουργούν στο 100%, μιας και ο κινητήρας μας είναι καινούργιος οπότε θεωρούμε ότι δεν έχει φθορές ή δυσλειτουργίες. Ύστερα εισήγαμε ως δεδομένο στο πρόγραμμα μόνο τις στροφές του κινητήρα, δηλαδή εκτελέσαμε το πρόγραμμα για τις εξής έξι περιπτώσεις, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 6-1 που ακολουθεί:

<b>Engine Speed (rpm)</b>	57,3	72,2	82,7	87,9	91	93,9
<b>Load (%)</b>	25	50	75	90	100	110

Πίνακας 6-1 Ταχύτητες Περιστροφής και Αντίστοιχα Φορτία

Στον πίνακα 6-1 φαίνονται, εκτός από τις στροφές του κινητήρα, και το αντίστοιχο φορτίο του.

Μετά από την εισαγωγή των στροφών του κινητήρα επιλέξαμε την επιλογή 'Calc.', ώστε να υπολογιστούν αυτόματα τα υπόλοιπα δεδομένα.

Λόγω στρογγυλοποιήσεων παρατηρήσαμε ότι ξαναπατώντας το κουμπί 'Calc.' αλλάζουν ελάχιστα τα υπολογιζόμενα δεδομένα. Εμείς σε όλες τις προσομοιώσεις επιλέξαμε δύο φορές την επιλογή 'Calc.'. Τέλος επιλέξαμε την επιλογή 'OK' και έτσι λοιπόν πήραμε τα επιθυμητά αποτελέσματα και δημιουργήσαμε τα διαγράμματα που θα παρουσιάσουμε παρακάτω.

## 6.2 Σύγκριση Προσομοίωσης με Shop Test

Στα διαγράμματα που ακολουθούν με κόκκινο χρώμα παριστάνουμε τα δεδομένα που έχουμε από τα shop test, τα οποία τα βρήκαμε επιλέγοντας από το κύριο μενού του κώδικα την επιλογή 'Engine\_Trials' και μετά την επιλογή 'Display Shop Test Data', ενώ με μπλε χρώμα φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις.

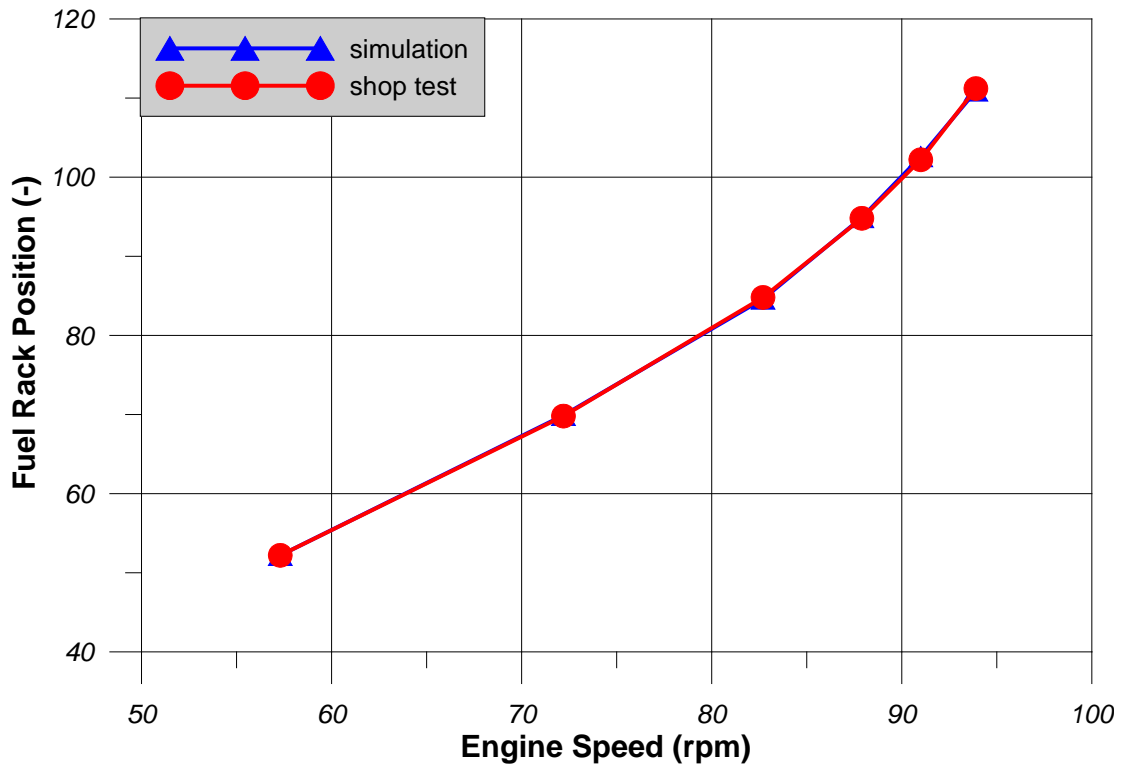
Έχουν γίνει διαγράμματα για όσα αποτελέσματα μας δίνει η προσομοίωση του κινητήρα μέσω του λογισμικού και είναι συναρτήσεως των στροφών του κινητήρα καθώς και της ισχύος του. Για την παροχή του αέρα και την παροχή των καυσαερίων δεν έγιναν διαγράμματα καθώς αυτά τα μεγέθη δεν είναι εφικτό να μετρηθούν και για αυτό δεν υπάρχουν στα shop test.

Στις παρακάτω υποενότητες γίνεται η σύγκριση των μετρήσεων των shop test με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Για κάθε παράμετρο λειτουργίας του κινητήρα γίνονται δύο συγκρίσεις της παραμέτρου, μία συναρτήσεως των στροφών του κινητήρα και μία συναρτήσεως της ισχύος του.

### 6.2.1 Θέση Κανόνα Αντλίας Καυσίμου

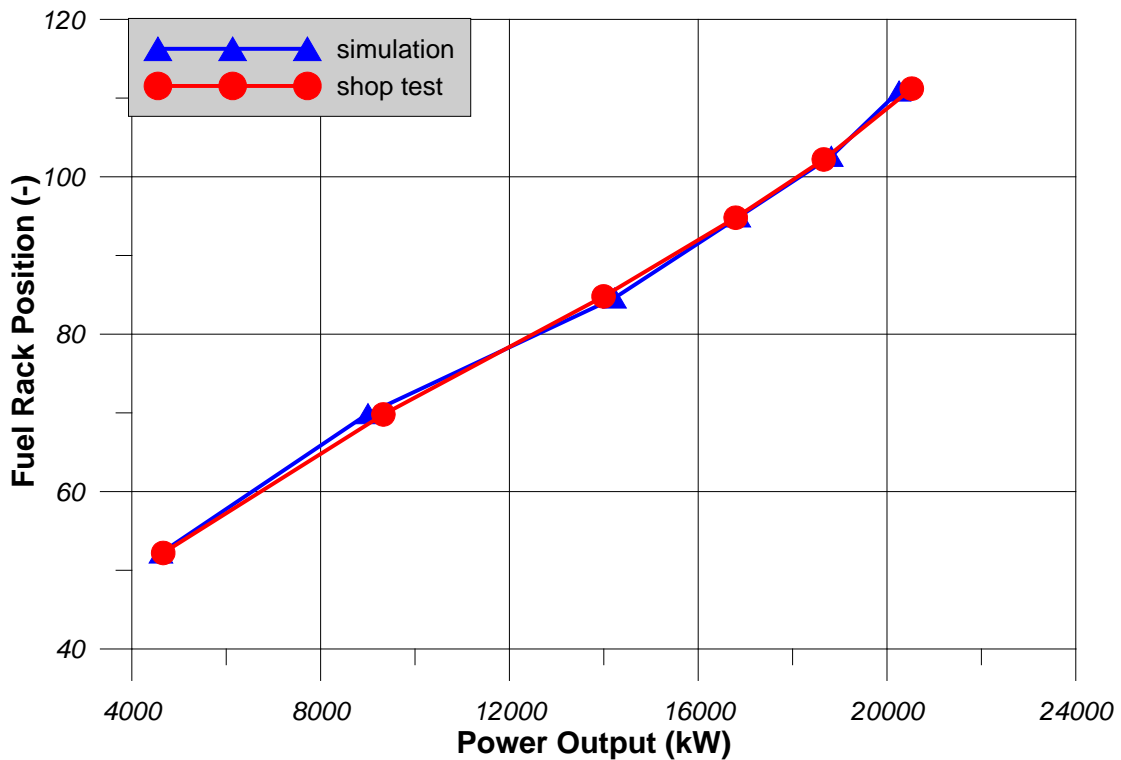
Στο διάγραμμα 6-1α δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης από την προσομοίωση και της μετρημένης θέσης του κανόνα της αντλίας του καυσίμου συναρτήσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας του κινητήρα καθώς παρατηρείται πλήρης ταύτιση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τις μετρήσεις των shop test.





Διάγραμμα 6-1α Θέση Κανόνα Αντλίας Καυσίμου Συναρτήσει των Στροφών

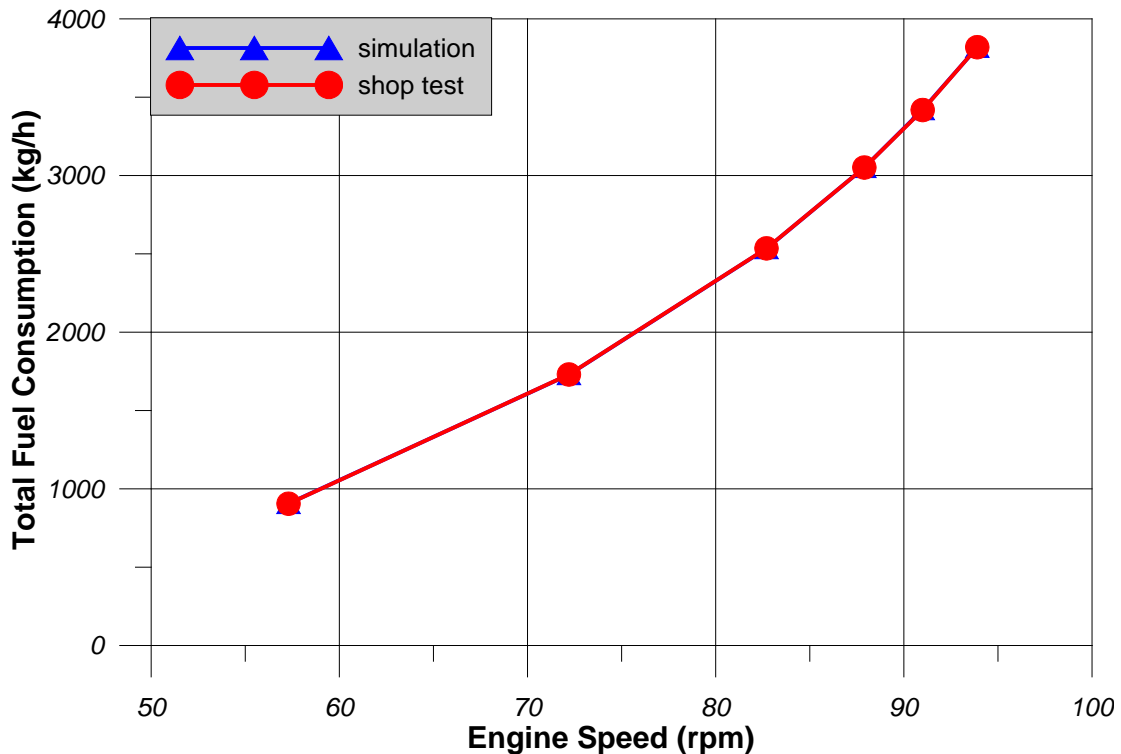
Στο επόμενο διάγραμμα (Διάγραμμα 6-1β) δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης θέσης του κανόνα της αντλίας του καυσίμου συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Το λογισμικό και εδώ προβλέπει ικανοποιητικά τη θέση του κανόνα της αντλίας καυσίμου.



Διάγραμμα 6-1β Θέση Κανόνα Αντλίας Καυσίμου Συναρτήσει της Ισχύος

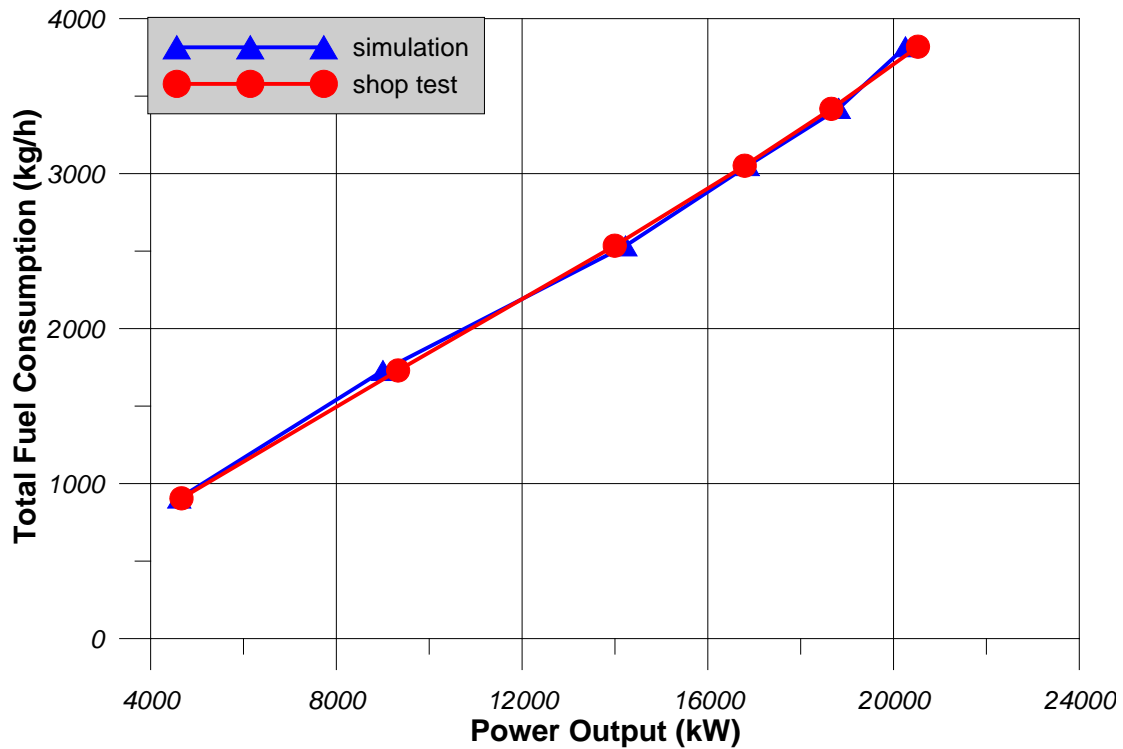
## 6.2.2 Κατανάλωση Καυσίμου

Στο διάγραμμα 6-2α που ακολουθεί, δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης συνολικής κατανάλωσης καυσίμου του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του. Παρατηρούμε ότι το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας.



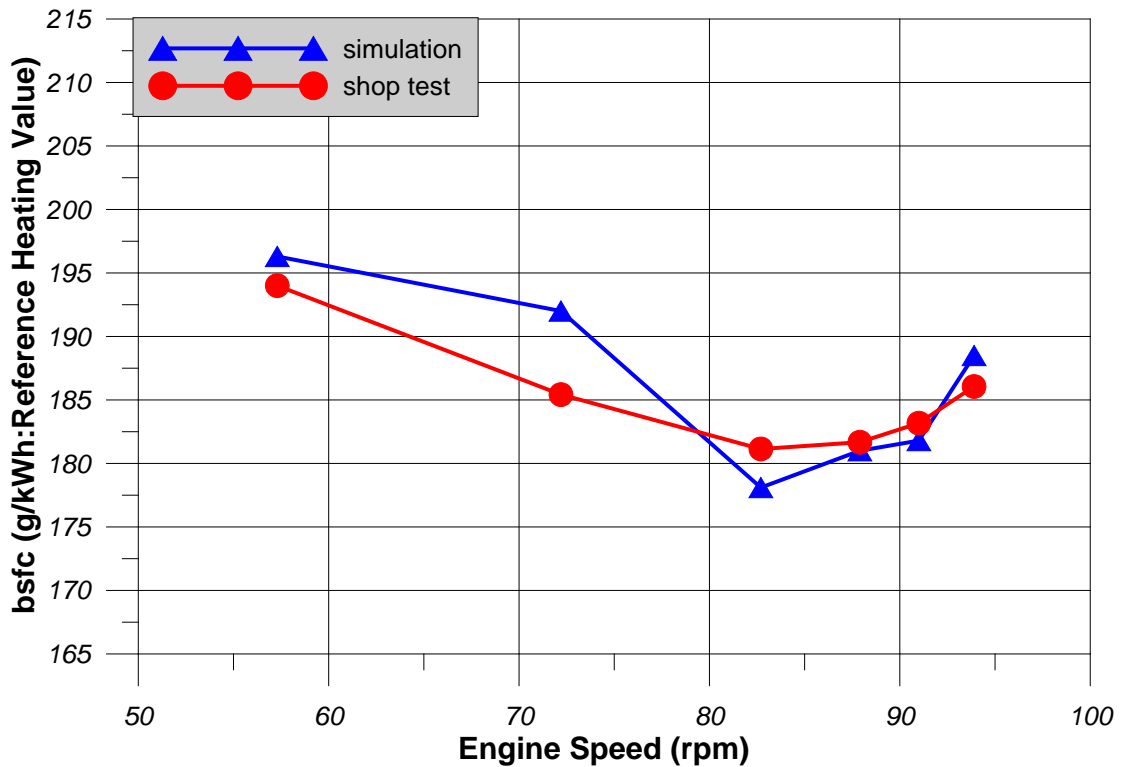
Διάγραμμα 6-2α Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει των Στροφών

Το διάγραμμα 6-2β δίνει τη σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης κατανάλωσης καυσίμου του κινητήρα συναρτήσει της ισχύος του. Παρατηρείται ταύτιση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τις μετρήσεις των shop test και έτσι συμπεραίνουμε ότι το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συνολική κατανάλωση καυσίμου.



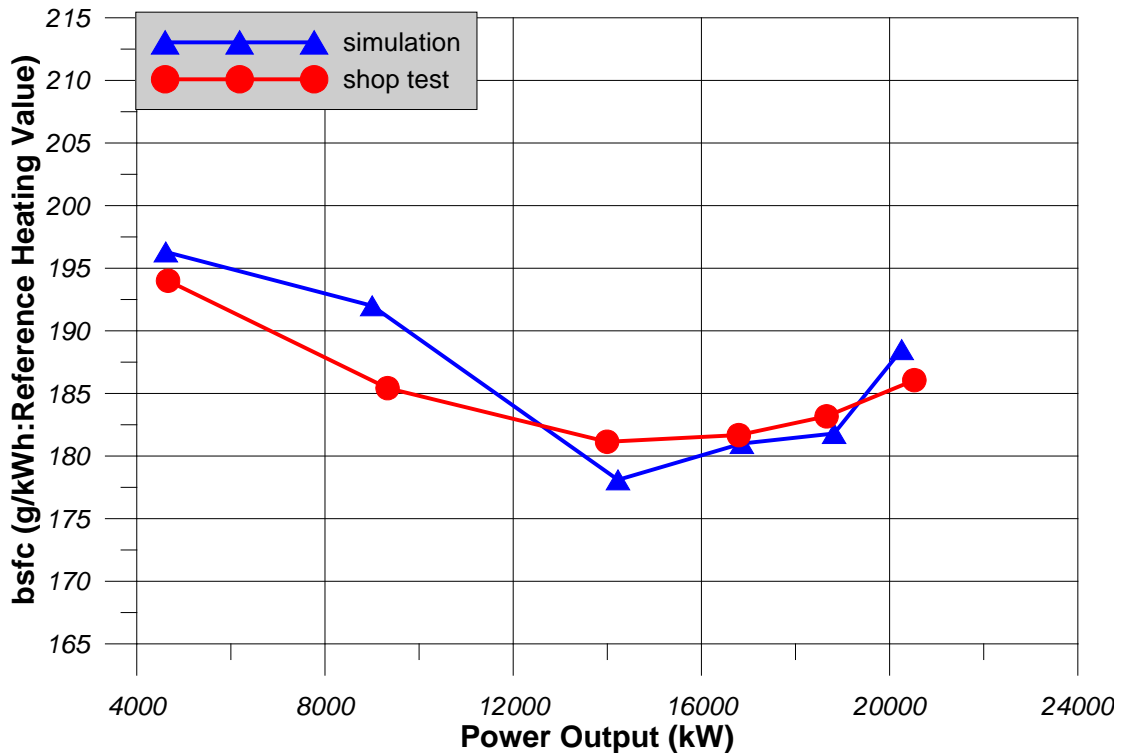
Διάγραμμα 6-2β Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσεϊ της Ισχύος

Μία παράμετρος που σχετίζεται με την κατανάλωση καυσίμου είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου. Στο διάγραμμα 6-3α που ακολουθεί δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσεϊ της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Το λογισμικό προβλέπει αρκετά ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας. Οι διαφορές που φαίνονται είναι μικρές καθώς η μέση απόκλιση είναι της τάξης του 1÷2%.



Διάγραμμα 6-3α Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει των Στροφών

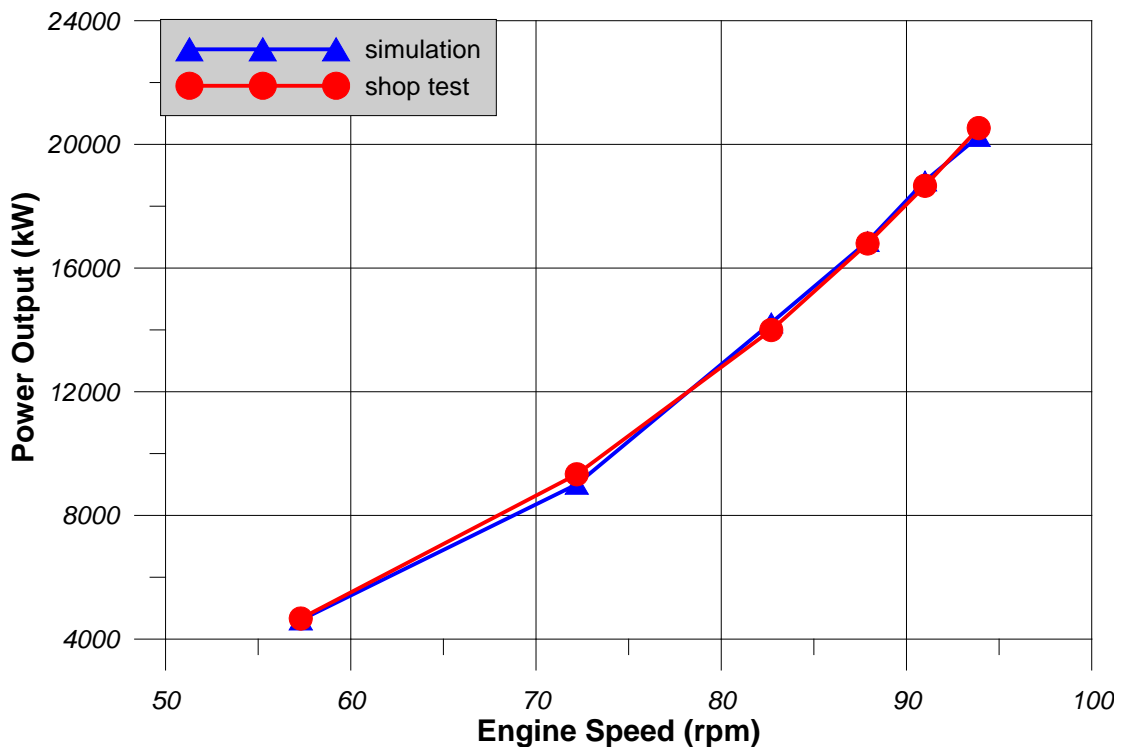
Στο παρακάτω διάγραμμα 6-3β, δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης ειδικής κατανάλωσης καυσίμου του κινητήρα συναρτήσει της ισχύος του. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά την ειδική κατανάλωση καυσίμου καθώς και εδώ η μέση απόκλιση είναι της τάξης του 1÷2%.



Διάγραμμα 6-3β Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει της Ισχύος

### 6.2.3 Καμπύλη Λειτουργίας

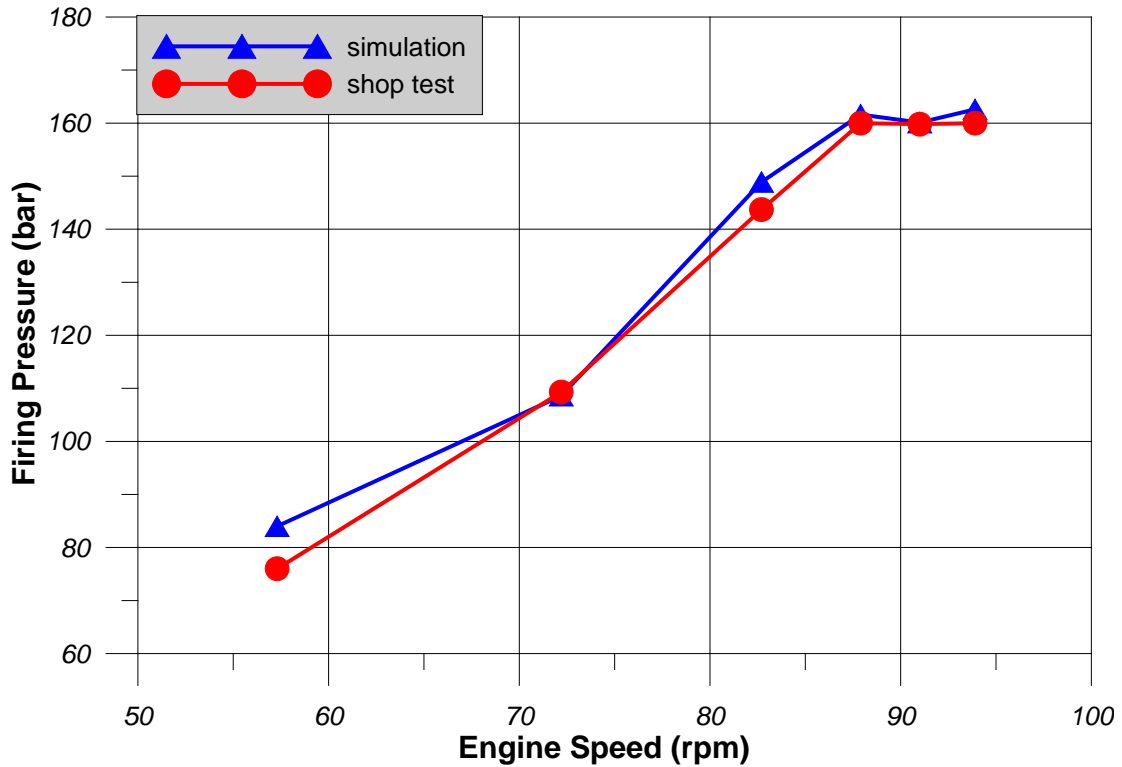
Στο διάγραμμα 6-4 δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης ισχύς του κινητήρα συναρτήσει των στροφών του. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται και η γραφική απεικόνιση του νόμου της έλικας που είχαμε αναφέρει στο δεύτερο κεφάλαιο, ότι δηλαδή η ισχύς που απορροφά η έλικα, άρα και η ισχύς που μας δίνει ο κινητήρας αφού συνδέεται με την ισχύ που απορροφά η έλικα μέσω του βαθμού απόδοσης του άξονα  $\eta_s$ , είναι ανάλογη με την τρίτη δύναμη του ρυθμού περιστροφής της.



Διάγραμμα 6-4 Ισχύς Συναρτήσει των Στροφών

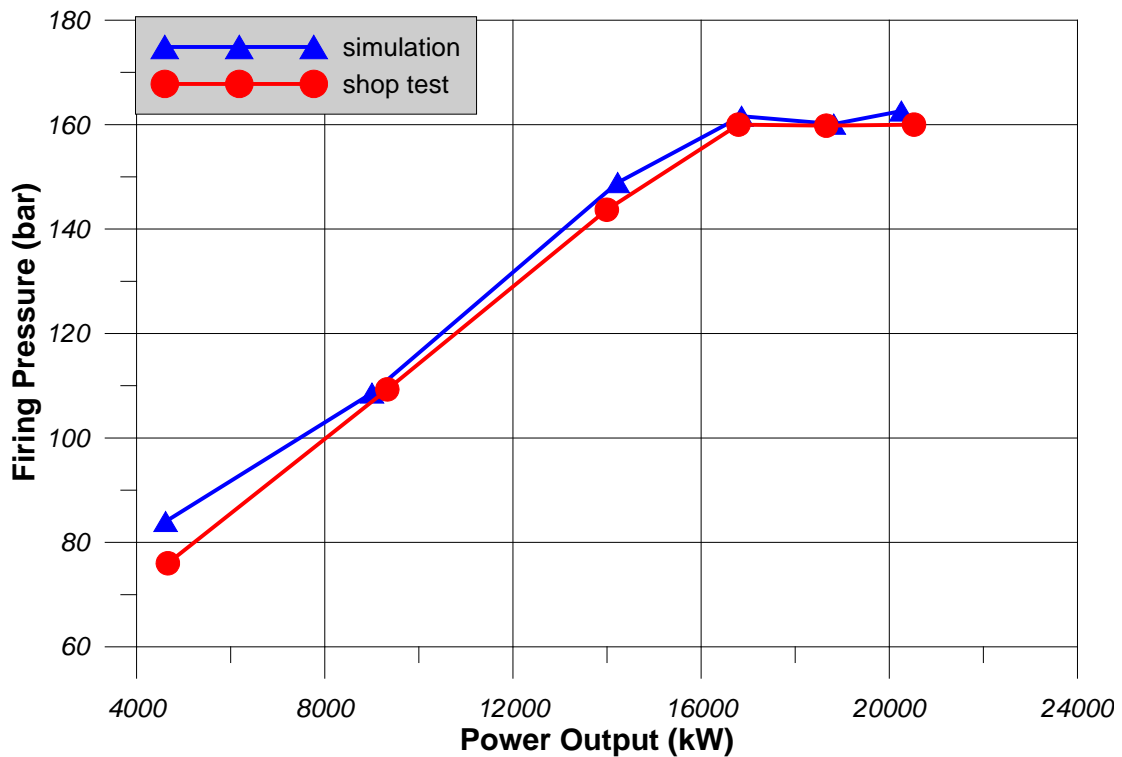
### 6.2.4 Μέγιστη Πίεση Καύσης

Στο διάγραμμα 6-5α δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη μέγιστη πίεση καύσης του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας. Να αναφέρουμε ότι τα αρχικά διαγράμματα που είχαν προκύψει από την προσομοίωση διέφεραν από τα shop test για τις 87,9 rpm. Συγκεκριμένα παρουσίαζαν μεγαλύτερη πίεση καύσης και έτσι μεταβάλλαμε την προπορεία έγχυσης καυσίμου από τις -2 μοίρες που μας έδινε ο προσομοιωτής σε -1 μοίρα. Τέλος να αναφέρουμε ότι αυτή η προπορεία χρησιμοποιήθηκε και στα προηγούμενα διαγράμματα αλλά και σε αυτά που θα ακολουθήσουν παρακάτω, όπως επίσης και στα διαγράμματα που θα παρουσιαστούν σε επόμενα κεφάλαια για διαφορετική ολίσθηση της έλικας του πλοίου.



Διάγραμμα 6-5α Μέγιστη Πίεση Καύσης Συναρτήσεως των Στροφών

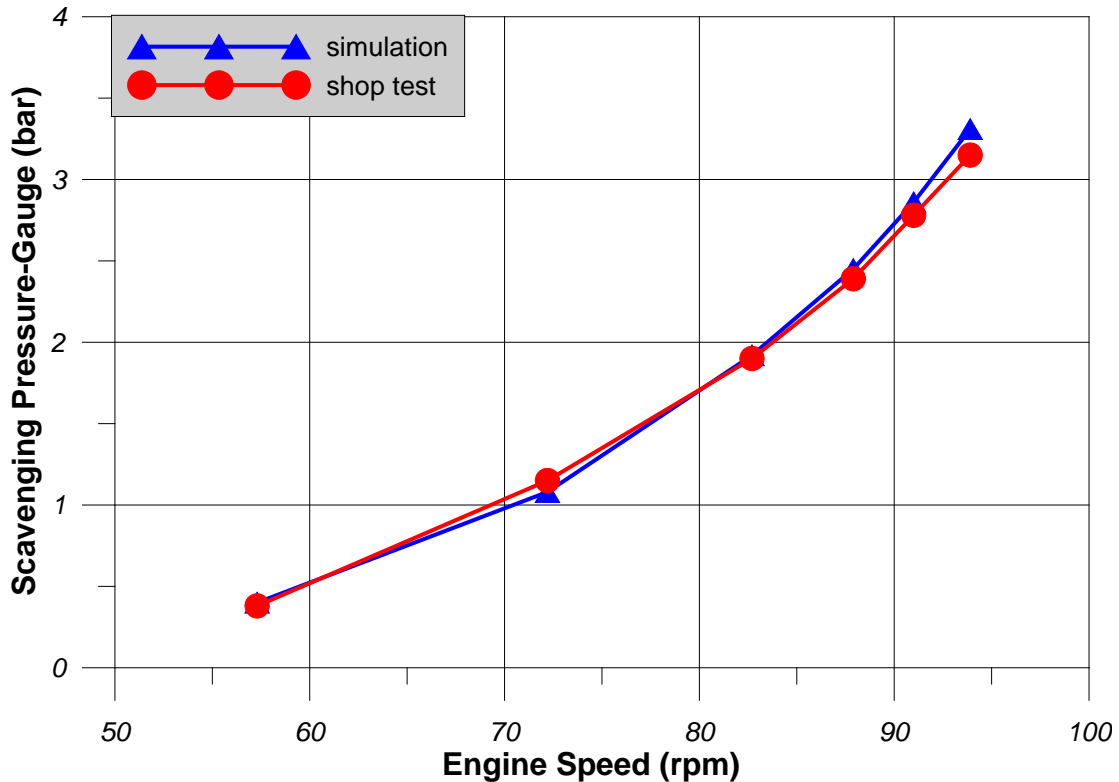
Το επόμενο διάγραμμα 6-5β δίνει τη σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη μέγιστη πίεση καύσης συναρτήσεως της ισχύος του κινητήρα. Το λογισμικό και σε αυτή την περίπτωση προβλέπει ικανοποιητικά την μέγιστη πίεση καύσης.



Διάγραμμα 6-5β Μέγιστη Πίεση Καύσης Συναρτήσεως της Ισχύος

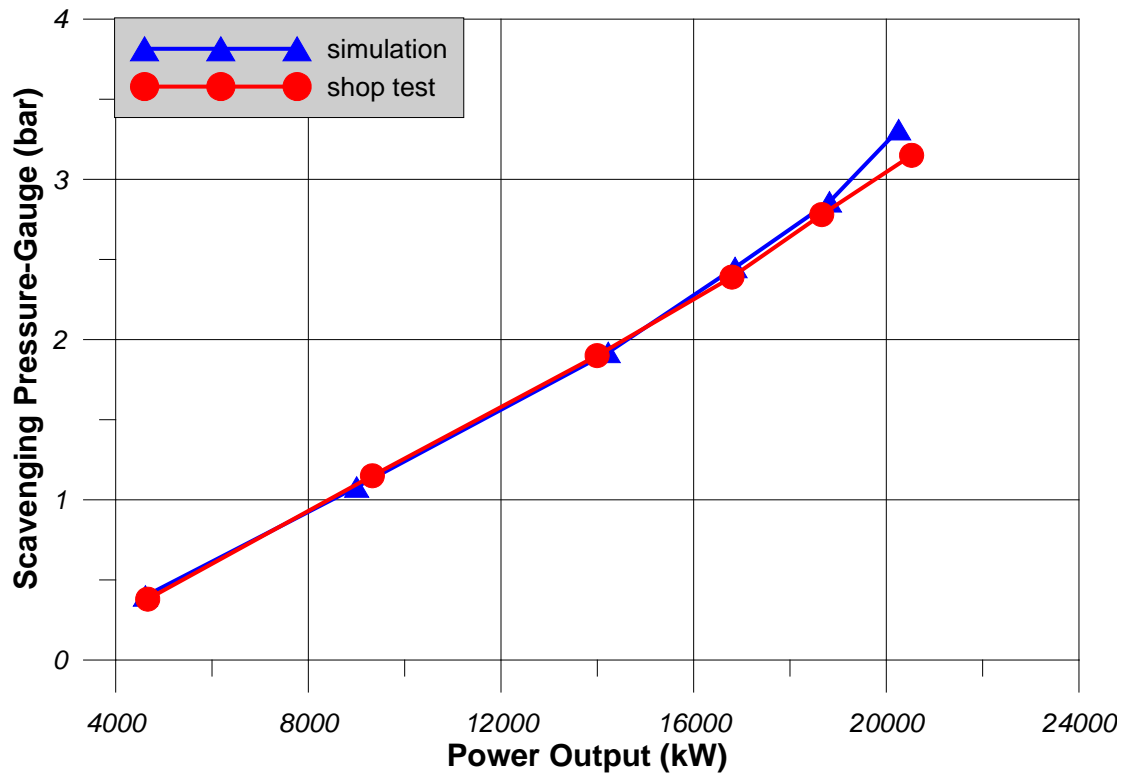
### 6.2.5 Συνθήκες Αέρα Σαρώσεως

Στο διάγραμμα 6-6α δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη πίεση του αέρα σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Η συγκεκριμένη παράμετρος λειτουργίας προβλέπεται ικανοποιητικά από το λογισμικό.



Διάγραμμα 6-6α Πίεση Αέρα Σάρωσης Συναρτήσει των Στροφών

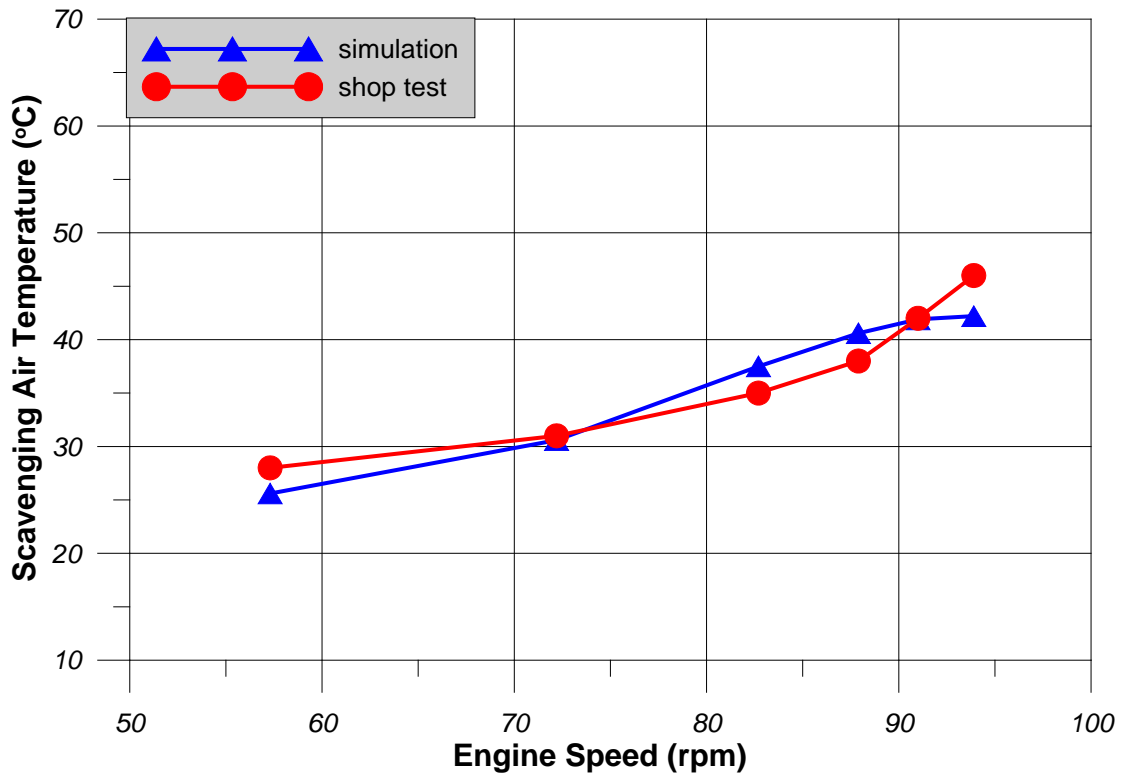
Ακολουθεί το διάγραμμα 6-6β όπου δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης πίεσης του αέρα σαρώσεως συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Όπως στην προηγούμενη, έτσι και σε αυτή την περίπτωση, το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά την πίεση του αέρα σαρώσεως.



Διάγραμμα 6-6β Πίεση Αέρα Σάρωσης Συναρτήσεϊ της Ισχύος

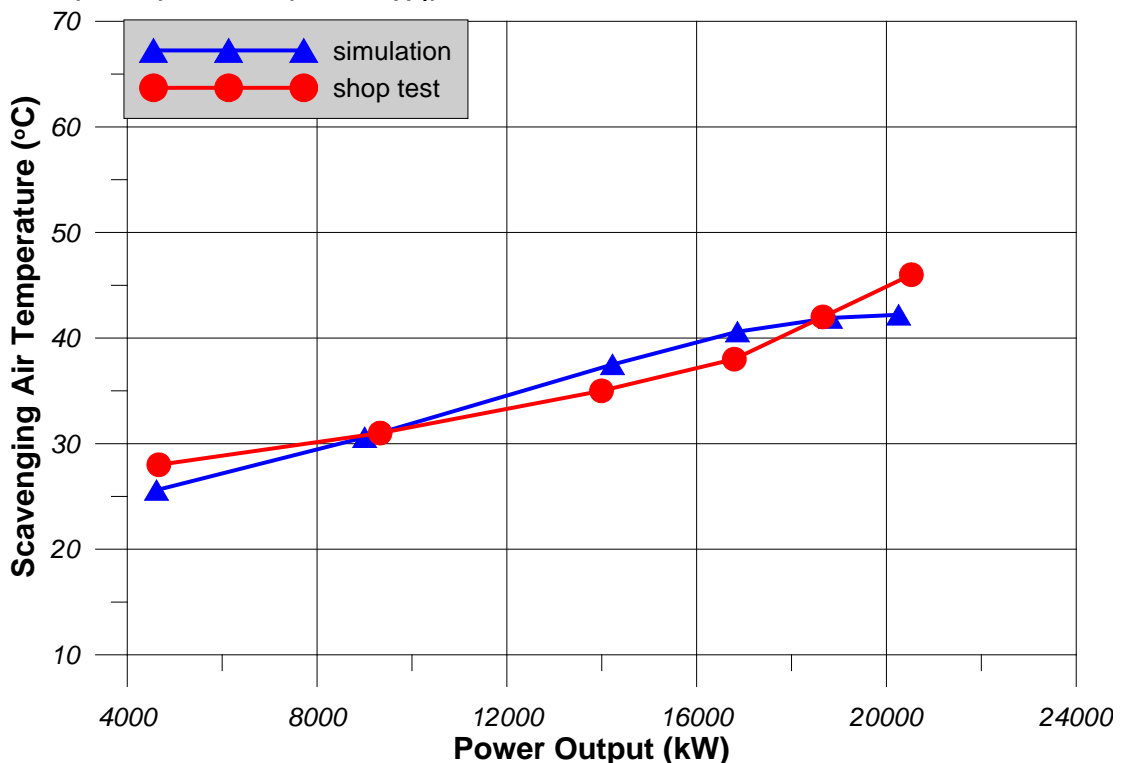
Ακόμα έχουμε το διάγραμμα 6-7α που δίνει τη σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης θερμοκρασίας του αέρα σάρωσης συναρτήσεϊ της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη θερμοκρασία αυτή. Η παρατήρηση που έχουμε να κάνουμε είναι ότι ο κώδικας στις υψηλές στροφές του κινητήρα δίδει καλύτερο βαθμό απόδοσης στα ψυγεία του αέρα σάρωσης και για αυτό στις υψηλές στροφές η καμπύλη των αποτελεσμάτων που έχουμε από την προσομοίωση παρουσιάζει μια ελαφρά τάση σε αντίθεση με την καμπύλη των shop test. Οι διαφορές όμως που παρατηρούνται είναι μικρές.





Διάγραμμα 6-7α Θερμοκρασία Αέρα Σάρωσης Συναρτήσει των Στροφών

Τέλος το διάγραμμα 6-7β δίνει τη σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη θερμοκρασία του αέρα σάρωσης συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας και ισχύει η παρατήρηση που κάναμε παραπάνω για το σχήμα 6-7α.

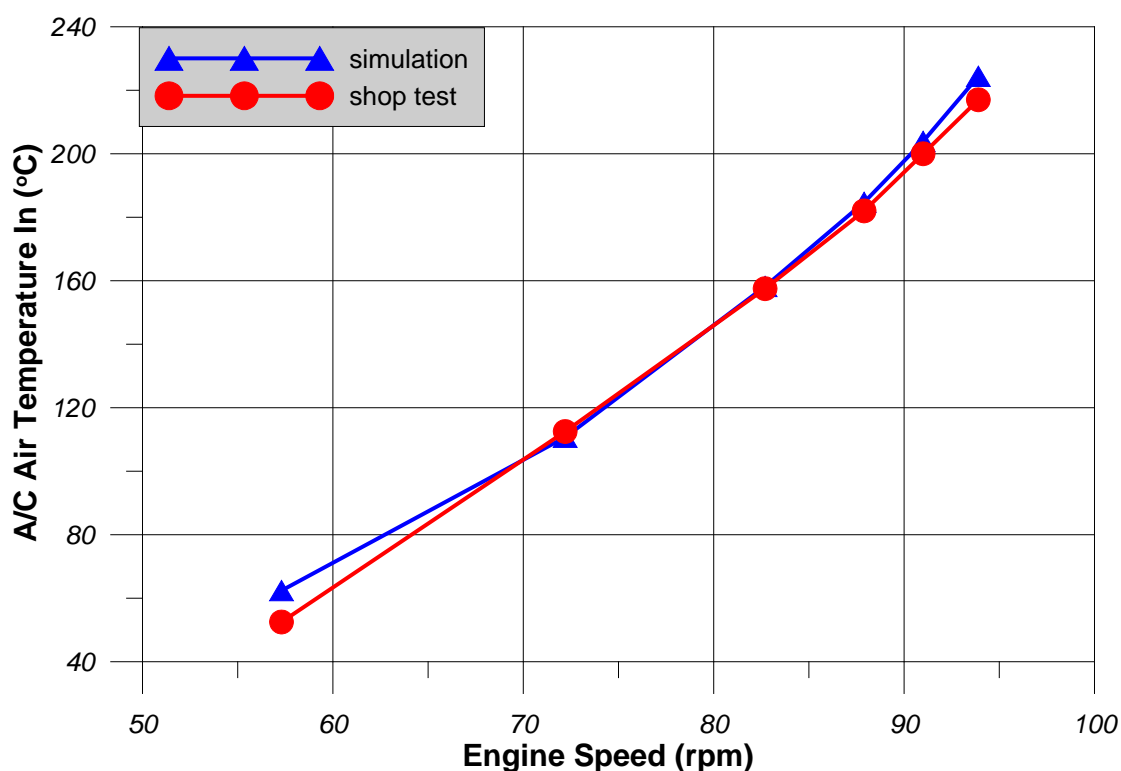


Διάγραμμα 6-7β Θερμοκρασία Αέρα Σάρωσης Συναρτήσει της Ισχύος

## 6.2.6 Ψυγεία Αέρα Σαρώσεως

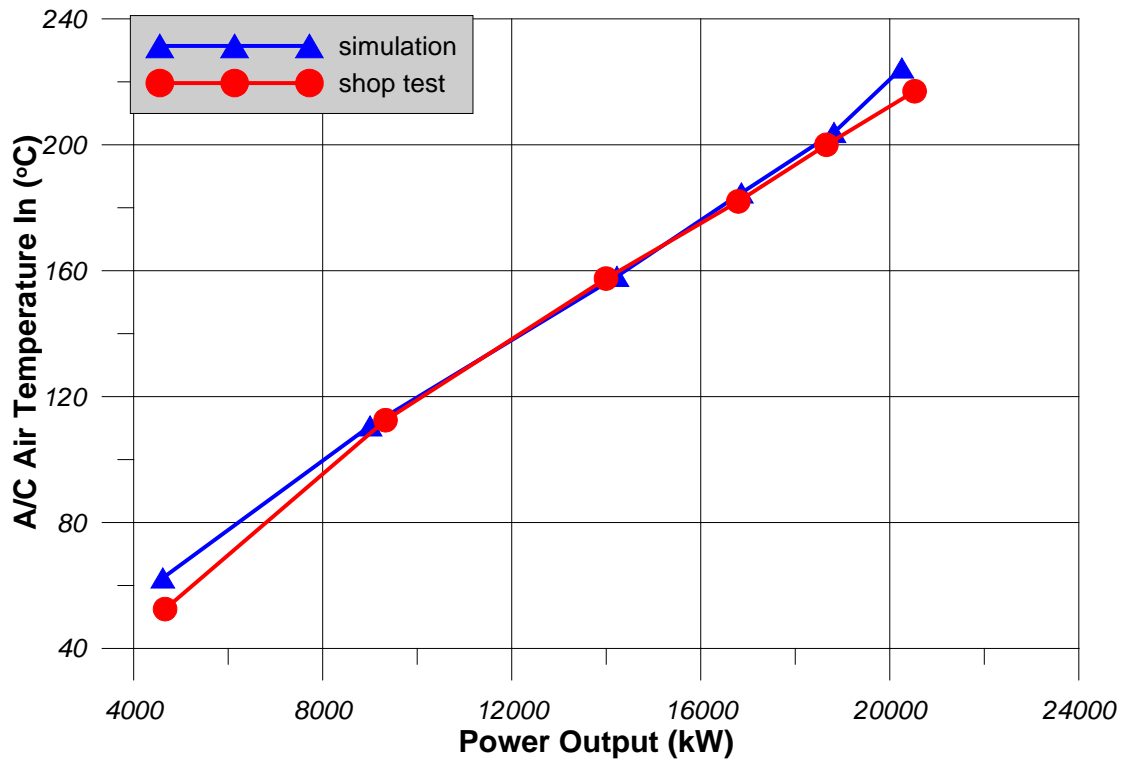
Αρχικά, να αναφέρουμε ότι διαγράμματα που παρουσιάζονται στο παρών κεφάλαιο, αλλά και σε επόμενα κεφάλαια, και αναφέρονται στα ψυγεία του αέρα σάρωσης ή στο σύστημα υπερπλήρωσης, χρησιμοποιούν τις μέσες τιμές των παραμέτρων που απεικονίζουν, δηλαδή το ημίθροισμα των τιμών των παραμέτρων στα δύο ψυγεία ή στους δύο στροβιλο-υπερπληρωτές αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 6-8α δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης θερμοκρασίας εισόδου του αέρα στα ψυγεία του αέρα σάρωσης, δηλαδή στην έξοδο του συμπιεστή, συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Το λογισμικό μας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού έχουμε σύμπτωση της καμπύλης των shop test με αυτή που προέκυψε από την προσομοίωση.



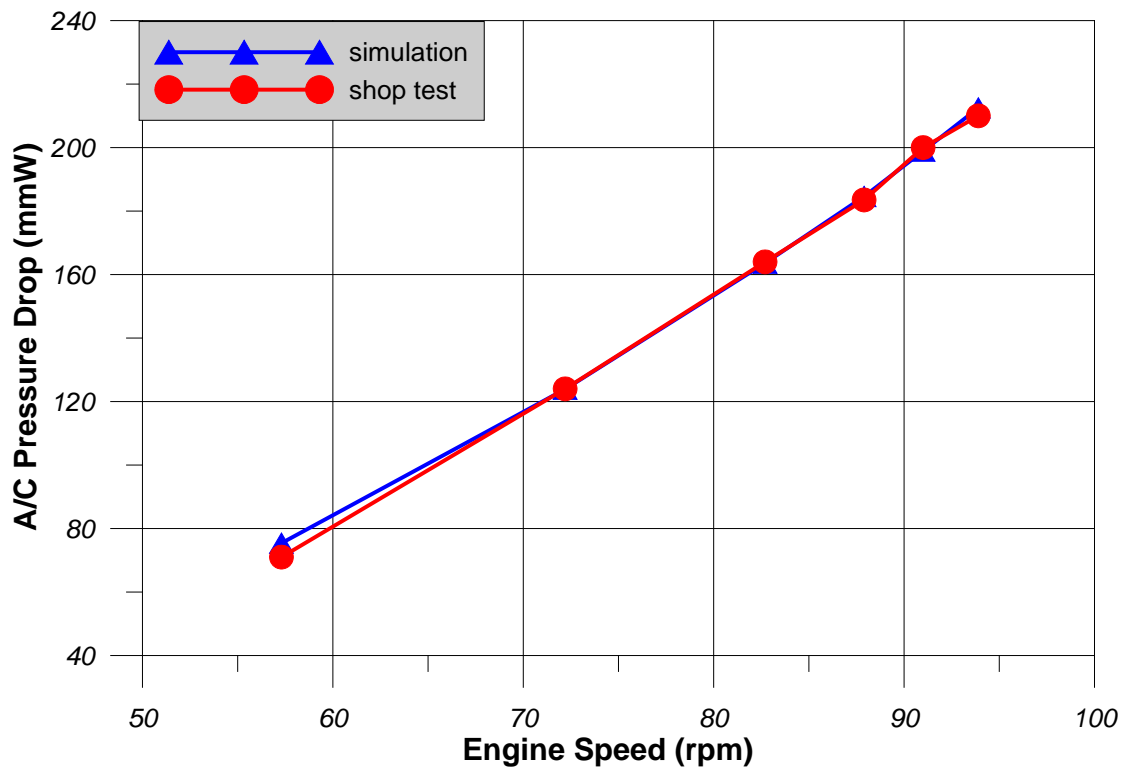
Διάγραμμα 6-8α Θερμοκρασία στην Έξοδο του Συμπιεστή Συναρτήσει των Στροφών

Επίσης το διάγραμμα 6-8β δίνει τη σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπιεστή συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Το λογισμικό και σε αυτή την περίπτωση παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



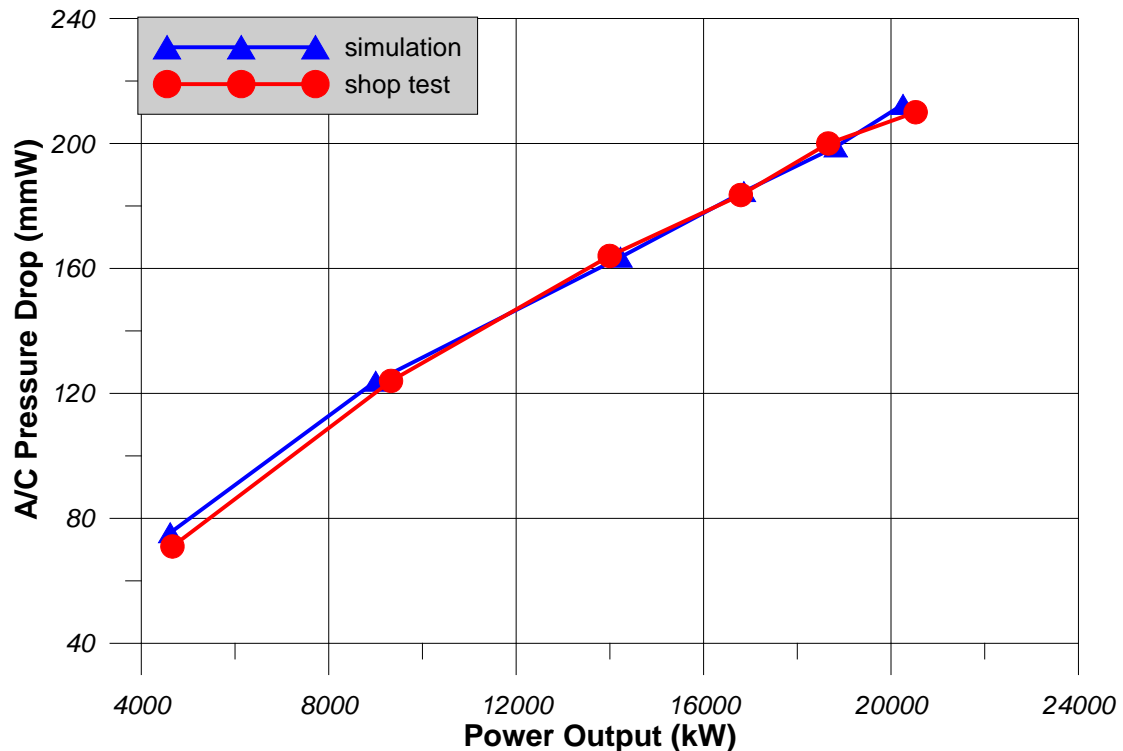
Διάγραμμα 6-8β Θερμοκρασία στην Έξοδο του Συμπιεστή Συναρτήσε της Ισχύος

Επιπροσθέτως έχουμε το διάγραμμα 6-9α που δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη πτώση πίεσης στο ψυγείο του αέρα συναρτήσε της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας.



Διάγραμμα 6-9α Πτώση Πίεσης στο Ψυγείο Αέρα Συναρτήσε των Στροφών

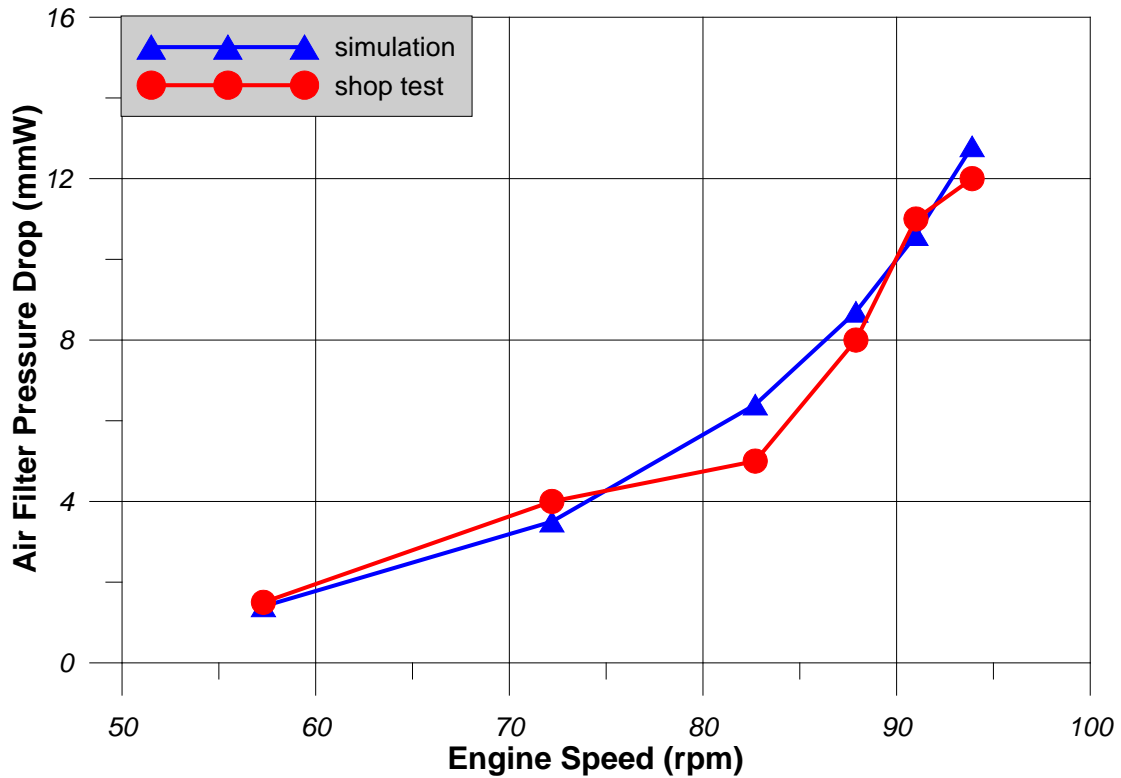
Τέλος το διάγραμμα 6-9β δίνει τη σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης πτώσης πίεσης στο ψυγείο του αέρα συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση είναι ικανοποιητικά.



Διάγραμμα 6-9β Πτώση Πίεσης στο Ψυγείο Αέρα Συναρτήσει της Ισχύος

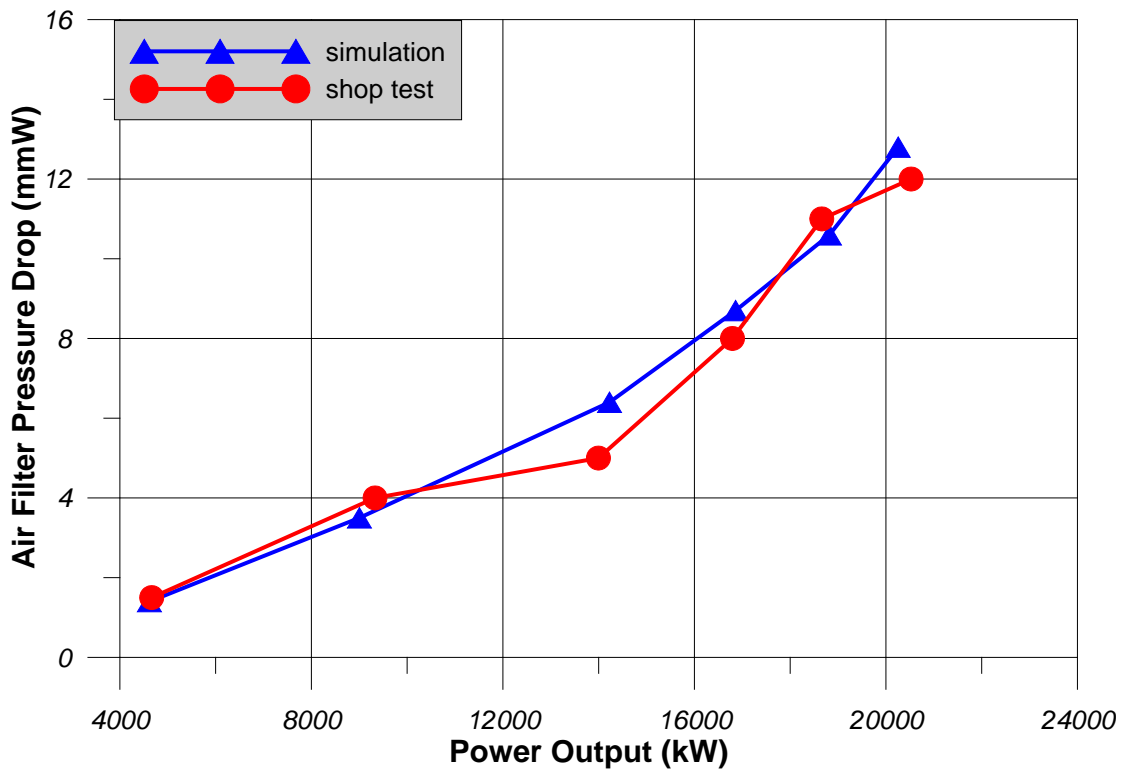
### 6.2.7 Φίλτρο Αέρα

Το διάγραμμα 6-10α δίνει τη σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη πτώση πίεσης στο φίλτρο του αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα όπως φαίνεται και από το αντίστοιχο διάγραμμα.



Διάγραμμα 6-10α Πτώση Πίεσης Αέρα στο Φίλτρο Αέρα Συναρτήσει των Στροφών

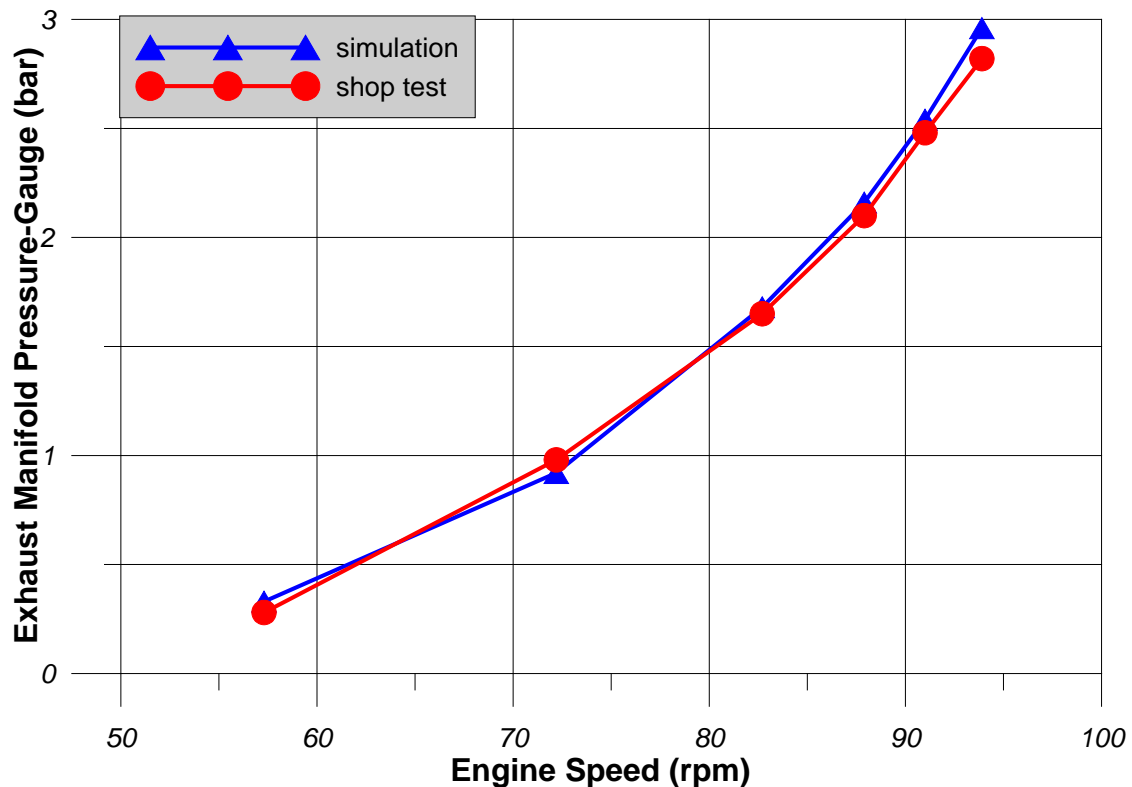
Επίσης στο διάγραμμα 6-10β δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης πτώσης πίεσης στο φίλτρο αέρα συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Και σε αυτή την περίπτωση το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Διάγραμμα 6-10β Πτώση Πίεσης Αέρα στο Φίλτρο Αέρα Συναρτήσει της Ισχύος

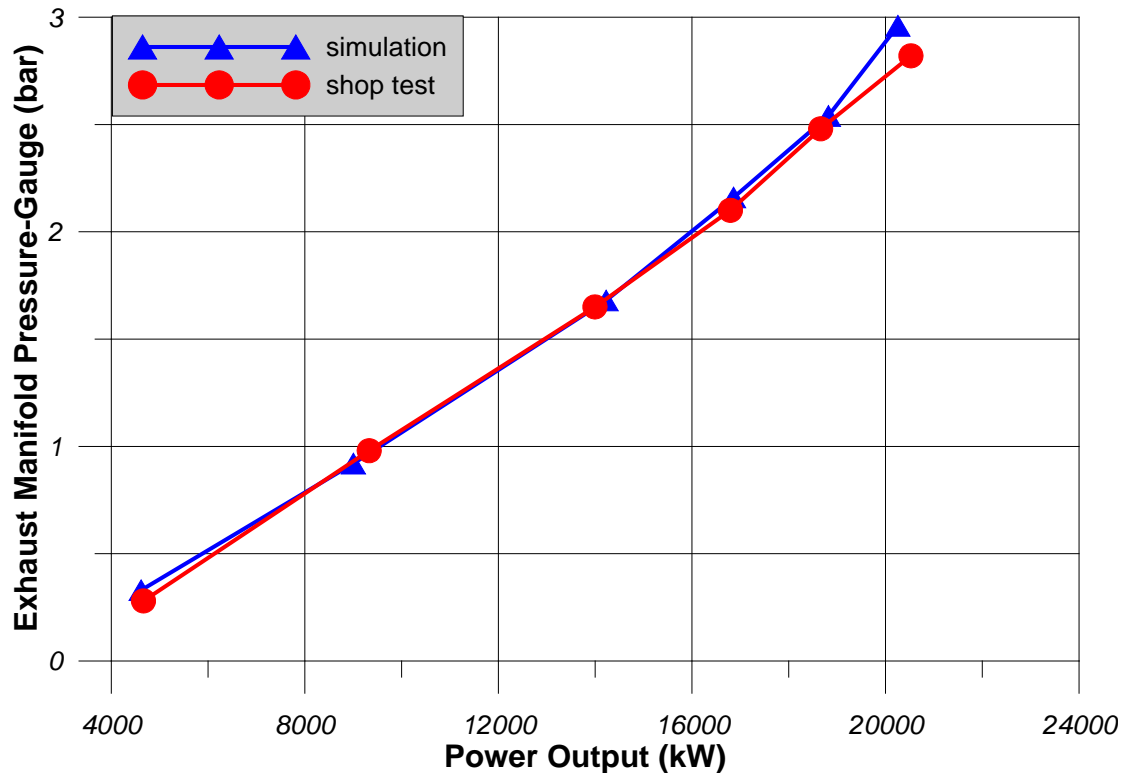
## 6.2.8 Συνθήκες Καυσαερίων

Το επόμενο διάγραμμα 6-11α δίνει τη σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη πίεση των καυσαερίων πριν από τους στρόβιλους των στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Από το αντίστοιχο διάγραμμα φαίνεται ότι το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας.



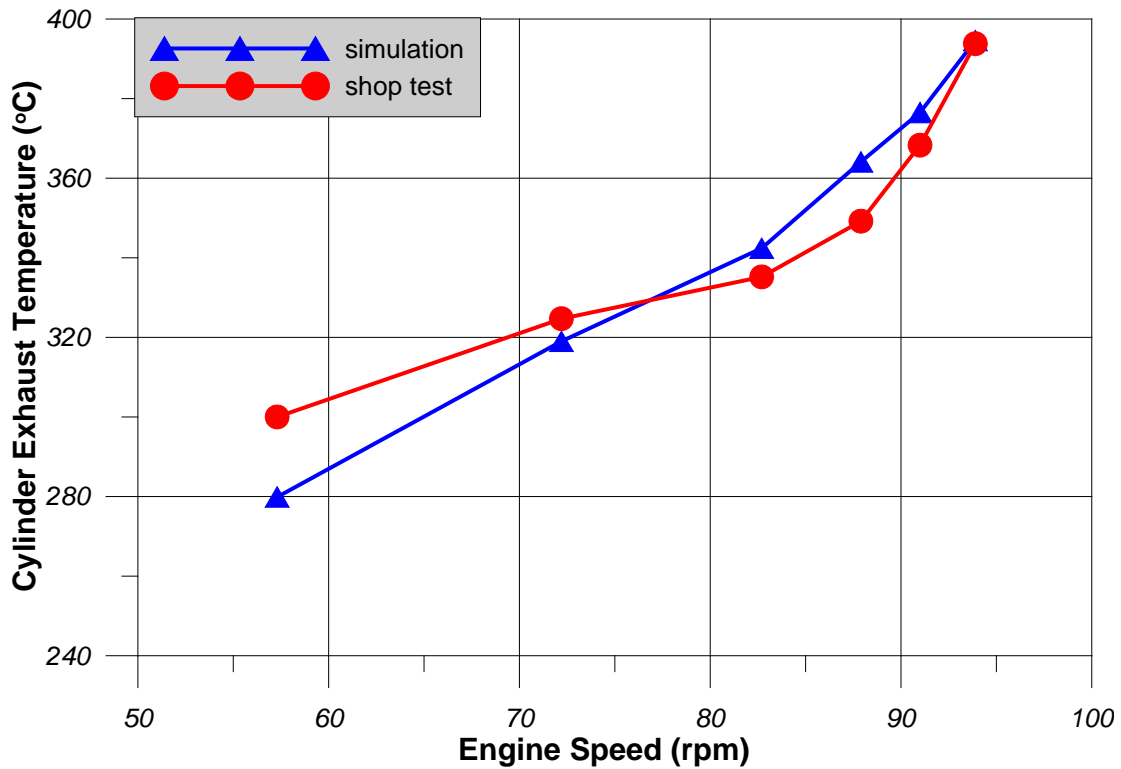
Διάγραμμα 6-11α Πίεση Καυσαερίων Πριν το Στρόβιλο Συναρτήσει των Στροφών

Επιπροσθέτως έχουμε το διάγραμμα 6-11β που δίνει τη σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης πίεσης των καυσαερίων πριν από τους στρόβιλους των στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Διάγραμμα 6-11β Πίεση Καυσαερίων Πριν το Στρόβιλο Συναρτήσεως της Ισχύος

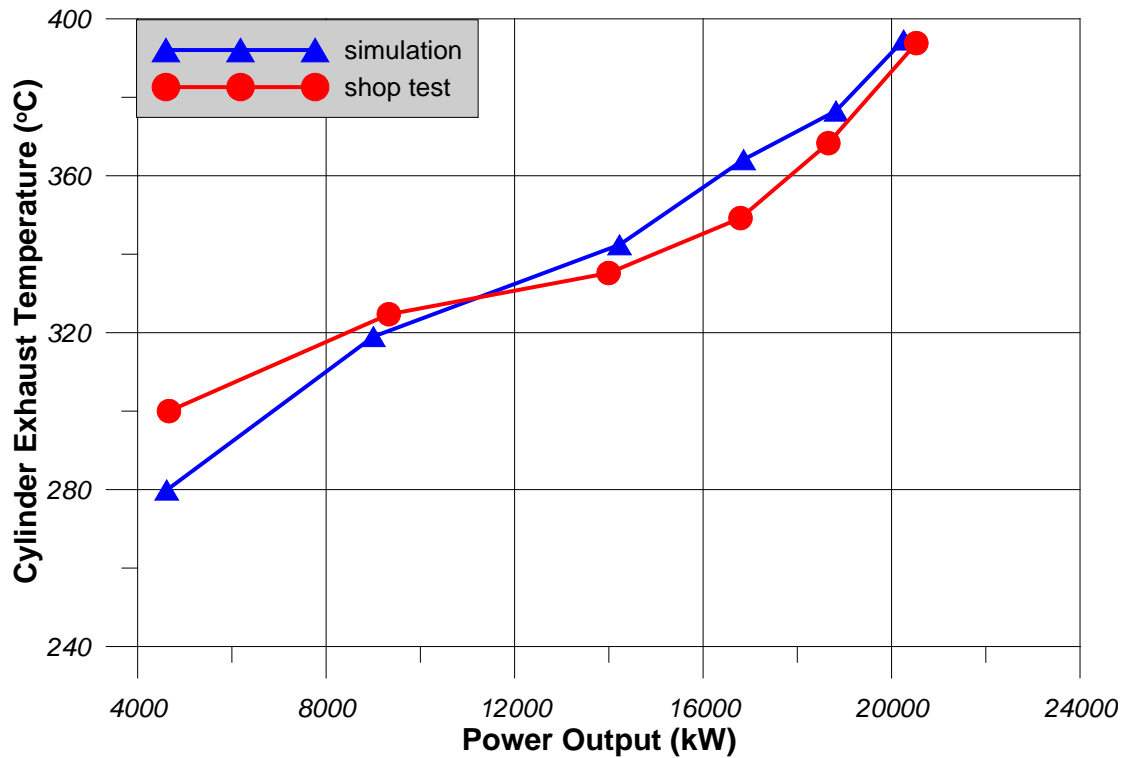
Ακολουθεί το διάγραμμα 6-12α στο οποίο δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τους κυλίνδρους του κινητήρα συναρτήσεως της ταχύτητας περιστροφής του. Η μεγαλύτερη απόκλιση που παρατηρείται είναι της τάξης των 20 °C, η οποία θεωρείται αμελητέα εφόσον πρόκειται για θερμοκρασία καυσαερίων, και άρα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι ικανοποιητικά.



Διάγραμμα 6-12α Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Κυλίνδρους  
Συναρτήσει των Στροφών

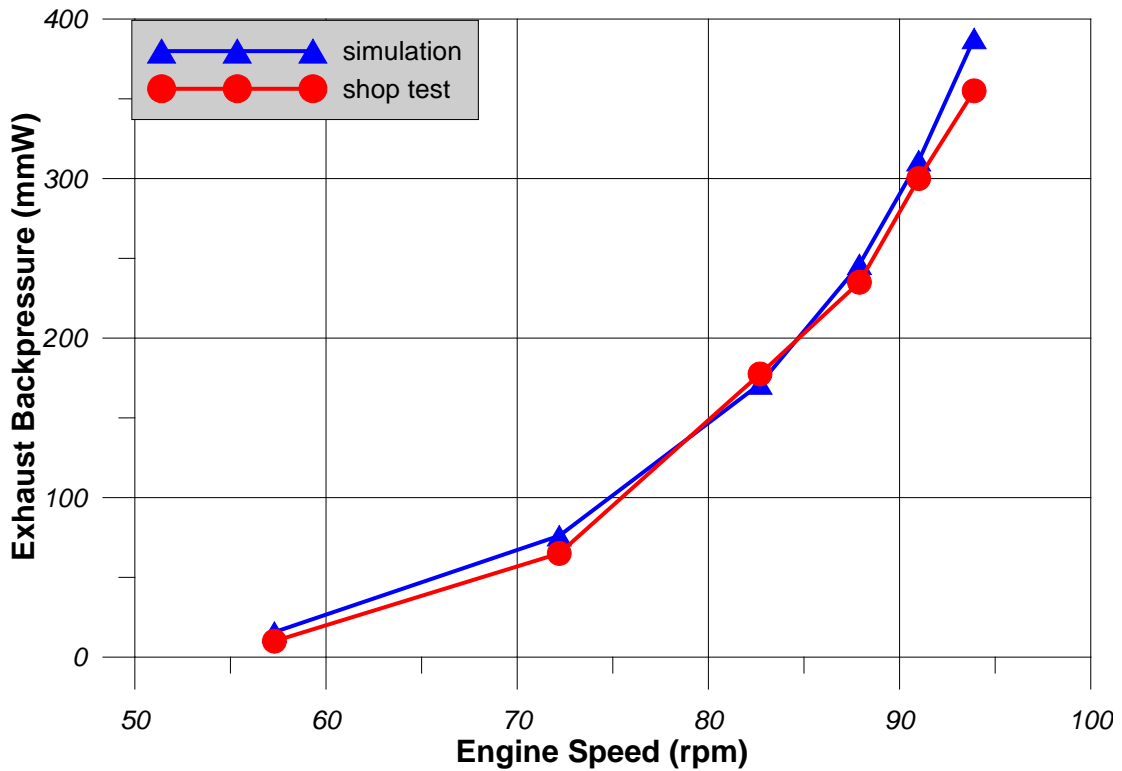
Επίσης στο διάγραμμα 6-12β δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους κυλίνδρους του κινητήρα συναρτήσει της ισχύος του. Και σε αυτή την περίπτωση το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, αφού όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα η μεγαλύτερη απόκλιση είναι της τάξει των 20 °C και θεωρείται αμελητέα εφόσον πρόκειται για θερμοκρασία καυσαερίων.





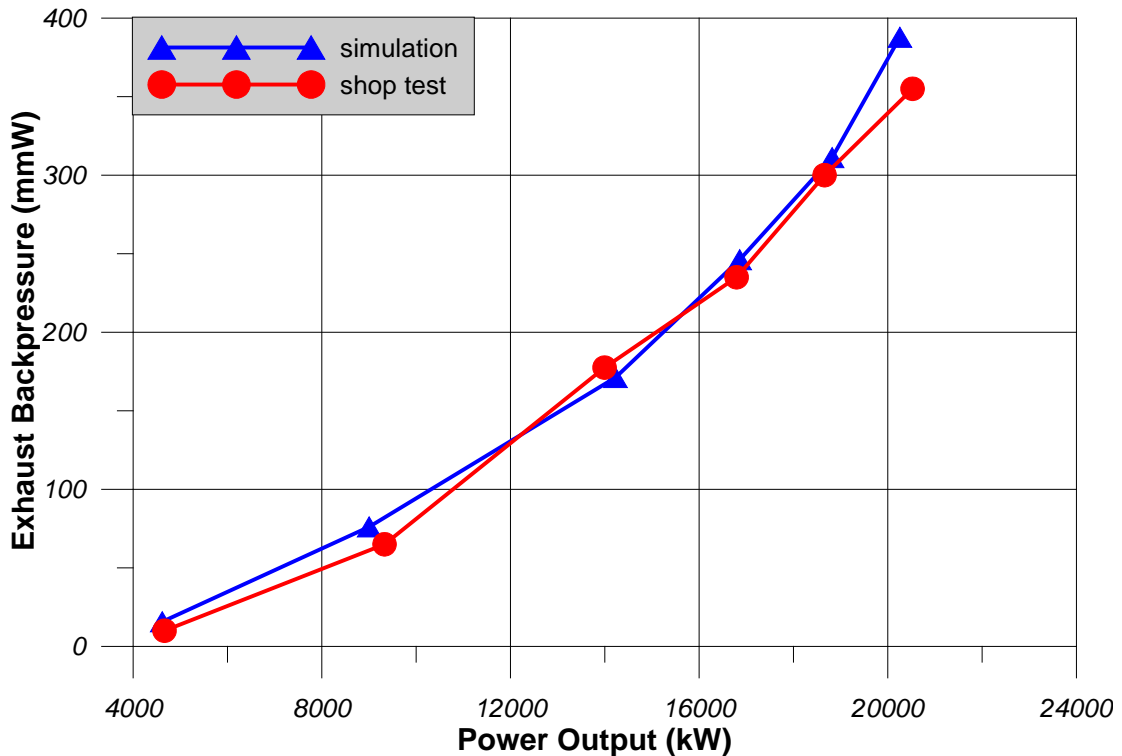
Διάγραμμα 6-12β Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Κυλίνδρους  
Συναρτήσει της Ισχύος

Ακόμα έχουμε το διάγραμμα 6-13α που δίνει τη σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης πίεσης των καυσαερίων στον οχετό εξαγωγής συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Στον οχετό αυτό, όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, συγκεντρώνονται τα καυσαέρια μετά την έξοδό τους από τους κυλίνδρους του κινητήρα και πριν την είσοδό τους στους δύο στρόβιλους των αντίστοιχων στροβιλο-υπερπληρωτών. Το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς παρατηρείται σχεδόν πλήρης ταύτιση των καμπύλων που προέκυψαν από την προσομοίωση με αυτών των shop test.



Διάγραμμα 6-13α Πίεση Καυσαερίων στον Οχετό Εξαγωγής Συναρτήσεϊ των Στροφών

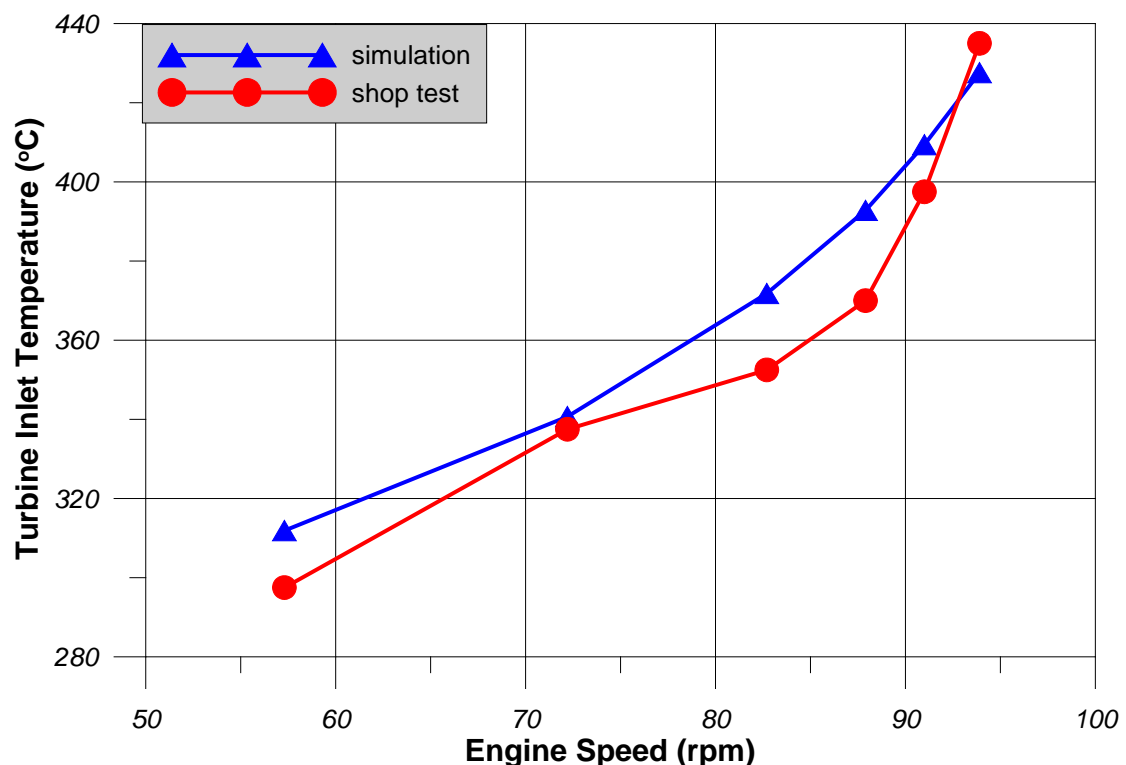
Τέλος στο διάγραμμα 6-13β δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη πίεση των καυσαερίων στον οχετό εξαγωγής συναρτήσεϊ της ισχύος του κινητήρα. Το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα και σε αυτή την περίπτωση.



Διάγραμμα 6-13β Πίεση Καυσαερίων στον Οχετό Εξαγωγής Συναρτήσεϊ της Ισχύος

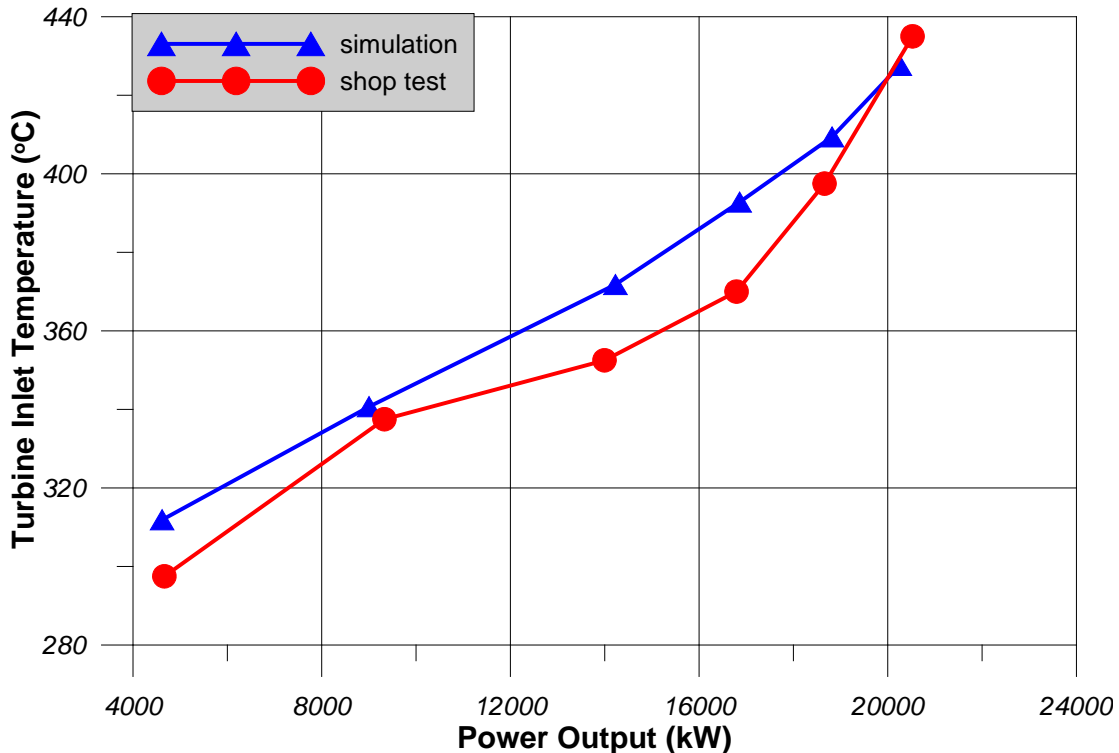
## 6.2.9 Σύστημα Υπερπλήρωσης

Στο διάγραμμα 6-14α δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στους στροβίλους των δύο στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Στο αρχικό διάγραμμα η καμπύλη που είχε προκύψει από την προσομοίωση 'ακολουθούσε' τη μορφή της αντίστοιχης καμπύλης των shop test ωστόσο υπήρχε μια σταθερή σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Αυτό οφειλόταν προφανώς σε πρόβλημα κάποιου οργάνου μέτρησης και για αυτό δημιουργήθηκε μία νέα καμπύλη shop test η οποία στηρίζεται και στα sea trial, ώστε να απαλλαγούμε από τις λάθος μετρήσεις. Το σφάλμα επιβεβαιώθηκε από την ανάλυση των μετρήσεων των sea trial και από το ενεργειακό ισοζύγιο συμπιεστή-στροβίλου. Συγκεκριμένα από τις αρχικές μετρήσεις των shop test αφαιρέθηκαν 65 °C, αφού τόσο εκτιμήθηκε με βάση τα sea trial ότι είναι το λάθος των μετρήσεων, και έτσι προέκυψε το διάγραμμα 4-14α. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας καθώς η μεγαλύτερη απόκλιση που παρατηρείται είναι περίπου 15 °C και είναι αμελητέα.



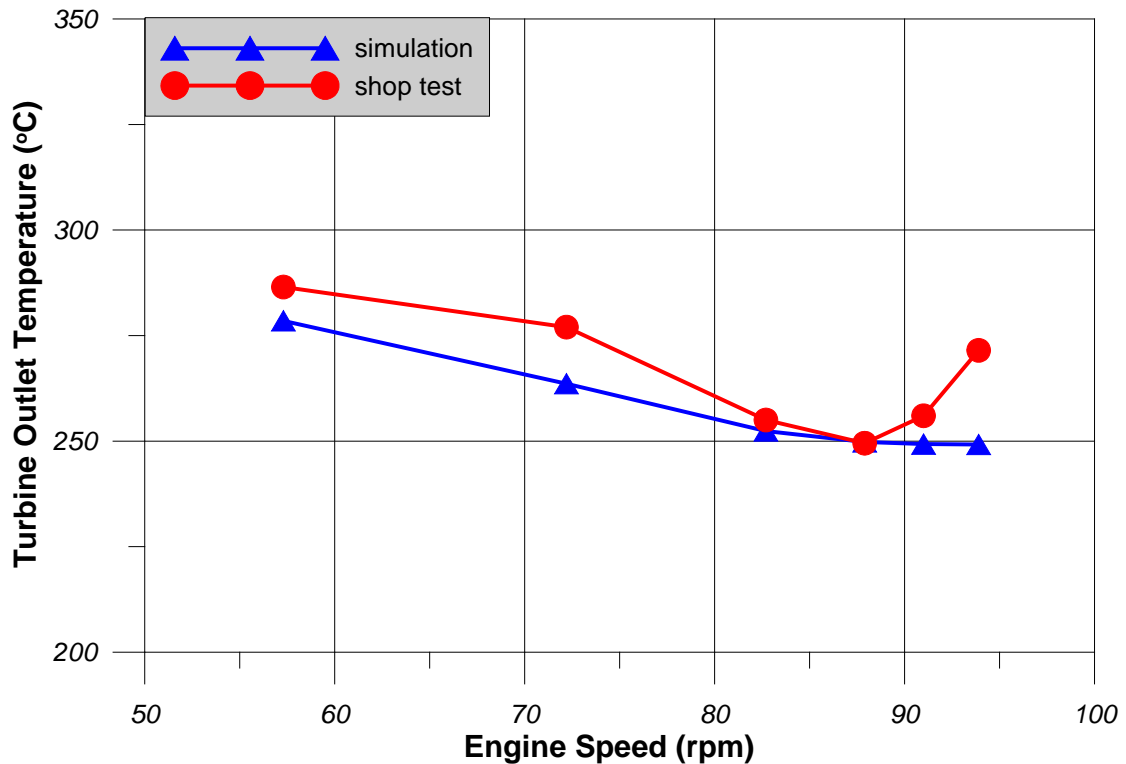
Διάγραμμα 6-14α Θερμοκρασία Εισόδου Καυσαερίων στους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσει των Στροφών

Ακολουθως έχουμε το διάγραμμα 6-14β στο οποίο δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στους δύο στροβιλο-υπερπληρωτές συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Το διάγραμμα αυτό δημιουργήθηκε με όμοιο τρόπο όπως και το προηγούμενο, δηλαδή από τις αρχικές μετρήσεις των shop test αφαιρέθηκαν 65 °C. Και σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα του λογισμικού είναι ικανοποιητικά.



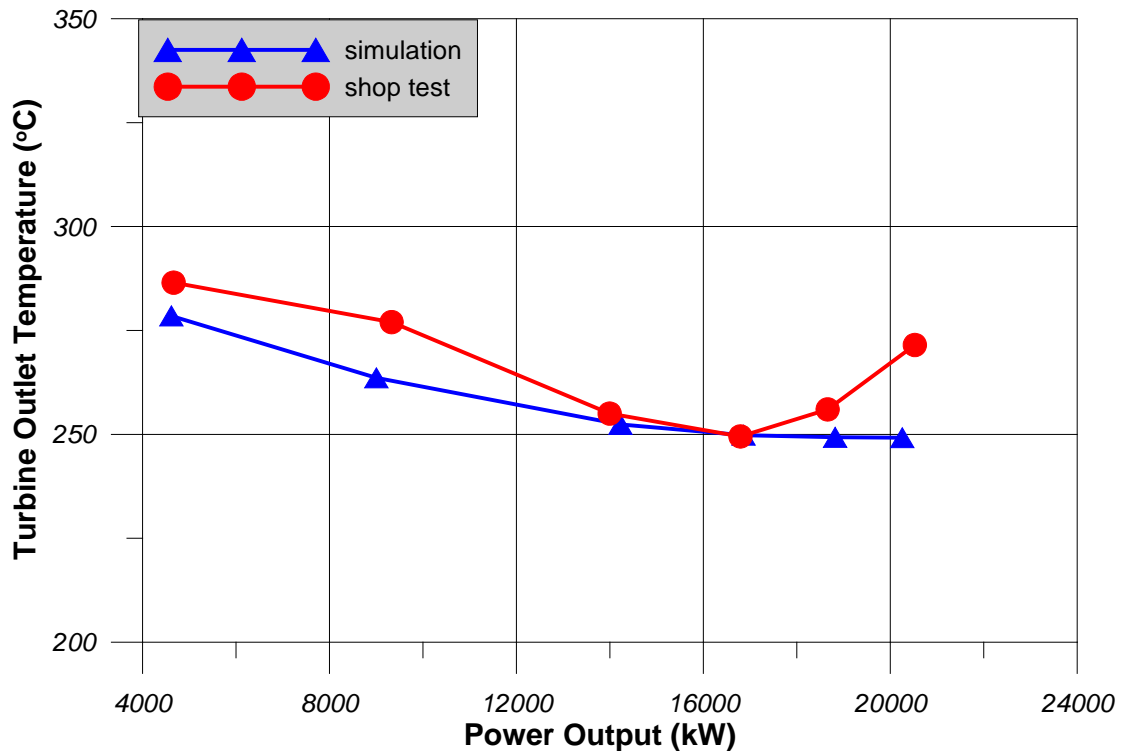
Διάγραμμα 6-14β Θερμοκρασία Εισόδου Καυσαερίων στους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσει της Ισχύος

Επίσης στο διάγραμμα 6-15α δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους στροβίλους των στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Η μέγιστη απόκλιση που παρατηρείται είναι περίπου 25 °C, που όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω αποτελεί αμελητέα διαφορά μιας και αναφερόμαστε σε θερμοκρασία καυσαερίων. Γενικά η μέτρηση της θερμοκρασίας καυσαερίων εμπεριέχει πάντα κάποιο σφάλμα. Συμπεραίνεται επομένως ότι το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



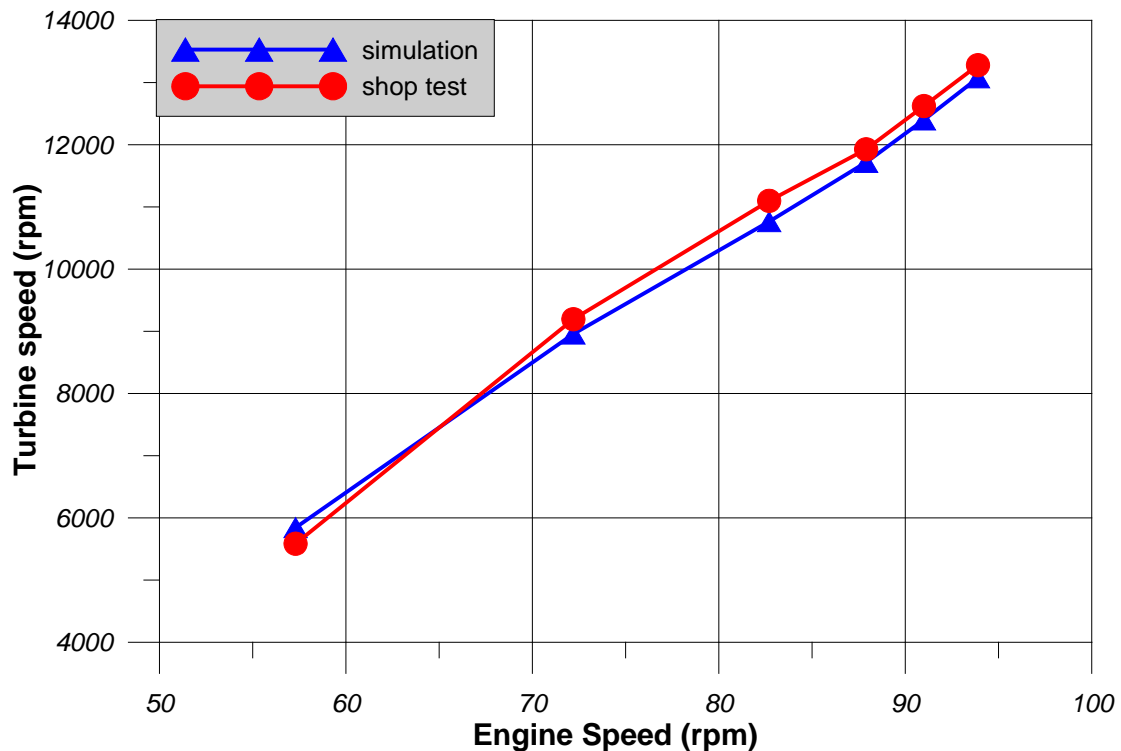
Διάγραμμα 6-15α Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσεσι των Στροφών

Ακόμα έχουμε το διάγραμμα 6-15β το οποίο δίνει τη σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τους στροβίλους των στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσεσι της ισχύος του κινητήρα. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας.



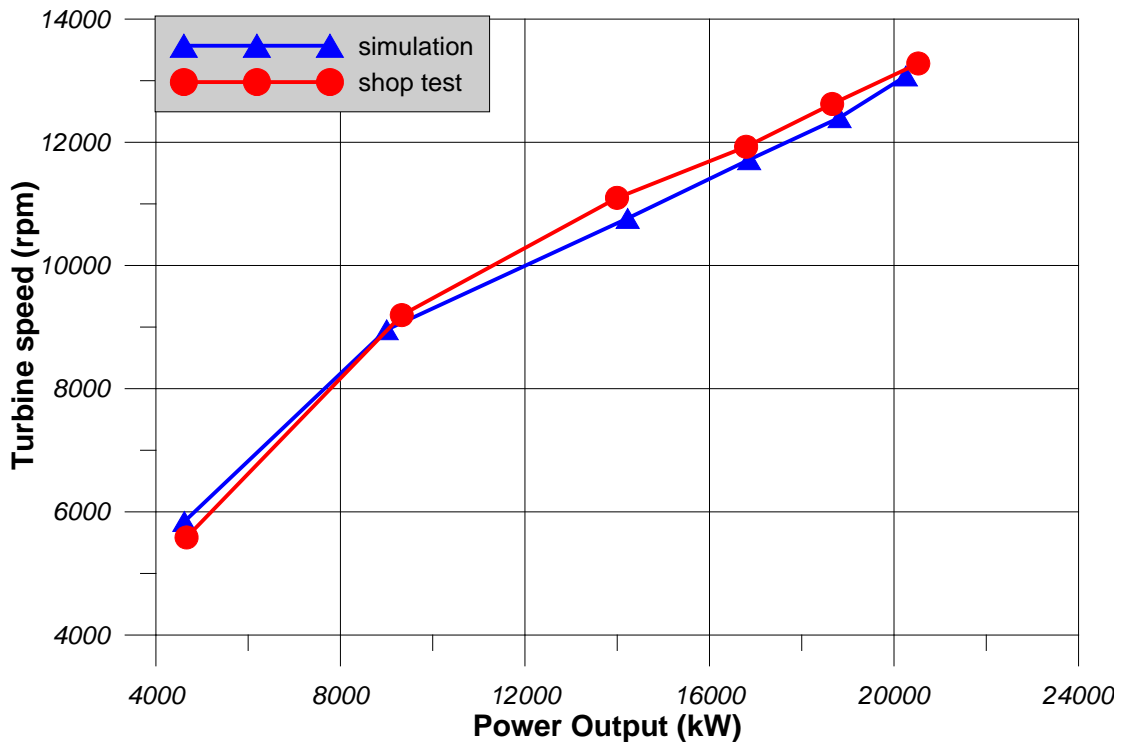
Διάγραμμα 6-15β Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσει της Ισχύος

Επιπροσθέτως στο διάγραμμα 6-16α δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη και την μετρημένη ταχύτητα περιστροφής των αξόνων των στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα. Το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Διάγραμμα 6-16α Ταχύτητα Περιστροφής Στροβιλο-υπερπληρωτών Συναρτήσει των Στροφών

Τέλος στο διάγραμμα 6-16β που ακολουθεί, δίνεται η σύγκριση μεταξύ της υπολογισμένης και της μετρημένης ταχύτητας περιστροφής των αξόνων των στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Και σε αυτή την περίπτωση το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Διάγραμμα 6-16β Ταχύτητα Περιστροφής Στροβιλο-υπερπληρωτών Συναρτήσει της Ισχύος

### 6.3 Συμπεράσματα Προβλεπτικής Ικανότητας του Προσομοιωτή EDS-V

Από τα διαγράμματα τα οποία παρουσιάσθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο συμπεραίνεται ότι το λογισμικό EDS-V κρίνεται ως αξιόπιστο για την προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα μας. Οι περισσότερες μεταβολές λειτουργικών παραμέτρων που έχουν προκύψει από την προσομοίωση ταυτίζονται πλήρως με τις αντίστοιχες μεταβολές των shop test, ενώ στις υπόλοιπες οι αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι μικρές.

Αποκλίσεις εμφανίζονται κυρίως σε μεταβολές λειτουργικών παραμέτρων που σχετίζονται με θερμοκρασίες, επειδή όμως είναι της τάξης των 25 °C η μέγιστη απόκλιση και πρόκειται για θερμοκρασίες καυσαερίων, μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Να αναφέρουμε ότι ειδικά για τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου των καυσαερίων από τους στροβιλο-υπερπληρωτές υπάρχει μεγάλη δυσκολία στον προσδιορισμό τους, καθώς υπεισέρχονται αρκετοί παράγοντες που επιφέρουν σφάλμα στην μέτρηση. Για το λόγο αυτό σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μόνο ως ενδείξεις.

Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό EDS-V για να προσομοιωθεί η λειτουργία του κινητήρα για ένα εύρος τιμών ολίσθησης της έλικας του πλοίου, γνωρίζοντας ότι ο κώδικας θα μας παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα όσον αφορά τη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## Προσομοίωση Λειτουργίας Ναυτικού Κινητήρα για Διάφορες Τιμές Ολίσθησης της Έλικας

### 7.1 Υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί που έγιναν αφορούν σε λειτουργία με βάση τον νόμο της έλικας. Γνωρίζουμε ότι ο νόμος αυτός για πλοία με έλικα σταθερού βήματος, όπως είναι το πλοίο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, διέπεται από τον εξής μαθηματικό τύπο:

$$P = \alpha V^3 \quad (7.1)$$

, όπου  $P$  είναι η ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας,  $V$  η πραγματική ταχύτητα του πλοίου και  $\alpha$  μια σταθερά που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η ολίσθηση της έλικας, οι καιρικές συνθήκες κ.α.

Από τον ορισμό του φαινόμενου λόγου ολίσθησης έχουμε ότι:  $S_A = \frac{V_T - V}{V_T}$ , όπου  $V_T$  είναι η θεωρητική ταχύτητα του πλοίου, χωρίς την ύπαρξη ολίσθησης, η οποία ισούται με το γινόμενο του βήματος της έλικας  $p$  με το ρυθμό περιστροφής της  $n$ , δηλαδή ισχύει:  $V_T = pn$ .

Επιλύοντας τη σχέση του ορισμού του φαινόμενου λόγου ολίσθησης ως προς την πραγματική ταχύτητα του πλοίου προκύπτει ότι:  $V_T - V = S_A V_T$ . Άρα:

$$V = V_T (1 - S_A) \quad (7.2)$$

Αντικαθιστώντας στη συνέχεια την πραγματική ταχύτητα στον νόμο της έλικας προκύπτει ότι:

$$P = \alpha \{V_T (1 - S_A)\}^3 = \alpha \{pn(1 - S_A)\}^3 = \alpha p^3 n^3 (1 - S_A)^3 \quad (7.3).$$

Επειδή, όπως έχουμε αναφέρει, η παρούσα έλικα διαθέτει σταθερό βήμα θεωρούμε ότι:

$$A = \alpha p^3 \quad (7.4)$$

, που είναι ένας σταθερός αριθμός. Επομένως θα έχουμε τελικά ότι:

$$P = A n^3 (1 - S_A)^3 \quad (7.5)$$

Για λόγους συντομίας από εδώ και στο εξής το  $S_A$  θα το αποκαλούμε ολίσθηση και είναι το μέγεθος με το οποίο θα ασχοληθούμε. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, πρόκειται για ένα μέγεθος το οποίο είναι εύκολα μετρήσιμο από το πλήρωμα του πλοίου. Στο κεφάλαιο αυτό θα προσομοιώσουμε τη λειτουργία του κινητήρα για τις εξής τιμές της ολίσθησης: -7,5%, -5%, -2,5%, 2,5%, 5% και 7,5%.

Τα δεδομένα που εισάγουμε στο λογισμικό είναι οι στροφές του κινητήρα και η κατανάλωση καυσίμου. Θα πρέπει επομένως, επειδή οι στροφές του κινητήρα είναι συγκεκριμένες και ίδιες με αυτές των shop test για

να υπάρχει σύγκριση, να εκτιμήσουμε την κατανάλωση καυσίμου ανάλογα με την εκάστοτε τιμή της ολίσθησης. Ως βάση για τους υπολογισμούς μας θα χρησιμοποιήσουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση του έκτου κεφαλαίου, τα οποία στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αποκαλούνται αποτελέσματα χωρίς ολίσθηση (without slip) και θα έχουν το δείκτη WS.

Έτσι αρχικά θα εκτιμήσουμε την ισχύ που αναμένεται να αποδίδει ο κινητήρας, για τις τιμές της ολίσθησης που αναφέραμε παραπάνω, ως εξής. Ισχύει ότι:

$$P_{ws}/P = An^3(1 - 0)^3 / An^3(1 - slip)^3 = 1 / (1 - slip)^3 \quad (7.6)$$

, όπου  $P_{ws}$  είναι η ισχύς για μηδενική ολίσθηση (without slip). Ο λόγος αυτός προέκυψε από την σχέση που καταλήξαμε για το νόμο της έλικας και εφαρμόστηκε για διαφορετική ολίσθηση αλλά για ίδια ταχύτητα περιστροφής της έλικας. Επομένως επιλύοντας ως προς την ισχύ P θα έχουμε ότι:

$$P = P_{ws}(1 - slip)^3 \quad (7.7)$$

Αντικαθιστώντας τώρα τις τιμές της ολίσθησης που έχουμε προαναφέρει προκύπτει ο πίνακας 7-1, όπου στην πρώτη γραμμή φαίνεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα σε rpm, στην πρώτη στήλη η ολίσθηση της έλικας και στο κυρίως σώμα του πίνακα οι ισχύεις που προκύπτουν σε kW.

slip\ rpm	57,3	72,2	82,7	87,9	91	93,9
0%	4616,7	9005,0	14228,1	16859,6	18819,6	20255,2
-7,50%	5735,3	11186,9	17675,5	20944,6	23379,5	25163
-5%	5344,4	10424,4	16470,8	19517,1	21786,0	23447,9
-2,50%	4971,7	9697,4	15322,1	18155,9	20266,7	21812,6
2,50%	4279,0	8346,4	13187,4	15626,5	17443,1	18773,7
5%	3958,2	7720,7	12198,8	14455,0	16135,5	17366,3
7,50%	3653,9	7127,0	11260,9	13343,6	14894,8	16031

Πίνακας 7-1 Ισχύεις για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Έχοντας λοιπόν εκτιμήσει τις διάφορες ισχύεις για τις διάφορες τιμές της ολίσθησης και θεωρώντας ότι η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι περίπου ανεξάρτητη της ολίσθησης λόγω μικρής μεταβολής του φορτίου, μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική κατανάλωση καυσίμου από τη σχέση:

$$Tfc = P \times bsfc_{ws} \quad (7.8)$$

, όπου Tfc είναι η συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total fuel consumption), P είναι η ισχύς του κινητήρα και  $bsfc_{ws}$  είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου για συνθήκες λειτουργίας μηδενικής ολίσθησης. Η παραδοχή αυτή, ότι

δηλαδή η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι ανεξάρτητη της ολίσθησης της έλικας, είναι μια πολύ καλή προσέγγιση της πραγματικότητας και θεωρείται ικανοποιητική για την εργασία αυτή.

Ο πίνακας 7-2, μας δίνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου για τις διάφορες τιμές της ολίσθησης. Στην πρώτη στήλη δίνεται η ολίσθηση της έλικας, στην πρώτη γραμμή δίνεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα σε rpm και στο κυρίως σώμα του πίνακα δίνεται η συνολική κατανάλωση καυσίμου που προκύπτει σε kg/h.

slip\rpm	57,3	72,2	82,7	87,9	91	93,9
0	906,2	1729,3	2533,8	3051,4	3420,9	3818,1
-7,50%	1125,8	2147,9	3148,0	3791,0	4250,4	4743,2
-5%	1049,1	2001,5	2933,5	3532,6	3960,7	4419,9
-2,50%	975,9	1861,9	2728,9	3286,2	3684,5	4111,7
2,50%	840,0	1602,5	2348,7	2828,4	3171,2	3538,8
5%	777,0	1482,4	2172,6	2616,4	2933,4	3273,5
7,50%	717,3	1368,4	2005,6	2415,2	2707,9	3021,9

Πίνακας 7-2 Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Στον παραπάνω πίνακα (πίνακας 7-2) η συνολική κατανάλωση καυσίμου για μηδενική ολίσθηση (without slip) προέκυψε από την προσομοίωση του έκτου κεφαλαίου.

Ακολουθώς υπολογίζουμε την πραγματική τιμή της ολίσθησης, επειδή λόγω της υπόθεσης που κάναμε για την ειδική κατανάλωση καυσίμου προκύπτει μετά την προσομοίωση ισχύ τέτοια που αν την αντικαταστήσουμε στη σχέση  $P=P_{ws}(1 - slip)^3$  προκύπτει διαφορετική τιμή ολίσθησης από αυτή που έχουμε αρχικά υποθέσει. Έτσι επιλύουμε την παραπάνω σχέση ως προς την ολίσθηση και έχουμε ότι:

$$slip=1-\sqrt[3]{P/P_{ws}} \quad (7.9)$$

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε από την προσομοίωση που κάναμε στο παρόν κεφάλαιο, και που θα παρουσιάσουμε παρακάτω, τις τιμές τις ισχείς που προέκυψαν και αντικαθιστώντας αυτές στη σχέση 7.9 προκύπτει ο πίνακας 7-3. Με τον τρόπο αυτό υπολογίζεται η πραγματική τιμή της ολίσθησης. Συγκεκριμένα διαπιστώνεται ότι για την ίδια τιμή της ολίσθησης που έχουμε υποθέσει, η πραγματική τιμή αυτής διαφέρει ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα. Οπότε υπολογίζοντας τον μέσο όρο των τιμών της πραγματικής

ολίσθησης προκύπτει μια νέα τιμή η οποία θα χρησιμοποιείται από εδώ και πέρα ως η πραγματική ολίσθηση.

Όλα αυτά φαίνονται καλύτερα στον πίνακα 7-3 που ακολουθεί. Στον πίνακα αυτό, στην πρώτη στήλη δίνεται η τιμή της ολίσθησης που έχουμε υποθέσει, ενώ στην τελευταία έχουμε το ζητούμενο μέσο όρο. Στις ενδιάμεσες στήλες δίνεται η τιμή της ολίσθησης που προκύπτει για τις διάφορες τιμές στροφών του κινητήρα και για τις διάφορες τιμές της ολίσθησης που έχουμε υποθέσει.

slip/rpm	57,3	72,2	82,7	87,9	91	93,9	Μέσος Όρος Πραγματικής Ολίσθησης(%)
-7,5%	-7,90	-8,91	-6,90	-7,28	-6,51	-6,94	-7,40
-5%	-5,34	-4,86	-4,71	-4,42	-4,45	-4,19	-4,66
-2,5%	-2,75	-2,55	-2,37	-2,29	-2,26	-2,16	-2,40
2,5%	2,51	2,39	3,42	2,30	2,28	1,85	2,46
5%	5,03	5,01	5,96	4,77	5,41	4,13	5,05
7,5%	7,70	7,45	8,27	7,10	7,65	6,33	7,42

Πίνακας 7-3 Πραγματική Ολίσθηση

Μια παρατήρηση που μπορεί να γίνει στο σημείο αυτό, είναι ότι οι τιμές της πραγματικής ολίσθησης που προκύπτουν είναι πλησίον των τιμών που αρχικά είχαμε υποθέσει. Επομένως μπορεί να θεωρηθεί ότι η παραδοχή που έγινε για την ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι όντως πλησίον της πραγματικότητας.

## 7.2 Προσομοίωση της Λειτουργίας του Κινητήρα για Διάφορες Τιμές Ολίσθησης της Έλικας

Ο τρόπος με τον οποίο προσομοιώθηκε η λειτουργία του κινητήρα για διάφορες τιμές της ολίσθησης της έλικας δεν διαφέρει σημαντικά από αυτόν που ακολουθήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έχει ως εξής. Αρχικά ορίσαμε τις ιδιότητες του καυσίμου όπως ακριβώς είχε γίνει και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επιλέγοντας την επιλογή 'Fuel' από το κύριο μενού του κώδικα ορίζεται η πυκνότητα του καυσίμου στα  $907 \text{ kg/m}^3$  και η θερμογόνο δύναμή του στα  $10015 \text{ kcal/kg}$ .

Έπειτα επιλέχθηκε η επιλογή 'Simulator' προκειμένου να προχωρήσουμε στην προσομοίωση του κινητήρα. Ακολούθως επιλέξαμε την επιλογή 'Engine Simulation' και δώσαμε τον απαραίτητο κωδικό. Μετά

ορίσαμε ότι τα υποσυστήματα του κινητήρα λειτουργούν στο 100%, αφού ο κινητήρας μας και τα υποσυστήματά του είναι καινούργια και λειτουργούν δίχως προβλήματα και δίχως να έχουν υποστεί οποιαδήποτε φθορά. Στο επόμενο βήμα δώσαμε ως δεδομένο στον κώδικα τις στροφές του κινητήρα στις οποίες μας ενδιαφέρει να προσομοιώσουμε τη λειτουργία του. Όπως και πριν η προσομοίωση θα γίνει για 57,3 rpm, 72,2 rpm, 82,7 rpm, 87,9 rpm, 91 rpm και 93,9 rpm (Πίνακας 6-1).

Αφού έχουμε εισάγει και τις στροφές του κινητήρα επιλέγουμε την επιλογή 'Calc.' δύο φορές, όπως και στο έκτο κεφάλαιο για τους λόγους που εξηγήσαμε εκεί, και ακολούθως μεταβάλλουμε την κατανάλωση του καυσίμου και εισάγουμε τις τιμές που έχουν προκύψει από τους υπολογισμούς μας για τις διάφορες τιμές της ολίσθησης, όπως αυτές φαίνονται στον πίνακα 7-2. Να επαναλάβουμε στο σημείο αυτό ότι για τις 87,9 rpm μεταβάλαμε την προπορεία έγχυσης καυσίμου από  $-2^{\circ}$  σε  $-1^{\circ}$ . Τέλος με την επιλογή 'OK' εκτελείται η προσομοίωση. Στην περίπτωση αυτή η προσομοίωση εκτελείται σε συνθήκες διαφορετικές από αυτές που αναφέρονται στα shop test.

Κλείνοντας την ενότητα αυτή αποσαφηνίζεται ότι εκτελούμε τριάντα έξι προσομοιώσεις αφού για κάθε μία από τις έξι τιμές στροφών του κινητήρα έχουμε έξι τιμές της ολίσθησης, -7,5%, -5%, -2,5%, 2,5%, 5% και 7,5%. Βέβαια όπως αναφέραμε και προηγουμένως οι πραγματικές τιμές της ολίσθησης είναι -7,4%, -4,66%, -2,4%, 2,46%, 5,05% και 7,42% αντίστοιχα και αυτές τις τιμές θα χρησιμοποιούμε από εδώ και στο εξής.

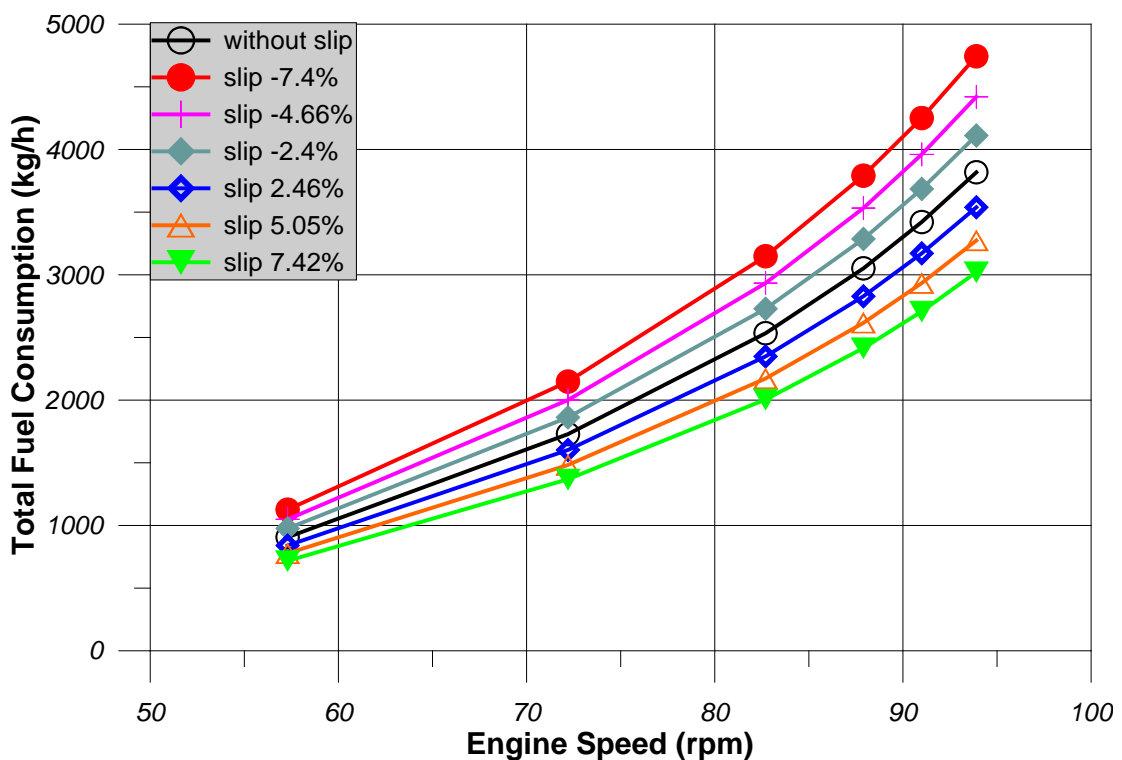
### **7.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης**

Με τον τρόπο που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα δημιουργήθηκαν οι απεικονίσεις των μεταβολών των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα που θα παρουσιασθούν παρακάτω. Απεικονίσεις έγιναν για όλα τα αποτελέσματα που παίρνουμε από την προσομοίωση του κινητήρα μέσω του λογισμικού, και όπως και στο κεφάλαιο έξι έχουν γίνει συναρτήσει των στροφών και της ισχύος του κινητήρα.

Στις απεικονίσεις αυτές οι καμπύλες που φαίνονται είναι για σταθερή τιμή της ολίσθησης και πιο συγκεκριμένα με κόκκινο χρώμα παριστάνονται τα διάφορα μεγέθη με ολίσθηση -7,4%, με μωβ χρώμα όσα έχουν ολίσθηση -4,66%, με σκούρο πράσινο όσα έχουν -2,4%, με μπλε όσα έχουν 2,46%, με πορτοκαλί όσα έχουν 5,05% και με πράσινο όσα έχουν 7,42%. Τέλος τα μεγέθη που αναφέρονται στη λειτουργία του κινητήρα χωρίς ολίσθηση της έλικας (without slip) αναπαριστάνονται με μαύρο χρώμα.

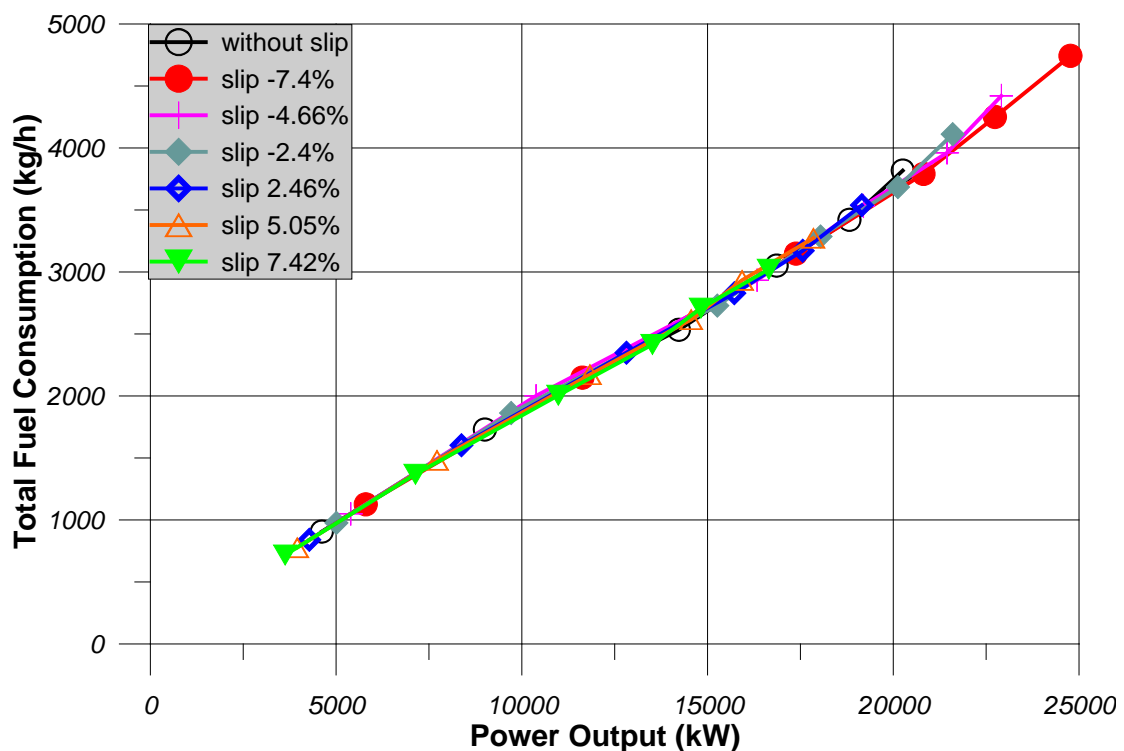
### 7.3.1 Προσομοίωση Κατανάλωσης Καυσίμου

Στο διάγραμμα 7-1α δίνεται η συνολική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Παρατηρείται ότι η επίδραση της ολίσθησης εξαρτάται από τις στροφές του κινητήρα και γίνεται εντονότερη με αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του.



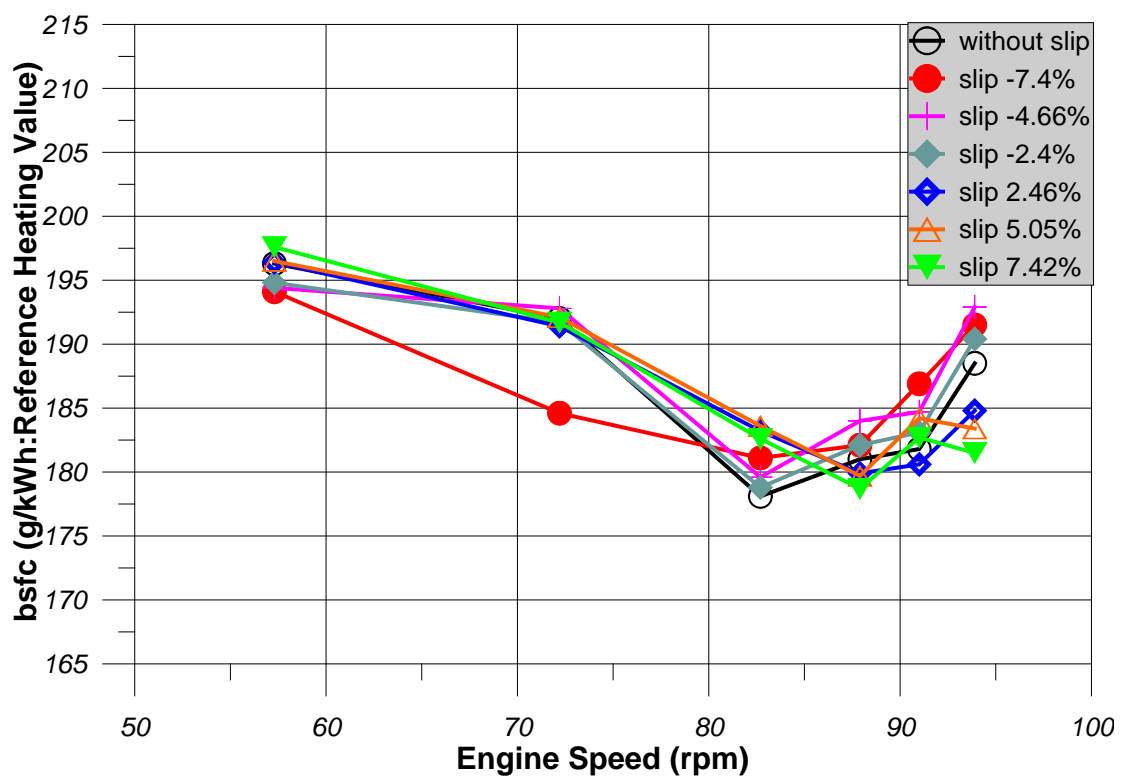
Διάγραμμα 7-1α Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Το διάγραμμα 7-1β δίνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Το συμπέρασμα που προκύπτει από αυτό το διάγραμμα είναι ότι η ολίσθηση δεν έχει μεγάλη επίδραση στην συνολική κατανάλωση καυσίμου στις χαμηλές ισχύεις. Στις υψηλές ισχύεις ωστόσο υπάρχει μια μικρή επίδραση καθώς παρατηρούνται μικρές διαφορές οι οποίες οφείλονται σε διαφορετική ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ.



Διάγραμμα 7-1β Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

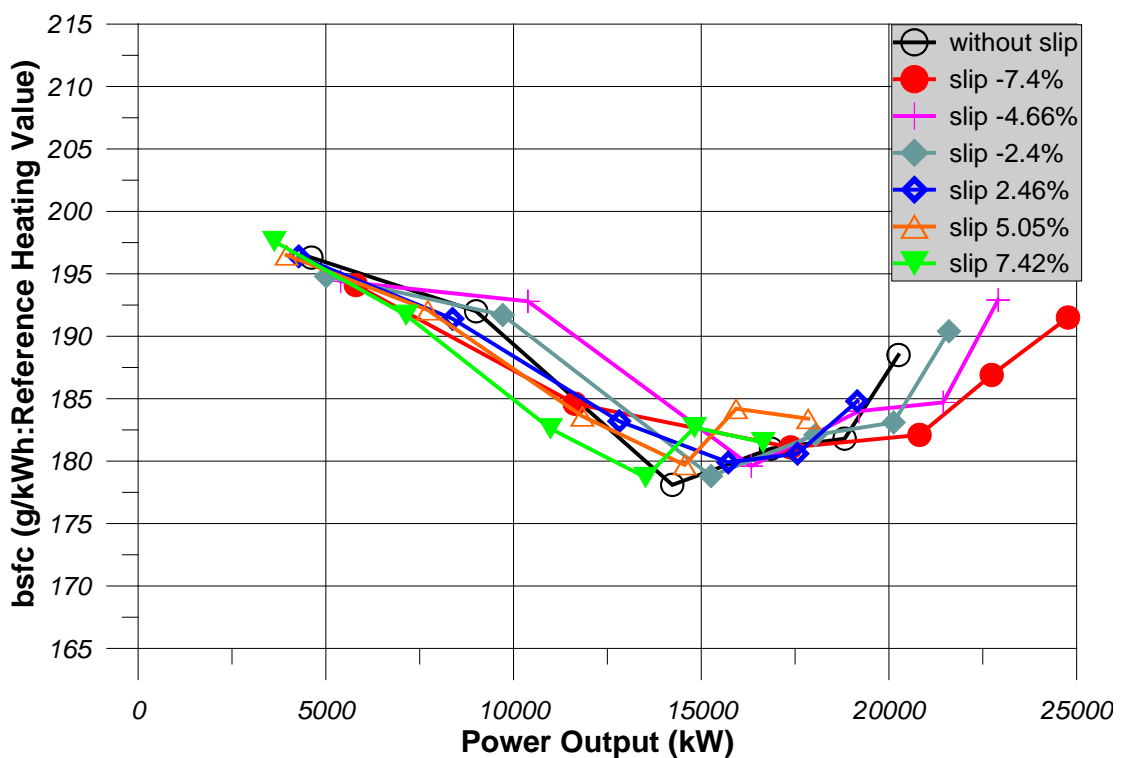
Ακολουθώντας στο διάγραμμα 7-2α δίνεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Φαίνεται ότι υπάρχει αλλαγή τάσης ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα καθώς στις χαμηλές ταχύτητες οι μεγάλες ολισθήσεις έχουν μεγάλη ειδική κατανάλωση καυσίμου ενώ στις υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής μεγάλη ειδική κατανάλωση καυσίμου έχουν οι μικρότερες ολισθήσεις.



Διάγραμμα 7-2α Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης



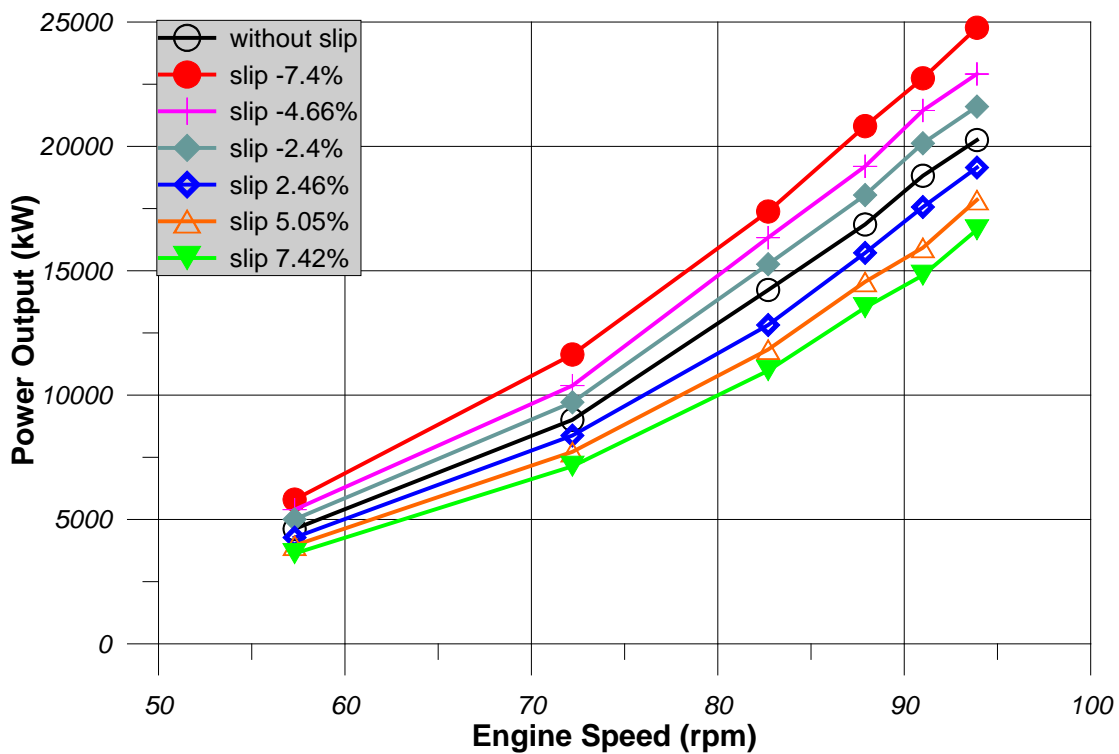
Τέλος το διάγραμμα 7-2β δίνει την ειδική κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα συναρτήσει της ισχύος του με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Αυτό που φαίνεται είναι ότι υπάρχει διαφορετική επίδραση της ολίσθησης στο χαμηλό και στο υψηλό φορτίο. Επίσης υπάρχει αλλαγή τάσης με την ισχύ στη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας, καθώς στις χαμηλές ισχύεις μεγάλη ειδική κατανάλωση καυσίμου έχουν οι μεγαλύτερες ολισθήσεις ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε υψηλότερες ισχύεις.



Διάγραμμα 7-2β Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

### 7.3.2 Προσομοίωση Καμπύλης Λειτουργίας

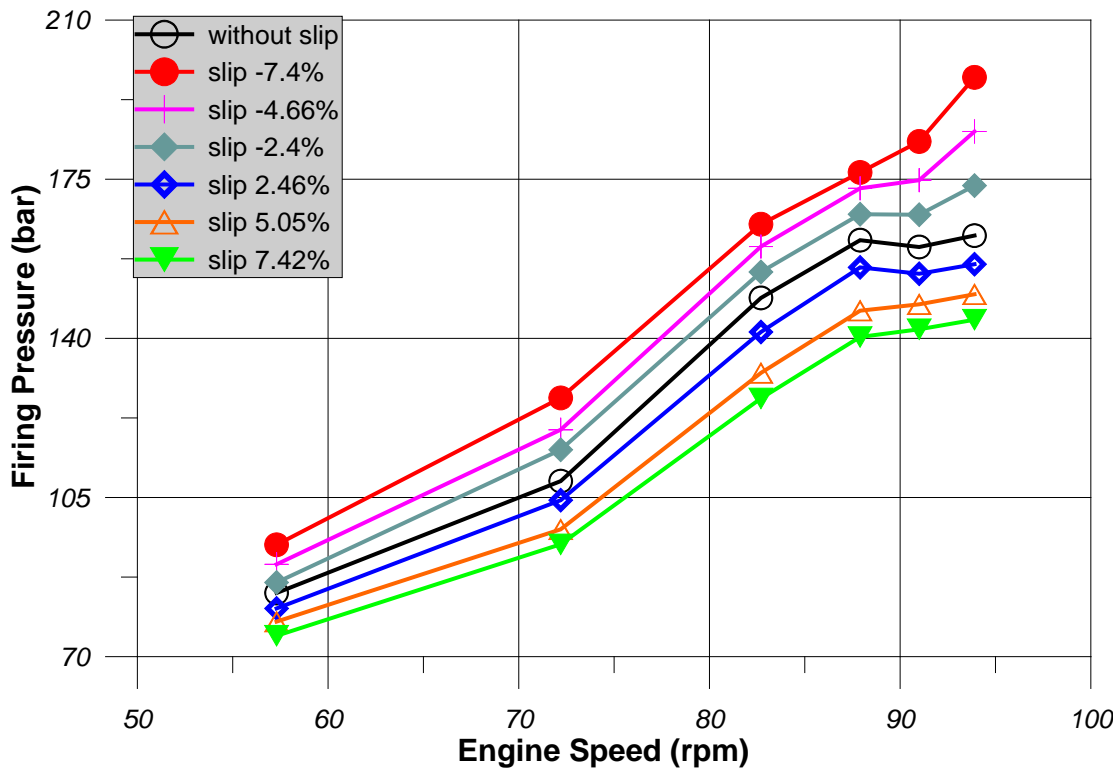
Στη συνέχεια στο διάγραμμα 7-3 δίνεται η καμπύλη λειτουργίας του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Αυτό που συμπεραίνεται είναι ότι η επίδραση της ολίσθησης εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και αυξάνει αυξανόμενης της ταχύτητάς του.



Διάγραμμα 7-2 Ισχύς Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

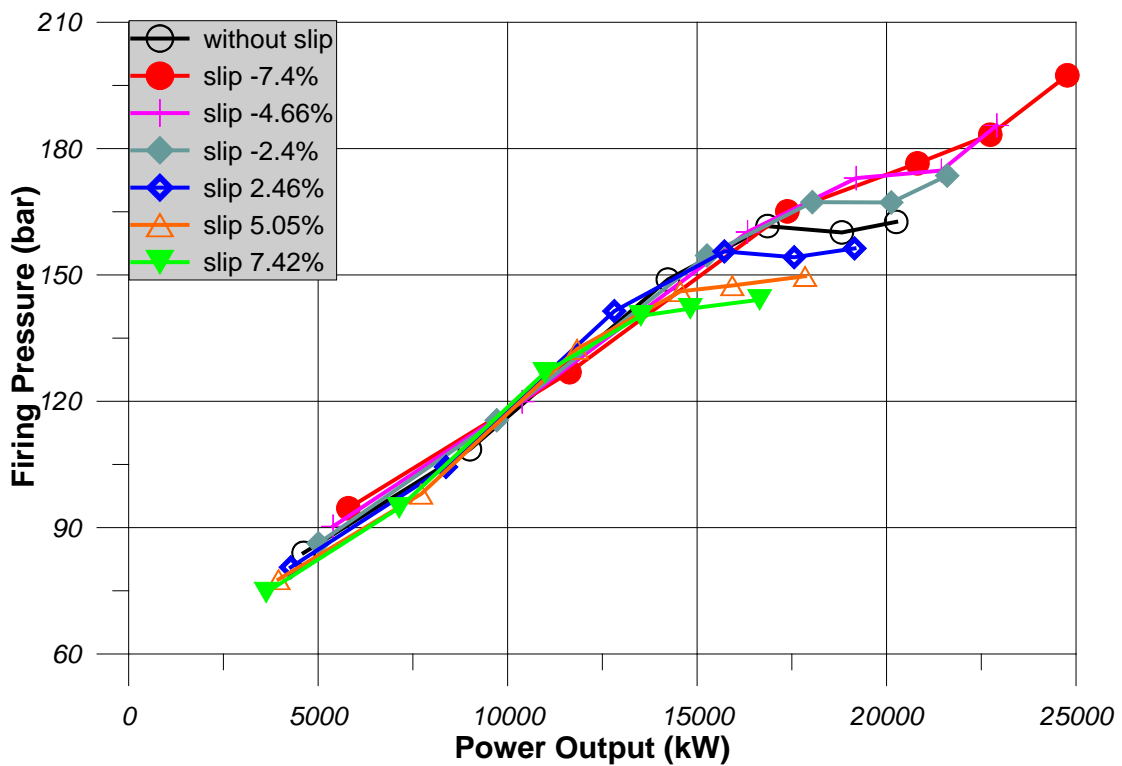
### 7.3.3 Προσομοίωση Μέγιστης Πίεσης Καύσης

Ακολουθώς έχουμε το διάγραμμα 7-4α στο οποίο δίνεται η μέγιστη πίεση καύσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Παρατηρείται ότι η επίδραση της ολίσθησης της έλικας στις χαμηλές και μέσες ταχύτητες περιστροφής είναι σχεδόν ίδια ανεξάρτητα από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής αυξάνεται ελαφρά αυξανόμενης της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα, ενώ στις πολύ υψηλές ταχύτητες η επίδραση της ολίσθησης γίνεται έντονη.



Διάγραμμα 7-3α Μέγιστη Πίεση Καύσης Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

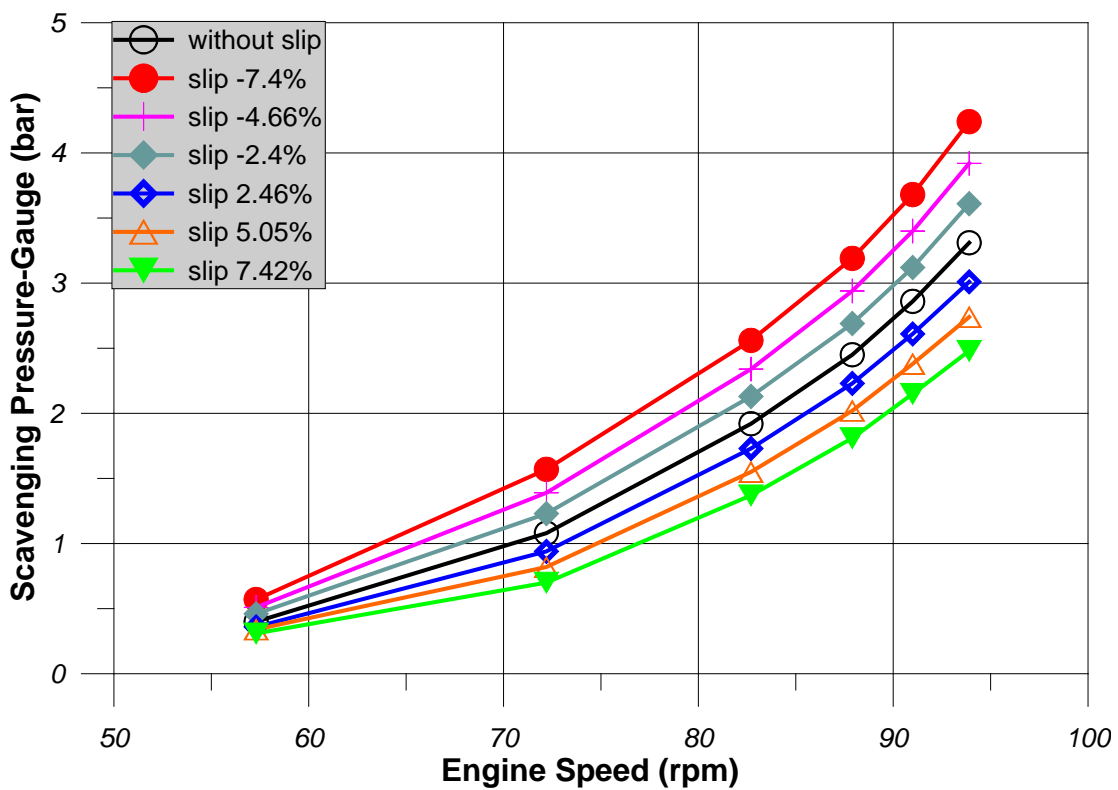
Επίσης έχουμε το διάγραμμα 7-4β, στο οποίο δίνεται η μέγιστη πίεση καύσης του κινητήρα συναρτήσει της ισχύος του με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Για μικρές ισχύεις παρατηρείται μικρή επίδραση της ολίσθησης. Στις υψηλές ισχύεις οι στροφές του κινητήρα προφανώς διαφέρουν αρκετά για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ επηρεάζοντας τη μέγιστη πίεση καύσης και για αυτό υπάρχουν διαφορές. Παρατηρείται επομένως επίδραση της ολίσθησης στις υψηλές ισχύεις.



Διάγραμμα 7-4β Μέγιστη Πίεση Καύσης Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

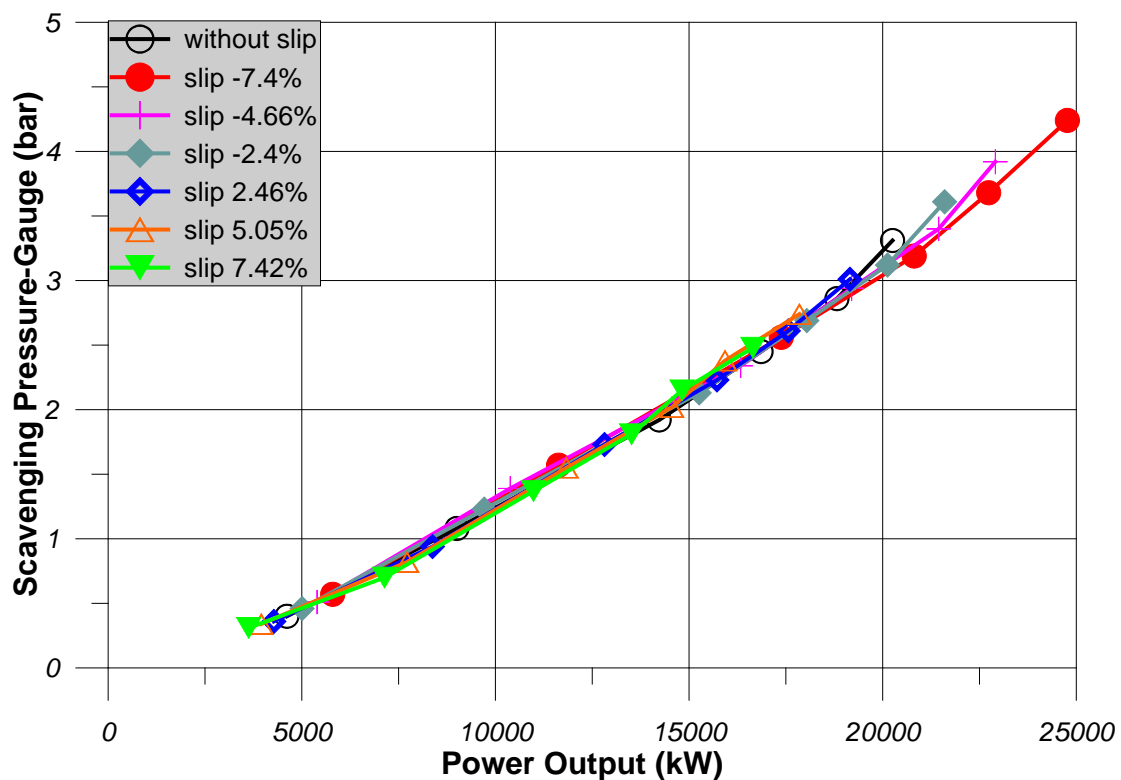
### 7.3.4 Προσομοίωση Συνθηκών Αέρα Σαρώσεως

Στο διάγραμμα 7-5α δίνεται η πίεση του αέρα σαρώσεως συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Στις χαμηλές ταχύτητες η επίδραση της ολίσθησης είναι μικρή. Παρατηρούμε όμως ότι όσο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα τόσο η επίδραση της ολίσθησης γίνεται πιο έντονη.



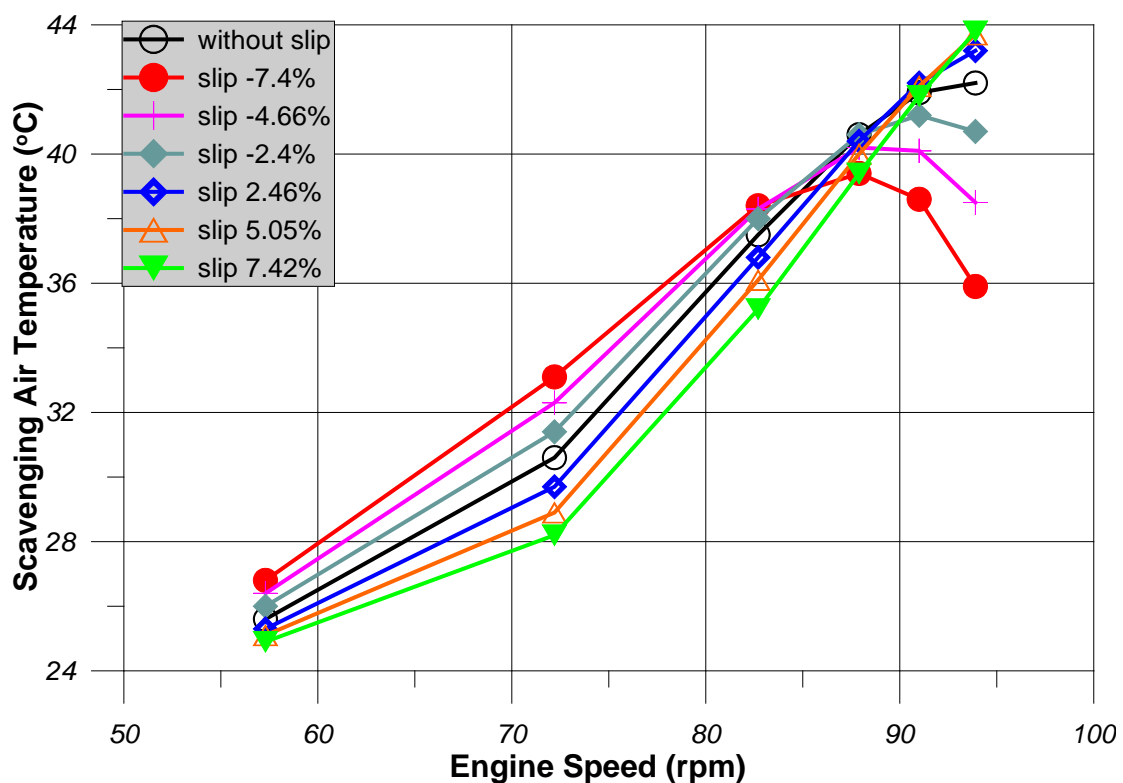
Διάγραμμα 7-5α Πίεση Αέρα Σάρωσης Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Επίσης έχουμε το διάγραμμα 7-5β το οποίο δίνει την πίεση του αέρα σάρωσης συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Στις χαμηλές ισχύεις δεν παρατηρείται επίδραση της ολίσθησης. Στις υψηλές ισχύεις ο κινητήρας, λόγω της επίδρασης της ολίσθησης, λειτουργεί σε αρκετά διαφορετικές στροφές για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ και για αυτό υπάρχουν διαφορές.



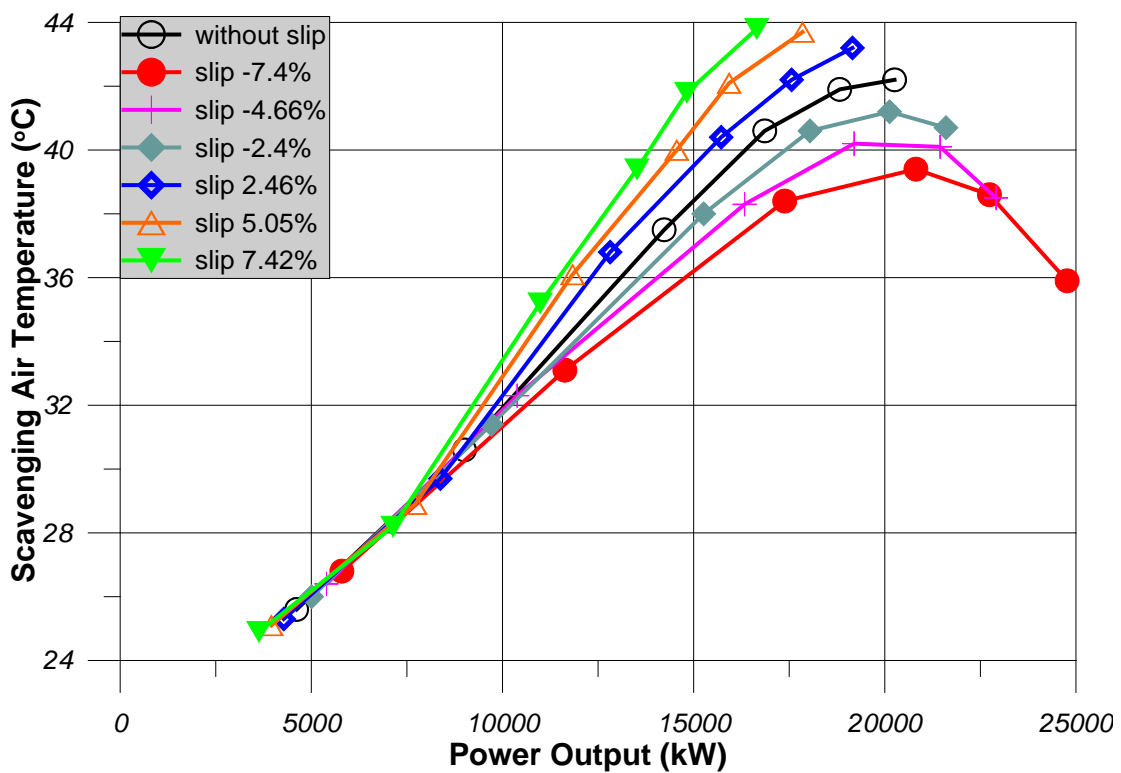
Διάγραμμα 7-5β Πίεση Αέρα Σάρωσης Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Ακόμα στο διάγραμμα 7-6α δίνεται η θερμοκρασία του αέρα σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Παρατηρείται διαφορετική επίδραση της ολίσθησης ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Συγκεκριμένα στα χαμηλά φορτία με αύξηση των στροφών αυξάνεται η επίδραση της ολίσθησης ενώ στις υψηλές στροφές συμβαίνει το αντίθετο. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι στα πολύ υψηλά φορτία υπάρχει μία αλλαγή τάσης στη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται και στο βαθμό απόδοσης του ψυγείου του αέρα που προκύπτει από τις μετρήσεις των shop test που χρησιμοποιούνται για την αρχική βαθμονόμηση. Μπορεί επομένως να θεωρηθεί φυσιολογική αυτή η αλλαγή τάσης.



Διάγραμμα 7-6α Θερμοκρασία Αέρα Σάρωσης Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Επιπροσθέτως το διάγραμμα 7-6β δίνει την θερμοκρασία του αέρα σάρωσης συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Στις χαμηλές ισχείς δεν επιδρά η ολίσθηση ενώ στις υψηλές ισχείς υπάρχει επίδραση. Επίσης, το λογισμικό δίδει καλύτερο βαθμό απόδοσης στο ψυγείο στις υψηλές ισχείς, άρα και στα υψηλά φορτία, αφού την μικρότερη θερμοκρασία την έχει η μικρότερη ολίσθηση που αντιστοιχεί σε υψηλότερη καμπύλη λειτουργίας, δηλαδή σε υψηλότερο φορτίο.

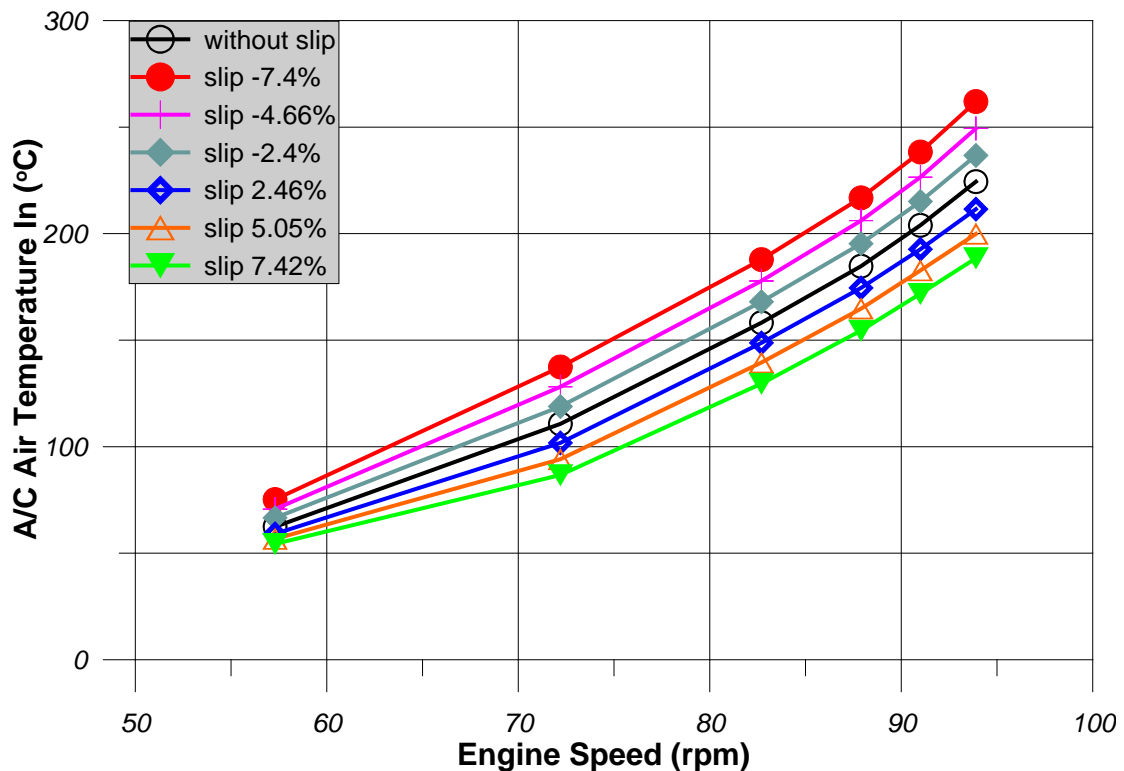


Διάγραμμα 7-6β Θερμοκρασία Αέρα Σάρωσης Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης



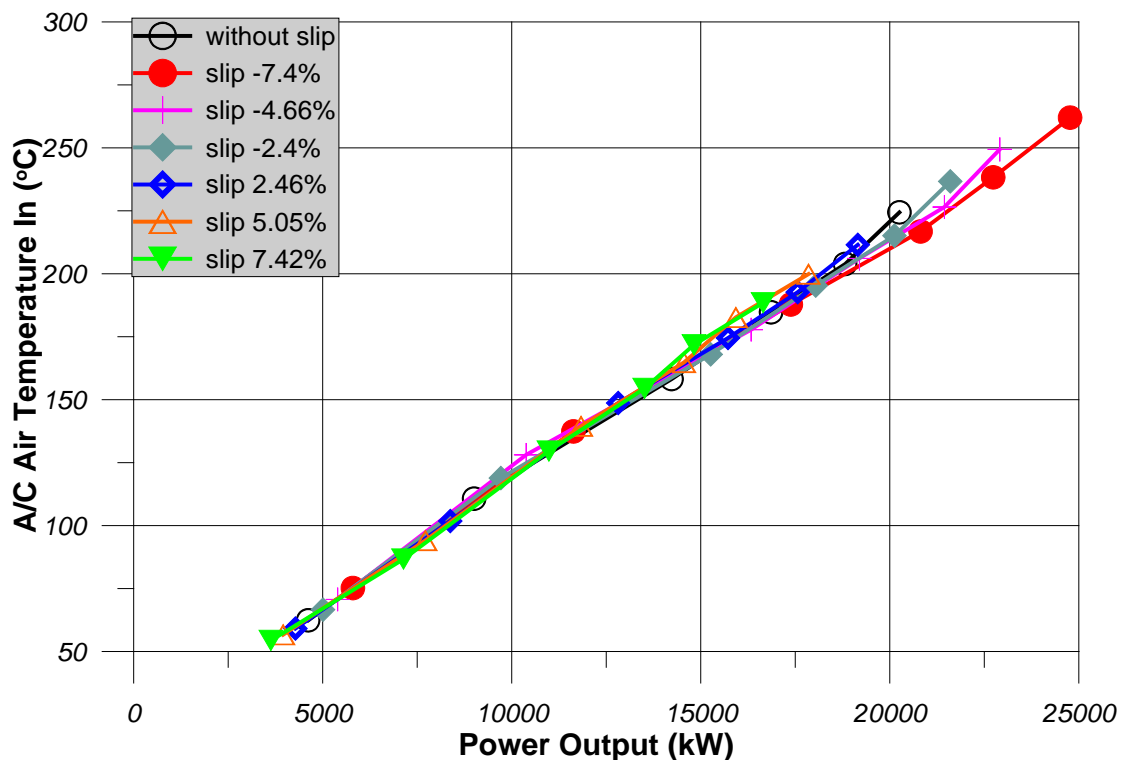
### 7.3.5 Προσομοίωση Παραμέτρων που Σχετίζονται με τα Ψυγεία του Αέρα Σαρώσεως

Στο διάγραμμα 7-7α δίνεται η θερμοκρασία εισόδου του αέρα στα ψυγεία του αέρα σαρώσεως, δηλαδή στην έξοδο του συμπιεστή, συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Η επίδραση της ολίσθησης εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και αυξάνεται ελαφρά με αύξηση των στροφών του.



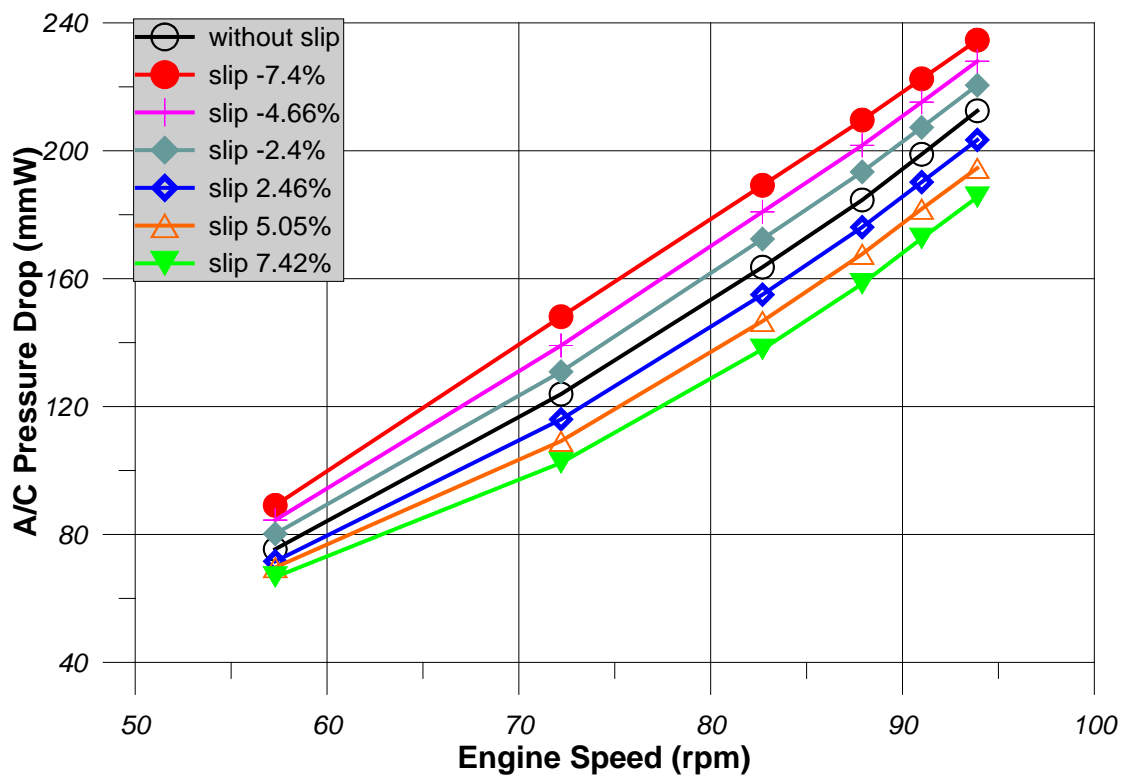
Διάγραμμα 7-7α Θερμοκρασία στην Έξοδο του Συμπιεστή Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Ακολουθως έχουμε το διάγραμμα 7-7β που δίνει τη θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπιεστή συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Στις χαμηλές ισχύεις δεν παρατηρείται επίδραση της ολίσθησης, ενώ στις υψηλές ισχύεις ο κινητήρας λειτουργεί σε αρκετά διαφορετικές στροφές για την ίδια ισχύ, λόγω επίδρασης της ολίσθησης, και για αυτό παρατηρούνται μικρές διαφορές.



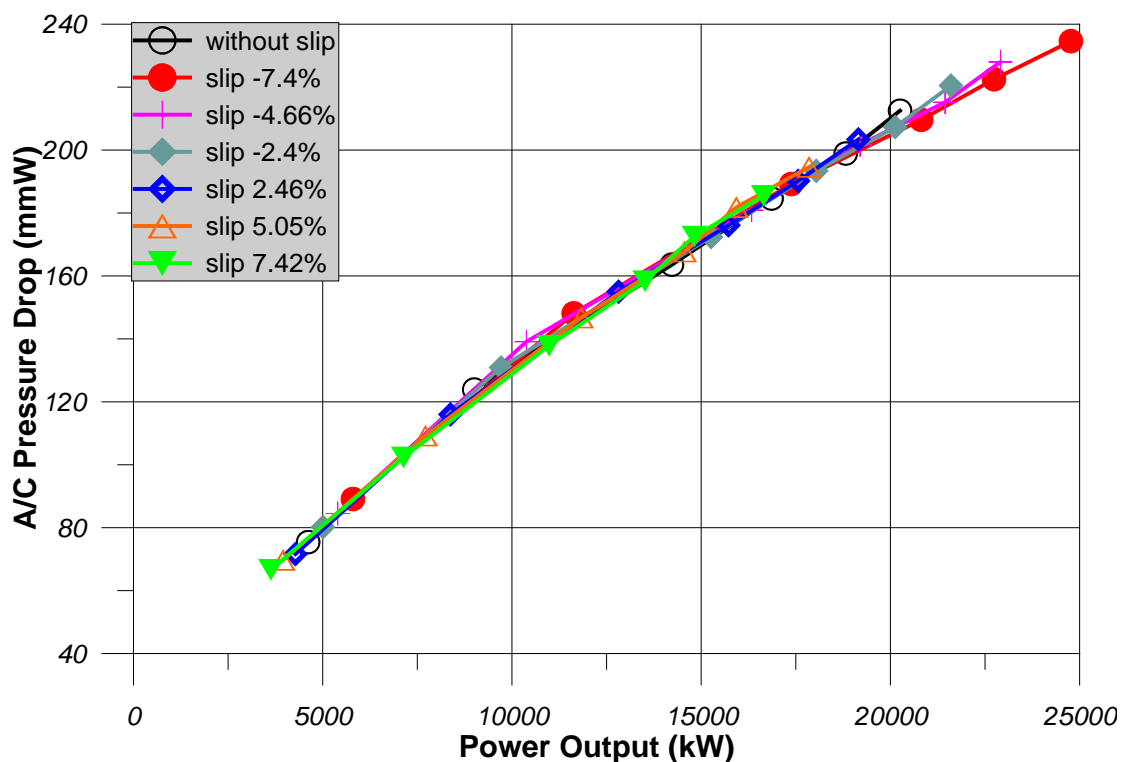
Διάγραμμα 7-7β Θερμοκρασία στην Έξοδο του Συμπιεστή Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Επιπροσθέτως στο διάγραμμα 7-8α δίνεται η πτώση πίεσης στο ψυγείο του αέρα σαρώσεως συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Φαίνεται ότι η ολίσθηση έχει επίδραση στις χαμηλές ταχύτητες η οποία αυξάνεται λίγο στις υψηλότερες ταχύτητες.



Διάγραμμα 7-8α Πτώση Πίεσης στο Ψυγείο Αέρα Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

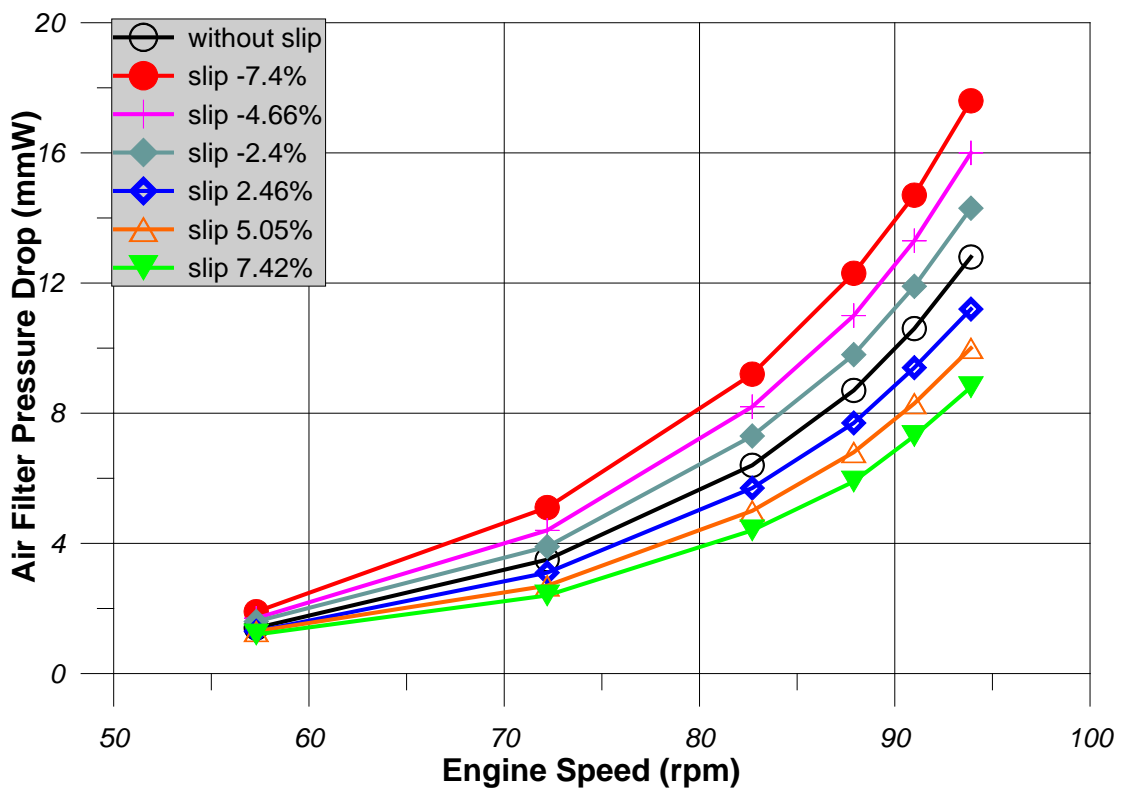
Τέλος στο διάγραμμα 7-8β δίνεται η πτώση πίεσης στο ψυγείο του αέρα σαρώσεως συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Στις υψηλές ισχύεις υπάρχει μικρή επίδραση της ολίσθησης καθώς ο κινητήρας λειτουργεί σε αρκετά διαφορετικές στροφές για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ και έτσι προκύπτουν μικρές διαφορές. Στις χαμηλές ισχύεις η ολίσθηση δεν επιδρά στη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας.



Διάγραμμα 7-8β Πτώση Πίεσης στο Ψυγείο Αέρα Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

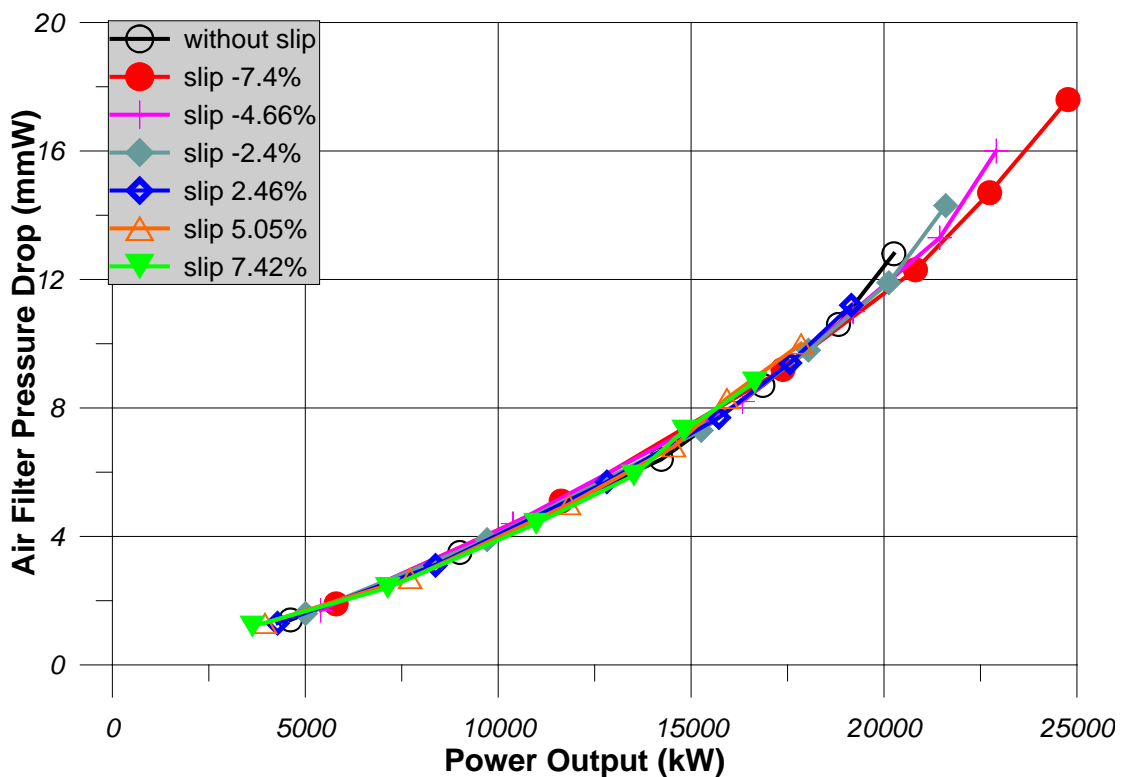
### 7.3.6 Προσομοίωση Παραμέτρων που Σχετίζονται με το Φίλτρο Αέρα

Το διάγραμμα 7-9α δίνει την πτώση πίεσης του αέρα που προκαλείται από την ύπαρξη του φίλτρου αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Παρατηρείται ότι στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής η επίδραση της ολίσθησης της έλικας είναι μικρή, ενώ γίνεται πολύ έντονη στις υψηλές στροφές.



Διάγραμμα 7-9α Πτώση Πίεσης Αέρα στο Φίλτρο Αέρα Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

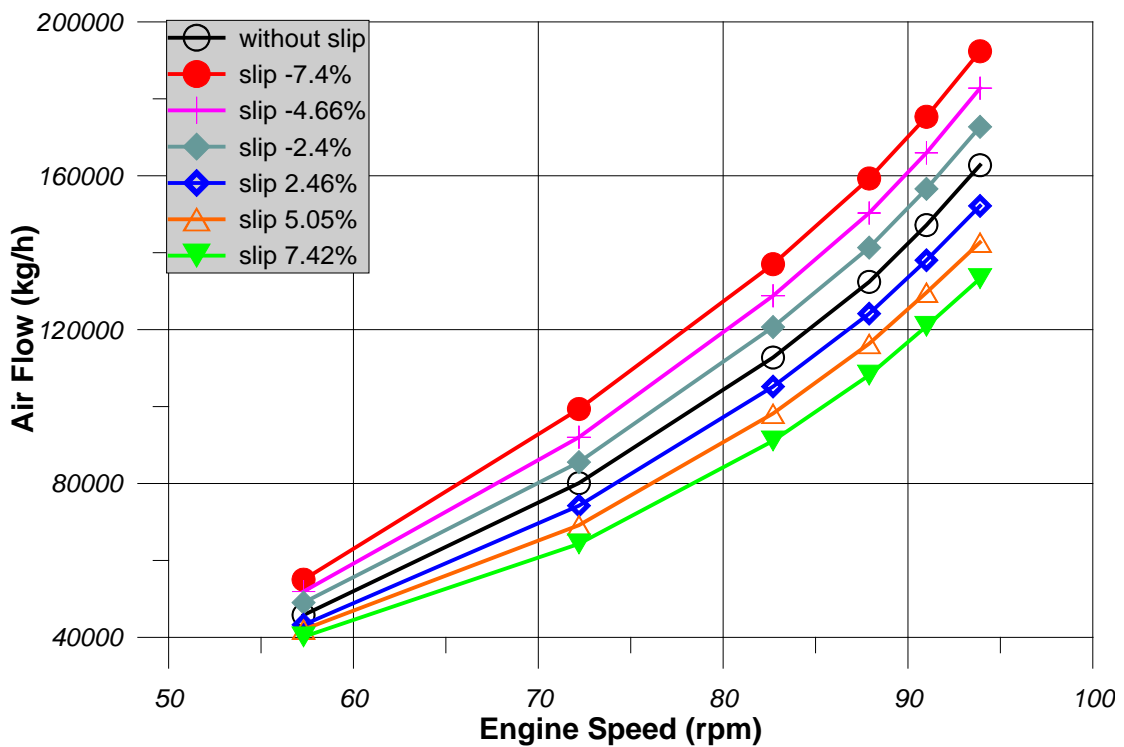
Στο επόμενο διάγραμμα 7-9β δίνεται η πτώση πίεσης στο φίλτρο του αέρα συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Στις χαμηλές ισχύεις για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα δεν υπάρχει επίδραση της ολίσθησης. Στις υψηλές ισχύεις ο κινητήρας λειτουργεί με αρκετά διαφορετικές στροφές για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ και έτσι επηρεάζεται η πτώση πίεσης στο φίλτρο του αέρα οπότε προκύπτουν διαφορές. Επομένως έχουμε επίδραση της ολίσθησης στις υψηλές ισχύεις.



Διάγραμμα 7-9β Πτώση Πίεσης Αέρα στο Φίλτρο Αέρα Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

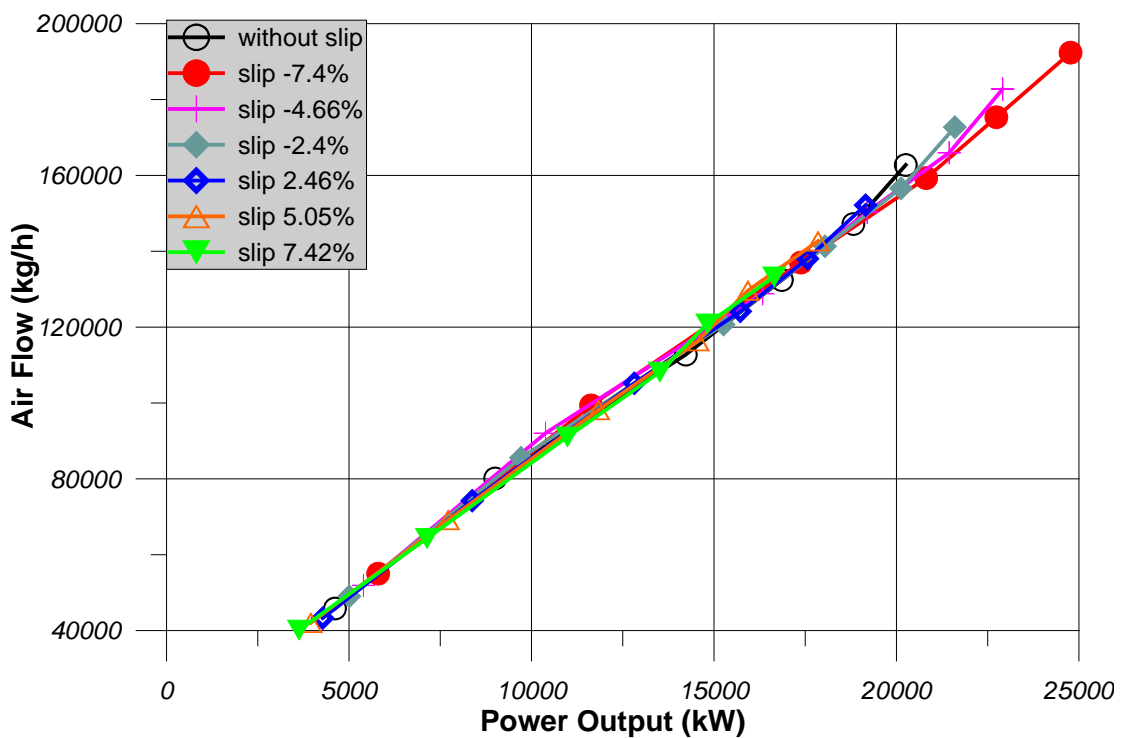
### 7.3.7 Προσομοίωση Παροχής Αέρα/Καυσαερίων

Στο διάγραμμα 7-10α δίνεται η παροχή αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η επίδραση της ολίσθησης εξαρτάται από τις στροφές του κινητήρα και γίνεται πιο έντονη με αύξηση των στροφών του.



Διάγραμμα 7-10α Παροχή Αέρα Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

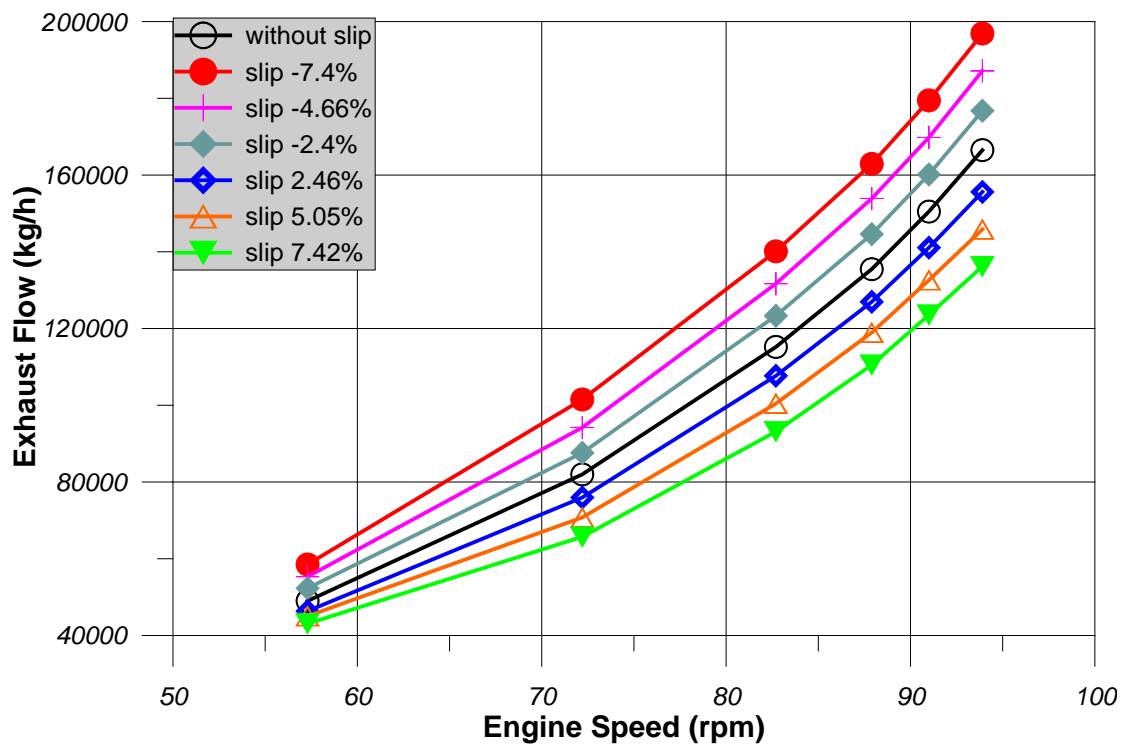
Στο επόμενο διάγραμμα 7-10β δίνεται η παροχή αέρα του κινητήρα συναρτήσει της ισχύος του με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Στις υψηλές ισχύεις, για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ, ο κινητήρας λειτουργεί με αρκετά διαφορετικές στροφές και έτσι προκύπτουν διαφορές στην παροχή αέρα. Επομένως υπάρχει επίδραση της ολίσθησης. Από την άλλη πλευρά στις χαμηλές ισχύεις δεν υπάρχει επίδραση της ολίσθησης στη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας.



Διάγραμμα 7-10β Παροχή Αέρα Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

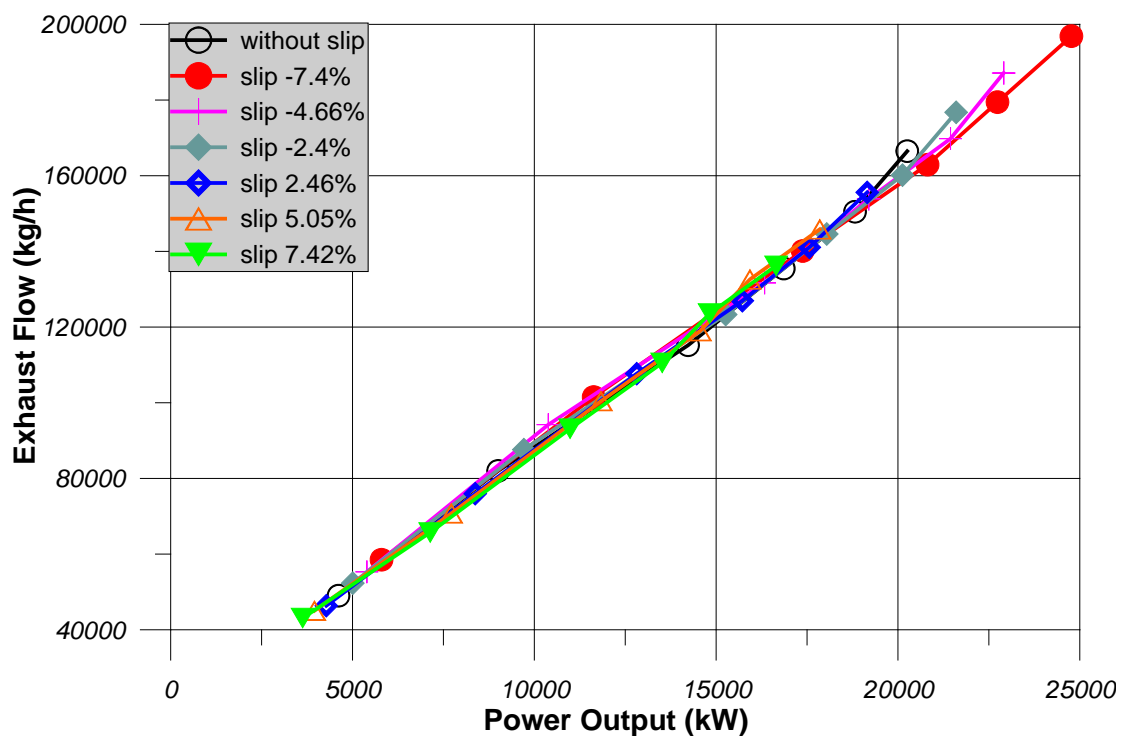


Επίσης έχουμε το διάγραμμα 7-11α που δίνει την παροχή καυσαερίων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Όπως συνέβει και με την παροχή αέρα, έτσι και εδώ, η επίδραση της ολίσθησης εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα και γίνεται πιο έντονη με αύξηση των στροφών του.



Διάγραμμα 7-11α Παροχή Καυσαερίων Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

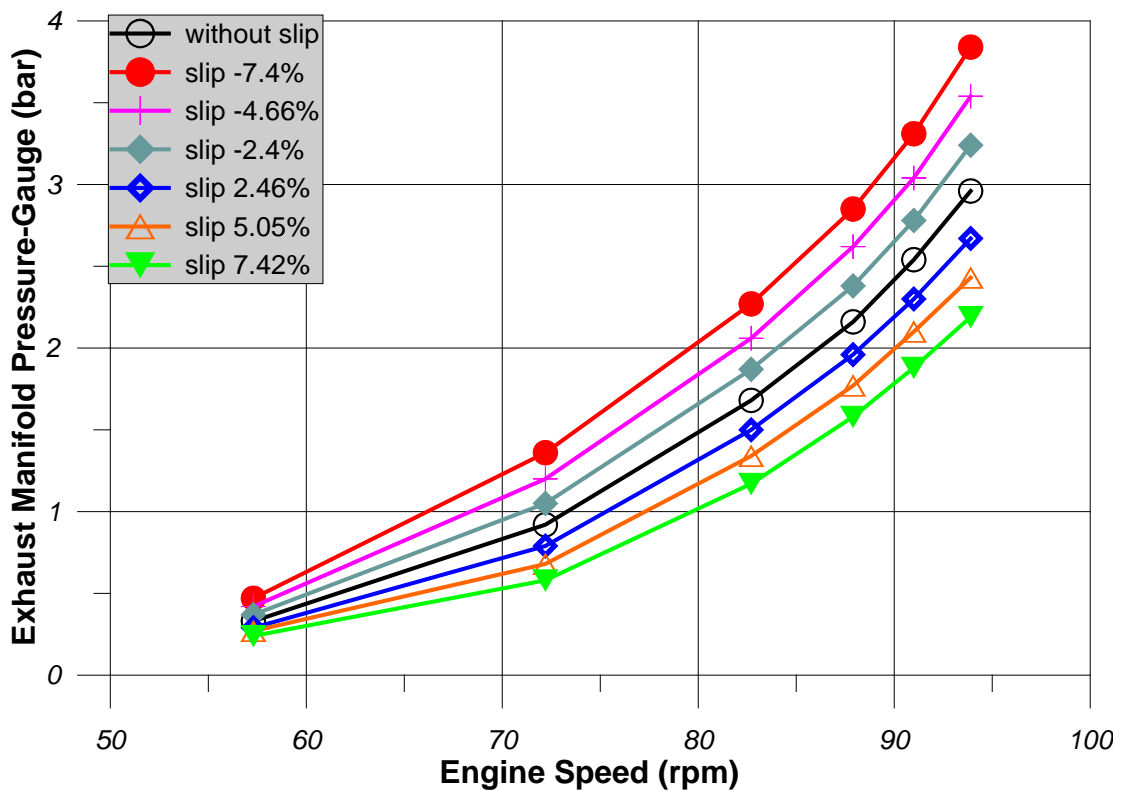
Τέλος στο διάγραμμα 7-11β δίνεται η παροχή καυσαερίων συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι δεν υπάρχει επίδραση της ολίσθησης στις χαμηλές ισχύεις, ενώ στις υψηλές υπάρχει, καθώς για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ ο κινητήρας λειτουργεί με στροφές που διαφέρουν αρκετά, επηρεάζοντας έτσι την παροχή καυσαερίων.



Διάγραμμα 7-11β Παροχή Καυσαερίων Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

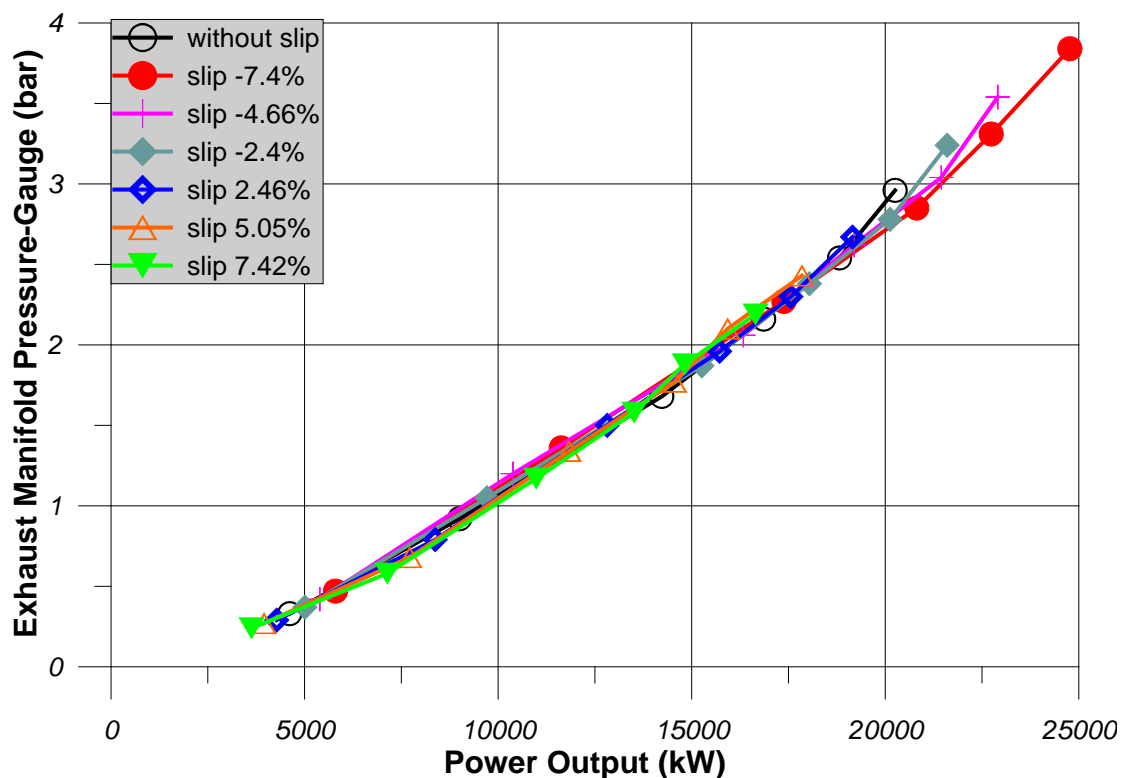
### 7.3.8 Προσομοίωση Συνθηκών Καυσαερίων

Το διάγραμμα 7-12α που ακολουθεί δίνει την πίεση των καυσαερίων πριν από τους στρόβιλους των στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Παρατηρείται ότι υπάρχει μικρή επίδραση της ολίσθησης στις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα, ενώ γίνεται εντονότερη με αύξηση των στροφών του.



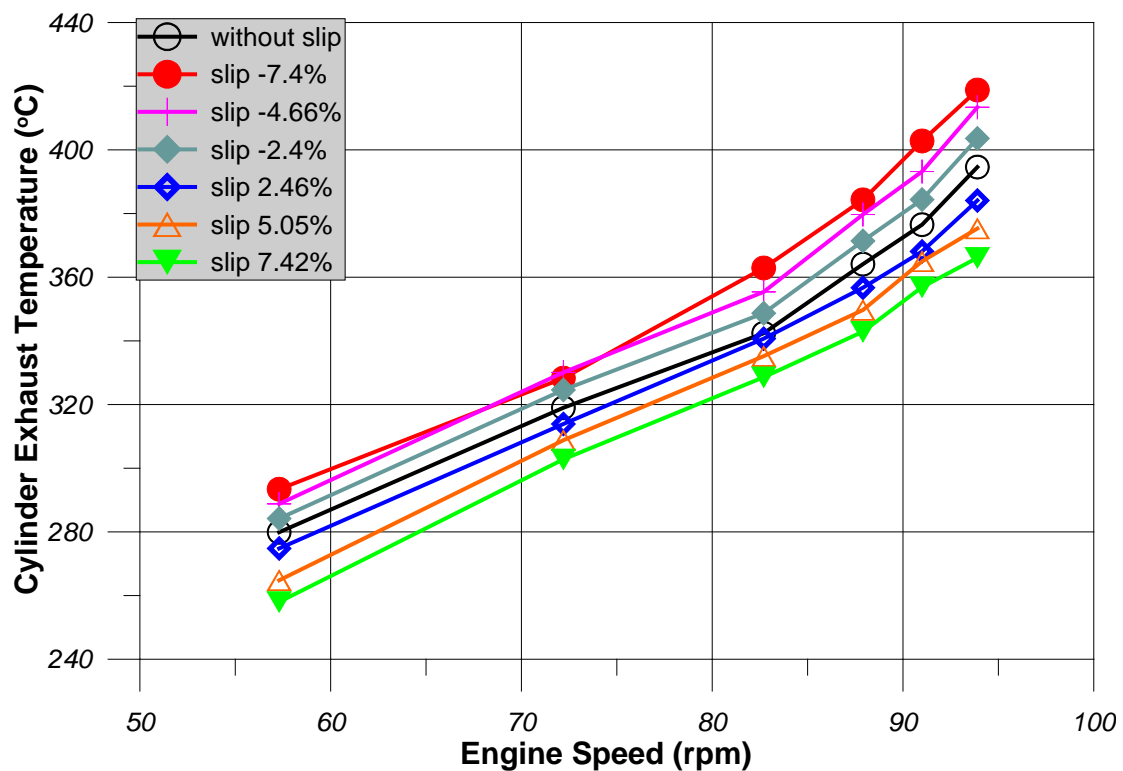
Διάγραμμα 7-12α Πίεση Καυσαερίων Πριν το Στρόβιλο Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Στο επόμενο διάγραμμα 7-12β δίνεται η πίεση των καυσαερίων πριν από τους στρόβιλους των στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Στις χαμηλές ισχύεις παρατηρείται μικρή επίδραση της ολίσθησης, ενώ μεγαλύτερη παρατηρείται στις υψηλές, καθώς για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ ο κινητήρας λειτουργεί με στροφές που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.



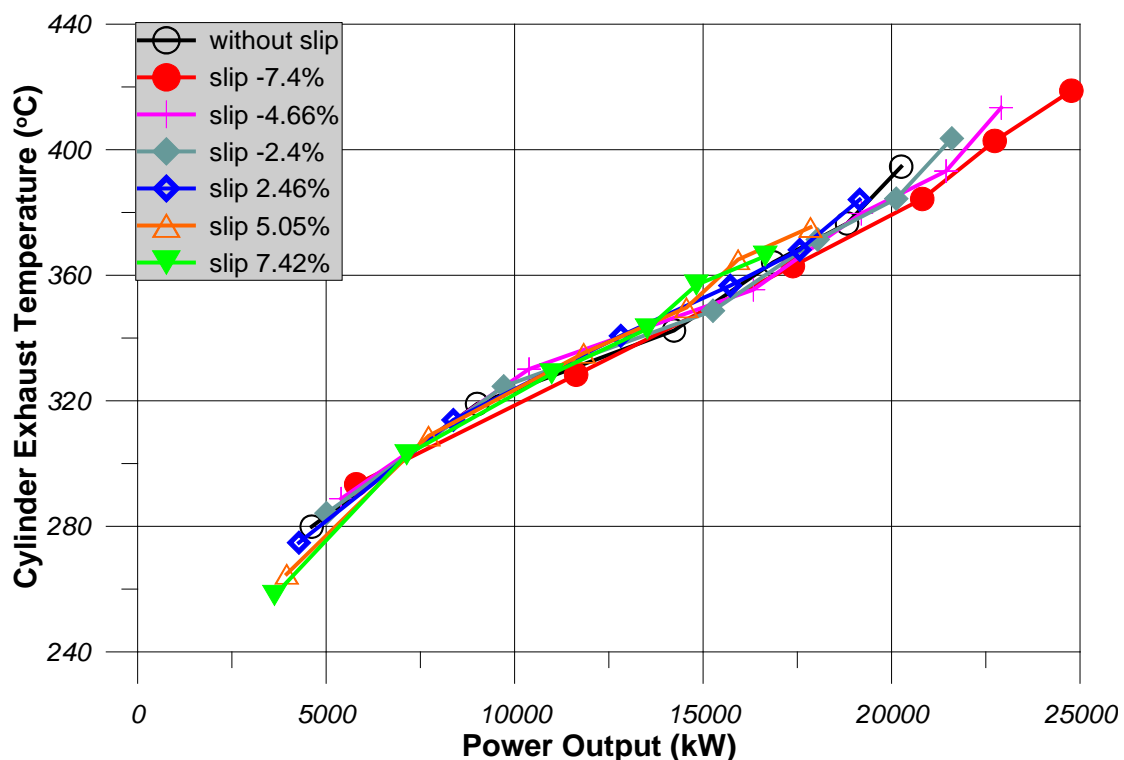
Διάγραμμα 7-12β Πίεση Καυσαερίων Πριν το Στρόβιλο Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Επιπροσθέτως έχουμε το διάγραμμα 7-13α που δίνει τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους κυλίνδρους του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Παρατηρούμε ότι η επίδραση της ολίσθησης είναι ανεξάρτητη από τις στροφές του κινητήρα.



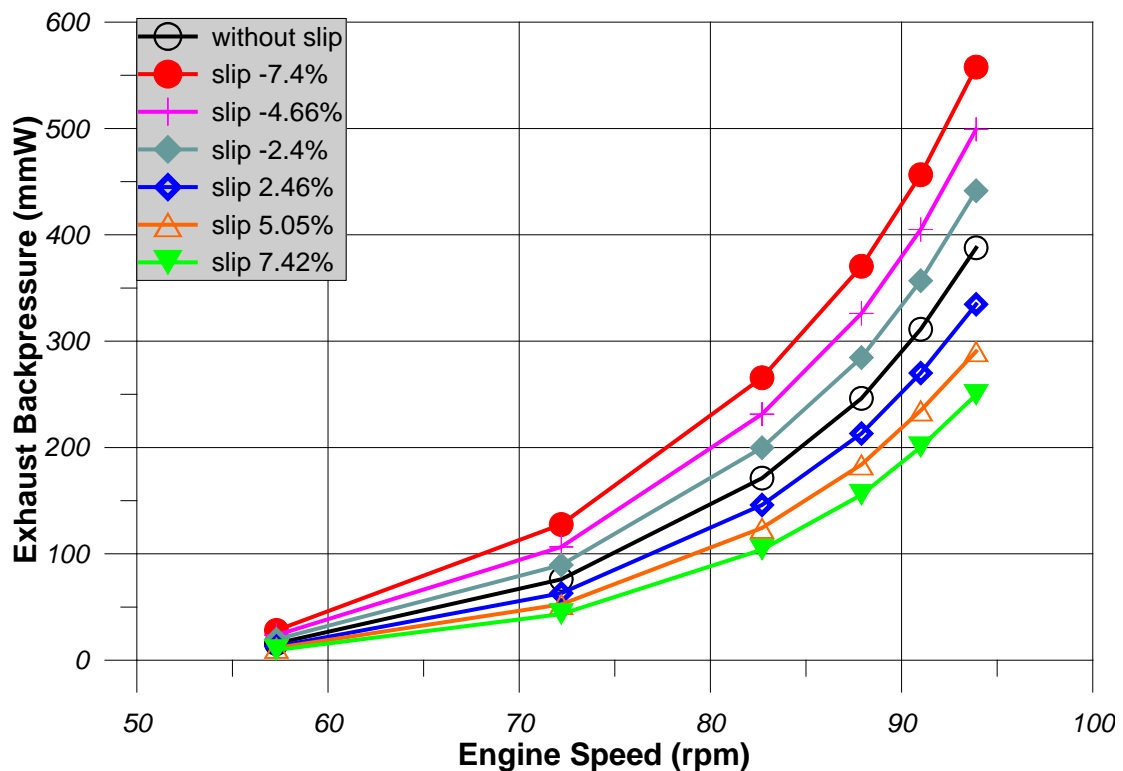
Διάγραμμα 7-13α Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Κυλίνδρους Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Επίσης στο διάγραμμα 7-13β δίνεται η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους κυλίνδρους του κινητήρα συναρτήσει της ισχύος του με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Για τις χαμηλές ισχύεις παρατηρείται μικρή επίδραση της ολίσθησης. Στις υψηλότερες ισχύεις παρατηρείται μεγαλύτερη επίδραση, καθώς για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ ο κινητήρας λειτουργεί με στροφές που διαφέρουν αρκετά, επηρεάζοντας έτσι τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας.



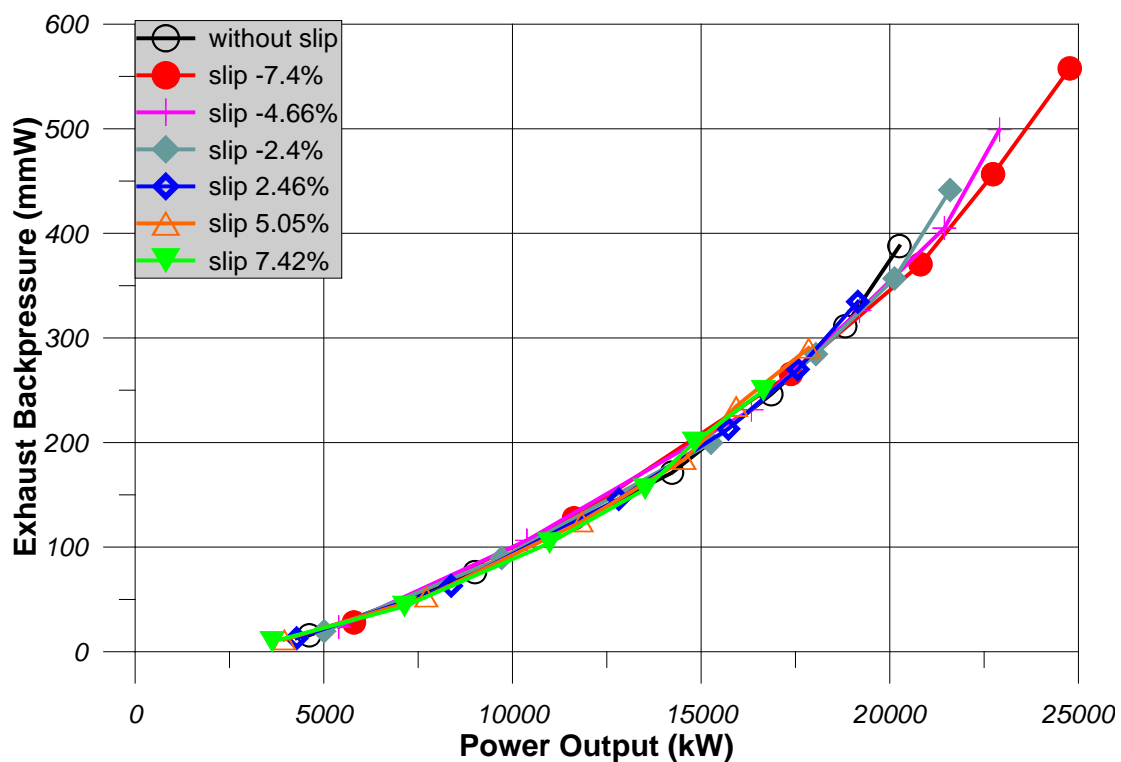
Διάγραμμα 7-13β Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Κυλίνδρους Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Ακόμα έχουμε το διάγραμμα 7-14α που δίνει την πίεση των καυσαερίων στον οχετό εξαγωγής συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Αυτό που συμπεραίνεται είναι ότι υπάρχει εξάρτηση της επίδρασης της ολίσθησης από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Συγκεκριμένα για χαμηλές ταχύτητες η επίδραση της ολίσθησης είναι μικρή ενώ στις υψηλές στροφές γίνεται πολύ έντονη.



Διάγραμμα 7-14α Πίεση Καυσαερίων στον Οχετό Εξαγωγής Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Τέλος στο διάγραμμα 7-14β δίνεται η πίεση των καυσαερίων στον οχετό εξαγωγής συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Στις χαμηλές ισχείς δεν υπάρχει επίδραση της ολίσθησης. Αντίθετα στις υψηλές ισχείς υπάρχει επίδραση της ολίσθησης, αφού για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ ο κινητήρας λειτουργεί προφανώς με αρκετά διαφορετική ταχύτητα περιστροφής. Έτσι εξηγούνται οι διαφορές στη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας του κινητήρα για τις υψηλές ισχείς.

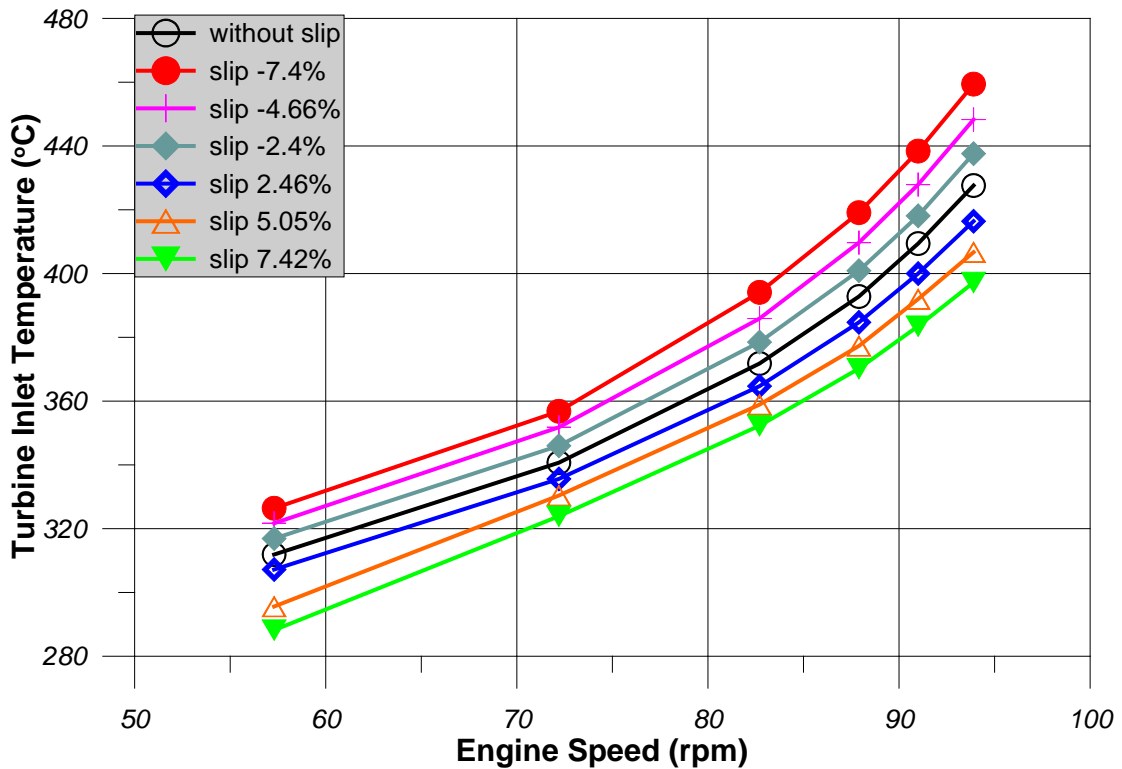


Διάγραμμα 7-14β Πίεση Καυσαερίων στον Οχετό Εξαγωγής Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης



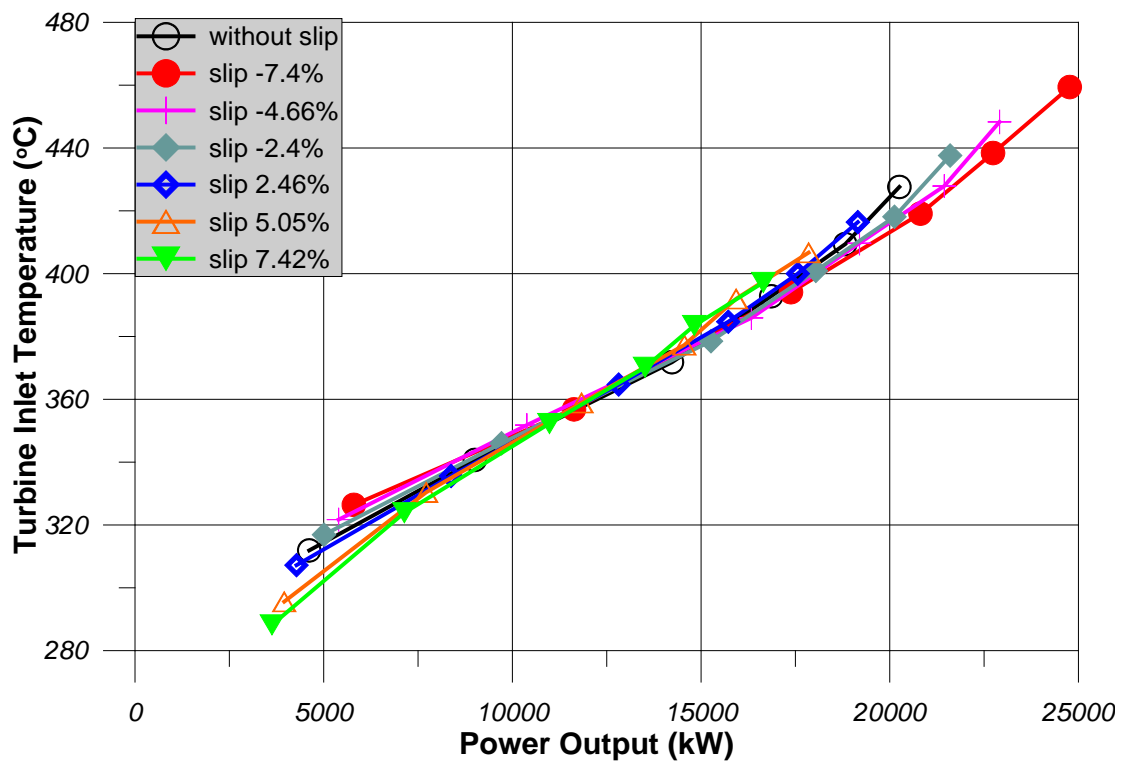
### 7.3.9 Προσομοίωση Παραμέτρων που Σχετίζονται με το Σύστημα Υπερπλήρωσης

Το διάγραμμα 7-15α δίνει τη θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στους στροβίλους των δύο στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Παρατηρούμε ότι η επίδραση της ολίσθησης είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα.



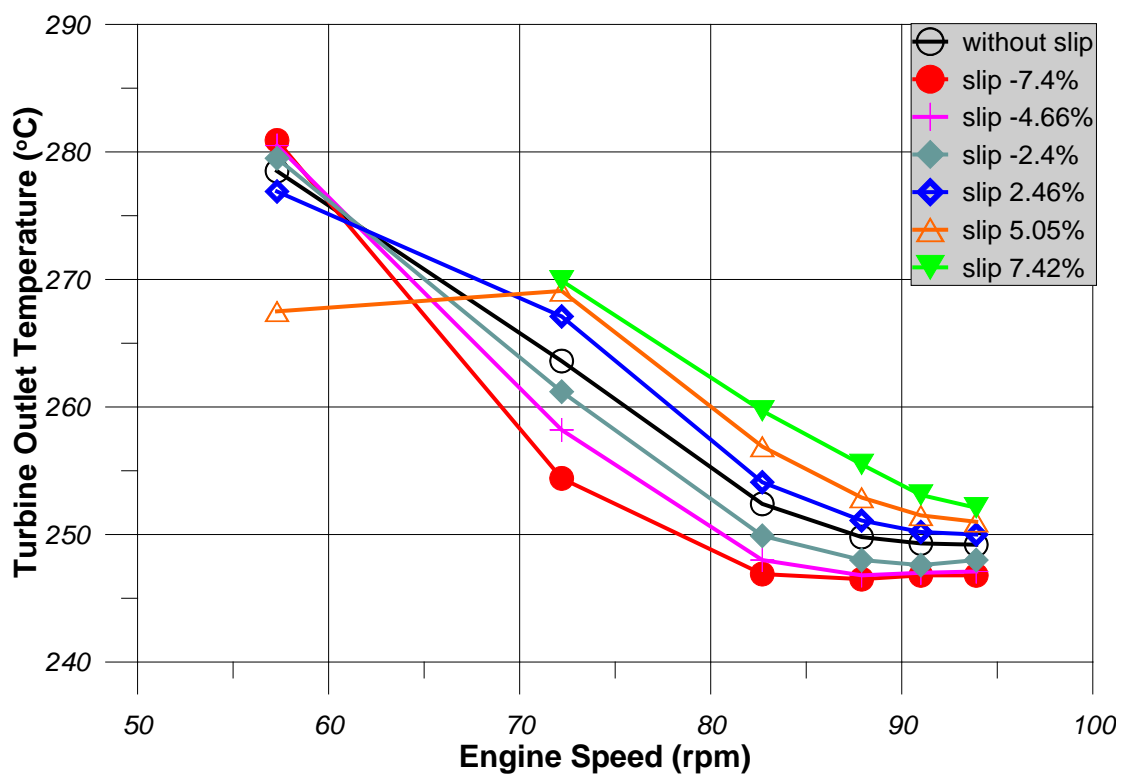
Διάγραμμα 7-4α Θερμοκρασία Εισόδου Καυσαερίων στους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Ακολουθως έχουμε το διάγραμμα 7-15β στο οποίο δίνεται η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στους στροβίλους των δύο στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσεως της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Φαίνεται ότι η επίδραση της ολίσθησης εξαρτάται από την ισχύ του κινητήρα και είναι εντονότερη στις πολύ υψηλές και στις πολύ χαμηλές ισχύεις. Οι διαφορές που προκύπτουν οφείλονται στο γεγονός ότι ο κινητήρας για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ λειτουργεί με αρκετά διαφορετικές στροφές.



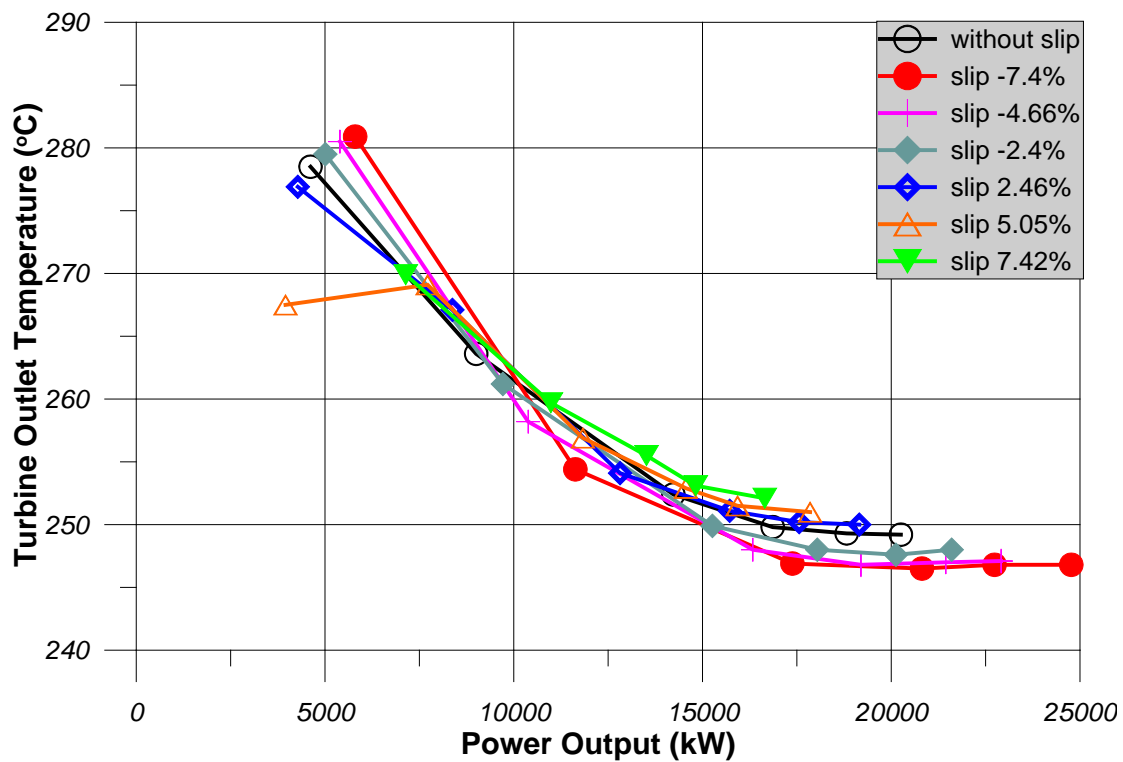
Διάγραμμα 7-15β Θερμοκρασία Εισόδου Καυσαερίων στους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσεως της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Επίσης έχουμε το διάγραμμα 7-16α που δίνει τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους δύο στροβίλους των αντίστοιχων στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Από το αντίστοιχο διάγραμμα φαίνεται εξάρτηση της επίδρασης της ολίσθησης από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, καθώς η επίδραση της ολίσθησης είναι εντονότερη στις χαμηλές και μέσες στροφές και μικρότερη στις υψηλές.



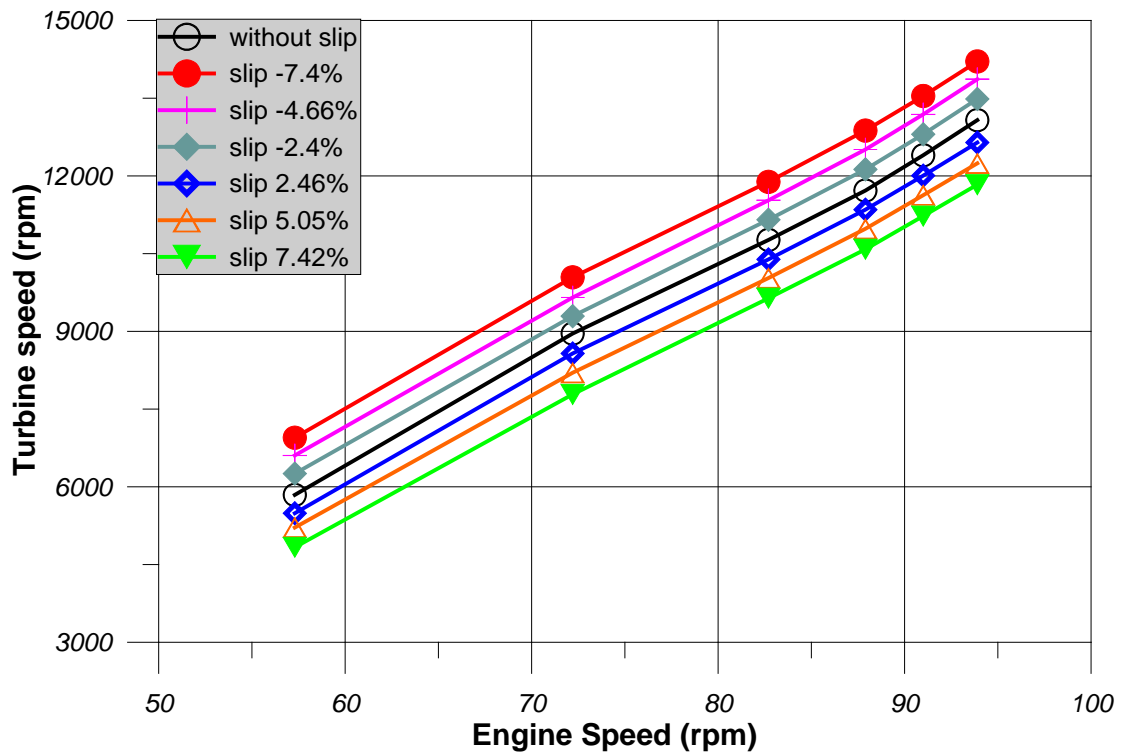
Διάγραμμα 7-16α Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Επιπροσθέτως στο διάγραμμα 7-16β δίνεται η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους δύο στροβίλους των αντίστοιχων στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Παρατηρείται εξάρτηση της επίδρασης της ολίσθησης από την αποδιδόμενη ισχύ. Εντονότερη επίδραση υπάρχει στις πολύ χαμηλές ισχύεις. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, έτσι και εδώ, οι διαφορές που προκύπτουν οφείλονται στην αρκετά διαφορετική ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ.



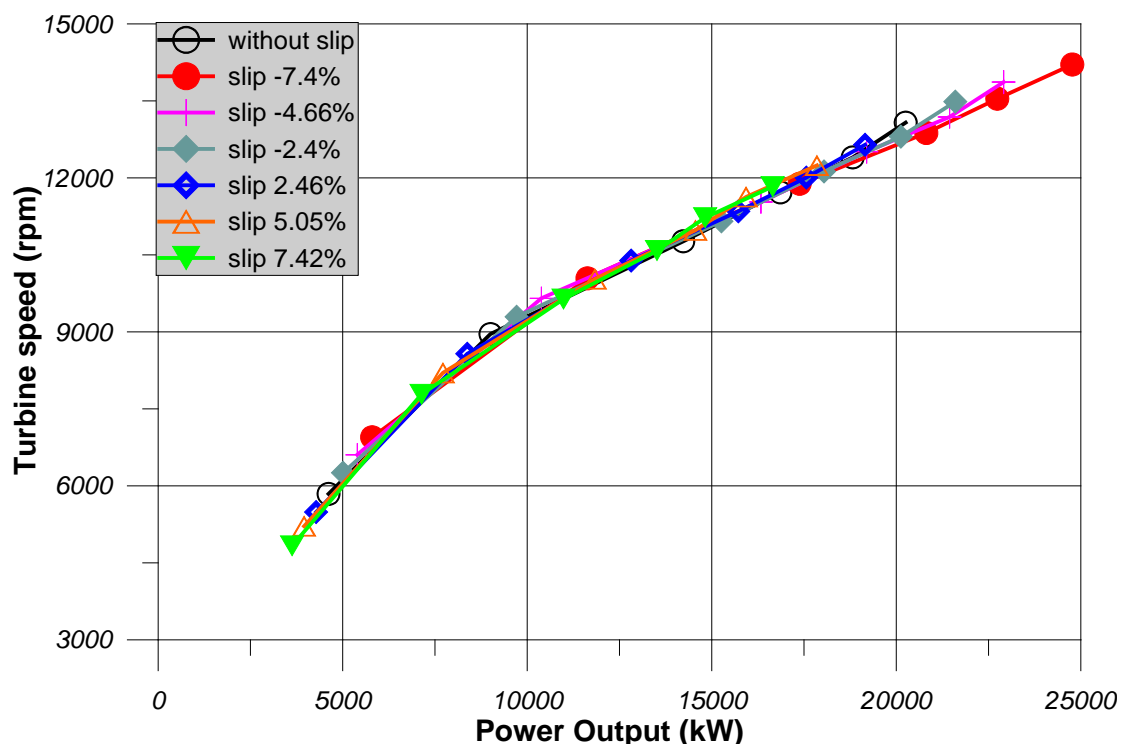
Διάγραμμα 7-16β Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Ακολουθεί το διάγραμμα 7-17α που δίνει την ταχύτητας περιστροφής των αξόνων των δύο στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας. Φαίνεται ότι η επίδραση της ολίσθησης είναι ανεξάρτητη από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα.



Διάγραμμα 7-17α Ταχύτητα Περιστροφής Στροβιλο-υπερπληρωτών Συναρτήσει των Στροφών για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

Τέλος στο διάγραμμα 7-17β δίνεται η ταχύτητα περιστροφής των αξόνων των δύο στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα με παράμετρο την επίδραση της ολίσθησης της έλικας. Στις μικρές ισχύεις παρατηρείται μικρή επίδραση της ολίσθησης. Αντίθετα σε μεγάλες ισχύεις η επίδραση της ολίσθησης είναι πιο έντονη. Οι διαφορές που προκύπτουν στις υψηλές ισχύεις οφείλονται στις αρκετά διαφορετικές στροφές του κινητήρα για την ίδια αποδιδόμενη ισχύ.



Διάγραμμα 7-17β Ταχύτητα Περιστροφής Στροβιλο-υπερπληρωτών Συναρτήσει της Ισχύος για Διάφορες Τιμές της Ολίσθησης

#### 7.4 Γενικά Συμπεράσματα Προσομοίωσης για την Επίδραση της Ολίσθησης στη Λειτουργική Συμπεριφορά του Κινητήρα

Γενικά παρατηρούμε ότι μείωση της ολίσθησης προκαλεί αύξηση των περισσότερων παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με την αύξησή της. Εξαιρέση αποτελούν η θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως και η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους στροβίλους, καθώς από κάποιο φορτίο και πάνω με αύξηση της ολίσθησης έχουμε αύξηση των αντίστοιχων παραμέτρων. Ακόμα έχουμε την ειδική κατανάλωση

καυσίμου στην οποία παρατηρείται αλλαγή τάσης της μεταβολής που σχολιάζεται εκτενέστερα παρακάτω.

Επίσης όπως παρατηρείται από τις παραμέτρους λειτουργίας που δίνονται συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα, εξάγεται γενικά το συμπέρασμα ότι με αύξηση της ταχύτητας περιστροφής έχουμε και αύξηση της επίδρασης της ολίσθησης της έλικας. Η αύξηση της επίδρασης αυτής δεν είναι τόσο έντονη στη θερμοκρασία εξόδου από τους συμπιεστές και στην πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα.

Ακόμα, καμία επίδραση δε φαίνεται να έχει η ολίσθηση στη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους κυλίνδρους του κινητήρα, στη θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στους στροβίλους και στην ταχύτητα περιστροφής των αξόνων των στροβιλο-υπερπληρωτών.

Επίσης από την απεικόνιση των παραμέτρων που είναι συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα συμπεραίνεται ότι στις μικρές ισχύεις δεν υπάρχει επίδραση της ολίσθησης ενώ το αντίθετο συμβαίνει στις υψηλές ισχύεις. Σε μερικές παραμέτρους εμφανίζεται επίδραση της ολίσθησης και στις χαμηλές ισχύεις. Τέτοιες παράμετροι είναι η μέγιστη πίεση καύσης, η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους κυλίνδρους του κινητήρα, η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στους στροβίλους των στροβιλο-υπερπληρωτών, η πίεση των καυσαερίων πριν από τους στροβίλους και η ταχύτητα περιστροφής των αξόνων των στροβιλο-υπερπληρωτών.

Επιπροσθέτως υπάρχουν παράμετροι που χρίζουν ειδικών σχολίων όπως είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου, η θερμοκρασία του αέρα σάρωσης και η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους στροβίλους των στροβιλο-υπερπληρωτών.

Έτσι, για την ειδική κατανάλωση καυσίμου το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι η επίδραση της ολίσθησης εξαρτάται από το φορτίο του κινητήρα. Επίσης αξιοσημείωτη είναι και η αλλαγή τάσης της μεταβολής της συγκεκριμένης παραμέτρου λειτουργίας, καθώς στα χαμηλά φορτία με μείωση της ολίσθησης έχουμε και μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, ενώ στα υψηλά φορτία με μείωση της ολίσθησης έχουμε αύξηση της συγκεκριμένης παραμέτρου λειτουργίας.

Αλλαγή τάσης παρατηρείται και στη θερμοκρασία του αέρα σάρωσης. Φαίνεται επίσης για τη θερμοκρασία αυτή, διαφορετική επίδραση της ολίσθησης ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα. Επιπρόσθετα επίδραση της ολίσθησης παρατηρείται μόνο στις υψηλές ισχύεις.

Κλείνοντας να αναφέρουμε ότι στη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους στροβίλους η επίδραση της ολίσθησης είναι μεγαλύτερη στα χαμηλά από ότι στα υψηλά φορτία. Τέλος επίδραση της ολίσθησης έχουμε και για υψηλές αλλά και για χαμηλές ισχύεις.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

## Προσομοίωση Λειτουργίας Κινητήρα Συναρτήσεως της Ολίσθησης της Έλικας- Απεικόνιση Αποτελεσμάτων Συναρτήσεως της Ολίσθησης

### 8.1 Προσομοίωση Συναρτήσεως της Ολίσθησης

Στο κεφάλαιο αυτό δεν γίνονται πρόσθετοι υπολογισμοί αλλά χρησιμοποιούνται αυτοί του εβδόμου κεφαλαίου, όπου προσομοιώθηκε η λειτουργία του κινητήρα για διάφορες τιμές της ολίσθησης. Ακολούθως παρουσιάστηκαν οι μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα συναρτήσεως των στροφών και της ισχύος του με παράμετρο την ολίσθηση της έλικας.

Στο παρών κεφάλαιο, θα παρουσιασθούν οι ίδιες παράμετροι λειτουργίας του κινητήρα, όπως προέκυψαν από την προσομοίωση του προηγούμενου κεφαλαίου, αλλά θα είναι συναρτήσεως της ολίσθησης της έλικας του πλοίου με παράμετρο την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό θα δοθεί μία πιο σαφή εικόνα της επίδρασης της ολίσθησης της έλικας στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα, που είναι και ο σκοπός της παρούσας εργασίας.

Έτσι, παρακάτω φαίνεται η απεικόνιση των μεταβολών των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα συναρτήσεως της ολίσθησης της έλικας, για ένα εύρος αυτής από -7,5% έως 7,5%. Τέλος, όπως προαναφέραμε, οι μεταβολές που απεικονίζονται έχουν ως παράμετρο τις στροφές του κινητήρα, δηλαδή είναι οι ίδιες με αυτές των shop test (Πίνακας 6-1).

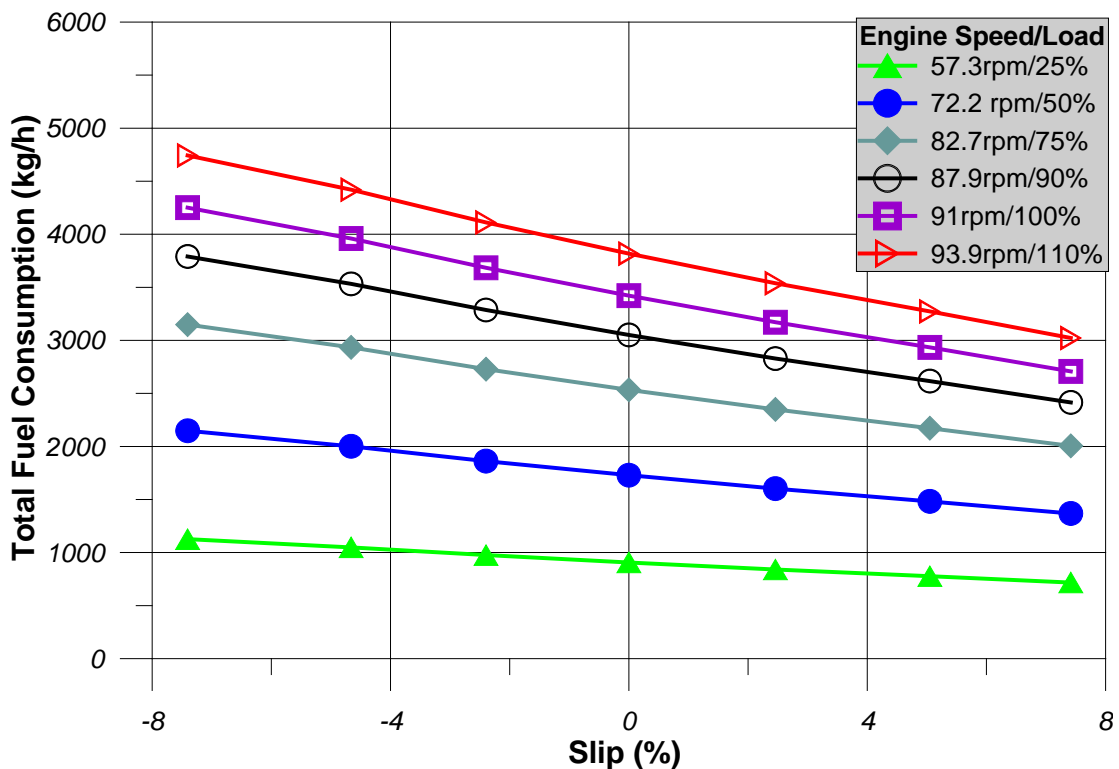
### 8.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Συναρτήσεως της Ολίσθησης

Οι απεικονίσεις που ακολουθούν μας παρέχουν μία σαφή εικόνα της εξάρτησης των διαφόρων παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα από την ολίσθηση της έλικας.



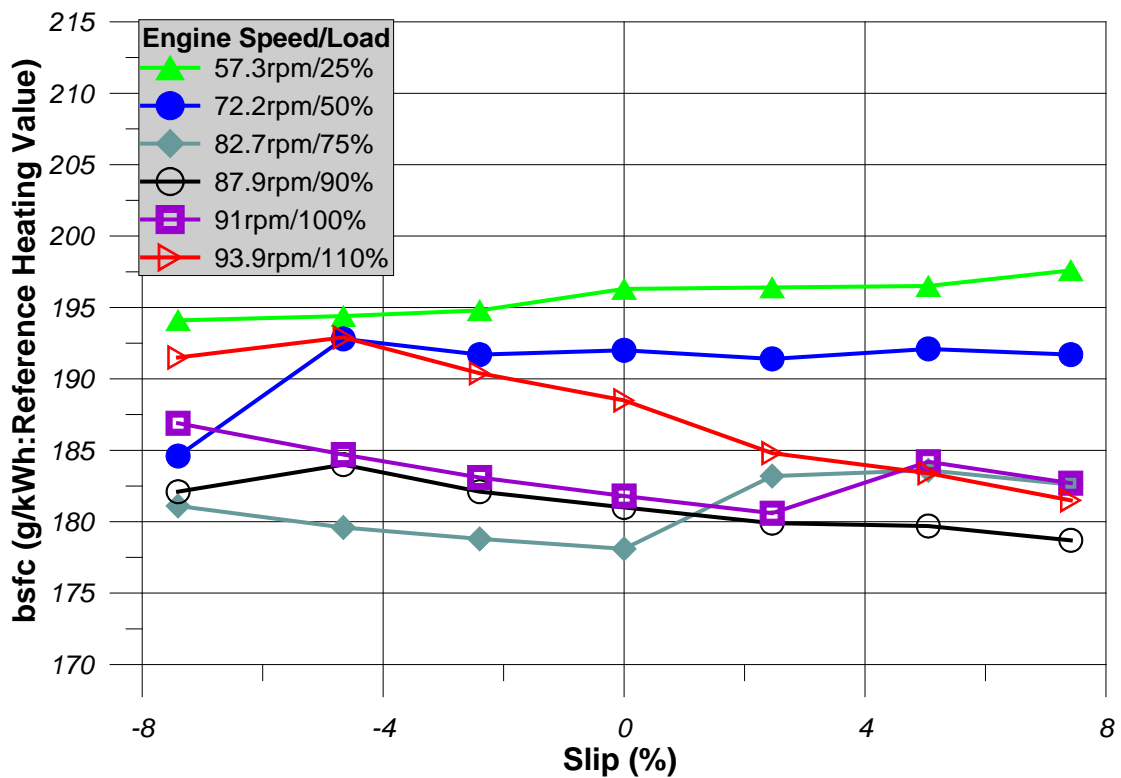
### 8.2.1 Απεικόνιση Κατανάλωσης Καυσίμου

Στο διάγραμμα 8-1 δίνεται η συνολική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Παρατηρείται ότι η μεταβολή της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ολίσθησης είναι γραμμική. Επίσης φαίνεται ότι στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής η κλίση της μεταβολής είναι ίδια. Το ίδιο συμβαίνει και στις χαμηλές στροφές με την κλίση όμως της μεταβολής των χαμηλών στροφών να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των υψηλών.



Διάγραμμα 8-1 Συνολική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

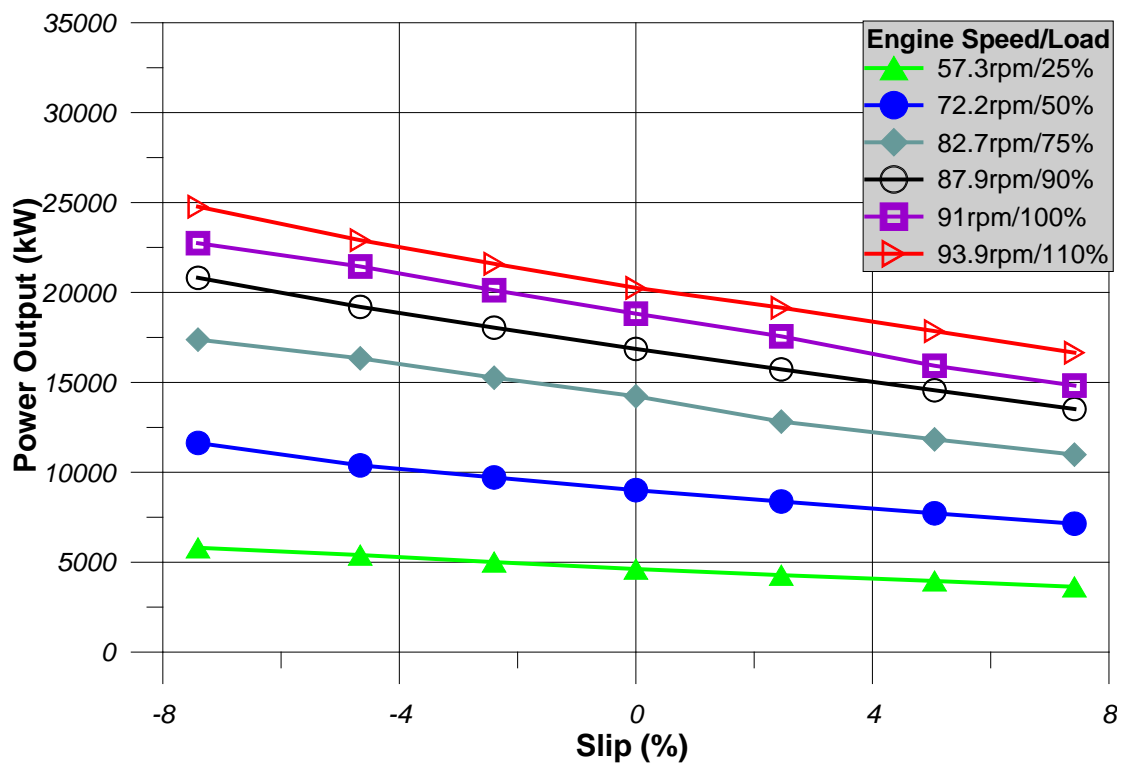
Έπειτα έχουμε το διάγραμμα 8-2 όπου δίνεται η ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Συμπεραίνεται ότι υπάρχει σαφής μεταβολή της τάσης της συγκεκριμένης παραμέτρου λειτουργίας, καθώς για τις χαμηλές ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα έχουμε μόνιμη αυξητική τάση ενώ στις υψηλές στροφές παρατηρείται πτωτική τάση.



Διάγραμμα 8-2 Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

### 8.2.2 Απεικόνιση Καμπύλης Λειτουργίας

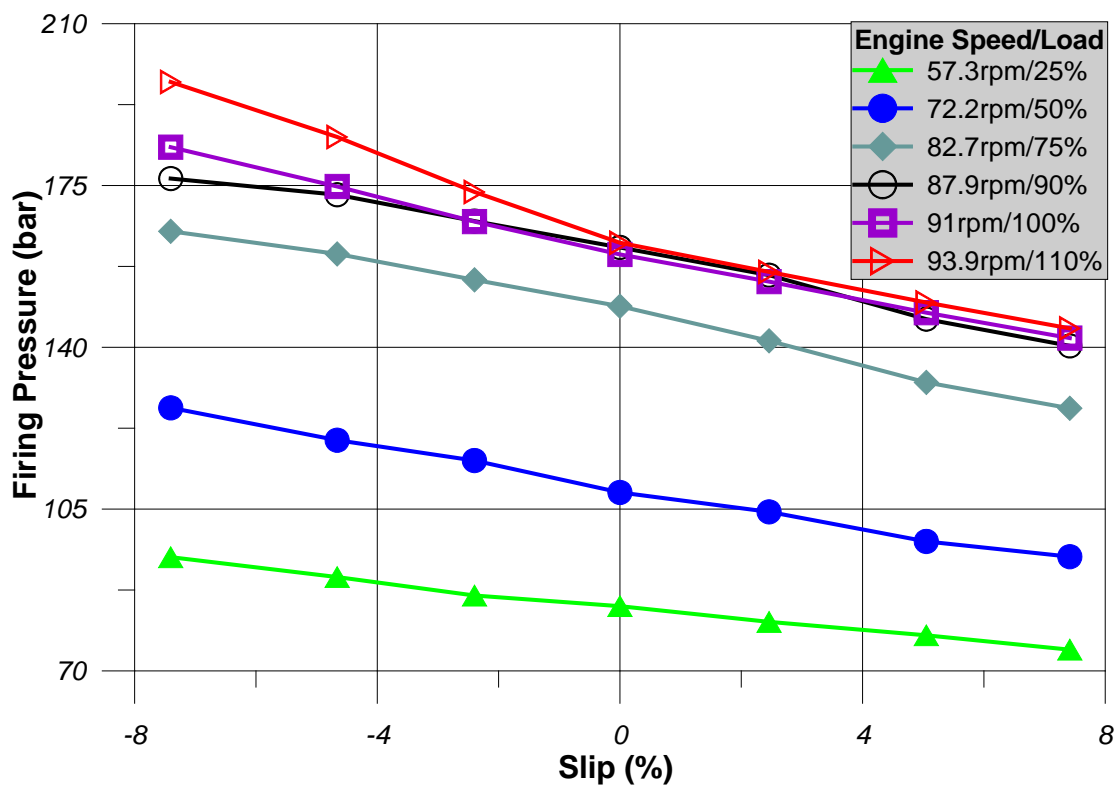
Το διάγραμμα 8-3 δίνει την καμπύλη λειτουργίας του κινητήρα συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του. Παρατηρούμε ότι η μεταβολή είναι γραμμική. Ακόμα η κλίση της μεταβολής εξαρτάται από τις στροφές του κινητήρα. Συγκεκριμένα στις υψηλές στροφές έχουμε μεγαλύτερη κλίση από ότι στις χαμηλές. Τέλος η κλίση της μεταβολής στα υψηλά φορτία είναι ίδια.



Διάγραμμα 8-3 Ισχύς Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

### 8.2.3 Απεικόνιση Μέγιστης Πίεσης Καύσης

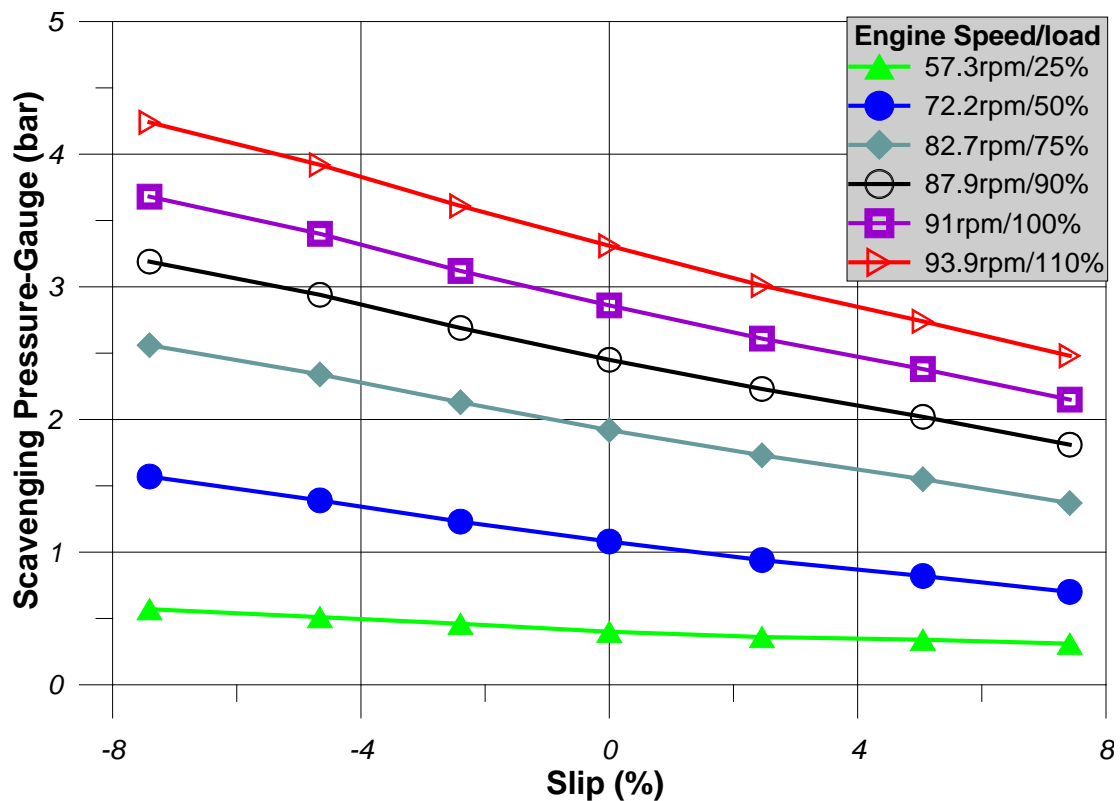
Ακολουθώντας στο διάγραμμα 8-4 δίνεται η μέγιστη πίεση καύσης συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Η μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης είναι αρκετά κοντά στη γραμμική, με εξαίρεση την μέγιστη ταχύτητα περιστροφής όπου είναι γραμμική μεν, αλλά παρουσιάζει άλλη κλίση μεταξύ θετικής και αρνητικής ολίσθησης. Επίσης φαίνεται η κλίση της μεταβολής να έχει μικρή εξάρτηση από τις στροφές του κινητήρα, καθώς αλλάζει ελάχιστα με το φορτίο.



Διάγραμμα 8-4 Μέγιστη Πίεση Καύσης Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

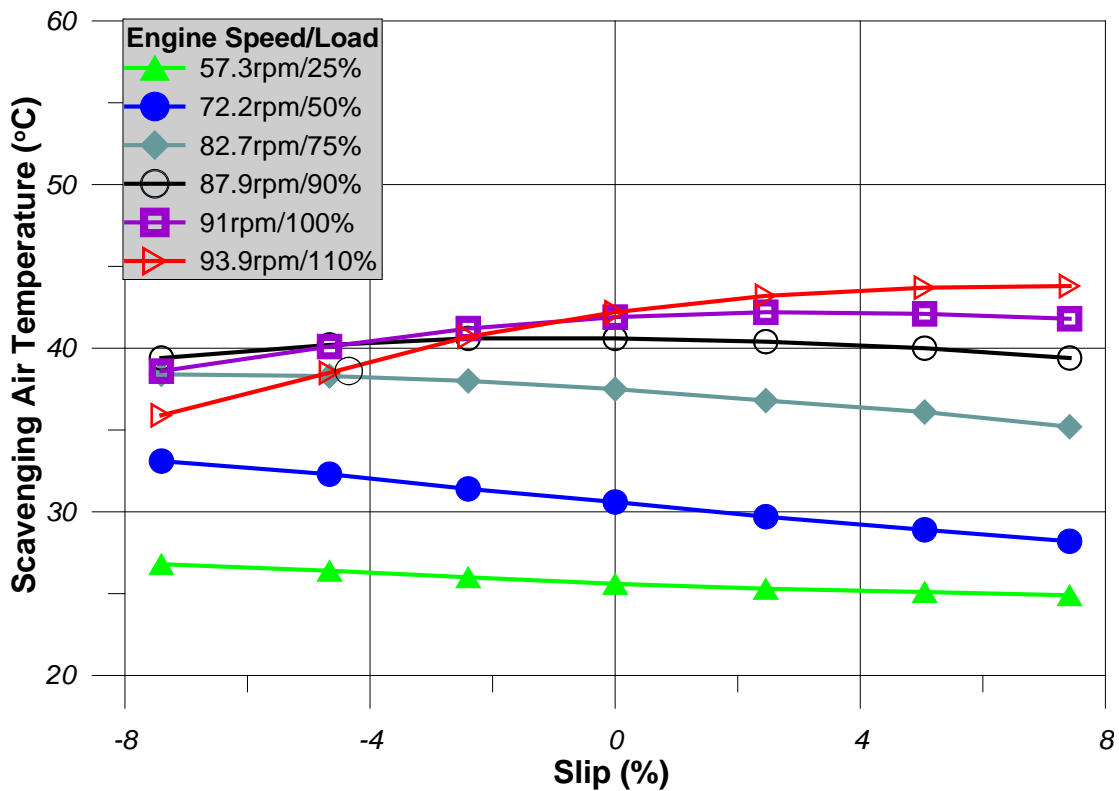
### 8.2.4 Απεικόνιση Συνθηκών Αέρα Σαρώσεως

Το διάγραμμα 8-5 δίνει την πίεση του αέρα σαρώσεως συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Παρατηρούμε ότι η μεταβολή είναι γραμμική και η κλίση της αλλάζει ανάλογα με το φορτίο. Συγκεκριμένα στα χαμηλά φορτία έχουμε μικρότερη κλίση. Ακόμα στις υψηλές στροφές φαίνεται να υπάρχει ίδια κλίση της μεταβολής.



Διάγραμμα 8-5 Πίεση Αέρα Σάρωσης Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

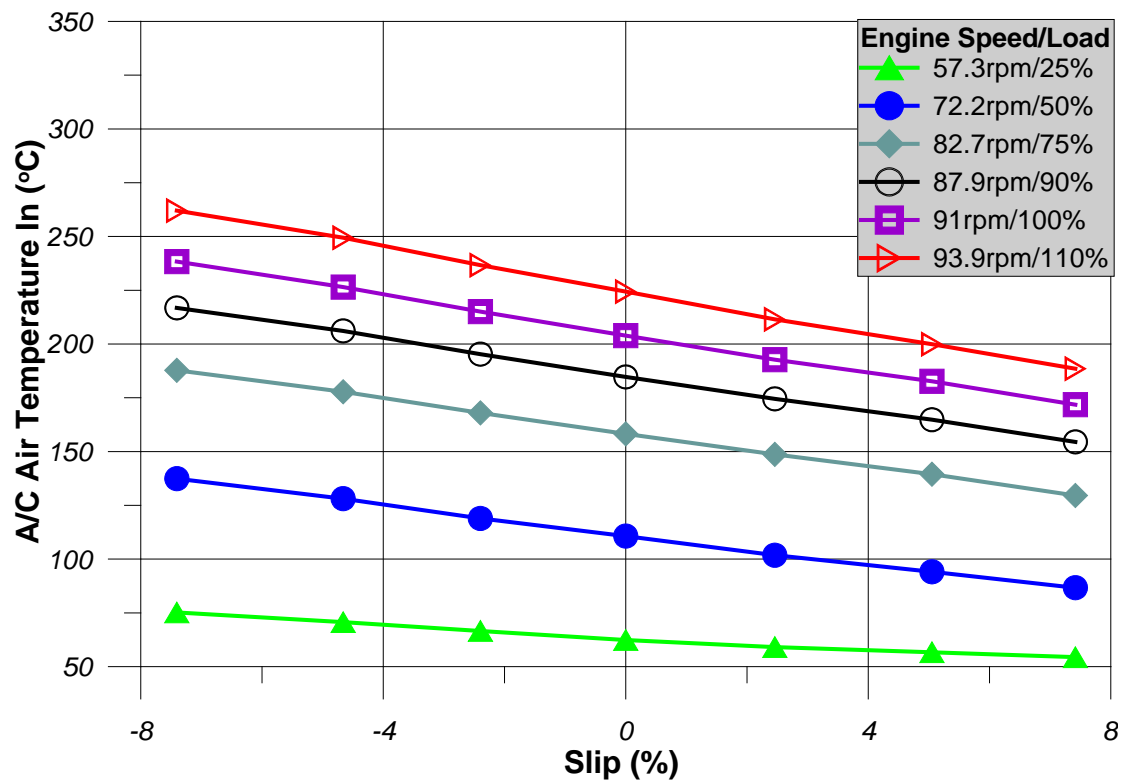
Επίσης έχουμε το διάγραμμα 8-6 στο οποίο δίνεται η θερμοκρασία του αέρα σάρωσης συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Η μεταβολή είναι γραμμική για τα χαμηλά φορτία και η κλίση της μειώνεται με μείωση των στροφών του κινητήρα. Ακόμα, στα υψηλά φορτία υπάρχει αλλαγή τάσης στη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας, η οποία μπορεί να οφείλεται στον καλύτερο βαθμό απόδοσης του ψυγείου στα φορτία αυτά, όπως έχει διαπιστωθεί και από τα προηγούμενα κεφάλαια.



Διάγραμμα 8-6 Θερμοκρασία Αέρα Σάρωσης Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

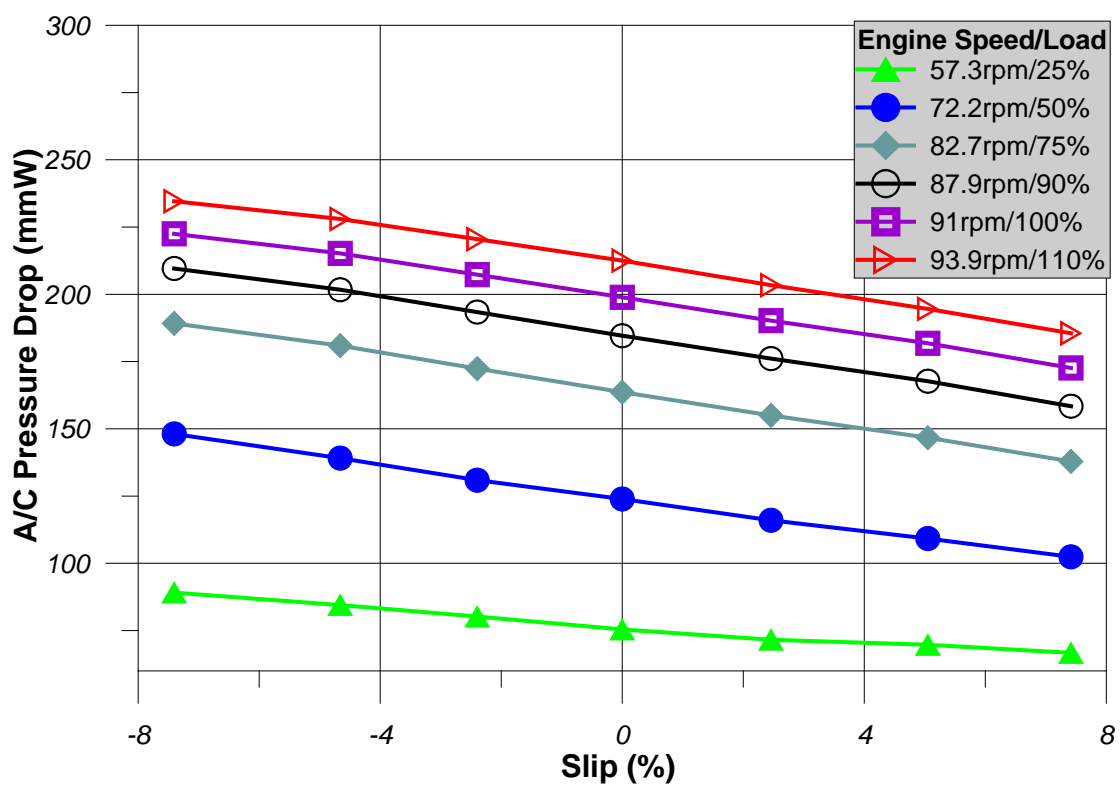
## 8.2.5 Απεικόνιση Παραμέτρων που Σχετίζονται με τα Ψυγεία Αέρα Σαρώσεως

Επιπροσθέτως έχουμε το διάγραμμα 8-7 που δίνει τη θερμοκρασία εισόδου του αέρα στα ψυγεία του αέρα σάρωσης, δηλαδή τη θερμοκρασία στην έξοδο του συμπιεστή, συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Φαίνεται ότι η μεταβολή είναι γραμμική και η κλίση της εξαρτάται λίγο από τις στροφές. Μεγαλύτερη επίδραση των στροφών στην κλίση της μεταβολής υπάρχει στα χαμηλά φορτία, όπου με μείωση του φορτίου έχουμε μείωση της κλίσης.



Διάγραμμα 8-7 Θερμοκρασία στην Έξοδο του Συμπιεστή Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

Επίσης στο διάγραμμα 8-8 δίνεται η πτώση πίεσης στα ψυγεία του αέρα σάρωσης συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Η μεταβολή είναι γραμμική και η κλίση της είναι σχεδόν ανεξάρτητη από το φορτίο του κινητήρα, καθώς φαίνεται να υπάρχει η ίδια κλίση για όλες τις στροφές. Παρατηρείται μόνο μια μικρή αλλαγή της κλίσης για το ελάχιστο φορτίο.

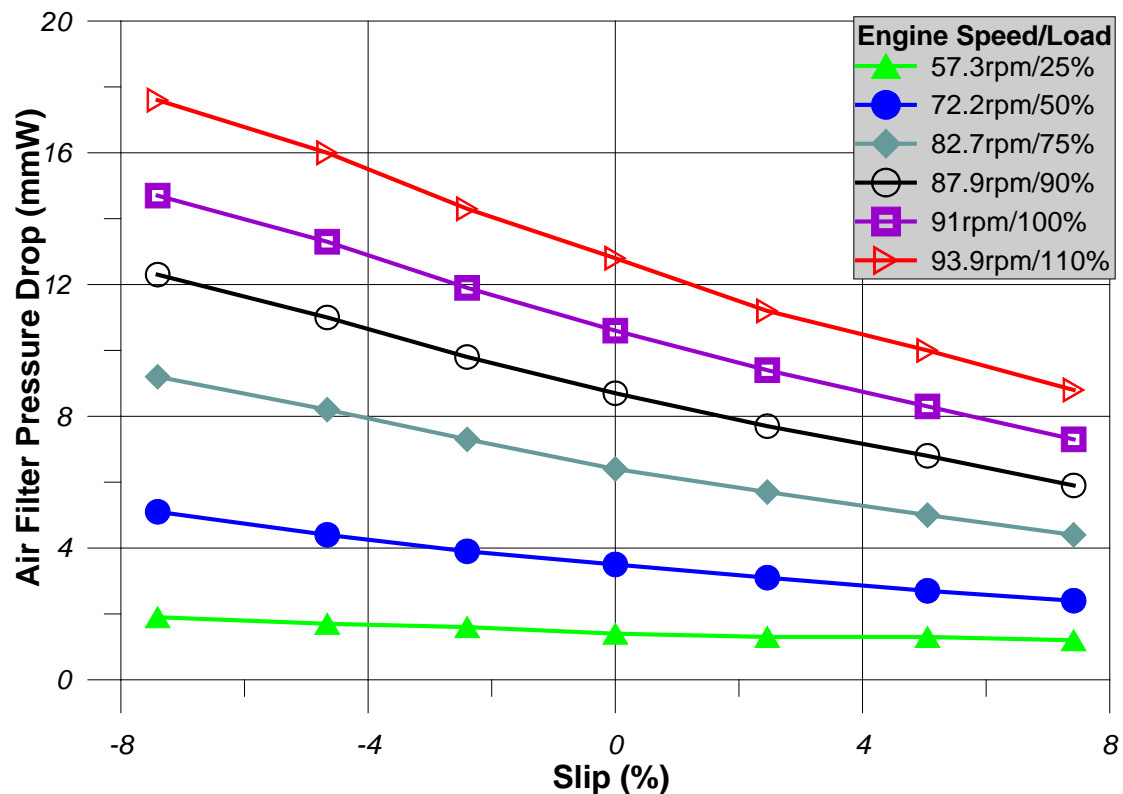


Διάγραμμα 8-8 Πτώση Πίεσης στο Ψυγείο Αέρα Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής



## 8.2.6 Απεικόνιση Παραμέτρων που Σχετίζονται με το Φίλτρο Αέρα

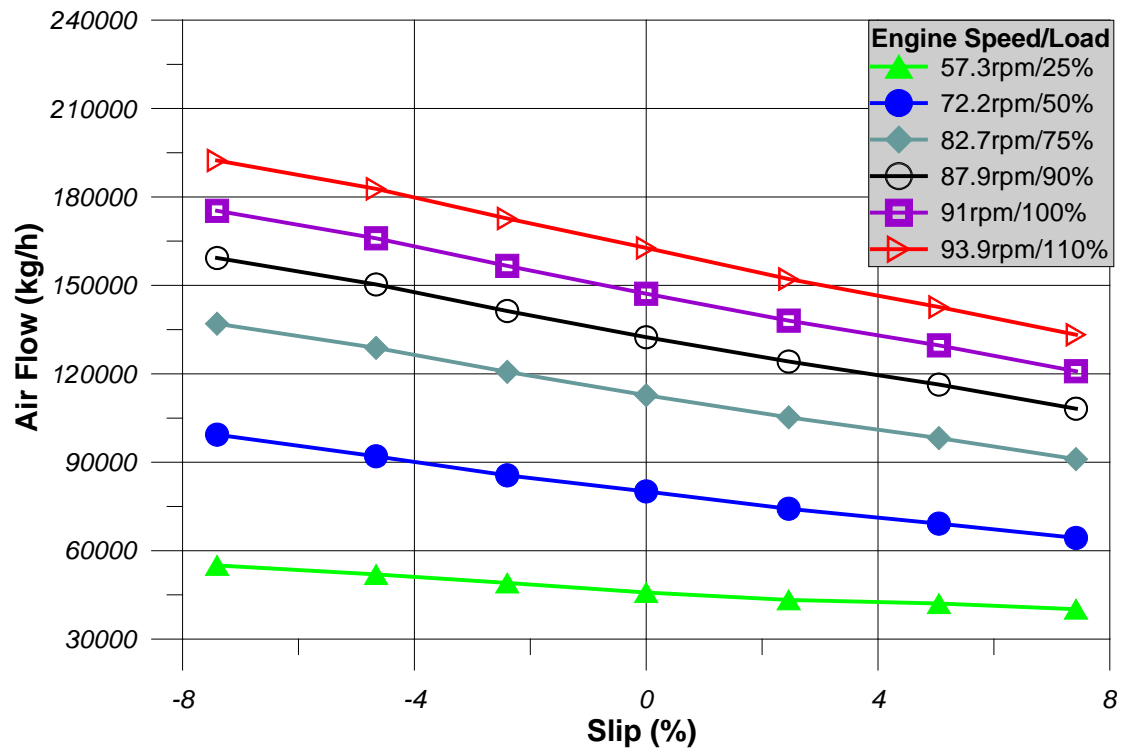
Το διάγραμμα 8-9 δίνει την πτώση πίεσης του αέρα που προκαλείται από την ύπαρξη των φίλτρων αέρα συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Η κλίση της μεταβολής αλλάζει ανάλογα και με το φορτίο αλλά και με την ολίσθηση. Συγκεκριμένα η κλίση αυξάνεται με μείωση της ολίσθησης και αύξηση του φορτίου.



Διάγραμμα 8-9 Πτώση Πίεσης Αέρα στο Φίλτρο Αέρα Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

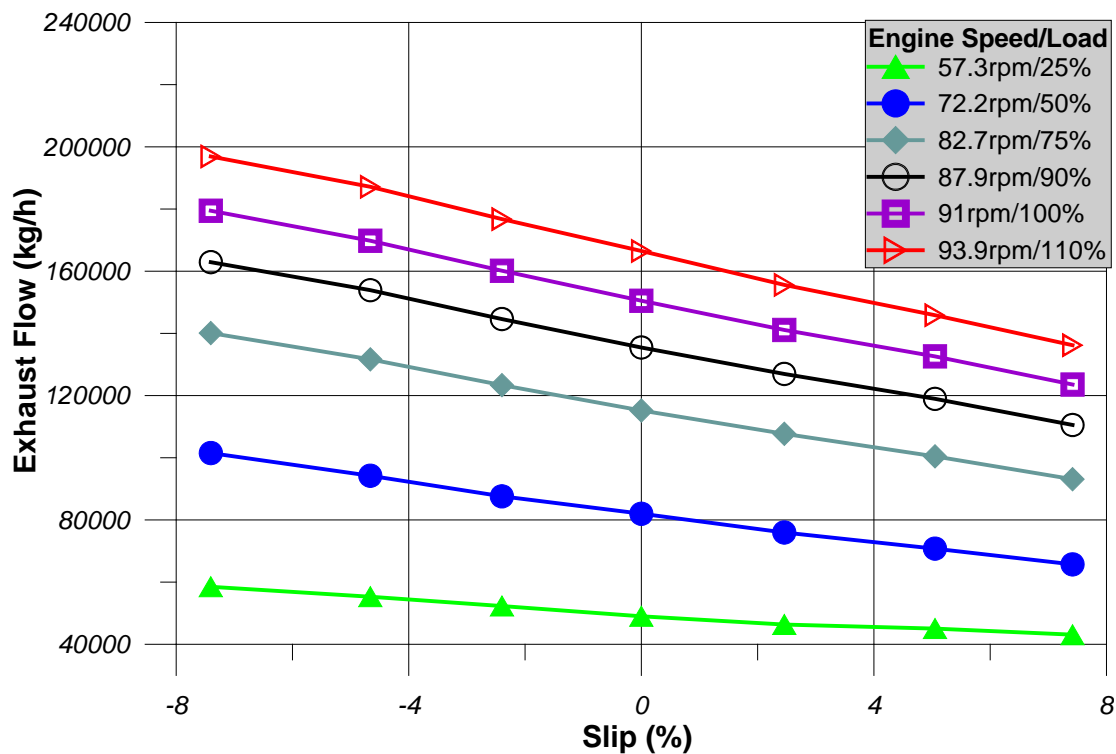
### 8.2.7 Απεικόνιση Παροχής Αέρα/Καυσαερίων

Στο διάγραμμα 8-10 δίνεται η παροχή αέρα συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Φαίνεται ότι η μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου λειτουργίας είναι γραμμική. Επίσης η κλίση της μεταβολής εξαρτάται από το φορτίο, αν και στις υψηλές στροφές παρατηρείται ίδια κλίση της μεταβολής. Στα χαμηλά φορτία με μείωση των στροφών έχουμε μείωση της κλίσης της μεταβολής.



Διάγραμμα 8-10 Παροχή Αέρα Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

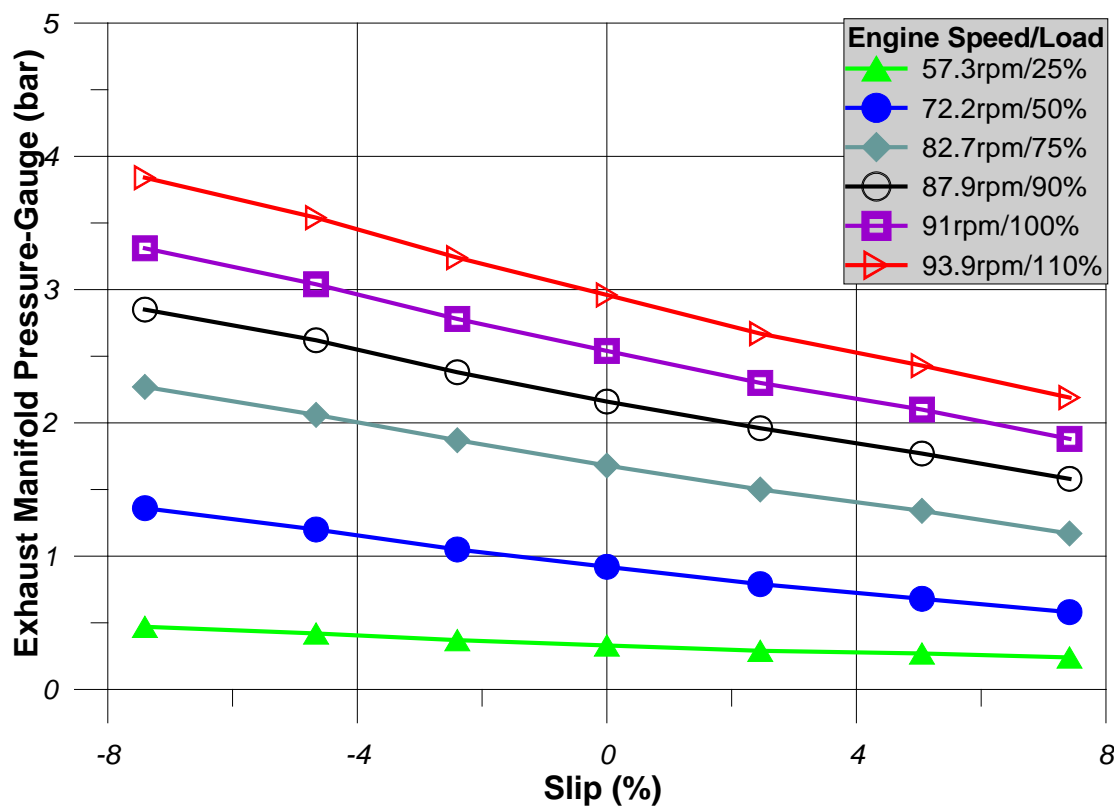
Ακολουθεί το διάγραμμα 8-11 που δίνει την παροχή καυσαερίων συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Όπως συμβαίνει και με την παροχή του αέρα, έτσι και εδώ, η μεταβολή είναι γραμμική και η κλίση της εξαρτάται από το φορτίο. Με μείωση των στροφών έχουμε μείωση της κλίσης της μεταβολής στα χαμηλά φορτία, ενώ στις υψηλές στροφές η κλίση παραμένει σταθερή.



Διάγραμμα 8-11 Παροχή Καυσαερίων Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

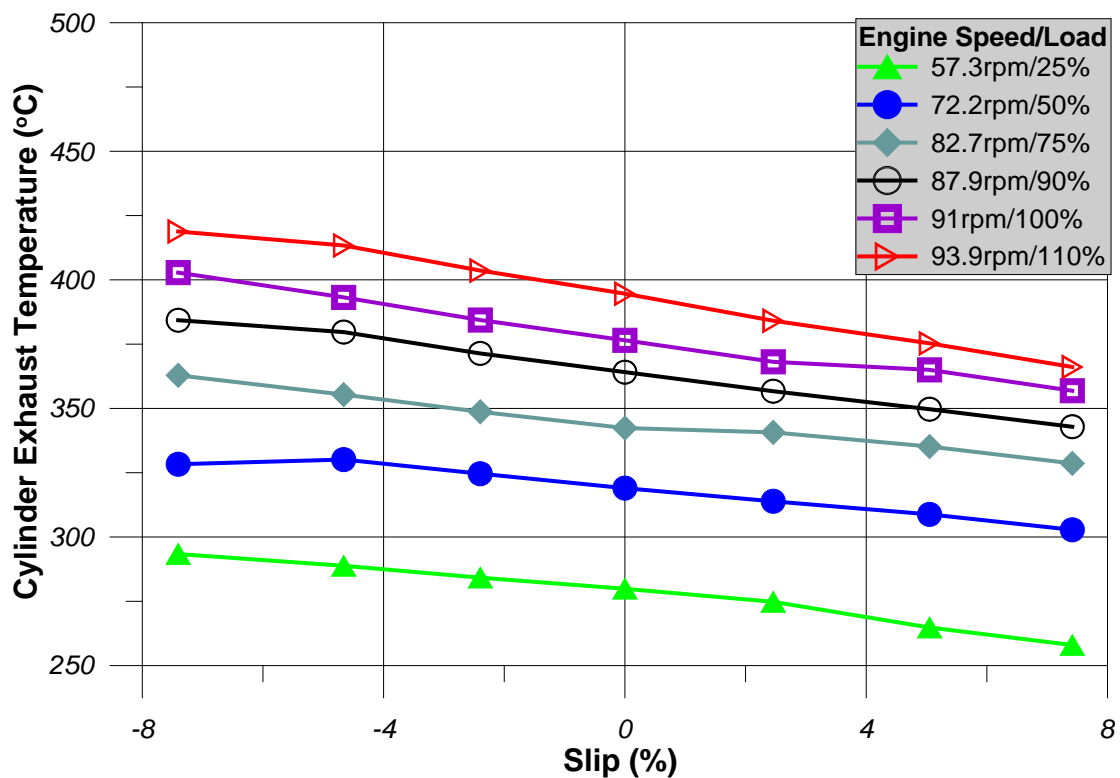
### 8.2.8 Απεικόνιση Συνθηκών Καυσαερίων

Στο διάγραμμα 8-12 δίνεται η πίεση των καυσαερίων πριν από τους στροβίλους των στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Παρατηρούμε ότι η μεταβολή είναι γραμμική και η κλίση της μειώνεται με μείωση του φορτίου.



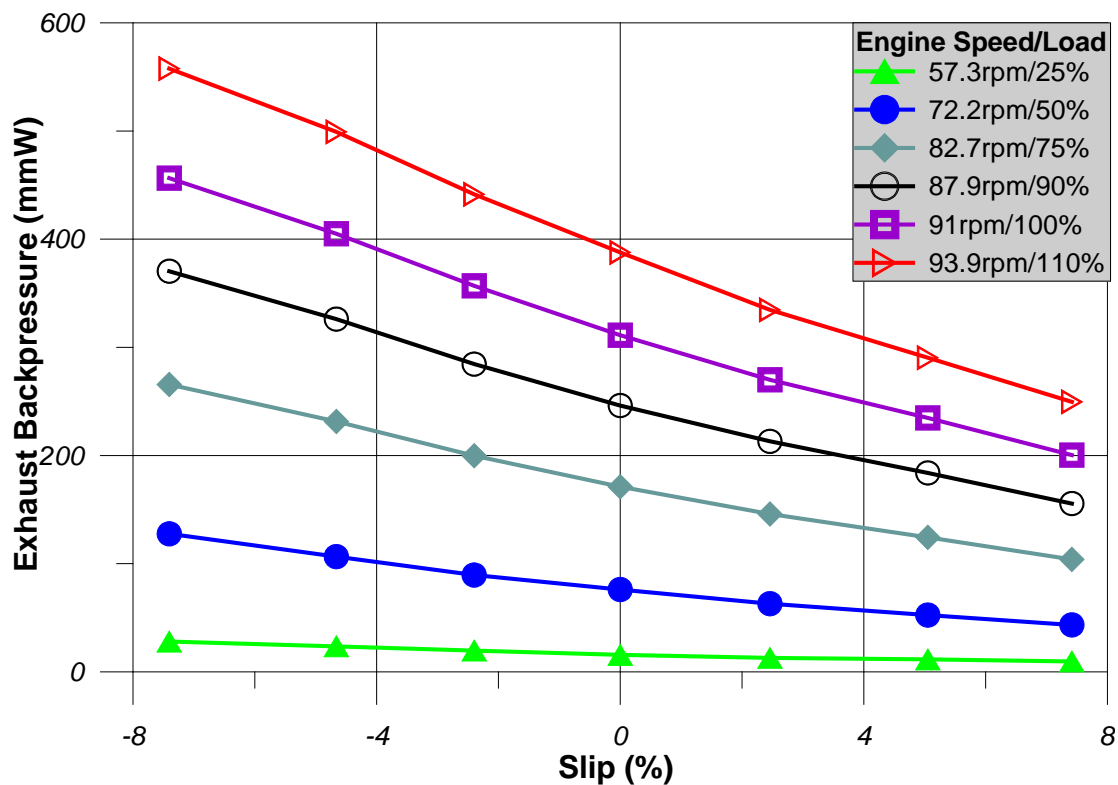
Διάγραμμα 8-12 Πίεση Καυσαερίων Πριν το Στρόβιλο Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

Επίσης έχουμε το διάγραμμα 8-13 που δίνει τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους κυλίνδρους του κινητήρα συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Εδώ παρατηρούμε ότι η κλίση της μεταβολής αλλάζει με την ολίσθηση, ενώ δείχνει να μην έχει επίδραση το φορτίο.



Διάγραμμα 8-13 Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Κυλίνδρους Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

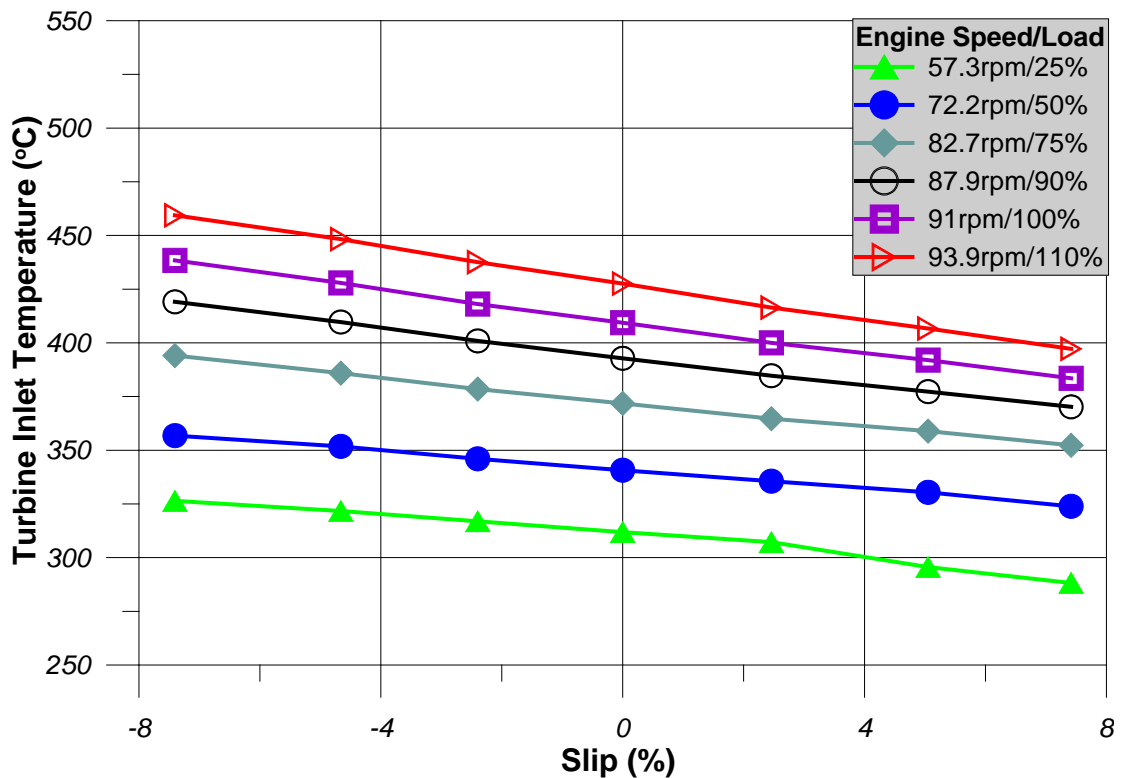
Τέλος στο διάγραμμα 8-14 δίνεται η πίεση των καυσαερίων στον οχετό εξαγωγής συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Το συμπέρασμα που εξαγάμε από το διάγραμμα αυτό είναι ότι η κλίση της μεταβολής αυξάνει με την μείωση της ολίσθησης και την αύξηση του φορτίου.



Διάγραμμα 8-14 Πίεση Καυσαερίων στον Οχετό Εξαγωγής Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

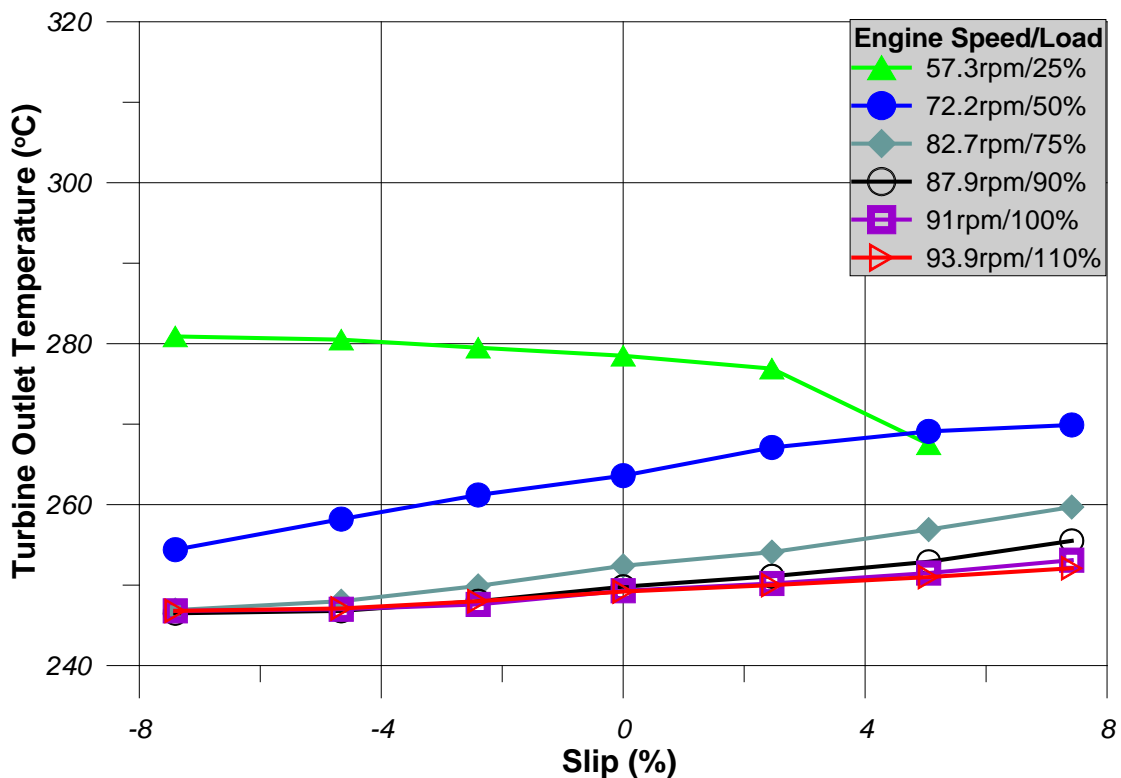
### 8.2.9 Απεικόνιση Παραμέτρων που Σχετίζονται με το Σύστημα Υπερπλήρωσης

Το διάγραμμα 8-15 δίνει τη θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στους στροβίλους των δύο στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Παρατηρείται ότι η μεταβολή είναι γραμμική και η κλίση της δεν εξαρτάται από το φορτίο.



Διάγραμμα 8-15 Θερμοκρασία Εισόδου Καυσαερίων στους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

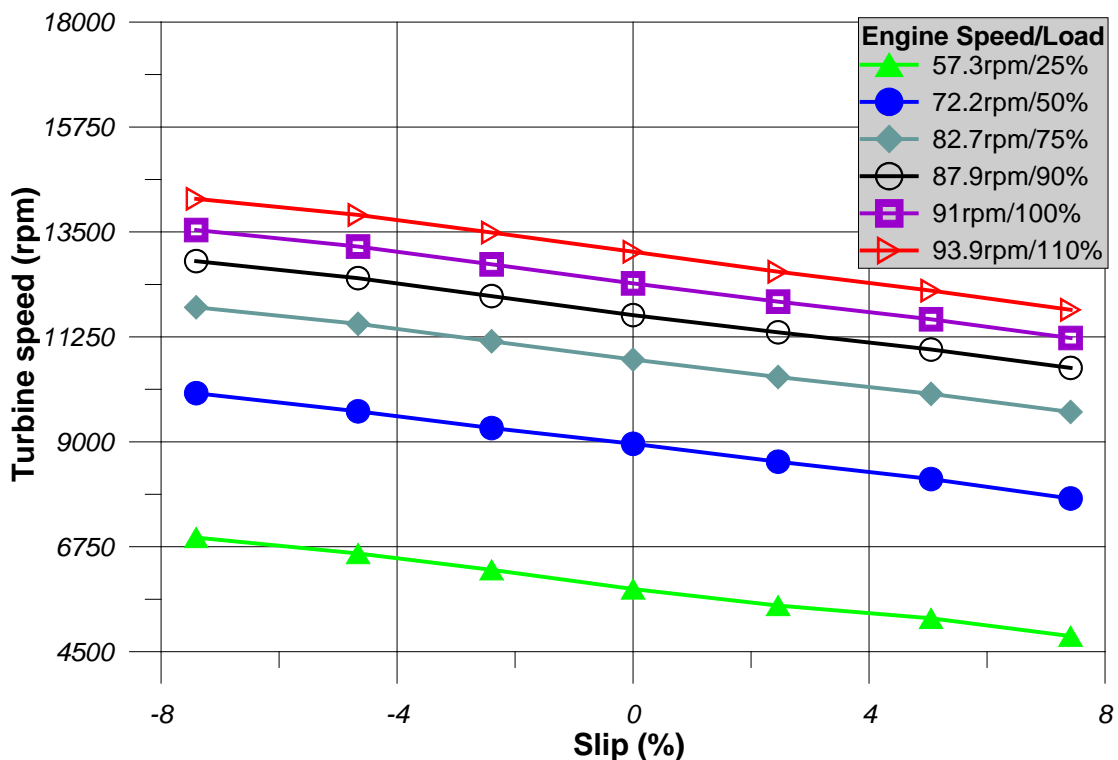
Ακόμα, στο διάγραμμα 8-16 δίνεται η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους στροβίλους των αντίστοιχων στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Φαίνεται ότι η κλίση της μεταβολής αυξάνει με αύξηση της ολίσθησης και μείωση του φορτίου. Εξαιρέση αποτελεί το φορτίο 50% όπου η κλίση του μειώνεται σε πολύ υψηλές ολισθήσεις. Επίσης ιδιομορφία παρουσιάζει το χαμηλότερο φορτίο (25%), καθώς η μεταβολή του συγκεκριμένου φορτίου αποτελείται από δύο γραμμικές μεταβολές με διαφορετική κλίση.



Διάγραμμα 8-16 Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων από τους Στροβιλο-υπερπληρωτές Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής



Τέλος το διάγραμμα 8-17 δίνει τη ταχύτητα περιστροφής των αξόνων των δύο στροβιλο-υπερπληρωτών συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου για διάφορες ταχύτητες περιστροφής του κινητήρα. Παρατηρούμε ότι η μεταβολή είναι γραμμική και η κλίση της δεν επηρεάζεται από το φορτίο.



Διάγραμμα 8-17 Ταχύτητα Περιστροφής Στροβιλο-υπερπληρωτών Συναρτήσει της Ολίσθησης της Έλικας για Διάφορες Ταχύτητες Περιστροφής

### 8.3 Συμπεράσματα Προσομοίωσης Συναρτήσει της Ολίσθησης

Γενικά παρατηρείται ότι η μεταβολή των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας του πλοίου είναι γραμμική και η κλίση της εξαρτάται από το φορτίο. Μικρότερη επίδραση του φορτίου στην κλίση της μεταβολής φαίνεται να έχει η μέγιστη πίεση καύσης καθώς επίσης και η θερμοκρασία εξόδου του αέρα από τους συμπιεστές.

Γραμμική μεταβολή αλλά χωρίς επίδραση του φορτίου του κινητήρα έχουν η πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα, η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στους στροβίλους και η ταχύτητα περιστροφής των αξόνων των στροβιλο-υπερπληρωτών.

Επίσης η πίεση των καυσαερίων στον οχετό εξαγωγής, η πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα και η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους

στροβίλους είναι μεταβολές που δεν είναι γραμμικές και η κλίση τους εξαρτάται και από το φορτίο του κινητήρα αλλά και από την ολίσθηση της έλικας.

Επιπροσθέτως υπάρχουν παράμετροι που παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες και θα σχολιασθούν ακολούθως.

Αρχικά έχουμε την ειδική κατανάλωση καυσίμου όπου παρατηρείται ξεκάθαρη αλλαγή τάσης της μεταβολής με το φορτίο του κινητήρα.

Ιδιαίτερου σχολιασμού χρίζει και η θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως. Η παράμετρος αυτή μεταβάλλεται γραμμικά στα χαμηλά φορτία. Επίσης παρουσιάζει αλλαγή τάσης στα υψηλά φορτία.

Τέλος έχουμε τη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τους κυλίνδρους του κινητήρα όπου παρατηρείται εξάρτηση της κλίσης της μεταβολής από την ολίσθηση χωρίς επίδραση του φορτίου.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

## Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σκοπός μας ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της ολίσθησης της έλικας στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα.

Για το σκοπό αυτό προσομοιώθηκε η λειτουργία του κινητήρα μέσω του λογισμικού EDS-V. Αρχικά διεξήχθη μία προσομοίωση για γνωστές συνθήκες λειτουργίας ώστε να ελεγχθεί η προβλεπτική ικανότητα του λογισμικού. Από την προσομοίωση αυτή διαπιστώθηκε ότι το λογισμικό παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Ακολούθως έγινε η προσομοίωση των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα για διάφορες τιμές της ολίσθησης της έλικας. Το βασικό συμπέρασμα που προέκυψε από την απεικόνιση των παραμέτρων λειτουργίας συναρτήσει των στροφών του κινητήρα είναι ότι η επίδραση της ολίσθησης γίνεται πιο έντονη με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του.

Επίσης έγινε απεικόνιση των παραμέτρων λειτουργίας και συναρτήσει της ισχύος του κινητήρα. Παρατηρήθηκε ότι με αύξηση της ολίσθησης έχουμε προέκταση της μεταβολής των παραμέτρων για μηδενική ολίσθηση της έλικας σε χαμηλότερες ισχύεις, ενώ με μείωση της ολίσθησης έχουμε προέκταση σε υψηλότερες ισχύεις. Ακόμα, αυτό που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η σύγκριση των διαφόρων παραμέτρων για την ίδια αποδοόμενη ισχύ αλλά με διαφορετικές στροφές του κινητήρα. Από τη σύγκριση αυτή προέκυψε το γενικό συμπέρασμα ότι η ολίσθηση της έλικας έχει επίδραση μόνο στις υψηλές ισχύεις, καθώς λόγω του νόμου της έλικας, στις ισχύεις αυτές υπάρχει μεγάλη διαφορά των στροφών του κινητήρα για τις διάφορες τιμές της ολίσθησης και έτσι προκύπτουν διαφορές και στις αντίστοιχες μεταβολές των παραμέτρων. Στις χαμηλές ισχύεις δε φαίνεται να υπάρχει επίδραση.

Έπειτα έγινε απεικόνιση των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα συναρτήσει της ολίσθησης της έλικας. Από την απεικόνιση αυτή δόθηκε μία πιο σαφή εικόνα της επίδρασης της ολίσθησης στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα. Το γενικό συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι οι μεταβολές των παραμέτρων είναι γραμμικές και ότι η επίδραση της ολίσθησης εξαρτάται από το φορτίο του κινητήρα.

Να αναφέρουμε ακόμα ότι τα παραπάνω γενικά συμπεράσματα δεν ισχύουν για όλες τις παραμέτρους αλλά για την πλειονότητα τους. Ιδιαίτερη σημασία έχει η επίδραση της ολίσθησης στην ειδική κατανάλωση καυσίμου όπου και παρατηρείται αλλαγή τάσης ανάλογα με το φορτίο.

Τέλος παρατηρείται ότι με αύξηση της ολίσθησης έχουμε λειτουργία του κινητήρα σε πιο χαμηλή καμπύλη λειτουργίας. Θα μπορούσε επομένως

να ειπωθεί ότι είναι προτιμότερο, εάν θέλουμε χαμηλή ταχύτητα πλεύσης λόγω εξοικονόμησης καυσίμων, να προτιμηθεί η λειτουργία του κινητήρα σε υψηλά φορτία αλλά με μεγάλη ολίσθηση παρά σε μερικά φορτία, ώστε να αποφευχθούν οι δυσλειτουργίες που προκύπτουν στον κινητήρα όταν λειτουργεί στα φορτία αυτά. Τέτοιες δυσλειτουργίες μπορεί να είναι η δημιουργία εξανθρακωμάτων κ.α. Βέβαια όλα αυτά μπορούν να υλοποιηθούν υπό την προϋπόθεση ότι μπορούμε να επέμβουμε στην τιμή της ολίσθησης. Για το σκοπό αυτό θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν πρόσθετες ειδικές έλικες που δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες ροής γύρω από την κύρια έλικα, ώστε να μπορέσει να ελεγχθεί η τιμή της ολίσθησης.