

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΠΟΡΕΙΑΣ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΥ  
ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΔΙΧΡΟΝΟΥ  
ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

Σγούρος Χριστόδουλος

Επιβλέπων καθηγητής  
Δημήτριος Χουντάλας

# Περιεχόμενα

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Εισαγωγή.....</b>                        | <b>7</b>  |
| 1.1      | Αντικείμενο της εργασίας.....               | 7         |
| 1.2      | Ιστορικά στοιχεία δίχρονων κινητήρων.....   | 7         |
| 1.3      | Εξωτερική λειτουργία 2Χ μηχανών diesel..... | 8         |
| 1.4      | Εσωτερική λειτουργία 2Χ μηχανών diesel..... | 10        |
| 1.5      | Ναυτικές Μηχανές.....                       | 11        |
| 1.5.1    | Είση ναυτικών μηχανών.....                  | 11        |
| 1.5.2    | Διαφορές μεταξύ MC και ME.....              | 13        |
| 1.6      | Εκπομπές ρύπων όπως ορίζει ο IMO.....       | 18        |
| 1.6.1    | Τι έχει προηγηθεί έως σήμερα.....           | 18        |
| 1.6.2    | Έλεγχος Εκπομπών.....                       | 21        |
| 1.6.3    | Πρότυπα Εκπομπών NOx.....                   | 22        |
| 1.6.4    | Περιεκτικότητα του καυσίμου σε Θείο.....    | 24        |
| 1.6.5    | Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου.....            | 25        |
| <b>2</b> | <b>Λογισμικό προσομοίωσης.....</b>          | <b>26</b> |
| 2.1      | Εισαγωγή.....                               | 26        |
| 2.2      | Περιγραφή περιβάλλοντος λογισμικού.....     | 27        |
| 2.3      | Προσομοίωση λειτουργίας.....                | 29        |
| <b>3</b> | <b>Έλεγχος βαθμονόμησης.....</b>            | <b>33</b> |
| 3.1      | Εισαγωγή.....                               | 33        |
| 3.2      | Έλεγχος βαθμονόμησης 6S70MC-C.....          | 34        |
| 3.2.1    | Αποδιδόμενη Ισχύς.....                      | 35        |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.2.2  | Μέγιστη Πίεση Καύσης.....                           | 36 |
| 3.2.3  | Πίεση Συμπίεσης.....                                | 37 |
| 3.2.4  | Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου.....                     | 38 |
| 3.2.5  | Πίεση Σάρωσης.....                                  | 39 |
| 3.2.6  | Πίεση Οχετού Εξαγωγής.....                          | 40 |
| 3.2.7  | Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τον κύλινδρο..... | 41 |
| 3.2.8  | Θερμοκρασία εισόδου καυσαερίων στον στρόβιλο.....   | 42 |
| 3.2.9  | Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων στον στρόβιλο.....    | 43 |
| 3.2.10 | Ταχύτητα περιστροφής του Υπερπληρωτή.....           | 44 |
| 3.2.11 | Θερμοκρασία αέρα στην έξοδο του συμπιεστή.....      | 45 |
| 3.2.12 | Θερμοκρασία αέρα σάρωσης.....                       | 46 |
| 3.2.13 | Πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα.....                   | 47 |
| 3.2.14 | Πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα.....                   | 48 |
| 3.2.15 | Πίεση των καυσαερίων.....                           | 49 |
| 3.2.16 | Συμπεράσματα.....                                   | 50 |
| 3.3    | Έλεγχος βαθμονόμησης 6G60ME-C.....                  | 50 |
| 3.3.1  | Αποδιδόμενη Ισχύς.....                              | 51 |
| 3.3.2  | Μέγιστη Πίεση Καύσης.....                           | 52 |
| 3.3.3  | Πίεση Συμπίεσης.....                                | 53 |
| 3.3.4  | Ειδική Κατανάλωση Καυσίμου.....                     | 54 |
| 3.3.5  | Πίεση Σάρωσης.....                                  | 55 |
| 3.3.6  | Πίεση Οχετού Εξαγωγής.....                          | 56 |
| 3.3.7  | Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τον κύλινδρο..... | 57 |
| 3.3.8  | Θερμοκρασία εισόδου καυσαερίων στον στρόβιλο.....   | 58 |
| 3.3.9  | Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων στον στρόβιλο.....    | 59 |
| 3.3.10 | Ταχύτητα περιστροφής του Υπερπληρωτή.....           | 60 |
| 3.3.11 | Θερμοκρασία αέρα στην έξοδο του συμπιεστή.....      | 61 |
| 3.3.12 | Θερμοκρασία αέρα σάρωσης.....                       | 62 |
| 3.3.13 | Πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα.....                   | 63 |
| 3.3.14 | Πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα.....                   | 64 |
| 3.3.15 | Πίεση των καυσαερίων.....                           | 65 |
| 3.3.16 | Συμπεράσματα.....                                   | 66 |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>4</b> | <b>Μεταβολή Προπορείας έγχυσης καυσίμου.....</b>                             | <b>66</b> |
| 4.1      | Εισαγωγή.....  | 66        |
| 4.2      | Μεταβολή προπορείας έγχυσης 6S70MC-C.....                                    | 66        |
| 4.2.1    | Ποσοστιαία μεταβολή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.....                        | 69        |
| 4.2.2    | Ποσοστιαία μεταβολή μέγιστης πίεσης καύσης.....                              | 70        |
| 4.2.3    | Ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου στον στρόβιλο.....                  | 71        |
| 4.2.4    | Ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου στον στρόβιλο.....                   | 72        |
| 4.2.5    | Ποσοστιαία μεταβολή πίεσης αέρα σάρωσης.....                                 | 73        |
| 4.2.6    | Ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας αέρα σάρωσης.....                           | 74        |
| 4.2.7    | Ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας καυσαερίων κυλίνδρου.....                   | 75        |
| 4.3      | Μεταβολή προπορείας έγχυσης 6G60ME-C.....                                    | 76        |
| 4.3.1    | Ποσοστιαία μεταβολή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.....                        | 76        |
| 4.3.2    | Ποσοστιαία μεταβολή μέγιστης πίεσης καύσης.....                              | 77        |
| 4.3.3    | Ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου στον στρόβιλο.....                  | 78        |
| 4.3.4    | Ποσοστιαία μεταβολή πίεσης αέρα σάρωσης.....                                 | 80        |
| 4.3.5    | Ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας αέρα σάρωσης.....                           | 81        |
| 4.4      | Συμπεράσματα.....  | 82        |
| <br>     |  |           |
| <b>5</b> | <b>Μέγιστη πίεση Καύσης.....</b>   | <b>83</b> |
| 5.1      | Μεταβολή μέγιστης πίεσης καύσης.....   | 83        |
| 5.1.1    | Ειδική κατανάλωση καυσίμου-Μέγιστη πίεση καύσης.....                         | 83        |
| 5.1.2    | Θερμοκρασία αέρα σάρωσης-Μέγιστη πίεση καύσης.....                           | 84        |
| 5.1.3    | Πίεση αέρα σάρωσης-Μέγιστη πίεση καύσης.....                                 | 86        |
| 5.1.4    | Θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο-Μέγιστη πίεση καύσης.....   | 87        |
| 5.1.5    | Θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο-Μέγιστη πίεση καύσης..... | 88        |
| 5.1.6    | Θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου-Μέγιστη πίεση καύσης.....                   | 89        |
| 5.2      | Μεταβολή Μέγιστης πίεσης καύσης 6G60ME-C.....                                | 90        |
| 5.2.1    | Ειδική κατανάλωση καυσίμου-Μέγιστη πίεση καύσης.....                         | 90        |
| 5.2.2    | Θερμοκρασία αέρα σάρωσης-Μέγιστη πίεση καύσης.....                           | 91        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 5.2.3    | Πίεση αέρα σάρωσης-Μέγιστη πίεση καύσης.....   | 92        |
| 5.2.4    | Θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο-Μέγιστη πίεση καύσης.....                         | 94        |
| 5.3      | Συμπεράσματα.....  | 95        |
| <b>6</b> | <b>Βαθμός απόδοσης Στροβίλου και Συμπιεστή.....</b>  | <b>96</b> |
| 6.1      | Εισαγωγή.....  | 96        |
| 6.1.1    | Πιθανές βλάβες υπερπληρωτή.....  | 96        |
| 6.1.2    | Υπολογισμός βαθμού απόδοσης στα διαγράμματα.....   | 98        |
| 6.2      | Πτώση βαθμού απόδοσης Στροβίλου-Συμπιεστή 6S70MC-C.....  | 99        |
| 6.2.1    | Επίδραση της πτώσης βαθμού απόδοσης στην ειδική κατανάλωση καυσίμου.....                           | 100       |
| 6.2.2    | Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στην πίεση αέρα σάρωσης.....                               | 105       |
| 6.2.3    | Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στην θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου.....                 | 110       |
| 6.2.4    | Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στην θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο..... | 115       |
| 6.2.5    | Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή.....              | 120       |
| 6.2.6    | Συμπεράσματα 6S70MC-C.....   | 124       |
| 6.3      | Πτώση βαθμού απόδοσης Στροβίλου-Συμπιεστή 6G60ME-C.....  | 125       |
| 6.3.1    | Επίδραση της πτώσης βαθμού απόδοσης στην ειδική κατανάλωση καυσίμου.....                           | 125       |
| 6.3.2    | Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στην πίεση αέρα σάρωσης.....                               | 130       |
| 6.3.3    | Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στην θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου.....                 | 134       |
| 6.3.4    | Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στην θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο..... | 139       |
| 6.3.5    | Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή.....              | 143       |

|   |            |
|---|------------|
| 6.3.6 Συμπεράσματα 6G60ME-C.....                        | 148        |
| <b>7 Γενικά συμπεράσματα διπλωματικής εργασίας.....</b> | <b>148</b> |
| <br>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....                                   | <br>150    |

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Όπως αναφέρει και ο τίτλος της διπλωματικής εργασίας μελετάμε την επίδραση των διαφόρων ρυθμίσεων και βλαβών ενός σύγχρονου ναυτικού κινητήρα σε σημαντικά λειτουργικά μεγέθη του όπως η ειδική κατανάλωση καυσίμου ,η θερμοκρασία και πίεση αέρα σάρωσης, η θερμοκρασία ειδόδου και εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο και την θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου.

Επιπλέον μελετάμε την μεταβολή βασικών λειτουργικών μεγεθών του κινητήρα σε περιπτώσεις βλαβών όπως η μείωση της απόδοσης του στροβίλου ή του συμπιεστή.

Το βασικό εργαλείο που μας βοηθάει στην παρατήρηση αυτών των μεγεθών και την εξαγωγή συμπερασμάτων είναι το λογισμικό προσομοίωσης «ΠΥΘΕΙΑ» για το οποίο θα γίνει λόγος στο κεφάλαιο 2.

## 1.2 Ιστορικά στοιχεία δίχρονων κινητήρων Diesel

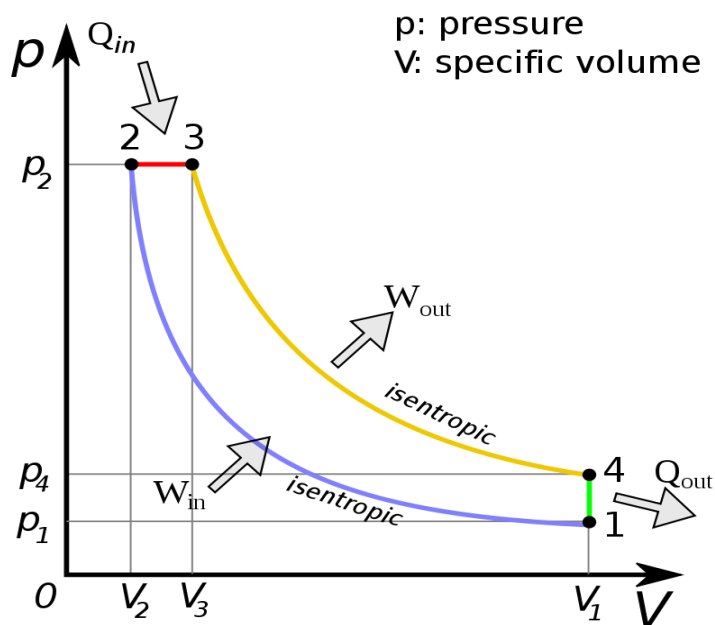
Εφευρέθηκε [1] το 1892 από τον Γερμανό μηχανικό Rudolph Diesel και η πατέντα κατοχυρώθηκε στις 23 Φεβρουαρίου το έτος 1893.

Ενώ κατά την περίοδο 1900 με 1934 οι τετράχρονες μηχανές είχαν κερδίσει αρκετό έδαφος , οι μηχανικοί της general motors corporation ανέπτυξαν την τεχνολογία πίσω από τις δίχρονες μηχανές και κατάφεραν να δημιουργήσουν μηχανές με πολύ μεγαλύτερη αναλογία ισχύος μηχανής προς βάρος μηχανής και ταυτόχρονα πολύ μεγάλο εύρος χρήσης της μηχανής .

Σαν αποτέλεσμα οι δίχρονες μηχανές diesel είναι κυρίαρχες σε πολλούς τομείς της σύγχρονης εποχής.

### 1.3 Εξωτερική λειτουργία 2X μηχανών diesel

Μία δίχρονη μηχανή diesel είναι μία μηχανή εσωτερικής καύσης η οποία θα λειτουργούσε ιδανικά σύμφωνα με τον κύκλο diesel όπως φαίνεται στο σχήμα 1.1 .

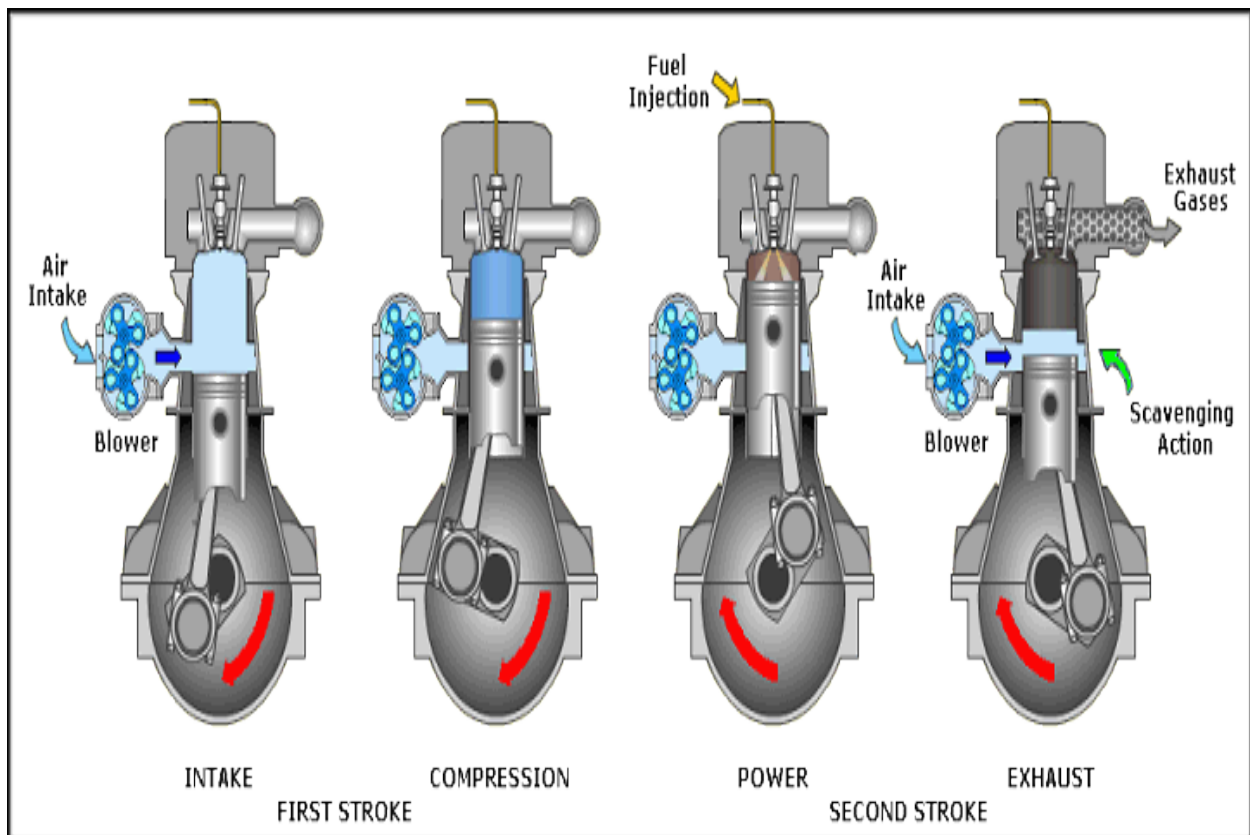


Σχήμα 1.1 Ιδανικός κύκλος diesel

Όντας εμβολοφόρος κινητήρας , [2] η λειτουργία του βασίζεται στον κινηματικό μηχανισμό Εμβόλου-Διωστήρα-Στροφάλου όπου το έμβολο παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο και μεταφέρει την ισχύ στην στροφαλοφόρο άτρακτο του διωστήρα.

Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 1.2** μία [3] περίοδος λειτουργίας διαρκεί μόνο μία περιστροφή ή 360 μοίρες της στροφαλοφόρου ατράκτου, δηλαδή περιλαμβάνει δύο διαδρομές εμβόλου , εκ των οποίων μόνο περίπου το ½ (πλησίον του ΚΝΣ) είναι αφιερωμένες στην εναλλαγή αερίων.

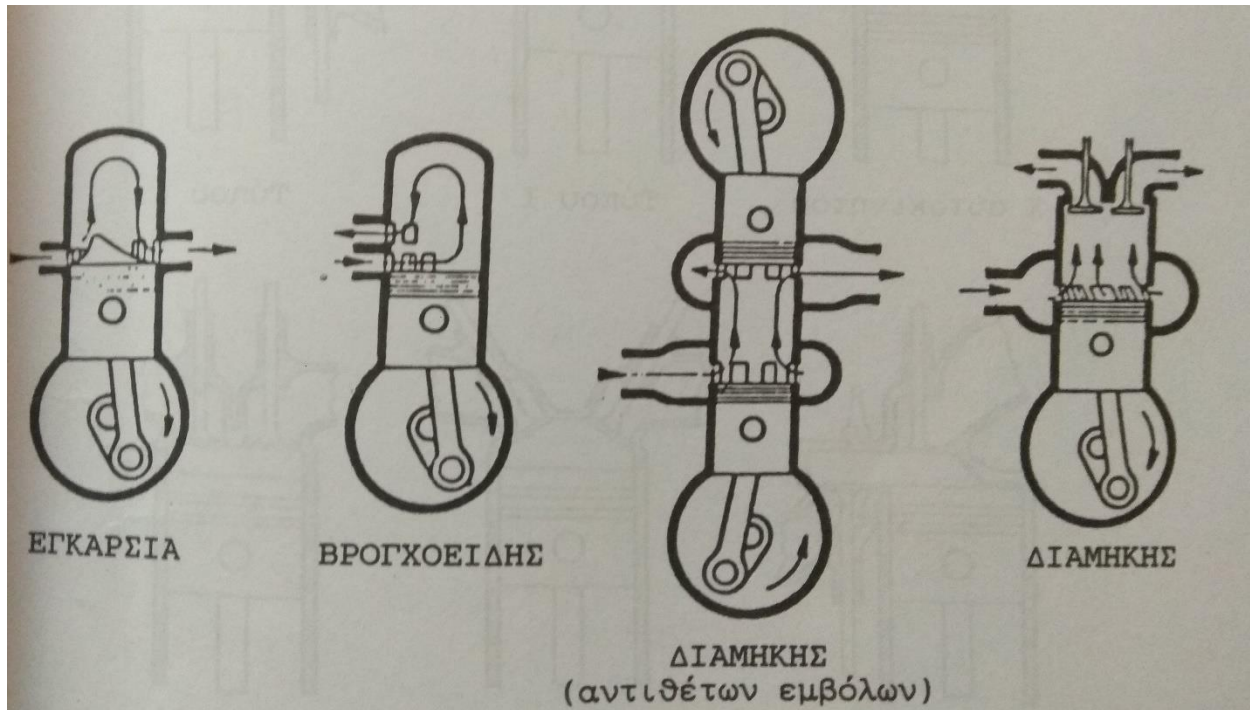




Σχήμα 1.2 Στάδια λειτουργίας 2X κινητήρα

Κατά κανόνα την πλήρωση και εκκένωση του κυλίνδρου ρυθμίζει η άνω ακμή του εμβόλου αποκαλύπτουσα η καλύπτουσα σχετικές θυρίδες τοποθετημένες στην παράπλευρη επιφάνεια του κυλίνδρου. Έτσι η εναλλαγή των αερίων διεξάγεται πάντοτε υπό δυσμενείς συνθήκες που καθιστούν απαραίτητη την βίαιη πλήρωση του κυλίνδρου με την βοήθεια ειδικής αντλίας αποπλύσεως ή σαρώσεως (που απορροφά πολύτιμο μηχανικό έργο από την στροφαλοφόρο άτρακτο).

Στο **σχήμα 1.3** δίνονται οι συνηθέστερες διατάξεις αποπλύσεως 2-X κινητήρων. Αυτές είναι η εγκάρσια, βροχοειδής, η διαμήκης απόπλυση στο σπανίζοντα πλέον σήμερα κινητήρα με αντιθέτως παλινδρομούντα έμβολα εντός του ίδιου κυλίνδρου, και η διαμήκης απόπλυση στον κινητήρα με θυρίδες εισαγωγής και βαλβίδες εξαγωγής, που παρουσιάζει καλύτερη απόπλυση αλλά όμως πολυπλοκότερη κατασκευή λόγω των βαλβιδών.



Σχήμα 1.3 Συνήθεις διατάξεις αποπλύσεως 2-Χ κινητήρων

#### 1.4 Εσωτερική λειτουργία 2-Χ κινητήρων Diesel

Στους κινητήρες diesel ή καύσεως ή εναύσεως με συμπίεση(αυτανάφλεξη) υπάρχει πάντοτε αυτανάφλεξη(αυτόματη ανάφλεξη), λόγω της κατάλληλης εισαγωγής του καυσίμου στον κύλινδρο την στιγμή κατά την οποία το περιεχόμενο του έχει ήδη θερμανθεί σε επαρκώς υψηλή θερμοκρασία , λόγω της προηγηθείσης σχετικώς ισχυρής συμπίεσεως.

Ο κινητήρας Diesel , καλούμενος και πετρελαιομηχανή , αναρροφά πάντα ατμοσφαιρικό αέρα και χρησιμοποιεί σαν καύσιμα τα βαρύτερα της βενζίνης υγρά καύσιμα της κατηγορίας των πετρελαίων (που είναι λιγότερα πτητικά και φθηνότερα) , όπως αεριέλαιο (καύσιμο diesel) ή ακόμα ,στους μέσων και μεγάλων

διαστάσεων κινητήρες , το ελαφρό (1500'' RED) ή βαρύ καύσιμο λεβήτων (3500'' RED). Για τον σχηματισμό του καυσίμου μείγματος το πετράλαιο εισάγεται στον κύλινδρο ,διασκορπιζόμενο στη μάζα του ήδη συμπιεσμένου αέρα, με την βοήθεια μηχανικής εγχύσεως , δηλαδή υπό την επίδραση της ισχυρής πιέσεως , που δημιουργείται από το σύστημα αντλίας καυσίμου-εγχυτήρα. Σε πιο σύγχρονους κινητήρες η έγχυση του καυσίμου και η ενεργοποίηση των βαλβίδων εξαγωγής καυσαερίων σε κάθε κύλινδρο ελέγχονται και ρυθμίζονται ηλεκτρονικά ,κάτι το οποίο αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

## **1.5 Ναυτικές μηχανές**

### **1.5.1 Είδη ναυτικών μηχανων**

Οι [4] ναυτικές μηχανές είναι από τις μεγαλύτερες και ακριβότερες μηχανές στον κόσμο και προορίζονται για την πρόωση πλοίων. Τα κριτήρια για την απόκτηση μίας τέτοια μηχανής είναι η αναζήτηση μεγαλύτερης ταχύτητας , η μικρότερη καταλάωση καυσίμου και η μεγάλη διάρκεια ζωής.

Στην εποχή μας εφαρμόζονται όλο και πιο αυστήρα περιβαλλοντικά κριτήρια και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι κατασκευαστές μηχανών να προσπαθούν να περιορίσουν τους ρύπους έχοντας κατά νου οικονομικούς παράγοντες που αφορούν τον πλοιοκτήτη και τους αγοραστές.Πριν όμως αναλυθεί περεταίρω το θέμα των εκπομπών θα αναφερθώ στα βασικά είδη ναυτικών κινητήρων.

Υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές ναυτικών μηχανών που μπορεί κάποιος να συναντήσει στον τομέα της ναυτιλίας .Εφόσον στην διπλωματική εργασία έχω ως αντικείμενο μελέτης μηχανές της κατασκευάστριας εταιρίας MAN B&W

,η οποία έχει ηγετικό ρόλο στον τομέα της πρόωσης πλοίων , θα αναπτύξω συνοπτικά μερικά χαρακτηριστικά μοντέλα της.

- **Σειρά KEF**

Παρουσιάστηκε για πρώτη φορά πριν από περίπου 20 χρόνια και έχει ενσωματωμένες βαλβίδες καυσαερίων οι οποίες λειτουργούν με ωστήρια και φέρει σύστημα υπερπλήρωσης με παλμό πιέσεων. Στην συγκεκριμένη μηχανή δεν ταίριαζε κανένας σερβοκινητήρας έτσι η αντίστροφη ώση/οπισθωπορεία επιτυγχάνεται με μηχανικά μέσα.

- **Σειρά KGF**

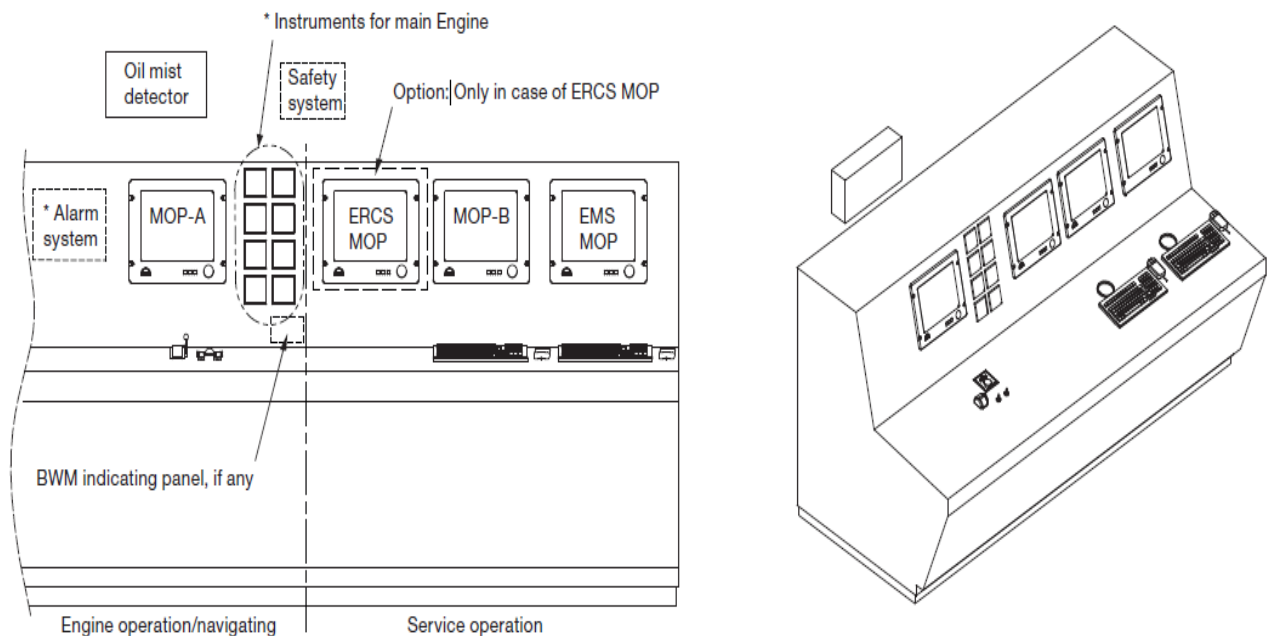
Η σειρά KGF ήταν παρόμοια με την σειρά KEF και αποτελείται από περιστρεφόμενη βαλβίδα εξαγωγής με ρουλεμάν . Σε αυτόν τον κινητήρα το έκκεντρο αναστροφής κρατιέται σε μια πλήμνη η οποία είναι κλειδωμένη στον άξονα. Ο εκκεντροφόρος άξονας περιστρέφεται με την ίδια φορά για αναστροφή και η πίεση που απαιτείται για την αντιστροφή είναι περίπου 40 bar. Επιπλέον δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ της αλυσίδας χρονισμού και του εκκεντροφόρου άξονα του κινητήρα.

- **Σειρά MC**

Οι κινητήρες σειράς MC είναι σήμερα οι πιο δημοφιλείς κινητήρες και διαθέτουν ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου για καλύτερη και ασφαλή λειτουργία του κινητήρα. Αυτός ο κινητήρας εγκαθίσταται με VIT(Μεταβλητός Χρονισμός Έγχυσης) για οικονομική κατανάλωση καυσίμου και παραγωγή ισχύος

- **Σειρά ME**

Η σειρά ME είναι η εξελιγμένη έκδοση της σειράς MC με εγκατεστημένους ηλεκτρονικούς αυτοματισμούς (σχήμα 1.4) οι οποίοι εξυπηρετούν την ασφάλεια και την οικονομία της εγκατάστασης. Παρέχουν βέλτιστη καύση σε όλες τις λειτουργίες και ταχύτητα με λειτουργία χωρίς καπνό. Αυτή η σειρά έρχεται επίσης με σύστημα ψεκασμού υγρού αερίου για καύσιμο LPG.

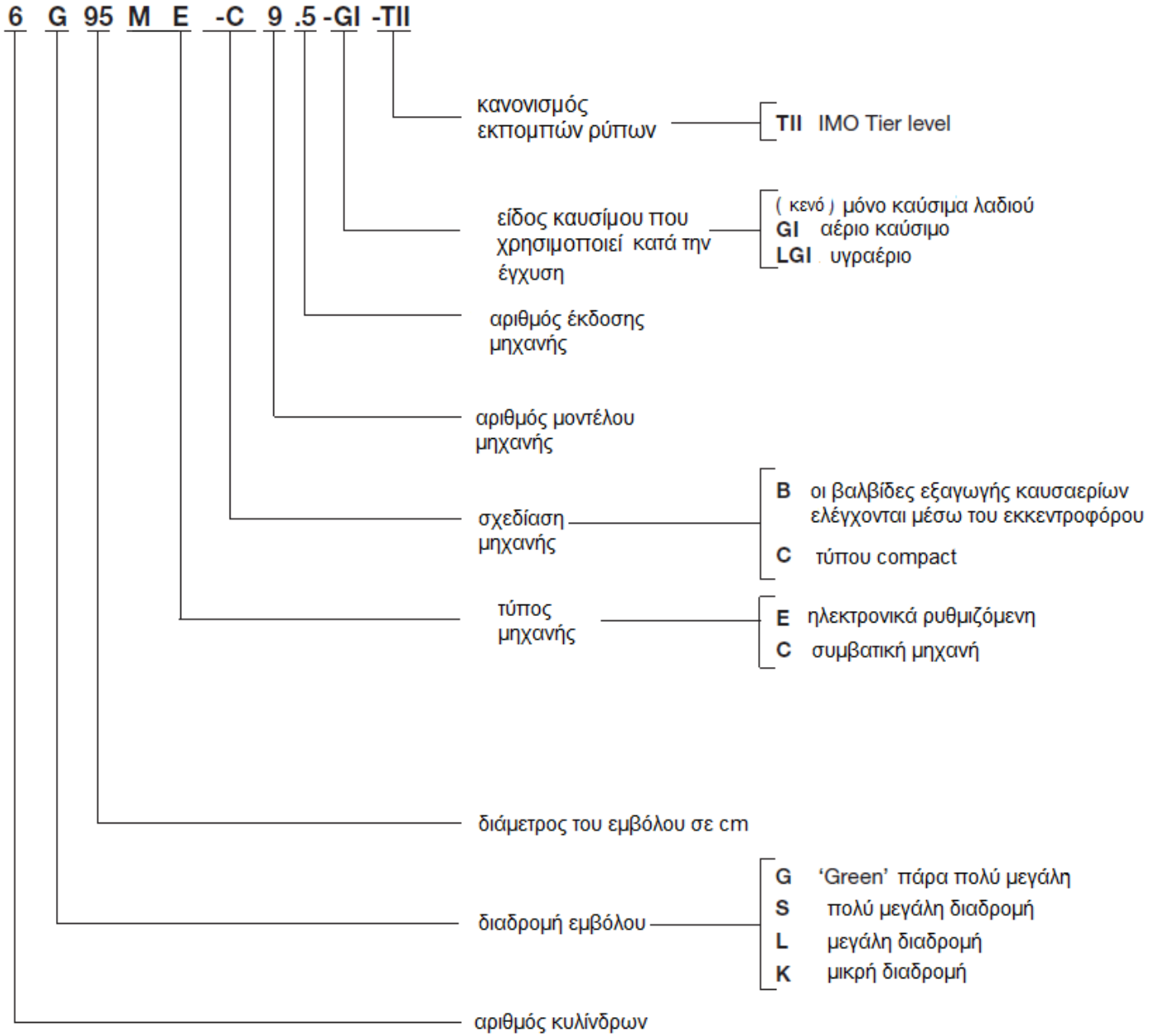


Σχήμα 1.4 παράδειγμα δωματίου ελέγχου μηχανής (MOP)

## 1.5.2 Διαφορές μεταξύ MC και ME

Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι δύο ναυτικές μηχανές που θα εξεταστούν είναι η **MAN B&W 6S70MC-C8.2** και η **MAN B&W 6G60ME-C9.5**. Για

τον σκοπό αυτό θεωρώ απαραίτητο να αναφέρω τις βασικές διαφορές ανάμεσα σε αυτές τις δύο μηχανές , ξεκινώντας από το πιο προφανές που είναι η ονομασία η οποία αποσαφηνίζεται στο **σχήμα 1.5** που ακολουθεί.



**Σχήμα 1.5** ονοματολογία ναυτικών μηχανών

Στην συνέχεια παραθέτω συνοπτικά τις βασικές διαφορές μεταξύ των ηλεκτρονικών και των συμβατικών ναυτικών μηχανών. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο η ηλεκτρονικές μηχανές (ME) διαθέτουν ηλεκτρο-υδραυλικό σύστημα. Το σύστημα αυτό αντικαθιστά τα παρακάτω στοιχεία μίας συμβατικής (MC) μηχανής :

- **Την αλυσίδα χρονισμού**

Ο εκκεντροφόρος [5],[6] άξονας οδηγείται από τον στροφαλοφόρο άξονα με την αλυσίδα χρονισμού, η οποία παραμένει συσφιγμένη μέσω ενός χειροκίνητου τανυστήρα αλυσίδας. Τα μεγάλα ελεύθερα μήκη της αλυσίδας υποστηρίζονται από οδηγούς οι οποίοι έχουν λαστιχένια επένδυση και η αλυσίδα λιπαίνεται μέσω σωλήνων ψεκασμού λιπαντικού λαδιού. Οι λιπαντήρες μηχανικών κυλίνδρων, εφόσον υπάρχουν, οδηγούνται από τον εκκεντροφόρο άξονα με ξεχωριστή αλυσίδα.

- **Τον εκκεντροφόρο άξονα**

Ο εκκεντροφόρος άξονας αποτελείται από έναν αριθμό τμημάτων, τα έγκεντρα τα οποία είναι υπεύθυνα για την εξαγωγή καυσαερίων και την εισαγωγή καυσίμου στον κύλινδρο. Ο εκκεντροφόρος εδράζεται σε έδρανα της κυλινδροκεφαλής, στο πάνω μέρος της και σε κατάλληλη οπή μέσα στην κυλινδροκεφαλή και στον κορμό του κινητήρα. Τα έγκεντρα μπορούν να προσαρμοστούν όπως επίσης και να αφαιρεθούν από τον άξονα υδραυλικά.

- **Την αντλία καυσίμου και τον μηχανισμό που είναι υπεύθυνος για την ενεργοποίηση των βαλβιδών**

Τα παραπάνω αντικαταστήθηκαν από τα παρακάτω στοιχεία στις ηλεκτρονικές μηχανές.

- **Το τροφοδοτικό υδραυλικής ισχύος (Hydraulic Power Supply)**

Το HSP φιλτράρει και ανεβάζει την πίεση του λιπαντικού λαδιού υψηλής ποιότητας για χρήση στο υδραυλικό σύστημα. Το HPS αποτελείται είτε από μηχανικά οδηγούμενες (από τον κινητήρα) κύριες αντλίες με ηλεκτρικές αντλίες εκκίνησης είτε αποκλειστικά με ηλεκτρικές αντλίες(κύριες και εκκίνησης) . Η υδραυλική πίεση του τροφοδοτικού είναι 300 bar.

- **Την μονάδα υδραυλικών κυλίνδρων (Hydraulic Cylinder Unit),**

Υπάρχει μία ανά κύλινδρο και με αυτήν την προσθήκη η έγχυση του καυσίμου και η ενεργοποίηση των βαλβιδών γίνεται υδραυλικά.

- **Το σύστημα Tacho (Tacho System) και MOP(Main Operating Panel)**

Οι βαλβίδες της μονάδας υδραυλικών κυλίνδρων ελέγχονται από ένα σύστημα υπολογιστών , το MOP , το οποίο επικοινωνεί με το σύστημα Tacho το οποίο μεταδίδει σε πραγματικό χρόνο την θέση του στροφαλοφόρου άξονα στο MOP. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να παρέμβουμε στις παραμέτρους που επηρεάζουν την διαδικασία της καύσης και να τις ρυθμίσουμε ανάλογα με τις διάφορες συνθήκες.

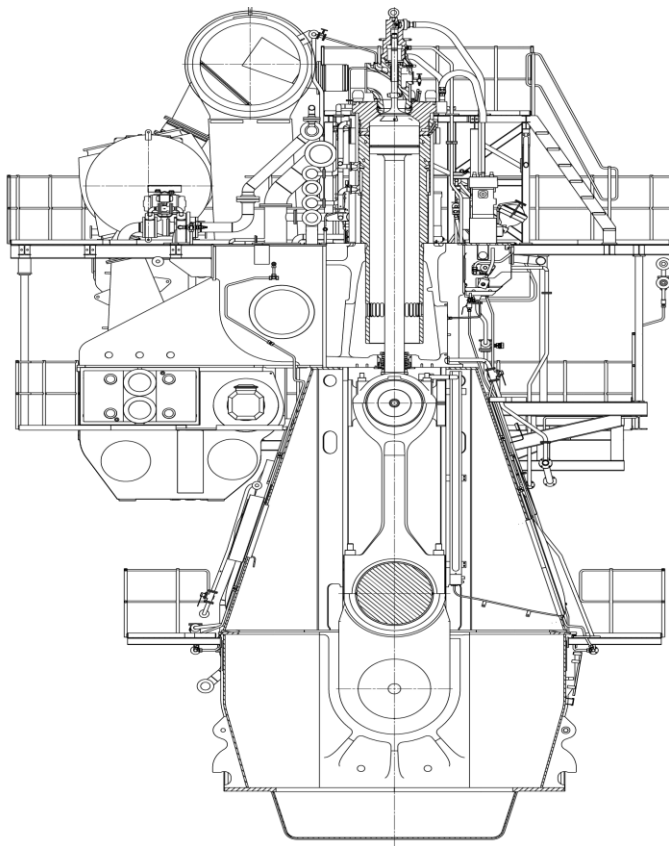


- **Ηλεκτρονικά σύστημα λίπανσης Alpha**

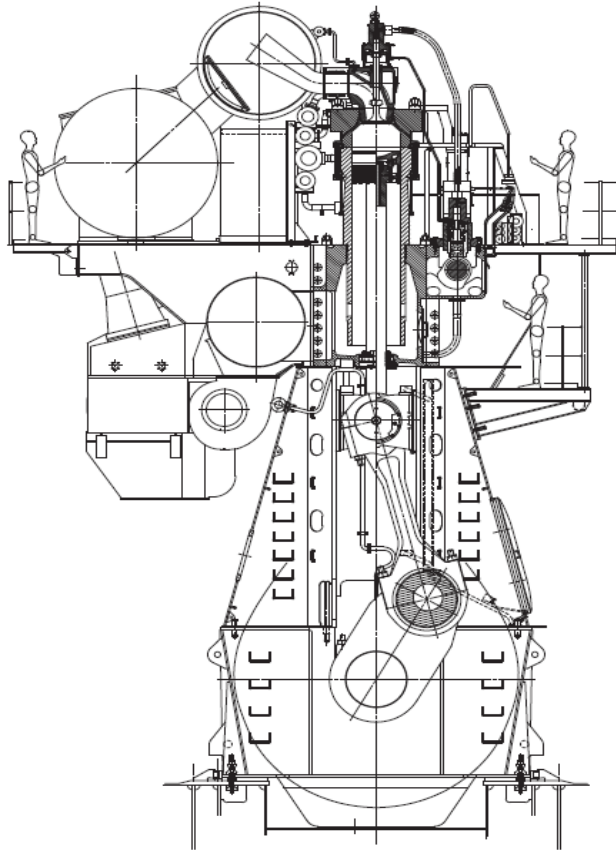
Το σύστημα λίπανσης Alpha σε σύγκριση με την συμβατική λίπανση προσφέρει :

- 1) Βελτιωμένο χρονισμό έγχυσης
- 2) Ευελιξία όταν χρειάζεται αυξημένη λίπανση
- 3) Σταθερή πίεση εγχυσης
- 4) Βελτιωμένη διανομή λαδιού στον κύλινδρο
- 5) Δυνατότητα λίπανσης πριν την εκκίνηση της μηχανής

Τέλος ακολουθεί μία όψη σε τομή της ναυτικής μηχανής 6S70MC-C8.2 και της 6G60ME-C9.5, **σχήμα 1.6** και **σχήμα 1.7** .



**Σχήμα 1.6** όψη σε τομή της 6G60ME-C9.5



**Σχήμα 1.7** όψη σε τομή της 6S70MC-C8.2

## 1.6 Εκπομπές ρύπων όπως ορίζει ο **Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός**

### 1.6.1 Τι έχει προηγηθεί εως σήμερα

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (IMO) είναι [7] μια υπηρεσία των Ηνωμένων Εθνών που έχει συσταθεί για την προώθηση της ασφάλειας στη Ναυσιπλοία. Καθιερώθηκε επίσημα σε διεθνές συνέδριο στη Γενεύη το 1948 και

άρχισε να λειτουργεί το 1958 όταν τέθηκε σε ισχύ η Σύμβαση του IMO (η αρχική ονομασία ήταν ο Διακυβερνητικός Ναυτιλιακός Συμβουλευτικός Οργανισμός ή IMCO, αλλά το όνομα άλλαξε το 1982 σε IMO . Ο IMO περιλαμβάνει σήμερα 167 κράτη μέλη.

Οι κανόνες για τη ρύπανση των πλοίων κατά IMO περιλαμβάνονται στη «Διεθνή σύμβαση για την πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία», η οποία είναι γνωστή ως MARPOL 73/78. Στις 27 Σεπτεμβρίου 1997, η σύμβαση MARPOL τροποποιήθηκε με το "Πρωτόκολλο του 1997", το οποίο περιλαμβάνει το παράρτημα VI με τίτλο "Κανονισμοί για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα πλοία".

Το παράρτημα VI του MARPOL θέτει όρια στις εκπομπές NOx και SOx από τα καυσαέρια των πλοίων και απαγορεύει εκπομπές ουσιών που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος από πλοία 400 τόνους μεικτού βάρους και άνω που εκτελούν δρομολόγια προς λιμένες ή τερματικούς σταθμούς υπεράκτιων οι οποίοι βρίσκονται υπό τη δικαιοδοσία κρατών που έχουν επικυρώσει το παράρτημα VI.

Τα πρότυπα εκπομπών του IMO [8] αναφέρονται συνήθως ως πρότυπα Tier I, II και III. Τα πρότυπα Tier I ορίστηκαν στη διατύπωση του παραρτήματος VI του 1997, ενώ τα πρότυπα Tier II / III εισήχθησαν με τις τροπολογίες του παραρτήματος VI που εγκρίθηκαν το 2008, ως εξής:

- Πρωτόκολλο του 1997 (Tier I) - Το "Πρωτόκολλο του 1997" της MARPOL, το οποίο περιλαμβάνει το παράρτημα VI, αρχίζει να ισχύει 12 μήνες μετά την αποδοχή του από 15 κράτη που κατέχουν τουλάχιστον το 50% της παγκόσμιας εμπορικής ναυτιλίας. Στις 18 Μαΐου 2004, η Σαμόα καταθέτει την επικύρωσή ως το 15ο κράτος (ακολουθώντας τις Μπαχάμες, το Μπαγκλαντές, τα νησιά Μπαρμπάντος, τη Δανία, τη Γερμανία, την Ελλάδα, τη Λιβερία, τα νησιά Μάρσαλ, τη Νορβηγία, τον Παναμά, την Σιγκαπούρη, την Ισπανία, την Σουηδία και το Βανουάτου). Την

ημερομηνία αυτή, το παράρτημα VI επικυρώθηκε από τα κράτη που κατέχουν το 54,57% της παγκόσμιας εμπορικής ναυτιλίας.

Ως εκ τούτου, το παράρτημα VI τέθηκε σε ισχύ στις 19 Μαΐου 2005. Εφαρμόζεται αναδρομικά σε νέους κινητήρες άνω των 130 kW που έχουν εγκατασταθεί σε πλοία κατασκευασμένα την ή μετά την 1η Ιανουαρίου 2000 ή τα οποία υφίστανται σημαντική μετατροπή μετά την ημερομηνία αυτή.

Ο κανονισμός ισχύει επίσης για σταθερά και πλωτά μηχανήματα και για πλατφόρμες γεώτρησης (εκτός από τις εκπομπές που σχετίζονται άμεσα με την εξερεύνηση ή / και τον χειρισμό των ορυκτών στη θάλασσα). Εν αναμονή της κύρωσης του παραρτήματος VI, οι περισσότεροι κατασκευαστές θαλάσσιων κινητήρων κατασκευάζουν κινητήρες που συμμορφώνονται με τα παραπάνω πρότυπα από το 2000.

- Οι τροποποιήσεις του 2008 (Tier II / III) - οι τροποποιήσεις του παραρτήματος VI που εγκρίθηκαν τον Οκτώβριο του 2008 εισήγαγαν  
(1) νέες απαιτήσεις ποιότητας καυσίμων από τον Ιούλιο του 2010  
(2) πρότυπα εκπομπών NOx Tier II και III για νέους κινητήρες και  
(3) απαιτήσεις Tier I NOx για τους υπάρχοντες πριν το 2000 κινητήρες

Το αναθεωρημένο παράρτημα VI τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου 2010. Μέχρι τον Οκτώβριο του 2008, το παράρτημα VI επικυρώθηκε από 53 χώρες (συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών), που αντιπροσωπεύουν το 81,88% .

## 1.6.2 Έλεγχος Εκπομπών

Δύο ομάδες απαιτήσεων ποιότητας και εκπομπών καυσίμων ορίζονται στο παράρτημα VI:

(1) παγκόσμιες απαιτήσεις

(2) αυστηρότερες απαιτήσεις που ισχύουν για τα πλοία στις περιοχές ελέγχου των εκπομπών (**Emission Control Area**).

Μια περιοχή ελέγχου των εκπομπών μπορεί να οριστεί για SO<sub>x</sub> και PM ή NO<sub>x</sub> ή και για τους τρεις τύπους εκπομπών από τα πλοία.

Οι υφιστάμενες περιοχές ελέγχου εκπομπών περιλαμβάνουν:

- Βαλτική Θάλασσα (SO<sub>x</sub>: εγκρίθηκε το 1997 / τέθηκε σε ισχύ το 2005 · NO<sub>x</sub>: 2016/2021)
- Βόρεια Θάλασσα (SO<sub>x</sub>: 2005/2006 · NO<sub>x</sub>: 2016/2021)
- Βορειοαμερικανική ECA, συμπεριλαμβανομένων των περισσότερων ακτών των ΗΠΑ και του Καναδά (NO<sub>x</sub> & SO<sub>x</sub>: 2010/2012)
- Αμερικανική ECA της Καραϊβικής, συμπεριλαμβανομένου του Πουέρτο Ρίκο και των Παρθένων Νήσων (NO<sub>x</sub> & SO<sub>x</sub>: 2011/2014)

Το 2011 οι τροποποιήσεις του παραρτήματος VI της σύμβασης MARPOL εισήγαγαν υποχρεωτικά μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (**GreenHouseGas**). Οι τροπολογίες προσέθεσαν ένα νέο κεφάλαιο 4 του

παραρτήματος VI σχετικά με τους "κανονισμούς για την ενεργειακή απόδοση των πλοίων"

### 1.6.3 Πρότυπα εκπομπών NOx

Τα όρια εκπομπών NOx του κανονισμού 13 του παραρτήματος VI της σύμβασης MARPOL ισχύουν για κάθε ναυτική μηχανή Diesel που εγκαθίσταται σε πλοίο με ισχύ άνω των 130 kW. Μία ναυτική μηχανή Diesel ορίζεται ως οποιοσδήποτε παλινδρομικός κινητήρας εσωτερικής καύσης που λειτουργεί με υγρό καύσιμο ή μείγμα καυσίμων[9].

Υπάρχουν δύο εξαιρέσεις:

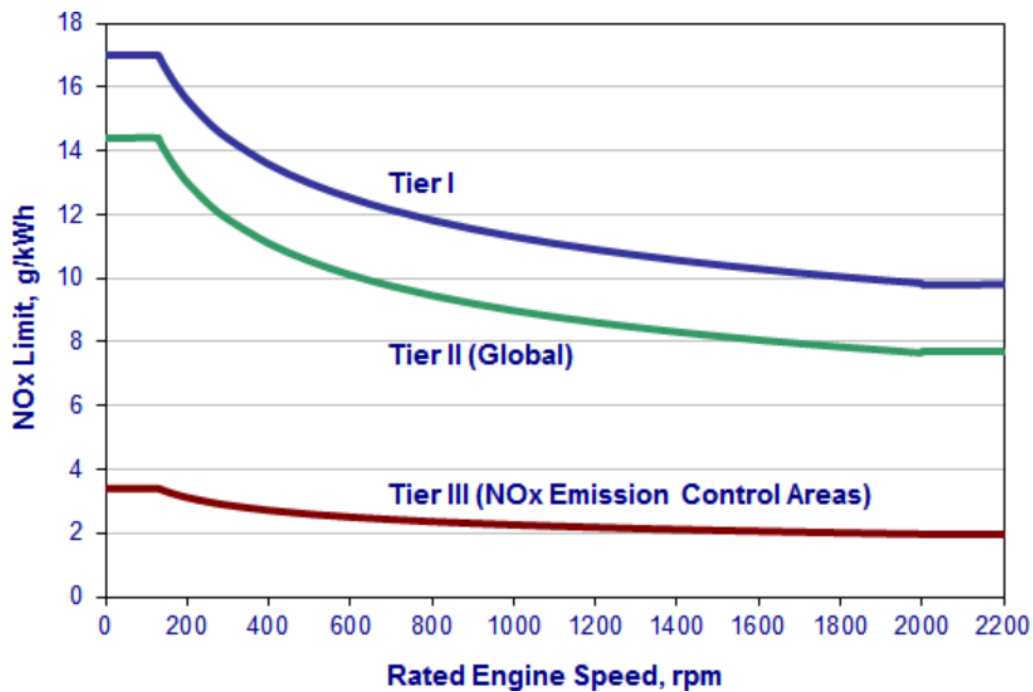
- κινητήρες που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και
- κινητήρες σε πλοία που λειτουργούν αποκλειστικά στα ύδατα του κράτους στο οποίο σημαίνονται. Αυτή η εξαίρεση σήμερα ισχύει μόνο εάν οι κινητήρες αυτοί υπόκεινται σε εναλλακτικό μέτρο ελέγχου των εκπομπών NOx.

Τα όρια εκπομπών NOx καθορίζονται για τους κινητήρες Diesel ανάλογα με τη μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας του κινητήρα ( $n$ , rpm), όπως φαίνεται στο **σχήμα 1.8** και παρουσιάζονται γραφικά στο **σχήμα 1.9**. Τα όρια της κατηγορίας Tier I και Tier II είναι παγκόσμια, ενώ τα πρότυπα Tier III ισχύουν μόνο για Περιοχές ελέγχου εκπομπών NOx.

| Tier     | Date  | NOx Limit, g/kWh |                      |               |
|----------|-------|------------------|----------------------|---------------|
|          |       | $n < 130$        | $130 \leq n < 2000$  | $n \geq 2000$ |
| Tier I   | 2000  | 17.0             | $45 \cdot n^{-0.2}$  | 9.8           |
| Tier II  | 2011  | 14.4             | $44 \cdot n^{-0.23}$ | 7.7           |
| Tier III | 2016† | 3.4              | $9 \cdot n^{-0.2}$   | 1.96          |

† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).

Σχήμα 1.8 όρια εκπομπών NOx



Σχήμα 1.9 όρια εκπομπών NOx

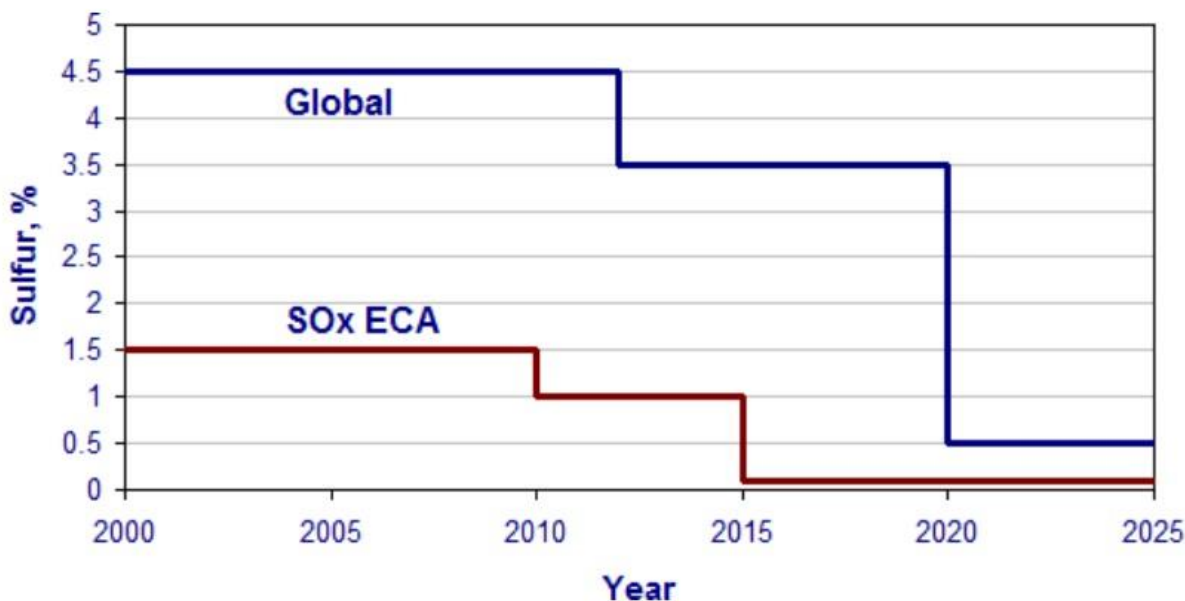
#### 1.6.4 Περιεκτικότητα του καυσίμου σε Θείο

Οι κανονισμοί του παραρτήματος VI περιλαμβάνουν ανώτατα όρια για την περιεκτικότητα του πετρελαίου σε θείο ως μέτρο για τον έλεγχο των εκπομπών SO<sub>x</sub> και, έμμεσα, των εκπομπών PM (δεν υπάρχουν ρητά όρια εκπομπών PM). Υπάρχουν ειδικές διατάξεις για την ποιότητα των καυσίμων για τις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών SO<sub>x</sub> (SO<sub>x</sub> ECA ή SECA). Τα όρια θείου και οι ημερομηνίες εφαρμογής παρατίθενται στον Πίνακα 1.10 και απεικονίζονται στο Σχήμα 1.11.

| Date    | Sulfur Limit in Fuel (% m/m) |        |
|---------|------------------------------|--------|
|         | SO <sub>x</sub> ECA          | Global |
| 2000    | 1.5%                         | 4.5%   |
| 2010.07 | 1.0%                         |        |
| 2012    | 0.1%                         | 3.5%   |
| 2015    |                              | 0.5%   |
| 2020    |                              |        |

Σχήμα 1.10 ανώτατα όρια περιεκτικότητας σε θείο





Σχήμα 1.11 ανώτατα όρια περιεκτικότητας σε θείο

### 1.6.5 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Το παράρτημα VI κεφάλαιο 4 της σύμβασης MARPOL εισάγει δύο υποχρεωτικούς μηχανισμούς που αποσκοπούν στη διασφάλιση ενός προτύπου ενεργειακής απόδοσης για τα πλοία:

- 1) τον Δείκτη Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI), για τα νέα πλοία
- 2) το Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης (SEEMP) όλα τα πλοία.

- Ο EEDI είναι ένας μηχανισμός που απαιτεί μια ελάχιστη ενεργειακή απόδοση σε νέα πλοία. Οι σχεδιαστές πλοίων και οι κατασκευαστές είναι ελεύθεροι να επιλέξουν τον τεχνολογικό τρόπο για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του EEDI .

- Το SEEMP θεσπίζει μηχανισμό για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων.

Οι κανονισμοί ισχύουν για όλα τα πλοία μεικτής χωρητικότητας σε τόνους ίσης ή μεγαλύτερης των 400 και τίθενται σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2013.

Τον Απρίλιο του 2018, ο IMO υιοθέτησε μια αρχική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου από τα πλοία. Η στρατηγική απαιτεί την ενίσχυση των απαιτήσεων του EEDI και ορισμένα άλλα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών, όπως περαιτέρω μειώσεις ταχύτητας, μέτρα για την αντιμετώπιση των εκπομπών CH<sub>4</sub> και VOC και εναλλακτικά καύσιμα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και καύσιμα μηδενικού άνθρακα.

## 2 Λογισμικό προσωμοίωσης

### 2.1 Εισαγωγή

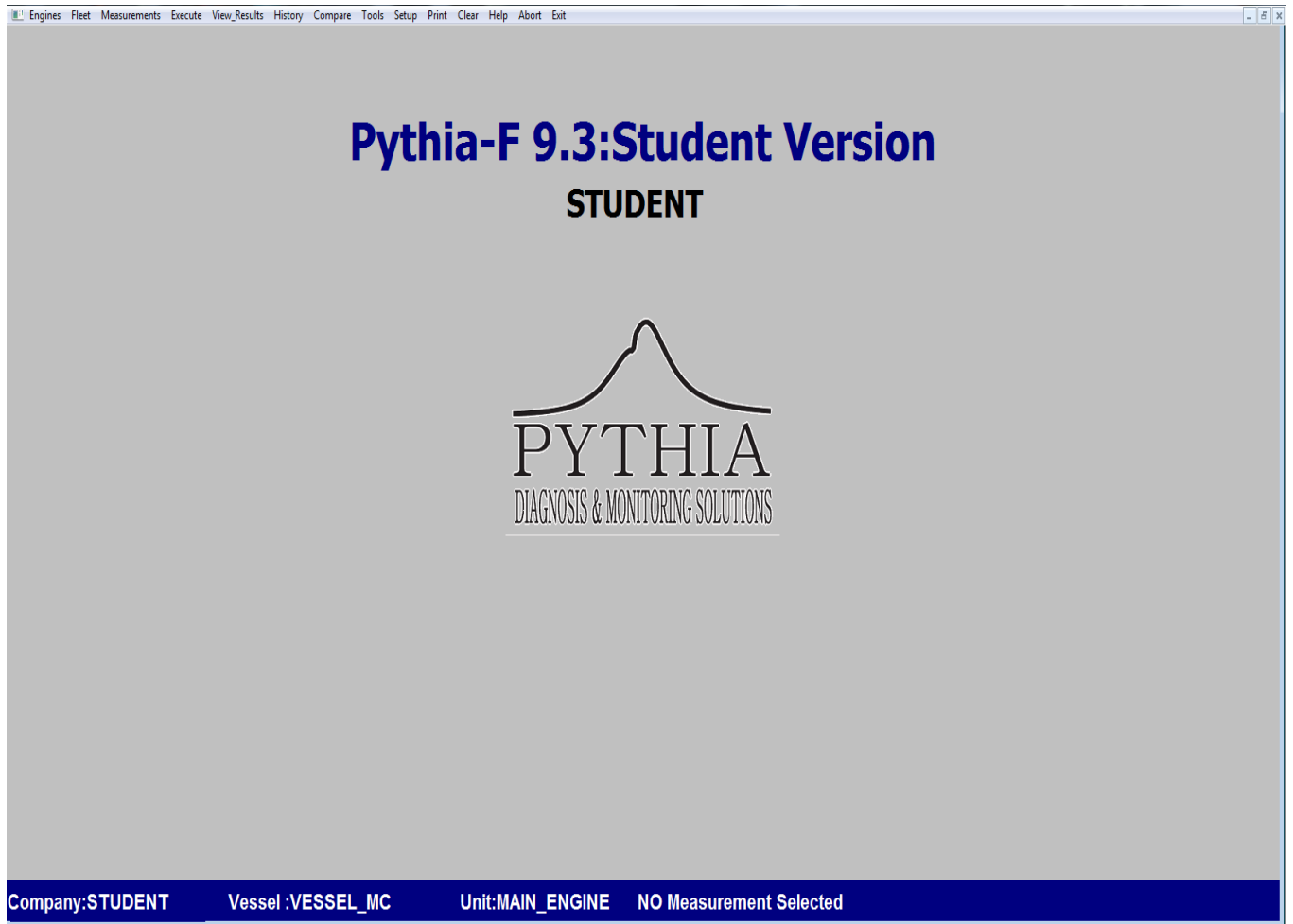
Για να έρθει εις πέρας η διπλωματική εργασία ήταν πολύ σημαντική η χρήση του λογισμικού προσωμοίωσης "ΠΥΘΕΙΑ" το οποίο έχει αναπτυχθεί από τον καθηγητή Δημήτριο Χουντάλα. Το λογισμικό αυτό είναι βαθμονομημένο σύμφωνα με τα δεδομένα των εργοστασιακών δοκιμών των μηχανών που προσωμοιώνουμε και με την βοήθεια της θερμοδυναμικής είναι ικανό να εξάγει αποτελέσματα για μεγάλο εύρος συνθηκών και παραμέτρων που του εισάγουμε. Στο σχήμα 2 φαίνονται κάποια βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται στα shortest αλλά και αναφέρονται από την κατασκευάστρια εταιρία.

|                               | <b>6S70MC-C</b>                           | <b>6G60ME-C</b>                         |
|-------------------------------|---|---|
| <b>Ονομαστική Ισχύς (KW)</b>  | 18622                                     | 12205                                   |
| <b>Ταχύτητα μηχανής (rpm)</b> | 91  | 81.9                                    |
| <b>Διάμετρος Εμβόλου (mm)</b> | 700                                       | 600                                     |
| <b>Διαδρομή εμβόλου (mm)</b>  | 2800                                      | 2790                                    |
| <b>Είδος Καυσίμου</b>         | Fuel Oil (BUNKER-A)<br>LVC= 10023 Kcal/kg | Fuel Oil (BUNKER-A)<br>LCV=9998 Kcal/kg |

Σχήμα 2 στοιχεία shortest

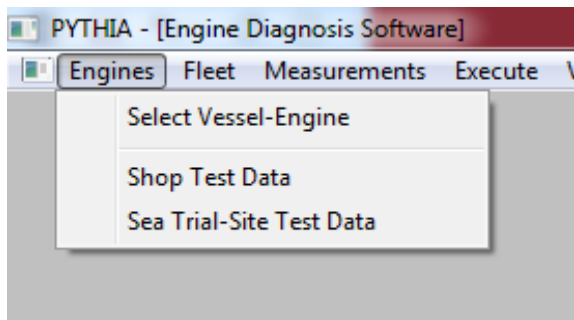
## 2.2 Περιγραφή περιβάλλοντος λογισμικού

Ανοίγοντας το αρχείο “.exe” βρισκόμαστε στο περιβάλλον του **σχήματος 2.1**.

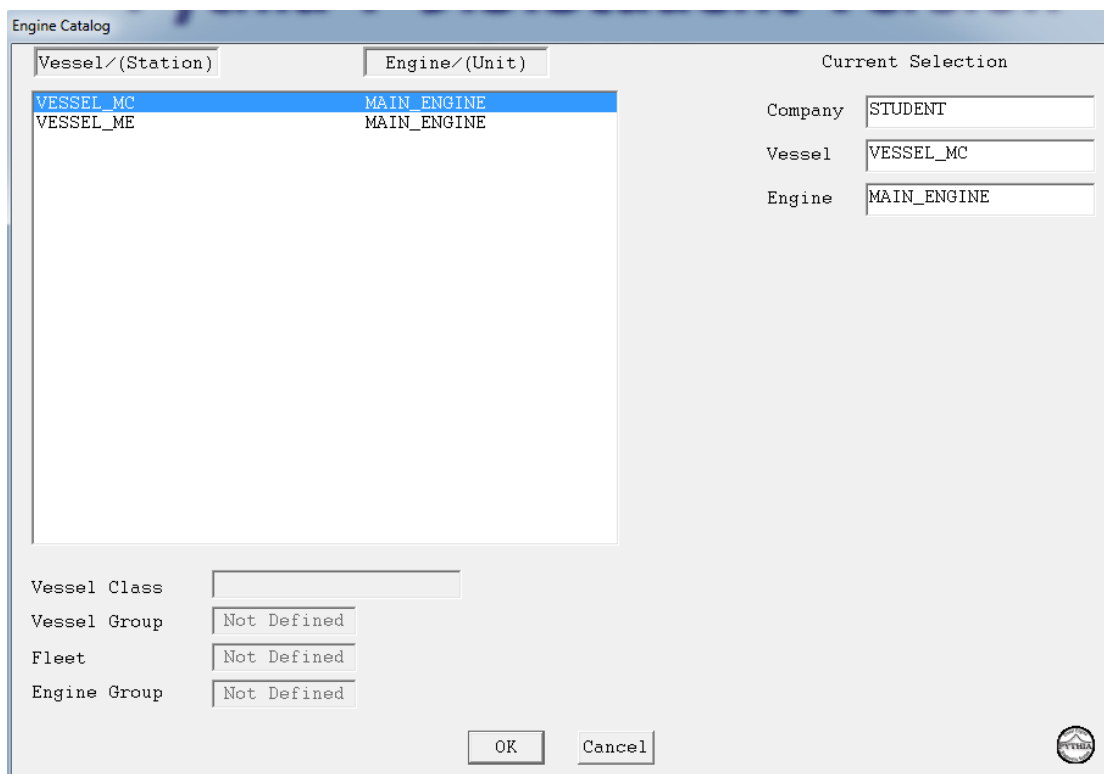


**Σχήμα 2.1** αρχικό περιβάλλον λογισμικού

Για να επιλέξω την μηχανή την λειτουργία της οποίας θα προσωμοιώσω πηγαίνω στον τομέα “Engines → Select Vessel-Engine” (**σχήμα 2.2**) και απευθείας μεταφέρομαι στο **σχήμα 2.3**.



Σχήμα 2.2 επιλογή μηχανής και shop test



Σχήμα 2.3 επιλογή μηχανής

Αφού επιλέξω την μηχανή προς προσωμοίωση έχω απευθείας πρόσβαση στα shop test της μηχανής μέσω του “Engines → Shop Test data” και μεταβαίνω στο επόμενο παράθυρο των shop tests (σχήμα 2.4)

ENGINE TEST DATA

Company: STUDENT Vessel: VESSEL\_MC Unit: MAIN\_ENGINE Engine S/N: AA2270 Engine Name: 6S70MC-C Shop Test: 1

General Operation Data

|                             |            |                  |        |                     |        |             |       |
|-----------------------------|------------|------------------|--------|---------------------|--------|-------------|-------|
| Date                        | 30/08/2006 | Speed (rpm)      | 57.3   | Load (%)            | 25.0   | Fuel (kg/h) | 838.1 |
| Ind. Power (kW)             | 5282.1     | Torquemeter      | 4653.9 | E/R Temperature (C) | 29.5   |             |       |
| Fuel Dens. 15C (kg/m3)      | 907.7      | Fuel Temp. (C)   | 37.0   | E/R Pressure (mbar) | 1005.0 |             |       |
| H. Value (kcal/kg)          | 10023.0    | Fuel Sulfur (%)  | 0.23   |                     |        |             |       |
| Cylinder Oil Cons. (lt/day) | N/A        | Oil Dens.(kg/m3) | 936.0  |                     |        |             |       |

Cylinder Data

|                       | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | Mean  |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Max. Pressure (bar)   | 75.0  | 75.0  | 74.0  | 74.0  | 75.0  | 75.0  | 74.7  |
| Compr. Pressure (bar) | 48.0  | 48.0  | 47.0  | 47.0  | 48.0  | 48.0  | 47.7  |
| Exh. Gas Temp. (C)    | 270.0 | 262.0 | 270.0 | 260.0 | 275.0 | 290.0 | 271.2 |
| Fuel Pump Index (-)   | 50.0  | 50.0  | 50.0  | 50.0  | 50.0  | 50.0  | 50.0  |
| VIT Index (-)         | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |

Turbocharger Data

|                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Blower ON                      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Turbocharger Speed (rpm)       | 4640.0                              |
| Scav. Pressure-Gauge (bar)     | 0.37                                |
| Exh. Man. Pressure-Gauge (bar) | 0.31                                |
| Exh. Back Pressure (mmW)       | 20.0                                |
| Turbine Inlet Temp. (C)        | 300.0                               |
| Turbine Outlet Temp. (C)       | 245.0                               |

Gas Exchange System

Air Cooler Data

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Air Temperature Before Cooler (C) | 48.0 |
| Scav. Air Temperature-A/C Out (C) | 31.0 |
| Water Temperature In (C)          | 23.0 |
| Water Temperature Out (C)         | 35.0 |
| Pressure Drop (mmW)               | 80.0 |
| Air Filter Pressure Drop (mmW)    | 4.0  |

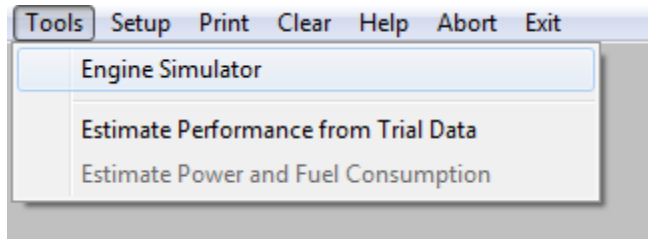
Print Close

Σχήμα 2.4 Shop Tests

Στην παραπάνω οθόνη βρίσκονται τα δεδομένα τα οποία λήφθηκαν κατά τις εργοστασιακές δοκιμές και τα οποία θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενο κεφάλαιο για τον έλεγχο της βαθμονόμησης της μηχανής.

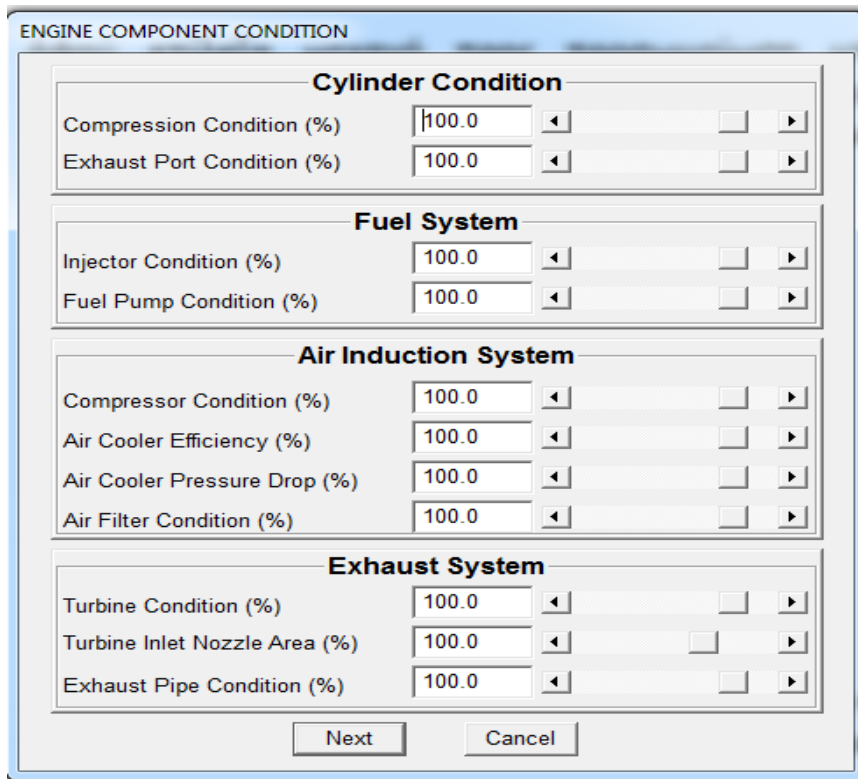
## 2.3 Προσωμοίωση λειτουργίας

Αφού επέλεξα μηχανή προς προσωμοίωση μπορώ να προχωρήσω στην προσωμοίωση επιλέγοντας στο αρχικό περιβάλλον του λογισμικού “Tools→Engine Simulator” όπως φαίνεται στο **σχήμα 2.5**.



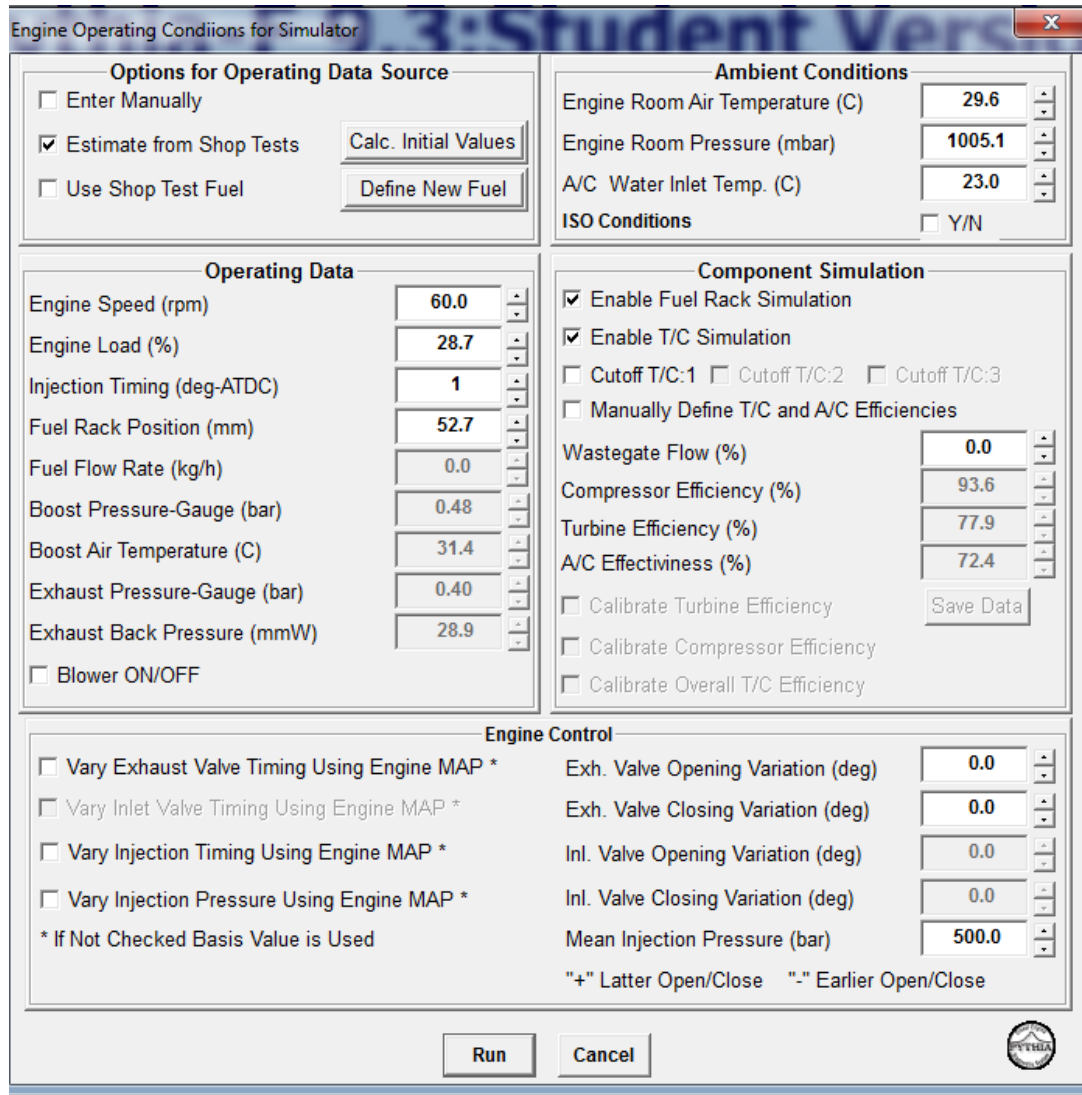
**Σχήμα 2.5** simulation

Στην συνέχεια προκύπτει η οθόνη του **σχήματος 2.6** η οποία μου δίνει την επιλογή να μεταβάλω την απόδοση ορισμένων βασικών παραμέτρων της μηχανής .



**Σχήμα 2.6** απόδοση συστημάτων μηχανής

Στην συνέχεια , προχωράμε πατώντας “next” στο κυρίως παράθυρο προσωμοίωσης (σχήμα 2.7) .



Σχήμα 2.7 παράμετροι προσωμοίωσης

Σε αυτό το σημείο μπορούμε να επιλέξουμε στον τομέα:

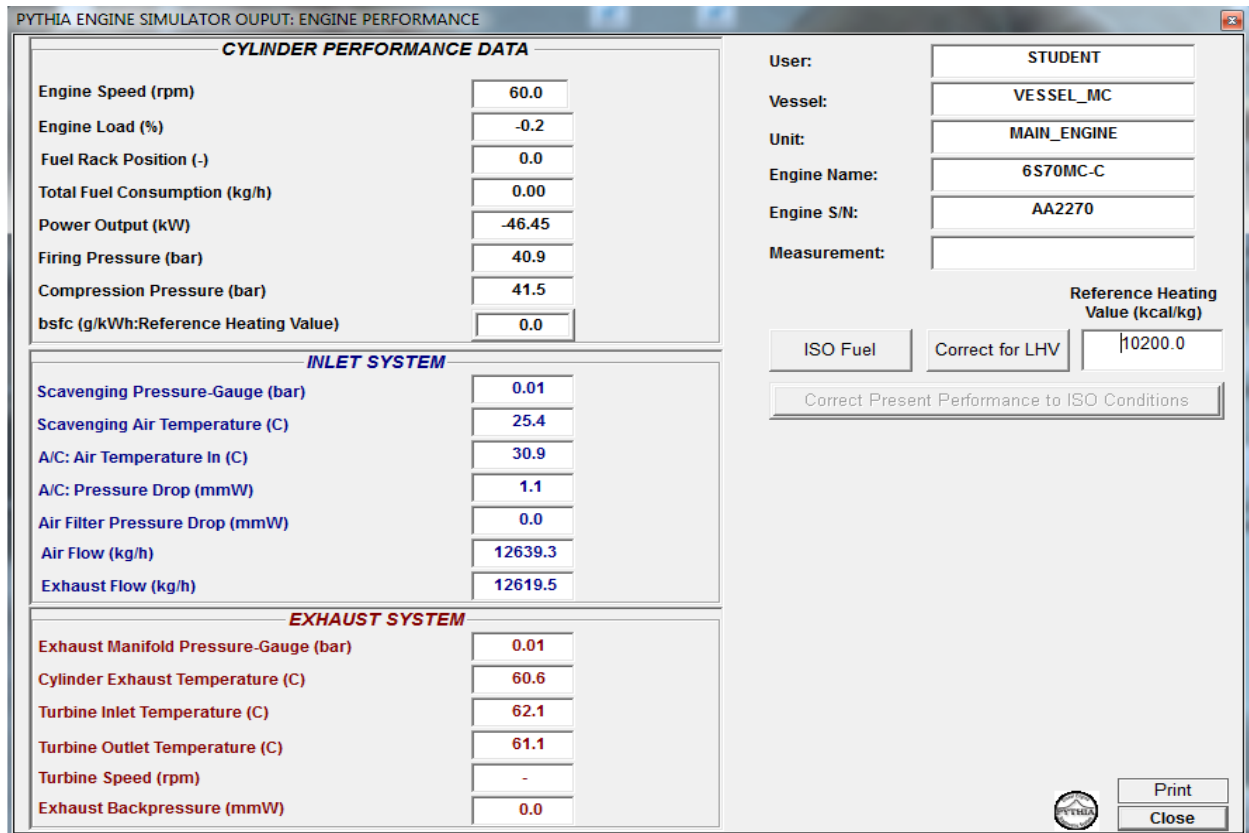
- “options for operating data source” το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί το οποία θα είναι είτε ίδιο με τα shop test επιλέγοντας “use shop test fuel”

είτε θα το καθορίσουμε εξαρχής με την επιλογή “define new fuel”. Έπειτα με την επιλογή “estimate from shop tests” δίνουμε την εντολή στο λογισμικό να κάνει την προσωμοίωση με βάση τα shop test .

- **“Operating Data”** μπορώ να ορίσω την ταχύτητα(engine speed) και το φορτίο(load) στο οποία θα γίνει η προσωμοίωση καθώς επίσης και να μεταβάλλω την προπορεία της έγχυσης (injection timing). Δίνεται επίσης η δυνατότητα λειτουργίας “blower on” η οποία χρησιμέυει κυρίως σε χαμηλά φορτία.
- **“Ambient conditions”** τις συνθήκες περιβάλλοντος όπως θερμοκρασία και πίεση δωματίου μηχανής και την θερμοκρασία εισόδου του νερού ψύξης .
- **“Component Simulation”** την λειτουργία της προσωμοίωσης του κανόνα καυσίμου και του υπερπληρωτή
- **“Engine Control”** μπορώ να επιλέξω την χρήση του χαρτη της μηχανής κατά την διάρκεια της προσωμοίωσης όσον αφορά στον χρονισμό των βαλβίδων εξαγωγής, την προπορεία έγχυσης καυσίμου και την πίεση έγχυσης καυσίμου.

Αφού ορίσω όλες τις παραπάνω παραμέτρους τότε πατώντας “run” λαμβάνει μέρος η προσωμοίωση και γίνεται η εξαγωγή αποτελεσμάτων όπως φαίνεται στον **πίνακα 2.8.**





Πίνακας 2.8 αποτελέσματα προσωμοίωσης

Τα αποτελέσματα χωρίζονται σε τρία μέρη τα οποία αφορούν τα δεδομένα απόδοσης του κυλίνδρου καθώς και τα συστήματα εισαγωγής και εξαγωγής.

### 3. Έλεγχος βαθμονόμησης

#### 3.1 Εισαγωγή

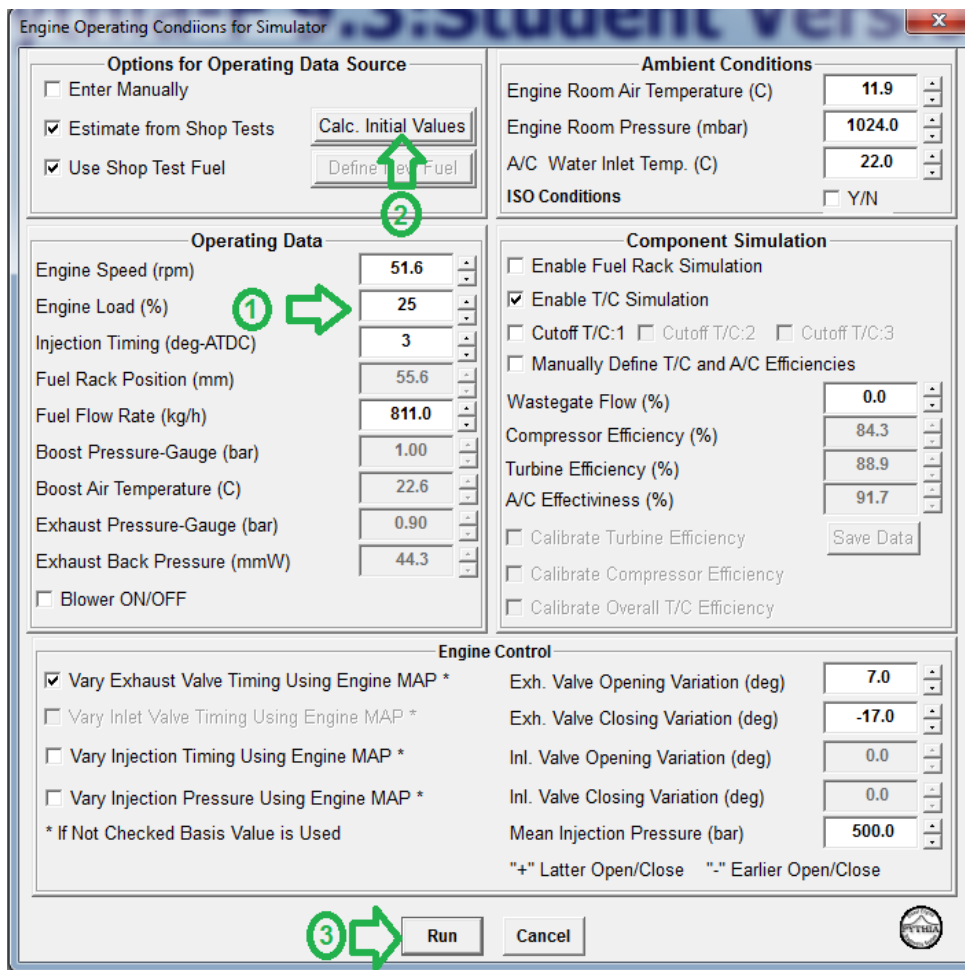
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των πραγματικών μετρήσεων με τις μετρήσεις που προέκυψαν από την προσωμοίωση. Το καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε κατά την προσωμοίωση είναι το ίδιο με τα shop tests αλλιώς δεν θα είχε νόημα η σύγκριση τους. Για να είναι αξιόπιστος ο έλεγχος βαθμονόμησης, η σύγκριση θα γίνει για όλα τα αποτελέσματα που εξάγει το λογισμικό.

### 3.2 Έλεγχος βαθμονόμησης 6S70MC\_C

Οι μετρήσεις έγιναν σε όλα τα φορτία που περιλαμβάνονται στις εργοστασιακές δοκιμές, δηλαδή για φορτίο 25%, 50%, 75%, 100% και 110%.

Η χρήση του λογισμικού σε αυτό το κεφάλαιο περιορίζεται στην μεταβολή του φορτίου για εύρος από 25% έως και 110%.

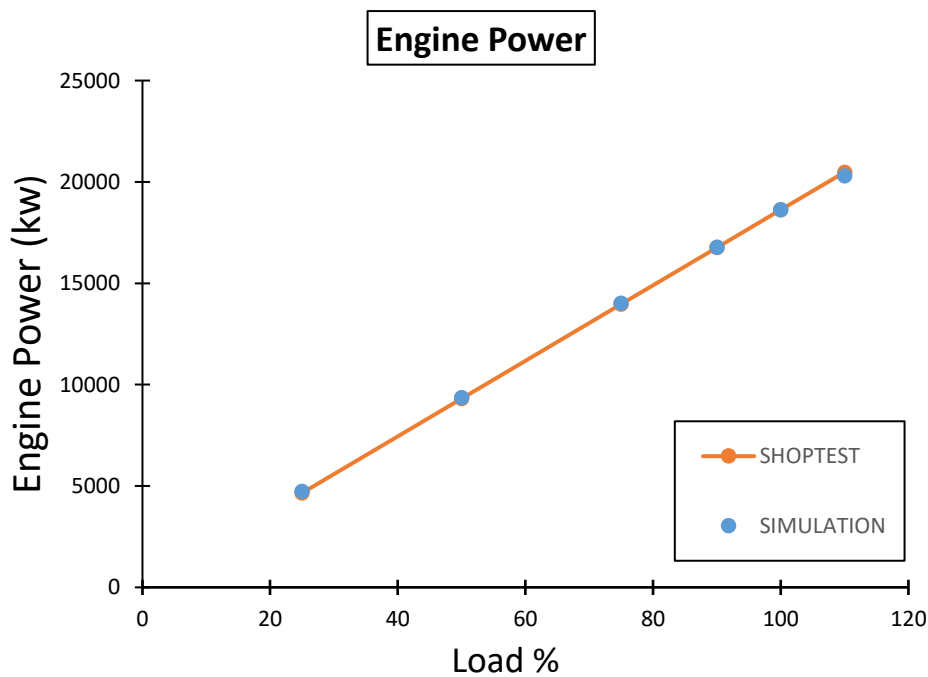
Στο **σχήμα 3.2** φαίνεται ακριβώς η διαδικασία που ακολουθείται στο λογισμικό προσωμοίωσης: 1) καθορισμός σημείου λειτουργίας 2) υπολογισμός αρχικών συνθηκών και 3) έναρξη προσωμοίωσης.



Σχήμα 3.2 διαδικασία λογισμικού στο παρόν κεφάλαιο

### 3.2.1 Αποδιδόμενη Ισχύς

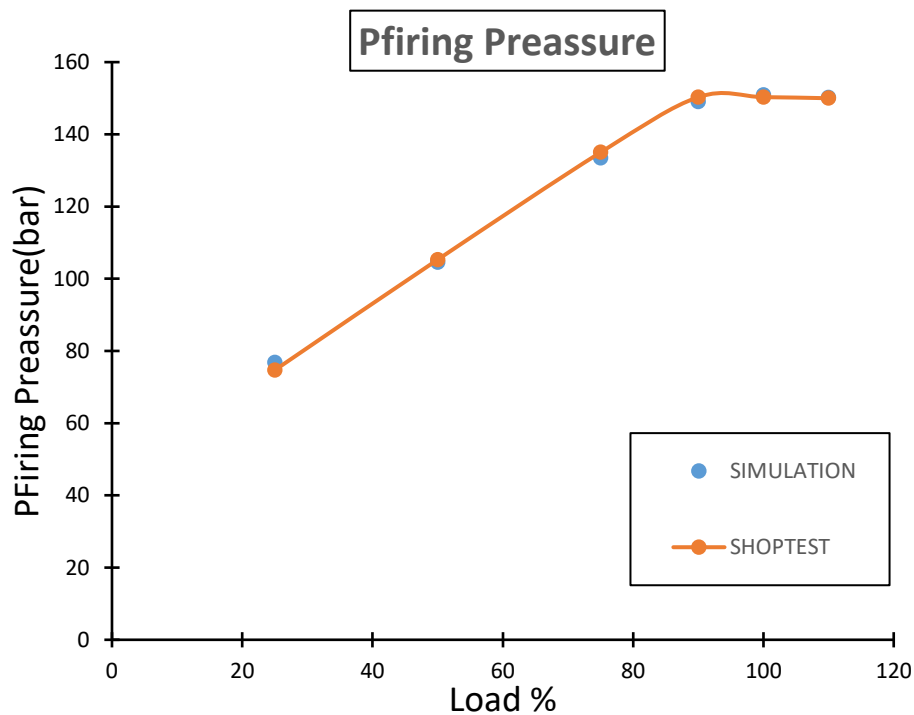
Στο **σχήμα 3.2.1** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσομοίωση όσον αφορά στην αποδιδόμενη ισχύ. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή. Η συνεχόμενη αύξηση της ισχύος είναι λογική εφόσον υπάρχει συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση φορτίου.



Σχήμα 3.2.1 αποδιδόμενη ισχύη συναρτήσεϊ του φορτίου

### 3.2.2 Μέγιστη πίεση καύσης

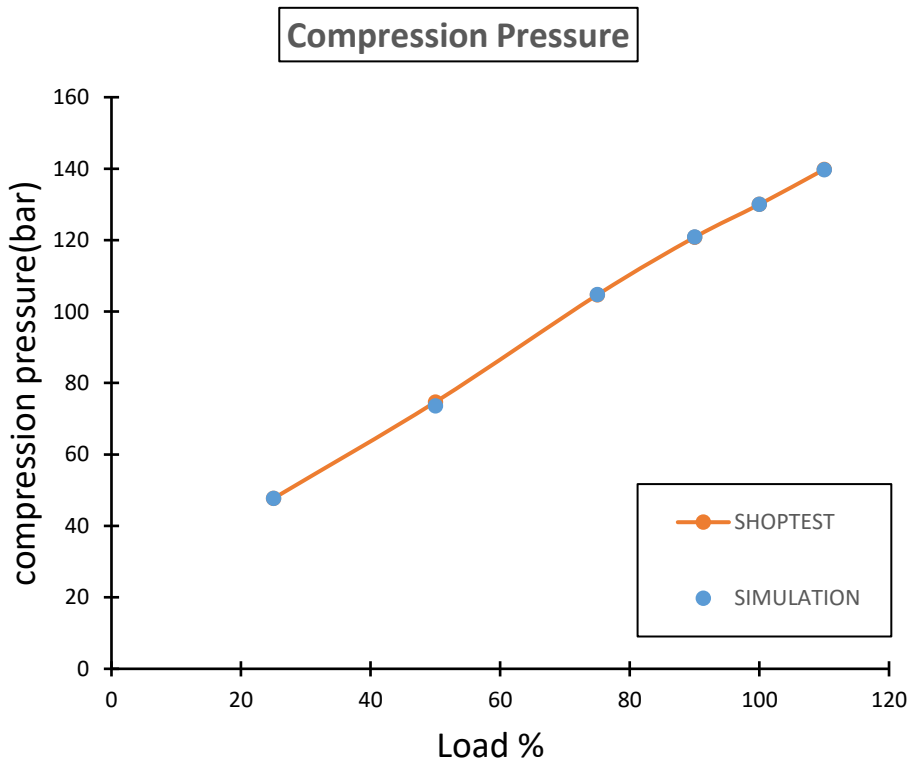
Στο **σχήμα 3.2.2** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην μέγιστη πίεση καύσης. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή. Παρατηρώ ότι η μέγιστη πίεση καύσης αυξάνει γραμμικά μέχρι τα 150 bar και ύστερα παραμένει σταθερή όσο και αν αυξάνεται το φορτίο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μεταβολής του χρονισμού έγχυσης έτσι ώστε να τηρούνται τα κατασκευαστικά όρια της μηχανής.



Σχήμα 3.2.2 μέγιστη πίεση καύσης συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.3 Πίεση συμπίεσης

Στο **σχήμα 3.2.3** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην πίεση συμπίεσης. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή. Παρατηρώ ότι η πίεση συμπίεσης αυξάνεται σχεδόν γραμμικά συναρτήσει του φορτίου λειτουργίας.

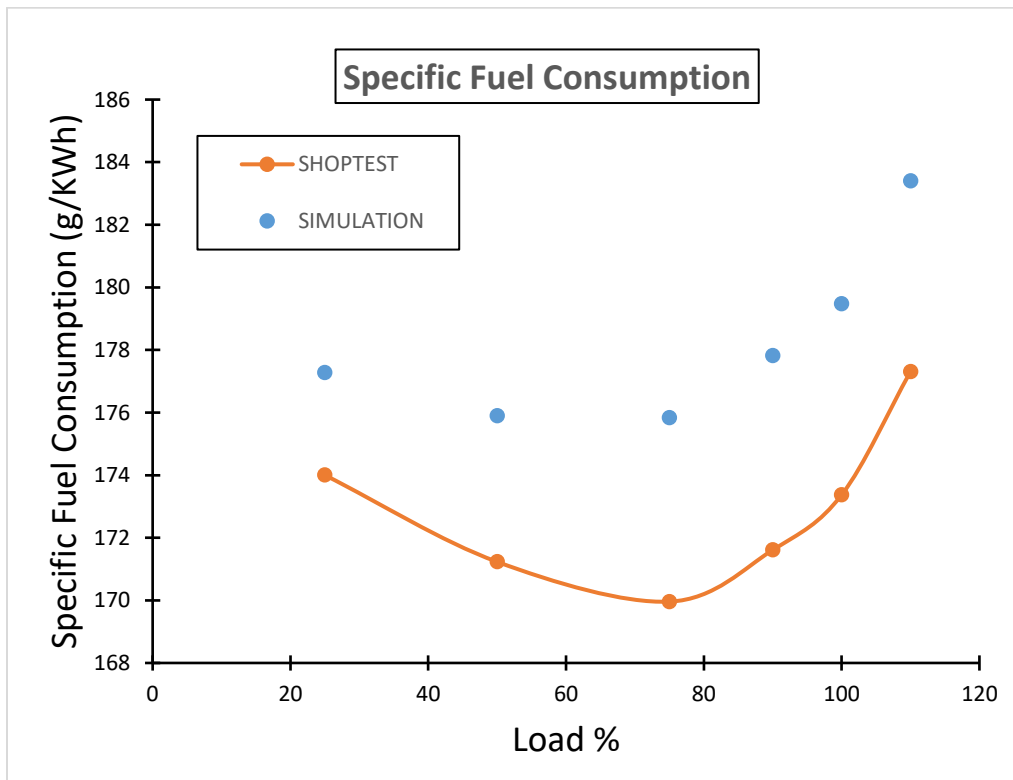


Σχήμα 3.2.3 πίεση συμπίεσης συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.4 Ειδική κατανάλωση καυσίμου

Στο **σχήμα 3.2.4** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην ειδική κατανάλωση καυσίμου. Αν και η διαφορά στο διάγραμμα φαίνονται μεγάλες, στην πραγματικότητα δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα στην προσωμοίωση γιατί τα ποσά είναι αρκετά μικρά.

Παρατηρώ αρχικά αυξημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου, κάτι το οποίο είναι λογικό όταν η μηχανή δουλεύει σε μικρά φορτία. Στην συνέχεια μειώνεται έως το φορτίο 77% και έπειτα αυξάνεται συνεχώς.

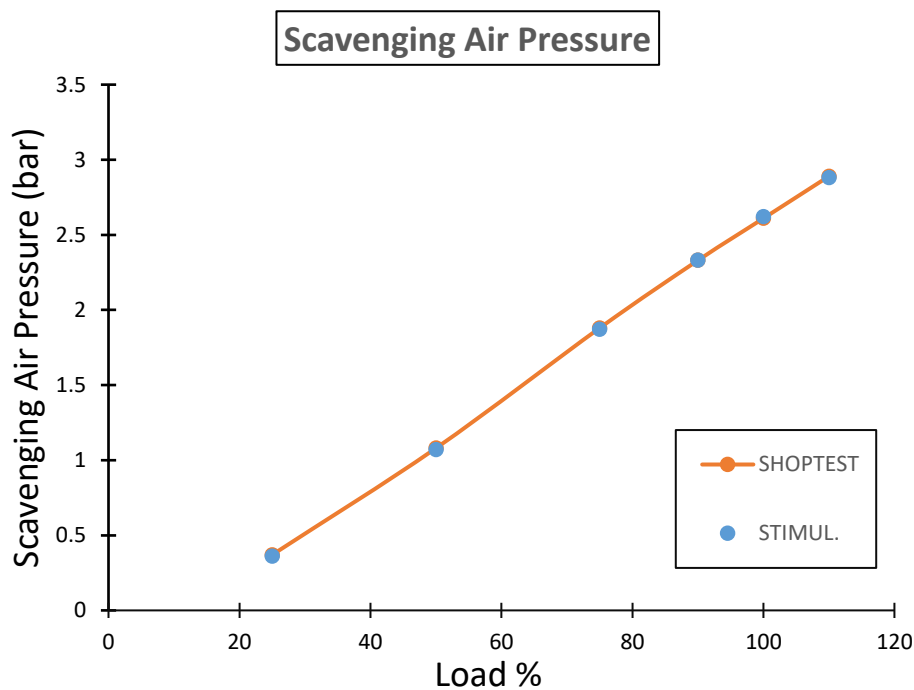


Σχήμα 3.2.4 ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.5 Πίεση σάρωσης

Στο **σχήμα 3.2.5** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην πίεση σάρωσης. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Οι χαμηλές τιμές της πίεσης σάρωσης στα χαμηλά φορτία και η αύξηση της παράλληλα με την αύξηση φορτίου είναι λογική εφόσον σε χαμηλές στροφές της μηχανής ο υπερπληρωτής έχει αδυναμία και σαν αποτέλεσμα η πίεση σάρωσης είναι μικρή.

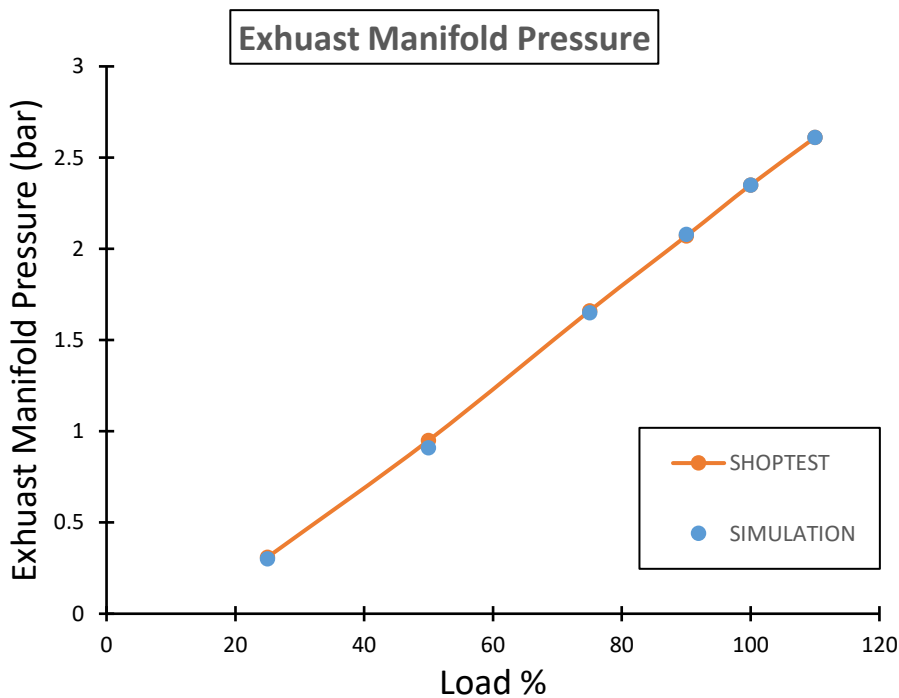


Σχήμα 3.2.5 πίεση σάρωσης συναρτήσεϊ του φορτίου

### 3.2.6 Πίεση οχετού εξαγωγής

Στο **σχήμα 3.2.6** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην πίεση οχετού εξαγωγής. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Η πίεση οχετού εξαγωγής αυξάνεται όσο αυξάνεται και το φορτίο λειτουργίας της μηχανής. Το αποτέλεσμα αυτό είναι απόλυτα λογικό αφού όσο αυξάνεται το φορτίο αυξάνεται η πίεση συμπίεσης, η πίεση καύσης και η πίεση σάρωσης.



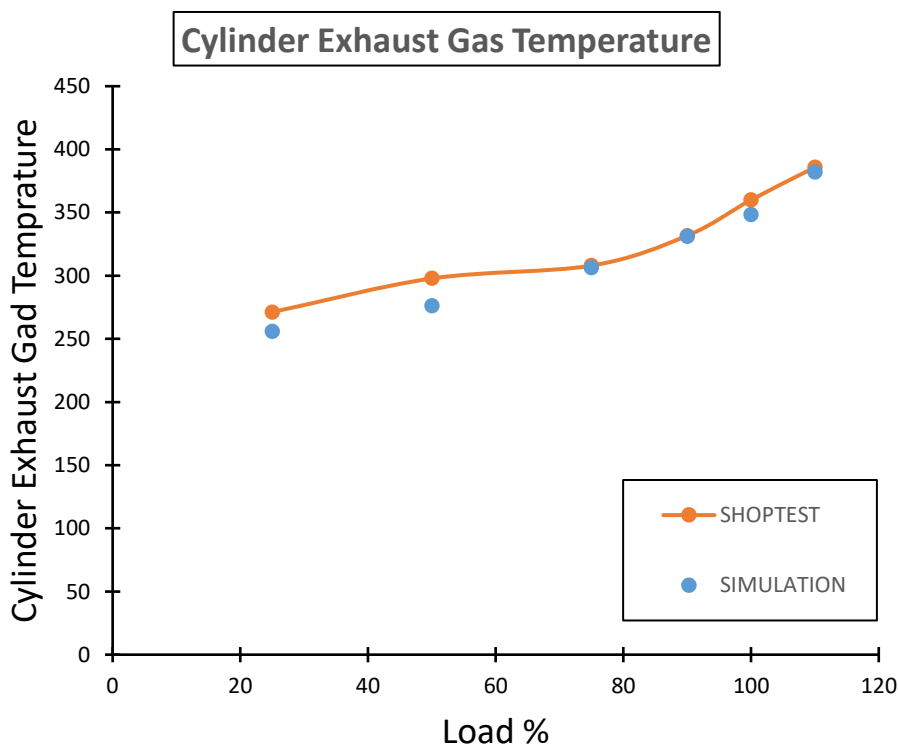
Σχήμα 3.2.6 πίεση οχετού εξαγωγής συναρτήσει του φορτίου



### 3.2.7 Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τον κύλινδρο

Στο **σχήμα 3.2.7** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον κύλινδρο. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Η συνεχής και με μικρό ρυθμό αύξηση της θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον κύλινδρο οφείλεται στην συνεχή αύξηση της πίεσης καύσεως όσο αυξάνει το φορτίο λειτουργίας.

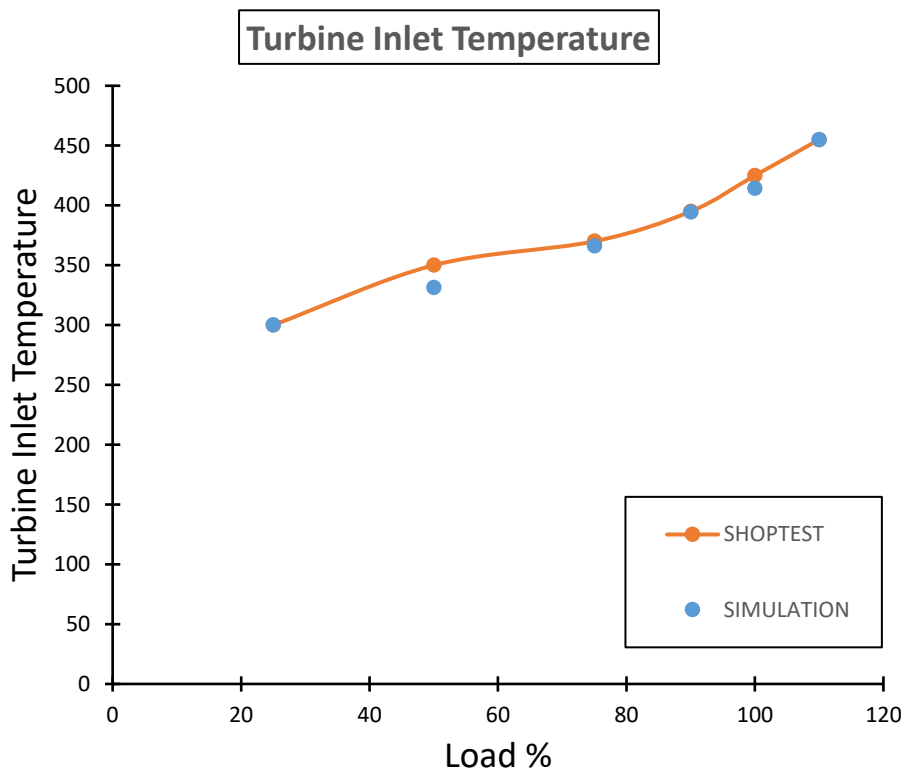


Σχήμα 3.2.7 θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τον κύλινδρο συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.8 Θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο

Στο **σχήμα 3.2.8** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Υπάρχουν μικρές αποκλίσεις της τάξεως των 15°C οι οποίες όμως δεν μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

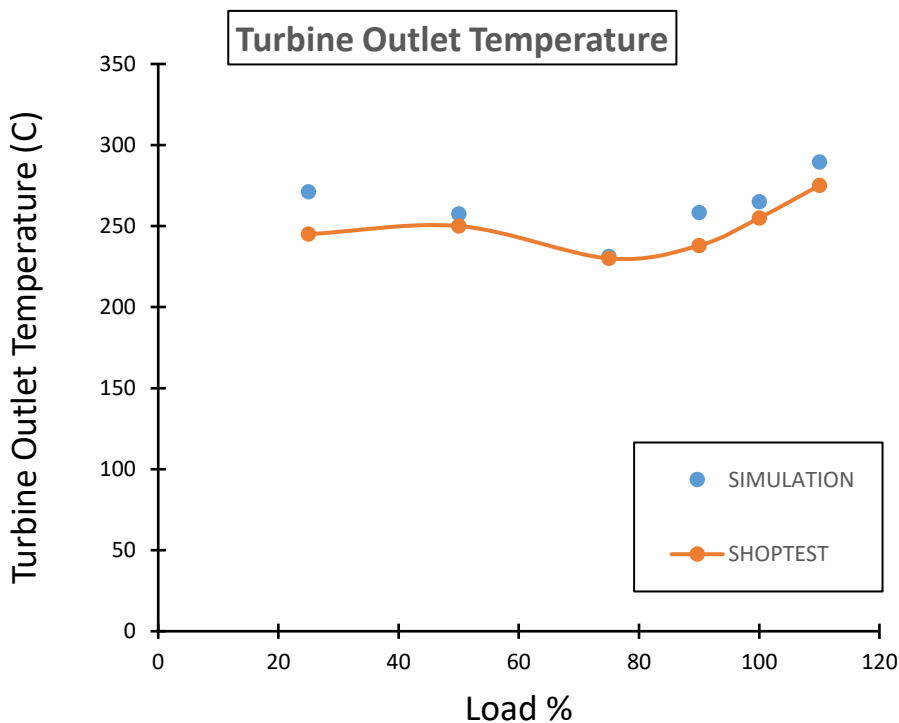


Σχήμα 3.2.8 θερμοκρασία καυσαερίων στην είσοδο του στρόβιλου συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.9 Θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο

Στο **σχήμα 3.2.9** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Οι αποκλίσεις είναι της τάξης των 20 °C πράγμα το οποίο δεν επηρεάζει την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

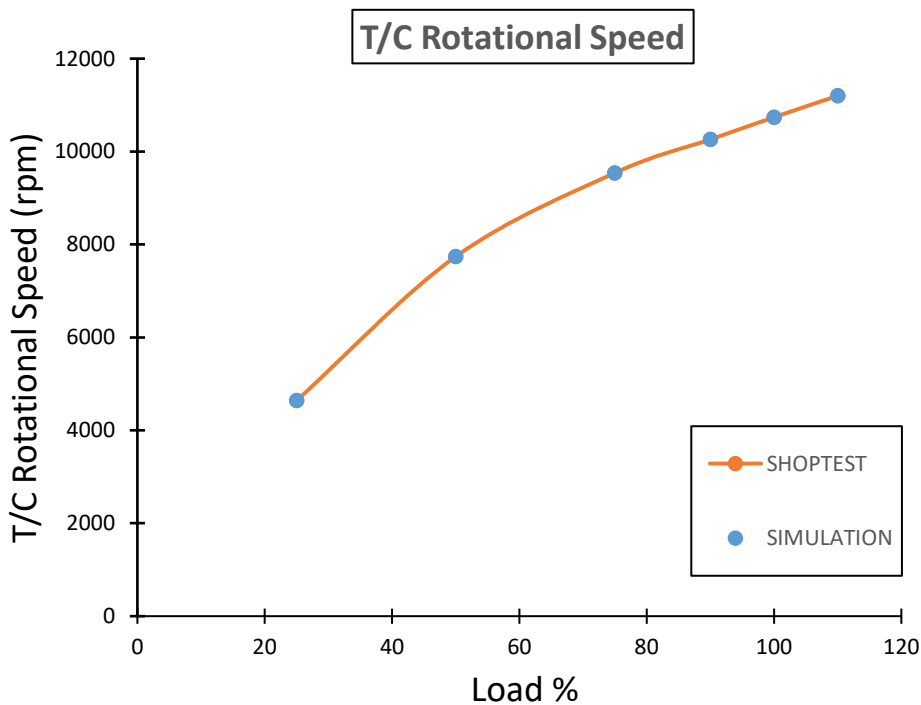


Σχήμα 3.2.9 θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο συναρτήσεως του φορτίου

### 3.2.10 Ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή

Στο **σχήμα 3.2.10** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην ταχύτητα περιστροφής του στροβιλο-υπερπληρωτή . Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Όσο αυξάνεται το φορτίο αυξάνεται και η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή αφού υπάρχει μεγαλύτερη παροχή καυσαερίων .

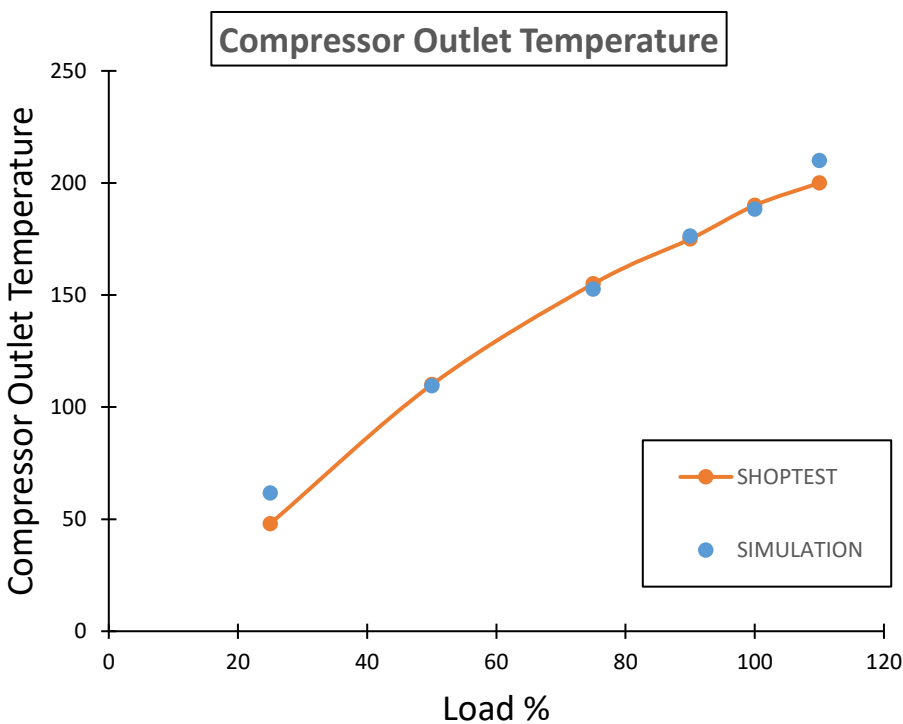


Σχήμα 3.2.10 ταχύτητα περιστροφής του στροβιλο-υπερπληρωτή συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.11 Θερμοκρασία αέρα στην έξοδο του συμπιεστή

Στο **σχήμα 3.2.11** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπιεστή . Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Όσο αυξάνεται το φορτίο ο συμπιεστής καλείται να επιτύχει υψηλότερους λόγους πίεσης . Με τον τρόπο αυτό η θερμοκρασία αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας.



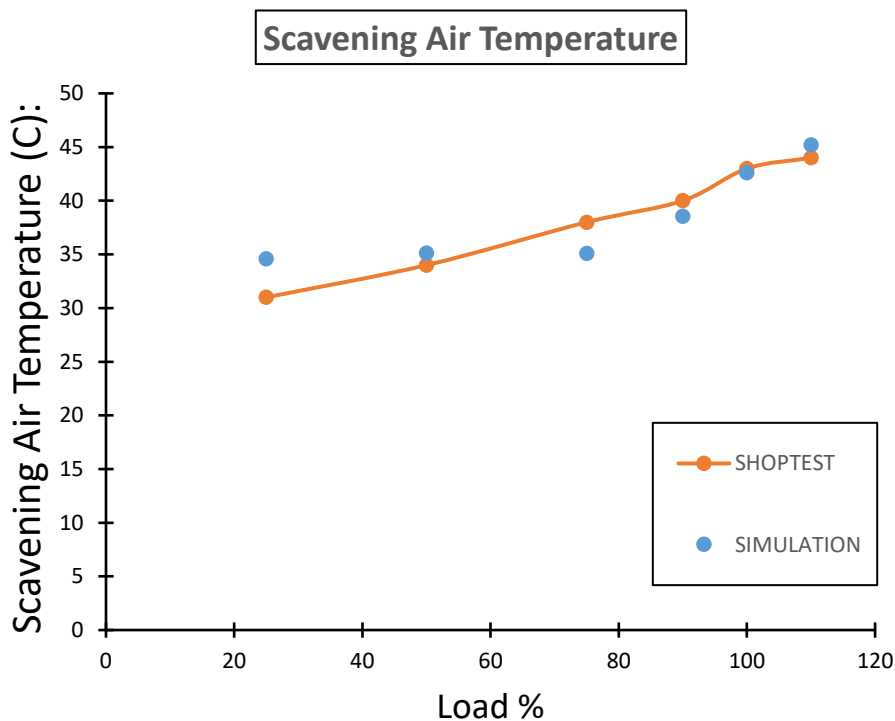
Σχήμα 3.2.11 Θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπιεστή συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.12 Θερμοκρασία αέρα σάρωσης

Στο **σχήμα 3.2.12** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία αέρα σάρωσης. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Οι αποκλίσεις είναι της τάξεως των 1 έως 5 °C και δεν επηρεάζει την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

Η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο εφόσον ανεβαίνει και η πίεση σάρωσης.



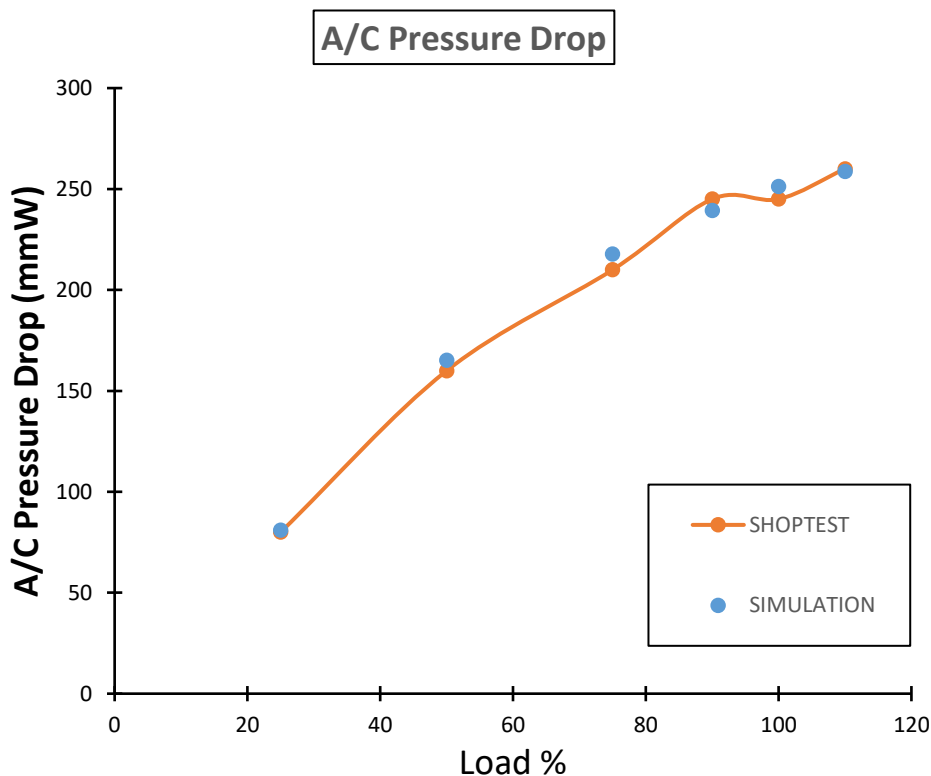
Σχήμα 3.2.12 Θερμοκρασία αέρα σάρωσης συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.13 Πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα

Στο **σχήμα 3.2.13** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά την πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Οι τυχόν αποκλίσεις είναι της τάξης των 5°C και δεν επηρεάζει την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

Η πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα οφείλεται στις απώλειες οι οποίες αυξάνονται όσο αυξάνεται και η παροχή αέρα και κατά συνέπεια όσο αυξάνεται το φορτίο.



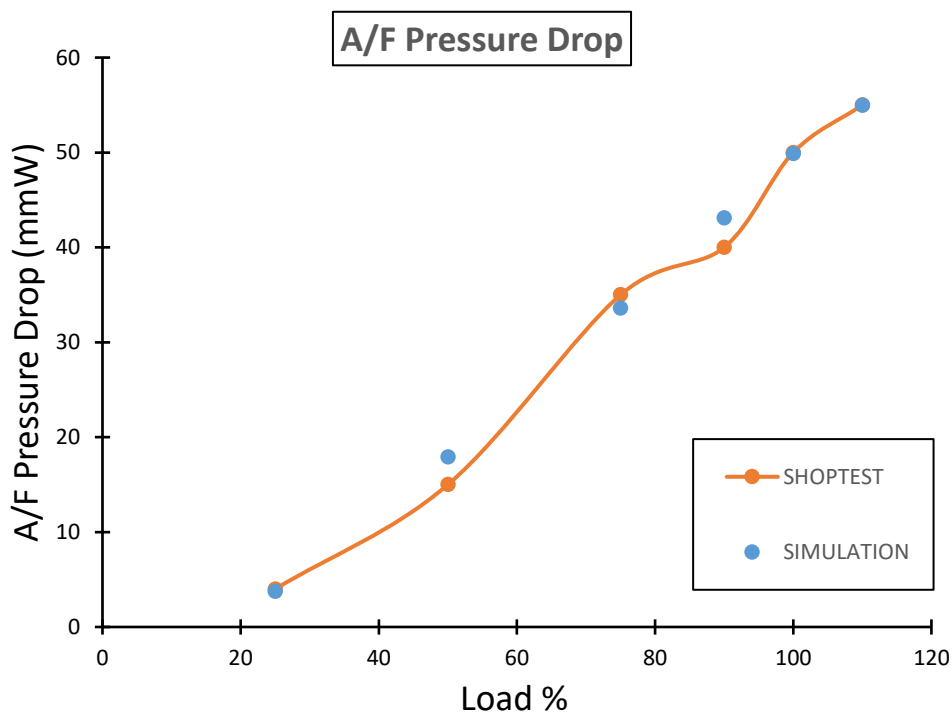
Σχήμα 3.2.13 πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.14 Πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα

Στο **σχήμα 3.2.14** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά την πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Οι τυχόν αποκλίσεις είναι της τάξης των 3°C και δεν επηρεάζει την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

Η πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα οφείλεται στις απώλειες οι οποίες αυξάνονται όσο αυξάνεται και η παροχή αέρα και κατά συνέπεια όσο αυξάνεται το φορτίο.



Σχήμα 3.2.14 πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα συναρτήσει του φορτίου

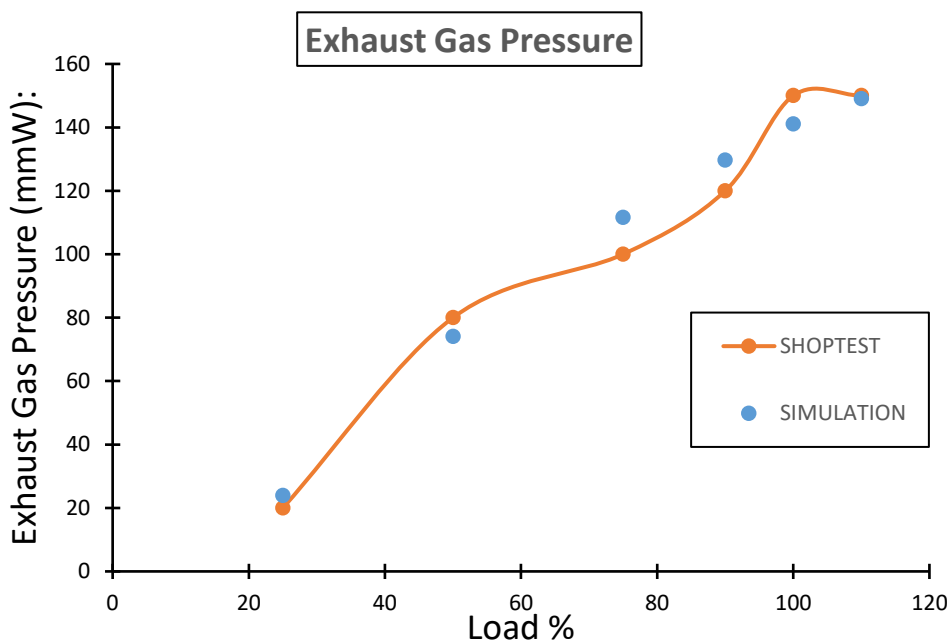


### 3.2.15 Πίεση των καυσαερίων

Στο **σχήμα 3.2.14** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά την πίεση των καυσαερίων.

Η πίεση καυσαερίων αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο εφόσον όσο μεγαλύτερο το φορτίο τόσο μεγαλύτερη μάζα καυσαερίων διακινείται.

Οι αποκλίσεις εδώ είναι της τάξης 5 εως 15°C.



Σχήμα 3.2.15 πίεση καυσαερίων συναρτήσει του φορτίου

### 3.2.16 Συμπεράσματα

Το λογισμικό προσωμοιώνει αρκετά ικανοποιητικά όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα και τυχόν αποκλίσεις είναι μικρής τάξης με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται η γενική εικόνα.

Ειδικότερα στα μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενο κεφάλαιο και τα οποία είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου , η μέγιστη πίεση καύσης , η θερμοκρασία εισόδου και εξόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο , η θερμοκρασία καυσαερίων στον κύλινδρο και η πίεση και θερμοκρασία αέρα σάρωσης , η βαθμονόμηση είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική.

### 3.3 Έλεγχος βαθμονόμησης 6G60ME-C

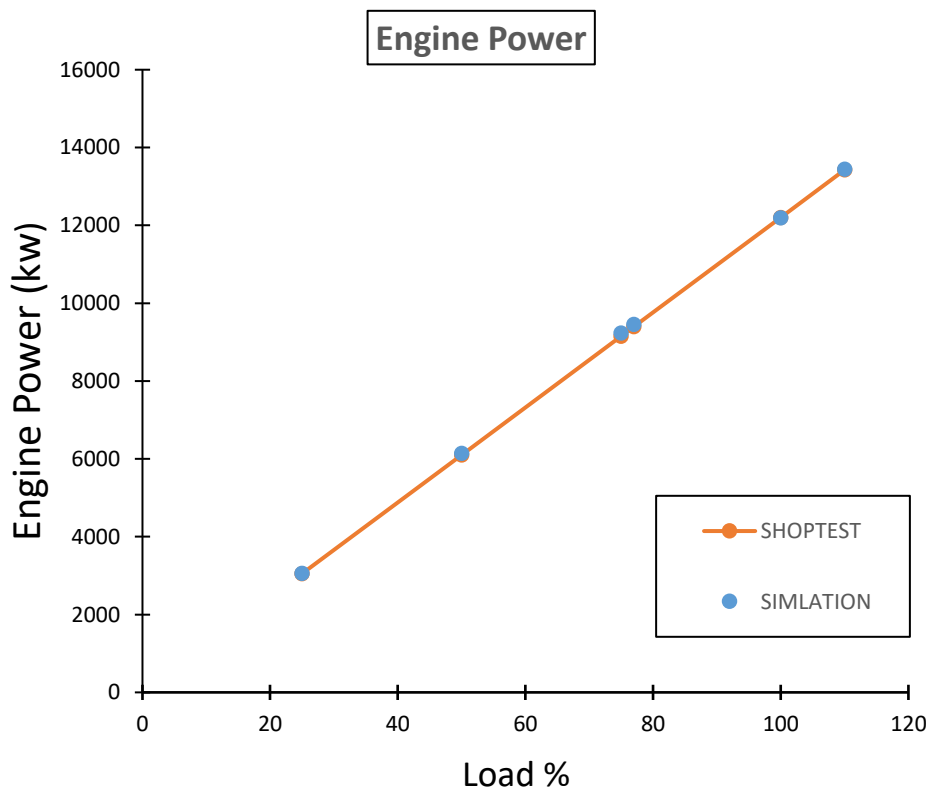
Οι μετρήσεις έγιναν σε όλα τα φορτία που περιλαμβάνονται στις εργοστασιακές δοκιμές ,δηλαδή για φορτίο 25% , 50% , 75% , 77% και 100% και 110%.

Η χρήση του λογισμικού σε αυτό το κεφάλαιο περιορίζεται στην μεταβολή του φορτίου για εύρος από 25% εως και 110% .

Η διαδικασία που ακολουθείται από το λογισμικό προσωμοίωσης είναι ακριβώς ίδια με το κεφάλαιο 3.2 και έχει ήδη περιγραφεί στο **σχήμα 3.2**.

### 3.3.1 Αποδιδόμενη Ισχύς

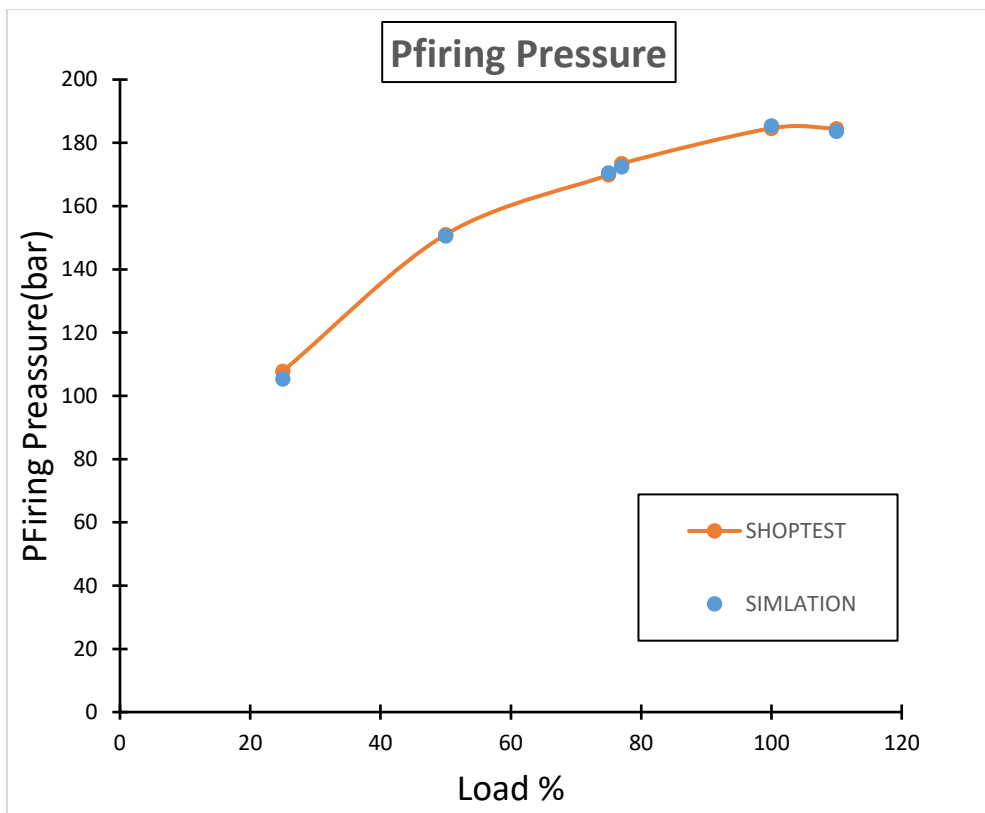
Στο **σχήμα 3.3.1** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην αποδιδόμενη ισχύ. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή. Η συνεχόμενη αύξηση της ισχύος είναι λογική εφόσον υπάρχει συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση φορτίου.



Σχήμα 3.3.1 αποδιδόμενη ισχύη συναρτήσεως του φορτίου

### 3.3.2 Μέγιστη πίεση καύσης

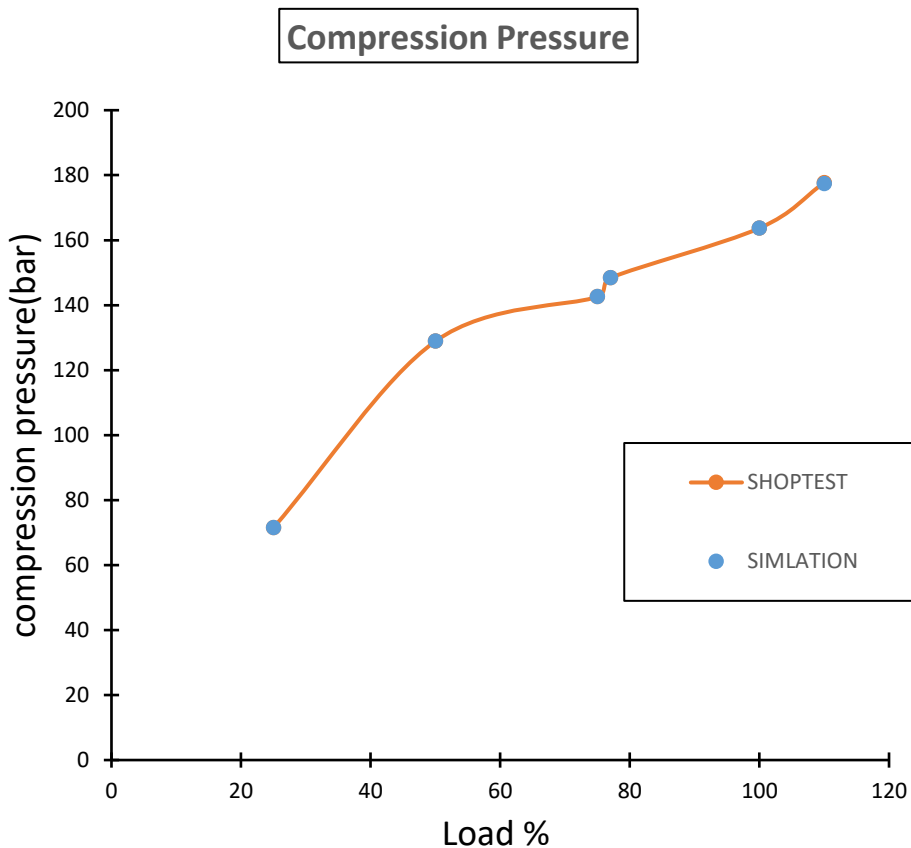
Στο **σχήμα 3.3.2** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην μέγιστη πίεση καύσης. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή. Παρατηρώ ότι η μέγιστη πίεση καύσης αυξάνει γραμμικά μέχρι τα 150 bar και ύστερα παραμένει σταθερή όσο και αν αυξάνεται το φορτίο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μεταβολής του χρονισμού έγχυσης έτσι ώστε να τηρούνται τα κατασκευαστικά όρια της μηχανής.



Σχήμα 3.3.2 μέγιστη πίεση καύσης συναρτήσεϊ του φορτίου

### 3.3.3 Πίεση συμπίεσης

Στο **σχήμα 3.3.3** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην πίεση συμπίεσης. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή. Παρατηρώ ότι η πίεση συμπίεσης αυξάνεται σχεδόν γραμμικά συναρτήσει του φορτίου λειτουργίας.

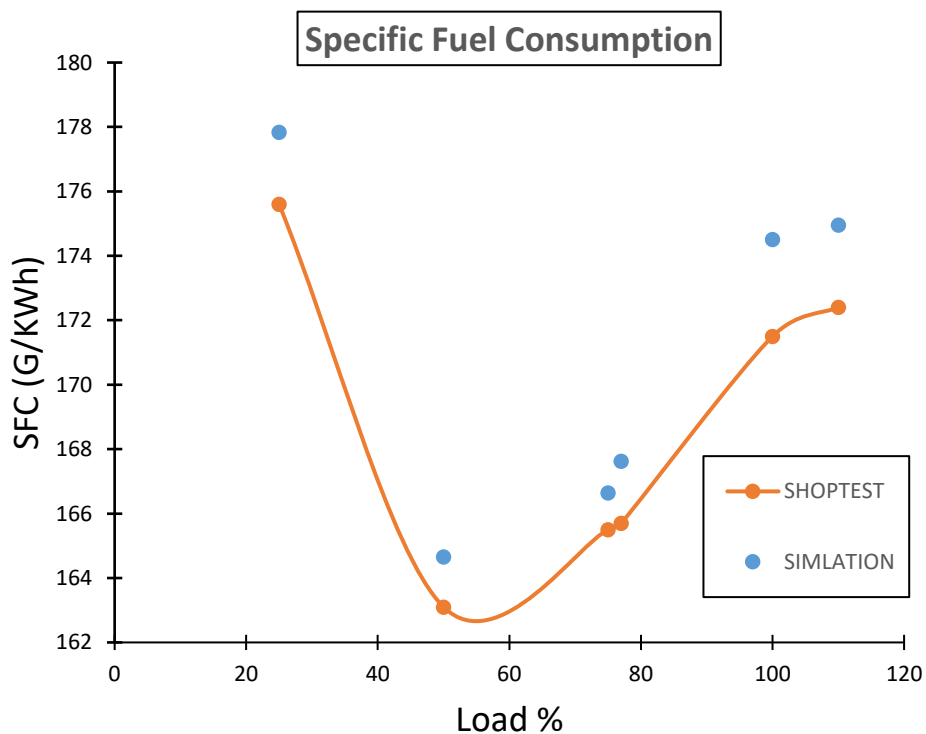


Σχήμα 3.3.3 πίεση συμπίεσης συναρτήσει του φορτίου

### 3.3.4 Ειδική κατανάλωση καυσίμου

Στο **σχήμα 3.3.4** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην ειδική κατανάλωση καυσίμου. Αν και η διαφορά στο διάγραμμα φαίνονται μεγάλες, στην πραγματικότητα δεν δημιουργεί κάποιο πρόβλημα στην προσωμοίωση γιατί τα ποσά είναι αρκετά μικρά.

Παρατηρώ αρχικά αυξημένη ειδική κατανάλωση καυσίμου, κάτι το οποίο είναι λογικό όταν η μηχανή δουλεύει σε μικρά φορτία. Στην συνέχεια μειώνεται έως το φορτίο 77% και έπειτα αυξάνεται συνεχώς.

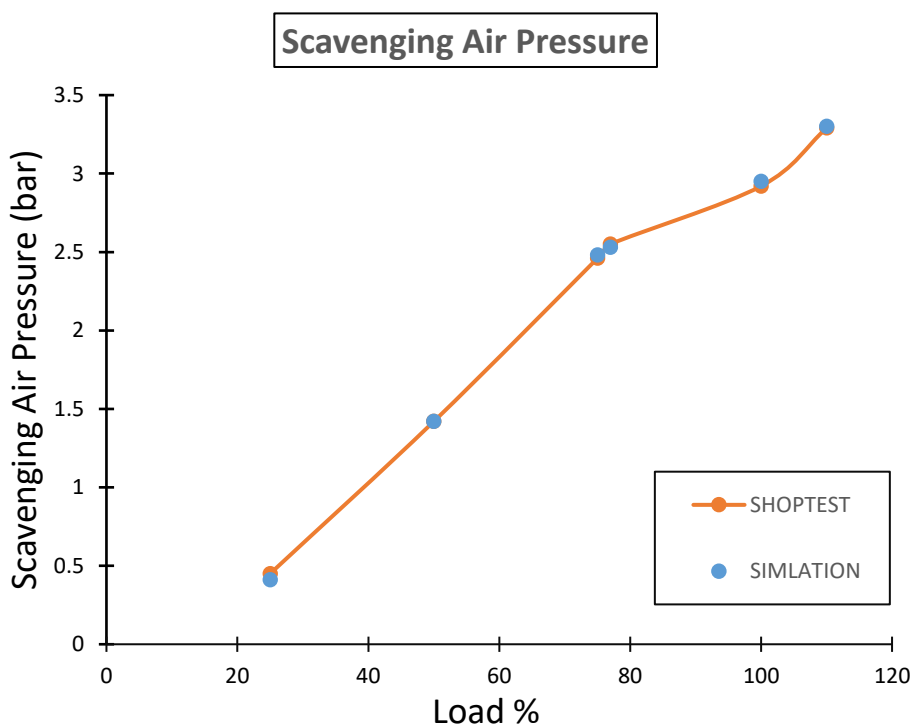


Σχήμα 3.3.4 ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσεϊ του φορτίου

### 3.3.5 Πίεση σάρωσης

Στο **σχήμα 3.3.5** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην πίεση σάρωσης. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Οι χαμηλές τιμές της πίεσης σάρωσης στα χαμηλά φορτία και η αύξηση της παράλληλα με την αύξηση φορτίου είναι λογική εφόσον σε χαμηλές στροφές της μηχανής ο υπερπληρωτής έχει αδυναμία και σαν αποτέλεσμα η πίεση σάρωσης είναι μικρή.

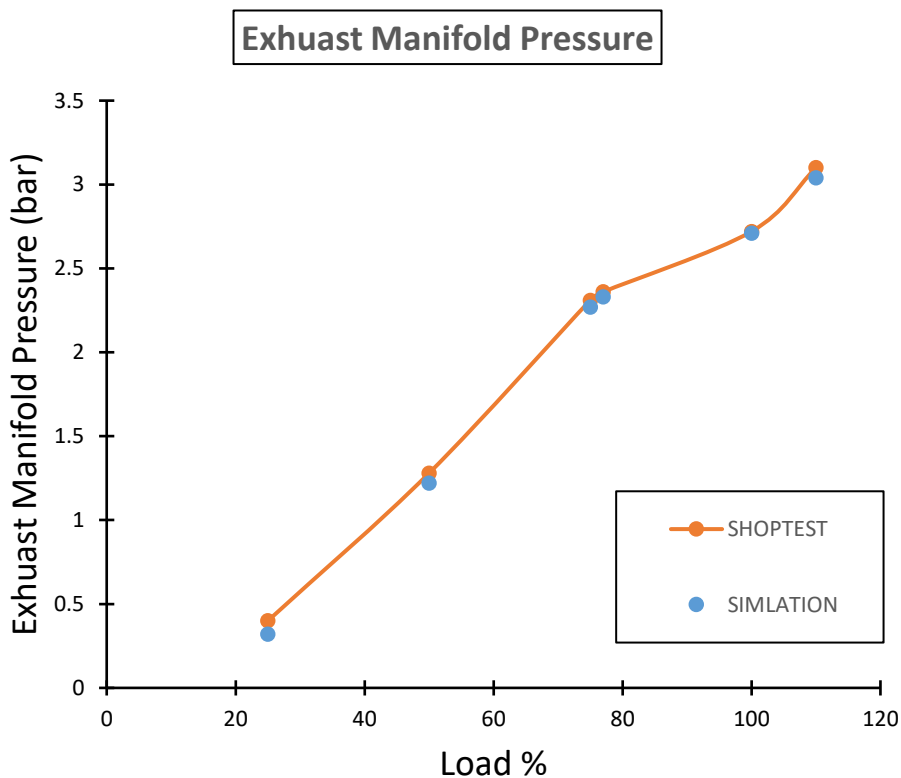


Σχήμα 3.3.5 πίεση σάρωσης συναρτήσεϊ του φορτίου

### 3.3.6 Πίεση οχετού εξαγωγής

Στο **σχήμα 3.3.6** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην πίεση οχετού εξαγωγής. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Η πίεση οχετού εξαγωγής αυξάνεται όσο αυξάνεται και το φορτίο λειτουργίας της μηχανής . Το αποτέλεσμα αυτό είναι απόλυτα λογικό αφού όσο αυξάνεται το φορτίο αυξάνεται η πίεση συμπίεσης , η πίεση καύσης και η πίεση σάρωσης.



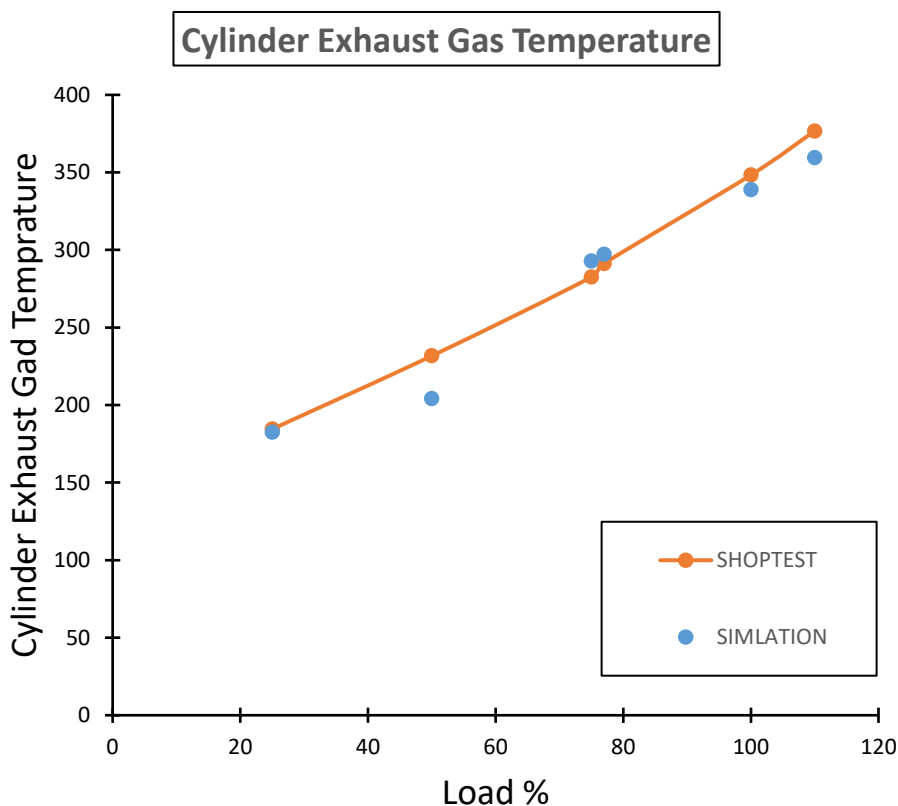
Σχήμα 3.3.6 πίεση οχετού εξαγωγής συναρτήσει του φορτίου



### 3.3.7 Θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τον κύλινδρο

Στο **σχήμα 3.3.7** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον κύλινδρο. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Η συνεχής και με μικρό ρυθμό αύξηση της θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον κύλινδρο οφείλεται στην συνεχή αύξηση της πίεσης καύσεως όσο αυξάνει το φορτίο λειτουργίας.

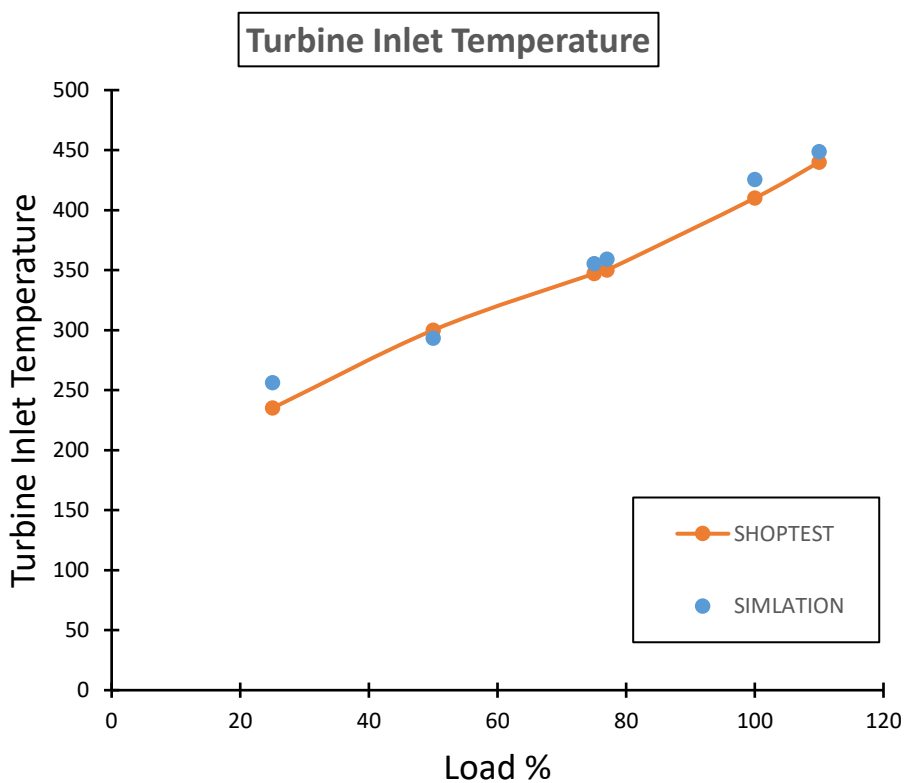


Σχήμα 3.3.7 θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων από τον κύλινδρο συναρτήσει του φορτίου

### 3.3.8 Θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο

Στο **σχήμα 3.3.8** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Υπάρχουν μικρές αποκλίσεις της τάξεως των 15°C οι οποίες όμως δεν μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

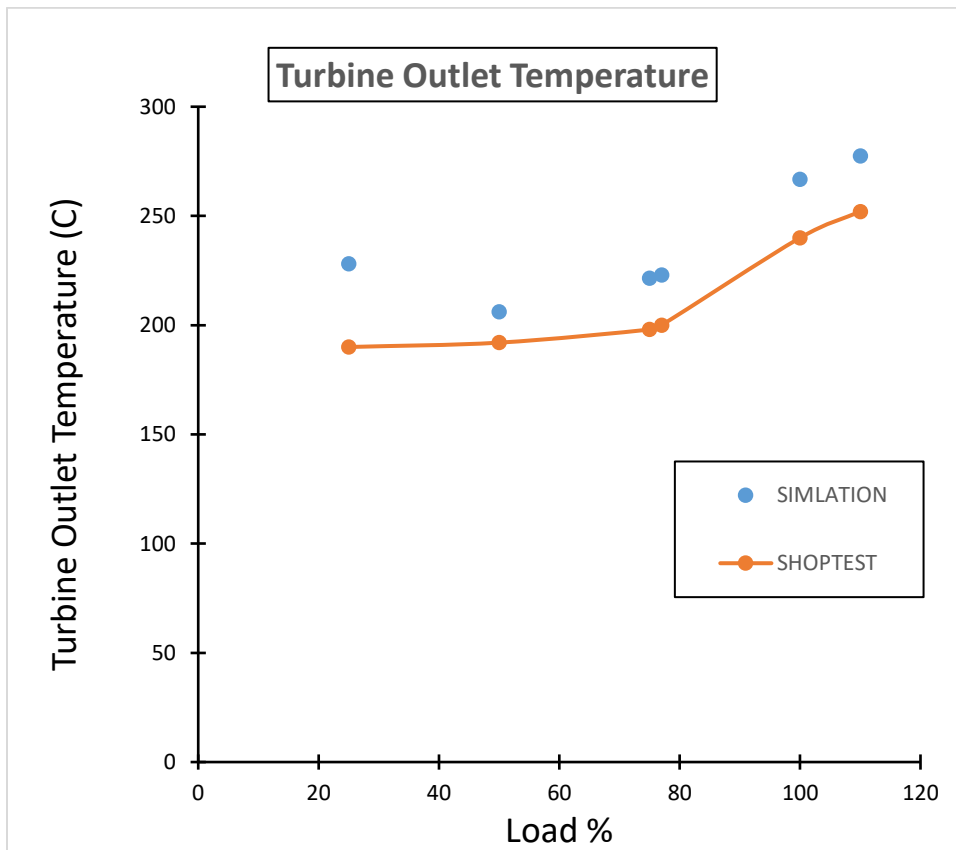


Σχήμα 3.3.8 θερμοκρασία καυσαερίων στην είσοδο του στρόβιλου συναρτήσει του φορτίου

### 3.3.9 Θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο

Στο **σχήμα 3.3.9** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Οι αποκλίσεις είναι της τάξης των 20 °C πράγμα το οποίο δεν επηρεάζει την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

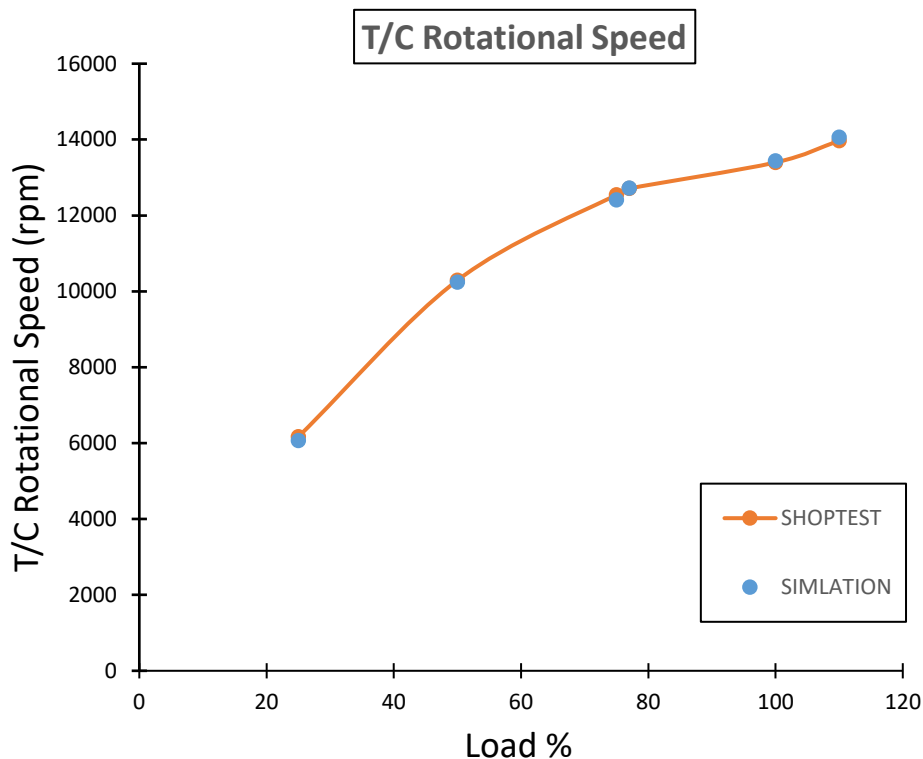


Σχήμα 3.3.9 θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο συναρτήσει του φορτίου

### 3.3.10 Ταχύτητα περιστροφής του στροβιλο-υπερπληρωτή

Στο **σχήμα 3.3.10** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην ταχύτητα περιστροφής του στροβιλο-υπερπληρωτή . Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Όσο αυξάνεται το φορτίο αυξάνεται και η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή αφού υπάρχει μεγαλύτερη παροχή καυσαερίων .

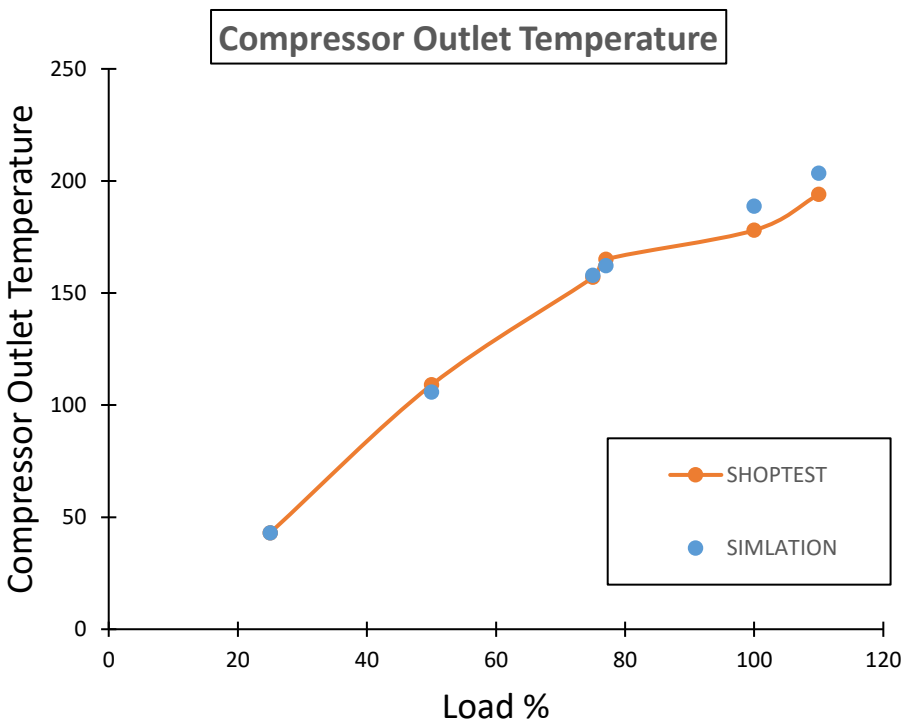


Σχήμα 3.3.10 ταχύτητα περιστροφής του στροβιλο-υπερπληρωτή συναρτήσει του φορτίου

### 3.3.11 Θερμοκρασία αέρα στην έξοδο του συμπιεστή

Στο **σχήμα 3.3.11** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπιεστή . Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή.

Όσο αυξάνεται το φορτίο ο συμπιεστής καλείται να επιτύχει υψηλότερους λόγους πίεσης . Με τον τρόπο αυτό η θερμοκρασία αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας.



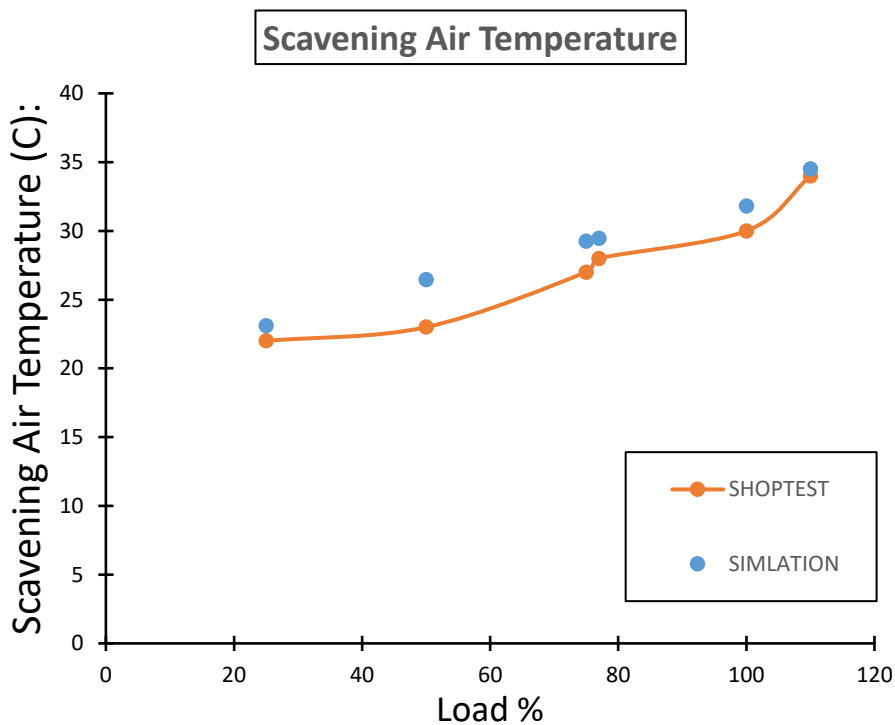
Σχήμα 3.3.11 Θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπιεστή συναρτήσει του φορτίου

### 3.3.12 Θερμοκρασία αέρα σάρωσης

Στο **σχήμα 3.3.12** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά στην θερμοκρασία αέρα σάρωσης. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Οι αποκλίσεις είναι της τάξεως των 1 έως 5 °C και δεν επηρεάζει την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

Η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο εφόσον ανεβαίνει και η πίεση σάρωσης.



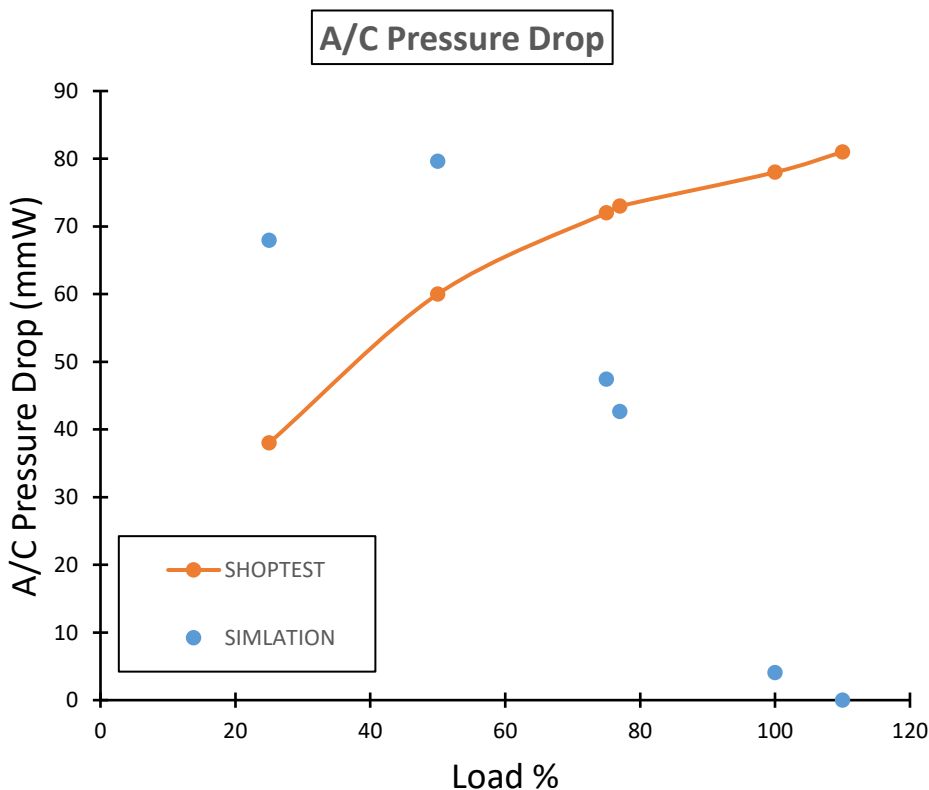
Σχήμα 3.3.12 Θερμοκρασία αέρα σάρωσης συναρτήσει του φορτίου

### 3.3.13 Πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα

Στο **σχήμα 3.3.13** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά την πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Οι τυχόν αποκλίσεις είναι της τάξης των 5°C και δεν επηρεάζει την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

Η πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα οφείλεται στις απώλειες οι οποίες αυξάνονται όσο αυξάνεται και η παροχή αέρα και κατά συνέπεια όσο αυξάνεται το φορτίο.



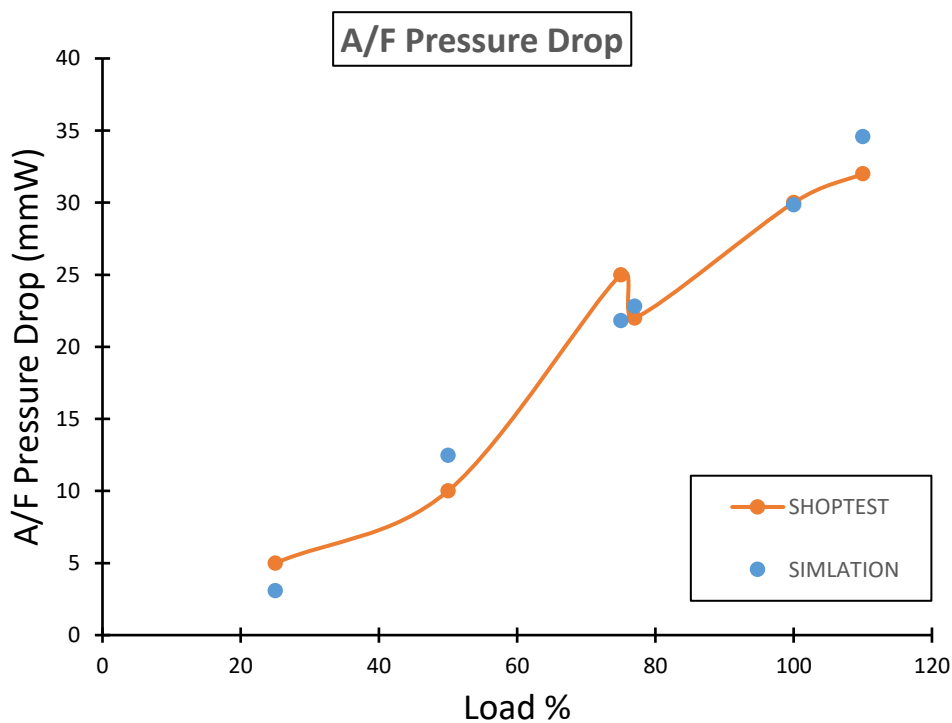
Σχήμα 3.3.13 πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα συναρτήσε του φορτίου

### 3.3.14 Πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα

Στο **σχήμα 3.3.14** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά την πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι πάρα πολύ καλή.

Οι τυχόν αποκλίσεις είναι της τάξης των 3°C και δεν επηρεάζει την ακρίβεια της προσωμοίωσης.

Η πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα οφείλεται στις απώλειες οι οποίες αυξάνονται όσο αυξάνεται και η παροχή αέρα και κατά συνέπεια όσο αυξάνεται το φορτίο.



Σχήμα 3.3.14 πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα συναρτήσει του φορτίου

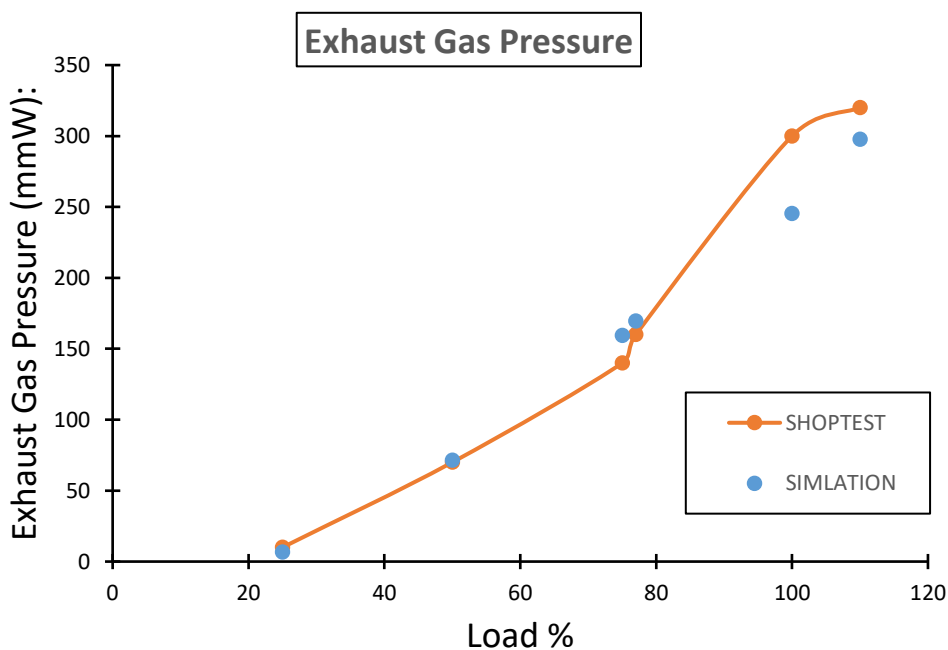


### 3.3.15 Πίεση των καυσαερίων

Στο **σχήμα 3.3.15** συγκρίνονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τις εργοστασιακές δοκιμές με τα δεδομένα που προέκυψαν στην προσωμοίωση όσον αφορά την πίεση των καυσαερίων.

Η πίεση καυσαερίων αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο εφόσον όσο μεγαλύτερο το φορτίο τόσο μεγαλύτερη μάζα καυσαερίων διακινείται.

Οι αποκλίσεις εδώ είναι της τάξης 5 εως 15°C.



Σχήμα 3.3.15 πίεση καυσαερίων συναρτήσει του φορτίου

### **3.3.16 Συμπεράσματα**

Το λογισμικό προσωμοιώνει αρκετά ικανοποιητικά όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα και τυχόν αποκλίσεις είναι μικρής τάξης με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται η γενική εικόνα.

Ειδικότερα στα μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν σε επόμενο κεφάλαιο και τα οποία είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου , η μέγιστη πίεση καύσης , η θερμοκρασία εισόδου και εξόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο , η θερμοκρασία καυσαερίων στον κύλινδρο και η πίεση και θερμοκρασία αέρα σάρωσης , η βαθμονόμηση είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική.

## **4. Μεταβολή Προπορείας Έγχυσης Καυσίμου**

### **4.1 Εισαγωγή**

Η απόδοση των κινητήρων ντίζελ επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό του συστήματος έγχυσης καυσίμου.

Στην πραγματικότητα, οι πιο αξιοσημείωτες πρόοδοι που επιτεύχθηκαν στους κινητήρες ντίζελ προέκυψαν άμεσα από τον καλύτερο σχεδιασμό συστημάτων ψεκασμού καυσίμου.

Ενώ ο κύριος σκοπός του συστήματος είναι να μεταφέρει καύσιμο στους κυλίνδρους, ο τρόπος με τον οποίο μεταφέρεται το καύσιμο κάνει τη διαφορά στις επιδόσεις του κινητήρα, τις εκπομπές και τον θόρυβο.

Το σύστημα έγχυσης καυσίμου ντίζελ παρέχει καύσιμο υπό εξαιρετικά υψηλές πιέσεις έγχυσης. Αυτό σημαίνει ότι ο σχεδιασμός του συστήματος έγχυσης και τα υλικά από τα οποία αποτελείται θα πρέπει να επιλέγονται ώστε να αντέχουν πολύ υψηλές δυνάμεις για μεγάλο χρονικό διάστημα .

Μεγαλύτερη ακρίβεια κατασκευής και πολύ μικρές ανοχές απαιτούνται επίσης για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος. Εκτός από τα ακριβά υλικά και το κόστος κατασκευής, τα συστήματα έγχυσης ντίζελ χαρακτηρίζονται από πιο περίπλοκες απαιτήσεις ελέγχου.

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά συνιστούν το σύστημα έγχυσης καυσίμου του οποίου το κόστος μπορεί να αντιπροσωπεύει έως και το 30% του συνολικού κόστους του κινητήρα[10].

Ο κύριος σκοπός του συστήματος έγχυσης καυσίμου είναι η παροχή καυσίμου στους κυλίνδρους ενός κινητήρα. Προκειμένου ο κινητήρας να χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά αυτό το καύσιμο πρέπει :

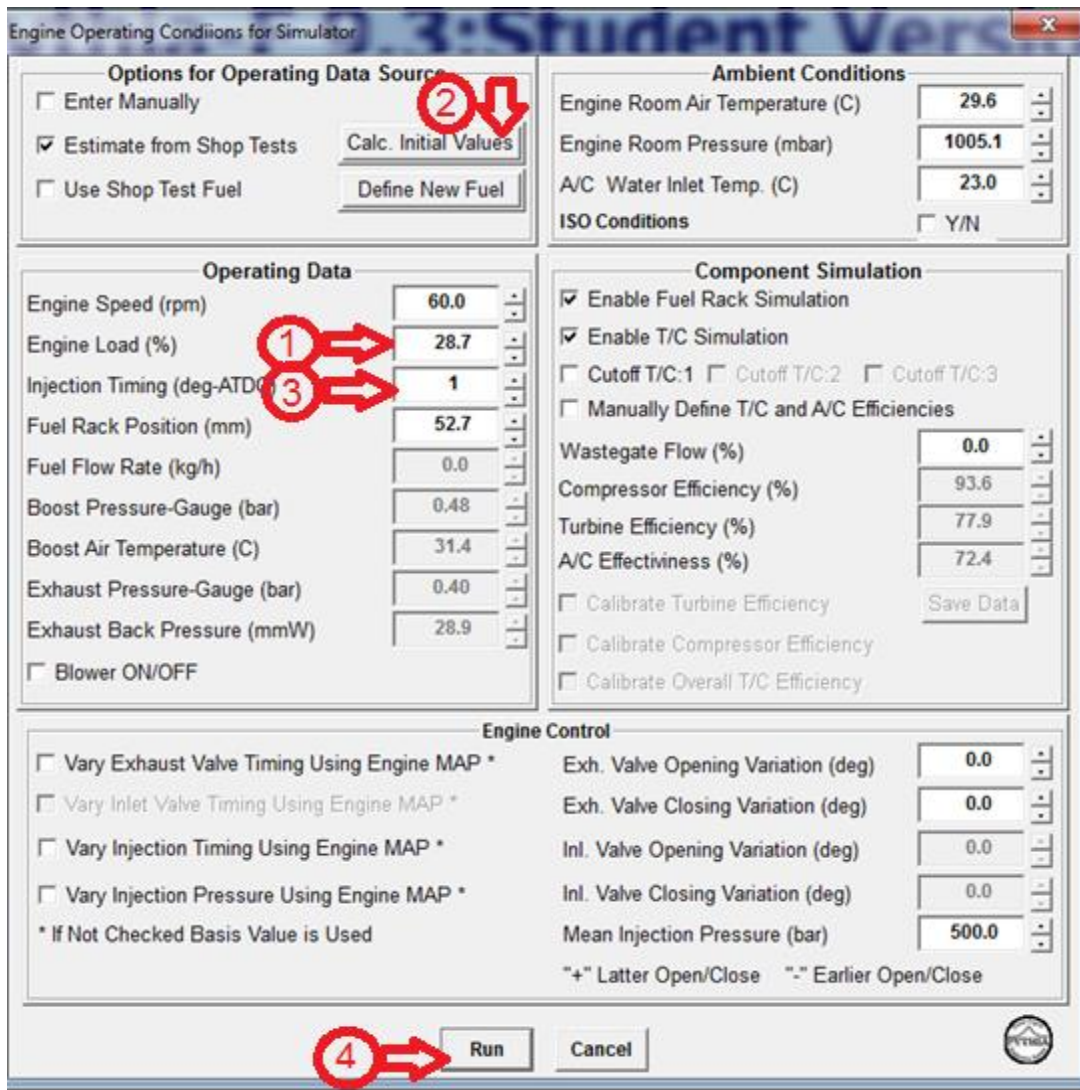
- Το καύσιμο να εγχέεται στον κατάλληλο χρόνο, δηλαδή πρέπει να ελέγχεται ο χρονισμός της έγχυσης και
- Να χρησιμοποιείται η σωστή ποσότητα καυσίμου για να καλυφθούν οι απαιτήσεις ισχύος

Στο παρόν κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την μεταβολή του χρονισμού της έγχυσης καυσίμου από -4 έως 4 μοίρες ,η οποία μπορεί να είναι επιτάχυνση της έγχυσης(advance) ή επιβράδυνση της έγχυσης (retard).Σκοπός είναι να δούμε πως αυτή επηρεάζει την ειδική κατανάλωση καυσίμου ,της μέγιστη πίεση καύσης , την θερμοκρασία εισόδου και εξόδου στον στρόβιλο , την πίεση και θερμοκρασία αέρα σάρωσης καθώς και την θερμοκρασία καυσαερίων στον κύλινδρο.

## 4.2 Μεταβολή προπορείας έγχυσης 6S70MC-C

Οι μετρήσεις έγιναν για τα φορτία 25,50,75,90 και 100%.

Στο σχήμα 4.2 φαίνεται ακριβώς η διαδικασία που ακολουθείται στο λογισμικό προσομοίωσης : 1) καθορισμός σημείου λειτουργίας 2) υπολογισμός αρχικών συνθηκών και 3) καθορισμός προπορείας και 4) έναρξη προσομοίωσης

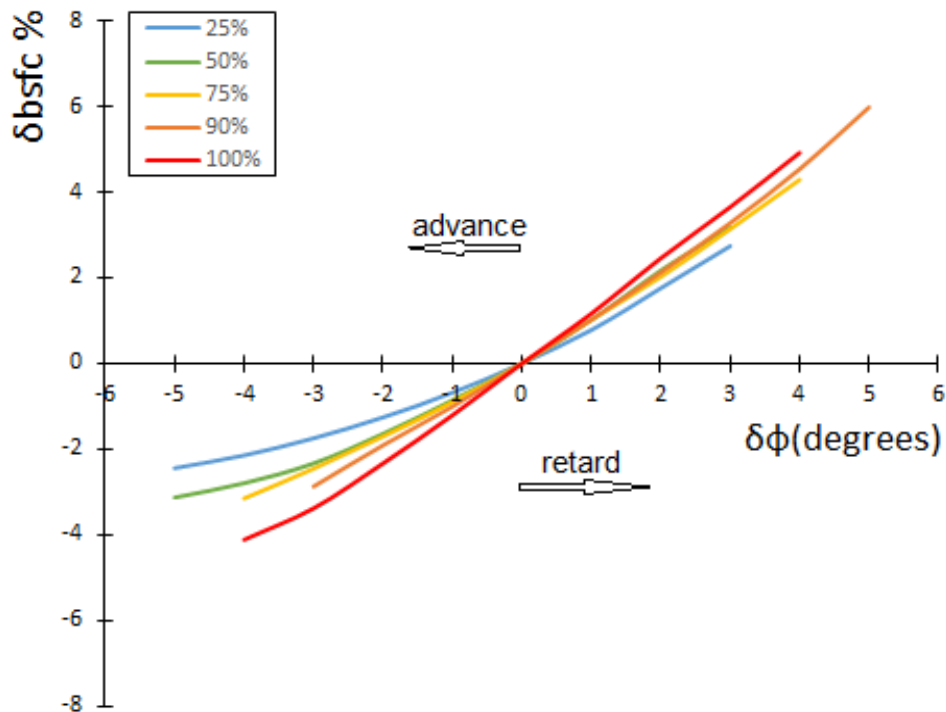


Σχήμα 4.2 μεταβολή προπορείας

#### 4.2.1 ποσοστιαία μεταβολή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου

Στο σχήμα 4.2.1 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 0.98% και 2.27% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 1.61% και 2.90% αντίστοιχα. Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 1.30% και 2.91% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 1.94% και 3.55% αντίστοιχα. Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 2.18% και 4.50% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 2.44% και 4.75% αντίστοιχα.



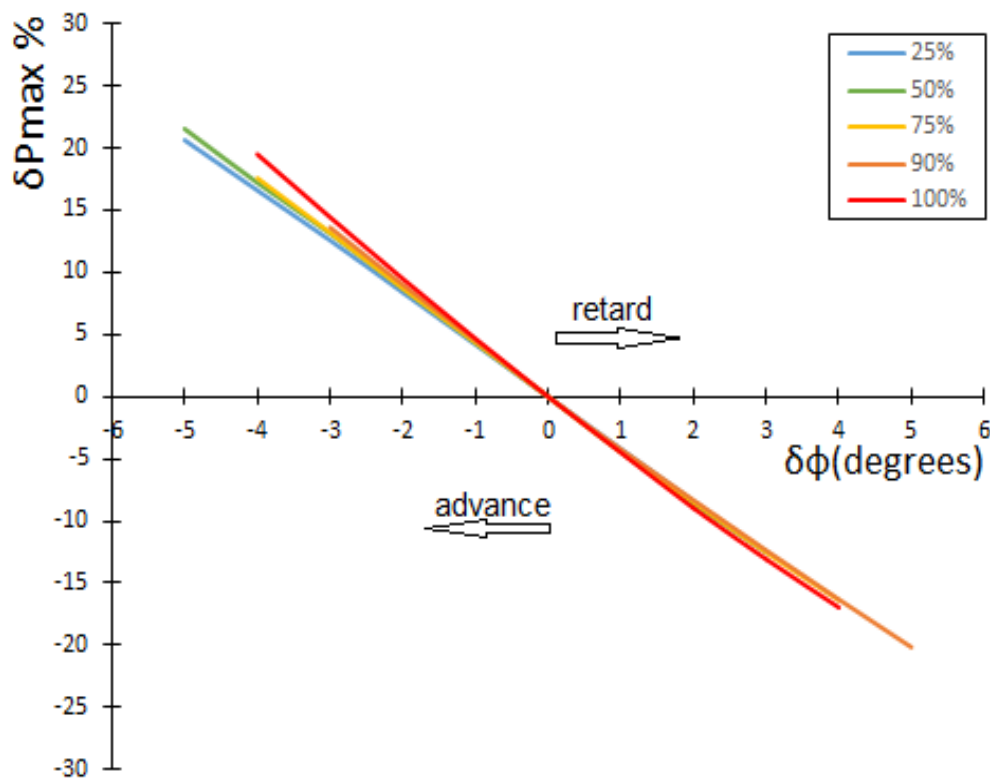
Σχήμα 4.2.1 ποσοστιαία μεταβολή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης

## 4.2.2 Ποσοστιαία μεταβολή Μέγιστης Πίεσης Κάυσης

Στο σχήμα 4.2.2 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης κάυσης συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά και μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η μέγιστη πίεση καύσης αυξάνεται κατά 8.31% και 16.63% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η μέγιστη πίεση καύσης μειώνεται κατά 8.34% και 16.70% αντίστοιχα.

Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η μέγιστη πίεση καύσης αυξάνεται κατά 9.70% και 18.81% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η μέγιστη πίεση καύσης μειώνεται κατά 8.63% και 17.78% αντίστοιχα.

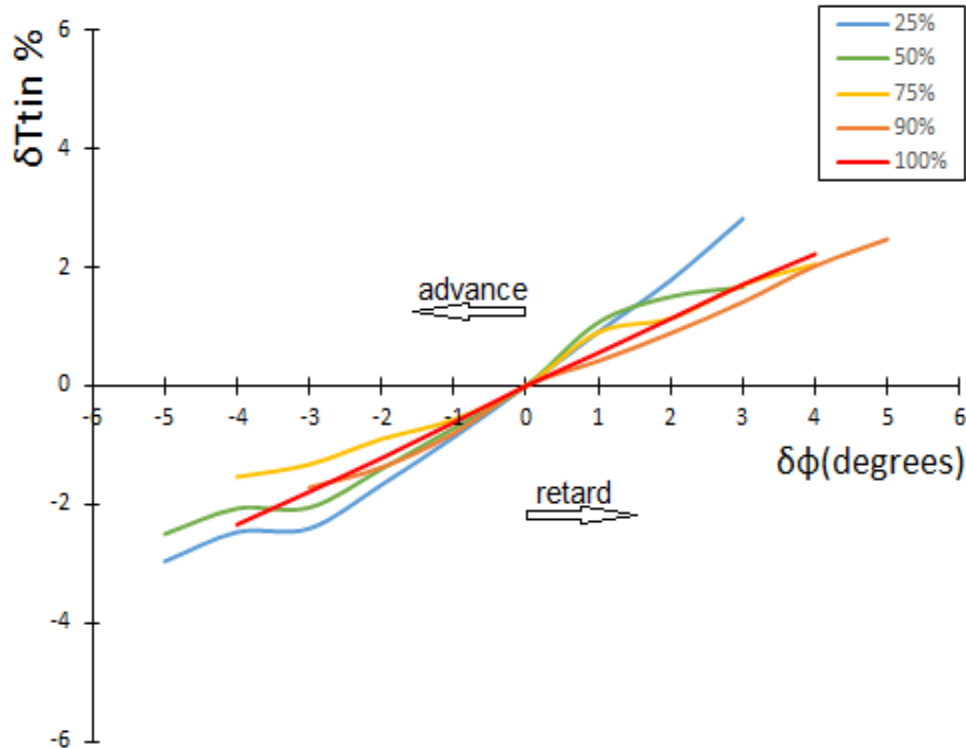


Σχήμα 4.2.2 ποσοστιαία μεταβολή μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης

### 4.2.3 Ποσοστιαία μεταβολή Θερμοκρασίας Εισόδου στον Στρόβιλο

Στο σχήμα 4.2.3 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου στον στρόβιλο συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 1.28% και 2.75% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 1.67% και 3.14% αντίστοιχα. Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 0.80% και 1.77% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 1.13% και 2.10% αντίστοιχα. Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 1.19% και 2.35% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 1.12% και 2.27% αντίστοιχα.

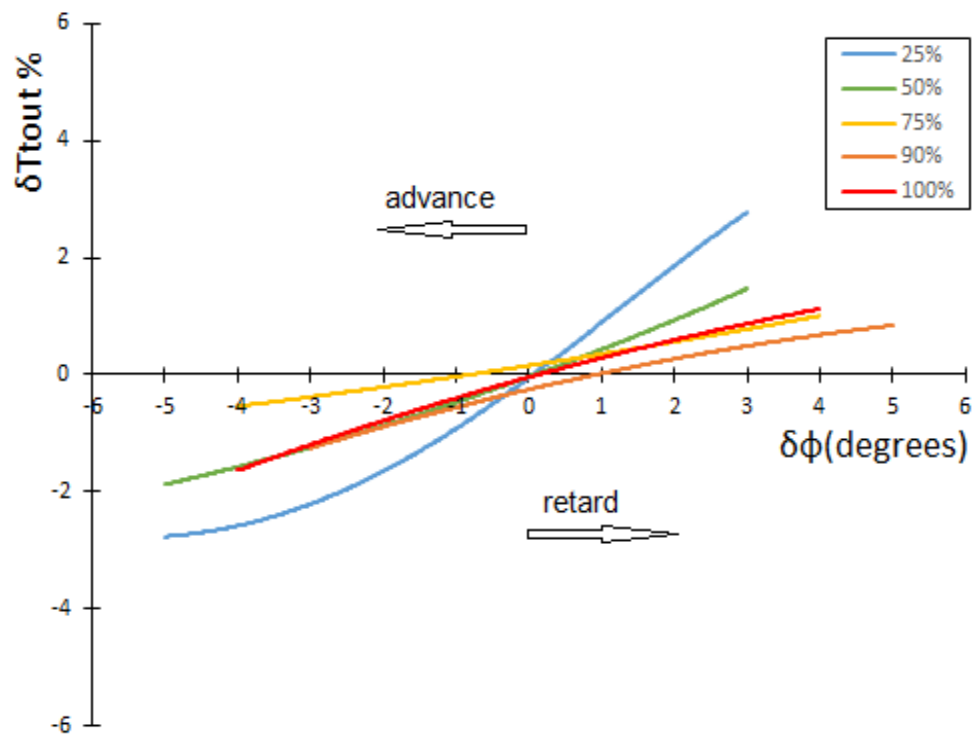


Σχήμα 4.2.3 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου στον στρόβιλο συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης

#### 4.2.4 Ποσοστιαία μεταβολή Θερμοκρασίας Εξόδου στον Στρόβιλο

Στο σχήμα 4.2.4 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου στον στρόβιλο συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εξόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 1.65% και 2.58% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εξόδου στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 1.86% και 3.51% αντίστοιχα. Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εξόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 0.87% και 1.57% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εξόδου στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 0.93% και 2.04% αντίστοιχα. Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εξόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 0.79% και 1.63% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εξόδου στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 0.59% και 1.12% αντίστοιχα.



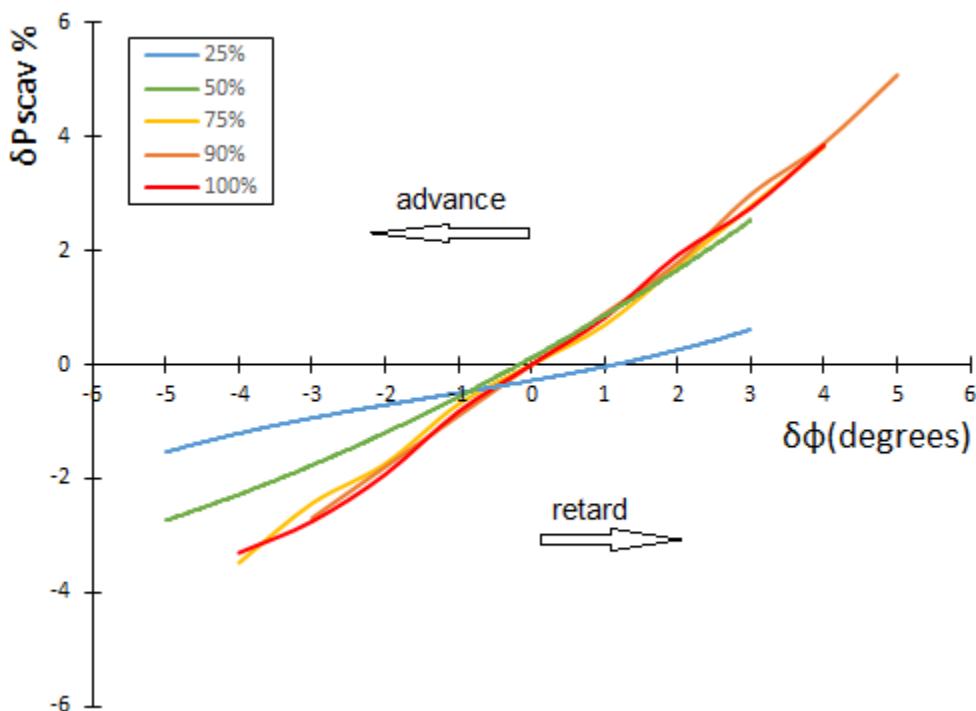
Σχήμα 4.2.4 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου στον στρόβιλο συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης



#### 4.2.5 Ποσοστιαία μεταβολή Πίεσης Αέρα Σάρωσης

Στο σχήμα 4.2.5 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης αέρα σάρωσης συναρτήσεως της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.71% και 1.21% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.25% και 1.07% αντίστοιχα. Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 1.20% και 2.28% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 1.66% και 3.45% αντίστοιχα. Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 1.69% και 3.46% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 1.85% και 3.64% αντίστοιχα.

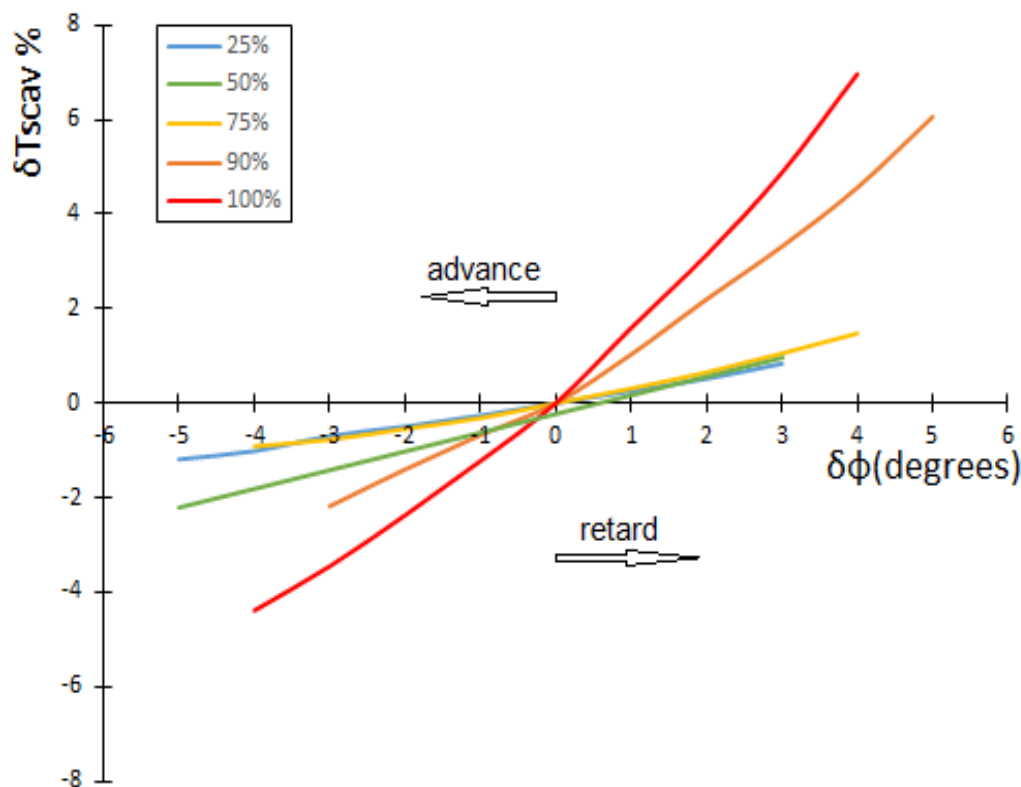


Σχήμα 4.2.5 ποσοστιαία μεταβολή πίεσης αέρα σάρωσης συναρτήσεως της μεταβολής προπορείας έγχυσης

#### 4.2.6 Ποσοστιαία μεταβολή Θερμοκρασίας Αέρα Σάρωσης

Στο σχήμα 4.2.6 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας αέρα σάρωσης συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.48% και 1.00% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.53% και 1.03% αντίστοιχα. Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 1.01% και 1.80% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.57% και 1.36% αντίστοιχα. Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 2.24% και 5.05% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 3.38% και 6.19% αντίστοιχα.

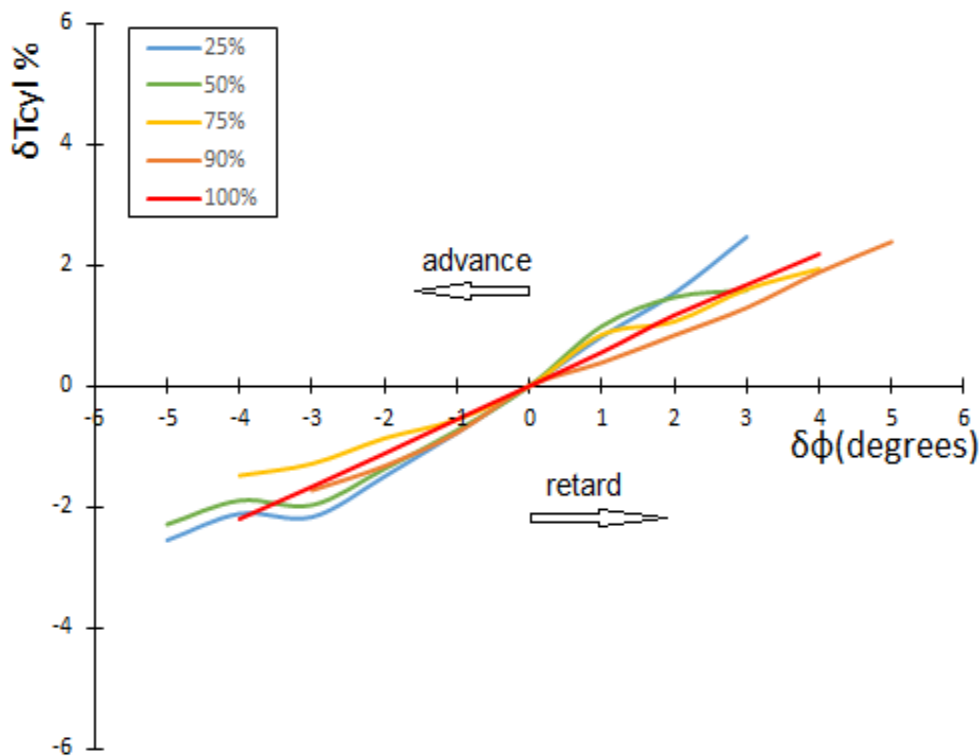


Σχήμα 4.2.6 ποσοστιαία μεταβολή πίεσης αέρα σάρωσης συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης

#### 4.2.7 Ποσοστιαία μεταβολή Θερμοκρασίας καυσαερίων στον κύλινδρο

Στο σχήμα 4.2.7 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίων στον κύλινδρο συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μειώνεται κατά 1.75% και 2.73% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου αυξάνεται κατά 1.12% και 2.40% αντίστοιχα. Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μειώνεται κατά 0.78% και 1.70% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου αυξάνεται κατά 1.06% και 1.98% αντίστοιχα. Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μειώνεται κατά 1.10% και 2.21% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου αυξάνεται κατά 1.12% και 2.23% αντίστοιχα.



Σχήμα 4.2.7 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασία καυσαερίων στον κύλινδρο συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης

### **4.3 Μεταβολή προπορείας έγχυσης 6G60ME-C**

Οι μετρήσεις έγιναν για τα φορτία 25,50,75,77 και 100%. Η χρήση του λογισμικού έχει ήδη περιγραφεί στο **σχήμα 4.2**.

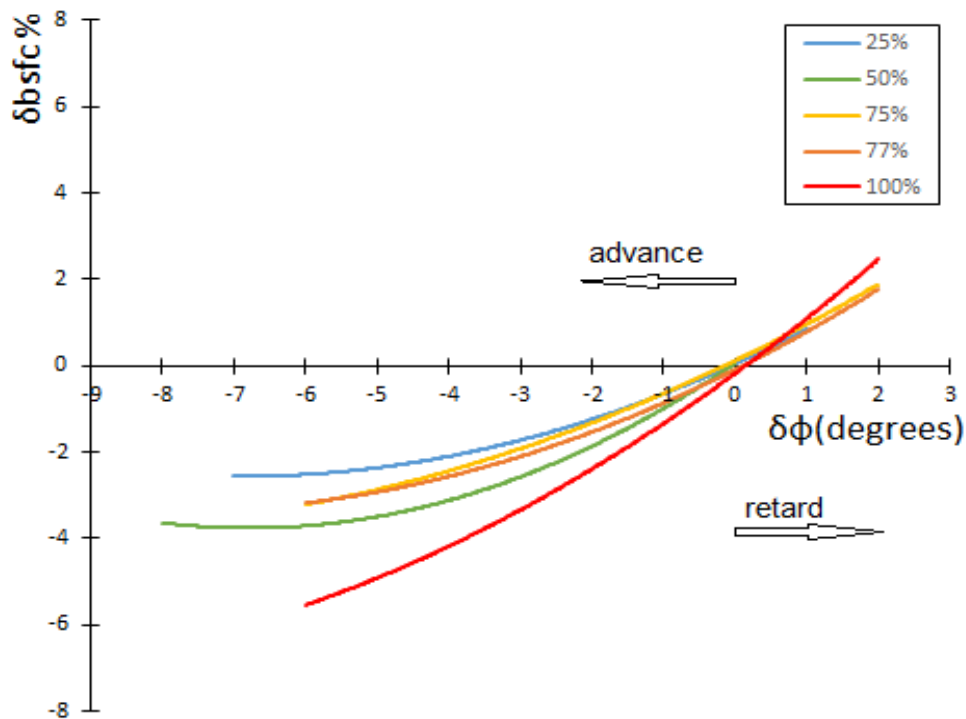
#### **4.3.1 ποσοστιαία μεταβολή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου**

Στο σχήμα 4.3.1 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 1.24% και 2.10% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 1.77% και 3.94% αντίστοιχα.

Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 1.54% και 2.56% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 1.76% και 4.04% αντίστοιχα.

Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 2.39% και 4.17% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 2.45% και 5.52% αντίστοιχα.



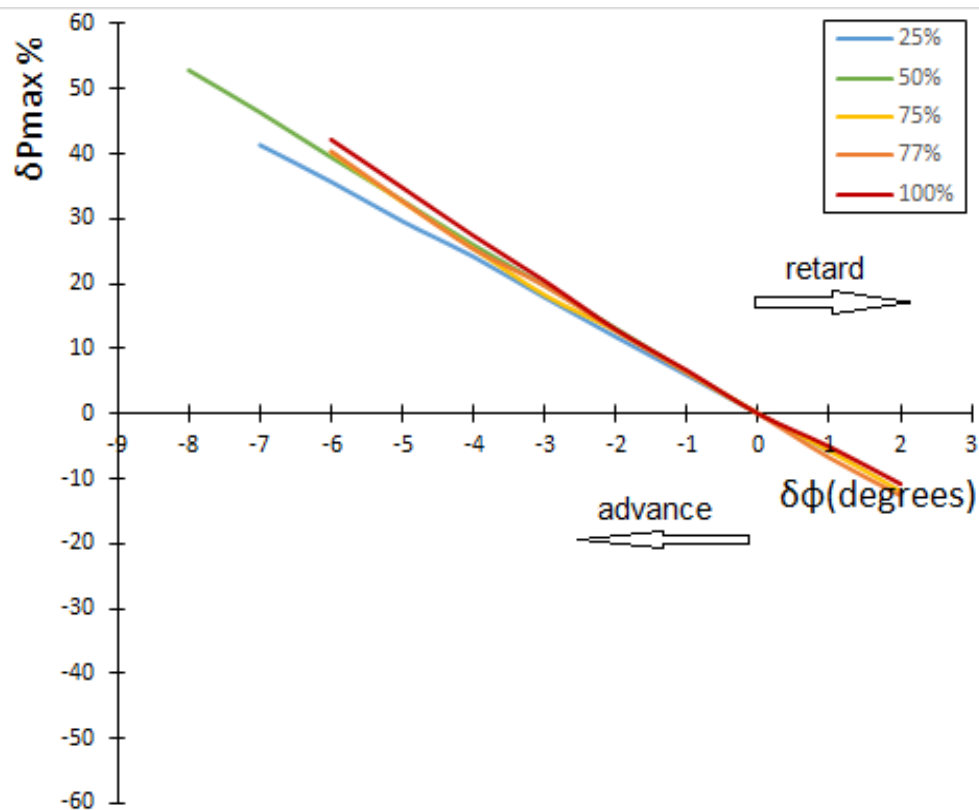
Σχήμα 4.3.1 ποσοστιαία μεταβολή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης

#### 4.3.2 Ποσοστιαία μεταβολή Μέγιστης Πίεσης Κάυσης

Στο σχήμα 4.3.2 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης κάυσης συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά και μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η μέγιστη πίεση καύσης αυξάνεται κατά 11.95% και 23.80% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η μέγιστη πίεση καύσης μειώνεται κατά 11.75% και 23.60% αντίστοιχα.

Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η μέγιστη πίεση καύσης αυξάνεται κατά 14.29% και 27.63% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η μέγιστη πίεση καύσης μειώνεται κατά 12.39% και 25.74% αντίστοιχα.



Σχήμα 4.3.2 ποσοστιαία μεταβολή μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης

### 4.3.3 Ποσοστιαία μεταβολή Θερμοκρασίας Εισόδου στον Στρόβιλο

Στο σχήμα 4.3.3 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου στον στρόβιλο συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

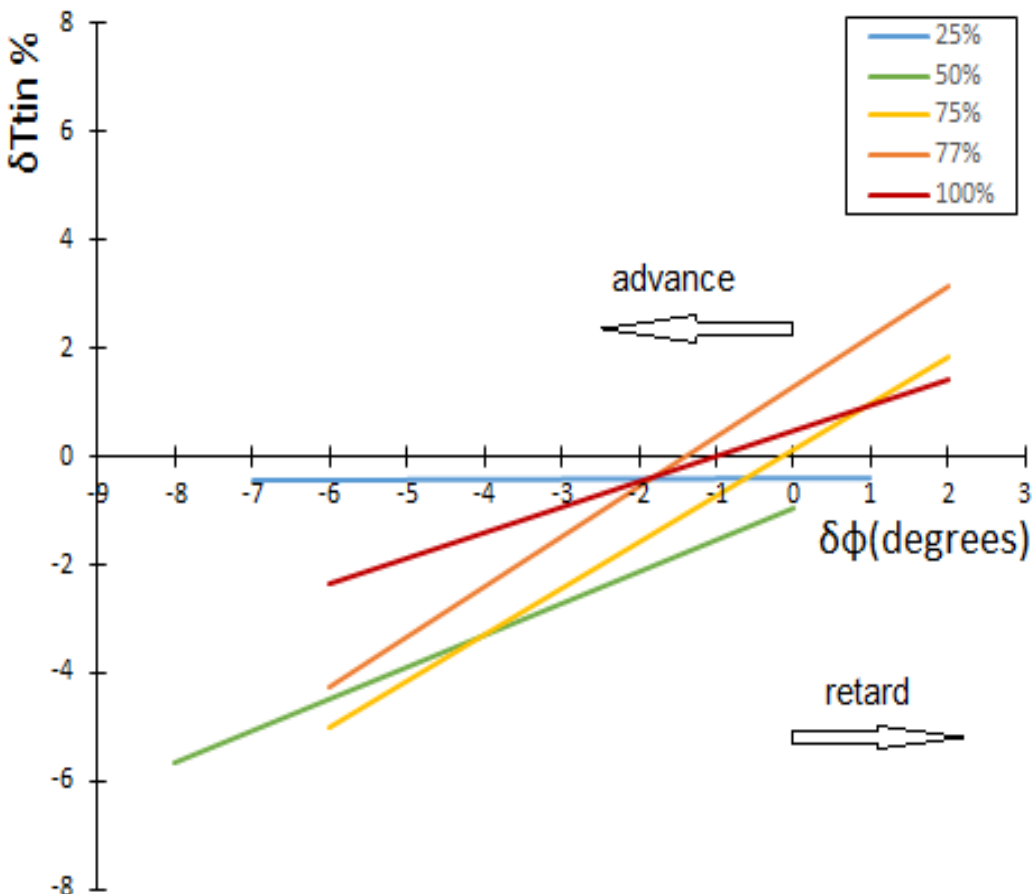
Αρχικά φαίνεται ότι επιβραδύνοντας την έγχυση (retard) η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο αυξάνεται ενώ επιταχύνοντας την έγχυση (advance) συμβαίνει το αντίθετο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4 μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 0.41% και 0.43%

αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 0.37% και 0.34% αντίστοιχα.

Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 1.59% και 3.30% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 1.83% και 3.54% αντίστοιχα.

Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο μειώνεται κατά 0.46% και 1.41% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 1.43% και 2.38% αντίστοιχα.

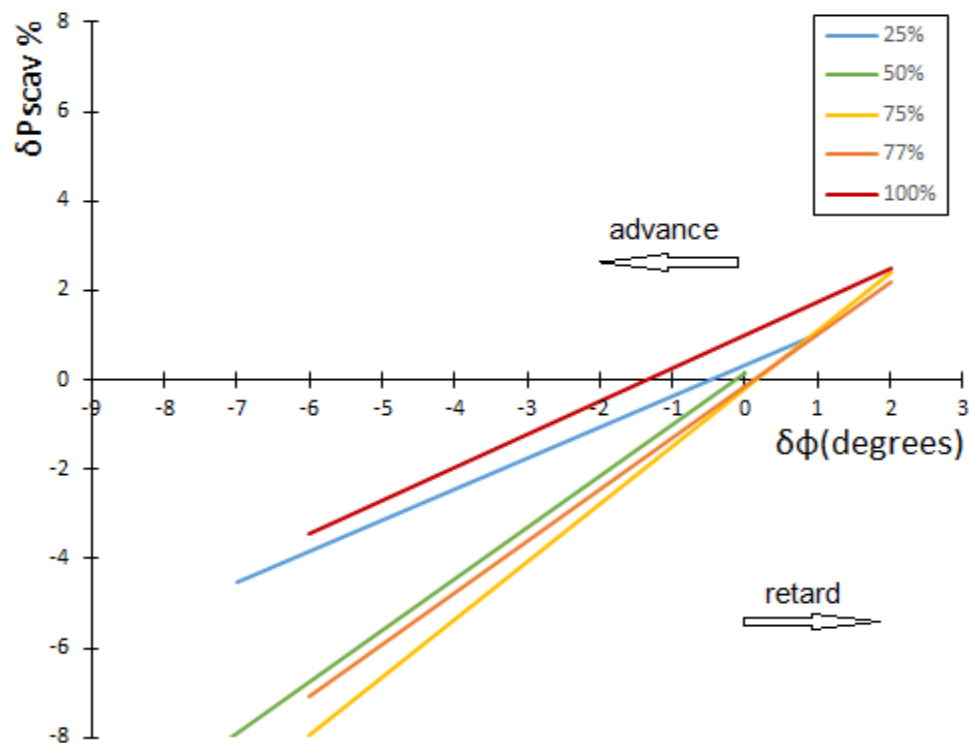


Σχήμα 4.3.3 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου στον στρόβιλο συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης

#### 4.3.4 Ποσοστιαία μεταβολή Πίεσης Αέρα Σάρωσης

Στο σχήμα 4.3.4 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης αέρα σάρωσης συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 1.06% και 2.45% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 1.72% και 3.11% αντίστοιχα. Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 2.45% και 4.76% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 2.18% και 4.5% αντίστοιχα. Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.48% και 1.95% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 2.49% και 3.96% αντίστοιχα.



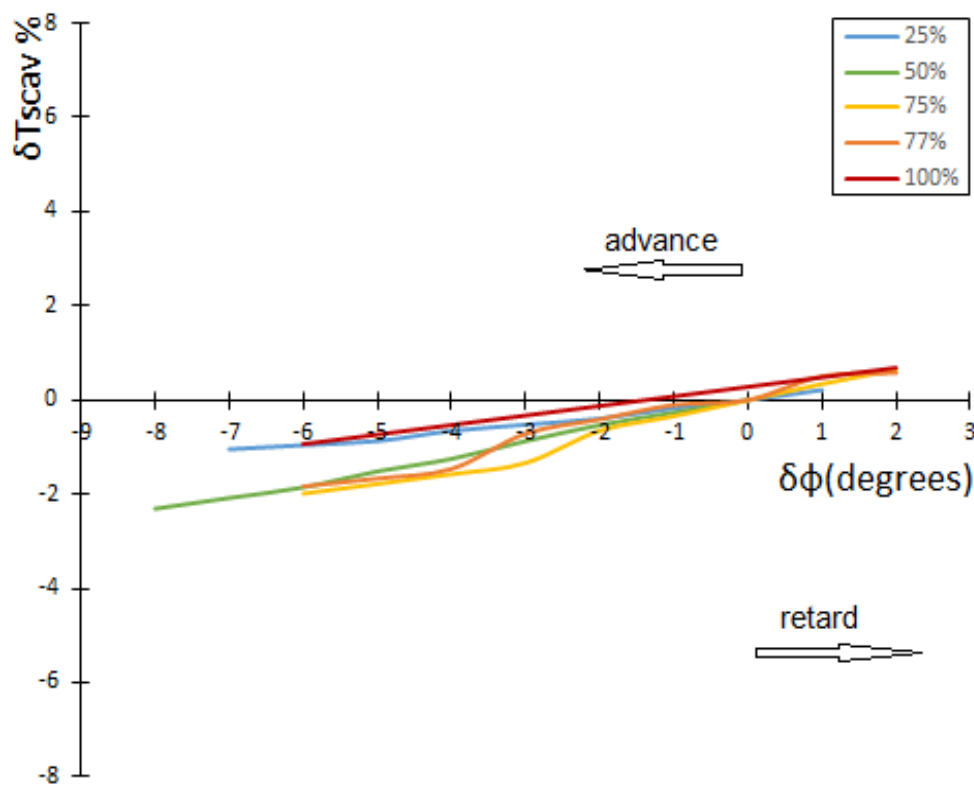
Σχήμα 4.3.4 ποσοστιαία μεταβολή πίεσης αέρα σάρωσης συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης



### 4.3.5 Ποσοστιαία μεταβολή Θερμοκρασίας Αέρα Σάρωσης

Στο σχήμα 4.3.5 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας αέρα σάρωσης συναρτήσει της μεταβολής της προπορείας έγχυσης με αρχικό σημείο αυτό που υποδεικνύει το λογισμικό για το κάθε φορτίο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.33% και 0.65% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.31% και 0.63% αντίστοιχα. Στα μεσαία φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.57% και 1.22% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.75% και 1.40% αντίστοιχα. Στα υψηλά φορτία για επιτάγχυση της έγχυσης κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.12% και 0.52% αντίστοιχα ενώ για επιβράδυνση κατά 2 και 4ς μοίρες η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.68% και 1.08% αντίστοιχα.



Σχήμα 4.3.5 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας αέρα σάρωσης συναρτήσει της μεταβολής προπορείας έγχυσης

## 4.4 Συμπεράσματα

Λανθάνοντας υπόψιν τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι τόσο την 6S70MC-C όσο και στην 6G60ME-C η επιτάχυνση της έγχυσης (advance) έχει ως αποτέλεσμα τα ακόλουθα :

- Μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου
- Άυξηση της μέγιστης πίεσης καύσης
- Μείωση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο
- Μείωση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο
- Μείωση της θερμοκρασίας και πίεσης του αέρα σάρωσης
- Μείωση της θερμοκρασίας καυσαερίων στον κύλινδρο

Από την άλλη πλευρά , η επιβράδυνση της έγχυσης (retard) έχει ως αποτέλεσμα τα ακόλουθα :

- Αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου
- Μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης
- Αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο
- Αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο
- Αύξηση της θερμοκρασίας και πίεσης του αέρα σάρωσης
- Αύξηση της θερμοκρασίας καυσαερίων στον κύλινδρο

## 5. Μέγιστη πίεση καύσης

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε πως επιδρά η αλλαγή του χρονισμού της έγχυσης καυσίμου στα μεγέθη bsfc , Pfiringmax , Pscav , Ttin , Ttout και Tcyl. Σε αυτό το κεφάλαιο θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα αυτά για να εξετάσω της συμπεριφορά της μέγιστης πίεσης καύσης σε σύγκριση με τα μεγέθη που προανέφερα.

### 5.1 Μεταβολή Μέγιστης πίεσης καύσης 6S70MC-C

Οι μετρήσεις έγιναν για όλα τα φορτία 25 , 50 , 75 , 90 και 100% και για γωνίες έγχυσης από -4 εως 4 μοίρες.

Το λογισμικό δεν χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των διαγραμμάτων σε αυτό το κεφάλαιο αφού τα δεδομένα είναι ακριβώς τα ίδια με το κεφάλαιο 4.

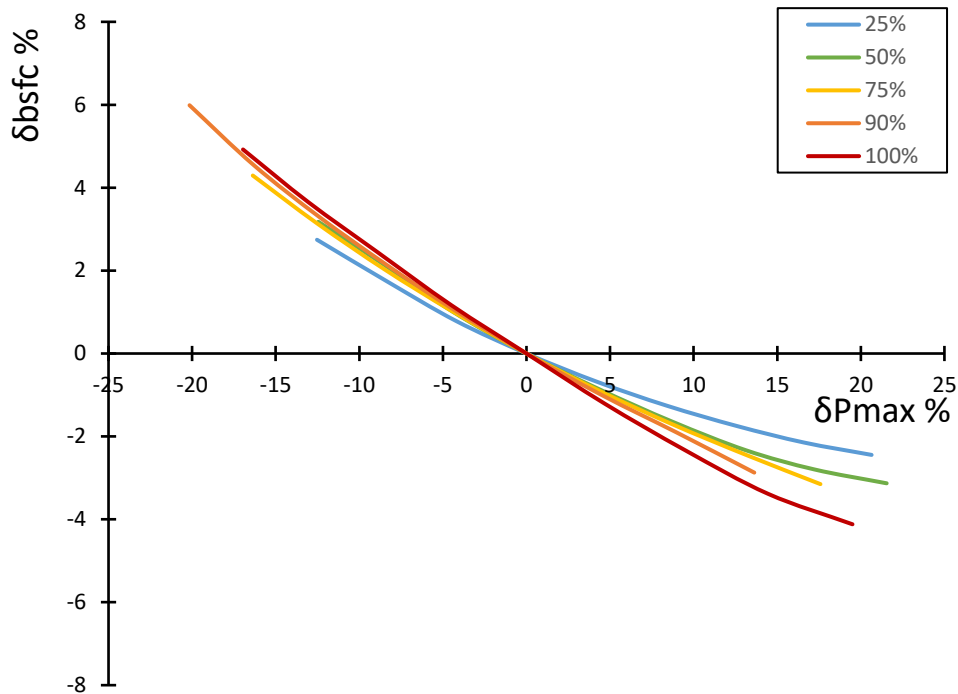
#### 5.1.1 Ειδική κατανάλωση καυσίμου – Μέγιστη πίεση καύσης

Στο σχήμα 5.1.1 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου .

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 1.24% και 2.02% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 1.87% και 2.64% αντίστοιχα.

Παρατηρώ ότι στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 1.88% και 2.96% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 2.48 % και 3.57% αντίστοιχα.

Παρατηρώ ότι στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 2.26% και 3.51% αντίστοιχα, ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 2.77% και 4.03% αντίστοιχα.



Σχήμα 5.1.1 ποσοστιαία μεταβολή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης πίεσης καύσης

### 5.1.2 Θερμοκρασία αέρα Σάρωσης – Μέγιστη πίεση καύσης

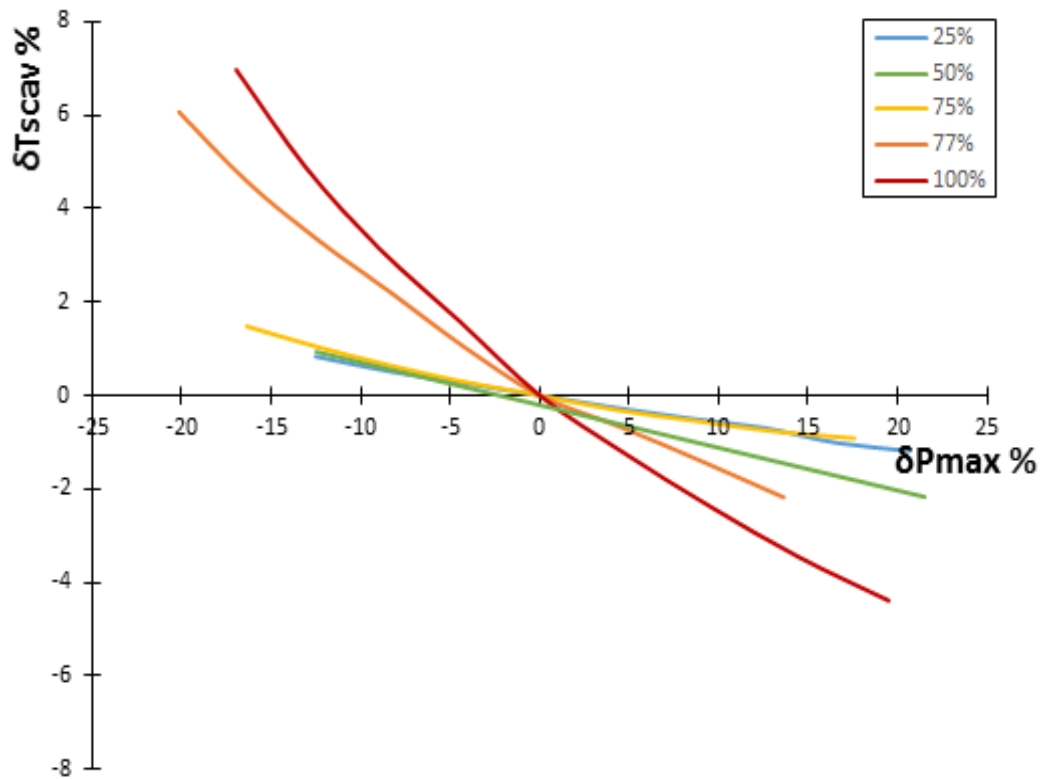
Στο σχήμα 5.1.2 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας αέρα σάρωσης .

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.71% και 1.17%

αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 1.13% και 1.60% αντίστοιχα.

Παρατηρώ ότι στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.57% και 0.92% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.83 % και 1.18% αντίστοιχα.

Παρατηρώ ότι στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 2.32% και 3.85% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 3.78% και 5.31% αντίστοιχα.

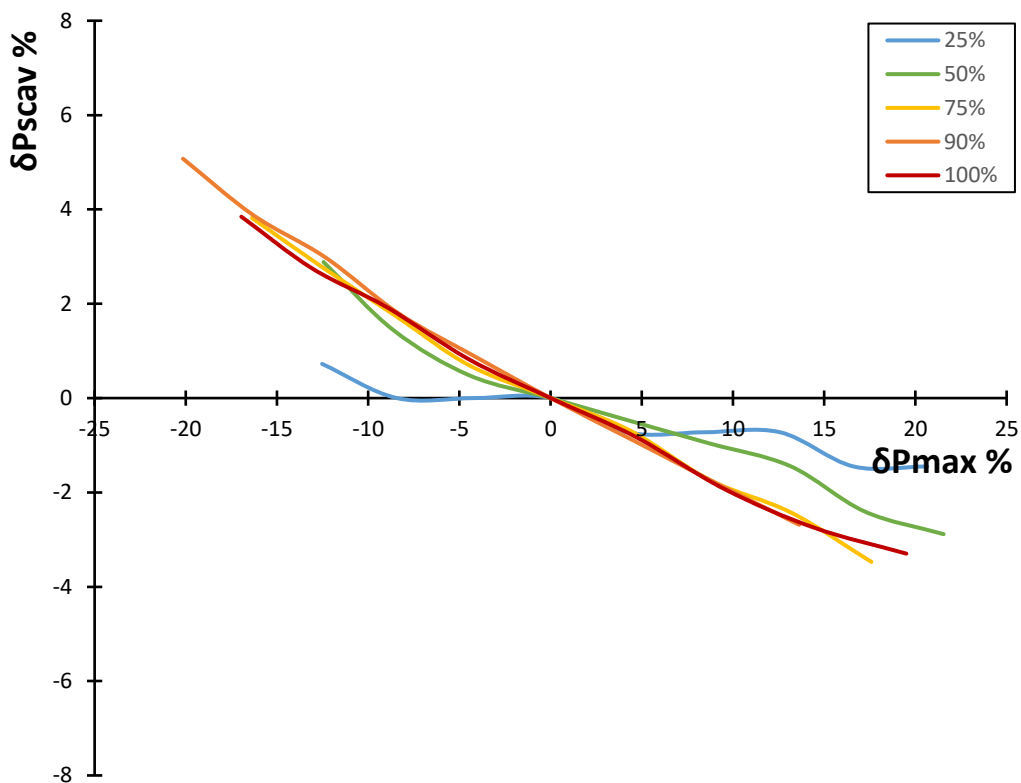


Σχήμα 5.1.2 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας αέρα σάρωσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης πίεσης καύσης

### 5.1.3 Πίεση αέρα Σάρωσης – Μέγιστη πίεση καύσης

Στο σχήμα 5.1.3 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης κάυσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της πίεσης αέρα σάρωσης .

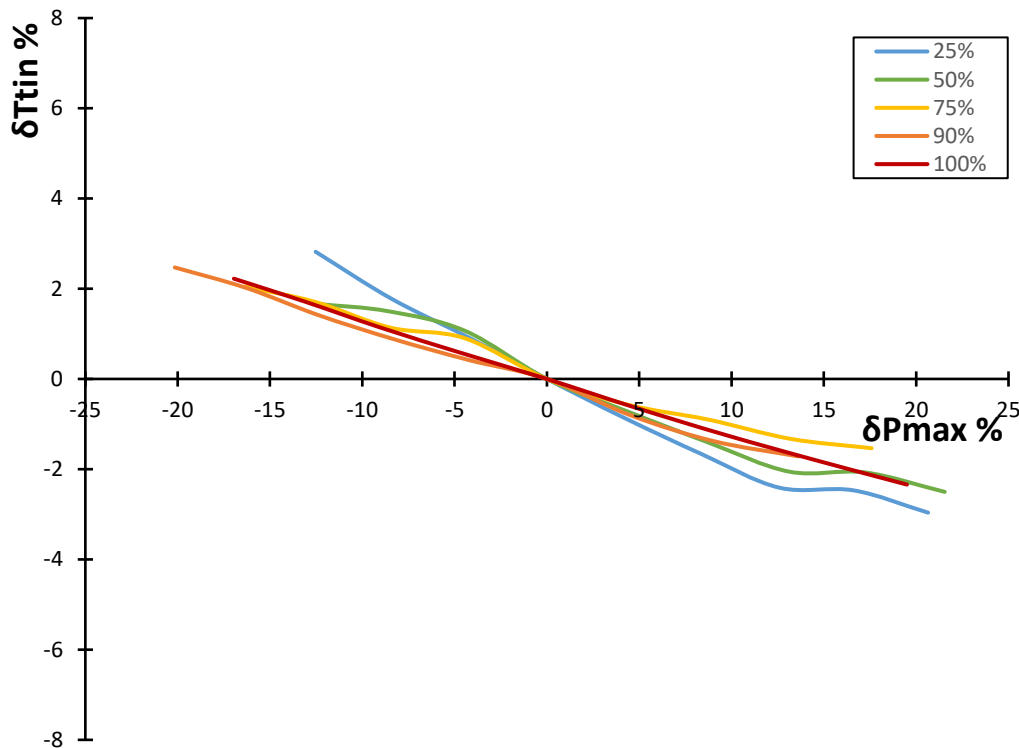
Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.85% και 1.15% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.38% και 0.68% αντίστοιχα. Παρατηρώ ότι στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 1.95% και 2.98% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 2.20 % και 3.23% αντίστοιχα. Παρατηρώ ότι στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 1.81% και 2.80% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 2.14% και 3.13% αντίστοιχα.



Σχήμα 5.1.3 ποσοστιαία μεταβολή πίεσης αέρα σάρωσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης πίεσης καύσης

### 5.1.4 Θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο – Μέγιστη πίεση καύσης

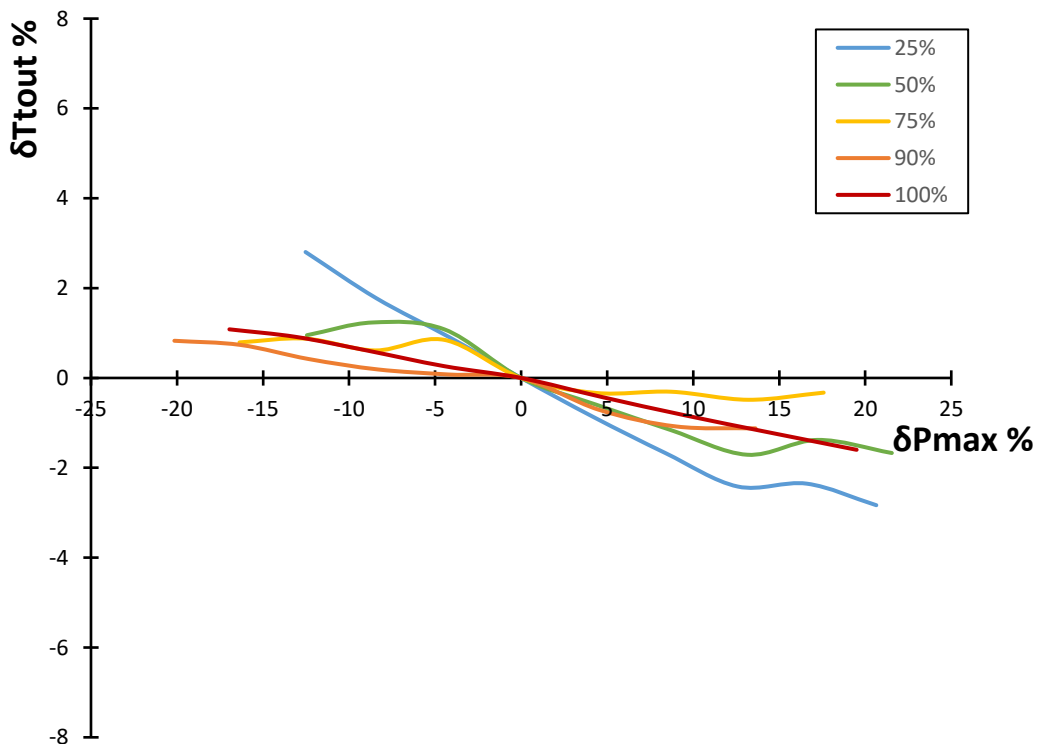
Στο σχήμα 5.1.4 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο. Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 1.58% και 2.46% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.96% και 2.85% αντίστοιχα.Στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 0.95% και 1.51% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.32 % και 1.88% αντίστοιχα.Στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 1.23% και 1.86% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.30% και 1.92% αντίστοιχα.



Σχήμα 5.1.4 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης πίεσης καύσης

### 5.1.5 Θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο – Μέγιστη πίεση καύσης

Στο σχήμα 5.1.5 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο. Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 1.58% και 2.46% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.96% και 2.85% αντίστοιχα.Στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 0.95% και 1.51% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.32 % και 1.88% αντίστοιχα.Στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 1.23% και 1.86% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.30% και 1.92% αντίστοιχα.

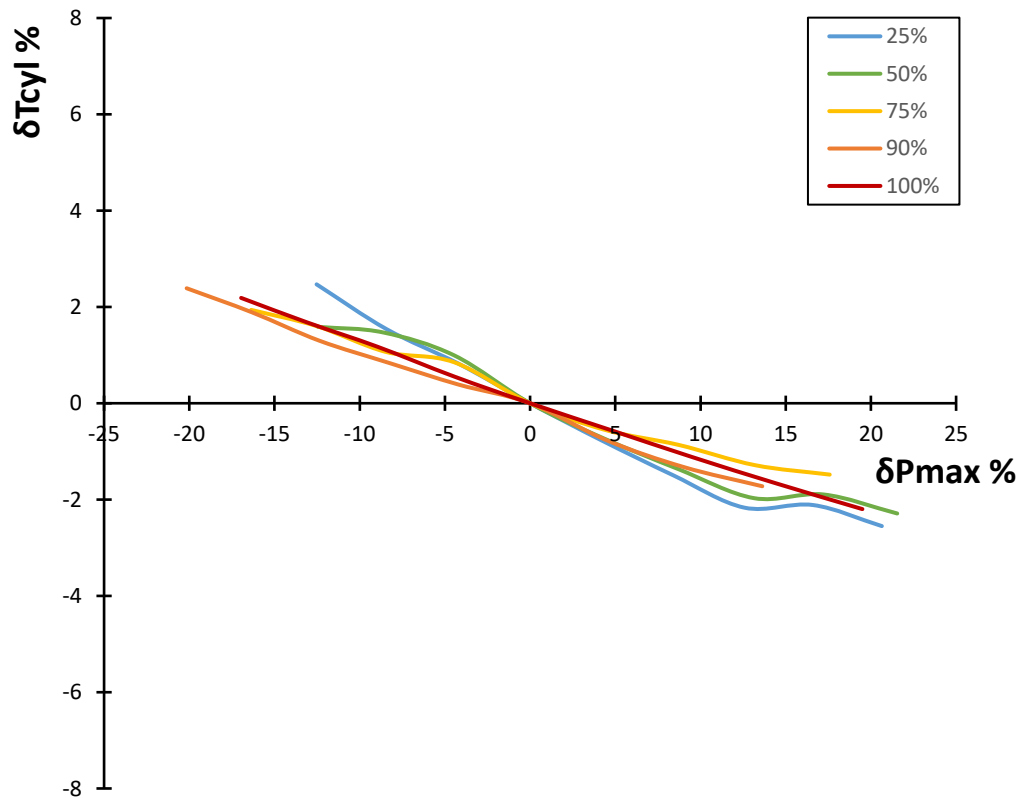


Σχήμα 5.1.5 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης πίεσης καύσης



### 5.1.6 Θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου – Μέγιστη πίεση καύσης

Στο σχήμα 5.1.6 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας καυσαερίων κυλίνδρου από τον στρόβιλο. Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 1.38% και 2.15% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.71% και 2.48% αντίστοιχα.Στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 0.91% και 1.45% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.24% και 1.78% αντίστοιχα.Στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 1.14% και 1.75% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.28% και 1.88% αντίστοιχα.



Σχήμα 5.1.6 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας καυσαερίων κυλίνδρου συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μεγιστης πίεσης καύσης

## 5.2 Μεταβολή Μέγιστης πίεσης καύσης 6G60ME-C

Οι μετρήσεις έγιναν για όλα τα φορτία 25 , 50 , 75 , 77 και 100% και για γωνίες έγχυσης από -4 έως 4 μοίρες.

Το λογισμικό δεν χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των διαγραμμάτων σε αυτό το κεφάλαιο αφού τα δεδομένα είναι ακριβώς τα ίδια με το κεφάλαιο 4.

### 5.2.1 Ειδική κατανάλωση καυσίμου – Μέγιστη πίεση καύσης

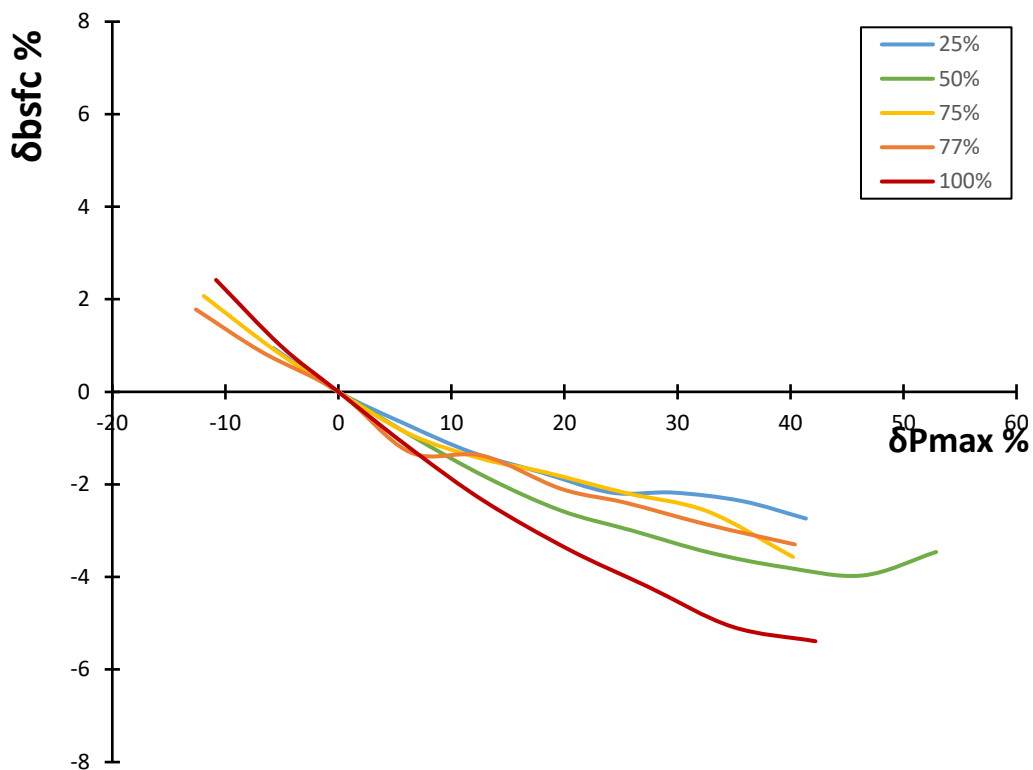
Στο σχήμα 5.2.1 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου .

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 0.80% και 1.15% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 0.65% και 1.00% αντίστοιχα.

Στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 0.90% και 1.37% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 0.97% και 1.44% αντίστοιχα.

Στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 1.40% και 2.14% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 1.58% και 2.31% αντίστοιχα.

.



Σχήμα 5.2.1 ποσοστιαία μεταβολή ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης πίεσης καύσης

## 5.2.2 Θερμοκρασία αέρα Σάρωσης – Μέγιστη πίεση καύσης

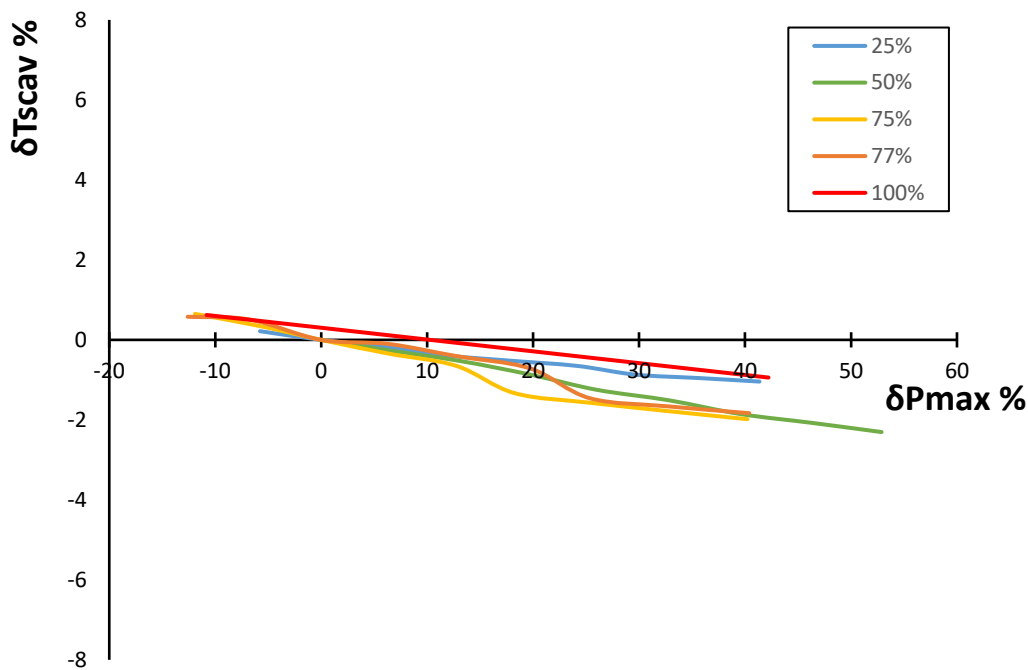
Στο σχήμα 5.2.2 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας αέρα σάρωσης .

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.28% και 0.41% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.26% και 0.40% αντίστοιχα.

Στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.41% και 0.67% αντίστοιχα ,ενώ για

μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.60 % και 0.83% αντίστοιχα.

Στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.01% και 0.14% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.60% και 0.75% αντίστοιχα.



Σχήμα 5.2.2 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας αέρα σάρωσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης πίεσης καύσης

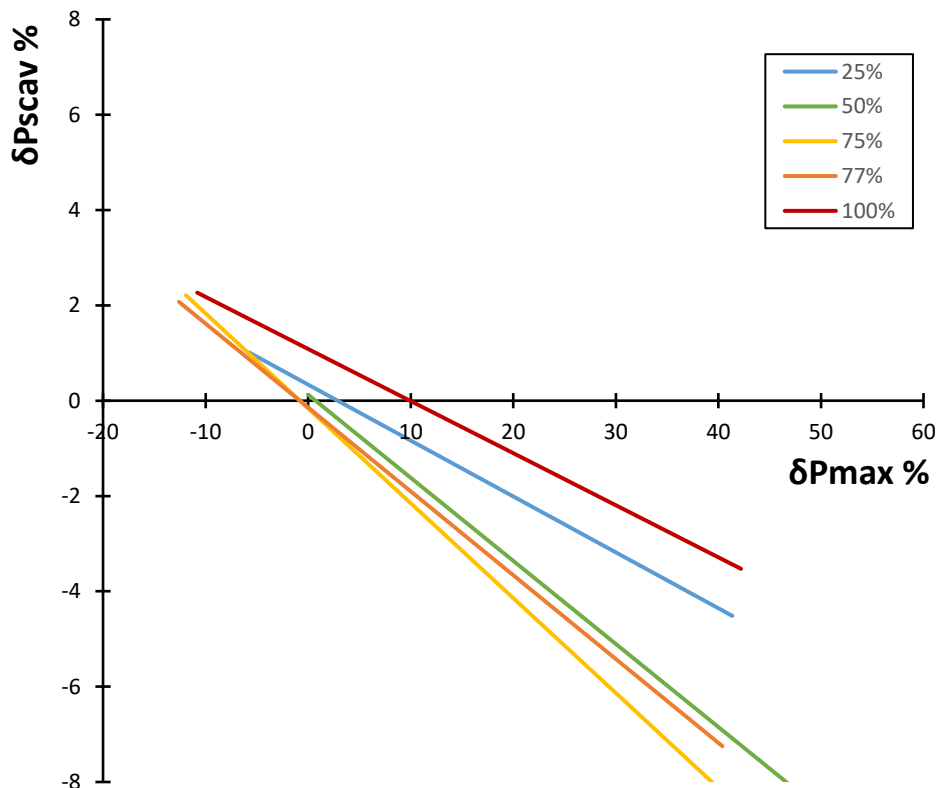
### 5.2.3 Πίεση αέρα Σάρωσης – Μέγιστη πίεση καύσης

Στο σχήμα 5.2.3 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της πίεσης αέρα σάρωσης .

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.84% και 1.42% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 1.51% και 2.10% αντίστοιχα.

Στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 1.90% και 2.78% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 1.61 % και 2.50% αντίστοιχα.

Στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 1.40% και 2.14% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 1.56% και 2.31% αντίστοιχα.

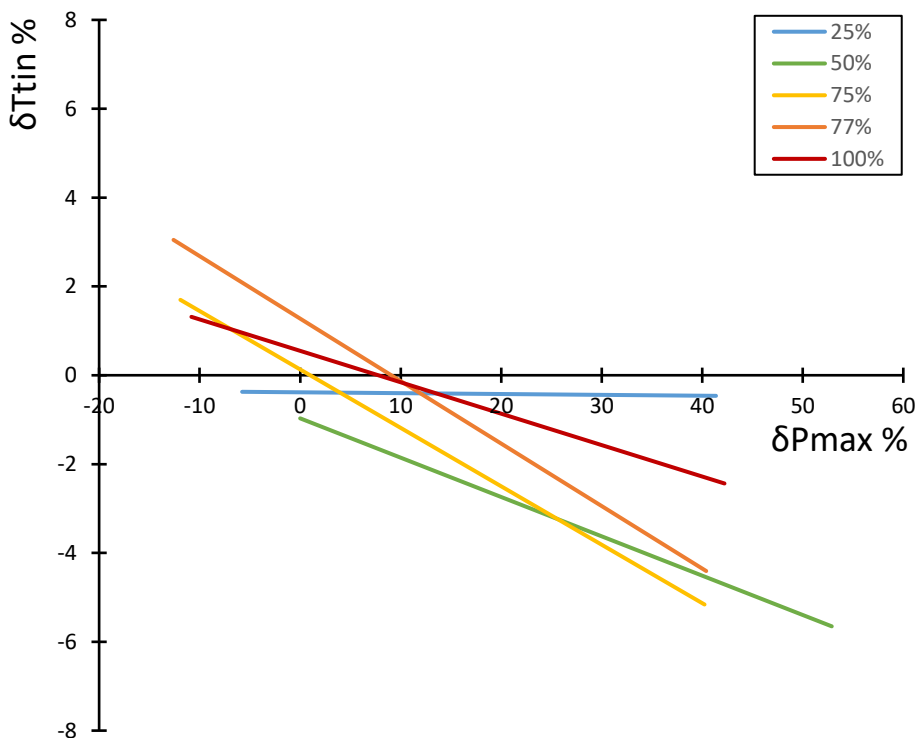


Σχήμα 5.2.3 ποσοστιαία μεταβολή πίεσης αέρα σάρωσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης πίεσης καύσης

## 5.2.4 Θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο – Μέγιστη πίεση καύσης

Στο σχήμα 5.2.4 φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο.

Παρατηρώ ότι στα χαμηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 0.40% και 0.41% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 0.37% και 0.36% αντίστοιχα.Στα μεσαία φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 0.13% και 0.83% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 2.68 % και 3.40% αντίστοιχα.Στα υψηλά φορτία για αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία μειώνεται κατά 0.16% και 0.51% αντίστοιχα ,ενώ για μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης κατά 10% και 15% η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1.26% και 1.61% αντίστοιχα.



Σχήμα 5.2.4 ποσοστιαία μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο συναρτήσει της ποσοστιαίας μεταβολής της μέγιστης πίεσης καύσης

### 5.3 Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι τόσο την 6S70MC-C όσο και στην 6G60ME-C η αύξηση της μέγιστης πίεσης καύσης έχει ως αποτέλεσμα τα ακόλουθα :

- Μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου
- Μείωση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο
- Μείωση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο
- Μείωση της θερμοκρασίας και πίεσης του αέρα σάρωσης
- Μείωση της θερμοκρασίας καυσαερίων στον κύλινδρο

Από την άλλη πλευρά , η μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης έχει ως αποτέλεσμα τα ακόλουθα :

- Αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου
- Αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο
- Αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο
- Αύξηση της θερμοκρασίας και πίεσης του αέρα σάρωσης
- Αύξηση της θερμοκρασίας καυσαερίων στον κύλινδρο

## **6. Βαθμός απόδοσης Στροβίλου και Συμπιεστή**

### **6.1 Εισαγωγή**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε την επίδραση που έχει η μείωση του βαθμού απόδοσης του υπερπληρωτή στην ειδική κατανάλωση καυσίμου , την πίεση αέρα σάρωσης , την θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου , την θερμοκρασία των καυσαερίων κατά την είσοδο τους στον στρόβιλο και την ταχύτητα περιστροφής του ζεύγους στροβιλο-συμπιεστή(υπερπληρωτής).

#### **6.1.1 Πιθανές βλάβες Υπερπληρωτή**

Ο υπερπληρωτής χρησιμοποιείται για να αυξήσει την απόδοση του κινητήρα παρέχοντας τον συμπιεσμένο αέρα σε ορισμένες πιέσεις στον κινητήρα. Ο υπερπληρωτής μετατρέπει την απορριπτόμενη θερμότητα από τα καυσαέρια στη μηχανική ενέργεια για την οδήγηση του συμπιεστή. Πολλές φορές ο βαθμός απόδοσης του υπερπληρωτή επηρεάζεται αρνητικά από κάποιες ρυθμίσεις η βλάβες ,κάποιες από τις οποίες είναι οι εξής [11]:

#### **Η θερμοκρασία καυσαερίων είναι πολύ υψηλή**

Αιτίες :

- Μπορεί να υπάρχουν σφάλματα στο σύστημα ψεκασμού καυσίμου κινητήρα π.χ περισσότερη έγχυση καυσίμου
- Ανεπαρκής αέρας καύσης στο θάλαμο καύσης.
- Η πίεση αντίθλιψης των καυσαερίων είναι πολύ υψηλή. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε υψηλές αποθέσεις άνθρακα στον αγωγό καυσαερίων



- Η λεπίδα του στροβίλου έχει υποστεί ζημιά ή έχει διαβρωθεί
- Ανεπαρκής αερισμός γύρω από τον υπερπληρωτή

### **Δονήσεις του υπερπληρωτή**

Αιτίες :

- Ο ρότορας του υπερπληρωτή δεν είναι ισορροπημένος λόγω της μεγάλης μόλυνσης των πλευρών του συμπιεστή και των στροβίλων.
- Ένα από τα πτερύγια του στροβίλου μπορεί να έχει σπάσει ή να διαβρωθεί πάρα πολύ, πράγμα που μπορεί να προκαλέσει την έλλειψη ισορροπίας του ρότορα λόγω της μεταβολής της φυγόκεντρης δύναμης που ενεργεί σε διάφορες λεπίδες κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

### **“SURGING” του υπερπληρωτή**

Αιτίες :

- Αυξημένη μείωση της ροής λόγω βρωμιάς στο τροφοδοτικό ψυγεία αέρα ή βαριές εναποθέσεις βρωμιάς στα πτερύγια του συμπιεστή και του στροβίλου.
- Άυξηση της πίεσης καυσαερίων μετά τον στρόβιλο επειδή ο σιγαστήρας καυσαερίων είναι βρώμικος.

### **Η πίεση του αέρα πλήρωσης είναι πολύ μεγάλη**

Αιτίες:

- Η μηχανή λειτουργεί σε πολύ μεγάλα φορτία
- Κακή προσαρμογή του συστήματος έγχυσης καυσίμου

### 6.1.2 Υπολογισμός βαθμού απόδοσης στα διαγράμματα

Στα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν θα υπάρχουν τρεις καμπύλες στο κάθε ένα που η κάθε μία θα εκφράζει την πτώση του βαθμού απόδοσης του υπερπληρωτή αλλά με διαφορετικό τρόπο στην κάθε περίπτωση ο οποίος θα είναι :

- Με μείωση μόνο του βαθμού αποδοσης του στροβίλου , ενώ ο βαθμός απόδοσης του συμπιεστή παραμένει σταθερός και ίσος με 100%
- Με μείωση μόνο του βαθμού αποδοσης του συμπιεστή , ενώ ο βαθμός απόδοσης του στροβίλου παραμένει σταθερός και ίσος με 100%
- Με μείωση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου και του συμπιεστή κατά ίδιο ποσοστό

Για να επιτευχθεί ίδιος βαθμός απόδοσης και με τους τρεις παραπάνω τρόπους θα κάνουμε χρήση της σχέσης  $n_C \times n_T = n_{total}$  . Καταλαβαίνουμε έτσι ότι για τις δύο πρώτες περιπτώσεις όταν ο βαθμός του στροβίλου ή του συμπιεστή παραμένει σταθερός και ίσος με 100% τότε ο συνολικός βαθμός απόδοσης ισούται με τον βαθμό απόδοσης του συμπιεστή ή του στροβίλου αντίστοιχα.

Για τη τρίτη περίπτωση κάνουμε το εξής :  $n_C = n_T$  ,  $n_C^2 = n_{total}$  άρα

$$n_C = n_T = \sqrt{n_{total}} .$$

Επομένως πετύχαμε με τρεις διαφορετικούς τρόπους πτώση του συνολικού βαθμού απόδοσης κατά το ίδιο ποσοστό.

## 6.2 Πτώση βαθμού απόδοσης Στροβίλου-Συμπιεστή στην 6S70MC-C

Η προσομοίωση έγινε στα φορτία 25% , 50% , 75% , 100% και 110% .

Στο σχήμα 6.2 φαίνεται η διαδικασία προσαρμογής του βαθμού απόδοσης του στροβίλου και του συμπιεστή ή και των δύο πριν από την προσομοίωση. Στην συνέχεια απλά καλούμαστε να ορίσουμε το φορτίο λειτουργίας , κάτι το οποίο έχει διατυπωθεί εκτενώς σε προηγούμενα κεφάλαια και τέλος εκτελούμε την προσομοίωση.

| ENGINE COMPONENT CONDITION    |       |        |   |
|-------------------------------|-------|--------|---|
| <b>Cylinder Condition</b>     |       |        |   |
| Compression Condition (%)     | 100.0 | ◀      | ▶ |
| Exhaust Port Condition (%)    | 100.0 | ◀      | ▶ |
| <b>Fuel System</b>            |       |        |   |
| Injector Condition (%)        | 100.0 | ◀      | ▶ |
| Fuel Pump Condition (%)       | 100.0 | ◀      | ▶ |
| <b>Air Induction System</b>   |       |        |   |
| Compressor Condition (%)      | 100.0 | ◀      | ▶ |
| Air Cooler Efficiency (%)     | 100.0 | ◀      | ▶ |
| Air Cooler Pressure Drop (%)  | 100.0 | ◀      | ▶ |
| Air Filter Condition (%)      | 100.0 | ◀      | ▶ |
| <b>Exhaust System</b>         |       |        |   |
| Turbine Condition (%)         | 100.0 | ◀      | ▶ |
| Turbine Inlet Nozzle Area (%) | 100.0 | ◀      | ▶ |
| Exhaust Pipe Condition (%)    | 100.0 | ◀      | ▶ |
| Next                          |       | Cancel |   |

Σχήμα 6.2 προσαρμογή βαθμού απόδοσης στροβίλου και συμπιεστή πριν από την προσομοίωση

### **6.2.1 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη ειδική κατανάλωση καυσίμου**

Στα διαγράμματα 6.2.1α , 6.2.1β , 6.2.1γ , 6.2.1δ , 6.2.1ε και 6.2.1ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5% , 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%*

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Για φορτίο 45-70% στην καμπύλη στροβίλου και στην καμπύλη συμπιεστή η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 0.10% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Για φορτίο 25-65% στην καμπύλη στροβίλου η ειδική κατανάλωση μειώνεται κατά 0.20% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό.

Η καμπύλη συμπιεστή ταυτίζεται με την καμπύλη υπερπληρωτή.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

Για φορτίο 25-70% και φορτίο 70-90% στην καμπύλη στροβίλου η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 0.30%-1% και 0.20% αντίστοιχα σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή, ενώ για φορτίο 90-110% οι καμπύλες ταυτίζονται.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25-40% στην καμπύλη συμπιεστή η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 0.10-0.20% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5%*

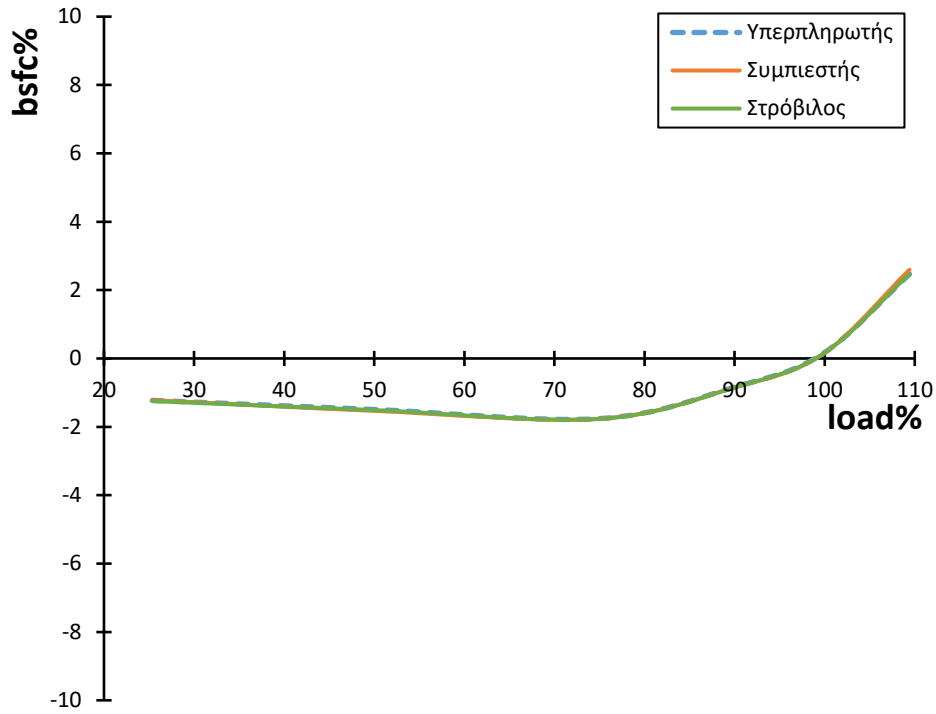
Για φορτίο 25-75% και φορτίο 75-110% στην καμπύλη στροβίλου η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 0.30%-1.10% και 0.05-0.28% αντίστοιχα σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25%-60% στην καμπύλη συμπιεστή η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 0.38% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

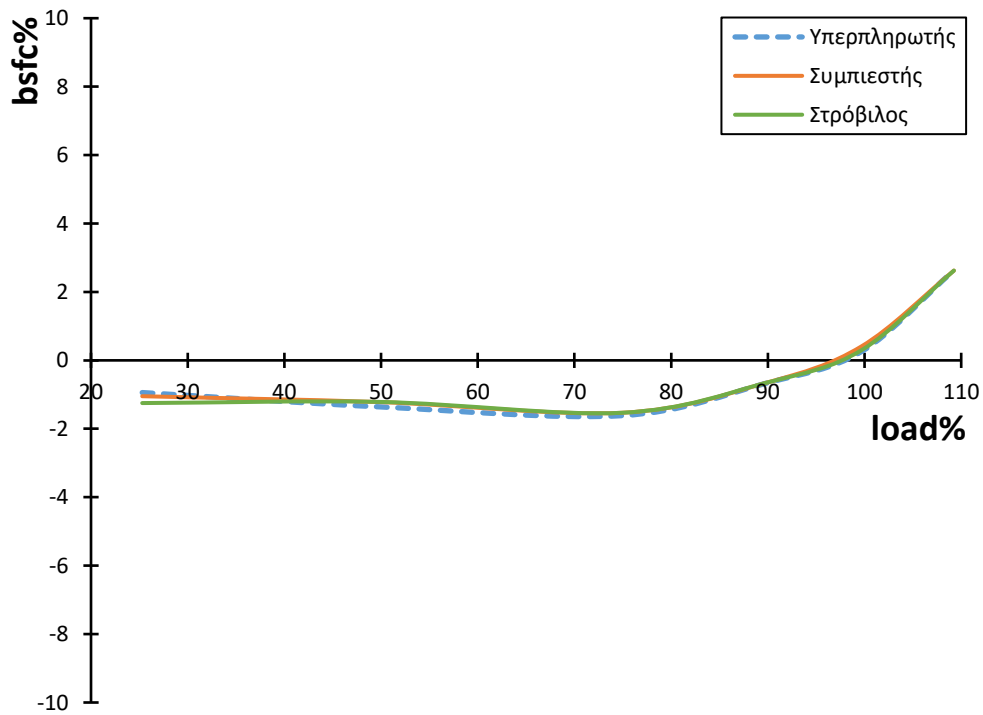
- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%*

Για φορτίο 25-70% και φορτίο 70-110% στην καμπύλη στροβίλου η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 0.50-0.90% και 0.30-0.70% αντίστοιχα σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

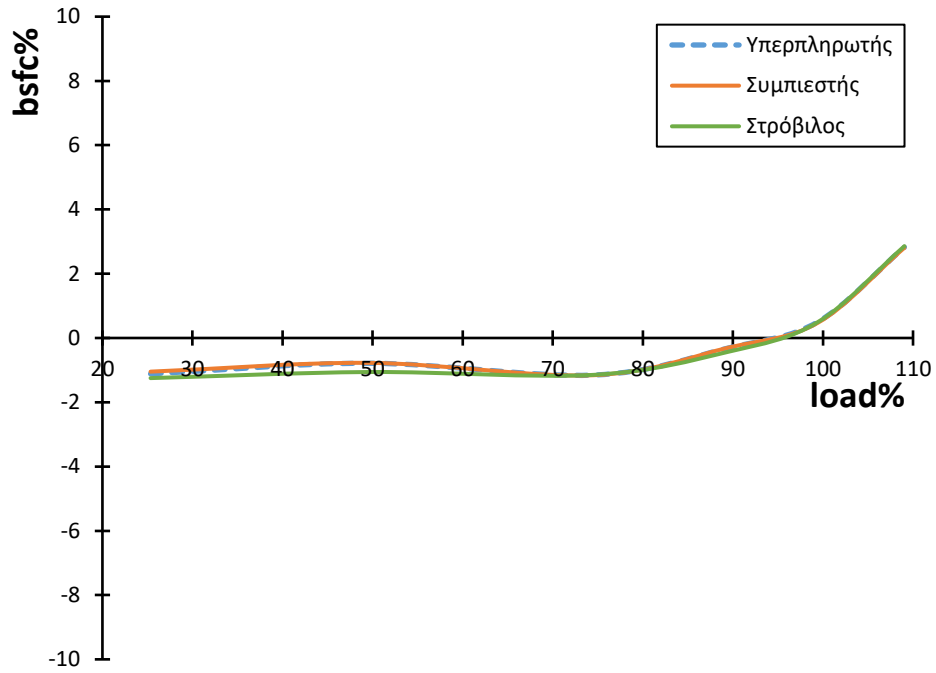
Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25%-70% και φορτίο 70-110% στην καμπύλη συμπιεστή η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 0.20-0.40% και 0.16% αντίστοιχα σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή .



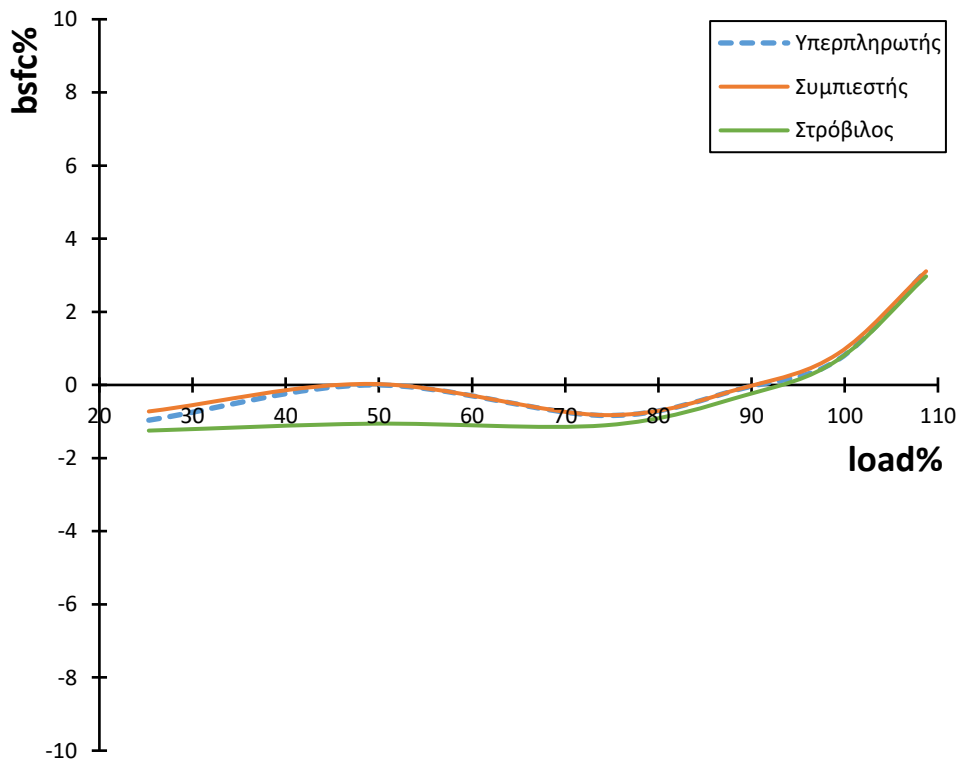
Σχήμα 6.2.1 α πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%



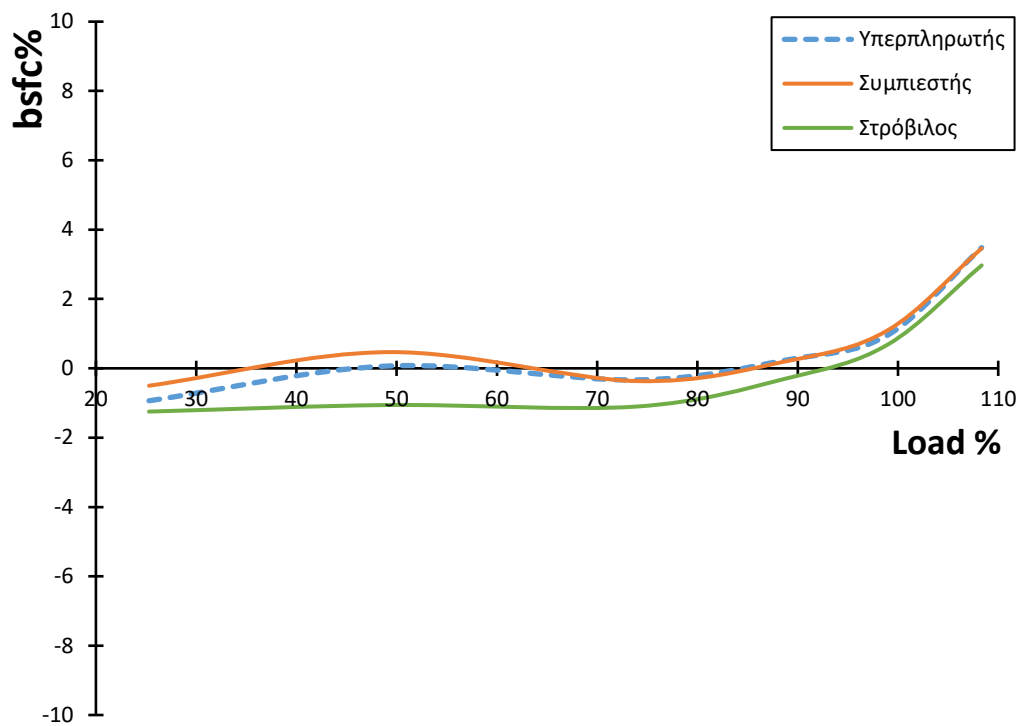
Σχήμα 6.2.1 β πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%



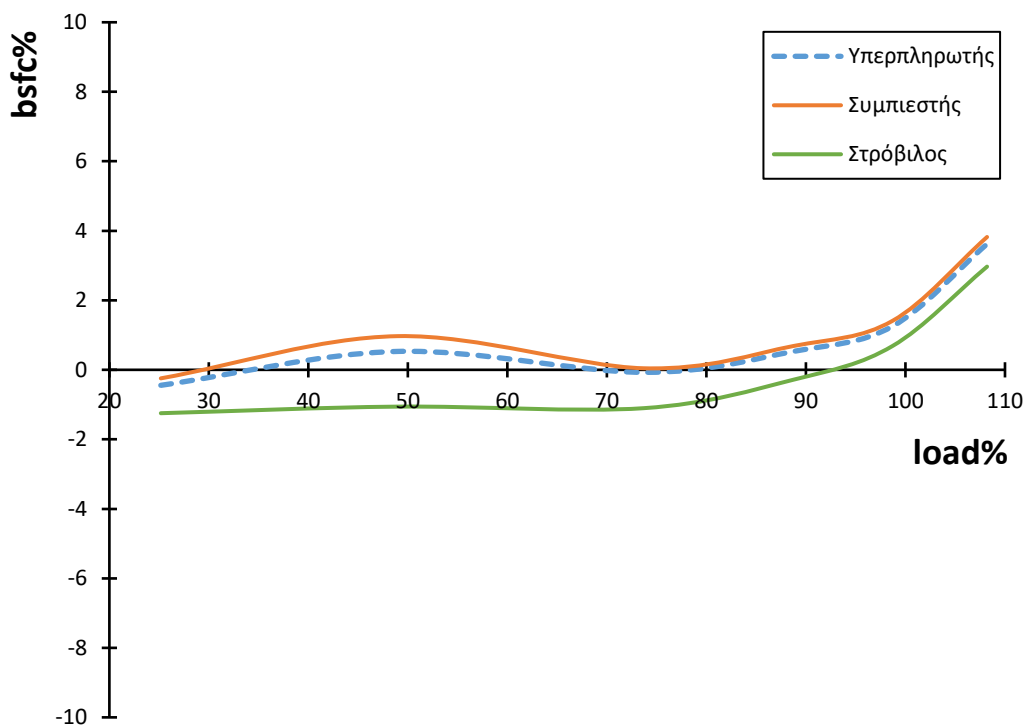
Σχήμα 6.2.1 γ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%



Σχήμα 6.2.1 δ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%



Σχήμα 6.2.1 ε πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5%



Σχήμα 6.2.1 ζ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%



## 6.2.2 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη πίεση αέρα σάρωσης

Στα διαγράμματα 6.2.2α , 6.2.2β , 6.2.2γ , 6.2.2δ , 6.2.2ε και 6.2.2ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5% , 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης αέρα σάρωσης.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%*

Η πίεση αέρα σάρωσης μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Η πίεση αέρα σάρωσης μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Η πίεση αέρα σάρωσης μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

Για φορτίο 25-75% στην καμπύλη στροβίλου η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 1.2%-2% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή, ενώ για φορτίο 75-110% οι καμπύλες ταυτίζονται.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25-110% η καμπύλη συμπιεστή ταυτίζεται με την καμπύλη υπερπληρωτή.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5%*

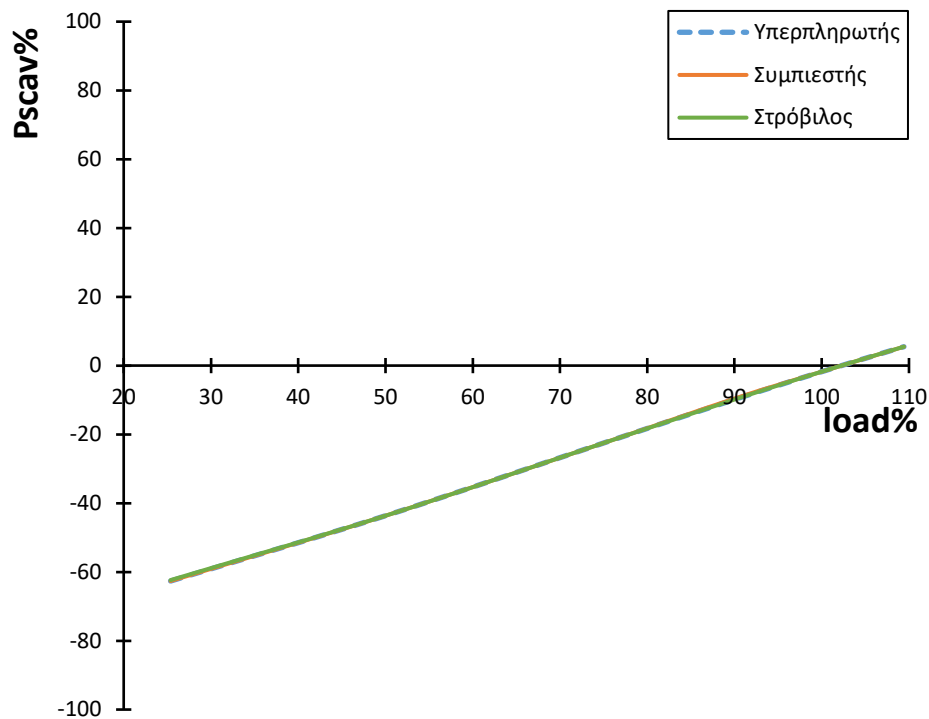
Για φορτίο 25-110% στην καμπύλη στροβίλου η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται σταδιακά κατά 1.5%-3.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25%-75% στην καμπύλη συμπιεστή η πίεση αέρα σάρωσης μειώνεται κατά 0.70-1.10% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

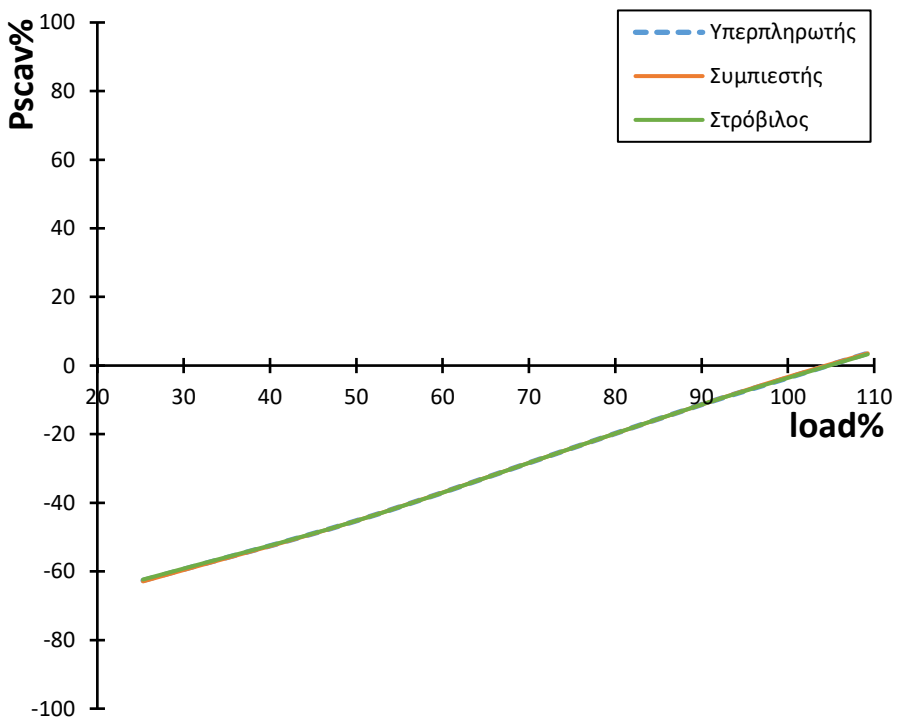
- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%*

Για φορτίο 25-110% στην καμπύλη στροβίλου η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται σταδιακά κατά 1-4.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

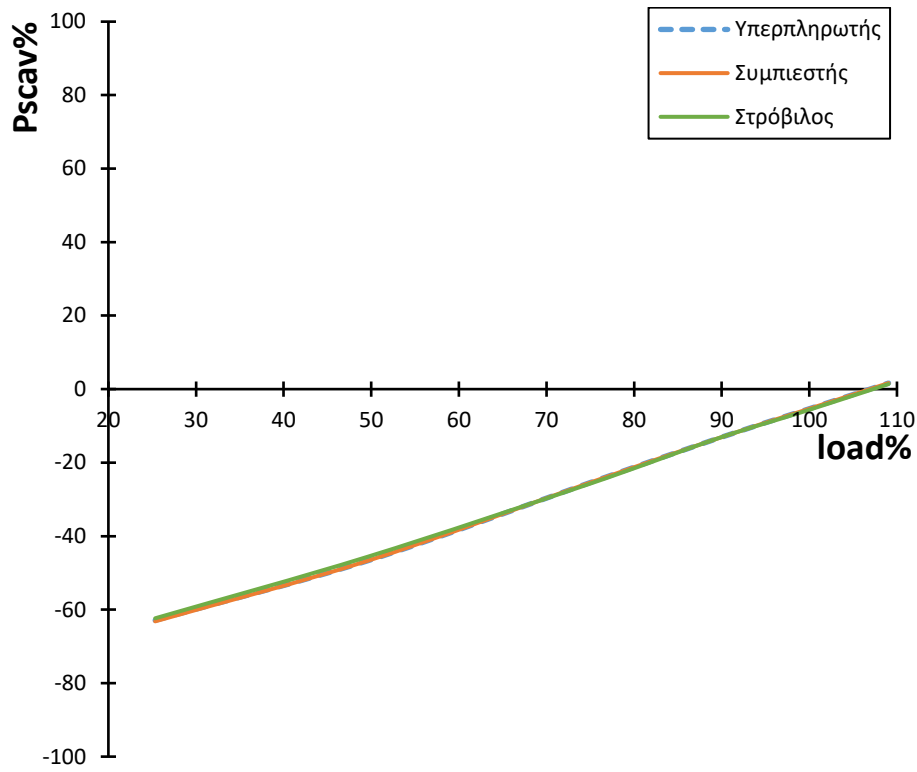
Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25%-75% στην καμπύλη συμπιεστή η πίεση αέρα καύσης αυξάνεται κατά 1.1% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.



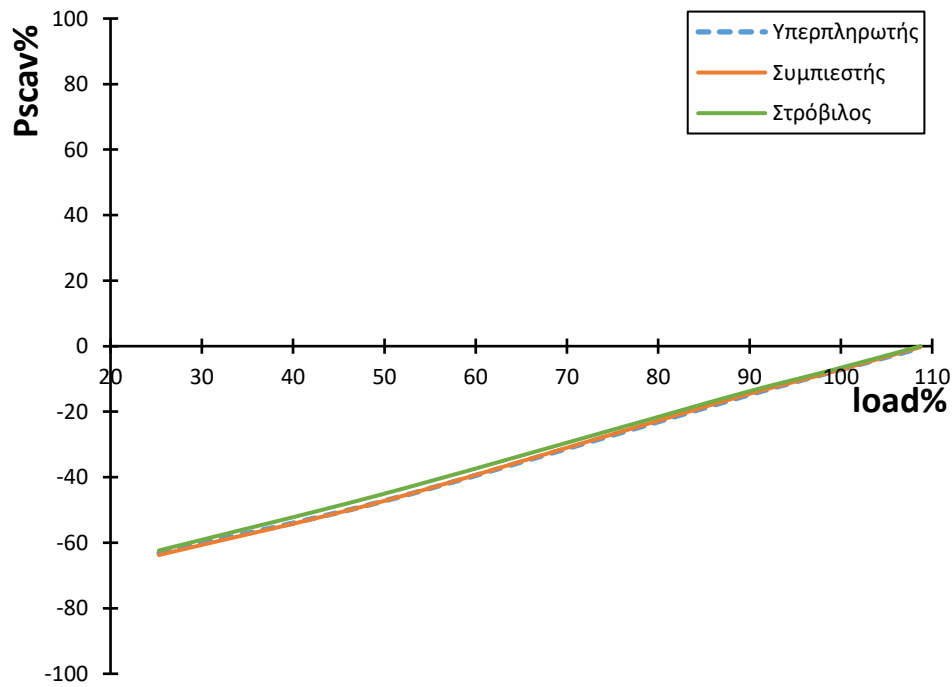
Σχήμα 6.2.2α πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%



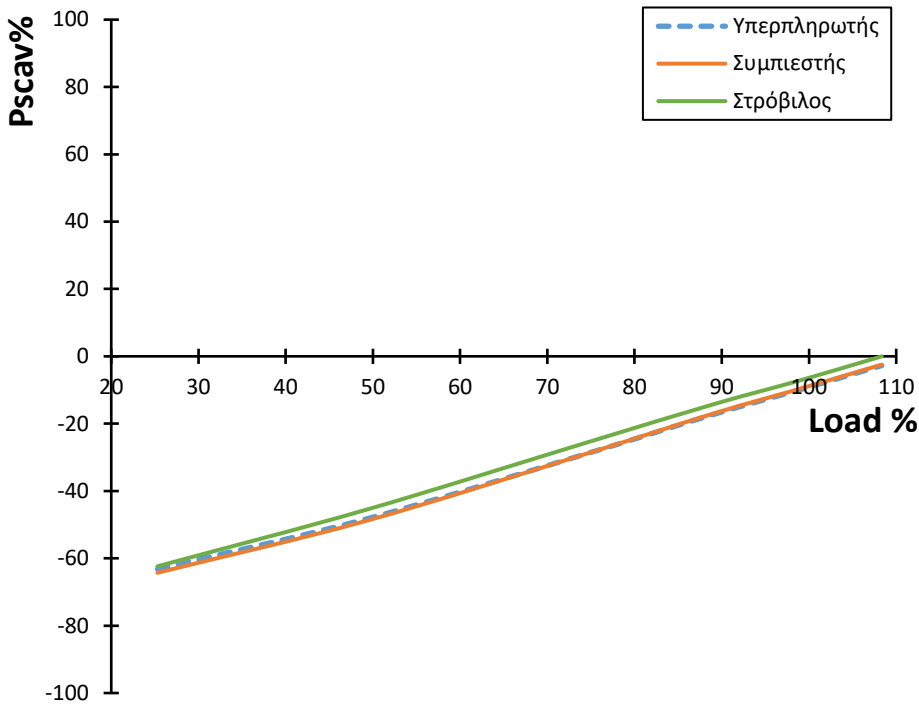
Σχήμα 6.2.2β πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%



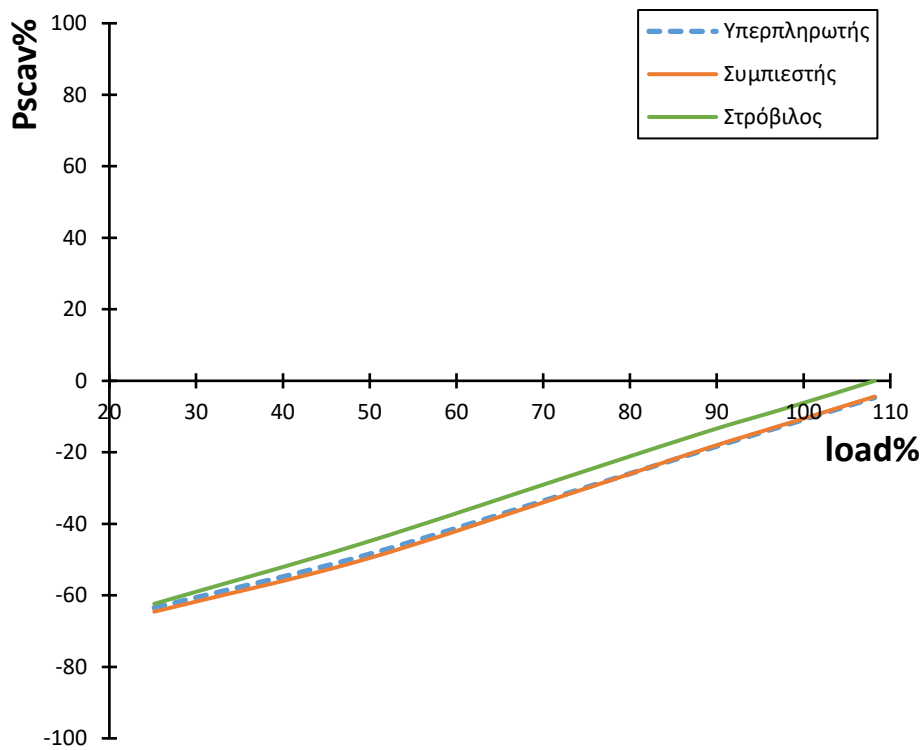
Σχήμα 6.2.2γ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%



Σχήμα 6.2.2δ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%



Σχήμα 6.2.2ε πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5%



Σχήμα 6.2.2ζ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%

### **6.2.3 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου**

Στα διαγράμματα 6.2.3α , 6.2.3β , 6.2.3γ , 6.2.3δ , 6.2.3ε και 6.2.3ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5% , 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίων κυλίνδρου.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%*

Η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Για φορτίο 25-40% στην καμπύλη στροβίλου η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μειώνεται κατά 1.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή, ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται. Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25-110% η καμπύλη συμπιεστή ταυτίζεται με την καμπύλη υπερπληρωτή.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Για φορτίο 25-70% στην καμπύλη στροβίλου η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μειώνεται κατά 2-2.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή, ενώ για τα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται. Για φορτίο 25-40% στην καμπύλη συμπιεστή η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου αυξάνεται κατά 0.70% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή, ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

Για φορτίο 25-110% στην καμπύλη στροβίλου η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μειώνεται κατά 3.5-6.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25-45% στην καμπύλη συμπιεστή η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου αυξάνεται κατά 1-2.5% ε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμου απόδοσης κατά 12.5%*

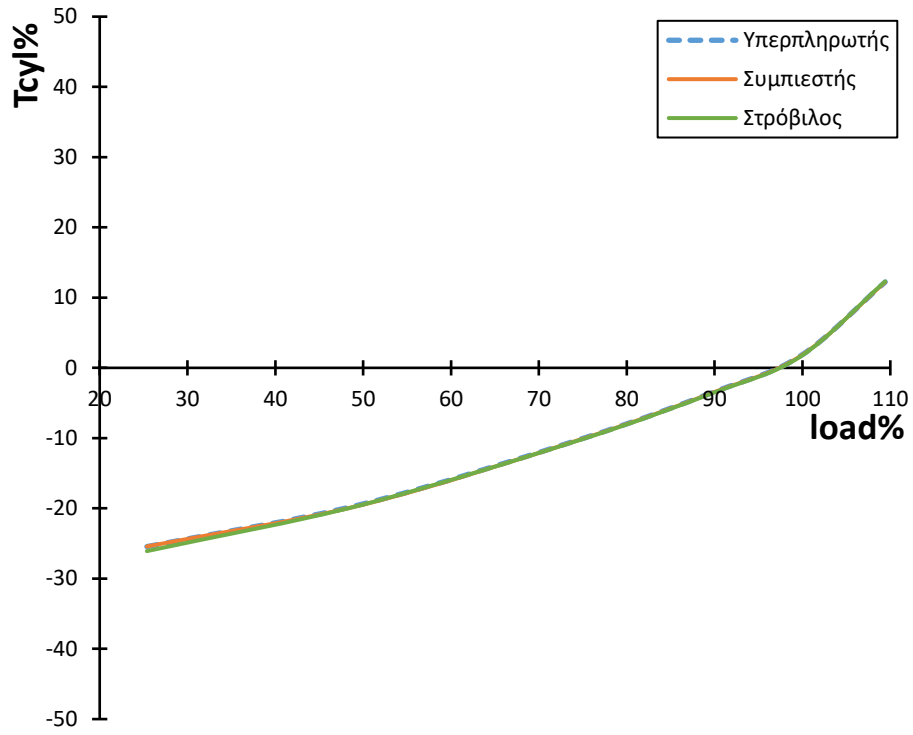
Για φορτίο 25-110% στην καμπύλη στροβίλου η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μειώνεται κατά 2%-6% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25%-75% στην καμπύλη συμπιεστή η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου αυξάνεται κατά 2-5.5% σε σύγκριση με την καμπυλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

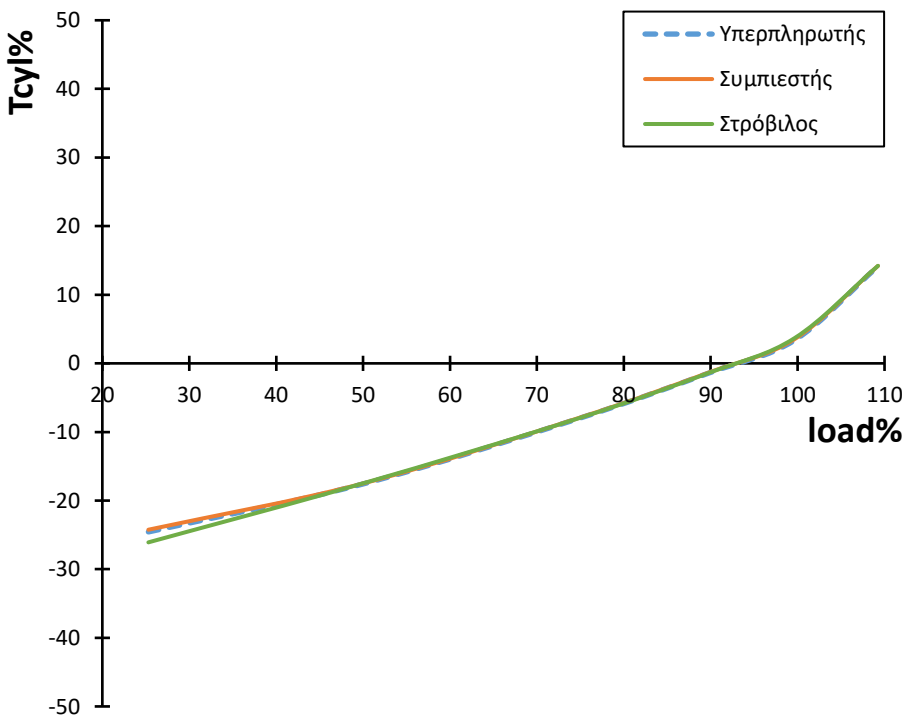
- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%*

Για φορτίο 25-110% στην καμπύλη στροβίλου η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μειώνεται κατά 5.5-8.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25-75% στην καμπύλη συμπιεστή η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου αυξάνεται κατά 1.5-4% σε σύγκριση με την καμπυλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

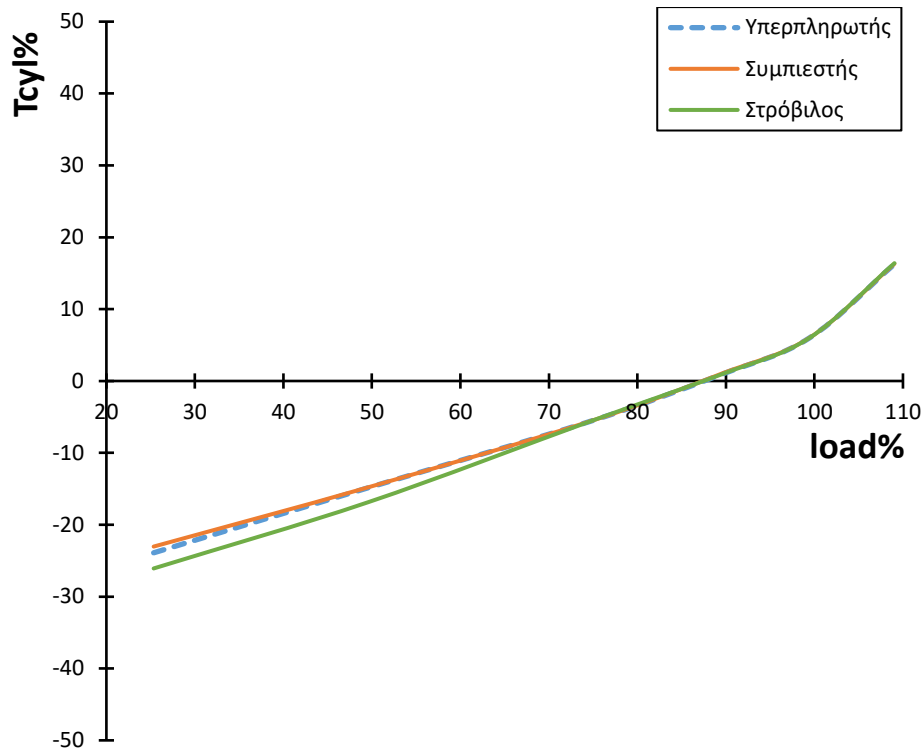


Σχήμα 6.2.3α πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%

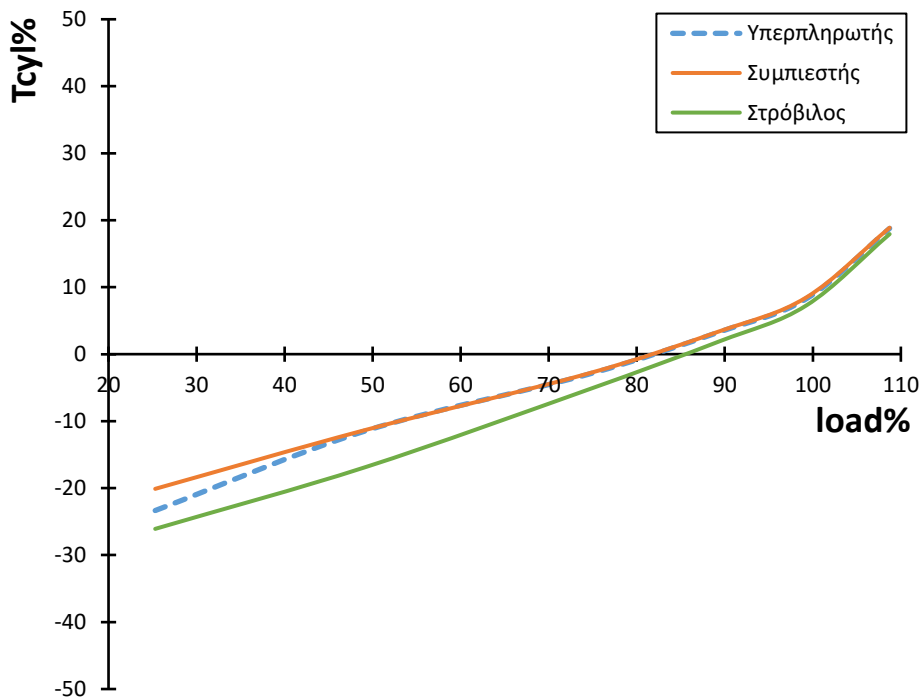


Σχήμα 6.2.3β πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%

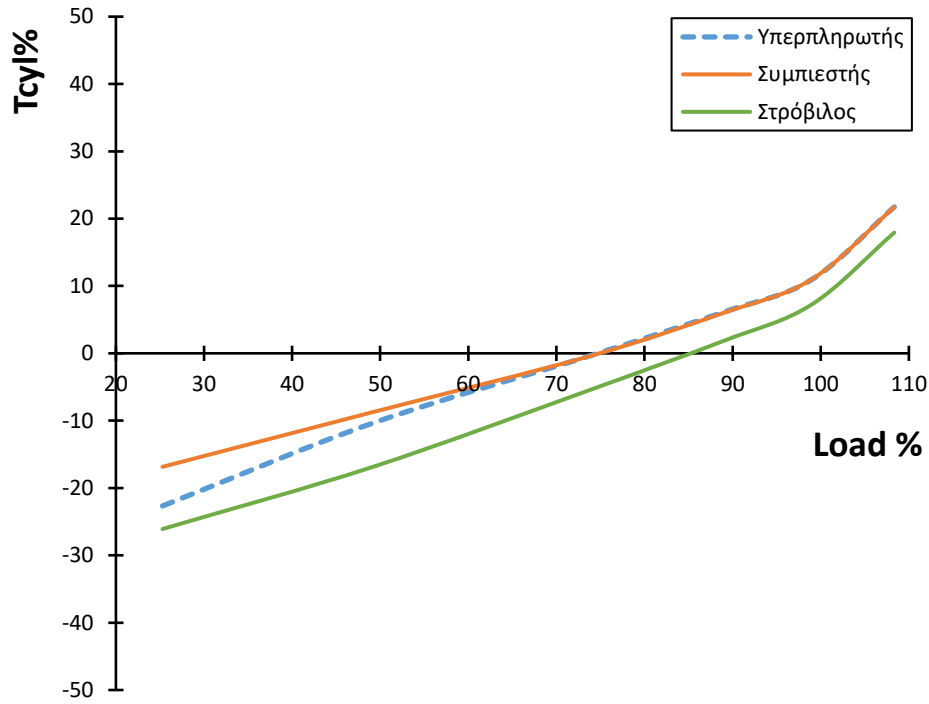




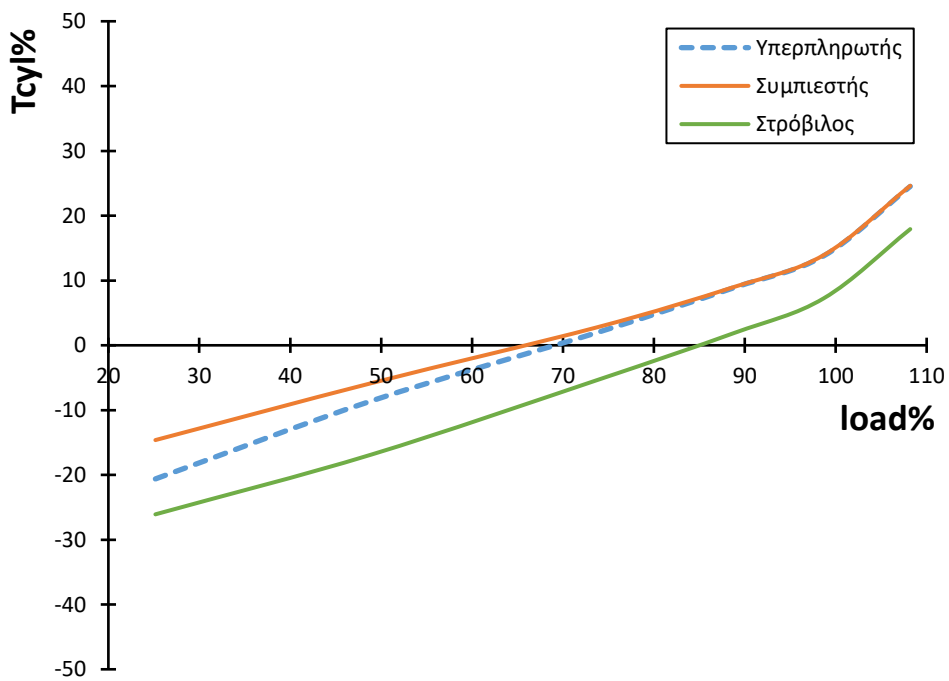
Σχήμα 6.2.3γ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%



Σχήμα 6.2.3δ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10 %



Σχήμα 6.2.3ε πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5 %



Σχήμα 6.2.3ζ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15 %

## 6.2.4 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο

Στα διαγράμματα 6.2.4α , 6.2.4β , 6.2.4γ , 6.2.4δ , 6.2.4ε και 6.2.4ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5% , 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%*

Η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Για φορτίο 25-40% στην καμπύλη στροβίλου η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μειώνεται κατά 1-1.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή, ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται. Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25-110% η καμπύλη συμπιεστή ταυτίζεται με την καμπύλη υπερπληρωτή.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Για φορτίο 25-70% στην καμπύλη στροβίλου η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μειώνεται κατά 2-2.3% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή, ενώ για τα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

Για φορτίο 25-40% στην καμπύλη συμπιεστή η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 0.80% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή, ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

Για φορτίο 25-110% στην καμπύλη στρόβιλου η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μειώνεται κατά 2.5-5.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25-45% στην καμπύλη συμπιεστή η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον συμπιεστή αυξάνεται κατά 1-3% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5%*

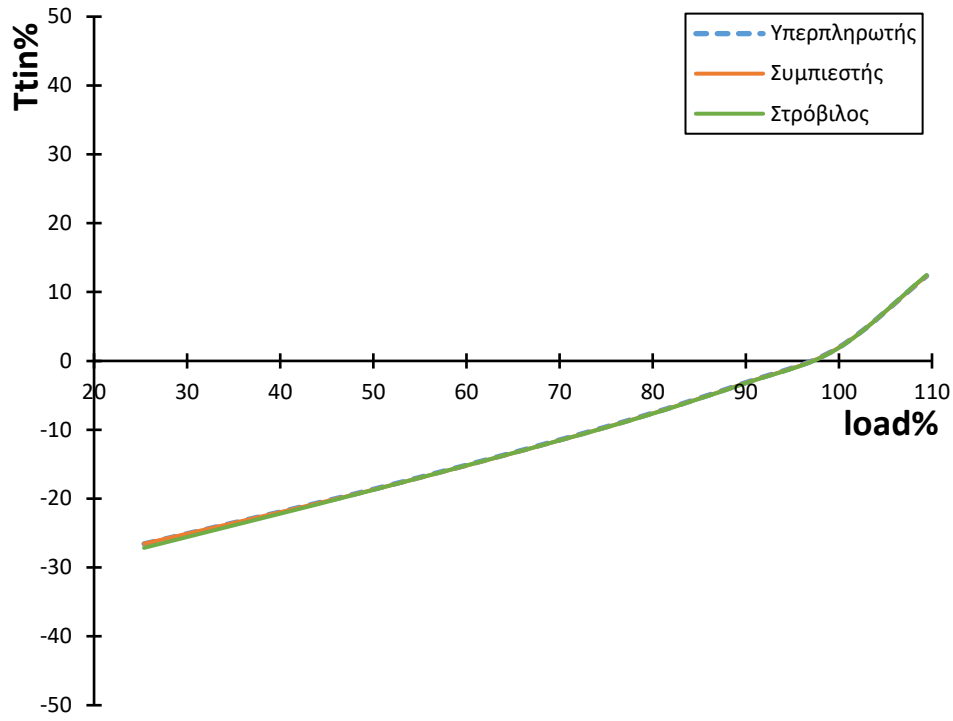
Για φορτίο 25-110% στην καμπύλη στρόβιλου η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μειώνεται κατά 2%-6.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25%-60% στην καμπύλη συμπιεστή η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 2.2-4.5% σε σύγκριση με την καμπυλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

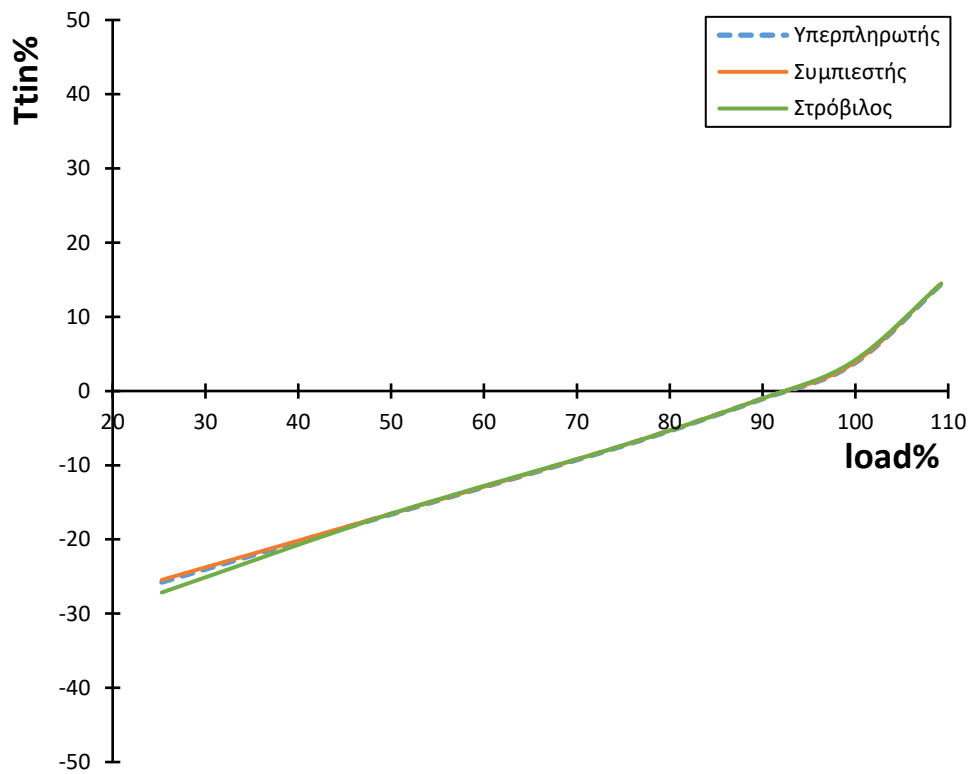
- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%*

Για φορτίο 25-110% στην καμπύλη στρόβιλου η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μειώνεται κατά 5-8% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

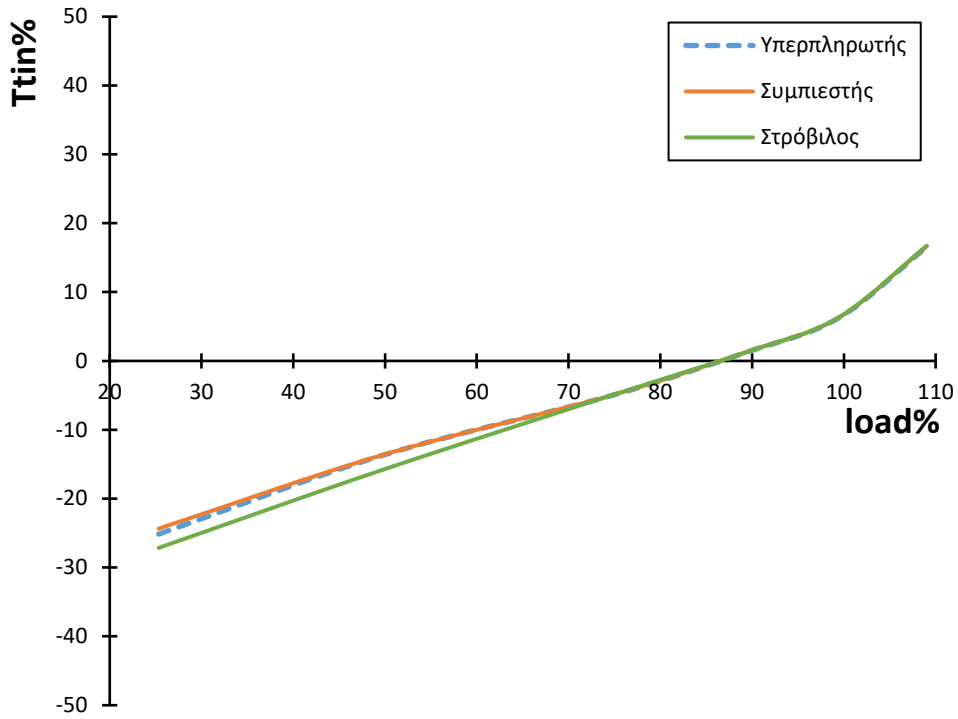
Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25-75% στην καμπύλη συμπιεστή η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 2.5-4% σε σύγκριση με την καμπυλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.



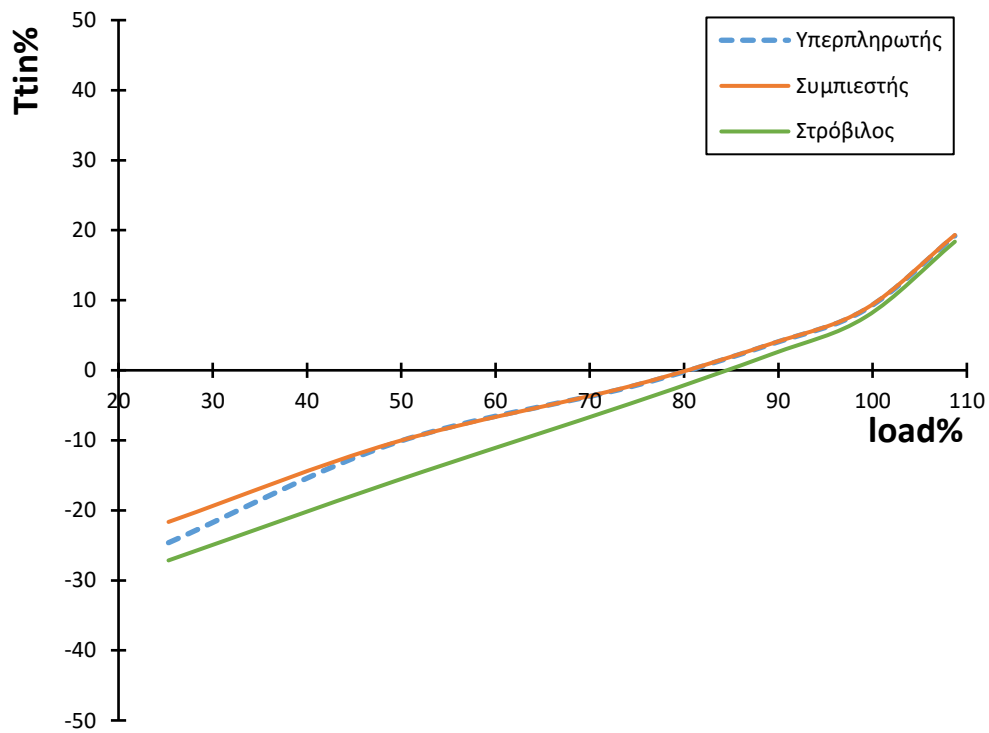
Σχήμα 6.2.4α πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5 %



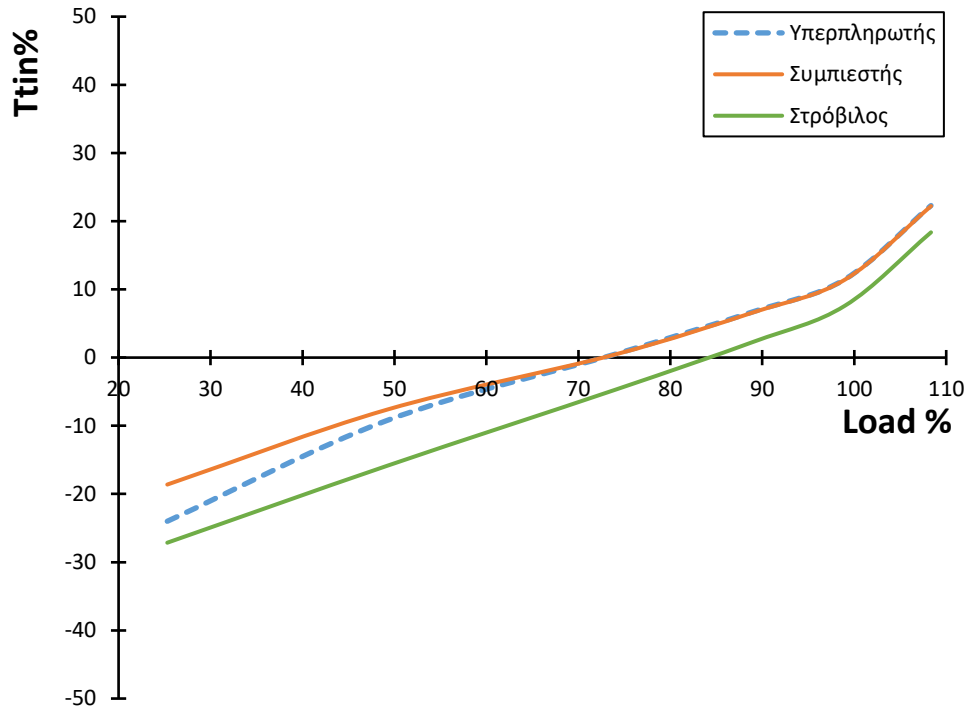
Σχήμα 6.2.4β πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5 %



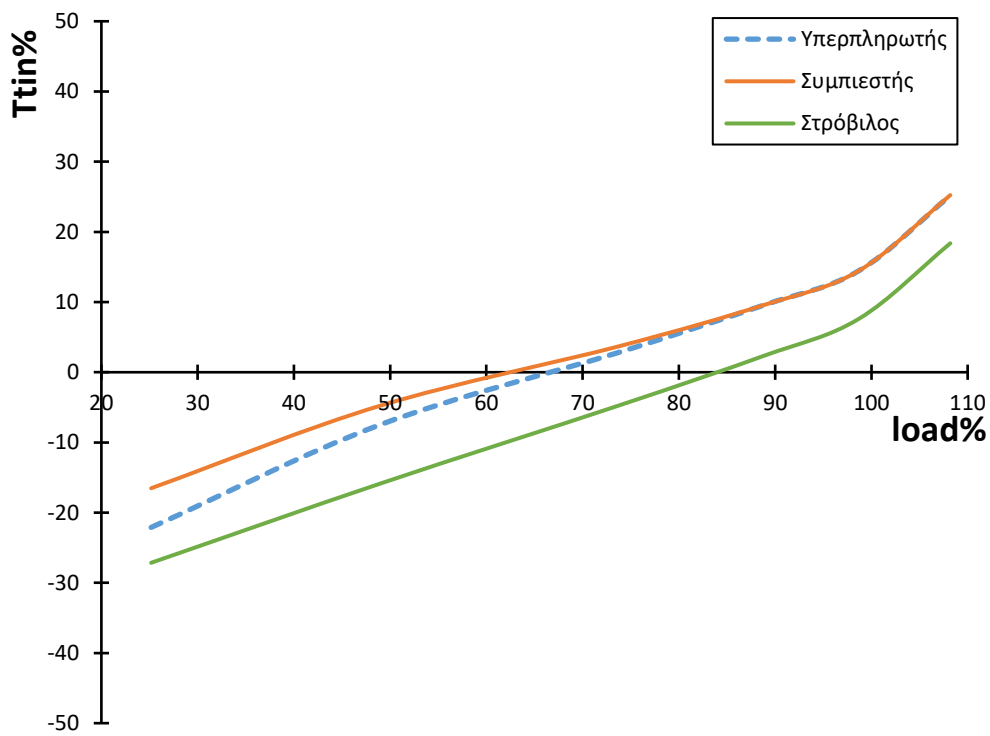
Σχήμα 6.2.4γ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5 %



Σχήμα 6.2.4δ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10 %



Σχήμα 6.2.4ε πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5 %



Σχήμα 6.2.4ε πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15 %

## 6.2.5 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή

Στα διαγράμματα 6.2.4α , 6.2.4β , 6.2.4γ , 6.2.4δ , 6.2.4ε και 6.2.4ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5% , 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%*

Η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

Η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμου απόδοσης κατά 12.5%*



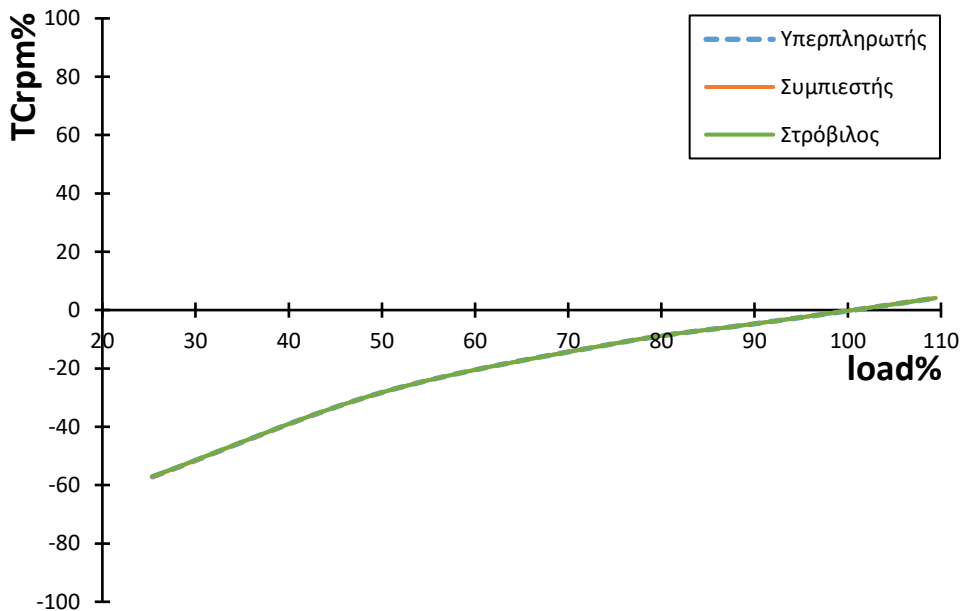
Για φορτίο 25-50% στην καμπύλη στροβίλου η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή αυξάνεται κατά 1% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25%-50% στην καμπύλη συμπιεστή η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μειώνεται κατά 0.80-1.7% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

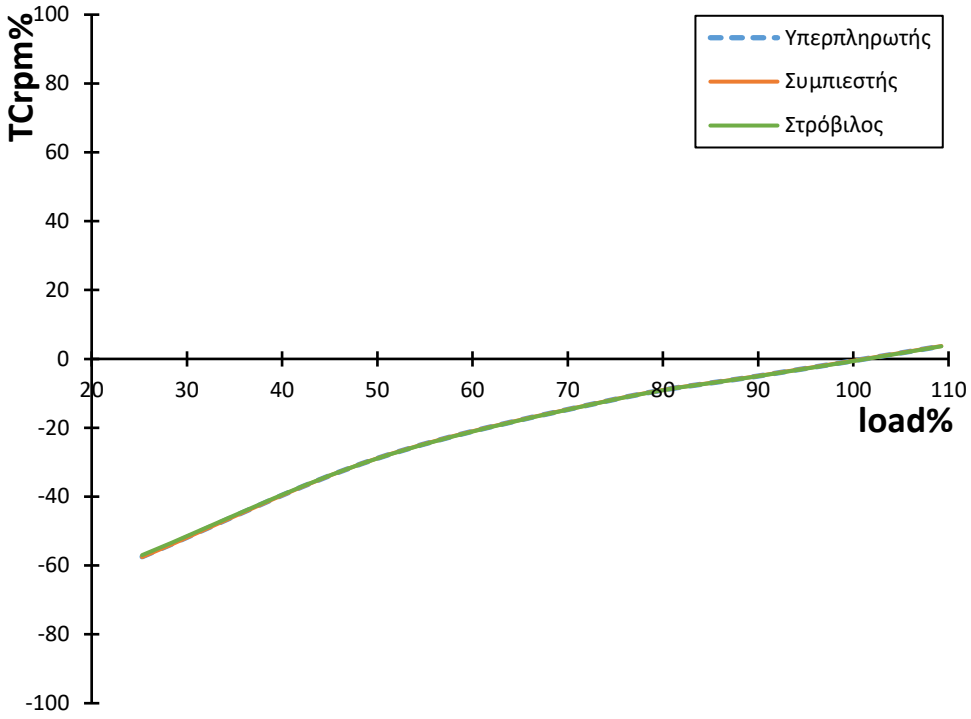
- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%*

Για φορτίο 25-60% στην καμπύλη στροβίλου η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή αυξάνεται κατά 1-2% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή.

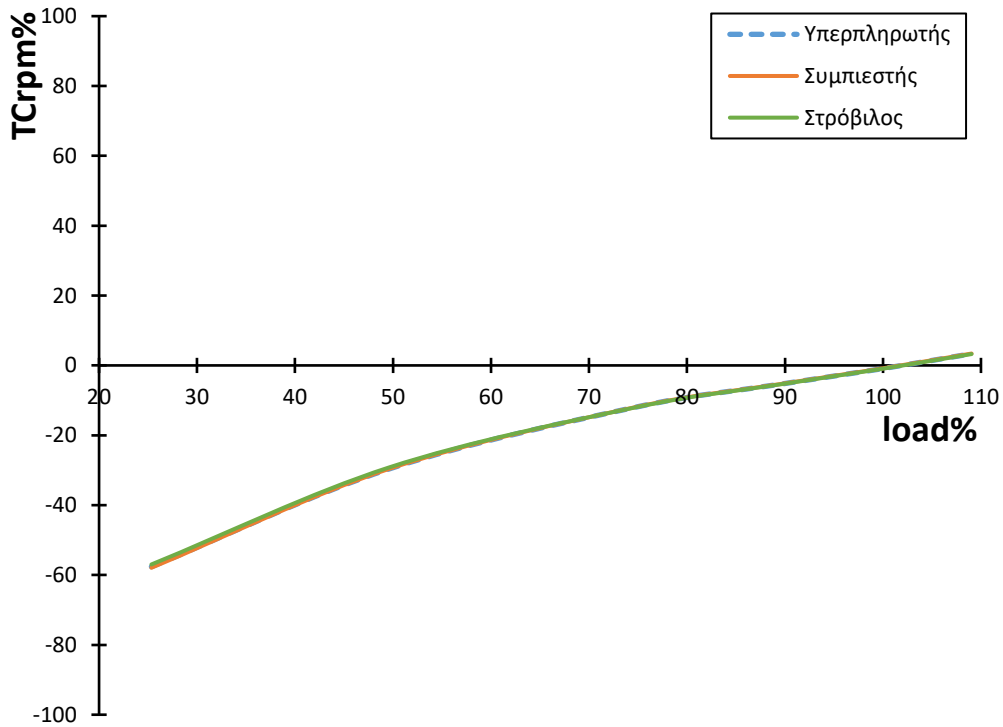
Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 25-60% στην καμπύλη συμπιεστή η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μειώνεται κατά 0.5-1.7% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.



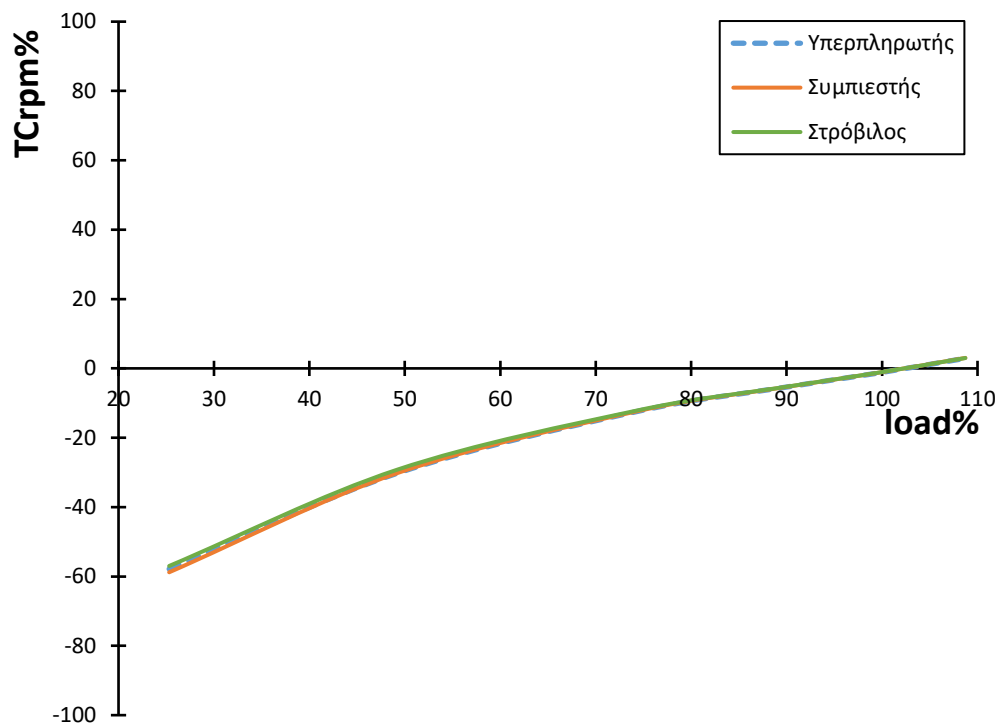
Σχήμα 6.2.5α πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5 %



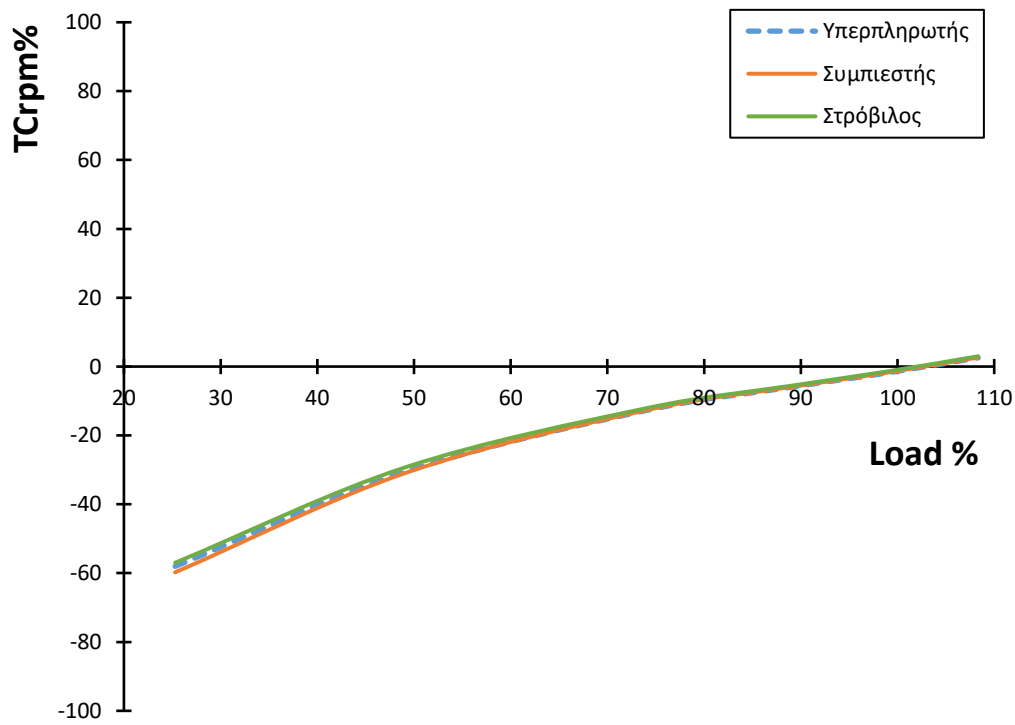
Σχήμα 6.2.5β πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5 %



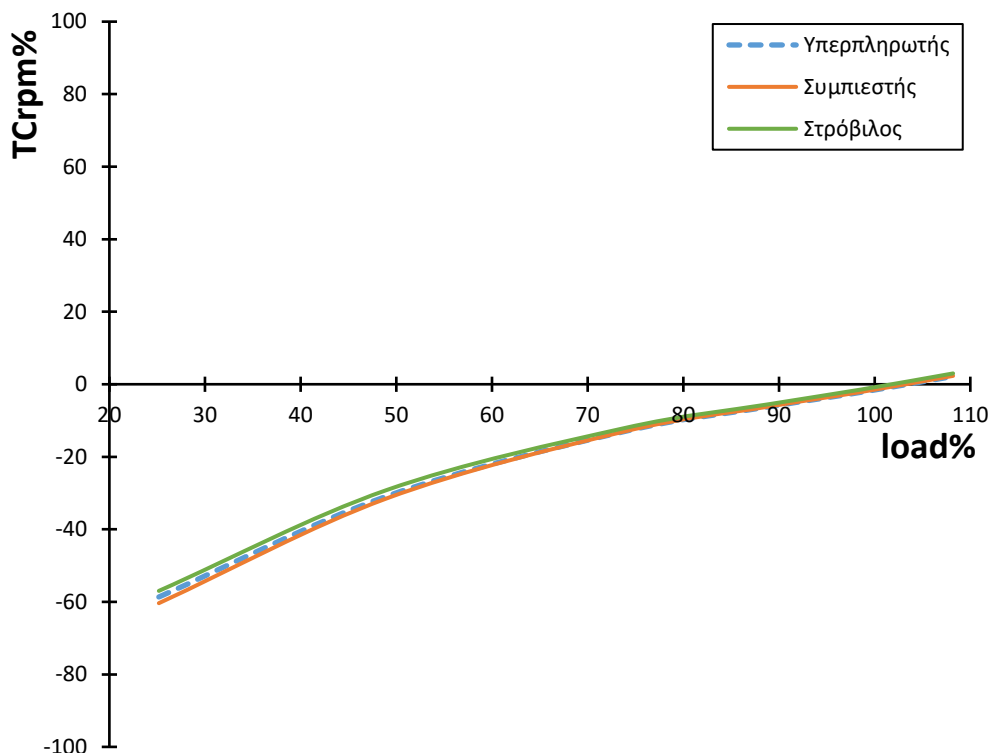
Σχήμα 6.2.5γ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5 %



Σχήμα 6.2.5δ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10 %



Σχήμα 6.2.5ε πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5 %



Σχήμα 6.2.5ζ πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15 %

## 6.2.6 Συμπεράσματα 6S70MC-C

Βλέπουμε ότι όσο μειώνεται ο βαθμός απόδοσης του υπερπληρωτή λόγω του συμπιεστή, η ειδική κατανάλωση καυσίμου, η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου και η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο έχουν την τάση να αυξάνονται σταδιακά σε σύγκριση με την πτώση απόδοσης του βαθμού απόδοσης του υπερπληρωτή κατά ίσο ποσοστό όταν αυτή οφείλεται σε ίση πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου και του συμπιεστή.

Το αντίθετο συμβαίνει μόνο στην ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή και την πίεση αέρα σάρωσης.

Από την άλλη πλευρά όσο μειώνεται ο βαθμός απόδοσης του υπερπληρωτή λόγω του στροβίλου, η ειδική κατανάλωση καυσίμου, η πίεση αέρα σάρωσης, η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου και η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο έχουν την τάση να μειώνονται σταδιακά σε σύγκριση με την πτώση απόδοσης του βαθμού απόδοσης του υπερπληρωτή κατά ίσο

ποσοστό όταν αυτή οφείλεται σε ίση πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου και του συμπιεστή.

Το αντίθετο συμβαίνει μόνο στην ταχύτητα πειστροφής του υπερπληρωτή.

### **6.3 Πτώση βαθμού απόδοσης Στροβίλου-Συμπιεστή στην 6G60ME-C**

Η προσομοίωση έγινε στα φορτία 25% , 50% , 75% , 77% ,100% και 110%.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο λογισμικό είναι ακριβώς η ίδια με το κεφάλαιο 6.2 και έχει περιγραφεί στο εν λόγω κεφάλαιο ήδη.

#### **6.3.1 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη ειδική κατανάλωση καυσίμου**

Στα διαγράμματα 6.3.1α , 6.3.1β , 6.3.1γ , 6.3.1δ , 6.3.1ε και 6.3.1ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5% , 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%*

Για φορτίο 105-110% στην καμπύλη στροβίλου η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται κατά 0.30% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 35-70% και φορτίο 105-110% στην καμπύλη συμπίεστή η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται κατά 0.50% και αυξάνεται κατά 0.30% αντίστοιχα σε σύγκριση με την καμπυλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

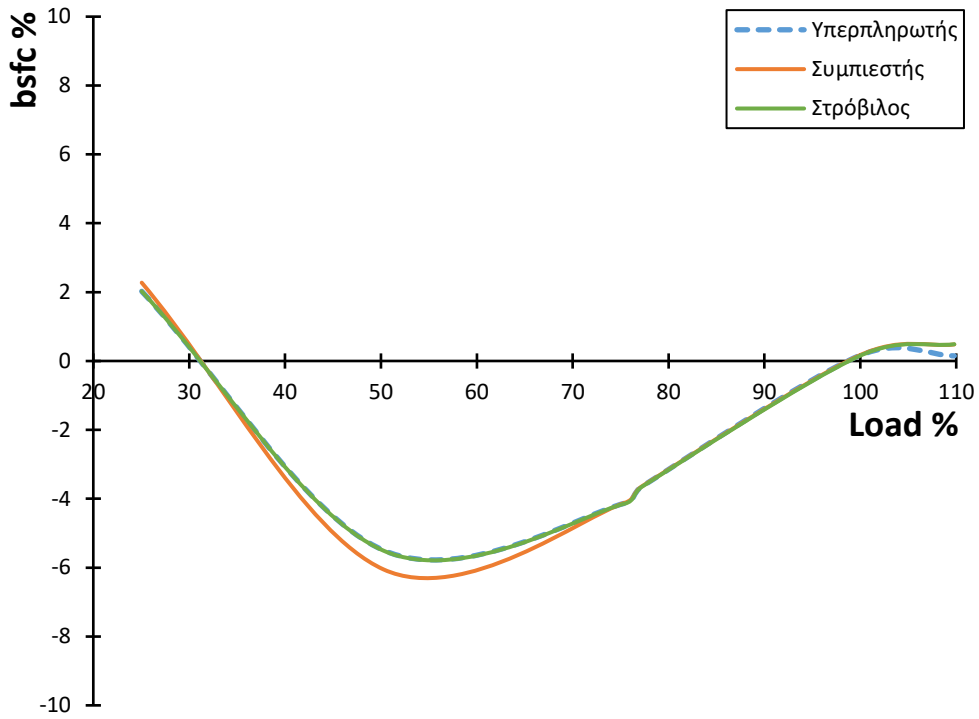
Η ειδική κατανάλωση καυσίμου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5%*

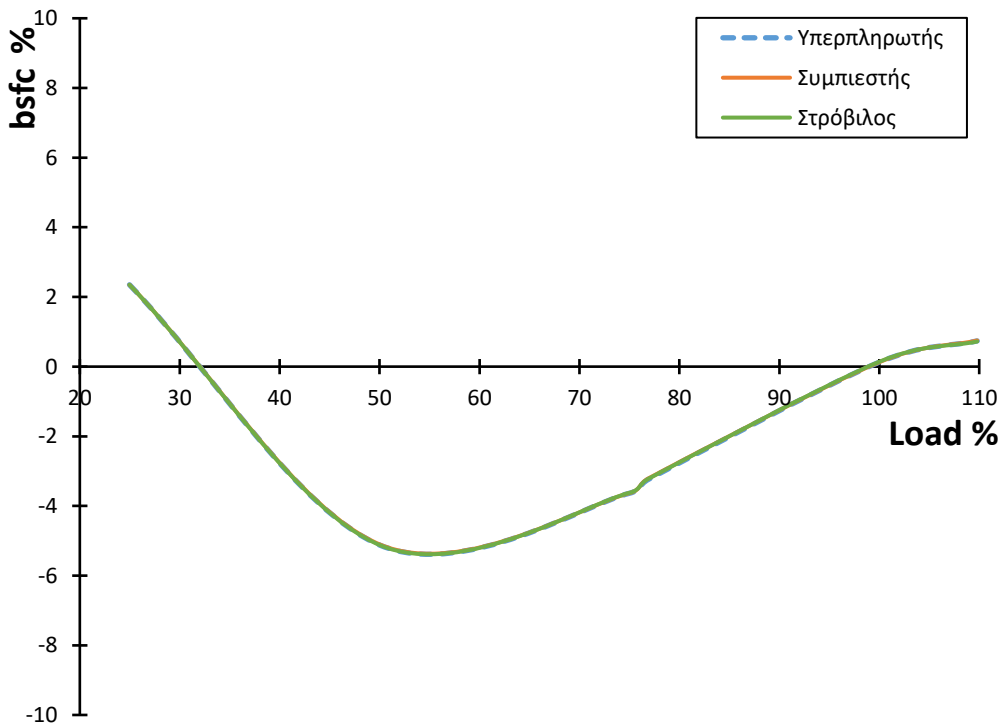
Η ειδική κατανάλωση καυσίμου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%*

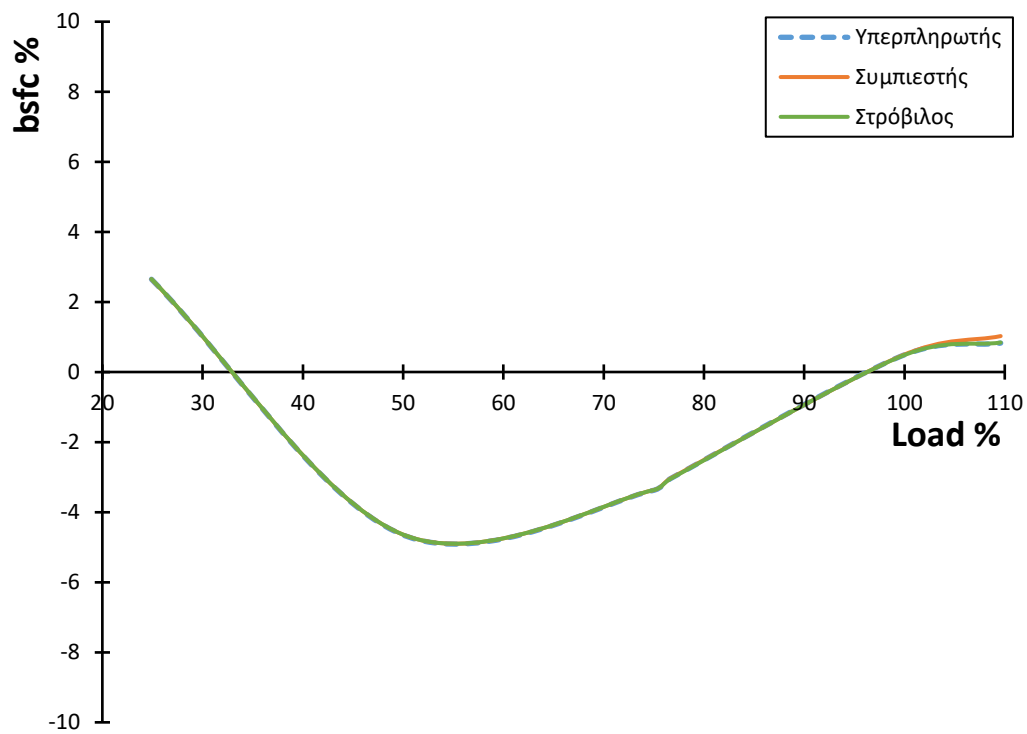
Η ειδική κατανάλωση καυσίμου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.



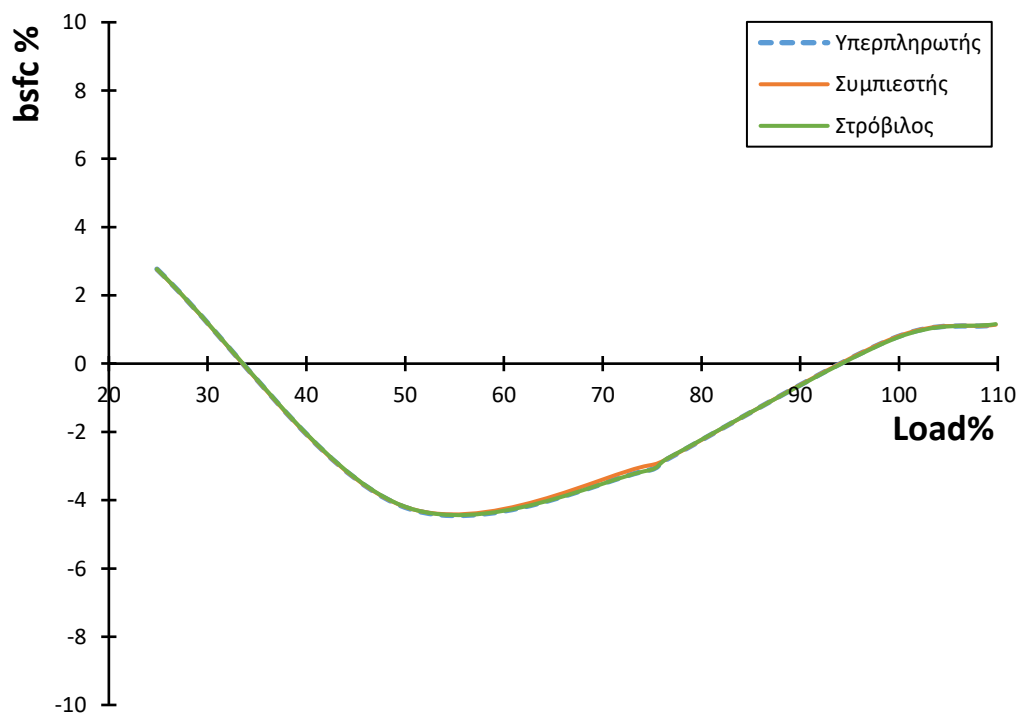
Σχήμα 6.3.1α Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 2.5%



Σχήμα 6.3.1β Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 5%

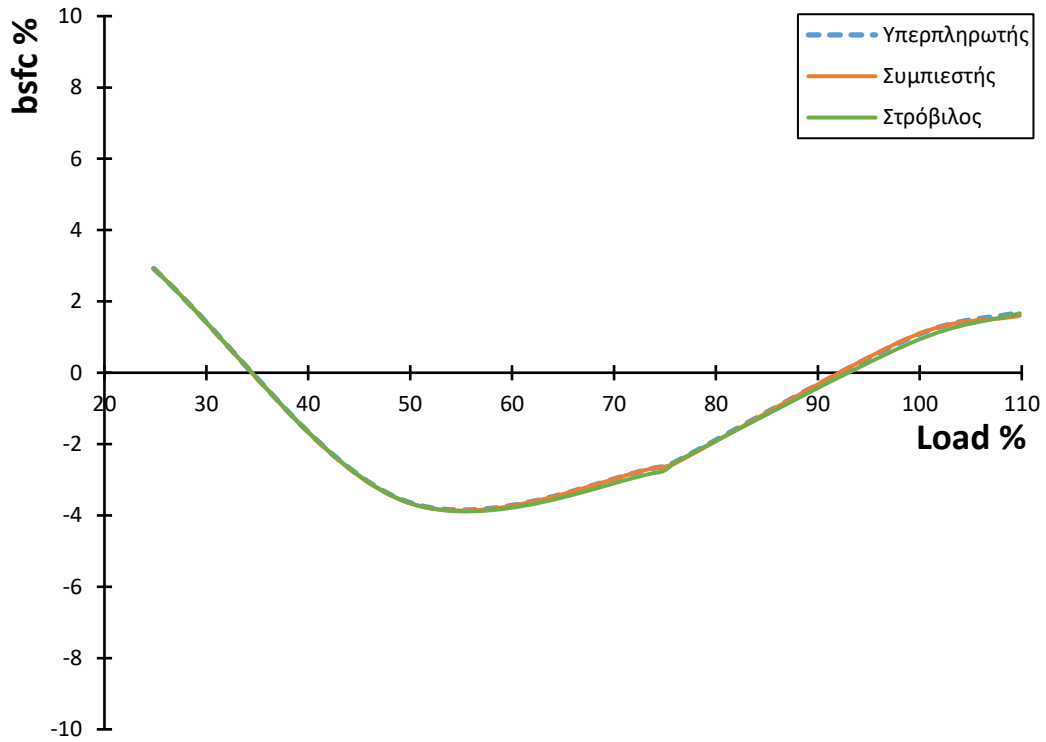


Σχήμα 6.3.1γ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 7.5%

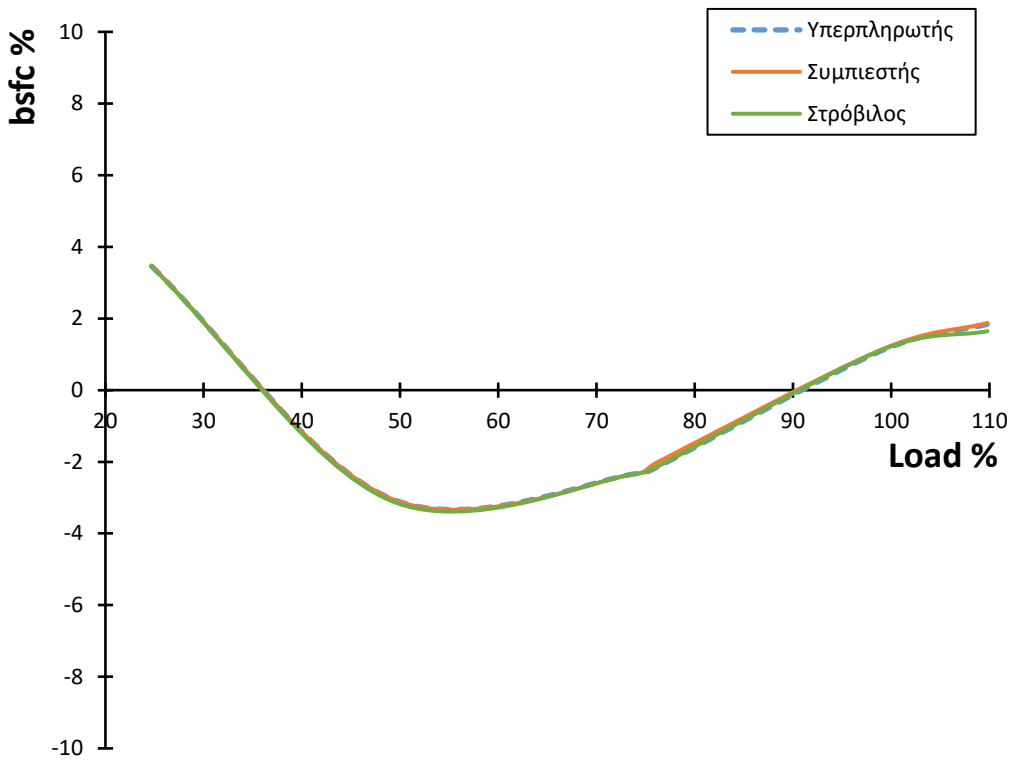


Σχήμα 6.3.1δ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 10%





Σχήμα 6.3.1ε Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 12.5%



Σχήμα 6.3.1ζ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 15%

### 6.3.2 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη πίεση αέρα σάρωσης

Στα διαγράμματα 6.3.2α , 6.3.2β , 6.3.2γ , 6.3.2δ , 6.3.2ε και 6.3.2ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5%, 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης αέρα σάρωσης.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%*

Για φορτίο 100-110% στην καμπύλη στροβίλου η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.50-7.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 100-110% στην καμπύλη συμπιεστή η πίεση αέρα σάρωσης αυξάνεται κατά 0.50-7.5% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Η πίεση αέρα σάρωσης μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Η πίεση αέρα σάρωσης μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

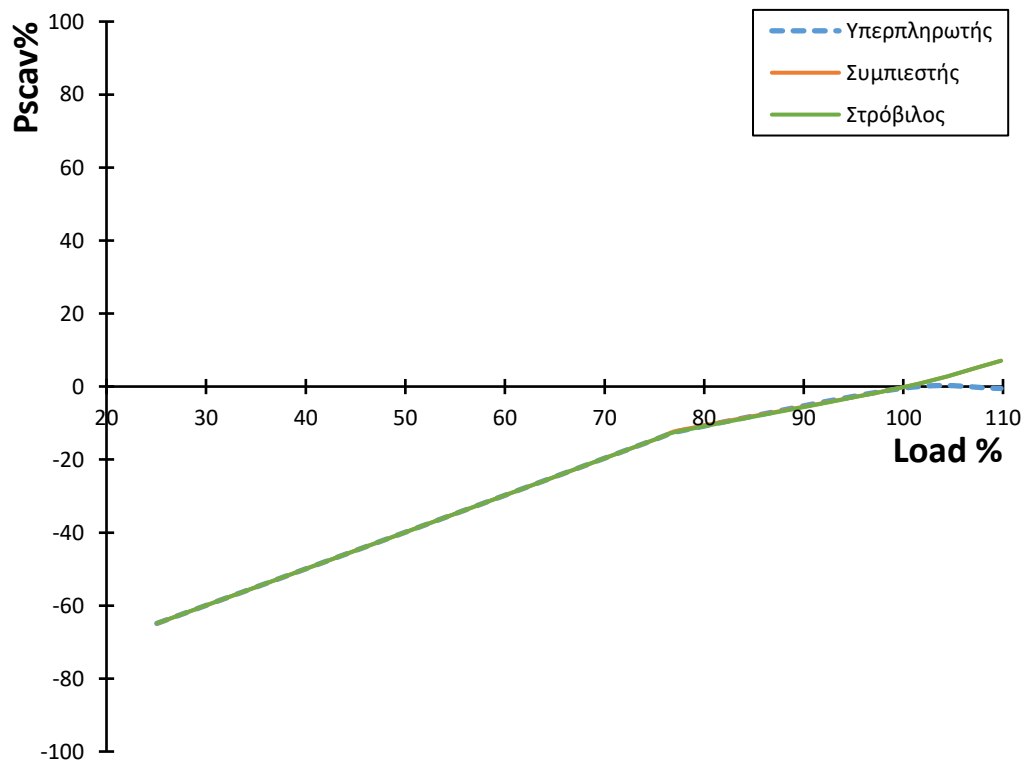
Η πίεση αέρα σάρωσης μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5%

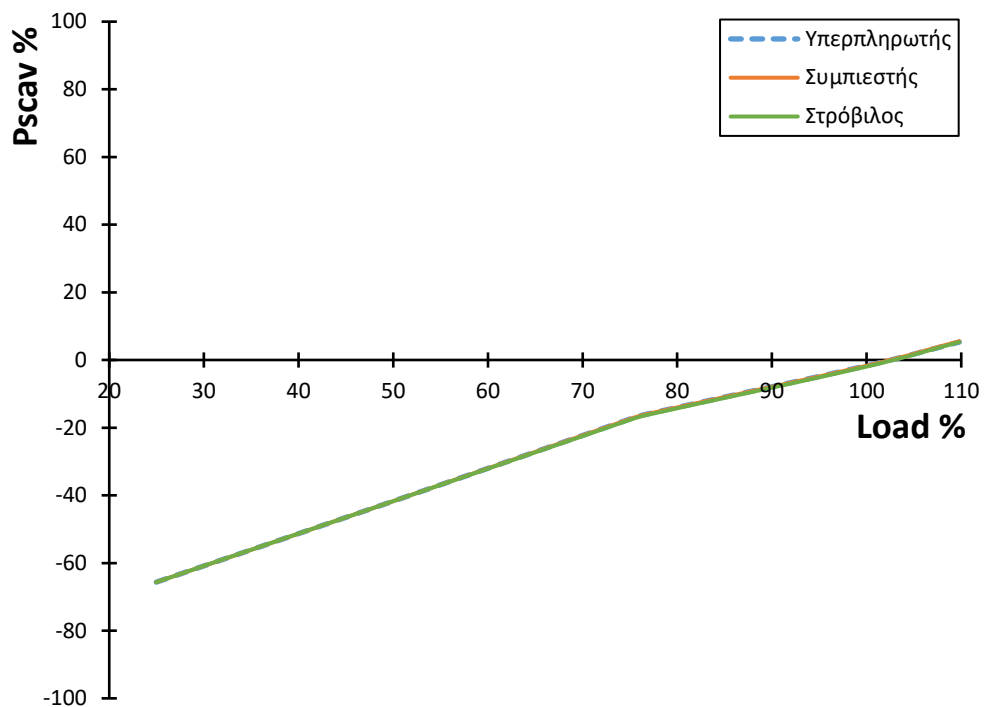
Η πίεση αέρα σάρωσης μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%

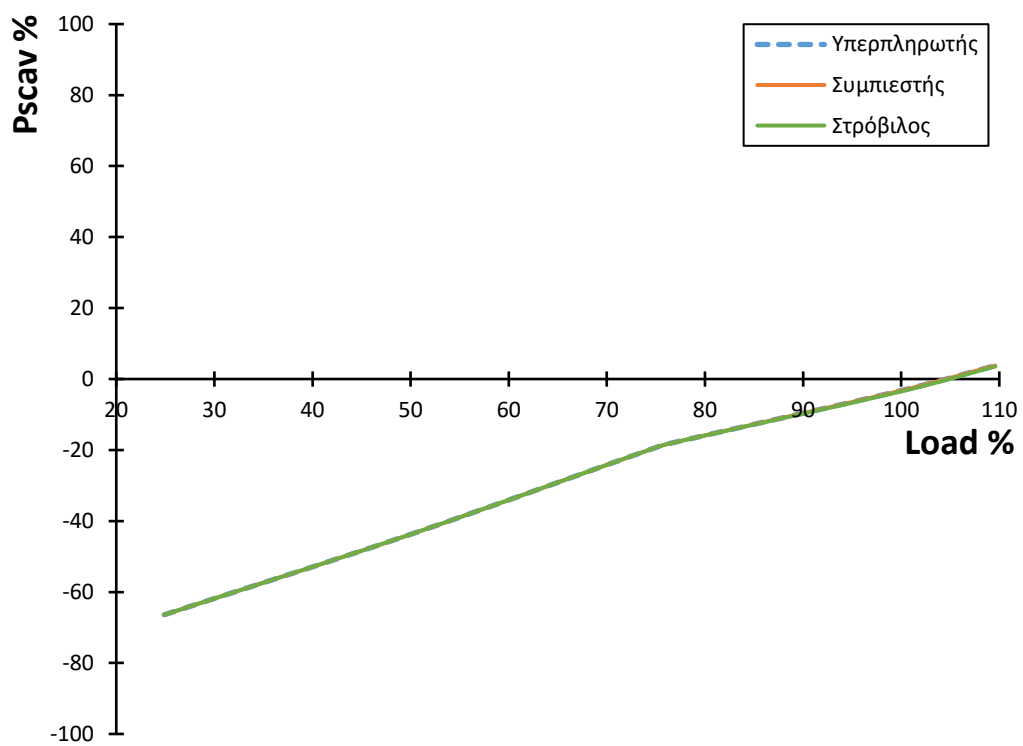
Η πίεση αέρα σάρωσης μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.



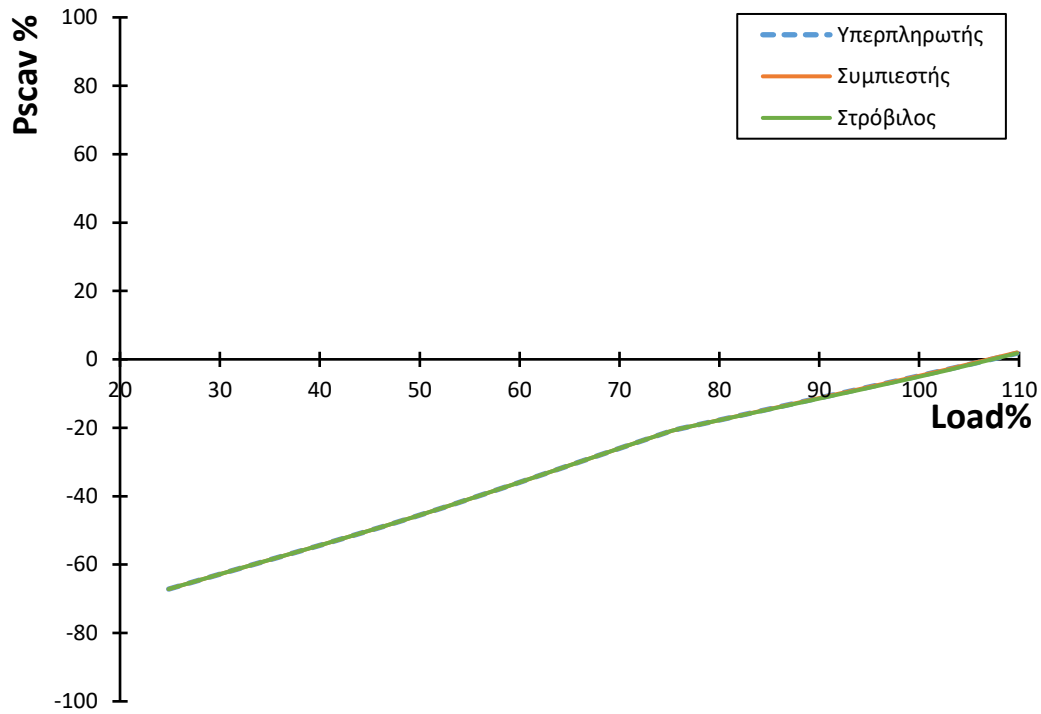
Σχήμα 6.3.2α Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 2.5%



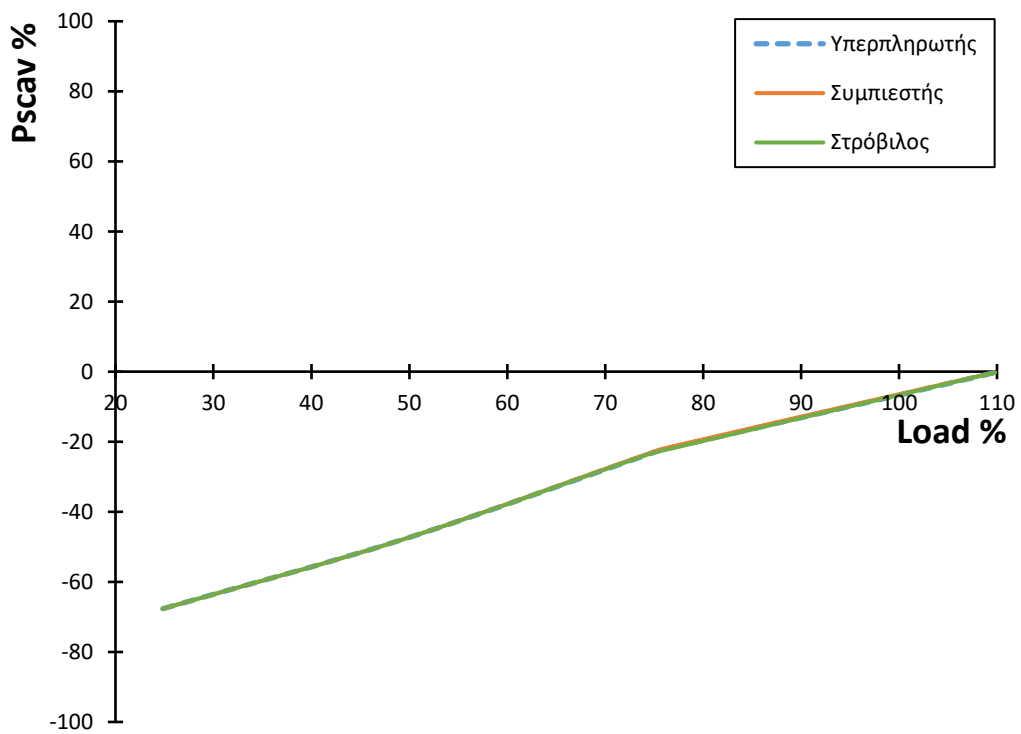
Σχήμα 6.3.2β Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 5%



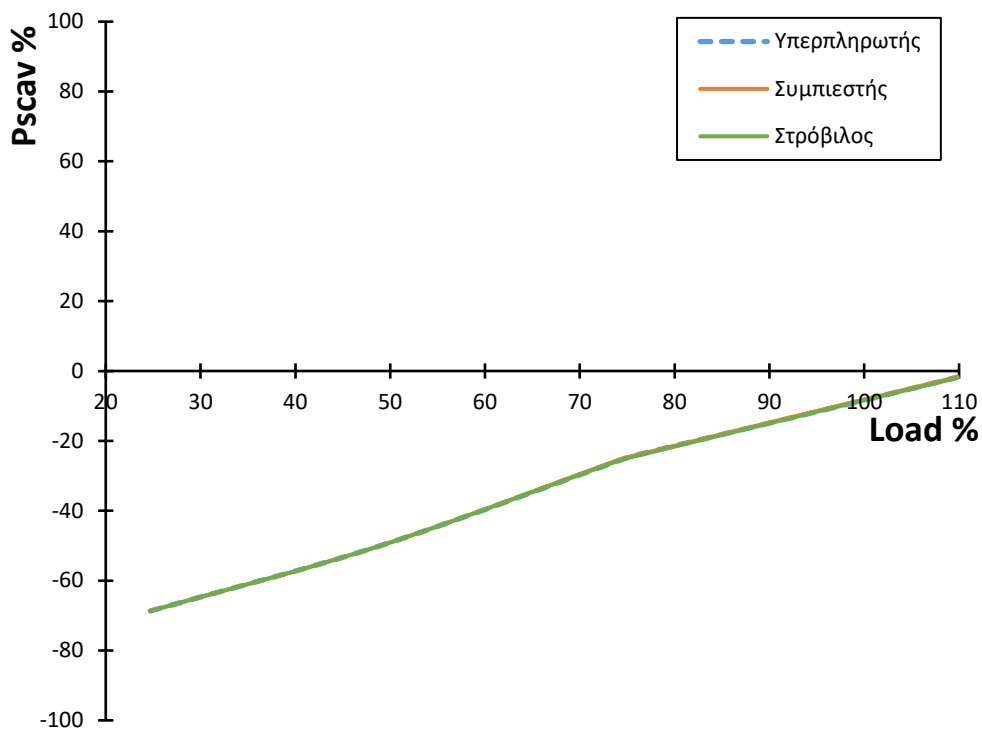
Σχήμα 6.3.2γ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 7.5%



Σχήμα 6.3.2δ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 10%



Σχήμα 6.3.2ε Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 12.5%



Σχήμα 6.3.2z Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 15%

### 6.3.3 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου

Στα διαγράμματα 6.3.3α , 6.3.3β , 6.3.3γ , 6.3.3δ , 6.3.3ε και 6.3.3ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5%, 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίων κυλίνδρου.

- Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%

Για φορτίο 105-110% στην καμπύλη στροβίλου η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου αυξάνεται κατά 3% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 100-110% στην καμπύλη συμπίεστή η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου αυξάνεται κατά 3% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

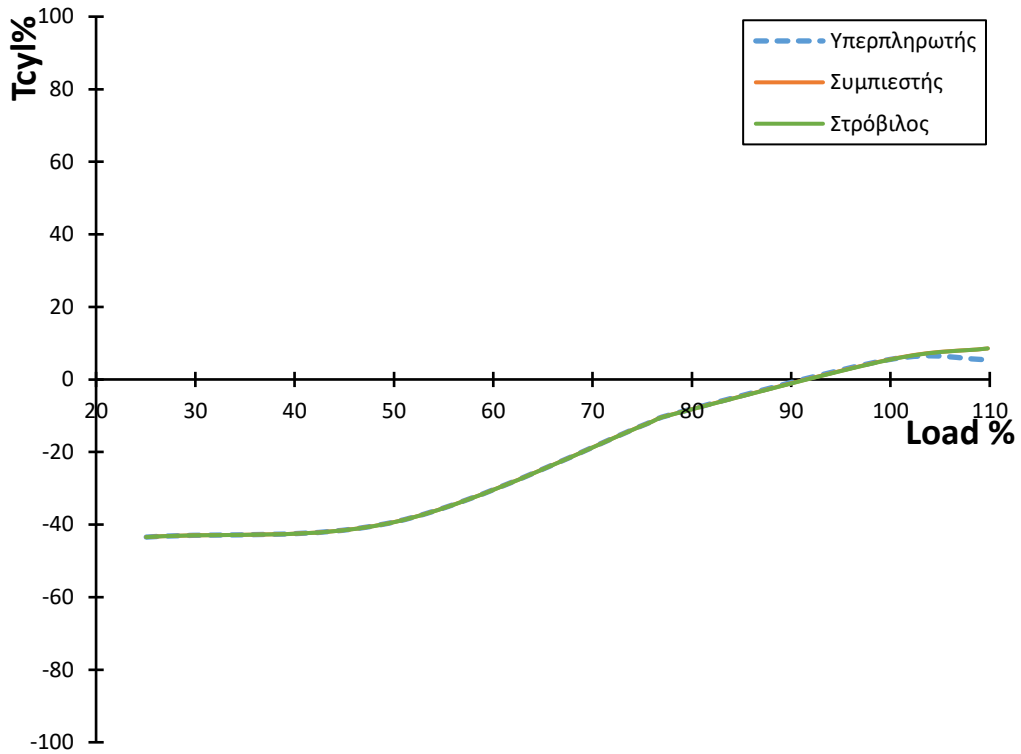
Η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5%*

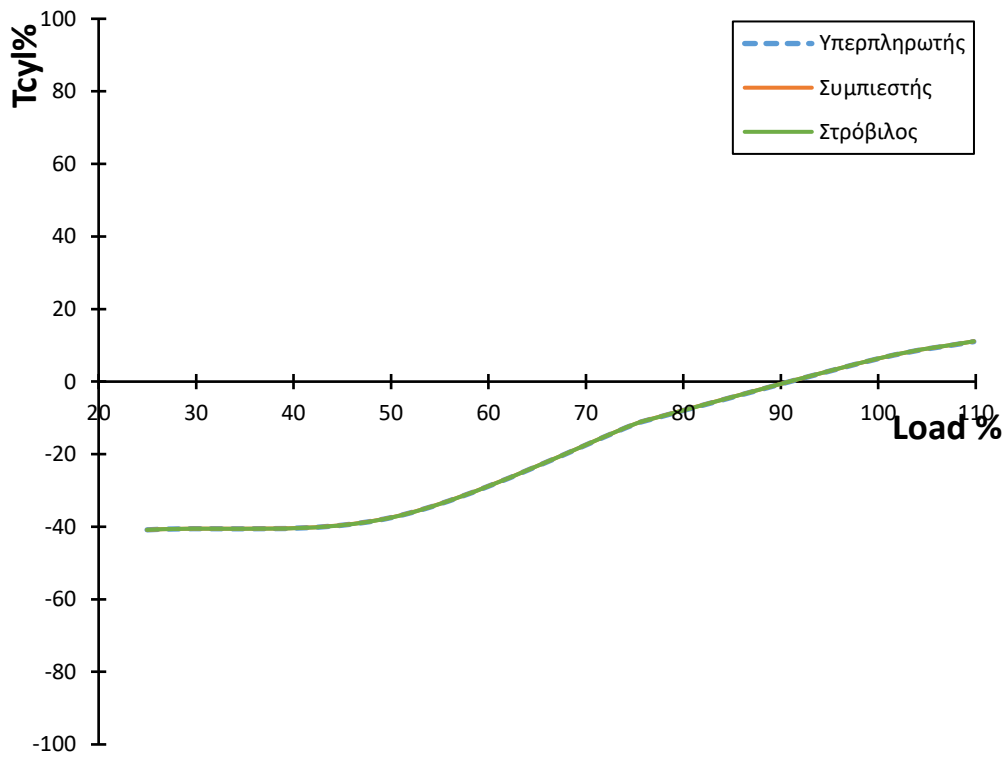
Η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%*

Η θερμοκρασία καυσαερίων κυλίνδρου μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

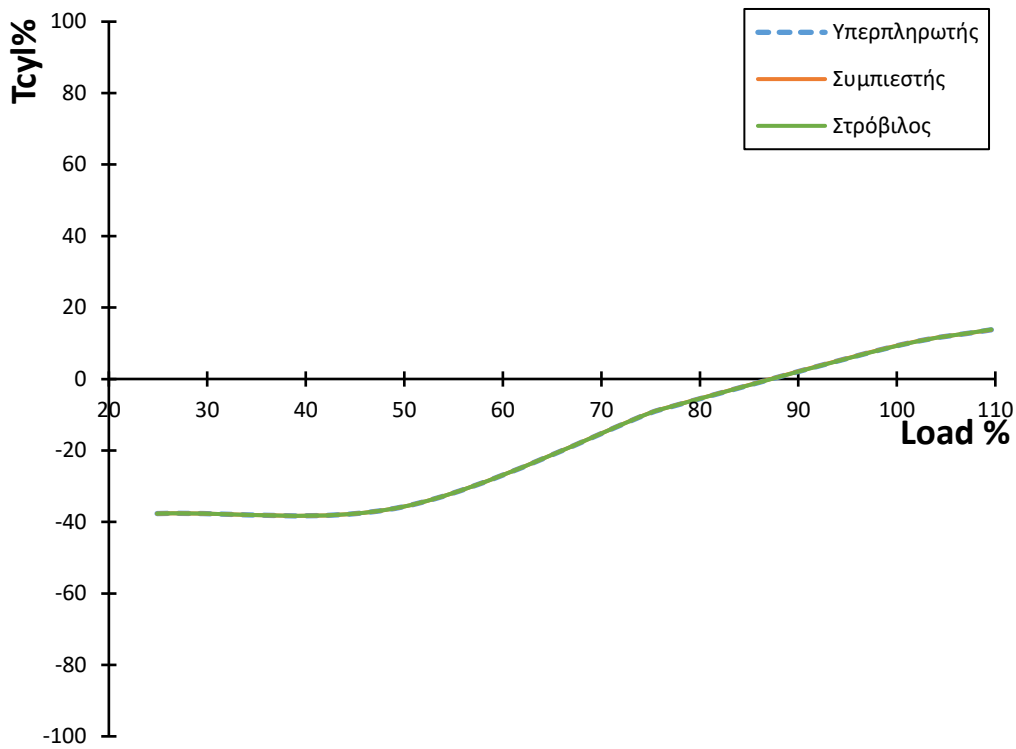


Σχήμα 6.3.3α Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 2.5%

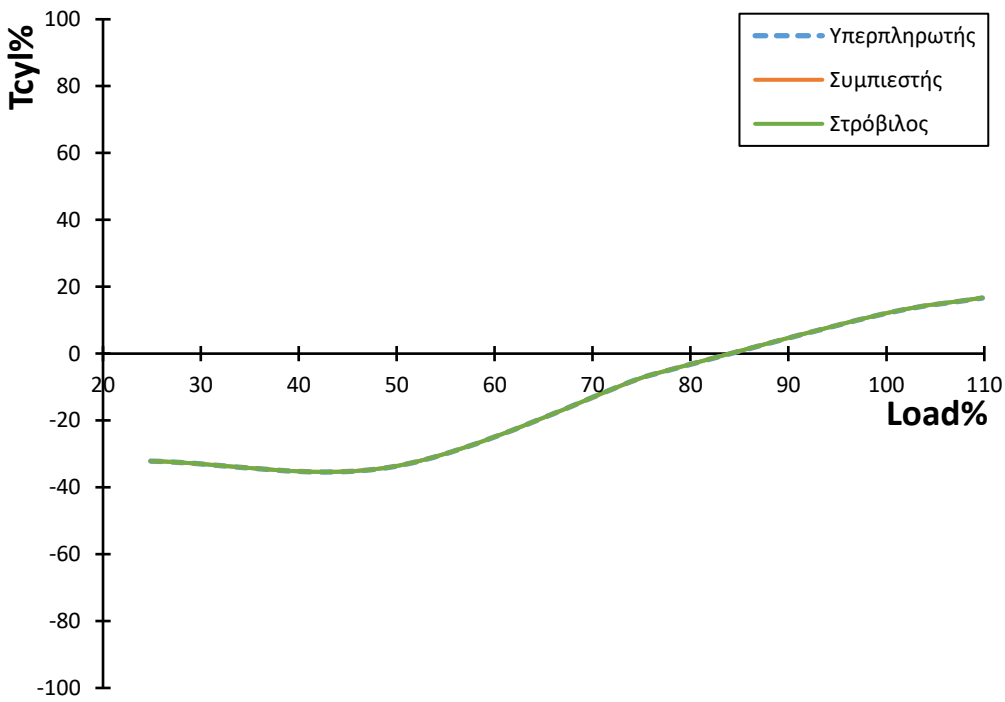


Σχήμα 6.3.3β Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 5%

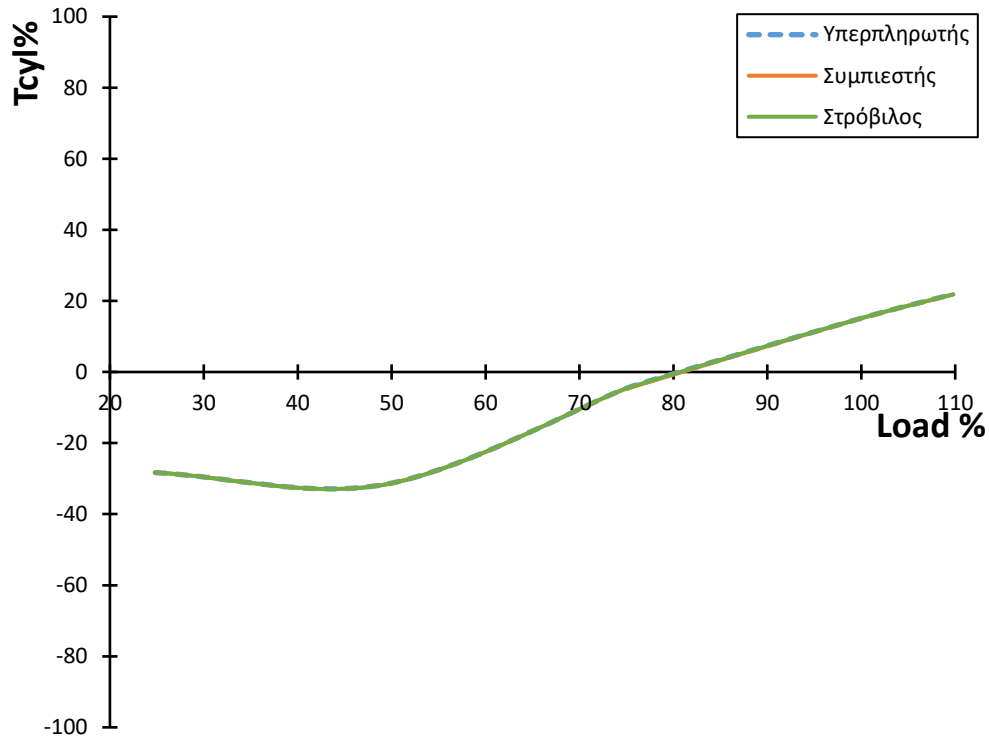




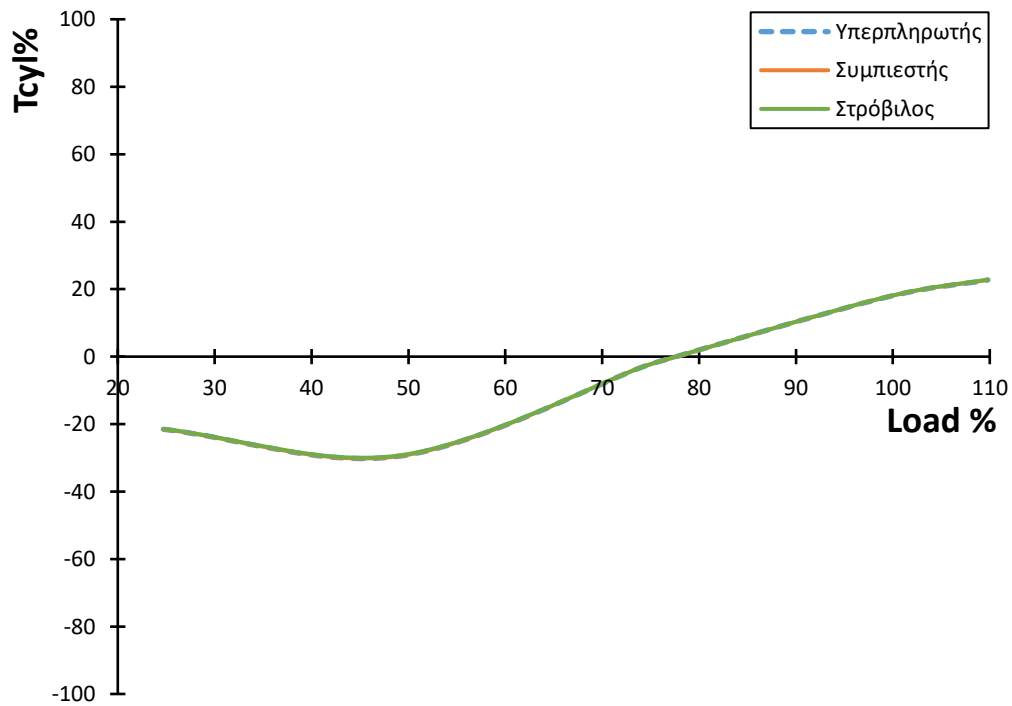
Σχήμα 6.3.3γ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 7.5%



Σχήμα 6.3.3δ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 10%



Σχήμα 6.3.3ε Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 12.5%



Σχήμα 6.3.3ζ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 15%

### **6.3.4 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στη θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο**

Στα διαγράμματα 6.3.4α , 6.3.4β , 6.3.4γ , 6.3.4δ , 6.3.4ε και 6.3.4ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στρόβιλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5% , 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%*

Για φορτίο 105-110% στην καμπύλη στρόβιλου η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 3% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 100-110% στην καμπύλη συμπιεστή η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο αυξάνεται κατά 3% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

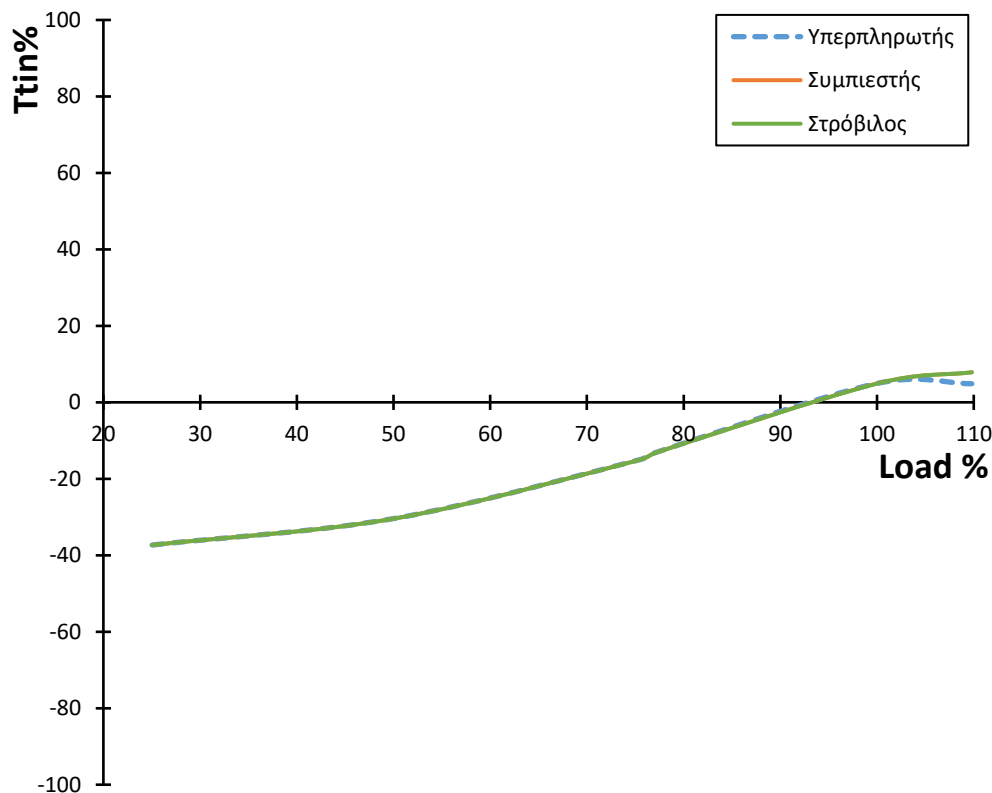
Η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 12.5%

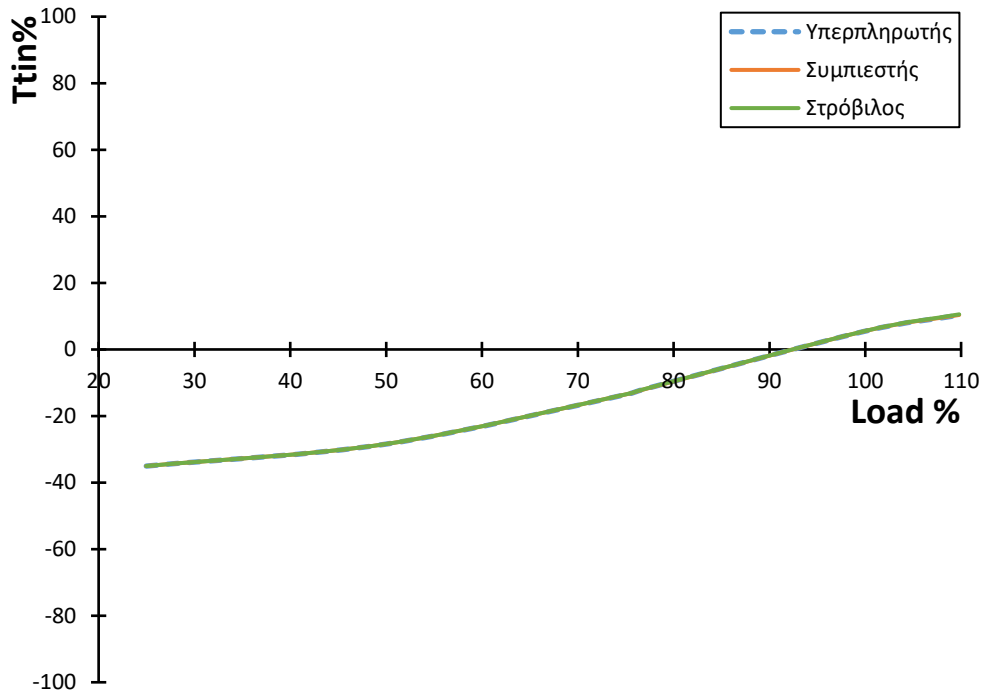
Η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%

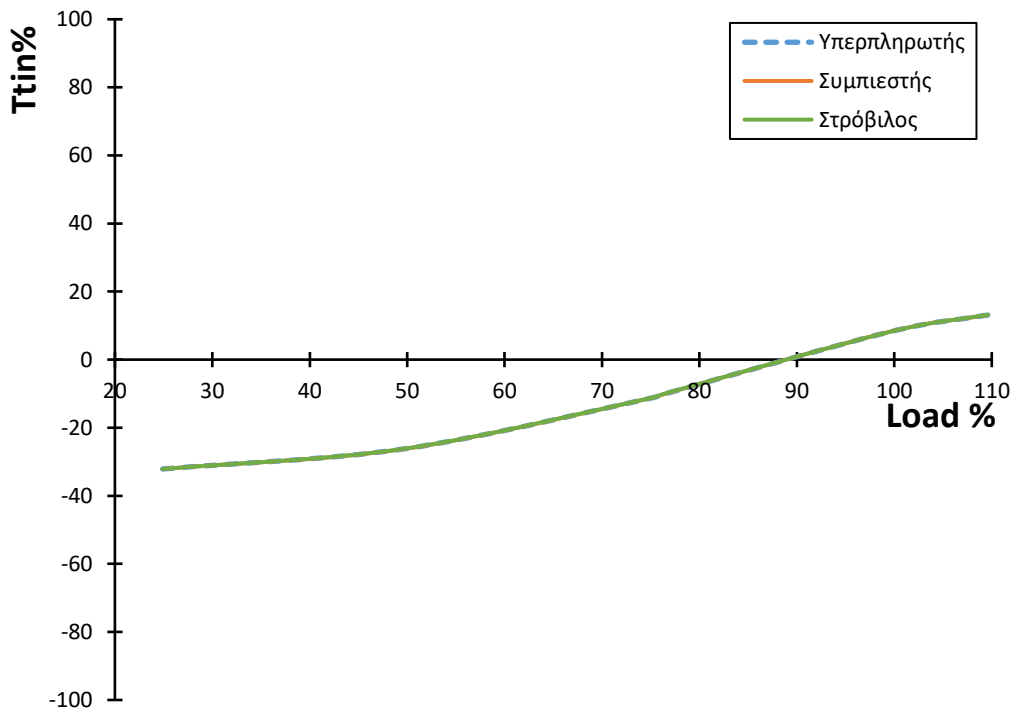
Η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.



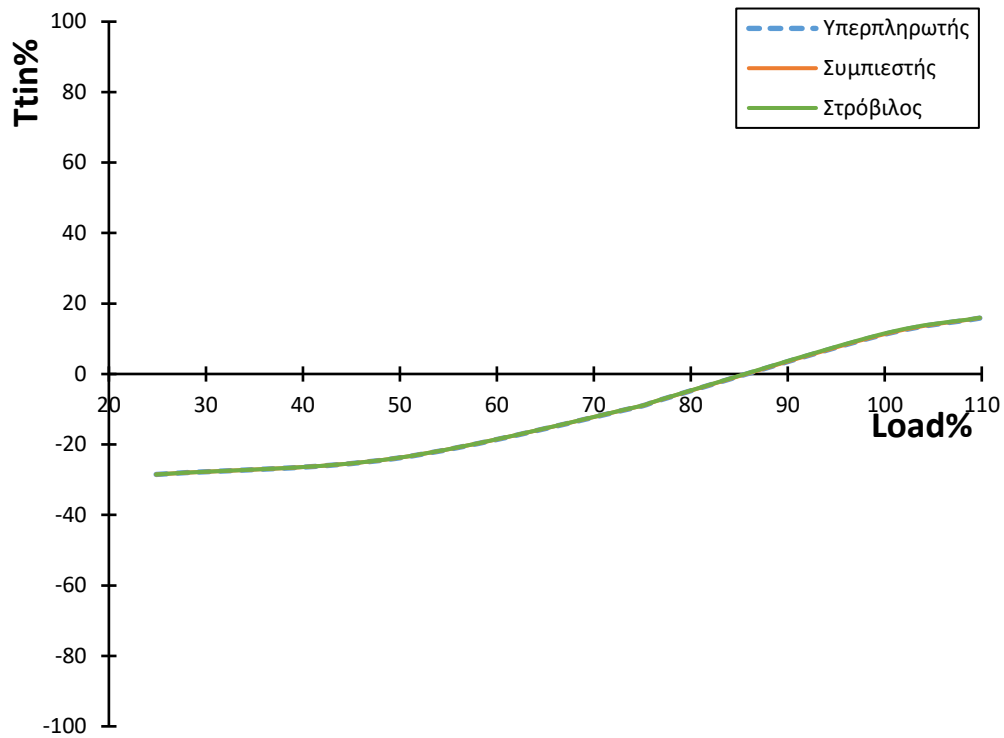
Σχήμα 6.3.4α Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 2.5%



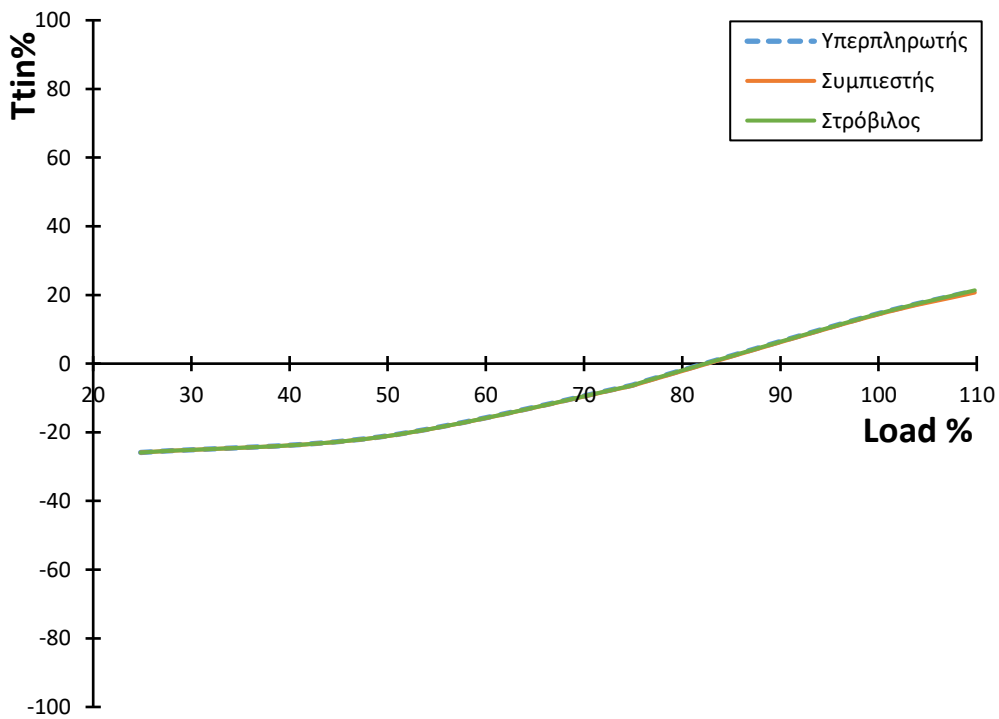
Σχήμα 6.3.4β Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 5%



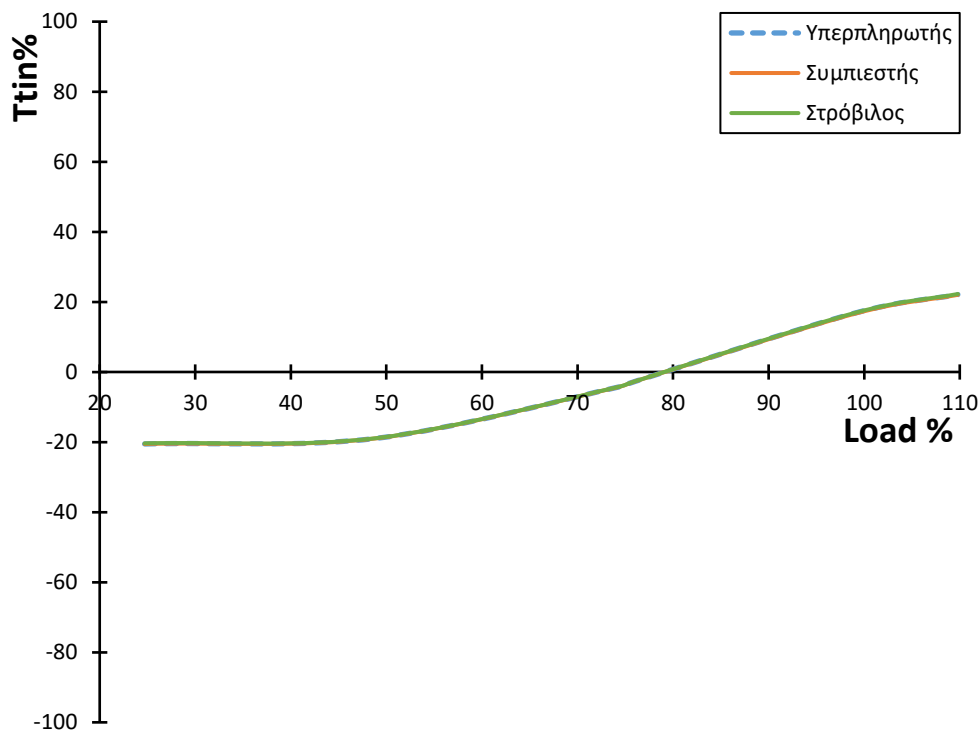
Σχήμα 6.3.4γ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 7.5%



Σχήμα 6.3.4δ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 10%



Σχήμα 6.3.4ε Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 12.5%



Σχήμα 6.3.4ζ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 15%

### 6.3.5 Επίδραση της πτώσης του βαθμού απόδοσης στην ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή

Στα διαγράμματα 6.3.5α , 6.3.5β , 6.3.5γ , 6.3.5δ , 6.3.5ε και 6.3.5ζ παρατηρούμε την επίδραση που έχει η πτώση του βαθμού απόδοσης του στροβίλου ή συμπιεστή ή και των δύο κατά 2.5%, 5% , 7.5% , 10% , 12.5% και 15% στην ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του υπερπληρωτή.

- Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 2.5%

Για φορτίο 105-110% στην καμπύλη στροβίλου η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή αυξάνεται κατά 3% σε σύγκριση με την καμπύλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

Από την άλλη πλευρά , για φορτίο 105-110% κ στην καμπύλη συμπίεστή η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή αυξάνεται κατά 3% σε σύγκριση με την καμπυλη υπερπληρωτή ενώ στα υπόλοιπα φορτία οι καμπύλες ταυτίζονται.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 5%*

Η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 7.5%*

Η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 10%*

Η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

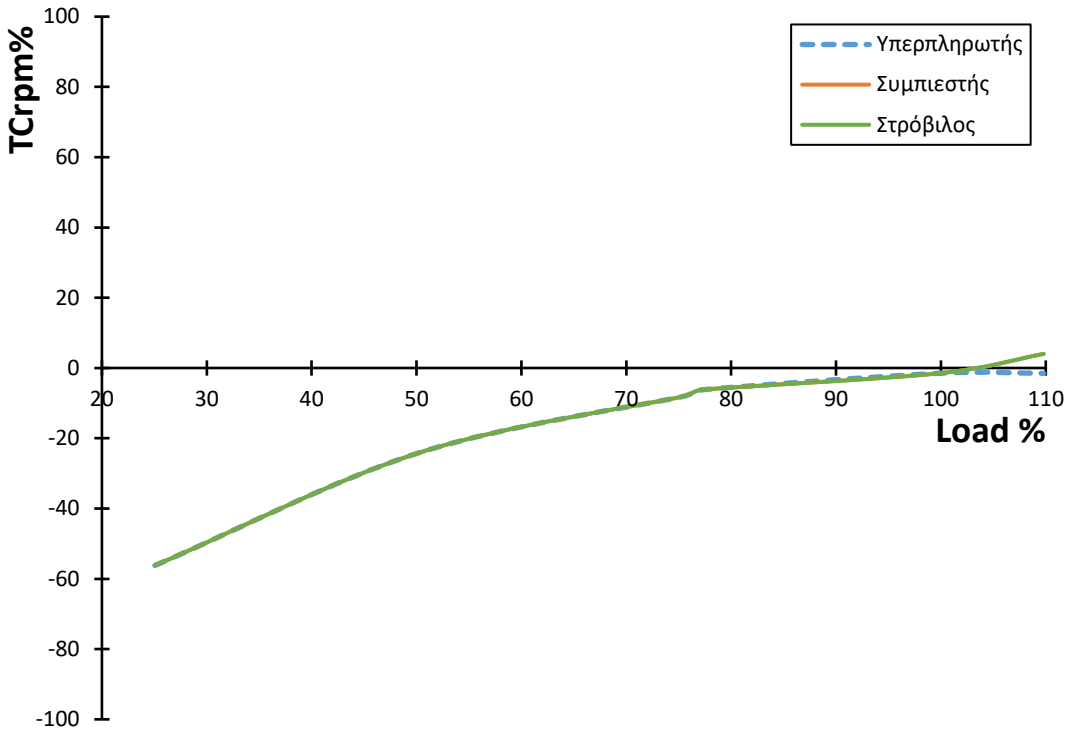
- *Πτώση βαθμου απόδοσης κατά 12.5%*

Η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

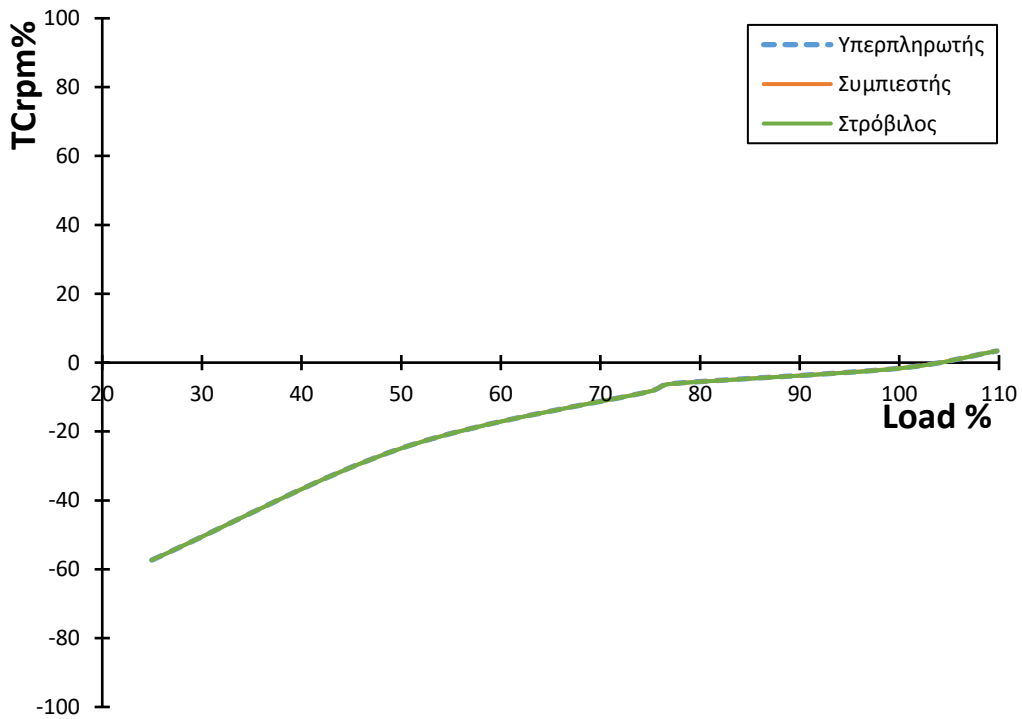
- *Πτώση βαθμού απόδοσης κατά 15%*

Η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μεταβάλλεται με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις περιπτώσεις.

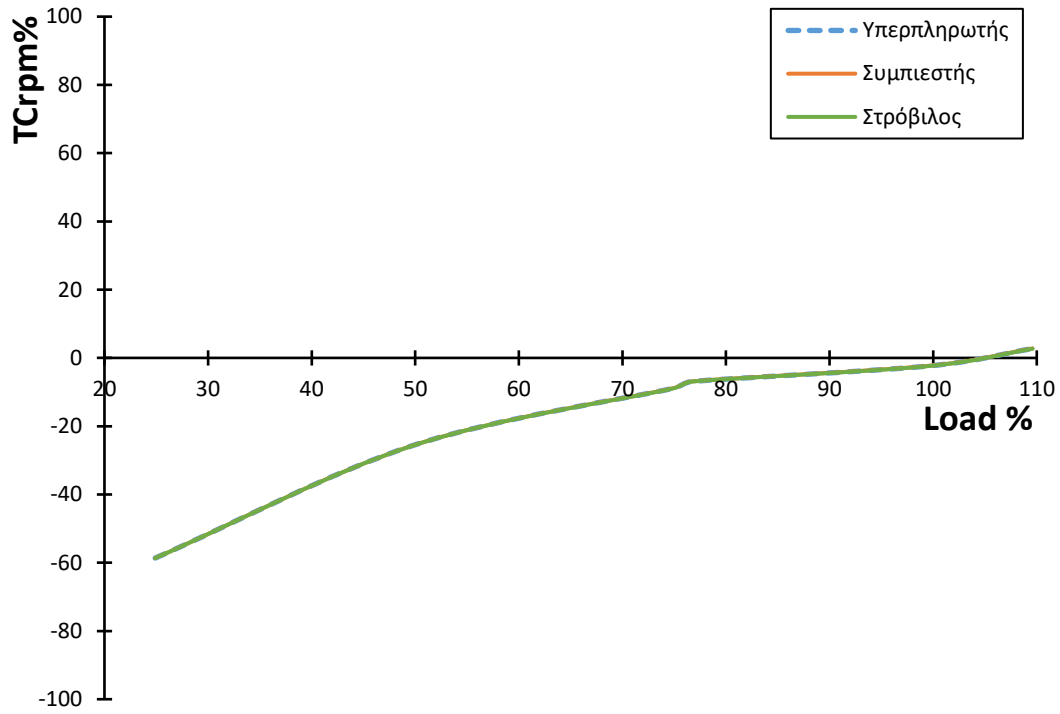




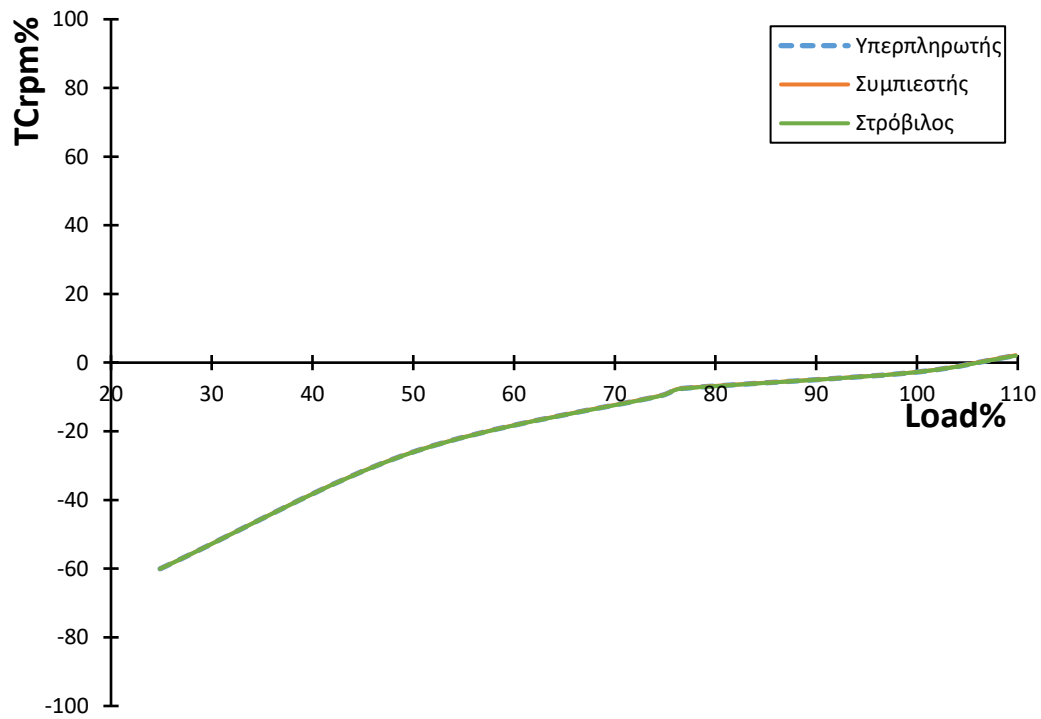
Σχήμα 6.3.5α Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 2.5%



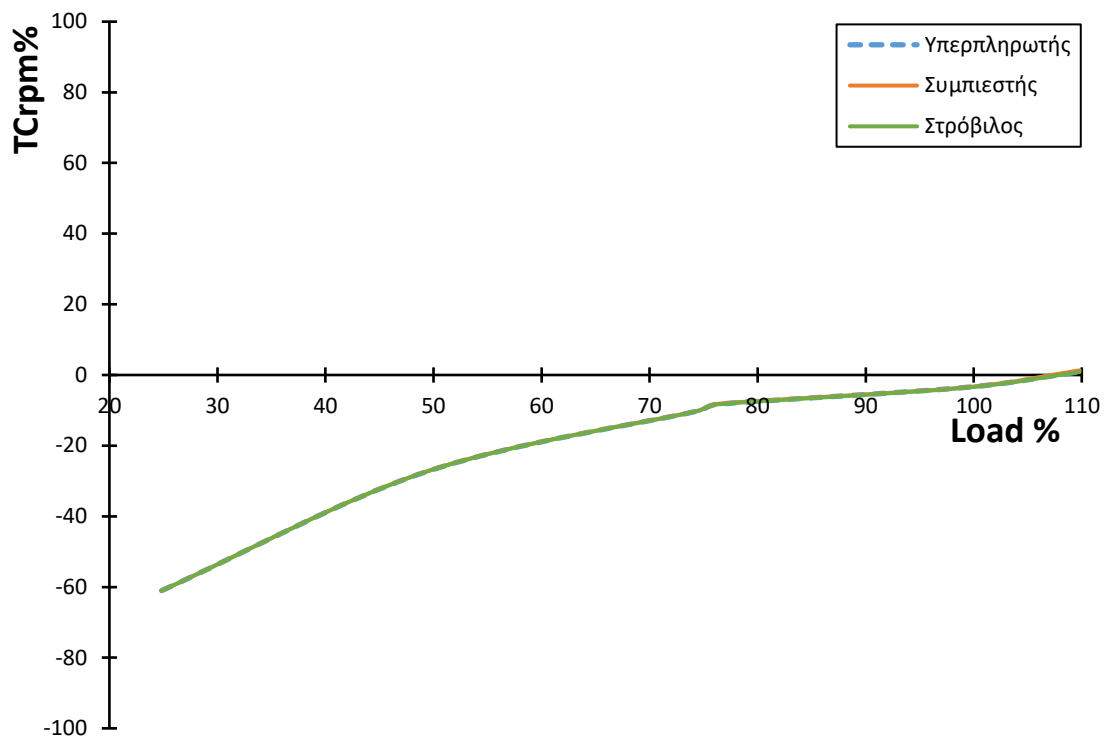
Σχήμα 6.3.5β Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 5%



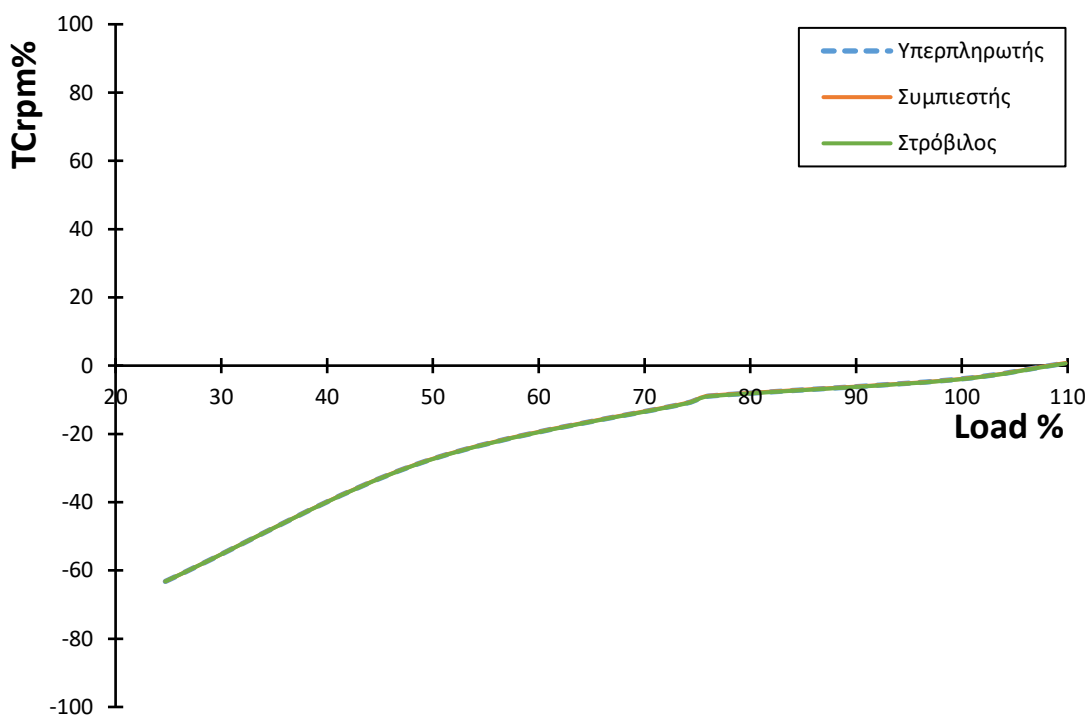
Σχήμα 6.3.5γ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 7.5%



Σχήμα 6.3.5δ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 10%



Σχήμα 6.3.5ε Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 12.5%



Σχήμα 6.3.5ζ Μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 15%

### 6.3.6 Συμπεράσματα 6G60ME-C

Βλέπουμε ότι στην περίπτωση της 6G60ME-C η πτώση του βαθμού απόδοσης του υπερπληρωτή, η οποία προέρχεται είτε από πτώση του βαθμού απόδοσης του στρόβιλου είτε από πτώση του βαθμού απόδοσης του συμπιεστή είτε από ίση πτώση του βαθμού απόδοσης στρόβιλου και συμπιεστή επηρεάζουν με τον ίδιο τρόπο την μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, της πίεσης αέρα σάρωσης, της θερμοκρασίας καυσαερίων κυλίνδρου, της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο και της ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή.

Μικρή εξαίρεση αποτελούν τα υψηλά φορτία 105% και 110% όπου οι μεταβολές που προκύπτουν είναι πολύ μικρές.

## 7. Γενικά συμπεράσματα διπλωματικής εργασίας

Έχοντας φτάσει στο τέλος της διπλωματικής εργασίας και ύστερα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων και των διαγραμμάτων που προέκυψαν αξίζει να σημειωθούν ορισμένα συμπεράσματα.

Όσον αφορά την μεταβολή της προπορείας έγχυσης καυσίμου, επιταχύνοντας την έγχυση προκύπτει:

- Μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου η οποία συμβαίνει με μεγαλύτερο ρυθμό στην 6S70MC-C
- Άυξηση της μέγιστης πίεσης καύσης η οποία συμβαίνει με μεγαλύτερο ρυθμό στην 6G60ME-C
- Μείωση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο
- Μείωση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο
- Μείωση της θερμοκρασίας και πίεσης του αέρα σάρωσης
- Μείωση της θερμοκρασίας καυσαερίων στον κύλινδρο

Από την άλλη πλευρά , επιβραδύνοντας την έγχυση συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο.

Καταλαβαίνουμε έτσι ότι η advance καταρχήν συνεισφέρει στην οικονομία μίας μηχανής λόγω της μείωσης της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται μεγάλη πίεση καύσης . Επίσης όσον αφορά τα επίπεδα θερμοκρασιών , σωστές ρυθμίσεις της προπορείας μπορούν να εμποδίσουν την δημιουργία βλάβης αλλά ακόμα και την μερική καταστολή της εν ώρα πλέυσης .Για παράδειγμα , στην περίπτωση όπου η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο είναι υψηλή σε σημείο να κινδυνεύει ο στρόβιλος τότε επιτάχυνοντας την έγχυση μπορούμε να κατεβάσουμε αυτή την θερμοκρασία περιορίζοντας έτσι μία πιθανή βλάβη και αποτρέποντας την φθορά του στροβίλου.

Όσον αφορά την μέγιστη πίεση καύσης , η αύξηση προκαλεί :

- Μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου με μεγαλύτερο ρυθμό στην 6S70MC-C
- Μείωση της θερμοκρασίας εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο
- Μείωση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο
- Μείωση της θερμοκρασίας και πίεσης του αέρα σάρωσης
- Μείωση της θερμοκρασίας καυσαερίων στον κύλινδρο

Από την άλλη πλευρά , μείωση της μέγιστης πίεσης καύσης προκαλεί ακριβώς τα αντίθετα αποτελέσματα.

Τέλος , όσον αφορά τον βαθμό απόδοσης του υπερπληρωτή , συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν όταν η πτώση του βαθμού απόδοσης οφείλεται στον στρόβιλο και στον συμπιεστή συμπεραίνουμε ότι :

- Στην 6G60ME-C τα μεγέθη που μελετήθηκαν μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο.

- Αντίθετα , στην 6S70MC-C ,συμπεραίνουμε όταν η πτώση του βαθμού απόδοσης οφείλεται στον συμπιεστή η ειδική κατανάλωση καυσίμου , η θερμοκρασία καυσαερίων στον κύλινδρο και η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο αυξάνονται αρχικά με μικρό ρυθμό ο οποίος ανεβαίνει όσο μειώνεται ο βαθμός απόδοσης ενώ η πίεση αέρα σάρωσης και η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μειώνονται.

Από την άλλη πλευρά , όταν η πτώση του βαθμού απόδοσης οφείλεται στον στρόβιλο η ειδική κατανάλωση καυσίμου , η θερμοκρασία καυσαερίων στον κύλινδρο και η θερμοκρασία εισόδου των καυσαερίων στον στρόβιλο αυξάνονται αρχικά με μικρό ρυθμό ο οποίος ανεβαίνει όσο μειώνεται ο βαθμός απόδοσης ενώ η πίεση αέρα σάρωσης και η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή μειώνονται.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μεταβολές που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι πολύ μεγαλύτερες στον στρόβιλο παρά στον συμπιεστή .

Σαν αποτέλεσμα συμπεραίνουμε ότι η πτώση του βαθμού απόδοσης του υπερπληρωτή η οποία οφείλεται στον στρόβιλο επηρεάζει πολύ περισσότερο τα βασικά μεγέθη που αναφέρθηκαν παραπάνω . Καταλαβαίνουμε έτσι ότι μία πιθανή βλάβη στον στρόβιλο επηρεάζει περισσότερο την λειτουργία του υπερπληρωτή.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[1] “Eastop and McConkey 1993, Applied Thermodynamics for engineering Technologists ,Pearson Education Limited ,Fifth Edition

[2] "M.H HOWARTH ,The design of high speed diesel engines,American Elsevier Publ.Col,Inc,New York,1966

[3] "Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ , Κωσταντίνος Α. Ρακόπουλος,καθηγητής Ε.Μ.Πολυτεχνείου"

[4] "Marineinsight.com ,Popular Engines in the Shipping Industry"

[5] "MAN B&W 6S70MC-C ,Engine Manual"

[6] "MAN B&W 6G60ME-C9.5-TII, Engine Manual"

[7] "IMO.org ,Introduction to IMO"

[8] "dieselnet.org ,Marine Engines Regulation Standards"

[9] "IMO.org , Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation"

[10] "Breitbach H. Fuel Injection Systems Overview. Delphi Corporation, Gillingham, UK, 2002"

[11] " brighthubengineering.comOperating Faults in Marine Turbochargers