ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΝΤΗΖΕΛ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ

EFFECT OF AMBIENT CONDITIONS ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE VIA SIMULATOR AND CORRELATIONS

ΤΣΑΠΑΡΑΣ Ε. ΜΙΧΑΗΛ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κ. ΧΟΥΝΤΑΛΑΣ Θ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΝΤΗΖΕΛ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ

EFFECT OF AMBIENT CONDITIONS ON DIESEL ENGINE PERFORMANCE VIA SIMULATOR AND CORRELATIONS

Περιεχόμενα

Σελίδα

Πρόλογος……..6

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή……..7

Κεφάλαιο 2: Γενικές αρχές λειτουργίας και διαμόρφωση των εμβολοφόρων ΜΕΚ……...9

2.1 Εισαγωγή ……9
2.2 Εξωτερική λειτουργία……9
2.3 Εσωτερική λειτουργία……..11
2.4 Βοηθητικές λειτουργίες των εμβολοφόρων ΜΕΚ……11
2.5 Υπερπλήρωση των εμβολοφόρων ΜΕΚ……..12
2.6 2-Χ ναυτικός κινητήρας……...13
2.7 Περιγραφή του δίχρονου κινητήρα που χρησιμοποιείται στη διερεύνηση…..14

Κεφάλαιο 3: Επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη λειτουργική συμπεριφορά κινητήρων diesel.....16

3.1 Εισαγωγή……..16
3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα …16
3.3 Επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα ……..17
3.4 Επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα…….....18
3.5 Επίδραση της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα.....19
3.6 Συνθήκες αναφοράς……19
3.7 Συσχετίσεις για την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα……20

Κεφάλαιο 4: Περιγραφή του διαγνωστικού λογισμικού που χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση…….……26

4.1 Εισαγωγή…….……26
4.2 Επιλογή Trials……..27
4.3 Επιλογή Simulator……...30

Κεφάλαιο 5: Έλεγχος της προβλεπτικής ικανότητας του λογισμικού προσομοίωσης…….....33

5.1 Εισαγωγή……..33
5.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης και σύγκριση τους με τις εργοστασιακές δοκιμές…….…35
5.3 Συμπεράσματα για την προβλεπτική ικανότητα του λογισμικού……..45

Κεφάλαιο 6: Επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα……..……..46

6.1 Εισαγωγή…….……46
6.2 Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με χρήση του προσομοιωτή…….…46
6.3 Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με χρήση των συσχετίσεων…….…75

Κεφάλαιο 7: Επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα…….……..87

7.1 Εισαγωγή…….……87
7.2 Διερεύνηση της επίδρασης της πίεσης περιβάλλοντος με χρήση του προσομοιωτή…….....87
7.3 Διερεύνηση της επίδρασης της πίεσης περιβάλλοντος με χρήση των συσχετίσεων……..115

Κεφάλαιο 8: Επίδραση της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα…….....127

8.1 Εισαγωγή……127
8.2 Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα με χρήση του προσομοιωτή……..127
8.3 Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα με χρήση των συσχετίσεων……156

Κεφάλαιο 9: Σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τα αποτελέσματα των συσχετίσεων……..…169

9.1 Εισαγωγή……169
9.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων υπό την επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος……..170
9.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων υπό την επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος ……177
9.4 Σύγκριση των αποτελεσμάτων υπό την επίδραση της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου……184

Συμπεράσματα...……...191

Βιβλιογραφία……...194

Πρόλογος

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μελέτη της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών στη λειτουργική συμπεριφορά ενός δίχρονου ναυτικού κινητήρα diesel. Πιο συγκεκριμένα τι επίδραση έχει η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η πίεση περιβάλλοντος και η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου, σε λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα. Η επίδραση θα δειχθεί με τη χρήση διαγραμμάτων που στον οριζόντιο άξονα θα είναι οι τιμές των περιβαλλοντικών συνθηκών και στον κατακόρυφο οι λειτουργικές παράμετροι του κινητήρα.

Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών διερευνήθηκε με δύο τρόπους. Με τη χρήση προσομοιωτή από το διαγνωστικό λογισμικό Pythia-EDS VI το οποίο και αναπτύχθηκε από τον επιβλέπων καθηγητή κ. Χουντάλα Δημήτριο καθώς και με τη χρήση συσχετίσεων του κατασκευαστικού οίκου MAN B&W, οι οποίες έχουν εφαρμογή σε ολόκληρη σειρά δίχρονων ναυτικών κινητήρων.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Χουντάλα Δημήτριο, για την καθοδήγηση και τις υποδείξεις που μου παρείχε για την διεκπεραίωση της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της σχολής μηχανολόγων μηχανικών του ΕΜΠ για τις γνώσεις που μου παρείχαν. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την στήριξη παντός είδους που έλαβα από αυτή καθ’ όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη λειτουργική συμπεριφορά κινητήρων diesel με χρήση προσομοίωσης και συσχετίσεων» έχει ως σκοπό να μελετηθεί πως μεταβάλλονται οι λειτουργικοί παράμετροι του κινητήρα συναρτήσει των περιβαλλοντικών συνθηκών. Στόχος της είναι να διαπιστωθεί κατά πόσο το λογισμικό προσομοίωσης προβλέπει τη ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων σε σχέση με τις συσχετίσεις, διότι σε πολλές περιπτώσεις δεν δίνονται συσχετίσεις από τους κατασκευαστικούς οίκους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια σύντομη ανάλυση των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης, καθώς ο δίχρονος ναυτικός κινητήρας diesel που μελετάτε ανήκει σε αυτή τη κατηγορία μηχανών. Οι αρχικές παράγραφοι ασχολούνται γενικά με τις Μ.Ε.Κ., ενώ οι τελευταίες εμβαθύνουν στους δίχρονους κινητήρες diesel.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργική συμπεριφορά ενός κινητήρα diesel. Αρχικά παρουσιάζονται κάποιοι παράγοντες, όπως η 'προθέρμανση' του κινητήρα, ο αερισμός του μηχανοστασίου και η υγρασία του αέρα, που επηρεάζουν τη καλή λειτουργική του συμπεριφορά. Έπειτα γίνεται μια σύντομη ανάλυση για την επίδραση που έχουν η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η πίεση περιβάλλοντος και η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου, στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα. Στη συνέχεια γίνεται λόγος για τις συνθήκες αναφοράς που έχουν επιλεχτεί στη παρούσα διπλωματική εργασία, ποιες έχει ορίσει ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης, και την ανάγκη αναγωγής σε αυτές τις συνθήκες αναφοράς. Τέλος παρουσιάζονται οι συσχετίσεις που δόθηκαν από τον κατασκευαστικό οίκο, για το πώς επιδρούν οι περιβαλλοντικές συνθήκες σε κάποιες παραμέτρους του κινητήρα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται οι επιλογές του λογισμικού, που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται έλεγχος της προβλεπτικής ικανότητας του προσομοιωτή του λογισμικού, ώστε να διαπιστωθεί ότι είναι αξιόπιστο για τη παρούσα έρευνα. Αυτό έγινε συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με τις εργοστασιακές δοκιμές και διαπιστώθηκε ότι το λογισμικό παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Στο έκτο, έβδομο και όγδοο κεφάλαιο, διερευνάται η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, η επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος και η επίδραση της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου του αέρα, στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα, χρησιμοποιώντας το λογισμικό προσομοίωσης και εν συνεχεία τις συσχετίσεις. Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα,

παρουσιάζεται σε διαγράμματα που δείχνουν την ποσοστιαία μεταβολή των λειτουργικών παραμέτρων από τις εργοστασιακές δοκιμές, συναρτήσει των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Στο ένατο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση της μέσης ποσοστιαίας μεταβολής των παραμέτρων που υπολογίσθηκε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, σε σχέση με τη μέση ποσοστιαία μεταβολή που προέκυψε από τις συσχετίσεις, για να διαπιστωθεί αν το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη ποσοστιαία μεταβολή των λειτουργικών παραμέτρων.

Τέλος συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία.

Κεφάλαιο 2

Γενικές αρχές λειτουργίας και διαμόρφωση των εμβολοφόρων ΜΕΚ

2.1 Εισαγωγή

Οι θερμικές μηχανές επιτυγχάνουν τη παραγωγή μηχανικού έργου, μέσω της διαδικασίας της καύσης, αξιοποιώντας τη χημική ενέργεια που είναι αποταμιευμένη στα καύσιμα.

Οι θερμικές μηχανές μπορούν να χωρισθούν σε μηχανές εξωτερικής και εσωτερικής καύσης. Στις εξωτερικής καύσεως τα προϊόντα της καύσης του αέρα και του καυσίμου μεταφέρουν, μέσω μιας επιφάνειας συναλλαγής, θερμότητα σε ένα άλλο ρευστό το οποίο και αποτελεί το εργαζόμενο μέσο για τη παραγωγή ισχύος. Στις εσωτερικής καύσεως τα προϊόντα τα καύσης αποτελούν το εργαζόμενο μέσο για την παραγωγή ισχύος.

Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ) χωρίζονται σε εμβολοφόρους κινητήρες, αεροστρόβιλους, στροβιλοαντιδραστήρες, πυραυλοκινητήρες και σε στατούς θερμοαντιδραστήρες. Το εργαζόμενο μέσο στις ΜΕΚ είναι ο αέρας με το καύσιμο, εκτός από τους πυραυλοκινητήρες που είναι οι προωθητικές ουσίες.

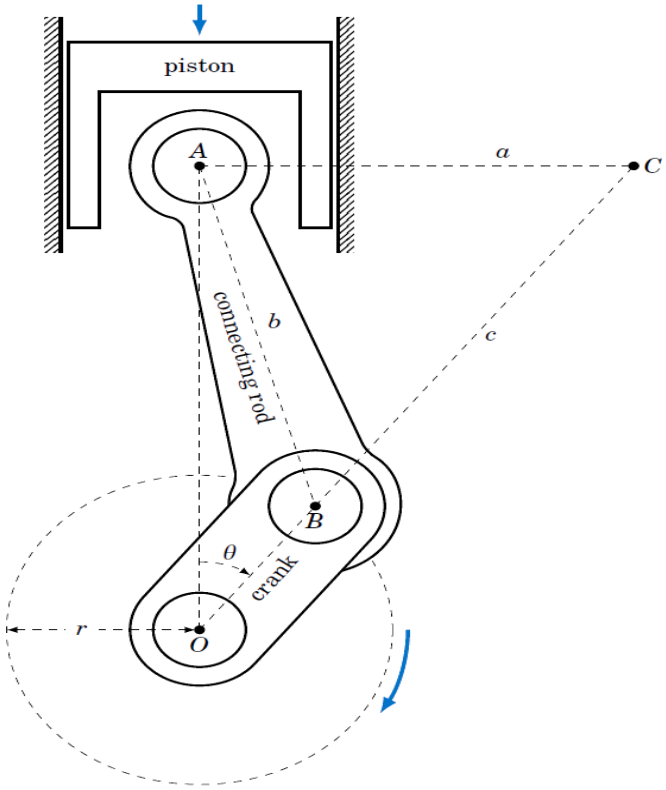
Η συνηθέστερη ΜΕΚ είναι η εμβολοφόρος και αυτό γιατί είναι απλή στη κατασκευή της και γιατί το εργαζόμενο μέσο μπορεί να έχει υψηλή θερμοκρασία. Επίσης έχει καλό βαθμό απόδοσης και υψηλή συγκέντρωση ισχύος.

Για την παραγωγή του ωφέλιμου μηχανικού έργου από μία ΜΕΚ ακολουθείται η εξής διαδικασία: αναρροφάται το εργαζόμενο μέσο (αέρας ή αέρας και καύσιμο) και συμπιέζεται μέχρι μία ορισμένη πίεση. Η συμπίεση έχει σαν συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου. Εν συνεχεία προσδίδεται στο εργαζόμενο μέσο θερμική ενέργεια που προέρχεται από την καύση, με συνέπεια την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του αλλά και της πίεσης ή/και του όγκου του. Τέλος κατά τη φάση της αποτόνωσης παράγεται το κινητήριο έργο, που στο μεγαλύτερο μέρος του αποτελεί το ωφέλιμο έργο και το υπόλοιπο για την διαδικασία της συμπίεσης. Σε μία εμβολοφόρο ΜΕΚ, οι φάσεις λειτουργίας που προαναφέραμε εκτελούνται στον ίδιο χώρο που είναι ο κύλινδρος της μηχανής.

2.2 Εξωτερική λειτουργία

Η λειτουργία ενός εμβολοφόρου κινητήρα βασίζεται στον κινηματικό μηχανισμό Εμβόλου-Διωστήρα-Στροφάλου και για τους μεγαλύτερου μεγέθους κινητήρες, όπως ο ναυτικός κινητήρας που θα εξετασθεί, υφίστανται

επιπροσθέτως βάκτρο και ζύγωμα. Η ισχύς μεταφέρεται στη στροφαλοφόρο άτρακτο μέσω του διωστήρα από την παλινδρόμηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο διαμέσου του βάκτρου και ζυγώματος. Το έμβολο δηλαδή ακινητοποιείται σε δύο θέσεις που ονομάζονται άνω και κάτω νεκρό σημείο. Η απόσταση από το άνω στο κάτω νεκρό σημείο ή αντίστροφα ονομάζεται διαδρομή και είναι 180° στροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου.



Εικόνα 2.1 Κινηματικός μηχανισμός Εμβόλου-Διωστήρα-Στροφάλου

Βασικά μεγέθη για τον εμβολοφόρο κινητήρα είναι:

i) Όγκος εμβολισμού V_h. Δηλαδή ο όγκος του κυλίνδρου που σαρώνεται από το έμβολο κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής και είναι $V_h = \pi * D^2 * s/4$ όπου D η διάμετρος του εμβόλου και s η διαδρομή που ακολουθεί το έμβολο
ii) Επιζήμιος όγκος V_c που είναι ο όγκος πάνω από την κεφαλή του εμβόλου όταν αυτό βρίσκεται στο άνω νεκρό σημείο
iii) Βαθμός συμπιέσεως ε και είναι ίσος με $\varepsilon = (V_h+V_c)/V_c$

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των εμβολοφόρων μηχανών μπορεί να γίνει ως προς την εξωτερική τους λειτουργία. Έτσι τις κατηγοριοποιούμε σε δίχρονους (2-Χ) ή τετράχρονους (4-Χ).

Στους τετράχρονους κινητήρες ο κύκλος λειτουργίας διαρκεί δύο πλήρεις περιστροφές ή 720° στροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου ενώ στους δίχρονους κινητήρες διαρκεί μία περιστροφή η 360° στροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου.

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

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

2.3 Εσωτερική Λειτουργία

Εκτός από την εξωτερική διάκριση σε 2-Χ ή 4-Χ οι κινητήρες μπορούν να διακριθούν σε κινητήρες Otto και σε κινητήρες Diesel.

Η διάκριση αυτή γίνεται με βάση τον τρόπο αναφλέξεως ο οποίος επιδρά στον τρόπο καύσεως του καυσίμου. Στους κινητήρες Otto η ανάφλεξη γίνεται με τη βοήθεια κάποιου εξωτερικού μέσου, συνήθως ηλεκτρικού σπινθήρα. Στους κινητήρες Diesel λόγω της υψηλής σχέσης συμπιέσεως, φτάνει έως και 25:1, το περιεχόμενο του κυλίνδρου θερμαίνεται επαρκώς με αποτέλεσμα όταν το καύσιμο εκχύνεται στο κύλινδρο να υπάρχει αυτανάφλεξη.

Οι κινητήρες Otto διακρίνονται σε αεριομηχανές και βενζινομηχανές, ανάλογα με το καύσιμο που χρησιμοποιούν. Οι αεριομηχανές χρησιμοποιούν σαν καύσιμο φυσικά ή τεχνητά αέρια ενώ οι βενζινομηχανές χρησιμοποιούν κατεξοχήν βενζίνη.

Οι κινητήρες Diesel αναρροφούν πάντα ατμοσφαιρικό αέρα και χρησιμοποιούν ως καύσιμο το πετρέλαιο και άλλα παράγωγα του, που είναι φθηνότερα και λιγότερο πτητικά.

2.4 Βοηθητικές λειτουργίες των εμβολοφόρων ΜΕΚ

Άλλες λειτουργίες που είναι υψίστης σημασίας για την ζωή και την απόδοση του κινητήρα είναι η ψύξη και η λίπανση.

Η ψύξη του κινητήρα είναι απαραίτητη λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στο κάλυμμα του κυλίνδρου, το χιτώνιο και το έμβολο του κυλίνδρου λόγω το ότι βρίσκονται μέσα στο θάλαμο καύσης που τα αέρια έχουν υψηλή θερμοκρασία. Υπάρχουν δύο είδη ψύξης που είναι οι υδρόψυκτοι και οι

αερόψυκτοι. Σε μεγαλύτερου μεγέθους κινητήρες είναι απαραίτητη και η εσωτερική ψύξη του εμβόλου με νερό ή με έλαιο.

Η λίπανση είναι και αυτή απαραίτητη για την μείωση των τριβών. Το σύστημα λίπανσης αναρροφά το λιπαντικό έλαιο από την ελαιολεκάνη του στροφαλοθαλάμου μέσω ενός φίλτρου και μέσω σωληνώσεων ή οχετών το διοχετεύει στις θέσεις λίπανσης. Στους κινητήρες μεγάλης ισχύος απαιτείται ψύξη του λιπαντικού ελαίου με νερό ή αέρα.

2.5 Υπερπλήρωση των εμβολοφόρων ΜΕΚ

Με την υπερπλήρωση οι επιδόσεις ενός κινητήρα μπορούν να αυξηθούν σημαντικά. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός συμπιεστή, που παρέχει αέρα υπό πίεση και ονομάζεται εξαναγκασμένη πλήρωση.

Η ισχύς ενός κινητήρα είναι ανάλογη με την ποσότητα του καυσίμου που μπορεί να καεί σε αυτόν, άρα και με την παροχή του αναρροφούμενου αέρα. Αυξάνοντας επομένως μέσω της υπερπλήρωσης την ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα μπορούμε να αυξήσουμε και την καιόμενη ποσότητα καυσίμου και επομένως την ισχύ του κινητήρα. Η υπερπλήρωση προϋποθέτει στιβαρή κατασκευή, έτσι ο κινητήρας Diesel είναι ιδανικός για υπερπλήρωση εφόσον είναι στιβαρός και δεν εμφανίζει κρουστικές καύσεις.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πλέον είναι η υπερπλήρωση δια του καυσαερίου, δηλαδή με ζεύγος στρόβιλο-συμπιεστή, όπου ο συμπιεστής κινείται από ένα στρόβιλο ο οποίος εκμεταλλεύεται τα υψηλά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των καυσαερίων στην έξοδο των κυλίνδρων. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται στρόβιλο-υπερπλήρωση και το ζεύγος στροβίλου-συμπιεστή δεν έχει καμία μηχανική σύνδεση με τον κινητήρα (εικόνα 2.2). Μια άλλη μέθοδος η οποία σπάνια βρίσκει πλέον εφαρμογή είναι η μηχανική υπερπλήρωση. Εδώ ο συμπιεστής μπορεί να παίρνει κίνηση από τη στροφαλοφόρο άτρακτο αλλά επειδή απορροφά πολύτιμο μηχανικό έργο αποφεύγεται.

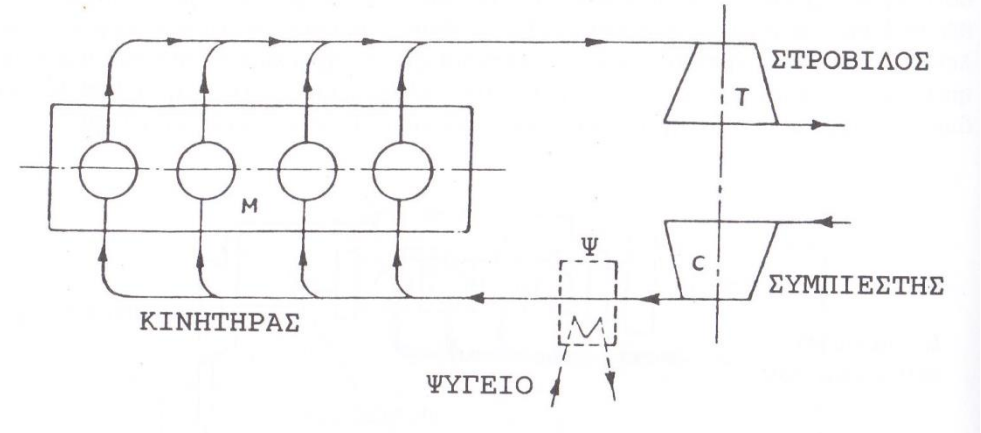
Για το σύστημα με στρόβιλο-υπερπλήρωση υπάρχουν τρεις μέθοδοι, οι οποίοι είναι: Σταθερής πιέσεως, Μετατροπέα παλμών και Παλμών πιέσεως.

Στη μέθοδο σταθερής πίεσης, υπάρχει ένας μεγάλος οχετός εξαγωγής των καυσαερίων, που απορροφά τις διακυμάνσεις της πίεσης, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια των καυσαερίων σε θερμική ενεργεία. Σκοπός είναι η πίεση στην έξοδο των κυλίνδρων να έχει σταθερή τιμή και μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής πίεσης, ώστε ο στρόβιλος να λειτουργεί με καλό βαθμό απόδοσης.

Η μέθοδος μετατροπέα παλμών έχει ως σκοπό την μετατροπή της κινητικής ενέργειας των καυσαερίων στην έξοδο των κυλίνδρων, ώστε να αυξηθεί η τιμή της πίεσης στην είσοδο του στροβίλου με τη βοήθεια ενός ή περισσοτέρων διαχυτών.

Στη μέθοδο παλμών πίεσης, σκοπός είναι να χρησιμοποιηθεί η κινητική ενέργεια των καυσαερίων στην έξοδο των κυλίνδρων, για να κινηθεί ο στρόβιλος, χωρίς να υπάρξει μεταβολή της πίεσης στον αγωγό εξαγωγής.

Σε περιπτώσεις που ο βαθμός υπερπλήρωσης είναι μεγάλος (άνω του 40%) τοποθετείται ψυγείου νερού μετά το συμπιεστή και προ της εισόδου των κυλίνδρων και ονομάζεται ψυγείο του αέρα αποπλύσεως. Ο σκοπός του ψυγείου είναι να μειωθεί η θερμοκρασία του αέρα, ώστε να αυξηθεί η πυκνότητα και άρα ο βαθμός υπερπληρώσεως με συνέπεια την αύξηση του μηχανικού έργου που θα μας αποδώσει ο κινητήρας.



Εικόνα 2.2 Στροβιλο-υπερπλήρωση

2.6 Λειτουργία 2-Χ ναυτικού κινητήρα Diesel

Στον δίχρονο κινητήρα, και κατ' επέκταση στον δίχρονο ναυτικό κινητήρα diesel ο πλήρης κύκλος λειτουργίας ολοκληρώνεται σε δύο παλινδρομικές διαδρομές του εμβόλου, δηλαδή σε μία πλήρη περιστροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου.

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των δύο χρόνων λειτουργίας:

1^{ος} χρόνος λειτουργίας (διαδρομή ανόδου)

Το έμβολο του κυλίνδρου βρίσκεται στο κάτω νεκρό σημείο και αρχίζει να ανέρχεται προς το άνω νεκρό σημείο. Μετά από περίπου 40^0 από το κάτω νεκρό σημείο, το έμβολο καλύπτει τις θυρίδες σαρώσεως και κλείνουν οι βαλβίδες εξαγωγής. Πολλοί κατασκευαστές επιτρέπουν στη βαλβίδα εξαγωγής να παραμείνει ανοικτή μέχρι τις 60^0 – 90^0 μετά το κάτω νεκρό σημείο. Ως αποτέλεσμα έχει την καλύτερη απόπλυση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια, παρόλο που χάνεται ποσότητα καθαρού αέρα στον οχετό εξαγωγής. Τέλος με το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής ξεκινά η φάση της συμπίεσης του αέρα, η οποία και διαρκεί μέχρι την έγχυση καυσίμου στον κύλινδρο, πριν την έναρξη της καύσης.

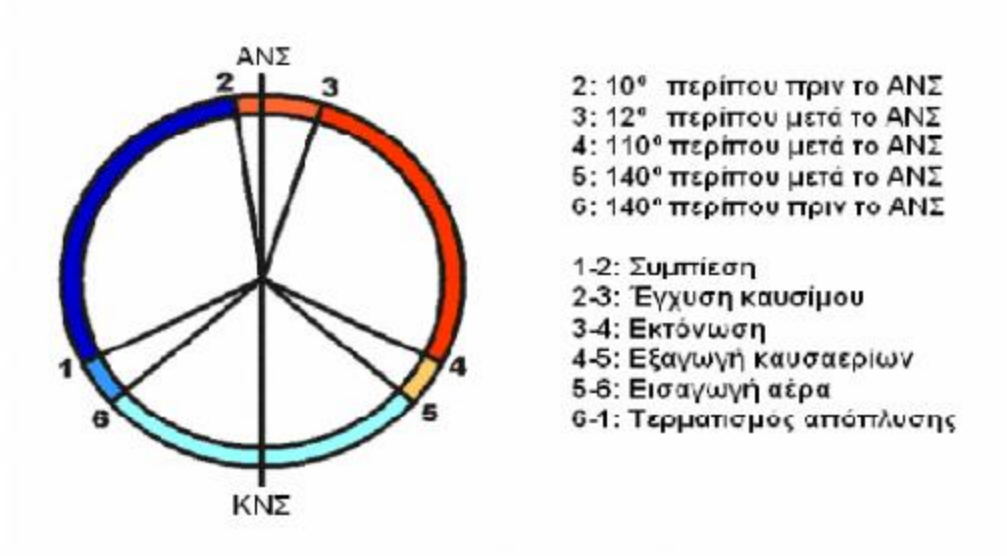
2^{ος} χρόνος λειτουργίας (διαδρομή καθόδου)

Το έμβολο βρίσκεται περίπου 10^0 πριν το άνω νεκρό σημείο όταν ξεκινά η διαδικασία έγχυσης καυσίμου. Ο εισερχόμενος αέρας στον κύλινδρο έχει συμπιεστεί, με αποτέλεσμα η πίεση και η θερμοκρασία του αέρα να είναι αρκετά

υψηλές ώστε να υπάρχει αυτανάφλεξη. Από αυτό το σημείο ξεκινάει η φάση της καύσης η οποία και ολοκληρώνεται μέχρι το έμβολο να βρεθεί περίπου 15^0 μετά το άνω νεκρό σημείο. Εν συνεχεία πραγματοποιείται η εκτόνωση του εργαζόμενου μέσου μέχρι το έμβολο να βρεθεί περίπου 70^0 πριν το κάτω νεκρό σημείο. Σε αυτή τη φάση λειτουργίας αποδίδεται και το ωφέλιμο έργο του κινητήρα. Καθώς το έμβολο κινείται προς τα κάτω ελευθερώνει πρώτα τη θυρίδα εξαγωγής περίπου 40^0 πριν το κάτω νεκρό σημείο, οπότε τα καυσαέρια αρχίζουν να οδηγούνται στον οχετό εξαγωγής. Σχεδόν την ίδια στιγμή ελευθερώνεται και η βαλβίδα εισαγωγής και ξεκινάει η σάρωση, δηλαδή εισέρχεται αέρας που έχει μεγαλύτερη πίεση από αυτή που επικρατεί στον κύλινδρο και ωθεί τα καυσαέρια προς τον οχετό εξαγωγής, πριν αυτά εισέλθουν στον στροβιλοπληρωτή. Ο αέρας σαρώσεως έχει μεγαλύτερη πίεση από αυτή που επικρατεί στον κύλινδρο για τους εξής λόγους:

i) Η προπορεία ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής ως προς την έναρξη της σάρωσης
ii) Η παρουσία του στροβιλο-συμπιεστή

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.3) φαίνεται ο κύκλος λειτουργίας ενός δίχρονου υπερπληρωμένου ναυτικού κινητήρα



Εικόνα 2.3 Κύκλος λειτουργίας δίχρονου υπερπληρωμένου ναυτικού κινητήρα

2.7 Περιγραφή του δίχρονου κινητήρα που χρησιμοποιείται στη διερεύνηση

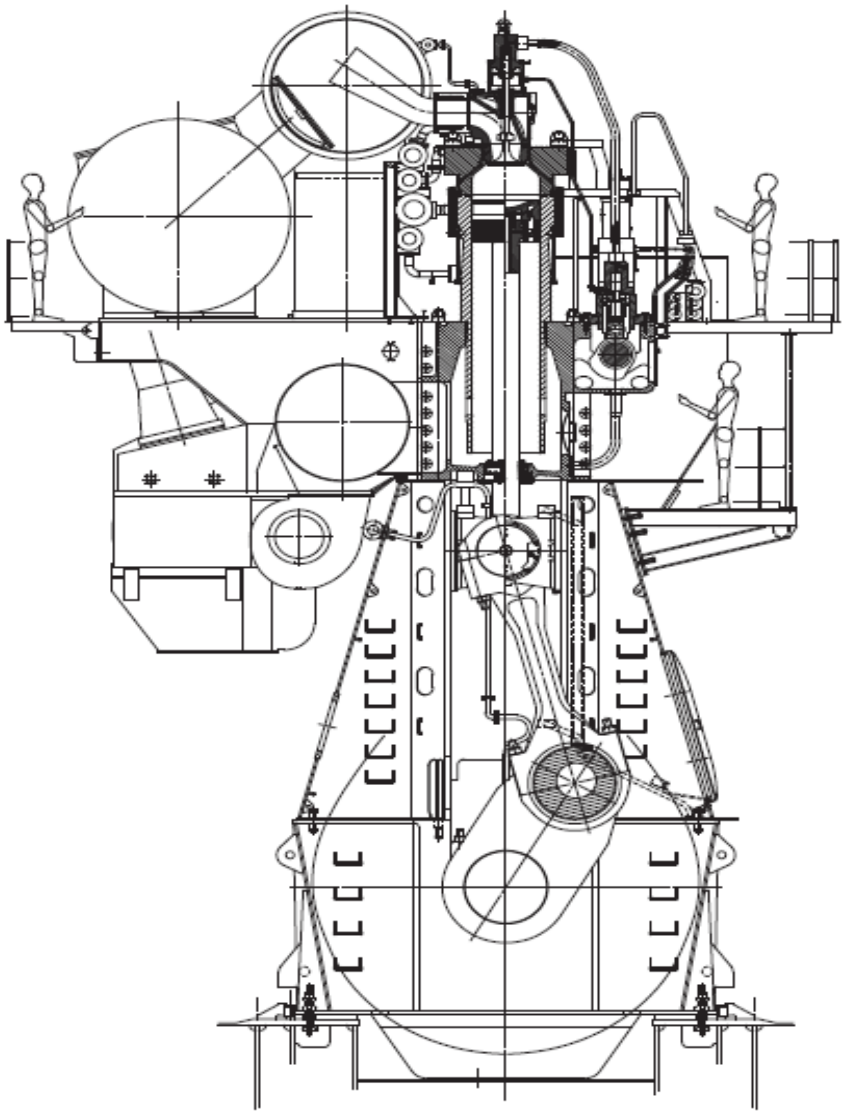
Ο κινητήρας που θα εξετασθεί στη παρούσα διπλωματική εργασία είναι κατασκευασμένος από τον οίκο MAN B&W.

Διαθέτει έξι κυλίνδρους, έχει διάμετρο εμβόλου 700 χιλιοστά και η διαδρομή του εμβόλου είναι 2800 χιλιοστά. Ο κάθε κύλινδρος είναι εξοπλισμένος με τη δική του αντλία έγχυσης καυσίμου.

Έχει έναν στροβιλοπληρωτή και ένα ψυγείο το οποίο είναι τοποθετημένο μετά το συμπιεστή και πριν την είσοδο των κυλίνδρων.

Δεν διαθέτει VIT (Variable Injection Timing), δηλαδή η έγχυση καυσίμου γίνεται στην ίδια γωνία στροφής της στροφαλοφόρου ατράκτου, για όλα τα φορτία και αλλάζει μόνο η παροχή καυσίμου ανάλογα με το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα. Με την λειτουργία VIT ελέγχεται η προπορεία έγχυσης καυσίμου με σκοπό να αυξηθεί η μεγίστη πίεση καύσης σε μερικό φορτίο. Επίσης συμβάλει στην εξοικονόμηση καυσίμου και στην επίτευξη αποτελεσματικότερης καύσης.

Στο ονομαστικό φορτίο λειτουργίας ο κινητήρας παράγει ισχύ 18660 kw στις 91 r/min και με συμβατικό στροβιλο-πληρωτή έχει ειδική κατανάλωση καυσίμου 171 g/kwh. Στη παρακάτω εικόνα παρατίθεται ένα σχέδιο του κινητήρα.



Εικόνα 2.4 Δίχρονος ναυτικός κινητήρας Diesel

Κεφάλαιο 3

Επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη λειτουργική συμπεριφορά κινητήρα diesel

3.1 Εισαγωγή

Οι κινητήρες Diesel είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται κυρίως στα πλοία και εκτίθενται σε μεταβαλλόμενες κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Γι αυτό το λόγο πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργήσουν κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, από χειμώνα σε καλοκαίρι και από αρκτικές σε τροπικές περιοχές.

Δεδομένου ότι οι μεταβολές της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας είναι περιορισμένες, ο κινητήρας δεν εκτίθεται σε πραγματικά ακραίες θερμοκρασίες. Ωστόσο οι αλλαγές που συμβαίνουν στις συνθήκες περιβάλλοντος προκαλούν μεταβολές στην ισχύ που αποδίδει ο κινητήρας, στην ειδική κατανάλωση καυσίμου, το ποσότητα των καυσαερίων που εκπέμπει η μηχανή αλλά και στη θερμοκρασία των καυσαερίων. Γενικά προκαλούνται μεταβολές σε όλες τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα. Συνεπώς η λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την λειτουργία των κινητήρων diesel είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η πίεση περιβάλλοντος και η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθεί η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών μέσω λογισμικού προσομοίωσης και συσχετίσεων, ξεχωριστά για την κάθε παράμετρο του περιβάλλοντος. Στόχος της είναι να διαπιστωθεί αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί προσομοίωση, επειδή σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχουν συσχετίσεις από τους κατασκευαστικούς οίκους.

3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα

Άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη καλή λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα είναι να τηρούνται κάποιοι περιορισμοί κατά την εκκίνηση του και ο αερισμός του μηχανοστασίου να είναι επαρκής. Επίσης, σημαντική επίδραση στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα προκαλεί η υγρασία του αέρα εισαγωγής.

Κατά την εκκίνηση του κινητήρα, καλό θα ήταν να δουλεύει στο 90% με 100% του φορτίου για διάστημα περίπου τριάντα λεπτών. Σε αυτό το φορτίο θα πρέπει να πηγαίνει σταδιακά σε διάστημα περίπου εξήντα λεπτών.

Ο αερισμός του μηχανοστασίου θα πρέπει να είναι επαρκής για τη σωστή καύση στη κύρια μηχανή, τις βοηθητικές μηχανές diesel και τους λέβητες. Επίσης, θα πρέπει το μηχανοστάσιο να έχει σχεδιαστεί έτσι, ώστε να απομακρύνει την ακτινοβολία και τη θερμότητα από τα παραπάνω. Επιπλέον η είσοδος των αεραγωγών είναι αναγκαίο να τοποθετείται σε κατάλληλη απόσταση από τον οχετό εξαγωγής των καυσαερίων, προκειμένου να αποφευχθεί η αναρρόφηση καυσαερίων μέσα στο μηχανοστάσιο. Η παροχή αέρα στο μηχανοστάσιο επιβάλλεται να είναι τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερη, από την ποσότητα αέρα που αναρροφά η κύρια μηχανή στο 100% του φορτίου της.

Η υγρασία του αέρα επηρεάζει την απόδοση του κινητήρα, αλλά όχι σε τόσο μεγάλο βαθμό όπως η πίεση ή η θερμοκρασία περιβάλλοντος (Redsell et al, 1993). Υψηλή υγρασία του αέρα μειώνει το θερμικό βαθμό απόδοσης και ελαττώνει την ταχύτητα της καύσης (Taylor, 1992). Επίσης υψηλή υγρασία είναι ωφέλιμη για το κινητήρα στις υψηλές θερμοκρασίες στο κύλινδρο, καθώς αποτρέπει την εμφάνιση ‘χτυπήματος’ του κινητήρα, καθώς απορροφάει θερμότητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διάλυσης των μορίων του νερού (Giacosa, 1986). Επιπλέον η παρουσία του νερού στον αέρα εισαγωγής μειώνει τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου και μονοξειδίου του άνθρακα (Sodre και Soares, 2003). Μία ακόμα επίδραση της υψηλής υγρασίας, η οποία και θέλει ιδιαίτερη προσοχή, είναι η πιθανή συμπύκνωση του νερού στο ψυγείο του αέρα αν η θερμοκρασία πέσει χαμηλότερα από τη θερμοκρασία δρόσου στη δεδομένη πίεση.

3.3 Επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος έχει βρεθεί πως επηρεάζει την ταχύτητα της καύσης, το ρυθμό αντίδρασης της καύσης, την ομοιομορφία μίγματος καυσίμου-αέρα, τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης και την μεταφορά θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων του κυλίνδρου (Pulkrabek, 1997). Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος τόσο μειώνεται ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης (Heywood, 1989). Η αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορεί επίσης να συμβάλει στην εξάτμιση καύσιμων συστατικών στο θάλαμο καύσης (Giacosa, 1986). Επίσης η ισχύς που παράγει ο κινητήρας μειώνεται, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος, αφού η πυκνότητα του αέρα μειώνεται και συνεπώς μειώνεται και η ποσότητα αέρα που θα εισέλθει στον κύλινδρο για την καύση.

Αντίθετα όταν μειώνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος, μια μικρή ποσότητα του εγχυμένου καυσίμου εξατμίζεται προκαλώντας ανομοιογένεια. Ως αποτέλεσμα της χαμηλής θερμοκρασίας είναι η χαμηλότερη ταχύτητα καύσης, υψηλότερη ποσότητα άκαυστου μίγματος αέρα-καυσίμου και παραγωγή περισσότερων ρύπων (Pulkrabek, 1997; Heywood, 1989; Giacosa, 1986). Σε

πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, πρέπει να υπάρχει προσοχή για να μην υπερβεί η πίεση καύσης το μέγιστο επιτρεπτό όριο.

Όσον αφορά το σύστημα υπερπλήρωσης, η ενέργεια που απαιτείται για την συμπίεση του αέρα εισαγωγής είναι ευθέως ανάλογη προς τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επομένως σε μια δεδομένη ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή, ο λόγος πίεσης του συμπιεστή μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, και το αντίστροφο. Επίσης άμεση συνέπεια της αύξησης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων (Abb Turbo Systems).

3.4 Επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα

Η πίεση περιβάλλοντος εξαρτάται από το υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, και μειώνεται όσο αυξάνεται το υψόμετρο. Εντούτοις, διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης εμφανίζονται και στην επιφάνεια της θάλασσας, και η χαμηλότερη που έχει καταγραφεί είναι στη βόρεια θάλασσα, μόλις 915mbar, και η υψηλότερη περίπου 1050mbar.

Όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση, τόσο αυξάνεται και η πυκνότητα του αναρροφούμενου αέρα και ως εκ τούτου αυξάνεται η ποσότητα του αέρα στον κινητήρα. Αυτή η αυξημένη ποσότητα αέρα, βελτιώνει τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα και αυξάνει την ισχύ που παράγει (Pulkrabek, 1997; Heywood, 1989; Giacosa, 1986). Η αυξημένη ισχύς είναι συνέπεια της αύξησης της πίεσης συμπιέσεως και καύσεως.

Στο σύστημα υπερπλήρωσης, όσο μειώνεται η ατμοσφαιρική πίεση, τόσο αυξάνεται η αναλογία πίεσης κατά μήκος του στροβίλου και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται οι στροφές του υπερπληρωτή. Η αναλογία της συμπίεσης του συμπιεστή αυξάνει όσο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοπληρωτή (Abb Turbo Systems).

Όταν η ταχύτητα του υπερπληρωτή έχει φθάσει το ανώτατο όριο περιστροφής, η ισχύς που παράγει ο κινητήρας θα πρέπει να μειωθεί, για να αποτραπεί η υπέρβαση του ορίου ταχύτητας. Για να αποτραπεί το παραπάνω μπορεί να χρειάζονται περαιτέρω ενέργειες, όπως διαφυγή ενός μέρους της ποσότητας των καυσαερίων. Το ανώτατο αυτό όριο θα δίνεται από τον κατασκευαστή, για κάποιες περιβαλλοντικές συνθήκες. Όποτε και καθίσταται αναγκαίο η αναγωγή της μετρημένης ταχύτητας του υπερπληρωτή σε αυτές τις συνθήκες (Abb Turbo Systems).

3.5 Επίδραση της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα στη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα

Στις μηχανές diesel είναι πολύ σημαντικό να εξασφαλιστεί ότι η θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής στον κύλινδρο δεν θα είναι μεγάλη γιατί αυτό θα οδηγήσει σε μειωμένη πυκνότητα, υψηλότερες θερμοκρασίες καύσης και μείωση της ισχύος και αύξηση των ρύπων. Γι αυτό το λόγο μετά το συμπιεστή, ο οποίος αυξάνει τη πίεση του αέρα αλλά και τη θερμοκρασία του, τοποθετείται το ψυγείο του αέρα για να εξασφαλισθεί ότι ο αέρας δεν θα εισέλθει στους κυλίνδρους με αυξημένη θερμοκρασία.

Όπως συμπεραίνεται είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος, αφού είναι αυτή που τελικά διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά του αέρα εισαγωγής στο κύλινδρο.

3.6 Συνθήκες αναφοράς

Για να είναι τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έχουν ληφθεί από τον κινητήρα συγκρίσιμα μεταξύ τους, είναι απαραίτητο όλες οι μετρήσεις των παραμέτρων λειτουργίας να αναχθούν σε κοινές συνθήκες αναφοράς. Αυτές οι συνθήκες μπορεί να είναι οποιοσδήποτε, όπως στη παρούσα εργασία είναι οι συνθήκες των εργοστασιακών δοκιμών, ή να είναι σύμφωνα με κάποιον διεθνή ή εγχώριο οργανισμό.

Συνήθως επιλέγεται ένας διεθνής οργανισμός, όπως είναι ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (ISO), γιατί σύμφωνα με αυτές τις συνθήκες δίνονται τα ανώτερα ή/και κατώτερα όρια λειτουργίας των παραμέτρων από τους κατασκευαστές. Με αυτό τον τρόπο είναι πιο εύκολο να ελεγχθεί, και κατά συνέπεια να αποφευχθεί θερμική ή μηχανική υπερφόρτωση της κύριας ή των βοηθητικών μηχανών ή του συστήματος υπερπλήρωσης.

Σύμφωνα με το διεθνή οργανισμό τυποποίησης (ISO), και τους κανονισμούς «ISO 3046-1:2002» και «ISO 15550:2002» οι περιβαλλοντικές συνθήκες αναφοράς είναι:

Πίεση της ατμόσφαιρας	1000 mbar
Θερμοκρασία της ατμόσφαιρας	25 ^{o}C
Θερμοκρασία νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα	25 ^{o}C
Σχετική υγρασία αέρα	30%

Ακόμη σύμφωνα με τους παραπάνω κανονισμούς η κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου αναφοράς είναι 10200 kcal/kg ή 42700 kj/kg.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, όπως ειπώθηκε προηγουμένως, θα χρησιμοποιηθούν ως συνθήκες αναφοράς, οι συνθήκες περιβάλλοντος που υπήρχαν όταν διεξήχθησαν οι εργοστασιακές δοκιμές. Αύτη η επιλογή βασίστηκε στο ότι απλά διερευνάται η μεταβολή των παραμέτρων και δεν τίθεται κάποιο όριο ασφαλείας. Επίσης τα αποτελέσματα είναι πιο άμεσα, καθώς αν είχαν επιλεγεί άλλες συνθήκες αναφοράς, θα έπρεπε να γινόταν αναγωγή των μετρήσεων των εργοστασιακών δοκιμών σε αυτές, και μετέπειτα η διερεύνηση για κάθε μια παράμετρο του περιβάλλοντος ξεχωριστά.

3.7 Συσχετίσεις για την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζονται και αναλύονται οι συσχετίσεις που δόθηκαν από τον κατασκευαστικό οίκο, για την διόρθωση κάποιων λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα στις συνθήκες αναφοράς. Οι συνθήκες αναφοράς στις οποίες και έγινε η διόρθωση των παραμέτρων είναι:

Load (%)	Tambient (^oC)	Pambient (mbar)	Twater (^oC)
25	25	1021	18
50	25,8	1021	19
75	26,5	1021	23,5
90	27	1021	27
100	27	1021	30
110	28	1021	33,5

Οι συσχετίσεις των παραμέτρων για την αναγωγή στις συνθήκες αναφοράς, παρουσιάζονται ως συνάρτηση των τριών παραγόντων του περιβάλλοντος και της μετρημένης τιμής της παραμέτρου. Ύστερα αναλύεται ο κάθε παράγοντας του περιβάλλοντος με τον αντίστοιχο συντελεστή για να γίνει σαφές τι επίδραση έχει στη παράμετρο που εξετάζεται.

Για να γίνουν πιο απλές οι παρακάτω σχέσεις επεξηγούνται οι όροι:

$\Delta T_{ambient} = T_{ambient.ref} - T_{ambient.meas}$
$\Delta P_{ambient} = P_{ambient.ref} - P_{ambient.meas}$
$\Delta T_{water} = T_{water.ref} - T_{water.meas}$

Ακολουθούν οι συσχετίσεις που δόθηκαν από τον κατασκευαστικό οίκο:

Πίεση συμπίεσης $P_{com.\ reference}$ (bar):

$P_{com.ref}=f(\Delta T_{water},\Delta T_{ambient},\Delta P_{ambient},\ P_{com.meas})$

$P_{com.ref}=(corrector+1)*P_{com.meas} + corrector$

$Corrector= \Delta T_{water}*0.00153- \Delta T_{ambient}*0.002954+ \Delta P_{ambient}*0.75*0.000301$

Corrector 1 = $\Delta T_{water}*0.00153$
Corrector 2= - $\Delta T_{ambient}*0.002954$
Corrector 3= $\Delta P_{ambient}*0.75*0.000301$

Η σχέση μας δείχνει ότι:

- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου η πίεση συμπίεσης αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος η πίεση συμπίεσης μειώνεται
- όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση η πίεση συμπίεσης αυξάνεται

Μέγιστη Πίεση καύσης $P_{firing.\ reference}$ (bar):

$P_{fir.ref}=f(\Delta T_{water},\ \Delta T_{ambient},\Delta P_{ambient},\ P_{fir.meas})$

$P_{fir.ref}=(corrector+1)*P_{fir.meas} + corrector$

$Corrector= \Delta T_{water}*0.00081- \Delta T_{ambient}*0.002198+ \Delta P_{ambient}*0.75*0.000222$

Corrector 1= $\Delta T_{water}*0.00081$
Corrector 2= - $\Delta T_{ambient}*0.002198$
Corrector 3= $\Delta P_{ambient}*0.75*0.00022$

Η σχέση μας δείχνει ότι:

- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου η πίεση καύσεως αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας η πίεση καύσεως μειώνεται
- όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση η πίεση καύσεως αυξάνεται ι

Πίεση σάρωσης $P_{scavenging.reference}$ (bar):

$P_{scav.ref}=f(\Delta T_{water}, \Delta T_{ambient}, \Delta P_{ambient}, P_{scav.meas})$

$P_{scav.ref}=(corrector+1)*P_{scav.meas} + corrector$

$Corrector= \Delta T_{water}*0.00222- \Delta T_{ambient}*0.002856+ \Delta P_{ambient}*0.75*0.000293$

Corrector 1= $\Delta T_{water}*0.00222$
Corrector 2= $- \Delta T_{ambient}*0.002856$
Corrector 3= $\Delta P_{ambient}*0.75*0.000293$

Η σχέση μας δείχνει ότι:

- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου η πίεση σάρωσης αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ατμόσφαιρας η πίεση σάρωσης μειώνεται
- όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση η πίεση σάρωσης αυξάνεται

Θερμοκρασία στην έξοδο του κυλίνδρου $T_{cyl.\ reference}$ (^oC)

$T_{cyl.ref}= f(\Delta T_{water}, \Delta T_{ambient} ,\Delta P_{ambient}, T_{cyl.meas})$

$T_{cyl.ref}=(corrector+1)*(T_{cyl.meas}+273.15)-273.15$

$Corrector= \Delta T_{water}*0.00059+ \Delta T_{ambient}*0.002466- \Delta P_{ambient}*0.75*0.000225$

Corrector 1= $\Delta T_{water}*0.00059$
Corrector 2= $\Delta T_{ambient}*0.002466$
Corrector 3= $- \Delta P_{ambient}*0.75*0.000225$

Η σχέση μας δείχνει ότι:

- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου η θερμοκρασία εξόδου του κυλίνδρου αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας η θερμοκρασία εξόδου του κυλίνδρου αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση η θερμοκρασία εξόδου του κυλίνδρου μειώνεται

Θερμοκρασία στην είσοδο του στροβίλου $T_{tur.in.\ reference}$ (^oC)

$T_{tur.in.ref}$= f(ΔT_{water}, $\Delta T_{ambient}$,$\Delta P_{ambient}$, $T_{tur.in.meas}$)

$T_{tur.in.ref}$=(corrector+1)*($T_{tur.in.meas}$+273.15)-273.15

Corrector= ΔT_{water}*0.00059+ $\Delta T_{ambient}$*0.002466- $\Delta P_{ambient}$*0.75*0.000225

Corrector 1= ΔT_{water}*0.00059
Corrector 2= $\Delta T_{ambient}$*0.002466
Corrector 3= - $\Delta P_{ambient}$*0.75*0.000225

Η σχέση μας δείχνει ότι:

- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου η θερμοκρασία εισόδου του στροβίλου αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας η θερμοκρασία εισόδου του στροβίλου αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση η θερμοκρασία εισόδου του στροβίλου μειώνεται

Θερμοκρασία στην έξοδο του στροβίλου $T_{tur.out.\ reference}$ (^oC)

$T_{tur.out.ref}$= f(ΔT_{water}, $\Delta T_{ambient}$, $\Delta P_{ambient}$, $T_{tur.\ out.meas}$)

$T_{tur.\ out.ref}$=(corrector+1)*($T_{tur.\ out.meas}$+273.15)-273.15

Corrector= ΔT_{water}*0.00018+ $\Delta T_{ambient}$*0.00316- $\Delta P_{ambient}$*0.75*0.000037

Corrector 1= ΔT_{water}*0.00018
Corrector 2= $\Delta T_{ambient}$*0.00316
Corrector 3= - $\Delta P_{ambient}$*0.75*0.000037

Η σχέση μας δείχνει ότι:

- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου η θερμοκρασία εξόδου του στροβίλου αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας η θερμοκρασία εξόδου του στροβίλου αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση η θερμοκρασία εξόδου του στροβίλου μειώνεται

Ποσότητα αέρα $M_{air.\ reference}$ (Kg/Kw*h) :

$M_{air.ref}$= f(ΔT_{water},$\Delta T_{ambient}$, $\Delta P_{ambient}$, $M_{air.meas}$)

$M_{air.ref}$=(corrector+1)* $M_{air.meas}$ + corrector

Corrector= ΔT_{water}*0.00189- $\Delta T_{ambient}$*0.004064+ $\Delta P_{ambient}$*0.75*0.000365

Corrector 1= ΔT_{water}*0.00189
Corrector 2= - $\Delta T_{ambient}$*0.004064
Corrector 3= $\Delta P_{ambient}$*0.75*0.000365

Η σχέση μας δείχνει ότι:

- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου η ποσότητα αέρα αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία ατμόσφαιρας η ποσότητα αέρα μειώνεται
- όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση η ποσότητα αέρα αυξάνεται

Στα κεφάλαια 6,7 και 8 δεν θα γίνει διερεύνηση της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών στη ποσότητα αέρα με χρήση των συσχετίσεων, γιατί δεν υπάρχει αντίστοιχη μέτρηση στις εργοστασιακές δοκιμές, και άρα δεν έχουμε σημείο αναφοράς.

Ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοπληρωτή $n_{tc.\ reference}$ (rpm)

$n_{tc.ref}$=f($T_{ambient.ref}$, $T_{ambient.meas}$, $P_{amb.ref}$, $P_{amb.meas}$, $P_{scav.ref}$, $P_{scav.meas}$,$n_{tc.meas}$)
$n_{tc.ref}$=$n_{tc.meas}$*corrector

$$\text{corrector}=\sqrt{\left[\frac{(Tambient.ref+273.15)*Pambient.meas*Pscav.ref}{(Tambient.meas+273.15)*Pambient.ref*Pscav.meas}\right]}$$

Όμως
$P_{scav.ref}$ =(ΔT_{water}*0.00222- ΔT_{amb}*0.002856+ΔP_{amb}*0.75*0.000293+1)*$P_{scav.meas}$
+ (ΔT_{water}*0.00222- ΔT_{amb}*0.002856+ΔP_{amb}*0.75*0.000293)

Επομένως οι διορθωτές της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή σε συνθήκες αναφοράς, για τον κάθε παράγοντα του περιβάλλοντος, είναι οι εξής:

Corrector 1 για την επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

$$\sqrt{[\frac{(Tambient.ref + 273.15) * [(-\Delta\text{Tambient} * 0.002856 + 1) * \text{Pscav.meas} + (-\Delta\text{Tambient} * 0.002856)]}{(Tambient.meas + 273.15) * Pscav.meas}]}$$

Corrector 2 για την επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος

$$\sqrt{[\frac{Pambient.meas * [(\Delta\text{Pambient} * 0.75 * 0.000293 + 1) * \text{Pscav.meas} + \Delta\text{Pambient} * 0.75 * 0.000293]}{Pambient.ref * Pscav.meas}]}$$

Corrector 3 για την επίδραση της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου

$$\sqrt{[\frac{(\Delta Twater * 0.00222 + 1) * Pscav.meas + \Delta Twater * 0.00222}{Pscav.meas}]}$$

Να σημειωθεί ότι η μονάδα που προστίθεται και οφείλεται στην $P_{scav.ref}$, όταν έχουμε επίδραση δύο ή τριών παραμέτρων του περιβάλλοντος είναι στη συνολική διόρθωση της $P_{scav.ref}$.

Η σχέση μας δείχνει ότι:

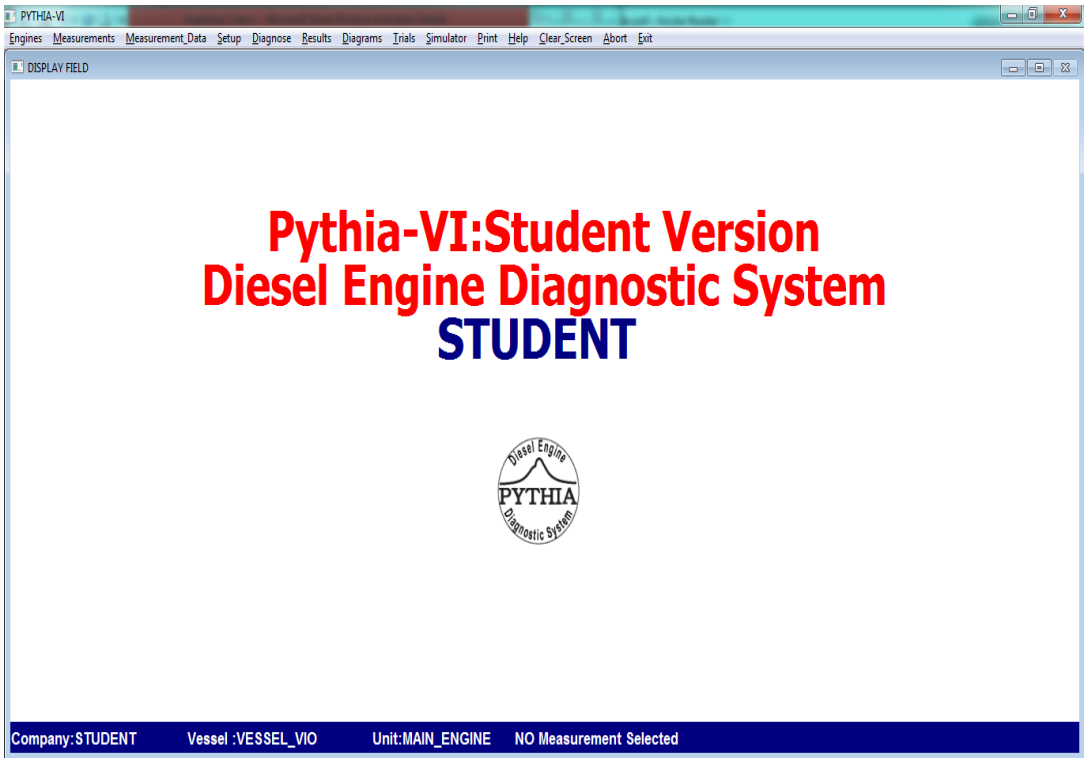
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου η ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοπληρωτή αυξάνεται
- όσο αυξάνεται η πίεση περιβάλλοντος η ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοπληρωτή μειώνεται
- όσο αυξάνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος η ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοπληρωτή μειώνεται

Κεφάλαιο 4

Περιγραφή του διαγνωστικού λογισμικού που χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση

4.1 Εισαγωγή

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση είναι το Pythia Eds-VI. Είναι ένα διαγνωστικό λογισμικό το οποίο είναι σχεδιασμένο να λαμβάνει μετρήσεις από τη κύρια ή τις βοηθητικές μηχανές μέσω κατάλληλης διάταξης, και να προβλέπει τη λειτουργία τους. Το κύριο παράθυρο εργασίας είναι (εικόνα 4.1):



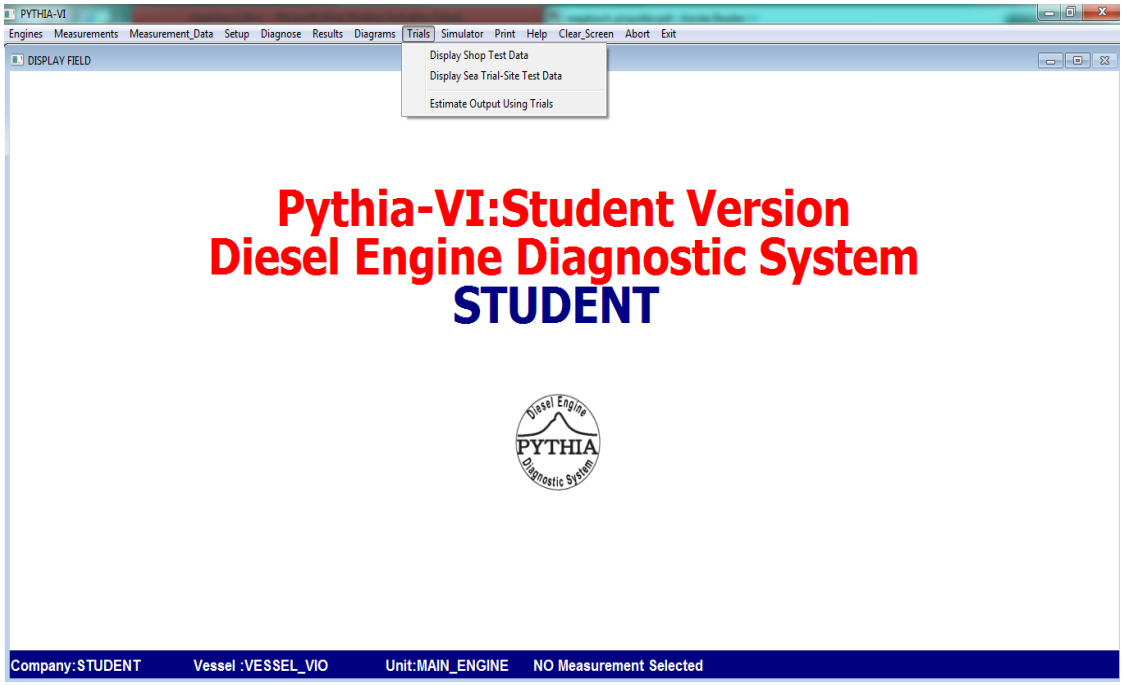
Εικόνα 4.1 Κύρια επιφάνεια εργασίας

Στο πάνω μέρος εμφανίζεται το μενού του λογισμικού και στο κάτω μέρος το όνομα της εταιρείας, το όνομα του πλοίου, ο κινητήρας που θα εξεταστεί και η μέτρηση που θα επιλεγεί.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση των επιλογών Trials και Simulator από το κύριο μενού του λογισμικού.

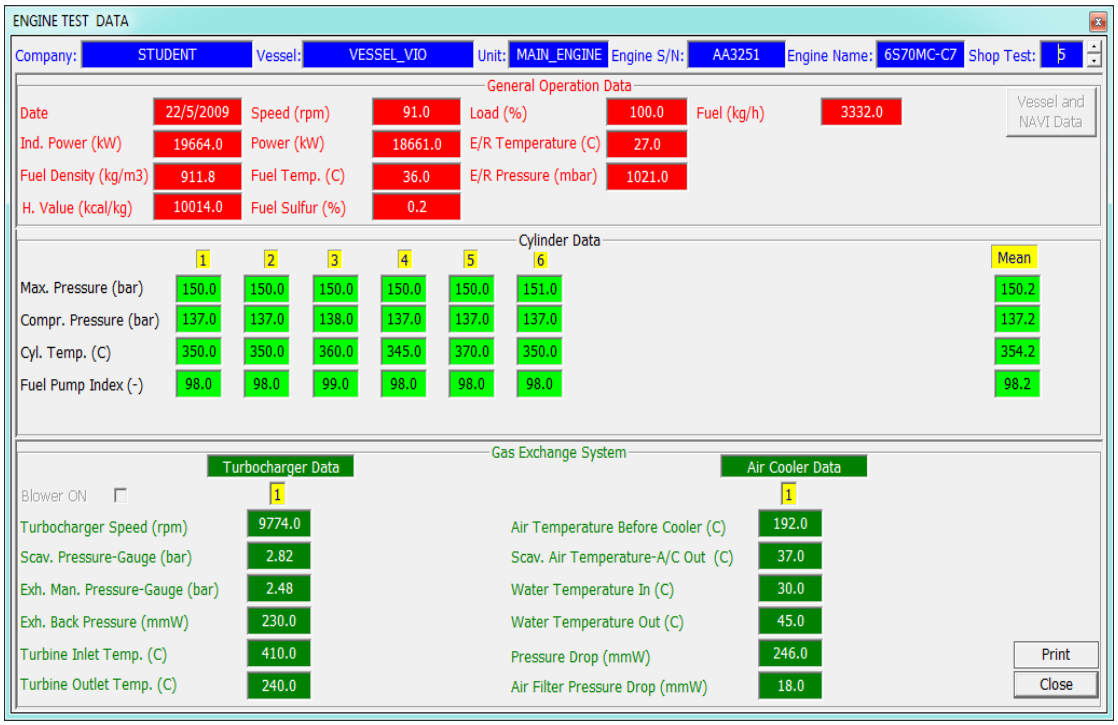
4.2 Επιλογή Trials

Η επιλογή αυτή εμφανίζει τρεις ακόμα υποεπιλογές, που είναι: «display shop test data», «display sea trials-site test data» και «estimate output using trials» όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 4.2):



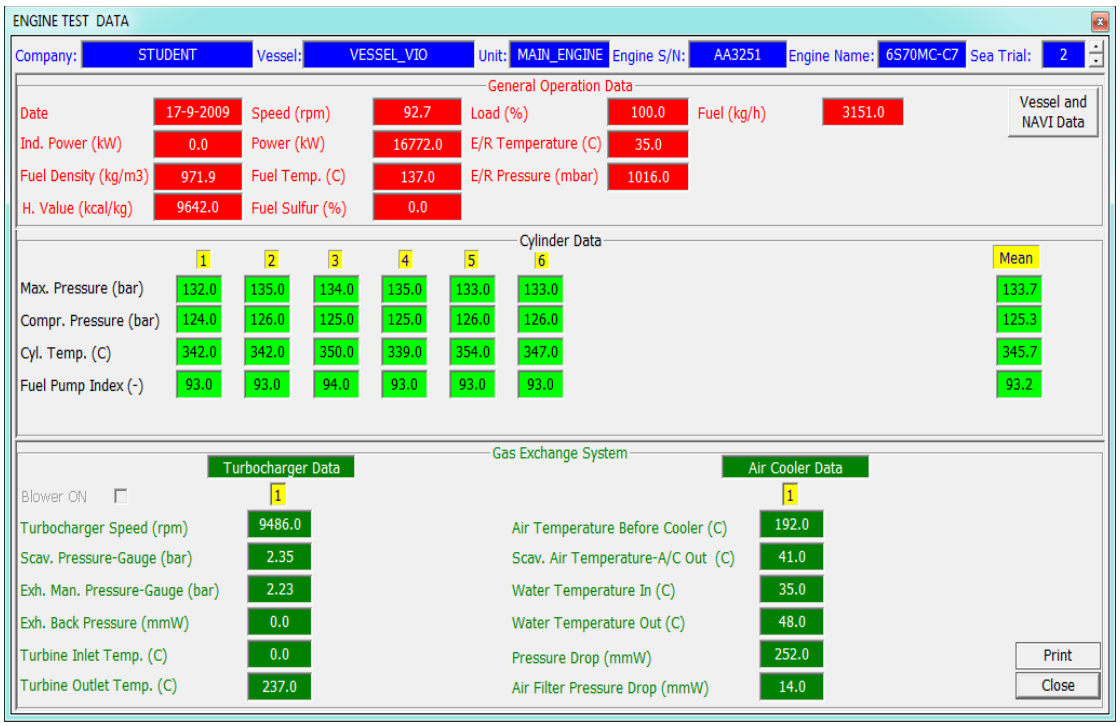
Εικόνα 4.2 Μενού Trials

Επιλέγοντας την πρώτη επιλογή «display shop test data», παρουσιάζονται οι εργοστασιακές δοκιμές των διαφόρων παραμέτρων του κινητήρα για 25%, 50%, 75%, 90%, 100%, 110% του φορτίου. Ενδεικτικά αποτυπώνεται μία εικόνα για το 100% του φορτίου (εικόνα 4.3) και με τα βελάκια πάνω δεξιά εμφανίζονται τα αποτελέσματα των υπολοίπων φορτίων.



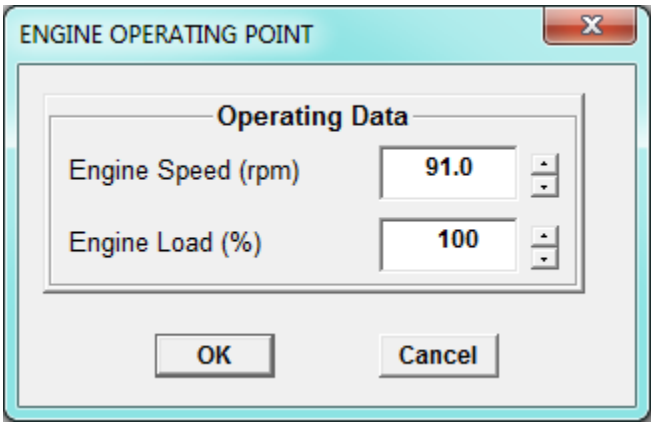
Εικόνα 4.3 Επιλογή display shop test data

Η επόμενη επιλογή που είναι διαθέσιμη είναι η «display sea trials-site test data», και εμφανίζει τα αποτελέσματα δοκιμών θαλάσσης για το 90% και 100% του φορτίου. Ενδεικτικά για το 100% του φορτίου (εικόνα 4.4):

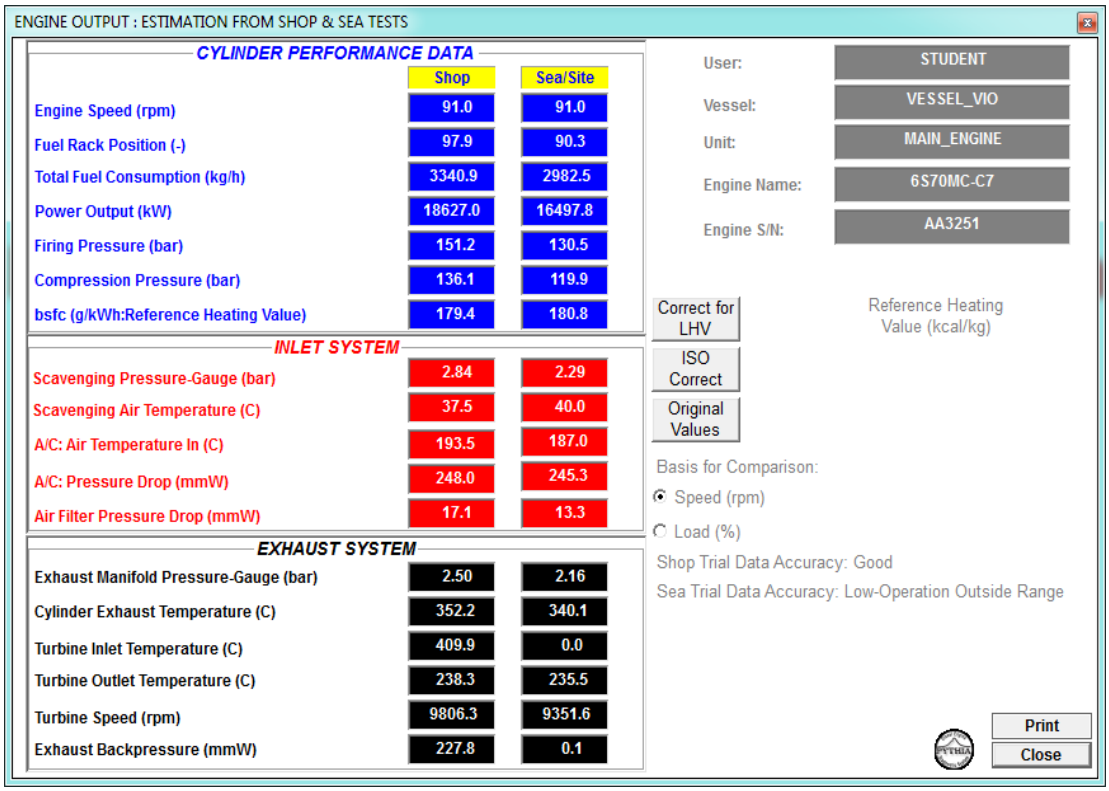


Εικόνα 4.4 Επιλογή display sea trials-site test data

Η τελευταία επιλογή «estimate output using trials» δίνει τη δυνατότητα να εκτιμηθούν οι διάφοροι παράμετροι του κινητήρα χωρίς τη χρήση προσομοίωσης εισάγοντας απλά τις στροφές του κινητήρα ή το φορτίο του (εικόνα 4.5). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση τεχνικών παρεμβολής. Βασική προϋπόθεση είναι αυτό που θα επιλεχθεί να υπάρχει στις εργοστασιακές δοκιμές αλλά και στις δοκιμές θαλάσσης, δηλαδή στη παρούσα εργασία γίνεται μόνο για το 90% και 100% του φορτίου. Πατώντας το κουμπί OK εμφανίζονται τα αποτελέσματα (εικόνα 4.6).



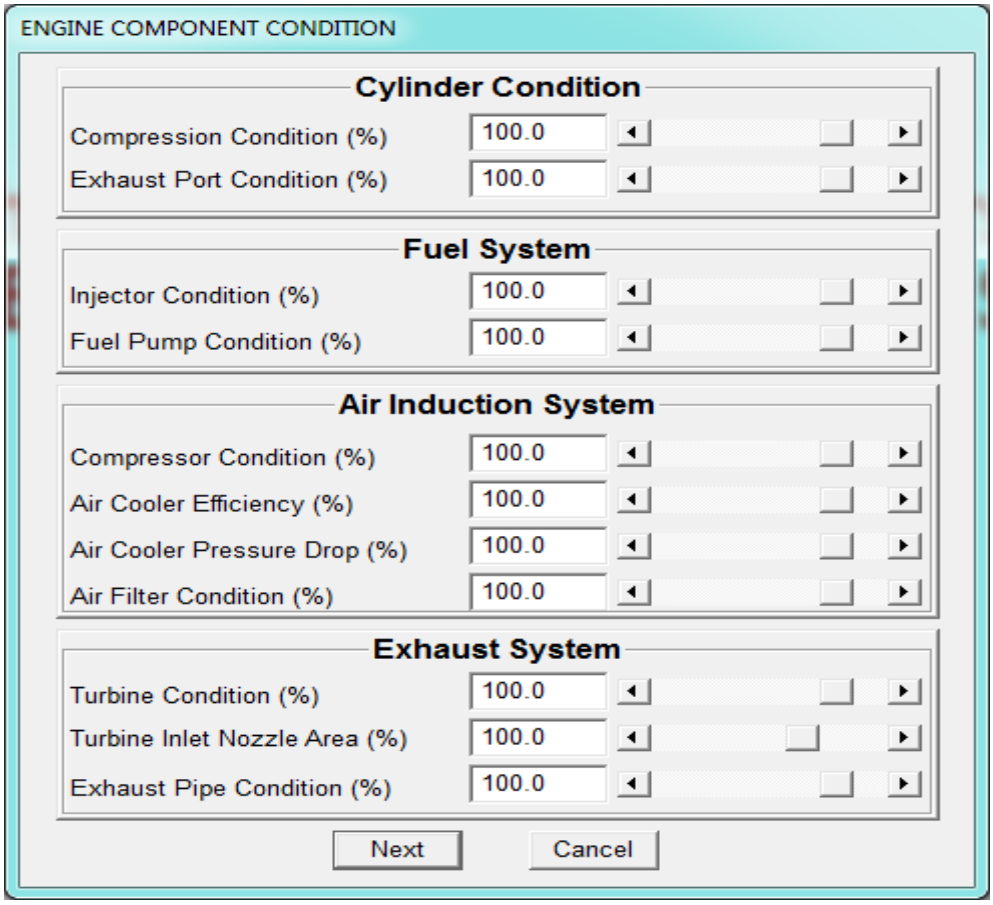
Εικόνα 4.5 Εισαγωγή δεδομένων στην επιλογή «estimate output using trials»



Εικόνα 4.6 Εξαγωγή αποτελεσμάτων της επιλογής «estimate output using trials

4.3 Επιλογή Simulator

Η επιλογή αυτή επιτρέπει την εκτίμηση της λειτουργικής συμπεριφοράς του κινητήρα χρησιμοποιώντας έναν κώδικα προσομοίωσης που βασίζεται σε βασικές αρχές της θερμοδυναμικής, μέσω διζωνικού ή πολυζωνικού μοντέλου καύσης. Αφού γίνει επιλογή του «simulator» και στη συνέχεια η υποεπιλογή «engine simulation» από το κύριο παράθυρο εργασίας εμφανίζεται ένα άλλο παράθυρο (εικόνα 4.7) με το οποίο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την κατάσταση των υποσυστημάτων του κινητήρα για ενδεχόμενες βλάβες του. Έτσι είναι εφικτό να προσομοιωθούν διάφορες καταστάσεις, μεταξύ αυτών και βλάβες.



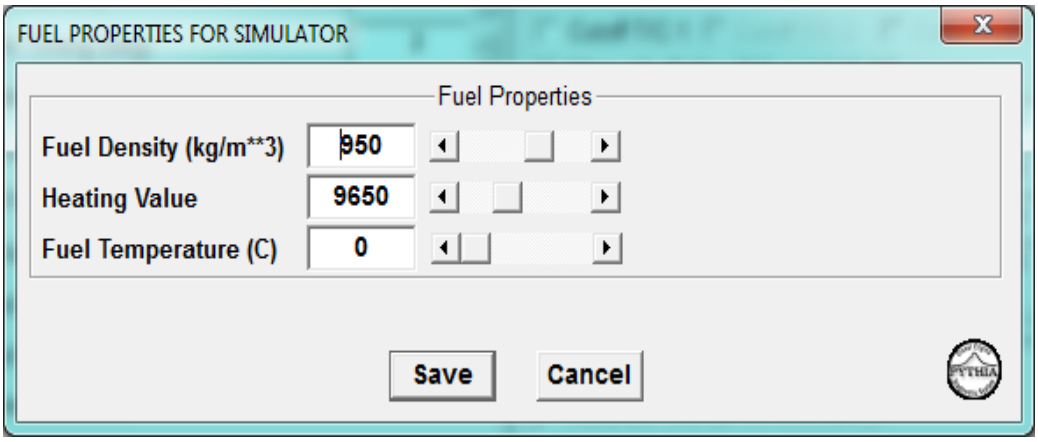
Εικόνα 4.7 Καθορισμός της κατάστασης των υποσυστημάτων του κινητήρα

Εν συνεχεία εμφανίζεται η εικόνα 4.9 στην οποία ορίζονται οι παράμετροι λειτουργίας. Αρχικά πρέπει να επιλεχθεί αν θα μπουν τα λειτουργικά δεδομένα χειροκίνητα ή αν θα γίνει υπολογισμός από το λογισμικό με βάση τις εργοστασιακές δοκιμές. Έπειτα αν το καύσιμο θα είναι αυτό που χρησιμοποιήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές ή αν θα γίνει επιλογή κάποιου άλλου μέσω της επιλογής «new fuel» (εικόνα 4.8). Επίσης δίνεται η δυνατότητα του καθορισμού των περιβαλλοντικών συνθηκών.

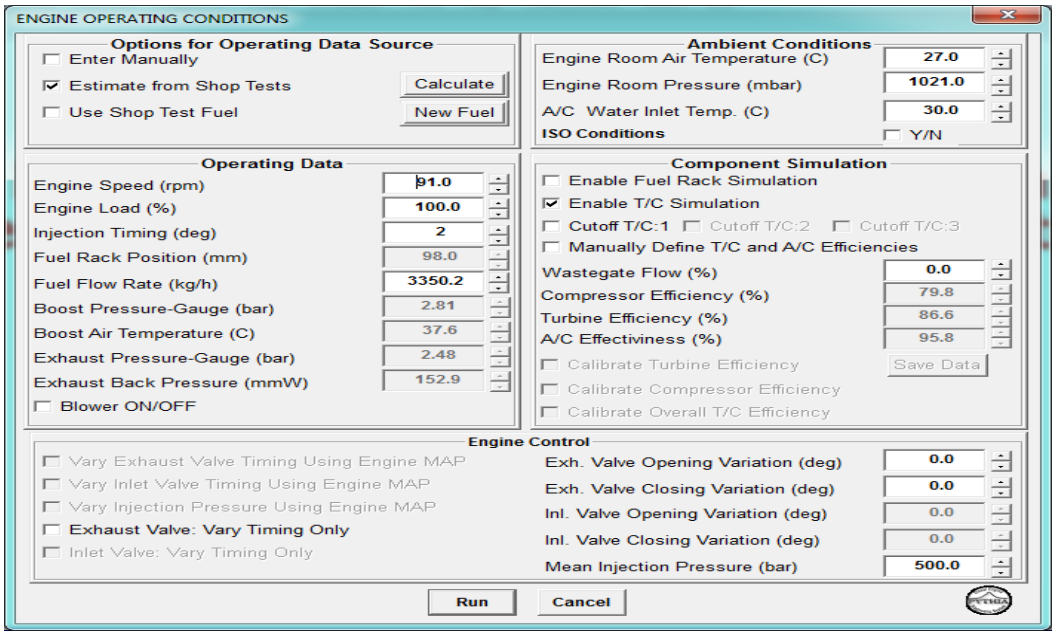
Έπειτα το λογισμικό παρέχει την δυνατότητα προσομοίωσης του στροβιλο-πληρωτή «T/C simulation» ή του κανόνα της αντλίας καυσίμου «Fuel rack simulation». Προκειμένου να προσομοιωθεί η λειτουργία του κανόνα καυσίμου, δηλαδή να υπολογισθεί η ποσότητα του καυσίμου, χρησιμοποιείται η θέση του κανόνα της αντλίας καυσίμου. Η προσομοίωση του στροβιλοπληρωτή δίνει τη δυνατότητα να γίνει και χειροκίνητος καθορισμός της απόδοσης του στροβίλου, του συμπιεστή και του ψυγείου του αέρα. Επίσης αν επιλεγεί η προσομοίωση του υπερπληρωτή το λογισμικό εκτιμά τις τιμές της θερμοκρασίας σάρωσης, της πίεσης σάρωσης, της πίεσης στον οχετό εξαγωγής και της πίεσης μετά τον στρόβιλο. Η προσομοίωση του στροβιλο-πληρωτή και του κανόνα της αντλίας του καυσίμου εξαρτώνται από την διαμόρφωση του παρεχόμενου λογισμικού και στη διαθεσιμότητα των δεδομένων για βαθμονόμηση.

Μετέπειτα επιλέγεται το φορτίο ή οι στροφές λειτουργίας του κινητήρα. Επίσης το λογισμικό διαθέτει την επιλογή ενεργοποίησης των φυσητήρων που χρησιμοποιείται κυρίως στα χαμηλά φορτία. Αν έχει επιλεγεί εκτίμηση από τις εργοστασιακές δοκιμές είναι απαραίτητη η επιλογή «calculate» ώστε να γίνει εκτίμηση των παραμέτρων από το λογισμικό, στο φορτίο ή τις στροφές που επιλέχθηκαν.

Οι παράμετροι που εκτιμώνται από την επιλογή «calculate» είναι η προπορεία έγχυσης καυσίμου, η θέση του κανόνα πετρελαίου, η συνολική κατανάλωση καυσίμου, η πίεση σάρωσης, η θερμοκρασία σάρωσης, η πίεση σάρωσης, η πίεση στον οχετό εξαγωγής και η πίεση μετά τον στρόβιλο. Επίσης υπολογίζονται και οι βαθμοί απόδοσης του συμπιεστή, του στροβίλου και του ψυγείου αέρα. Αν ο χρήστης έχει καταχωρήσει χειροκίνητα τα δεδομένα αρκεί η επιλογή «run» για να ξεκινήσει η διαδικασία προσομοίωσης.

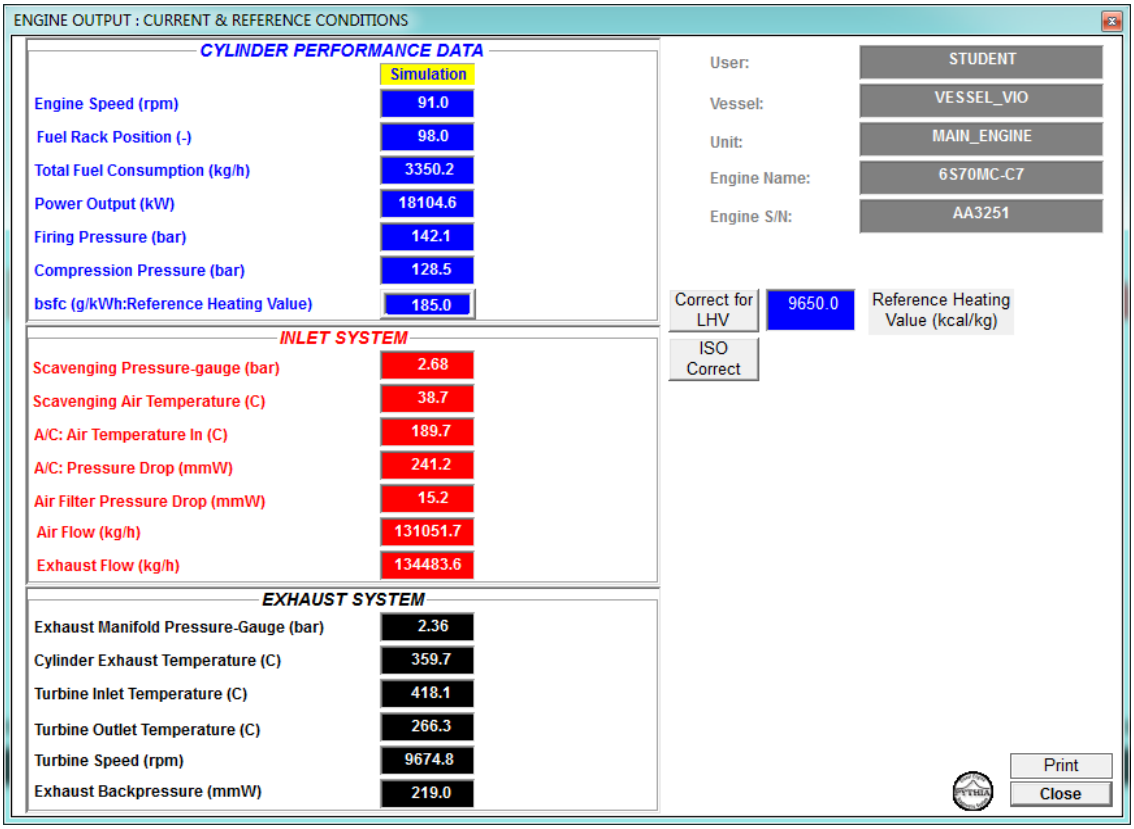


Εικόνα 4.8 Καθορισμός χαρακτηριστικών καυσίμου



Εικόνα 4.9 Καθορισμός των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα

Αφού έχουν επιλεγεί τα δεδομένα στο παράθυρο «engine operating condition» και επιλέγοντας την επιλογή «Run» πραγματοποιείται η προσομοίωση και μετά την ολοκλήρωση της, εξάγονται τα αποτελέσματα για τις τιμές των διαφόρων παραμέτρων του κινητήρα (εικόνα 4.10).



Εικόνα 4.10 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Κεφάλαιο 5

Έλεγχος της προβλεπτικής ικανότητας του λογισμικού προσομοίωσης

5.1 Εισαγωγή

Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό προσομοίωσης, και τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα, είναι αναγκαίο να διαπιστωθεί η προβλεπτική του ικανότητα. Για το λόγο αυτό θα γίνει προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα για συνθήκες που είναι γνωστές. Οι παραπάνω συνθήκες είναι αυτές κάτω από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι εργοστασιακές δοκιμές. Στη συνέχεια θα απεικονιστούν σε διαγράμματα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης από τις εργοστασιακές δοκιμές και οι μετρημένες τιμές στις εργοστασιακές δοκιμές, συναρτήσει του φορτίου.

Από το κύριο μενού του λογισμικού επιλέχθηκε η επιλογή «simulator» και έπειτα η υποεπιλογή «engine simulation» και εμφανίζεται η “εικόνα 4.5” που είναι ο καθορισμός των υποσυστημάτων του κινητήρα. Θεωρήθηκε ότι όλα λειτουργούν στο 100%.

Στη συνέχεια στο καθορισμό των παραμέτρων λειτουργίας “εικόνα 4.6” έγιναν οι επιλογές «estimate from shop tests», δηλαδή να γίνει εκτίμηση των παραμέτρων από το λογισμικό με βάση τις εργοστασιακές δοκιμές, και «use shop tests fuel», να χρησιμοποιηθεί δηλαδή το ίδιο καύσιμο με αυτό των εργοστασιακών δοκιμών.

Επίσης επιλέγεται να γίνει προσομοίωση του υπερπληρωτή, και εκτιμώνται από το λογισμικό οι τιμές της θερμοκρασίας σάρωσης, της πίεσης σάρωσης, της πίεσης στον οχετό εξαγωγής και της πίεσης μετά τον στρόβιλο. Επιπλέον γίνεται εκτίμηση των βαθμών απόδοσης του στροβίλου, του συμπιεστή και του ψυγείου αέρα.

Αργότερα εισάγεται ως δεδομένο στο λογισμικό μόνο το φορτίο ή οι στροφές που λειτουργεί ο κινητήρας και επιλέγεται η επιλογή «calculate», για τα φορτία που είναι διαθέσιμα από τις εργοστασιακές δοκιμές. Αυτά είναι 25%, 50%, 75%, 90%, 100% και 110%. Με την επιλογή «calculate» το λογισμικό εκτιμάει τις τιμές των παραμέτρων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, στην προσομοίωση του υπερπληρωτή, αλλά και την παροχή καυσίμου και την προπορεία έγχυσης καυσίμου. Στο 25% του φορτίου είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία των φυσητήρων ενώ στα υπόλοιπα όχι. Ακολουθεί πίνακας που δείχνει τις στροφές του κινητήρα στα αντίστοιχα φορτία (Πίνακας 5.1)

Load(%)	25	50	75	90	100	110
Speed (rpm)	57.3	72.2	82.7	87.9	91	93.9

Πίνακας 5.1 Στροφές του κινητήρα

Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης από το λογισμικό για τις παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα. Αυτές οι παράμετροι είναι:

Δεδομένα απόδοσης κυλίνδρου:

- Συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total fuel oil consumption) (kg/h)
- Ισχύς του κινητήρα (Power output) (kw)
- Μέγιστη πίεση καύσης (Firing pressure) (bar)
- Πίεση συμπίεσης (Compression pressure) (bar)
- Ειδική κατανάλωση καυσίμου (bsfc) (g/kwh)

Σύστημα εισαγωγής:

- Πίεση σάρωσης (scavenging pressure) (bar)
- Θερμοκρασία σάρωσης (scavenging air temperature) (^oC)
- Θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα (A/C:Air temperature in) (^oC)
- Πτώση πίεσης στην είσοδο του ψυγείου αέρα (A/C:Pressure drop) (mmW)
- Πτώση πίεσης στο φίλτρο του αέρα (Air filter pressure drop) (mmW)
- Παροχή αέρα (Air flow) (kg/h)
- Παροχή καυσαερίων (Exhaust flow) (kg/h)

Σύστημα καυσαερίων:

- Πίεση στον οχετό εξαγωγής (Exhaust manifold pressure) (bar)
- Θερμοκρασία εξόδου του κυλίνδρου (Cylinder exhaust temperature) (^oC)
- Θερμοκρασία εισόδου στο στρόβιλο (Turbine inlet temperature) (^oC)
- Θερμοκρασία εξόδου από τον στρόβιλο (Turbine outlet Temperature) (^oC)
- Ταχύτητα στροβιλοπληρωτή (Turbine speed) (rpm)
- Πίεση μετά το στροβιλοπληρωτή (Exhaust backpressure) (mmW)

5.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης και σύγκριση με τις εργοστασιακές δοκιμές

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται συνοπτικά στο παρακάτω πίνακα (πίνακας 5.2). Παραλείπονται οι παροχές αέρα και καυσαερίων, καθώς δεν υπάρχουν οι αντίστοιχες τιμές τους στις εργοστασιακές δοκιμές.

Load (%)	**Total fuel consumption** (kg/h)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)	
25	876,5	4779,2	79,7	51,5	183,4	
50	1619,7	9082,5	105,2	74,8	178,3	
75	2444,3	13954,4	133,7	101,5	175,2	
90	2978	16886,8	141,9	118,7	176,4	
100	3350,2	18844	146,7	131,8	177,8	
110	3735,3	21050,3	153,5	142,9	177,4	
Load (%)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	
25	0,49	18,8	62,1	85,1	2,2	
50	1,16	25	107,8	155,5	4	
75	1,92	33,5	152,3	207	8,5	
90	2,41	37	177,5	230,9	12,6	
100	2,77	38,1	193,8	244,5	16,2	
110	3,1	38,8	208,8	253,8	19,7	
Load (%)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
25	0,39	235,5	271,5	240,3	4541,9	32,2
50	0,98	282,8	328,9	252,6	6784,9	83,2
75	1,67	323,7	376,6	259,1	8391,4	146,6
90	2,12	348,6	405	264,4	9258,7	192,5
100	2,45	363,2	422,5	266,7	9819,2	228,5
110	2,74	377,5	438,4	269,6	10282,8	261,6

Πίνακας 5.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης των shop tests

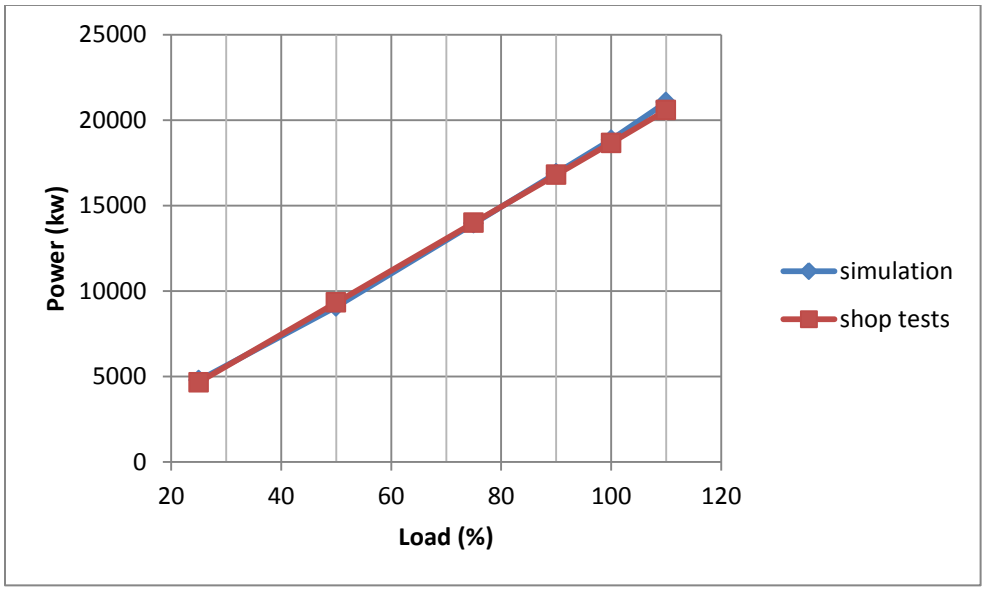
Στο παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι μετρήσεις των εργοστασιακών δοκιμών (shop tests) του κινητήρα (πίνακας 5.3).

Load (%)	**Total fuel consumption** (kg/h)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)	
25	856	4661,2	75	48	183,64	
50	1668	9330,5	105,2	74	178,77	
75	2436	13996,8	135	108,8	174,04	
90	2944	16796,9	145,7	125,5	175,27	
100	3332	18661	150,2	137,2	178,55	
110	3768	20579	155,3	145,3	183,10	
Load (%)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	
25	0,4	18	47	72	2	
50	1,09	26	104	151	4	
75	2,03	31	158	213	10	
90	2,54	36	178	236	13	
100	2,82	37	192	246	18	
110	3,1	40	207	258	20	
Load (%)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
25	0,32	273,8	297	232	4140	21
50	0,93	302,7	353	260	6845	87
75	1,77	311	363	230	8662	160
90	2,21	334,2	388	227	9377	195
100	2,48	354,2	410	240	9774	230
110	2,76	375	440	256	10180	280

Πίνακας 5.3 Shop tests

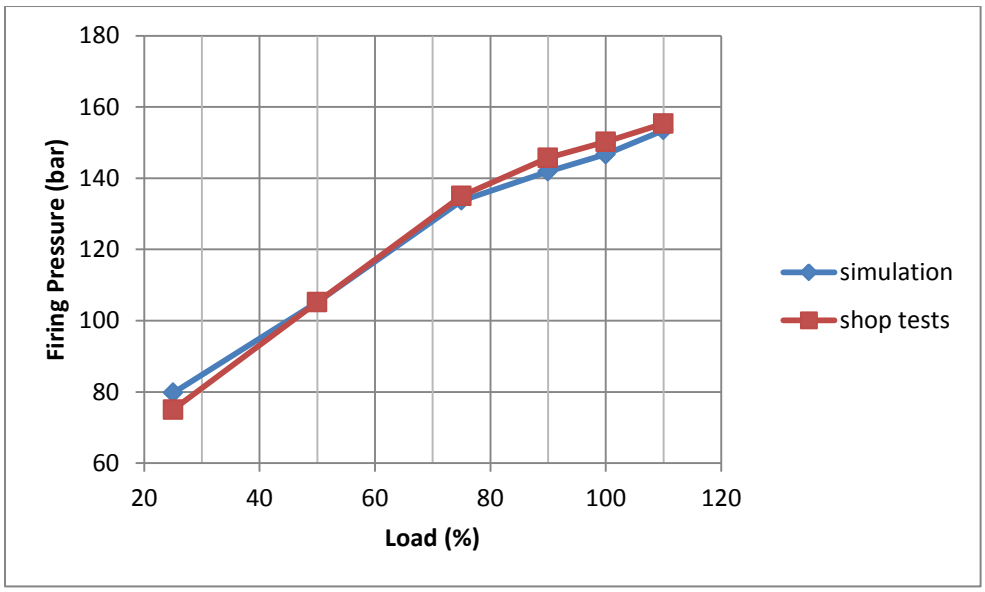
Ακολουθούν τα διαγράμματα των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα σε συνάρτηση με το φορτίο, για την αξιολόγηση της προβλεπτικής ικανότητας του λογισμικού.

Στο διάγραμμα 5.1 παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ της μετρημένης και της υπολογισμένης ισχύς του κινητήρα συναρτήσει του φορτίου. Οι δύο καμπύλες είναι σχεδόν ταυτόσημες και στο 110% του φορτίου το λογισμικό υπερεκτιμά την ισχύ κατά 2,3%.



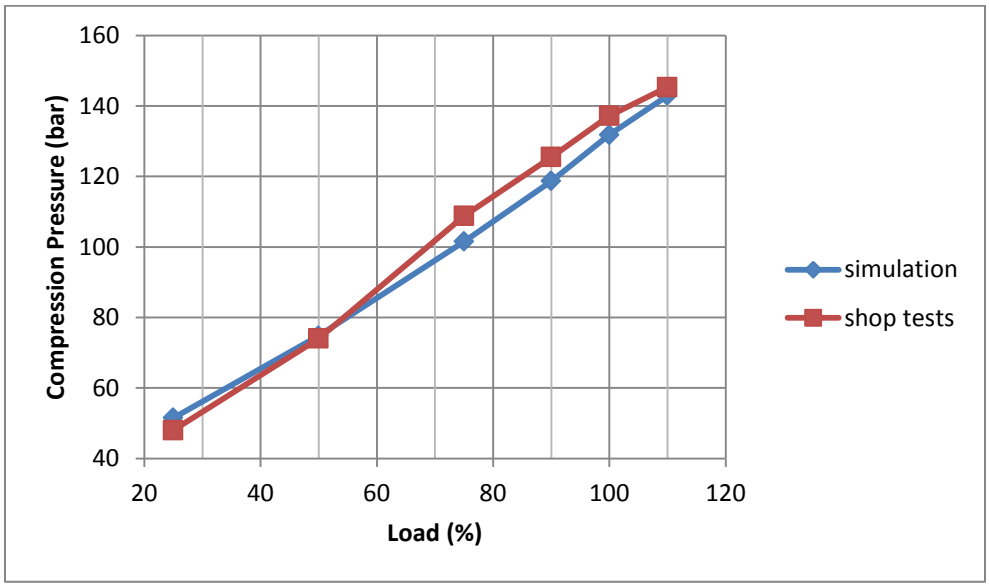
Διάγραμμα 5.1 Ισχύς συναρτήσει του φορτίου

Στο παρακάτω διάγραμμα 5.2 δίνεται η σύγκριση ανάμεσα στην υπολογισμένη από το λογισμικό και τη μετρημένη από τις εργοστασιακές δοκιμές μεγίστη πίεση καύσης. Το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας και στο 25% του φορτίου η ποσοστιαία μεταβολή του λογισμικού από τις εργοστασιακές δοκιμές είναι 6%.



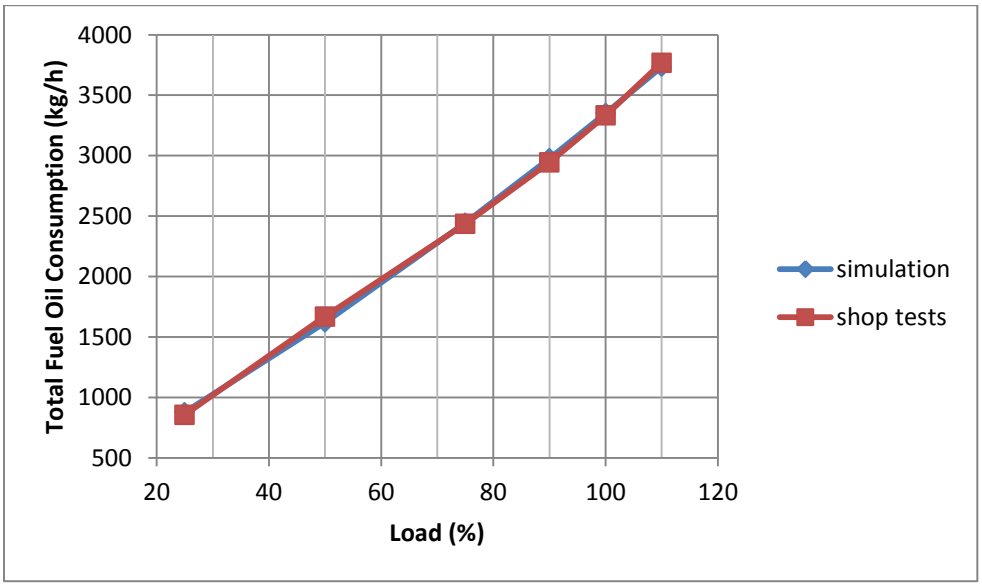
Διάγραμμα 5.2 Μεγίστη πίεση καύσεως συναρτήσει του φορτίου

Στο παρακάτω διάγραμμα 5.3 απεικονίζονται η μετρημένη στις εργοστασιακές δοκιμές πίεση συμπιέσεως και η υπολογισμένη από το λογισμικό. Οι διαφορές που παρατηρούνται είναι μικρές και στο 90% του φορτίου το λογισμικό υποεκτιμά τη συγκεκριμένη παράμετρο κατά 5,4%. Επομένως το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο.



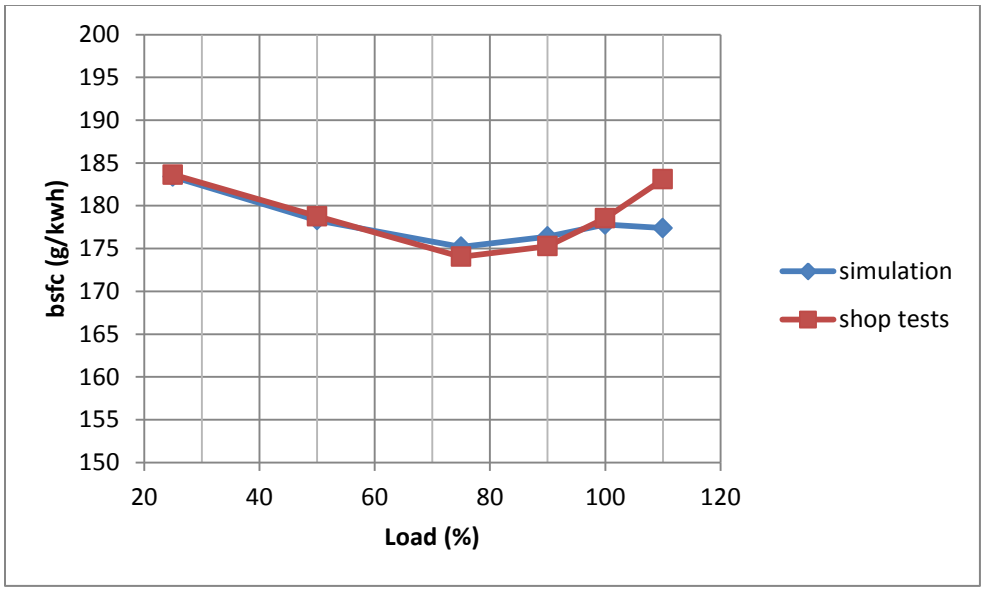
Διάγραμμα 5.3 Πίεση συμπιέσεως συναρτήσει του φορτίου

Στο διάγραμμα 5.4 δίνεται η σύγκριση μεταξύ της μετρημένης και της υπολογισμένης συνολικής κατανάλωσης καυσίμου. Οι δύο καμπύλες ταυτίζονται σε μεγάλο βαθμό και οι διαφορές δεν υπερβαίνουν το 2,5%



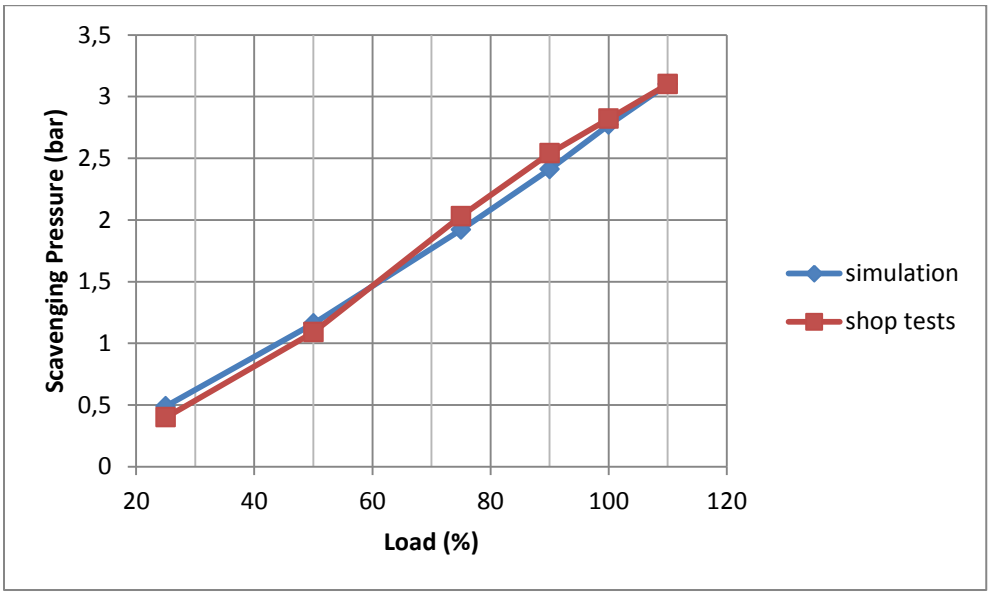
Διάγραμμα 5.4 Συνολική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του φορτίου

Στο διάγραμμα 5.5 δίνονται οι καμπύλες για την ειδική κατανάλωση καυσίμου. Παρατηρείται σχεδόν ταύτιση των δύο καμπυλών εκτός από το 110% του φορτίου που το λογισμικό υποεκτιμά αυτή τη παράμετρο κατά 3%.Επομένως το λογισμικό προβλέπει αρκετά ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο.



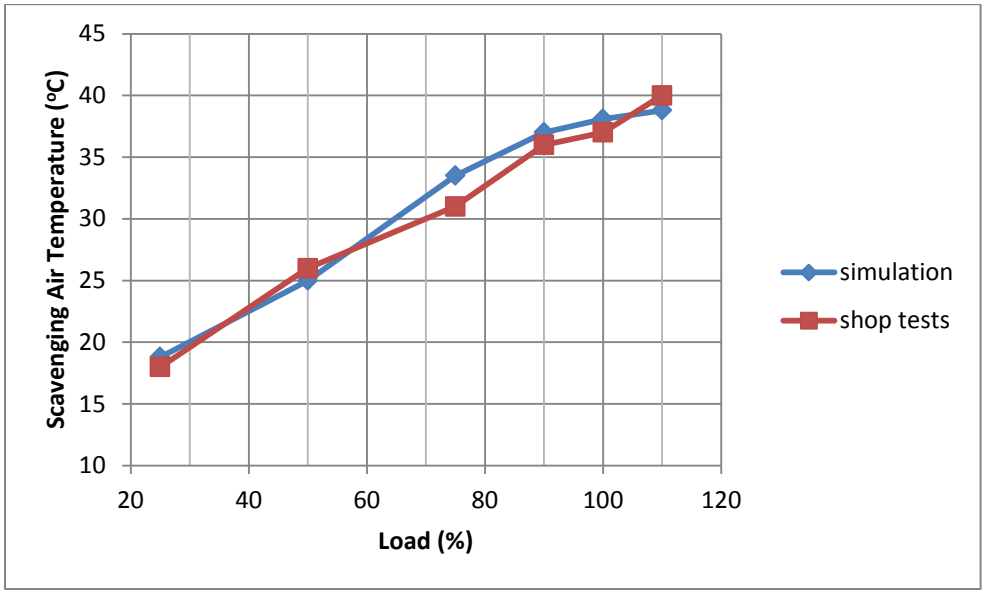
Διάγραμμα 5.5 Ειδική κατανάλωση καυσίμου συναρτήσει του φορτίου

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η μετρημένη από τις εργοστασιακές δοκιμές και η υπολογισμένη από το λογισμικό πίεση σάρωσης. Η συγκεκριμένη παράμετρος λειτουργίας προβλέπεται ικανοποιητικά από το λογισμικό.



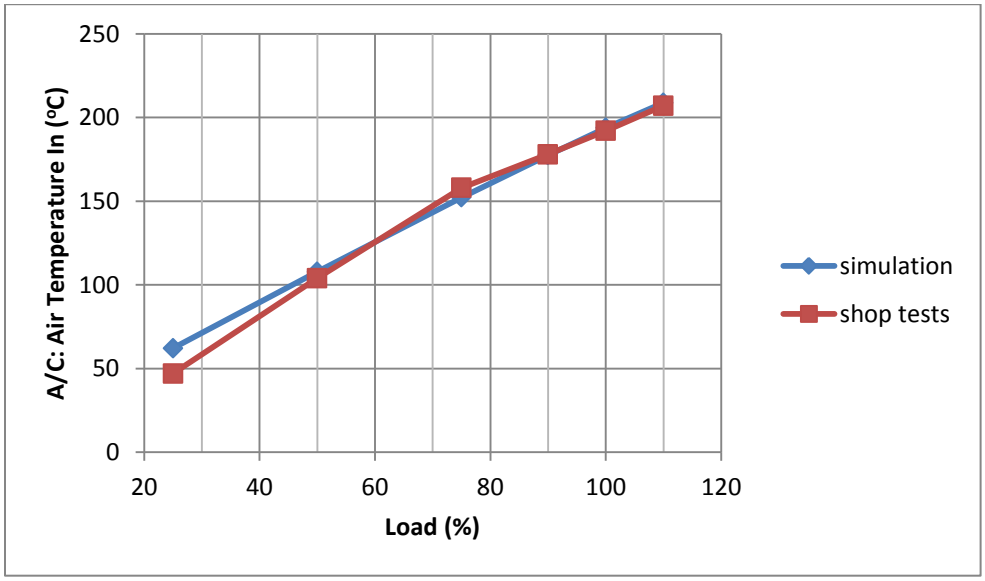
Διάγραμμα 5.6 Πίεση σαρώσεως συναρτήσει του φορτίου

Η θερμοκρασία του αέρα σάρωσης η οποία παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5.7 προβλέπεται ικανοποιητικά από το λογισμικό με μέση απόκλιση στο 3%. Στο 75% η διαφορά που παρατηρείται είναι 2,5^{o}C.



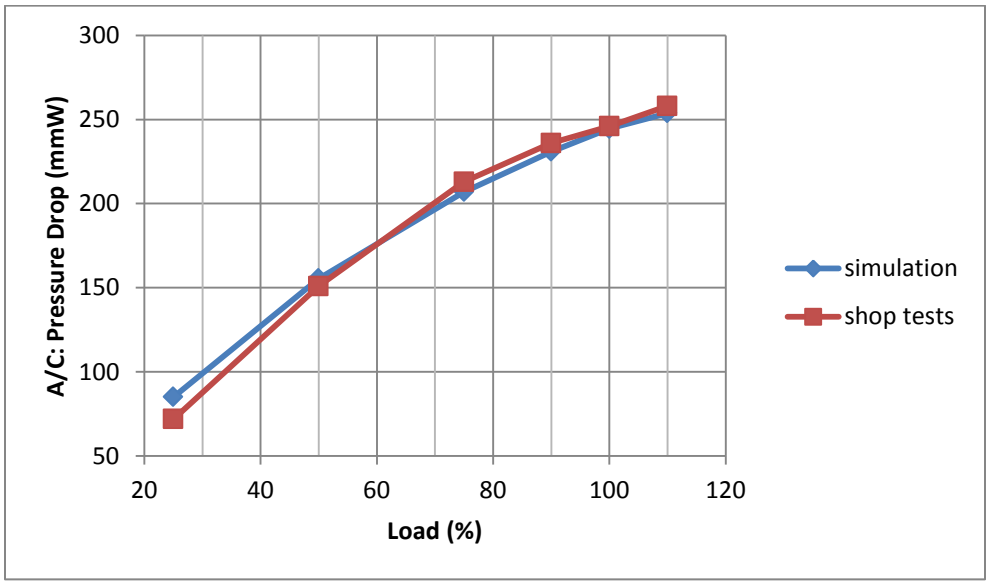
Διάγραμμα 5.7 Θερμοκρασία του αέρα σάρωσης συναρτήσει του φορτίου

Στο διάγραμμα 5.8 δίνεται η υπολογισμένη από το λογισμικό και η μετρημένη στις εργοστασιακές δοκιμές θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του ψυγείου αέρα. Η συγκεκριμένη παράμετρος προβλέπεται πολύ ικανοποιητικά για φορτία άνω του 50%. Στο 25% του φορτίου παρατηρείται μια ελαφρά υπερεκτίμηση από το λογισμικό της τάξεως των 15 ^{o}C.



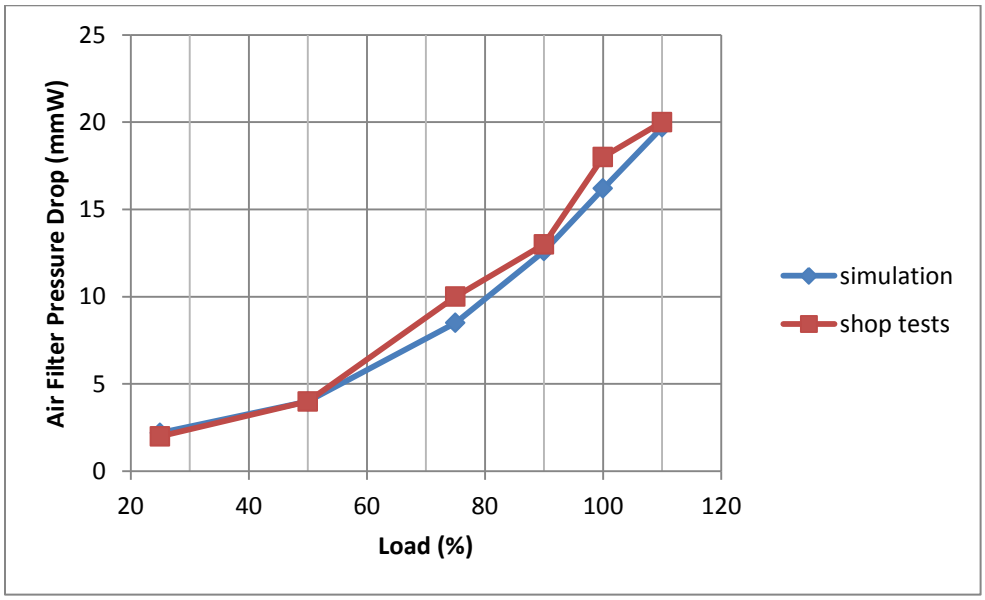
Διάγραμμα 5.8 Θερμοκρασία αέρα στην είσοδο του ψυγείου συναρτήσει του φορτίου

Η πτώση της πίεσης στο ψυγείο του αέρα προβλέπεται από το λογισμικό σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό για φορτία άνω του 50%. Στο 25% του φορτίου το λογισμικό υπερεκτιμά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας κατά 13mmW η οποία και είναι σε αποδεκτά επίπεδα. Επομένως το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο.



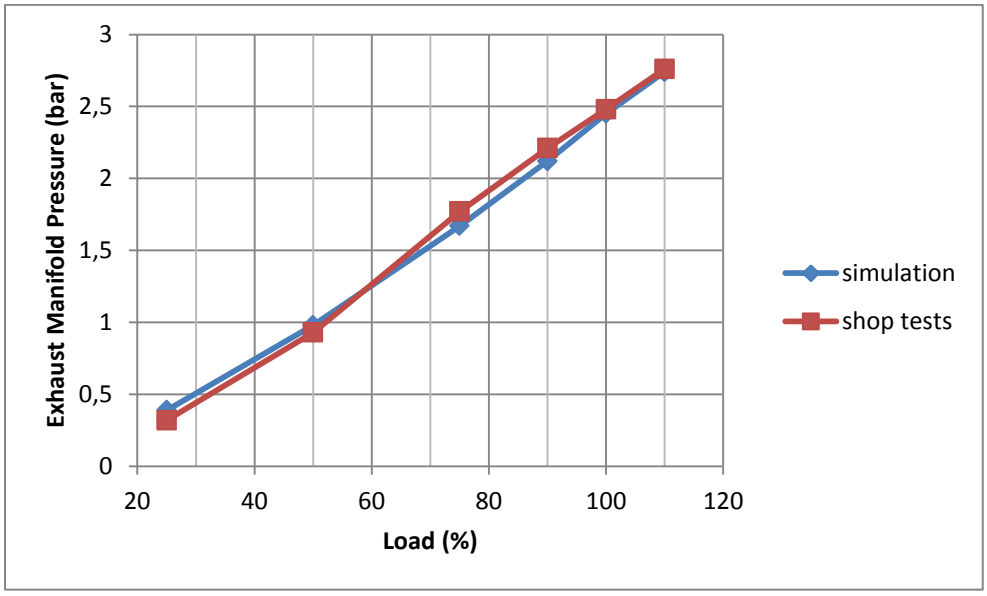
Διάγραμμα 5.9 Πτώση της πίεσης στο ψυγείο συναρτήσει του φορτίου

Στο διάγραμμα 5.10 δίνεται μετρημένη από τις εργοστασιακές δοκιμές και η υπολογισμένη από το λογισμικό πτώση πίεσης στο φίλτρο του αέρα. Η συγκεκριμένη παράμετρος προβλέπεται ικανοποιητικά σε όλο το εύρος του φορτίου και στο 100% του φορτίου το λογισμικό υπερεκτιμά την τιμή της κατά 1,8mmW.



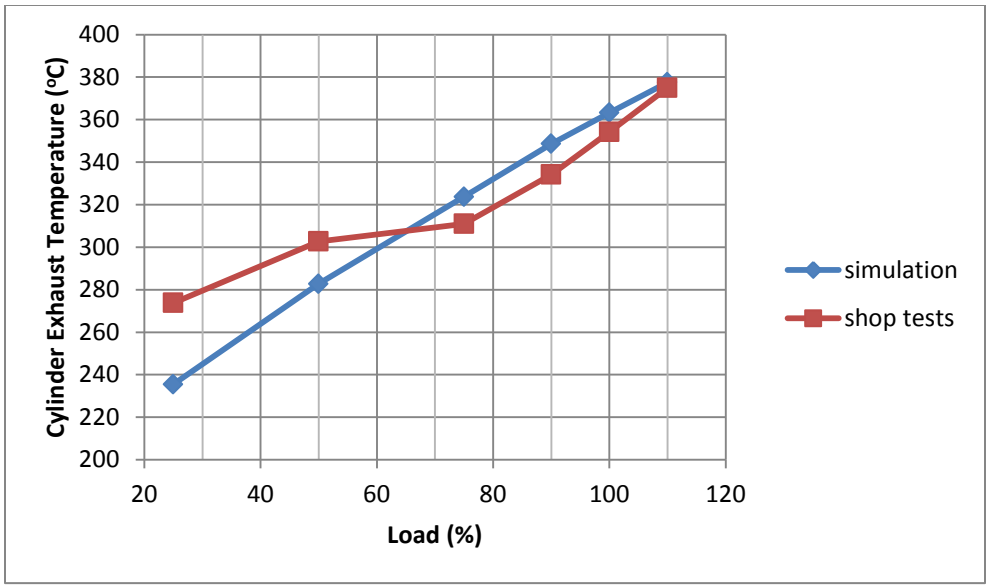
Διάγραμμα 5.10 Πτώση πίεσης στο φίλτρο αέρα συναρτήσει του φορτίου

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η υπολογισμένη από το λογισμικό και η μετρημένη στις εργοστασιακές δοκιμές πίεση στον οχετό εξαγωγής. Η συγκεκριμένη παράμετρος προβλέπεται ικανοποιητικά σε όλο το εύρος του φορτίου.



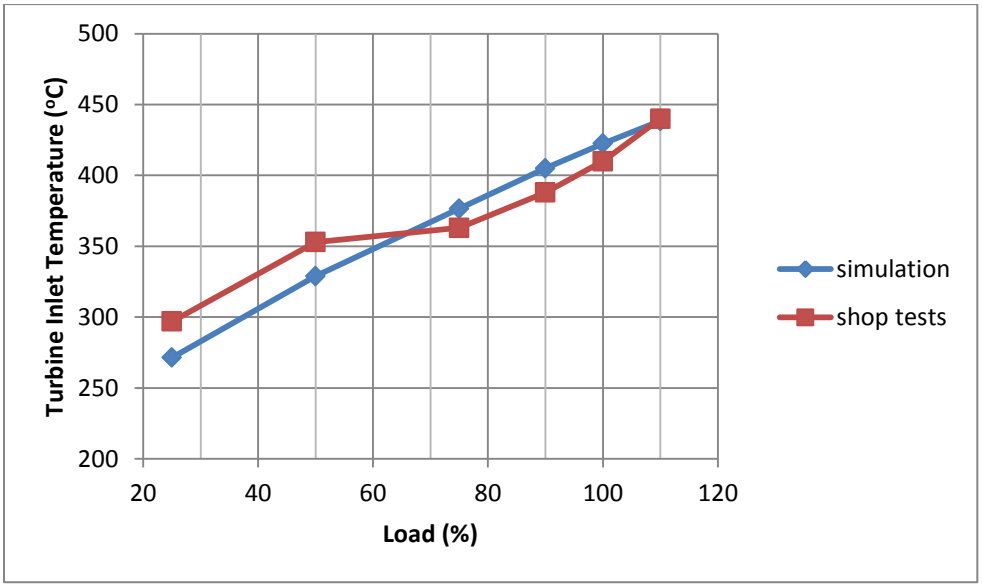
Διάγραμμα 5.11 Πίεση στον οχετό εξαγωγής συναρτήσει του φορτίου

Στο διάγραμμα 5.12 απεικονίζεται η μετρημένη στις εργοστασιακές δοκιμές και η υπολογισμένη από το λογισμικό θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου. Σε αυτή τη παράμετρο λειτουργίας παρατηρούνται αποκλίσεις που φτάνουν έως και 38 ^{o}C για το 25% του φορτίου, και η αμέσως μεγαλύτερη παρουσιάζεται στο 50% του φορτίου, που φτάνει τους 20 ^{o}C και θεωρείται αμελητέα για θερμοκρασία καυσαερίων. Εδώ να τονισθεί ότι η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι δύσκολο να μετρηθεί γιατί υπεισέρχονται αρκετοί παράγοντες που επιφέρουν σφάλμα στη μέτρηση της. Γι αυτό το λόγο θεωρείται ότι το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο λειτουργίας.



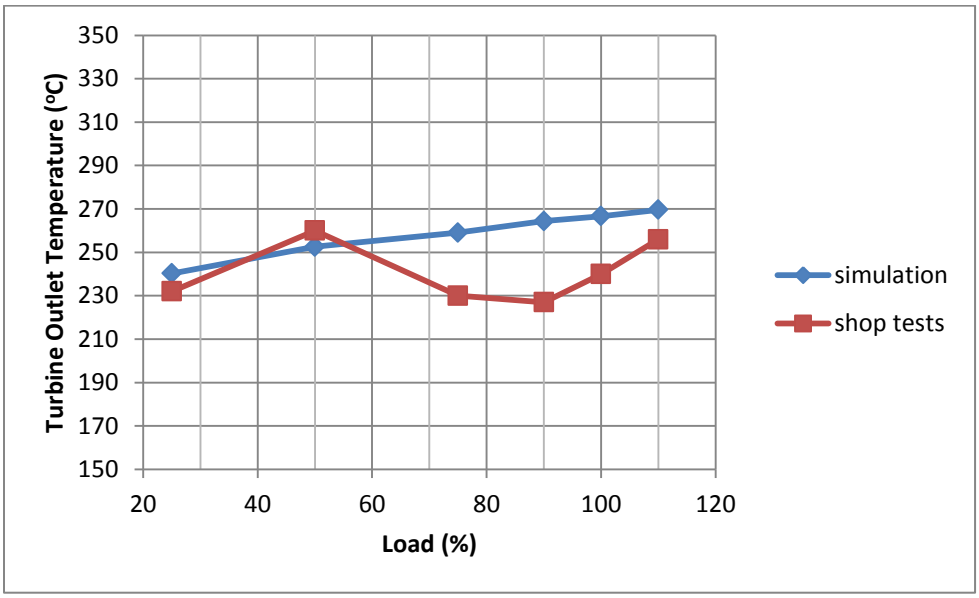
Διάγραμμα 5.12 Θερμοκρασία εξόδου από τον κύλινδρο συναρτήσει του φορτίου

Στο παρακάτω διάγραμμα 5.13 δίνεται η μετρημένη από τις εργοστασιακές δοκιμές και η υπολογισμένη από το λογισμικό θερμοκρασία των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι μικρότερες από 20 ^{o}C, οι οποίες και θεωρούνται αμελητέες για θερμοκρασίες καυσαερίων, και επομένως το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



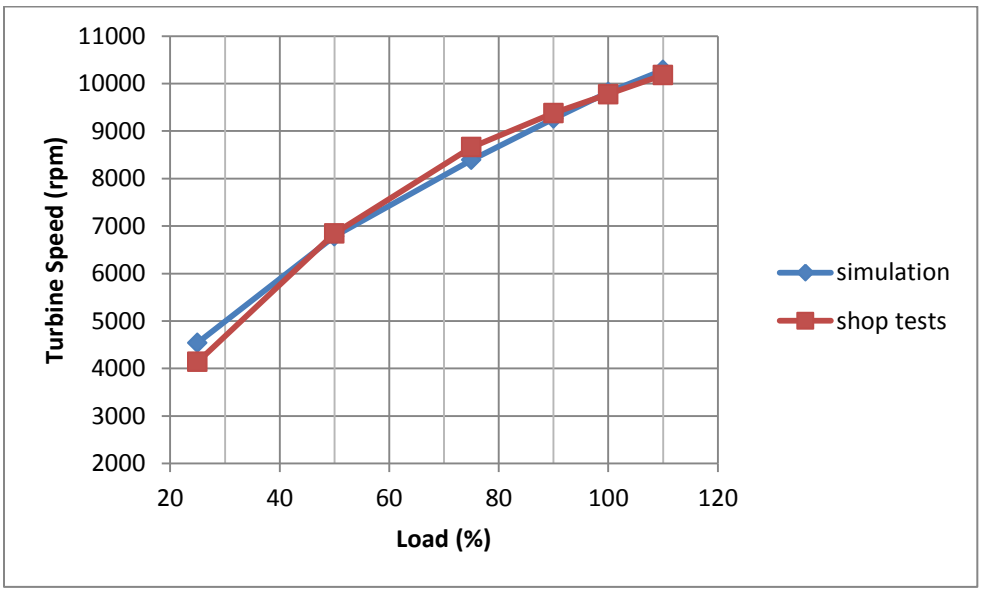
Διάγραμμα 5.13 Θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο συναρτήσει του φορτίου

Στο διάγραμμα 5.14 παρουσιάζεται η μετρημένη και η υπολογισμένη θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου. Εδώ οι διαφορές είναι μικρότερες από 35 ^{o}C, που όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω θεωρούνται αμελητέες για θερμοκρασίες καυσαερίων και επομένως το λογισμικό προσομοιώνει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο.



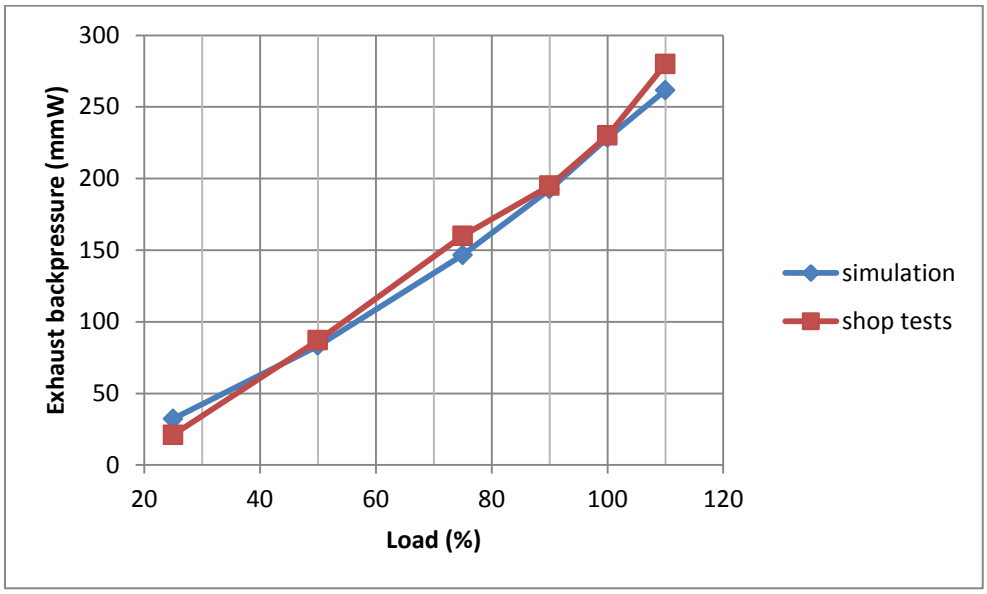
Διάγραμμα 5.14 Θερμοκρασία εξόδου από το στρόβιλο συναρτήσει του φορτίου

Η ταχύτητα του στροβιλοπληρωτή που δίνεται στο διάγραμμα 5.15 προσομοιώνεται σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό από το λογισμικό και στο 25% του φορτίου που υπάρχει μια μικρή διαφοροποίηση των δύο καμπύλων. Η διαφορά αυτή είναι της τάξεως των 400rpm.



Διάγραμμα 5.15 Ταχύτητα του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει του φορτίου

Στο διάγραμμα 5.16 δίνεται η υπολογισμένη από το λογισμικό και η μετρημένη από τις εργοστασιακές δοκιμές πίεση μετά τον στρόβιλο. Παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις σε ορισμένα φορτία, αλλά κυμαίνονται σε αποδεκτά επίπεδα. Επομένως το λογισμικό προσομοιώνει ικανοποιητικά τη συγκεκριμένη παράμετρο.



Διάγραμμα 5.16 Πίεση μετά τον στρόβιλο συναρτήσει του φορτίου

5.3 Συμπεράσματα για την προβλεπτική ικανότητα του λογισμικού

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 5.1 έως 5.16 συμπεραίνεται ότι το λογισμικό παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι μικρές και σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει σχεδόν ταύτιση της προσομοίωσης του λογισμικού με τις μετρημένες τιμές των παραμέτρων.

Σχετικά μεγάλες αποκλίσεις εμφανίζονται στις θερμοκρασίες των καυσαερίων, δηλαδή στην έξοδο του κυλίνδρου, την είσοδο και την έξοδο του στροβίλου, που φτάνουν έως και 38 ^{o}C. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπεισέρχονται αρκετοί παράγοντες που μπορούν να επιφέρουν σφάλμα στη μέτρηση τους και γι αυτό θεωρείται ότι προβλέπεται ικανοποιητικά.

Κατά συνέπεια το λογισμικό Pythia EDS-VI μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη παρούσα εργασία, ώστε να μελετηθεί η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη λειτουργική συμπεριφορά κινητήρων Diesel.

Κεφάλαιο 6

Επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα

6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας γίνεται διερεύνηση στο πως επηρεάζει η θερμοκρασία περιβάλλοντος τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα, με χρήση προσομοίωσης και με τη χρήση σχέσεων διόρθωσης που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.

Η διερεύνηση θα γίνει για τιμές θερμοκρασίας περιβάλλοντος από 10 ^{o}C έως 40 ^{o}C ανά 5 ^{o}C, κρατώντας σταθερές τις τιμές της πίεσης περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου.

Ως συνθήκες αναφοράς του περιβάλλοντος για τη μεταβολή των παραμέτρων επιλέχτηκαν οι συνθήκες που επικρατούσαν όταν διεξήχθησαν οι εργοστασιακές δοκιμές (πίνακας 6.1) που είναι:

Load (%)	Tambient (^{o}C)	Pambient (mbar)	Twater (^{o}C)
25	25	1021	18
50	25,8	1021	19
75	26,5	1021	23,5
90	27	1021	27
100	27	1021	30
110	28	1021	33,5

Πίνακας 6.1 Συνθήκες των shop tests

6.2 Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με χρήση του προσομοιωτή

Αφού έχει επιλεχθεί από το κύριο παράθυρο εργασίας του λογισμικού η επιλογή «simulator» και έπειτα η επιλογή «engine simulation» καθορίζεται στο 100% η λειτουργία των υποσυστημάτων του κινητήρα.

Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο «engine operating conditions» “εικόνα 6.1” και επιλέγεται η δυνατότητα προσομοίωσης του υπερπληρωτή. Με αυτό τον τρόπο υπολογίζονται από το λογισμικό η θερμοκρασία σάρωσης, η

πίεση σάρωσης, η πίεση στον οχετό εξαγωγής και η πίεση μετά τον στρόβιλο καθώς επίσης και οι βαθμοί απόδοσης του στροβίλου, του συμπιεστή και του ψυγείου αέρα.

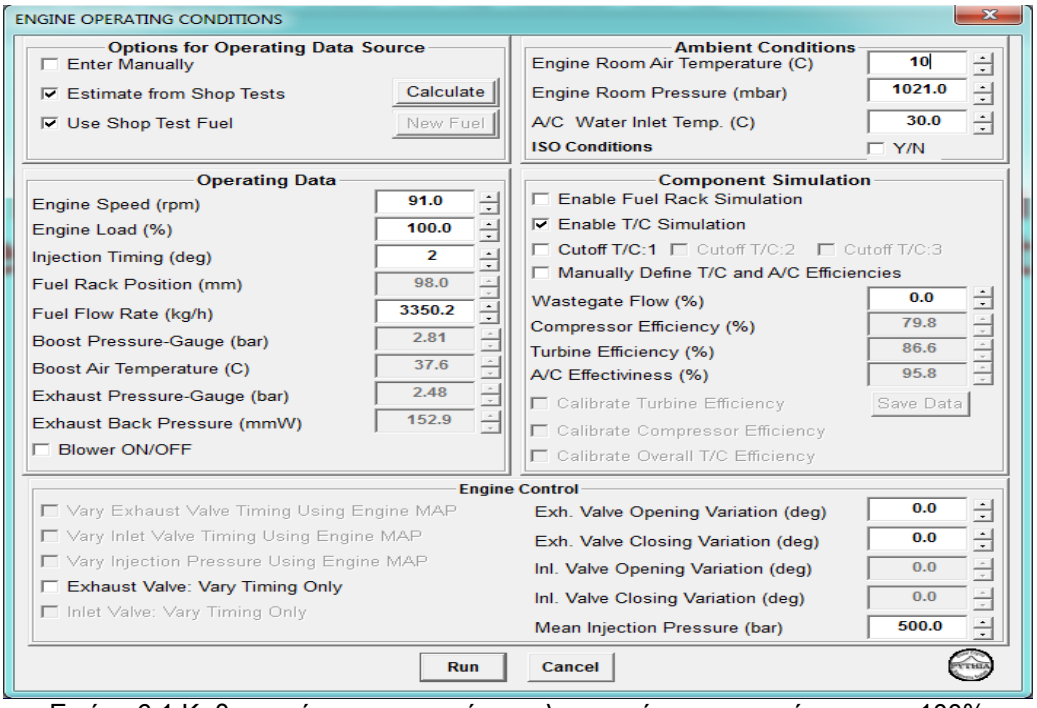
Μετέπειτα επιλέγεται να γίνει εκτίμηση από το λογισμικό με βάση τις εργοστασιακές δοκιμές και να χρησιμοποιηθεί το ίδιο καύσιμο με αυτό των εργοστασιακών δοκιμών.

Ακολούθως επιλέγεται το φορτίο που λειτουργεί ο κινητήρας, δηλαδή 25%,50%,75%, 90%,100% και 110% και επιλέγοντας την επιλογή «calculate» εκτιμώνται από το λογισμικό η συνολική κατανάλωση καυσίμου, η προπορεία έγχυσης καυσίμου, η θέση του κανόνα αλλά και οι παράμετροι που αναφέρθηκαν στη προσομοίωση του υπερπληρωτή.

Τέλος με την επιλογή «calculate» καθορίζονται από το λογισμικό οι περιβαλλοντικές συνθήκες, που είναι ίδιες με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες διεξήχθησαν οι εργοστασιακές δοκιμές. Για το κάθε φορτίο πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα για θερμοκρασία περιβάλλοντος 10°C έως 40°C ανά 5°C, κρατώντας σταθερές τις τιμές της πίεσης περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου στο εκάστοτε φορτίο.

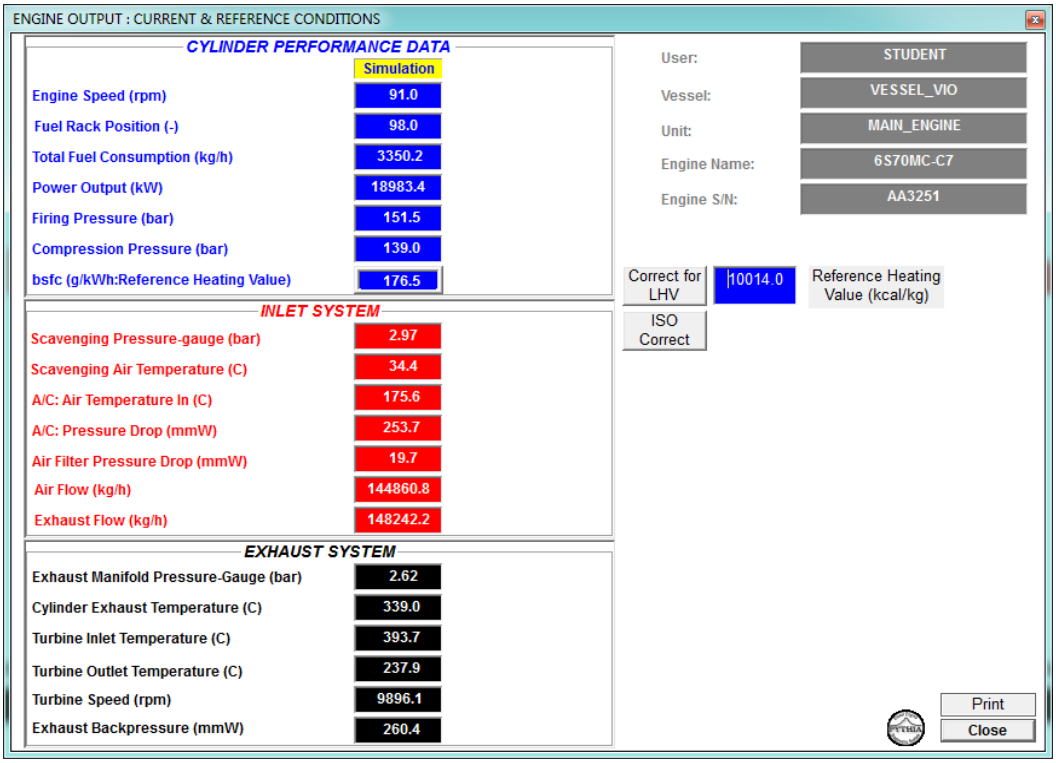
Στο 25% του φορτίου ενεργοποιείται η λειτουργία των φυσητήρων, αφού είναι το μοναδικό χαμηλό φορτίο.

Ακολουθεί ενδεικτικό παράδειγμα της προσομοίωσης για το 100% του φορτίου και θερμοκρασία περιβάλλοντος 10 ^{o}C.



Εικόνα 6.1 Καθορισμός των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα για το 100% του φορτίου και θερμοκρασία περιβάλλοντος 10°C

Επιλέγοντας την επιλογή «Run» ξεκινά η διαδικασία της προσομοίωσης και μετά την ολοκλήρωση της τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα (εικόνα 6.2)



Εικόνα 6.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας του κινητήρα για το 100% του φορτίου και θερμοκρασία περιβάλλοντος 10 ^{o}C

Ακολουθούν πίνακες των αποτελεσμάτων προσομοίωσης για όλα τα φορτία στις θερμοκρασίες περιβάλλοντος που προαναφέραμε.

Για το 25% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=18 ^oC

$T_{ambient}$ (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	4810	81,7	53,7	182,2		10,69
15	4795,2	80,9	52,8	182,8		10,32
20	4790	80,3	52,2	183		10,02
25	4779,2	79,7	51,5	183,4		9,74
30	4771,3	79,1	50,8	183,7		9,42
35	4760,6	78,6	50,3	184,1		9,18
40	4753,2	78	49,7	184,4		8,90
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	0,56	18,9	50	97,7	2,3	10,87
15	0,53	18,9	53,8	92,8	2,3	10,50
20	0,51	18,8	58	88,9	2,2	10,20
25	0,49	18,8	62,1	85,1	2,2	9,93
30	0,46	18,7	66,14	80,8	2,2	9,61
35	0,45	18,6	70,3	77,5	2,2	9,37
40	0,43	18,4	74,5	73,6	2,2	9,08
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	0,44	217,1	250,4	216	4743,3	39,3
15	0,42	223,8	258,2	225	4664,5	36,4
20	0,4	229,6	265	232,8	4603,7	34,2
25	0,39	235,5	271,5	240,3	4541,9	32,2
30	0,37	242,5	279,5	249,3	4471,6	30
35	0,36	248	285,9	256,5	4415,6	28,3
40	0,34	254,8	293,8	265,4	4350,1	26,3

Πίνακας 6.2 Για το 25% του φορτίου

Για το 50% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=19 ^oC

$T_{ambient}$ (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	9149,1	108,5	78,8	177		9,05
15	9118,1	107,2	77,3	177,6		8,82
20	9100,3	106,2	76	178		8,60
25	9086	105,3	74,9	178,3		8,46
30	9059,4	104,3	73,8	178,8		8,25
35	9042,1	103,4	72,6	179,1		8,06
40	9010,1	102,3	71,4	179,8		7,87
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	1,29	24,5	94,9	168,8	4,8	9,23
15	1,24	24,7	98,9	164	4,5	9,00
20	1,2	24,8	102,9	159,7	4,2	8,78
25	1,17	24,9	107,1	156	4	8,60
30	1,15	25,1	111,2	152,3	3,8	8,47
35	1,09	25,1	115,3	148,3	3,6	8,24
40	1,06	25,1	119,2	144,1	3,4	8,05
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	1,09	264,1	306,8	227,3	6922,6	96,2
15	1,05	270,5	314,2	235,8	6871,3	91,4
20	1,02	276,7	321,5	244,2	6827,6	87,2
25	0,99	282,2	328,1	251,7	6789,6	83,6
30	0,96	287,4	334,3	258,9	6751,6	80,3
35	0,93	293,5	341,5	267,3	6709,8	76,7
40	0,9	300	349	276	6662,3	73,1

Πίνακας 6.3 Για το 50% του φορτίου

Για το 75% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=23,5 ^oC

$T_{ambient}$ (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	14035,4	137,5	106,7	174,2		8,04
15	14013,6	136,3	105	174,4		7,86
20	13973	134,9	103,2	174,9		7,70
25	13956,5	134	101,9	175,1		7,55
30	13915,8	132,7	100,3	175,6		7,40
35	13875,1	131,4	98,7	176,2		7,25
40	13855,7	130,4	97,4	176,4		7,11
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	2,08	31,9	136,7	219,1	10,4	8,22
15	2,03	32,4	141,4	215,3	9,7	8,04
20	1,98	32,9	146,1	211,4	9,1	7,87
25	1,94	33,4	151	208,2	8,7	7,73
30	1,89	33,8	155,6	204,4	8,2	7,58
35	1,85	34,2	160,3	200,7	7,7	7,43
40	1,8	34,6	165	197,2	7,3	7,29
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	1,8	303,2	351,9	232,8	8494,9	167,2
15	1,76	309,7	359,7	241	8462,6	160,4
20	1,72	316,4	367,3	249,2	8427,4	153,8
25	1,68	322,1	374,1	256,5	8403,7	148,6
30	1,64	328,5	381,6	264,4	8366,6	142,7
35	1,614	335	389,2	272,7	8335,5	137,1
40	1,57	341,2	396,6	280,6	8307,8	132,2

Πίνακας 6.4 Για το 75% του φορτίου

Για το 90% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=27 ^oC

$T_{ambient}$ (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	17022,5	146,4	125,2	174,9		7,73
15	16975,6	144,9	123,1	175,4		7,57
20	16922,5	143,5	121,2	176		7,43
25	16905,4	142,4	119,5	176,2		7,27
30	16859,3	141,1	117,7	176,6		7,14
35	16848,6	140,2	116,2	176,8		7,00
40	16802	138,9	114,3	177,2		6,87
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	2,6	34,2	160,2	241,7	15,4	7,90
15	2,54	35,1	165,3	238,5	14,5	7,75
20	2,49	35,9	170,5	235,3	13,7	7,61
25	2,43	36,7	175,5	232,1	12,9	7,45
30	2,38	37,4	180,5	229	12,2	7,32
35	2,33	38,1	185,6	225,8	11,6	7,18
40	2,29	38,8	190,6	222,5	11	7,05
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	2,27	325,6	378	236,8	9349,9	219,3
15	2,22	332,5	386,1	245	9323,3	210,9
20	2,18	339,5	394	253,2	9296,7	202,8
25	2,13	345,9	401,8	261,2	9269,1	195,3
30	2,09	352,7	409,7	269,3	9244,4	188,3
35	2,05	358,8	417,4	277,2	9217,9	181,6
40	2,01	365,7	425,4	285,5	9191,2	175

Πίνακας 6.5 Για το 90% του φορτίου

Για το 100% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=30 ^oC

$T_{ambient}$ (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	18983,1	151,5	138,9	176,5		7,63
15	18931,5	150	136,7	177		7,49
20	18915	148,8	134,7	177,1		7,33
25	18862,2	147,3	132,5	177,6		7,18
30	18798,7	145,8	130,5	178,2		7,06
35	18750,3	144,5	128,6	178,7		6,93
40	18736,9	143,5	127	178,8		6,80
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	2,97	34,4	175,6	253,7	19,7	7,81
15	2,91	35,5	181	251,2	18,6	7,66
20	2,85	36,6	186,4	248,5	17,6	7,50
25	2,79	37,7	191,7	245,5	16,6	7,36
30	2,74	38,7	196,9	242,9	15,7	7,24
35	2,69	39,7	202,2	240	14,9	7,11
40	2,64	40,6	207,5	237,3	14,2	6,98
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	2,62	339	393,7	237,9	9896,1	260,3
15	2,56	346,4	402,3	246,4	9878,1	250,6
20	2,51	353,1	410,8	255	9855,3	241,1
25	2,46	360,5	419,4	263,6	9827,8	231,7
30	2,42	367,8	427,4	271,5	9807,8	223,8
35	2,37	374,7	435,4	279,7	9784	215,9
40	2,33	381,3	443,5	287,9	9766,9	208,7

Πίνακας 6.6 Για το 100% του φορτίου

Για το 110% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=33,5 ^oC

$T_{ambient}$ (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	21266,5	159,4	151,7	175,6		7,37
15	21210,7	157,7	149,2	176,1		7,23
20	21154,5	156,1	146,8	176,6		7,09
25	21096,1	154,6	144,4	177,1		6,96
30	21030	153	142,2	177,6		6,84
35	20977,8	151,6	140,1	178,1		6,72
40	20922,1	150,3	138	178,5		6,60
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	3,33	33,9	188,8	261,6	24,1	7,55
15	3,26	35,3	194,4	259,7	22,8	7,41
20	3,2	36,7	199,9	257,5	21,5	7,27
25	3,13	38	205,5	255,2	20,4	7,14
30	3,08	39,2	211	252,9	19,4	7,01
35	3,02	40,5	216,4	250,5	18,3	6,89
40	2,96	41,7	221,9	248	17,4	6,78
$T_{ambient}$ (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	2,95	349	406	237,9	10339,8	299,7
15	2,89	357,1	415	246,8	10328,4	288,6
20	2,83	364,6	423,7	255,3	10307,5	277,8
25	2,78	372,3	432,6	264	10286,6	267,4
30	2,73	380,1	441,5	272,6	10278	258,4
35	2,68	387,2	449,8	280,9	10255,2	249,3
40	2,63	394,5	458,2	289,2	10237,2	240,8

Πίνακας 6.7 Για το 110% του φορτίου

Στο πίνακα 6.8 δίνεται η προσομοίωση των εργοστασιακών δοκιμών.

Load (%)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
25	4779,2	79,7	51,5	183,4		9,74
50	9082,5	105,2	74,8	178,3		8,40
75	13954,4	133,7	101,5	175,2		7,50
90	16886,8	141,9	118,7	176,4		7,22
100	18844	146,7	131,8	177,8		7,13
110	21050,3	153,5	142,9	177,4		6,88
Load (%)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
25	0,49	18,8	62,1	85,1	2,2	9,93
50	1,16	25	107,8	155,5	4	8,57
75	1,92	33,5	152,3	207	8,5	7,67
90	2,41	37	177,5	230,9	12,6	7,40
100	2,77	38,1	193,8	244,5	16,2	7,31
110	3,1	38,8	208,8	253,8	19,7	7,06
Load (%)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
25	0,39	235,5	271,5	240,3	4541,9	32,2
50	0,98	282,8	328,9	252,6	6784,9	83,2
75	1,67	323,7	376,6	259,1	8391,4	146,6
90	2,12	348,6	405	264,4	9258,7	192,5
100	2,45	363,2	422,5	266,7	9819,2	228,5
110	2,74	377,5	438,4	269,6	10282,8	261,6

Πίνακας 6.8 Προσομοίωση των shop tests

Ακολουθούν διαγράμματα που δείχνουν την επί τοις εκατό μεταβολή των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, από τη διερεύνηση που προηγήθηκε, με αναφορά την προσομοίωση των παραμέτρων από τις εργοστασιακές δοκιμές.

Επίσης βρέθηκε η συσχέτιση που εκφράζει τη μεταβολή των παραμέτρων, για όλα τα φορτία, με τη μορφή ευθείας "y= A*x+B" όπου ο συντελεστής «A» καθορίζει την κλίση της ευθείας και ο σταθερός όρος «B» προσδιορίζει το σημείο στο οποίο η ευθεία τέμνει τον άξονα των τεταγμένων. Ως «χ» ορίζεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος (σε ^oC) για την οποία θα υπολογιστεί η μεταβολή. Ο αριθμός «y» που θα βρεθεί, πολλαπλασιάζεται με 100% και δίνει τη ποσοστιαία μεταβολή της παραμέτρου από το σημείο αναφοράς.

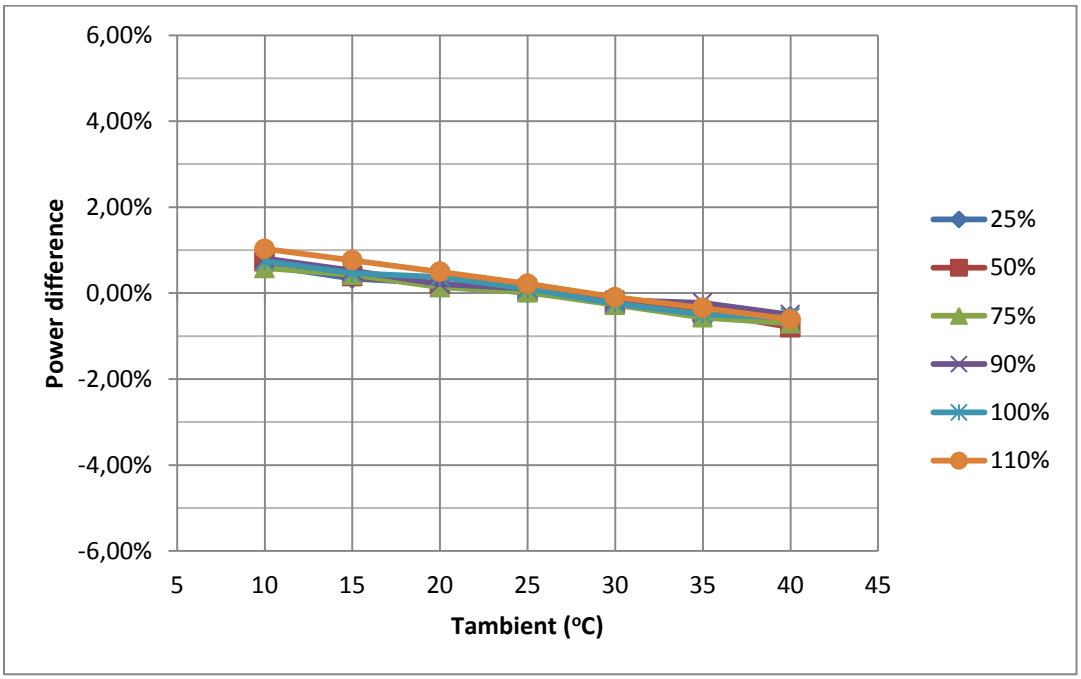
Επομένως για να βρεθεί η τιμή της παραμέτρου στην θερμοκρασία περιβάλλοντος που έχει ορισθεί ως θερμοκρασία αναφοράς, χρησιμοποιείται η σχέση: $A_{corrector}=A_{measurement} / (1+y)$,
όπου $A_{corrector}$ είναι η τιμή της παραμέτρου στην θερμοκρασία αναφοράς και $A_{measurement}$ η τιμή της παραμέτρου στις διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Ο συντελεστής “y” όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι η μεταβολή της παραμέτρου στις αντίστοιχες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Επίσης βρέθηκε και η μέση συσχέτιση για την μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα, η οποία όμως έχει μικρότερο ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές, σε σχέση με τις συσχετίσεις που βρέθηκαν για το κάθε φορτίο ξεχωριστά. Αυτό οφείλεται αφενός στο ότι όσο απομακρυνόμαστε από τη θερμοκρασία αναφοράς τόσο αυξάνεται το εύρος των μεταβολών και αφετέρου στο ότι κάθε φορτίο έχει διαφορετικές συνθήκες αναφοράς. Αν είχαν επιλεχτεί κοινές συνθήκες αναφοράς για όλα τα φορτία, π.χ. συνθήκες ISO, το ποσοστό προσέγγισης θα ήταν μεγαλύτερο.

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.1 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της ισχύος στα αντίστοιχα φορτία λειτουργίας του κινητήρα. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 97%. Οι γραμμές τάσεις για κάθε φορτίο είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -0,386*10^{-3}*x+0,0098$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -0,48*10^{-3}*x+0,0118$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -0,447*10^{-3}*x+0,0106$
- Για το 90% του φορτίου, $y= -0,414*10^{-3}*x+0,0114$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -0,461*10^{-3}*x+0,0121$
- Για το 110% του φορτίου, $y= -0,551*10^{-3}*x+0,0158$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ισχύος που αποδίδει ο κινητήρας δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -0,456*10^{-3}*x+0,0119$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 94,3%.

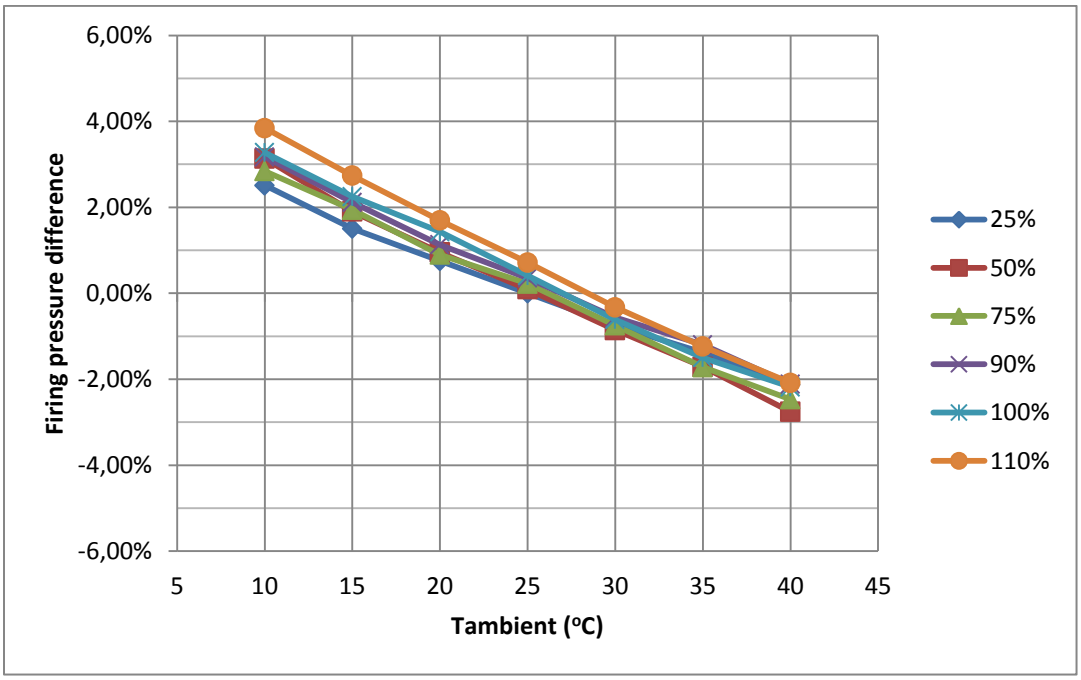


Διάγραμμα 6.1 Ποσοστιαία μεταβολή της Ισχύος συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο επόμενο διάγραμμα 6.2 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσης για το κάθε φορτίο λειτουργίας. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Οι γραμμές τάσεων στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -1,515*10^{-3}*x+0,0386$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -1,908*10^{-3}*x+0,0488$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -1,779*10^{-3}*x+0,0459$
- Για το 90% του φορτίου, $y= - 1,726*10^{-3}*x+0,0473$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -1,850 *10^{-3}*x+0,0506$
- Για το 110% του φορτίου, $y= - 1,982*10^{-3}*x+0,0572$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσης δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -1,793*10^{-3}*x+0,0481$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 97,3%.

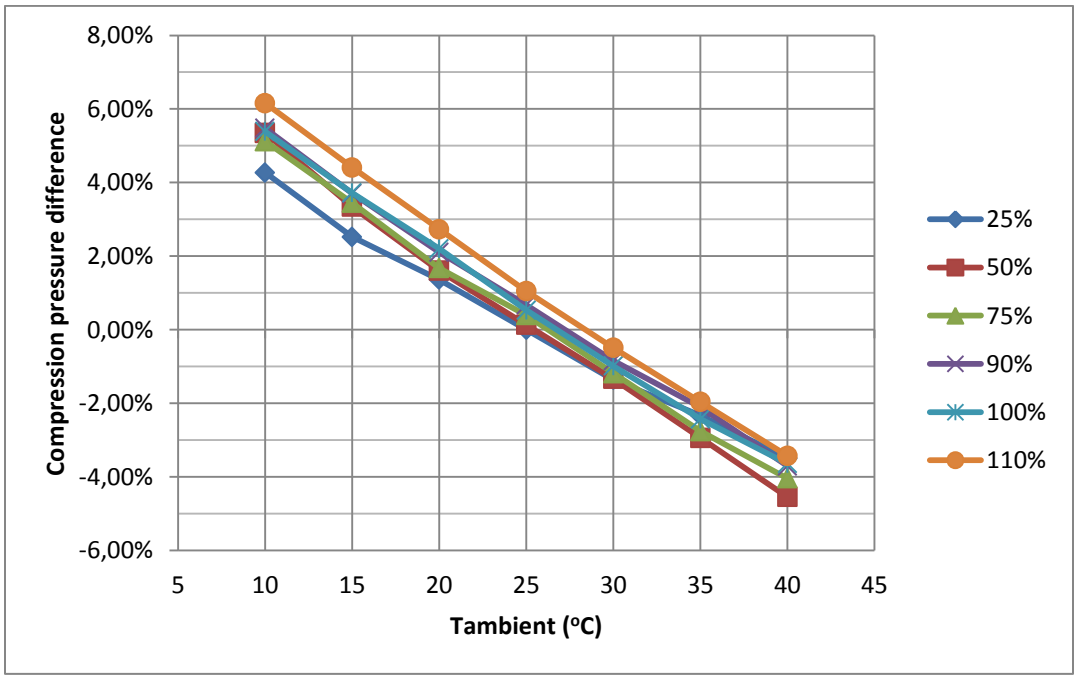


Διάγραμμα 6.2 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης Καύσης συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.3 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως η οποία μπορεί να θεωρηθεί γραμμική με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Οι γραμμές τάσεων στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -2,555*10^{-3}*x+0,0652$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -3,228*10^{-3} *x+0,083$
- Για το 75% του φορτίου, $y= - 3,055*10^{-3}*x+0,0802$
- Για το 90% του φορτίου, $y= - 3,009*10^{-3}*x+0,0828$
- Για το 100% του φορτίου, $y= - 3,04*10^{-3}*x+0,0828$
- Για το 110% του φορτίου, $y= - 3,194*10^{-3}*x+0,0919$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -3,013*10^{-3}*x+0,081$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 97,8%.

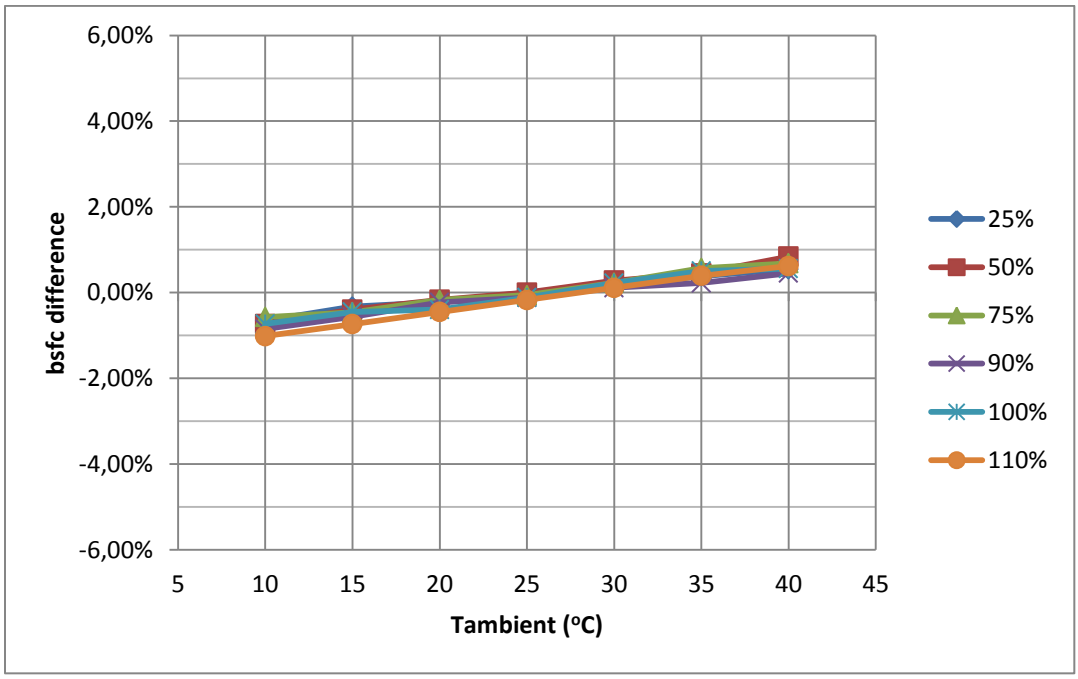


Διάγραμμα 6.3 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης Συμπιέσεως συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.4 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές και εδώ μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 97%. Οι γραμμές τάσεων για το κάθε φορτίο είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 0,386*10^{-3} *x-0,0098$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 0,489*10^{-3} *x-0,0118$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 0,444*10^{-3} *x-0,0108$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,417*10^{-3} *x-0,0118$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,458*10^{-3} *x-0,012$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,552*10^{-3} *x-0,0156$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 0,458*10^{-3}*x-0,012$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 94,4%.

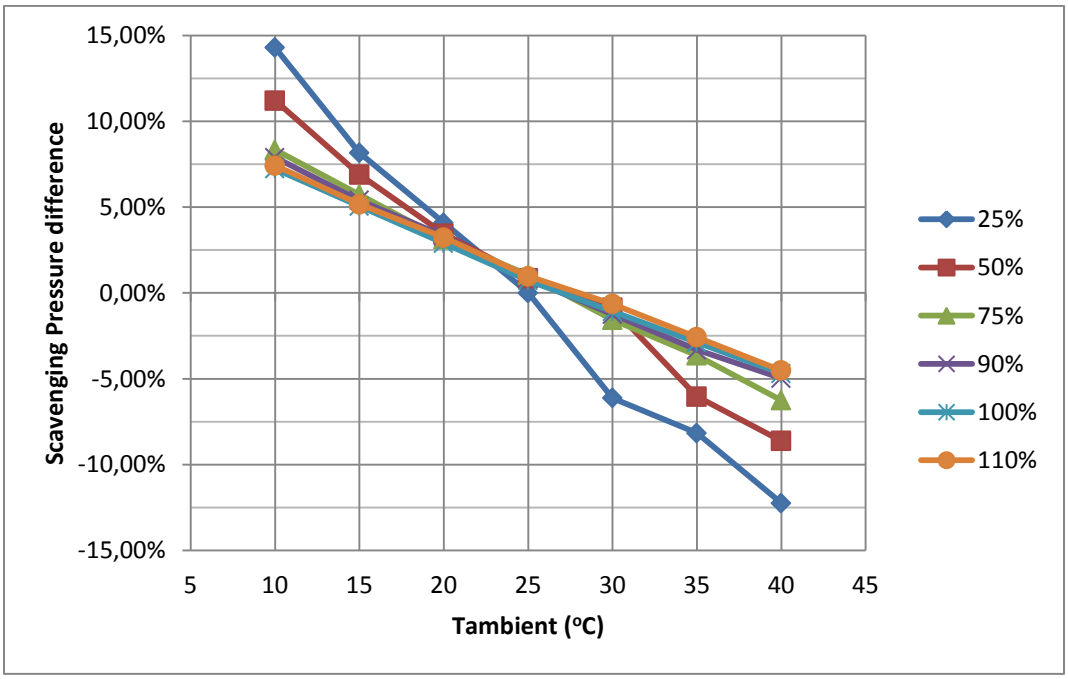


Διάγραμμα 6.4 Ποσοστιαία μεταβολή της Ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.5 δίνονται οι ποσοστιαίες μεταβολές για το κάθε φορτίο της πίεσης σάρωσης. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές για όλα τα φορτία με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 98%. Οι γραμμές τάσεων των φορτίων είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -8,746*10^{-3}*x+0,2187$
- Για το 50% του φορτίου, $y= - 6,404*10^{-3}*x+0,17$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -4,799*10^{-3}*x+0,1297$
- Για το 90% του φορτίου, $y= -4,327*10^{-3}*x+0,1194$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -3,971*10^{-3}*x+0,1096$
- Για το 110% του φορτίου, $y= -3,940*10^{-3}*x+0,015$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -5,365*10^{-3}*x+0,1431$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 89,4%.

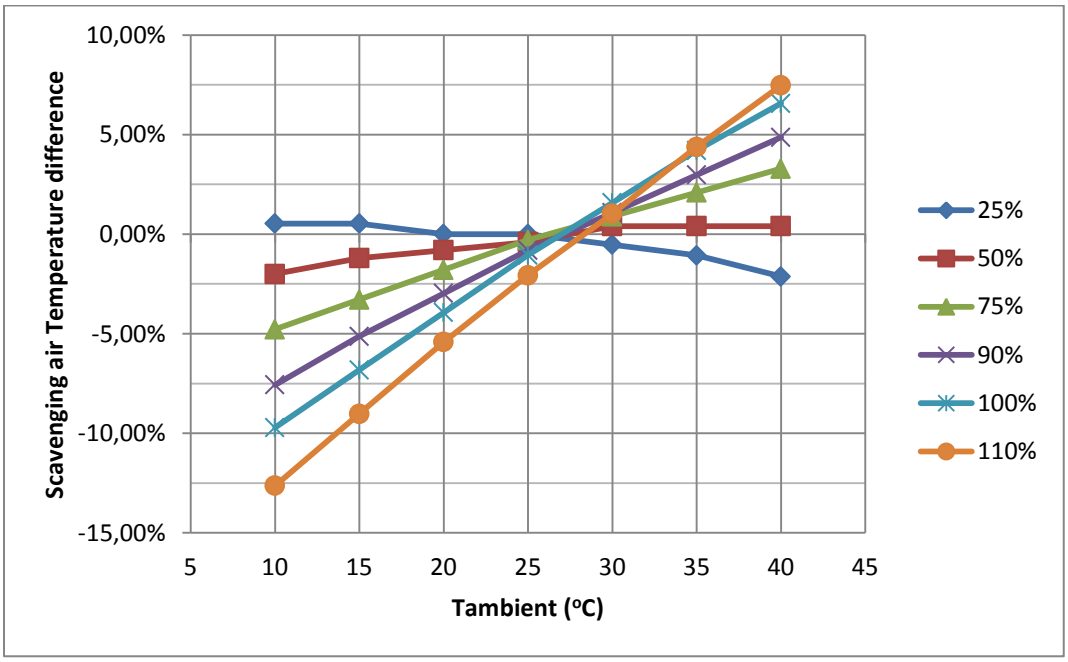


Διάγραμμα 6.5 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης Σάρωσης συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.6 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 90% για το 25% και 50% του φορτίου. Στα υπόλοιπα φορτία το ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές είναι μεγαλύτερο από 99%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για το κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -0,836*10^{-3} *x+0,0171$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 0,829*10^{-3} *x-0,0171$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 2,687*10^{-3}*x-0,0727$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 4,112*10^{-3}*x-0,1136$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 5,456*10^{-3}*x-0,1495$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 6,683*10^{-3}*x-0,1903$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 3,155*10^{-3}*x+0,089$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 60%.

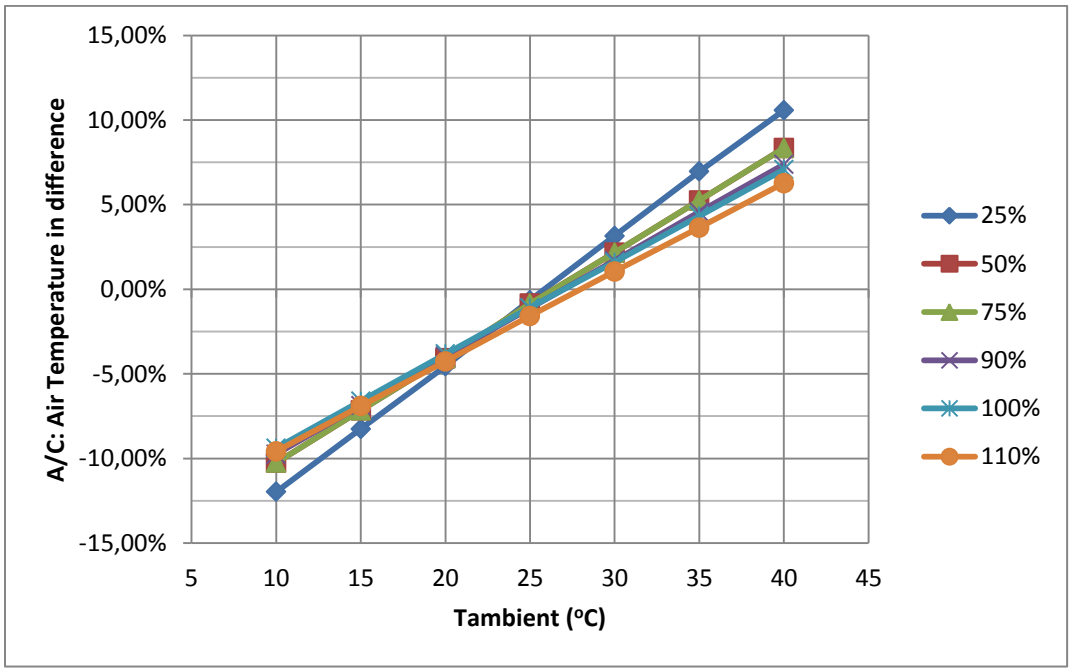


Διάγραμμα 6.6 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας Σάρωσης συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.7 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή για το κάθε φορτίο της θερμοκρασίας εισόδου στο ψυγείο αέρα. Οι μεταβολές θεωρούνται γραμμικές με απόλυτη ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 100%. Αναλυτικότερα για το κάθε φορτίο οι γραμμές τάσεων:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 7,554*10^{-3}*x-0,1956$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 6,201*10^{-3}*x-0,1644$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 6,201*10^{-3}*x-0,1644$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 5,706*10^{-3}*x-0,1542$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 5,477*10^{-3}*x-0,1482$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 5,282*10^{-3}*x-0,1483$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην είσοδο του ψυγείου αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης:
$y= 7,234*10^{-3}*x-0,19$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 86,8%.



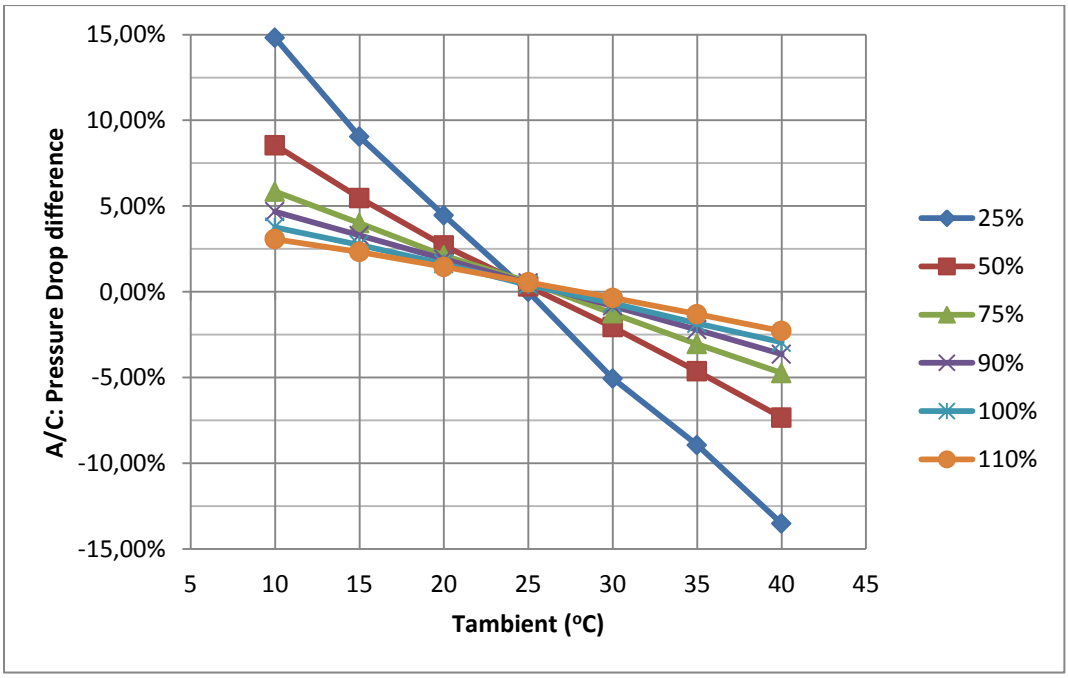
Διάγραμμα 6.7 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας του αέρα στην είσοδο του ψυγείου του αέρα συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο ψυγείου του αέρα για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσης για το κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -9,317*10^{-3}*x+0,2341$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -5,186*10^{-3}*x+0,0134$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -3,516*10^{-3}*x+0,0929$
- Για το 90% του φορτίου, $y= -2,762*10^{-3}*x+0,0744$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -2,255*10^{-3}*x+0,0608$
- Για το 110% του φορτίου, $y= -1,795*10^{-3}*x+0,0498$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο ψυγείο του αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -4,139*10^{-3}*x+0,1077$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 72,2%.

Επειδή η κλίση της γραμμής τάσης του 25% του φορτίου είναι σχεδόν διπλάσια ή και μεγαλύτερη από τα υπόλοιπα φορτία, η μέση συσχέτιση για φορτία άνω του 50% διαμορφώνεται ως εξής: $y= -3,103*10^{-3}*x+0,0824$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 87,2%.

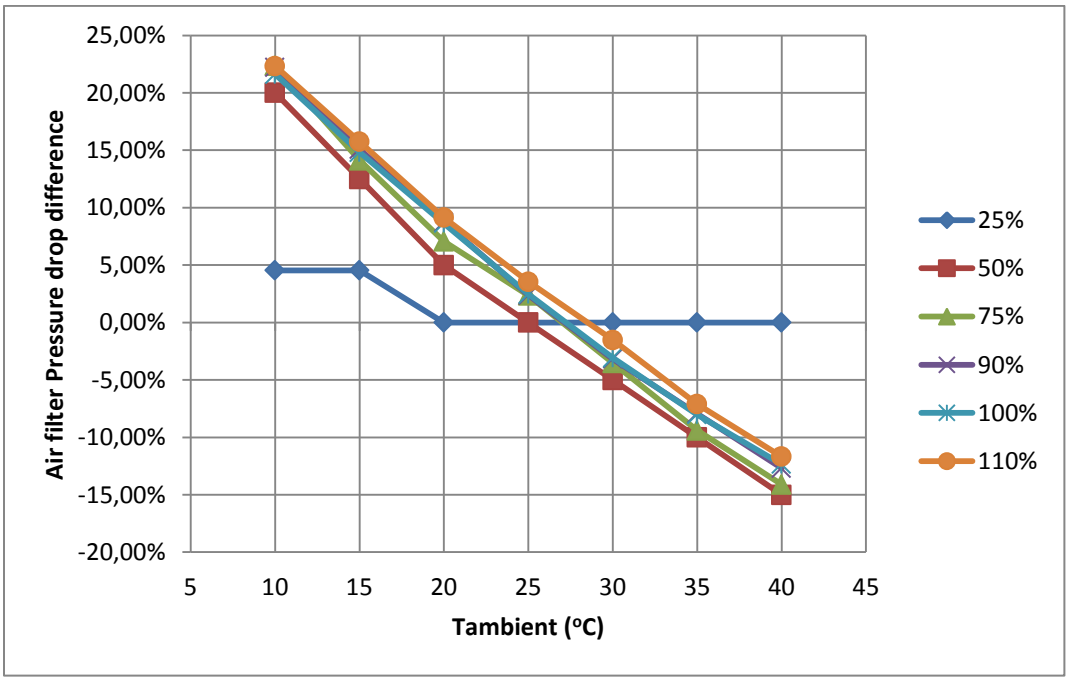


Διάγραμμα 6.8 Ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της Πίεσης στο ψυγείο του αέρα συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο επόμενο διάγραμμα 6.9 παρουσιάζεται η μεταβολή της πτώσης τα πίεσης στο φίλτρο του αέρα για το κάθε φορτίο. Για τα φορτία άνω του 50% οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Στο 25% του φορτίου το ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές της γραμμής τάσης είναι 62,5%, αλλά αυτό οφείλεται στη μικρή τιμή της πτώσης της πίεσης στο συγκεκριμένο φορτίο, μόλις 2,2 mmW και 2,3mmW και στο ότι το λογισμικό υπολογίζει τη συγκεκριμένη παράμετρο με ένα δεκαδικό ψηφίο. Επομένως οι γραμμές τάσεις για το κάθε φορτίο είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -1,623*10^{-3}*x+0,0536$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -11,43*10^{-3}*x+0,2964$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -11,93*10^{-3}*x+0,3252$
- Για το 90% του φορτίου, $y= -11,62*10^{-3}*x+0,3257$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -11,37*10^{-3}*x+0,3188$
- Για το 110% του φορτίου, $y= -11,31*10^{-3}*x+0,3263$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο φίλτρο του αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -9,882*10^{-3}*x+0,2743$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 85,9%.

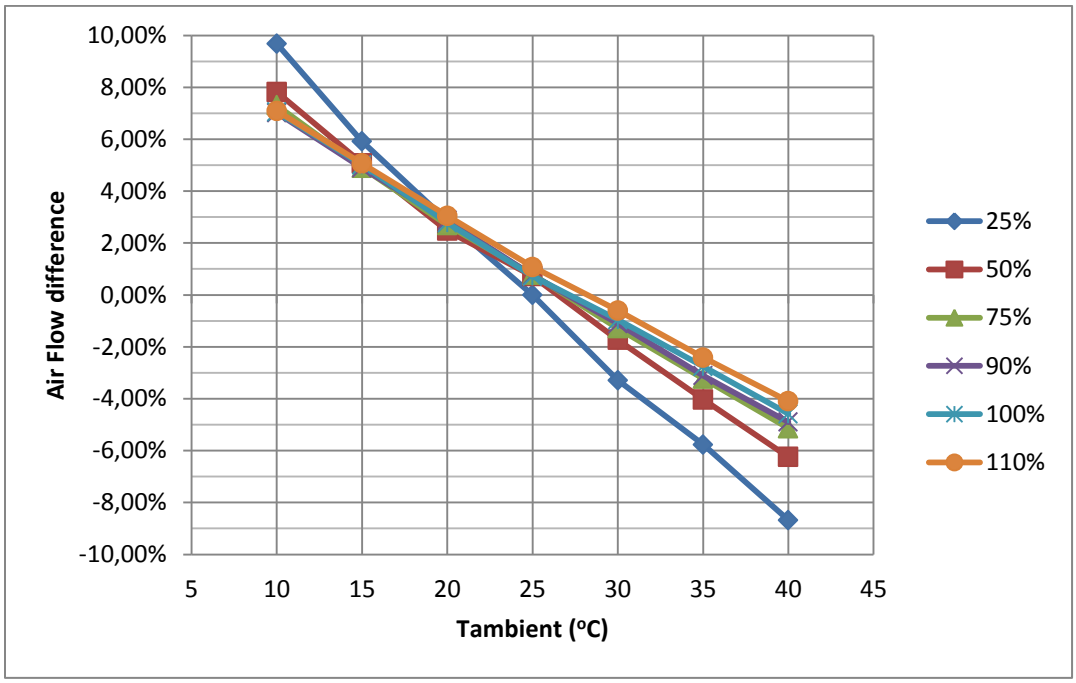


Διάγραμμα 6.9 Ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της Πίεσης στο φίλτρο του αέρα συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αέρα για όλα τα φορτία. Οι καμπύλες των μεταβολών μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Οι γραμμές τάσεις για το κάθε φορτίο έχουν ως εξής:

- Για το 25% του φορτίου, $y= - 6,042*10^{-3}*x+0,1521$
- Για το 50% του φορτίου, $y= - 4,614*10^{-3}*x+0,1212$
- Για το 75% του φορτίου, $y= - 4,113*10^{-3}*x+0,1114$
- Για το 90% του φορτίου, $y= - 3,982*10^{-3}*x+0,1087$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -3,872*10^{-3}*x+0,1072$
- Για το 110% του φορτίου, $y= - 3,727*10^{-3}*x+0,1063$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -4,132*10^{-3}*x+0,1178$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 96%.

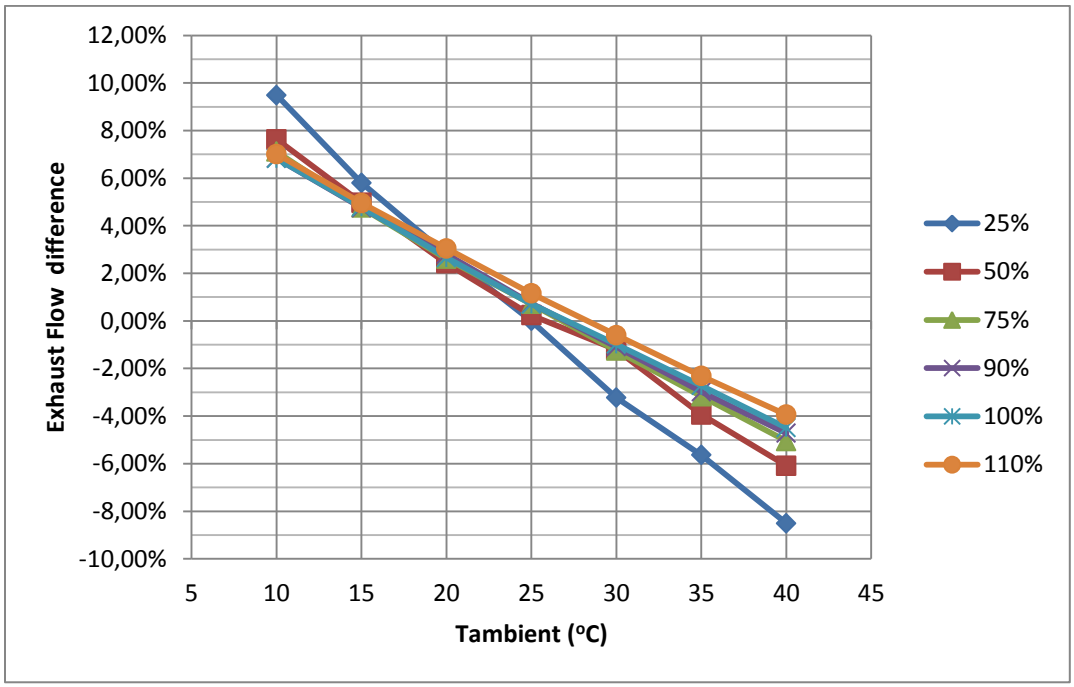


Διάγραμμα 6.10 Ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας του αέρα συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.11 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας των καυσαερίων για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων:

- Για το 25% του φορτίου, $y= - 5,919*10^{-3}*x+0,149$
- Για το 50% του φορτίου, $y= - 4,471*10^{-3}*x+0,1175$
- Για το 75% του φορτίου, $y= - 4,015*10^{-3}*x+0,1086$
- Για το 90% του φορτίου, $y= - 3,859*10^{-3}*x+0,1055$
- Για το 100% του φορτίου, $y= - 3,758*10^{-3}*x+0,1036$
- Για το 110% του φορτίου, $y= - 3,646*10^{-3}*x+0,1045$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας των καυσαερίων δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -4,278*10^{-3}*x+0,1148$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 95,8%.

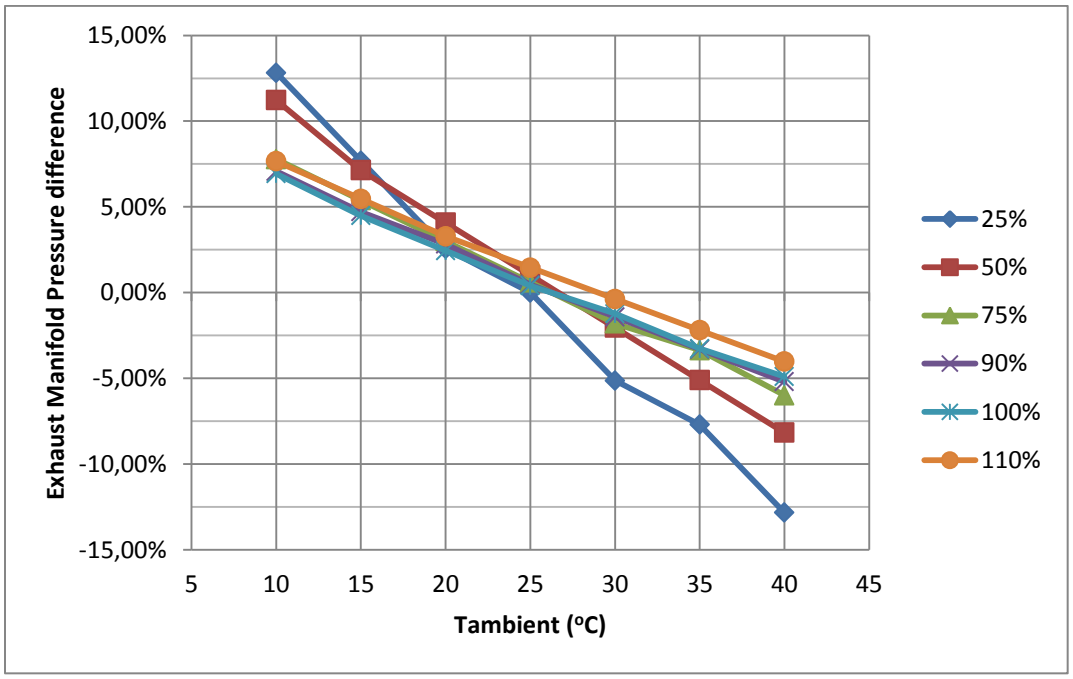


Διάγραμμα 6.11 Ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας των καυσαερίων συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.12 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης στον οχετό εξαγωγής για όλα τα φορτία λειτουργίας. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -8,242*10^{-3}*x+0,2024$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -6,341*10^{-3}*x+0,1702$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -4,542*10^{-3}*x+0,1216$
- Για το 90% του φορτίου, $y= -4,077*10^{-3}*x+0,1093$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -3,906*10^{-3}*x+0,1047$
- Για το 110% του φορτίου, $y= -3,858*10^{-3}*x+0,1126$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης στον οχετό εξαγωγής δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -5,161*10^{-3}*x+0,1368$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 89,6%.

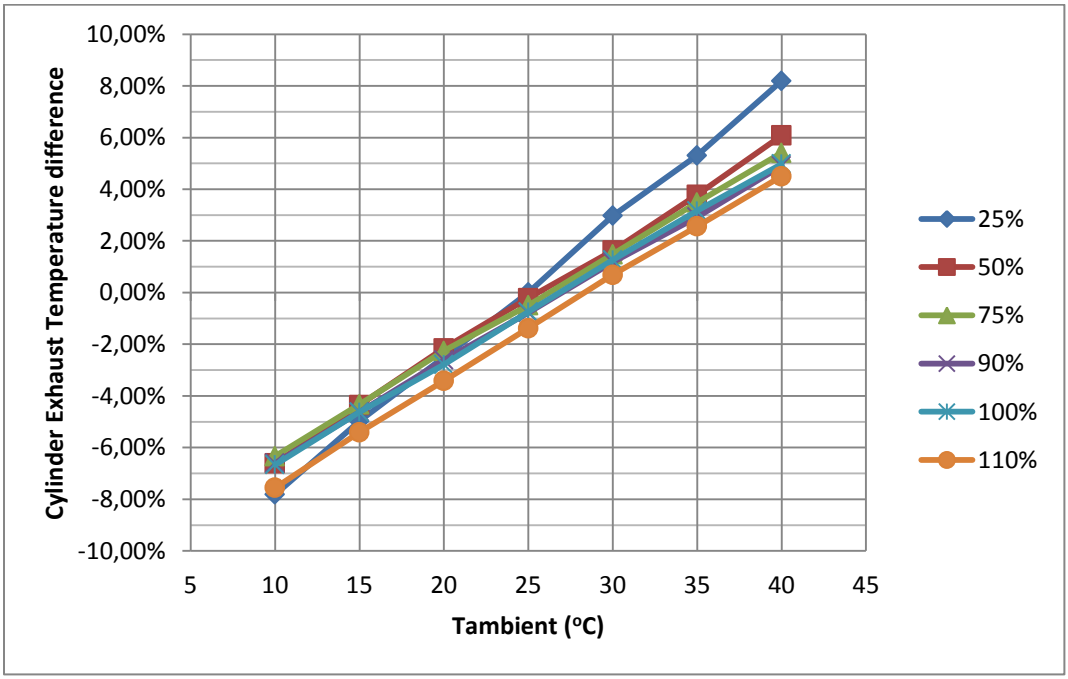


Διάγραμμα 6.12 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης στον Οχετό εξαγωγής συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.13 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου από τον κύλινδρο για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με σχεδόν απόλυτη ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές που είναι μεγαλύτερο του 99,9%. Οι γραμμές τάσεων στο κάθε φορτίο είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 5,290*10^{-3}*x-0,1305$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 4,152*10^{-3}*x-0,1064$
- Για το 75% του φορτίου, $y=3,899*10^{-3} *x-0,1018$
- Για το 90% του φορτίου, $y=3,813*10^{-3} *x-0,1033$
- Για το 100% του φορτίου, $y=3,898*10^{-3} *x-0,1052$
- Για το 110% του φορτίου, $y=4,015*10^{-3} *x-0,1146$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 4,178*10^{-3}*x-0,1103$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 97,2%.

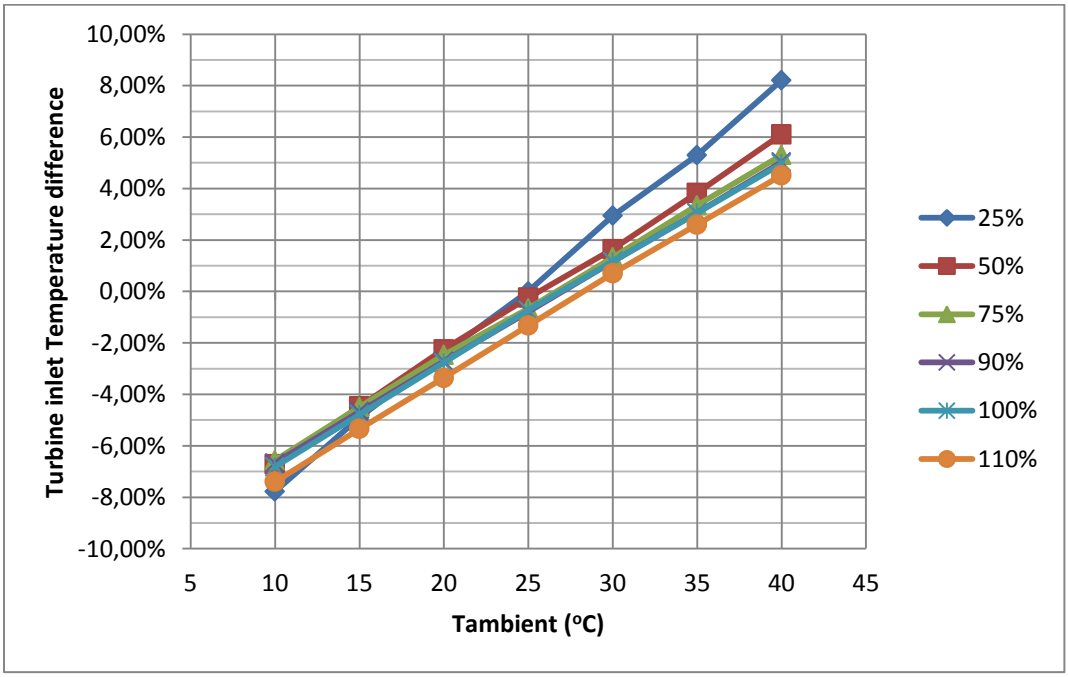


Διάγραμμα 6.13 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.14 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην είσοδο του στροβίλου για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με πολύ μεγάλη ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές , που είναι μεγαλύτερο του 99,9%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσης για το κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 5,264*10^{-3}*x-0,1296$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 4,213*10^{-3}*x-0,1083$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 3,934*10^{-3}*x-0,1043$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 3,889*10^{-3}*x-0,1052$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 3,926*10^{-3}*x-0,1066$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 3,975*10^{-3}*x-0,1131$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην είσοδο του στροβίλου δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 4,201*10^{-3}*x-0,1112$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 97,3%.

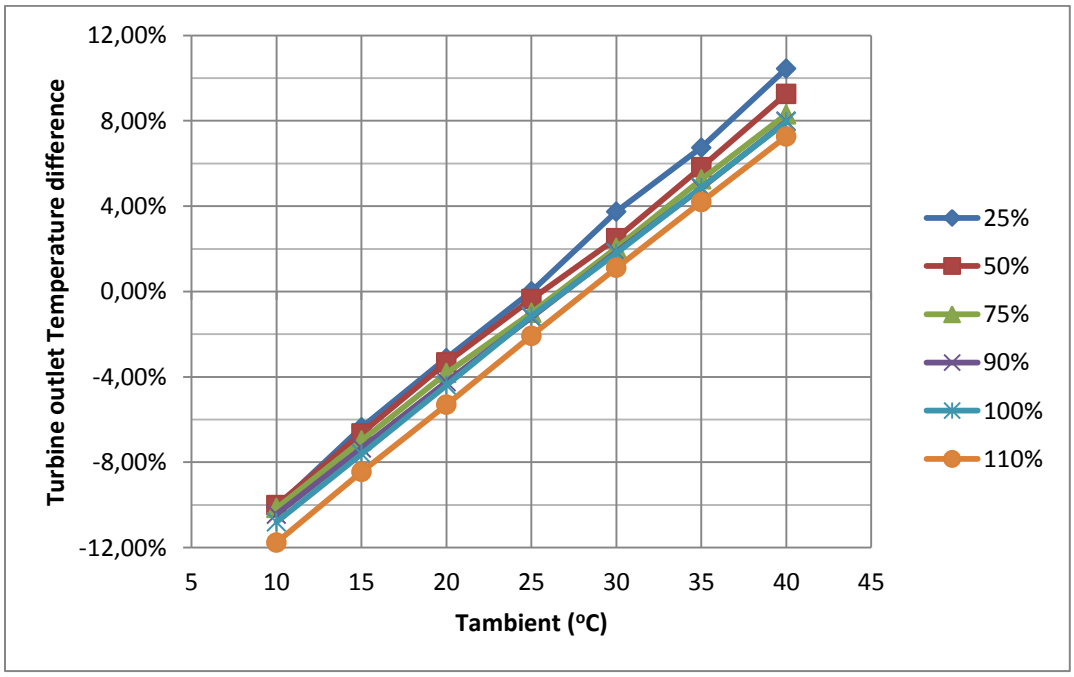


Διάγραμμα 6.14 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εισόδου στο στρόβιλο συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.15 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου από τον στρόβιλο για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για το κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 6,768*10^{-3}*x-0,1673$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 6,328*10^{-3}*x-0,1622$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 6,120*10^{-3}*x-0,1621$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 6,121*10^{-3}*x-0,1653$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 6,243*10^{-3}*x-0,1694$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 6,342*10^{-3}*x-0,18$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην έξοδο του στροβίλου δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 6,321*10^{-3}*x-0,1677$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 98,5%.



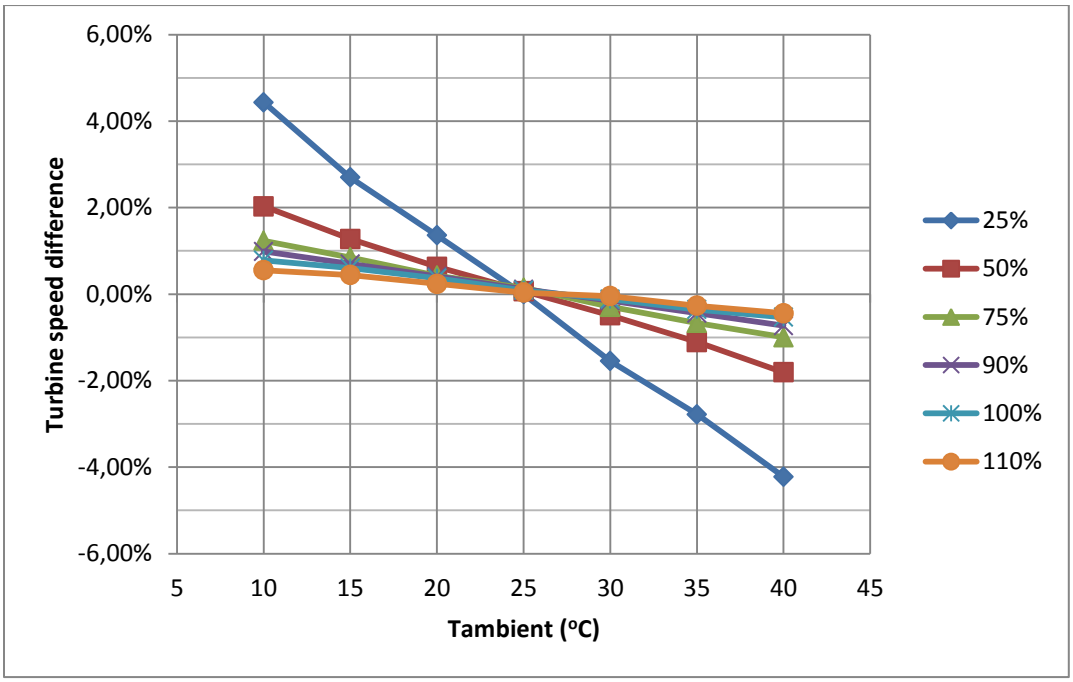
Διάγραμμα 6.15 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εξόδου από τον στρόβιλο συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.16 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με μεγάλη ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές που ξεπερνά το 99%. Οι γραμμές τάσης για το κάθε φορτίο έχουν ως εξής:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -2,846*10^{-3}*x+0,0711$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -1,242*10^{-3}*x+0,0319$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -0,746*10^{-3}*x+0,0196$
- Για το 90% του φορτίου, $y= -0,570*10^{-3}*x+0,0155$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -0,453*10^{-3}*x+0,0125$
- Για το 110% του φορτίου, $y= -0,336*10^{-3}*x+0,0091$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -1,032 *x+0,0266$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 58,8%.

Επειδή η κλίση της ευθείας για το 25% του φορτίου είναι τουλάχιστον διπλάσια από τις υπόλοιπες, η γραμμή τάσης για φορτία άνω του 50% διαμορφώνεται ως εξής: $y= -0,669*10^{-3}*x+0,0177$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 81,5%.

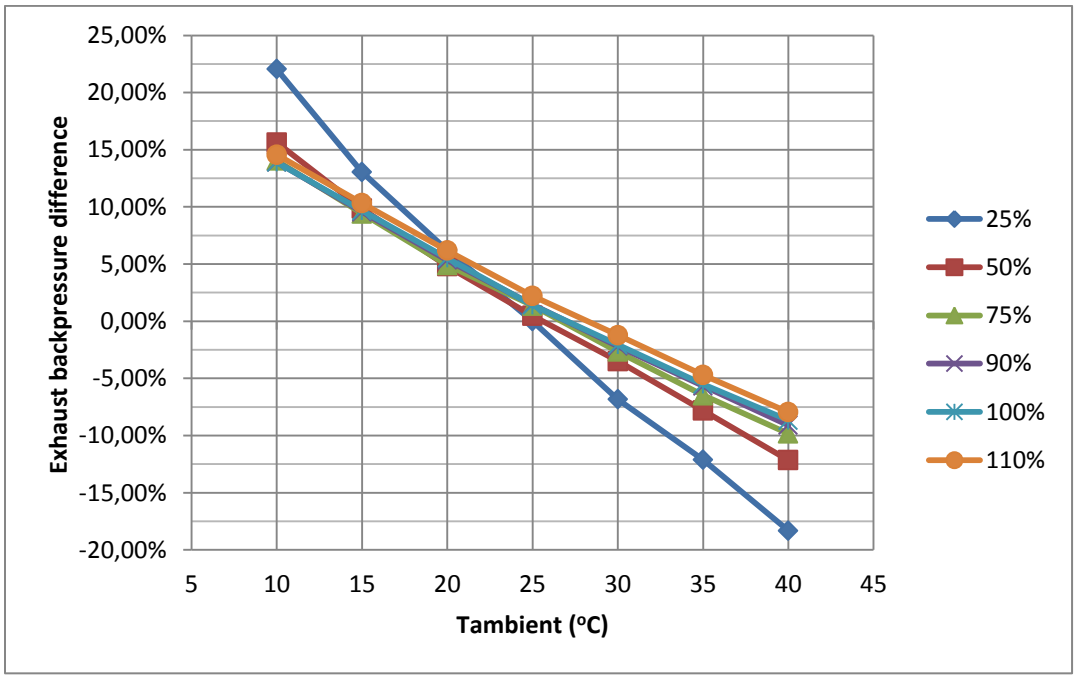


Διάγραμμα 6.16 Ποσοστιαία μεταβολή της Ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.17 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης μετά τον στρόβιλο για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσης για το κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -13,18*10^{-3}*x+0,3352$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -9,066*10^{-3}*x+0,2371$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -7,927*10^{-3}*x+0,2136$
- Για το 90% του φορτίου, $y= -7,644*10^{-3}*x+0,2102$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -7,549*10^{-3}*x+0,2091$
- Για το 110% του φορτίου, $y= -7,501*10^{-3}*x+0,2153$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης μετά τον στρόβιλο δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -8,811*10^{-3}*x+0,2367$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 94%.



Διάγραμμα 6.17 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης μετά τον στρόβιλο συναρτήσει της Θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 6.1 έως 6.17 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα για την επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας το λογισμικό προσομοίωσης:

Οι ποσοστιαίες μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές, με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 90%. Η κλίση των μεταβολών εξαρτάται από το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα.

Στις περισσότερες παραμέτρους η κλίση των μεταβολών μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο του κινητήρα. Αυτές οι παράμετροι είναι η παροχή αέρα και η ποσότητα των καυσαερίων. Επίσης η πίεση σάρωσης, η πίεση στον οχετό εξαγωγής, και η πίεση μετά τον στρόβιλο. Το ίδιο παρατηρείται και για τη θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του ψυγείου και για την πτώση της πίεσης στο ψυγείο. Όμοια η κλίση της μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής του υπερπληρωτή μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα.

Ιδιομορφία παρουσιάζει η κλίση της μεταβολής της ισχύος, της πίεσης συμπιέσεως, της μεγίστης πίεσης καύσεως και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Για φορτία άνω του 90% η κλίση αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο του κινητήρα, ενώ από το 50% του φορτίου έως το 90% η κλίση μειώνεται.

Η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών των θερμοκρασιών των καυσαερίων και της πτώσης της πίεσης στο φίλτρο του αέρα μειώνεται από το 25% του φορτίου έως το 75%. Από το 75% του φορτίου και πάνω η κλίση των μεταβολών αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο.

Τέλος η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας σάρωσης αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο.

Στο παρακάτω πίνακα δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα, σε όλο το εύρος του φορτίου, για αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 5 ^{o}C

Load (%)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
25	-0,20%	-0,76%	-1,26%	0,20%		-2,90%
50	-0,25%	-0,96%	-1,60%	0,26%		-2,24%
75	-0,21%	-0,87%	-1,48%	0,21%		-1,98%
90	-0,22%	-0,86%	-1,48%	0,22%		-1,90%
100	-0,22%	-0,89%	-1,45%	0,22%		-1,86%
110	-0,27%	-0,96%	-1,54%	0,27%		-1,78%
Load (%)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^{o}C)	**A/C:$T_{air.in}$** (^{o}C)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
25	-4,08%	-0,44%	7,52%	-4,36%	-0,72%	-2,84%
50	-3,09%	0,41%	4,07%	-2,52%	-5,22%	-2,18%
75	-2,31%	1,39%	3,32%	-1,70%	-5,35%	-1,94%
90	-2,04%	2,18%	3,05%	-1,35%	-5,11%	-1,85%
100	-1,90%	2,90%	2,92%	-1,09%	-4,98%	-1,81%
110	-1,90%	3,67%	2,83%	-0,88%	-4,96%	-1,75%

Load (%)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
25	-3,99%	2,80%	2,79%	3,65%	-1,41%	-5,99%
50	-3,02%	2,21%	2,23%	3,43%	-0,63%	-4,24%
75	-2,19%	2,04%	2,07%	3,29%	-0,37%	-3,66%
90	-1,96%	2,00%	2,04%	3,30%	-0,28%	-3,53%
100	-1,89%	2,03%	2,06%	3,37%	-0,22%	-3,46%
110	-1,85%	2,12%	2,09%	3,45%	-0,17%	-1,85%

Πίνακας 6.9 Ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα για αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 5^oC

6.3 Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με χρήση των συσχετίσεων

Στην παράγραφο αυτή θα διεξαχθεί διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στις παραμέτρους του κινητήρα, με βάση τις συσχετίσεις που δόθηκαν από τον κατασκευαστικό οίκο, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3. Προς υπενθύμιση οι σχέσεις αυτές είναι:

Για τις πιέσεις

$$P_{ref}= P_{meas}*(corrector+1)+corrector$$

Και ο corrector έχει τις τιμές

- Για την πίεσης καύσης corrector= $-\Delta T_{ambient}*0.002198$
- Για την πίεση συμπίεσης corrector= $-\Delta T_{ambient}*0.002954$
- Για την πίεση σάρωσης corrector= $-\Delta T_{ambient}*0.002856$

Για τις θερμοκρασίες καυσαερίων

$$T_{ref}= T_{meas}*(corrector+1)+corrector*273,15$$

Και ο corrector έχει τις τιμές

- Για την έξοδο του κυλίνδρου corrector= $\Delta T_{ambient}*0.002466$
- Για την είσοδο στο στρόβιλο corrector= $\Delta T_{ambient}*0.002466$
- Για την έξοδο από το στρόβιλο corrector= $\Delta T_{ambient}*0.00316$

Για την ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοπληρωτή

n_{ref}= n_{meas}*corrector

και ο corrector έχει την τιμή

$$\sqrt{\frac{(Tamb.ref + 273.15) * [(-\Delta\mathrm{Tamb} * 0.002856 + 1) * Pscav.meas + (-\Delta\mathrm{Tamb} * 0.002856)]}{(Tamb.meas + 273.15) * Pscav.meas}}$$

Με βάση τις παραπάνω συσχετίσεις υπολογίσθηκαν ποιες θα ήταν οι τιμές των παραμέτρων (δηλαδή οι μετρημένες) όταν ως σημείο αναφοράς έχουμε τις μετρήσεις από τις εργοστασιακές δοκιμές. Ακολουθούν πίνακες για τη διερεύνηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος από 10 ^{o}C έως 40 ^{o}C ανά 5 ^{o}C για τα αντίστοιχα φορτία.

Για το 25% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=18 ^{o}C

Tambient (^{o}C)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^{o}C)	**Ttur.in** (^{o}C)	**Ttur.out** (^{o}C)	**Turbine speed** (rpm)
10	77,59	50,27	0,46	254,45	276,66	209,14	4339,03
15	76,71	49,49	0,44	260,74	283,28	216,53	4274,25
20	75,84	48,73	0,42	267,19	290,06	224,14	4207,93
25	75	48	0,4	273,8	297	232	4140
30	74,17	47,29	0,38	280,57	304,12	240,11	4070,42
35	73,37	46,59	0,36	287,51	311,42	248,48	3999,11
40	72,57	45,92	0,34	294,63	318,90	257,14	3926,01

Πίνακας 6.10 Για το 25% του φορτίου

Για το 50% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=19 ^{o}C

Tambient (^{o}C)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^{o}C)	**Ttur.in** (^{o}C)	**Ttur.out** (^{o}C)	**Turbine speed** (rpm)
10	109,02	77,67	1,19	281,28	329,52	234,65	6956,93
15	107,78	76,47	1,16	287,88	336,76	242,41	6922,23
20	106,57	75,31	1,13	294,65	344,17	250,40	6886,86
25	105,39	74,18	1,09	301,58	351,77	258,66	6850,83
30	104,23	73,08	1,07	308,68	359,55	267,17	6814,14
35	103,10	72,02	1,04	315,95	367,54	275,96	6776,80
40	101,99	70,98	1,01	323,42	375,72	285,05	6738,83

Πίνακας 6.11 Για το 50% του φορτίου

Για το 75% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=23,5 ^oC

Tambient (^oC)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
10	140,12	114,43	2,18	288,34	338,13	205,07	8725,38
15	138,53	112,66	2,13	295,02	345,46	212,36	8706,77
20	136,97	110,95	2,09	301,86	352,96	219,87	8687,64
25	135,45	109,29	2,04	308,87	360,66	227,63	8667,99
30	133,96	107,68	2,00	316,04	368,54	235,63	8647,85
35	132,51	106,11	1,96	323,40	376,62	243,89	8627,23
40	131,08	104,59	1,92	330,94	384,91	252,42	8606,14

Πίνακας 6.12 Για το 75% του φορτίου

Για το 90% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=27 ^oC

Tambient (^oC)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
10	151,39	132,19	2,72	309,96	361,40	201,50	9425,88
15	149,67	130,15	2,67	316,89	369,00	208,73	9412,11
20	147,99	128,17	2,61	323,98	376,78	216,18	9397,82
25	146,35	126,25	2,56	331,24	384,76	223,86	9383,05
30	144,74	124,39	2,51	338,69	392,93	231,79	9367,79
35	143,17	122,58	2,46	346,32	401,31	239,97	9352,08
40	141,62	120,82	2,41	354,14	409,90	248,43	9335,92

Πίνακας 6.13 Για το 90% του φορτίου

Για το 100% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=30 ^oC

Tambient (^oC)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
10	156,07	144,51	3,01	329,16	382,51	213,84	9815,80
15	154,30	142,28	2,96	336,32	390,37	221,25	9804,11
20	152,56	140,12	2,90	343,64	398,41	228,89	9791,91
25	150,87	138,02	2,84	351,15	406,65	236,78	9779,21
30	149,21	135,99	2,79	358,84	415,09	244,91	9766,04
35	147,59	134,01	2,73	366,72	423,75	253,31	9752,42
40	146,00	132,09	2,68	374,80	432,63	261,98	9738,35

Πίνακας 6.14 Για το 100% του φορτίου

Για το 110% του φορτίου με $P_{ambient}$=1021 mbar και T_{water}=33,5 ^oC

Tambient (^oC)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
10	161,74	153,52	3,32	347,67	409,69	227,52	10218,72
15	159,90	151,14	3,26	355,03	417,85	235,12	10208,61
20	158,10	148,84	3,20	362,56	426,20	242,95	10198,00
25	156,34	146,61	3,14	370,28	434,76	251,03	10186,89
30	154,62	144,44	3,08	378,19	443,53	259,37	10175,31
35	152,93	142,34	3,02	386,29	452,53	267,97	10163,29
40	151,28	140,29	2,96	394,60	461,75	276,86	10150,82

Πίνακας 6.15 Για το 110% του φορτίου

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις από τις εργοστασιακές δοκιμές:

Load (%)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
25	75	48	0,4	273,8	297	232	4140
50	105,2	74	1,09	302,7	353	260	6845
75	135	108,8	2,03	311	363	230	8662
90	145,7	125,5	2,54	334,2	388	227	9377
100	150,2	137,2	2,82	354,2	410	240	9774
110	155,3	145,3	3,1	375	440	256	10180

Πίνακας 6.16 Εργοστασιακές δοκιμές

Ακολουθούν διαγράμματα που δείχνουν την επί τοις εκατό μεταβολή των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, από τη διερεύνηση που προηγήθηκε, με αναφορά τις τιμές των παραμέτρων από τις εργοστασιακές δοκιμές.

Επίσης αναλύοντας περαιτέρω τις συσχετίσεις που παρουσιάσθηκαν στην αρχή της παραγράφου 6.3, για όλα τα φορτία, βρέθηκε η τελική μορφή της ευθείας που εκφράζει τη μεταβολή των παραμέτρων, στη μορφή: "y= A*x+B" όπου ο συντελεστής «A» καθορίζει την κλίση της ευθείας και ο σταθερός όρος «B» προσδιορίζει το σημείο στο οποίο η ευθεία τέμνει τον άξονα των τεταγμένων. Ως «χ» ορίζεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος (σε ^oC) για την οποία θα υπολογιστεί η μεταβολή. Ο αριθμός «y» που θα βρεθεί, πολλαπλασιάζεται με 100% και δίνει τη ποσοστιαία μεταβολή της παραμέτρου από το σημείο αναφοράς.

Επομένως για να βρεθεί η τιμή της παραμέτρου στην θερμοκρασία περιβάλλοντος που έχει ορισθεί ως θερμοκρασία αναφοράς, χρησιμοποιείται η σχέση: $A_{corrector}=A_{measurement} / (1+y)$

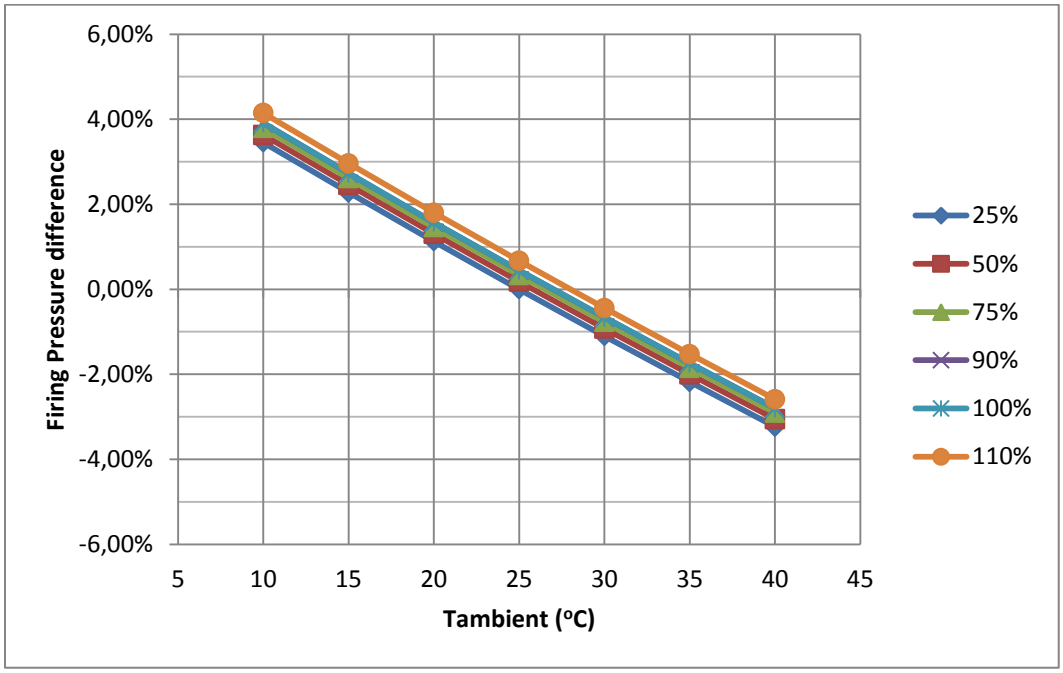
όπου $A_{corrector}$ είναι η τιμή της παραμέτρου στην θερμοκρασία αναφοράς και $A_{measurement}$ η τιμή της παραμέτρου στις διάφορες θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Ο συντελεστής “y” όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι η μεταβολή της παραμέτρου στις αντίστοιχες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Επίσης βρέθηκε και η μέση συσχέτιση για την μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα, η οποία όμως έχει μικρότερο ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές, λόγω το ότι κάθε φορτίο έχει διαφορετική θερμοκρασία αναφοράς.

Στο διάγραμμα 6.18 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσεως για όλο το εύρος φορτίων του κινητήρα. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -2,234*10^{-3}*x+0,0562$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -2,234*10^{-3}*x+0,058$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -2,234*10^{-3}*x+0,0596$
- Για το 90% του φορτίου, $y= -2,234*10^{-3}\ x+0,0608$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -2,234*10^{-3}*x+0,0608$
- Για το 110% του φορτίου, $y= -2,234*10^{-3}*x+0,0633$

Όπως εύκολα διακρίνεται, η κλίση των γραμμών τάσης είναι ίση για όλα τα φορτία αλλά αλλάζει το σημείο το οποίο τέμνουν τον άξονα των τεταγμένων. Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσεως δίνεται από την εξίσωση: $y= -2,233*10^{-3}*x+0,0598$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99%.

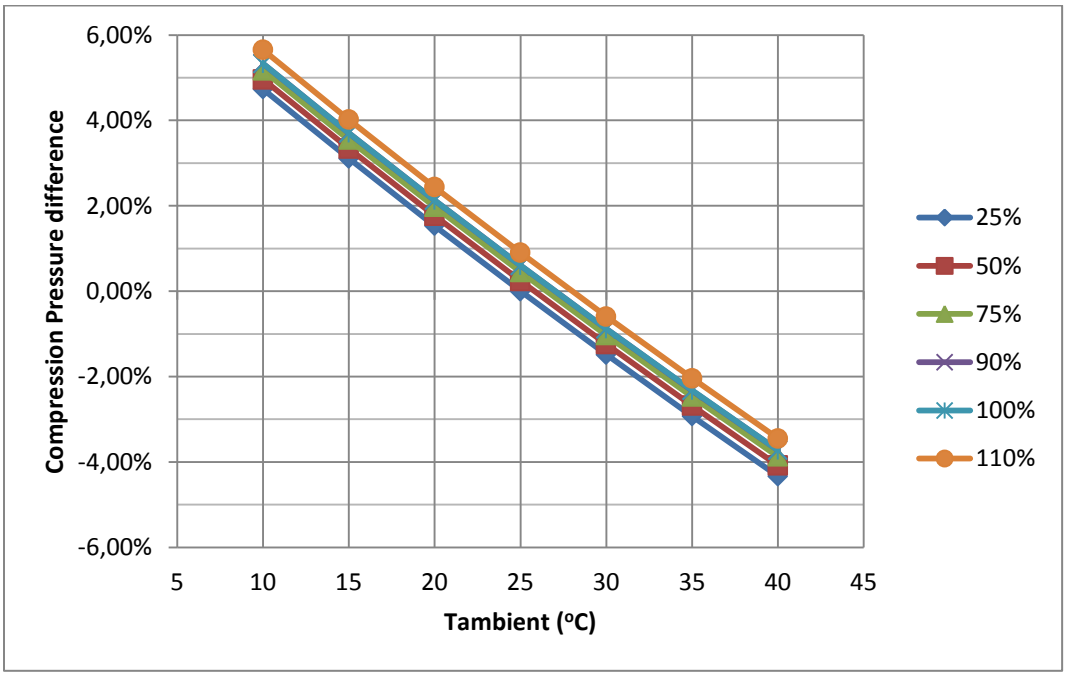


Διάγραμμα 6.18 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης καύσεως συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.19 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= -3,018*10^{-3}*x+0,0764$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -3,018*10^{-3}*x+0,0786$
- Για το 75% του φορτίου, $y= -3,018*10^{-3}*x+0,0807$
- Για το 90% του φορτίου, $y= -3,018*10^{-3}*x+0,0823$
- Για το 100% του φορτίου, $y= -3,018*10^{-3}*x+0,0823$
- Για το 110% του φορτίου, $y= -3,018*10^{-3}*x+0,0857$

Αντίστοιχα με την μεταβολή της πίεσης καύσεως, και η κλίση των μεταβολών της πίεσης συμπιέσεως είναι ίση για όλα τα φορτία, αλλά αλλάζει το σημείο το οποίο τέμνουν τον άξονα των τεταγμένων. Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως δίνεται από την εξίσωση:
$y= -3,018*10^{-3}*x+0,0598$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99%.



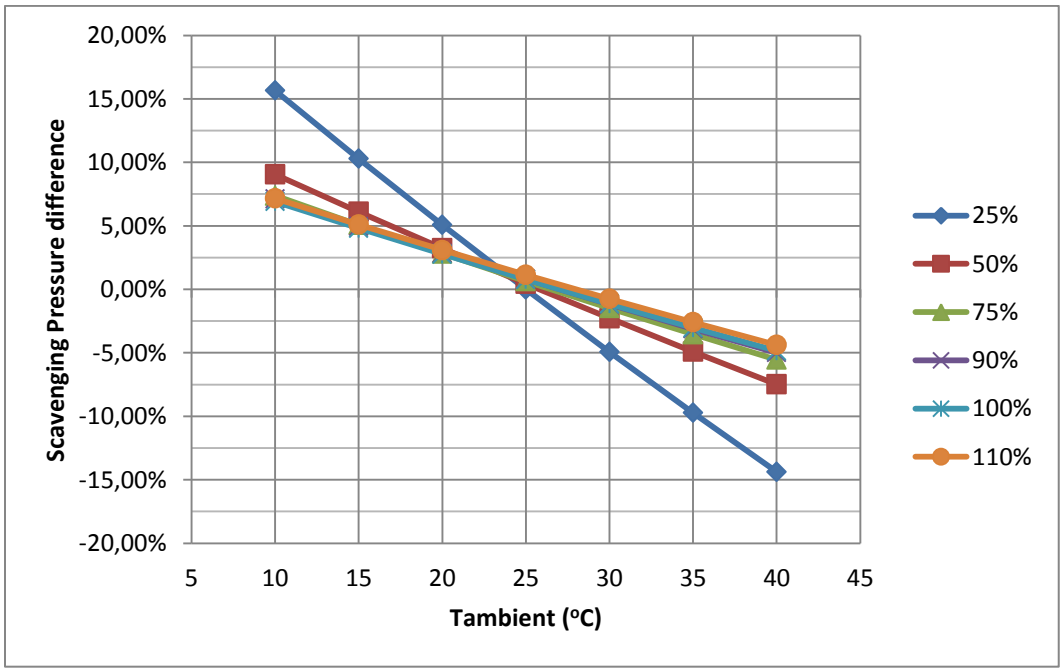
Διάγραμμα 6.19 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης συμπίεσης συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.20 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= - 10,01*10^{-3}*x+0,2531$
- Για το 50% του φορτίου, $y= - 5,51*10^{-3}*x+0,1437$
- Για το 75% του φορτίου, $y= - 4,306*10^{-3}*x+0,1153$
- Για το 90% του φορτίου, $y= - 4,032*10^{-3}*x+0,11$
- Για το 100% του φορτίου, $y= - 3,919*10^{-3}*x+0,1069$
- Για το 110% του φορτίου, $y= - 3,484*10^{-3}*x+0,1087$

Η κλίση των μεταβολών της πίεσης σάρωσης, παρατηρείται ότι δεν είναι ίση για όλα τα φορτία, όπως είχε συμβεί στην πίεση καύσεως και συμπιέσεως. Αυτό οφείλεται στο μικρό μέγεθος της πίεσης σάρωσης (κυμαίνεται από 0,3 έως 3,5 bar). Όσο αυξάνεται το φορτίο μειώνεται η κλίση των μεταβολών, και στα υψηλά φορτία δεν γίνεται αισθητή η διαφορά της.

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης δίνεται από την εξίσωση: $y= -5,271*x+0,1396$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 85%.

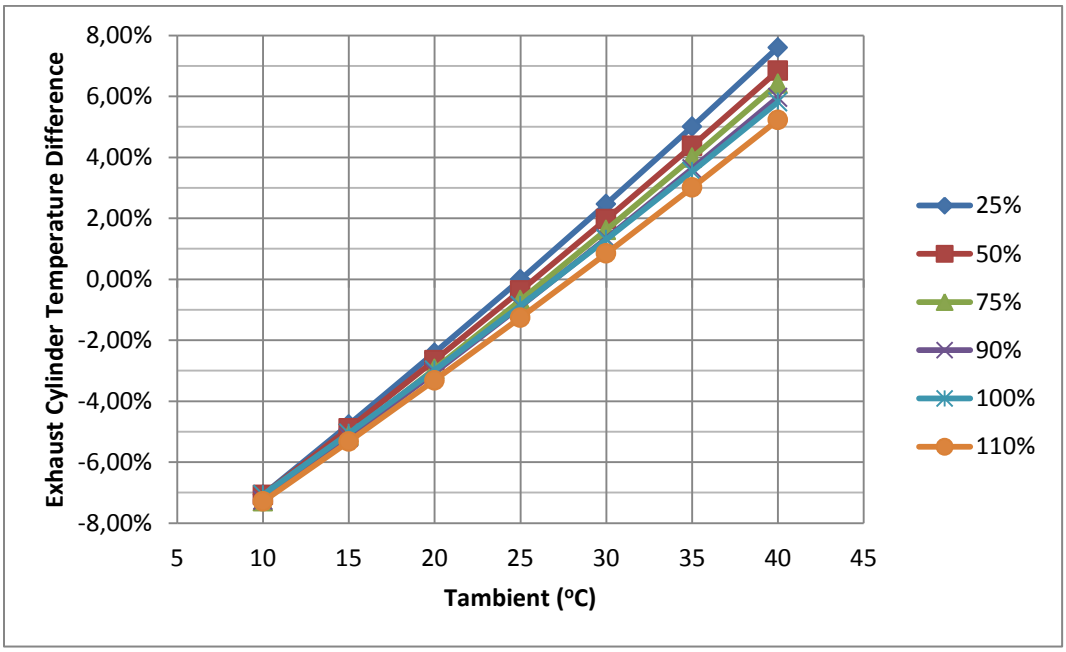


Διάγραμμα 6.20 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης σάρωσης συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.21 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο από τον κύλινδρο για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 4,89*10^{-3}*x-0,1211$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 4,639*10^{-3}*x-0,1185$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 4,564*10^{-3}*x-0,1199$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 4,405*10^{-3}*x-0,1179$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 4,293*10^{-3}*x-0,1149$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 4,170*10^{-3}*x-0,1158$

Η κλίση των μεταβολών μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα. Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου δίνεται από την εξίσωση:
$y= 4,494*10^{-3}*x-0,118$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 98,9%.

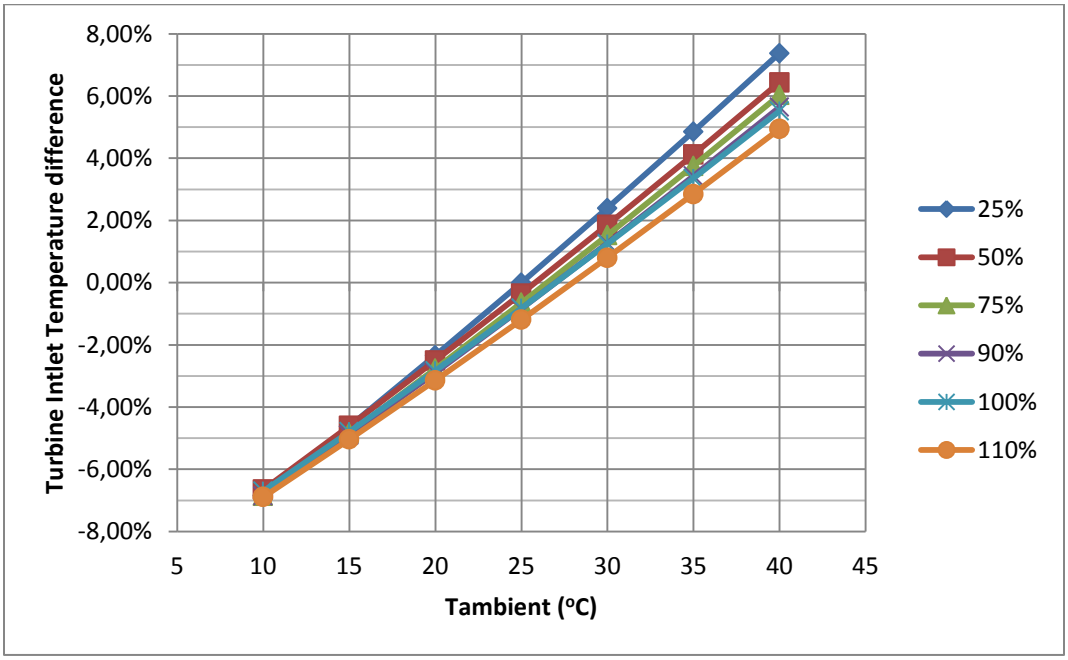


Διάγραμμα 6.21 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εξόδου από τον κύλινδρο συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.22 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου για όλο το εύρος του φορτίου. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 4,739*10^{-3}*x-0,1173$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 4,362*10^{-3}*x-0,1115$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 4,294*10^{-3}*x-0,1128$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 4,165*10^{-3}*x-0,1115$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 4,073*10^{-3}*x-0,109$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 3,943*10^{-3}*x-0,1095$

Αντίστοιχα με την κλίση της θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου, έτσι και για την θερμοκρασία των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου η κλίση των μεταβολών μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα. Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου δίνεται από την εξίσωση: $y= 4,263*10^{-3}*x-0,119$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 98,8%.

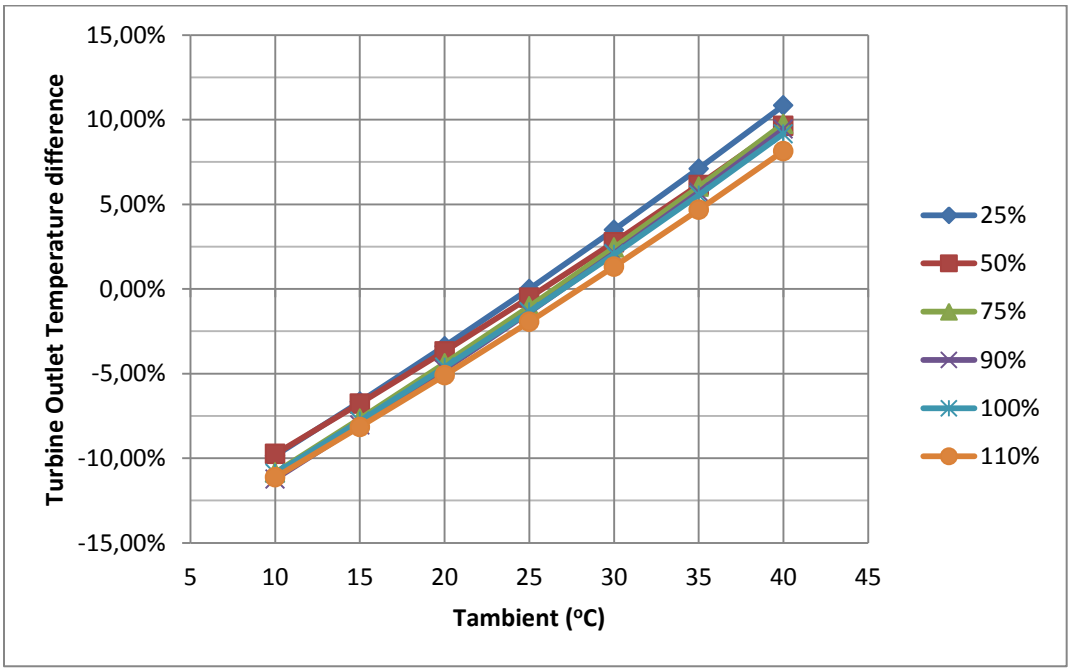


Διάγραμμα 6.22 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εισόδου στο στρόβιλο συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου, για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 6,892*10^{-3}*x-0,1701$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 6,458*10^{-3}*x-0,1646$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 6,859*10^{-3}*x-0,1797$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 6,887*10^{-3}*x-0,1839$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 6,683*10^{-3}*x-0,1784$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 6,421*10^{-3}*x-0,1779$

Αντίστοιχα με την κλίση των δύο προηγούμενων θερμοκρασιών των καυσαερίων, η κλίση των μεταβολών της θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα. Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου δίνεται από την εξίσωση:
$y= 6,7*10^{-3}*x-0,1758$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99%.



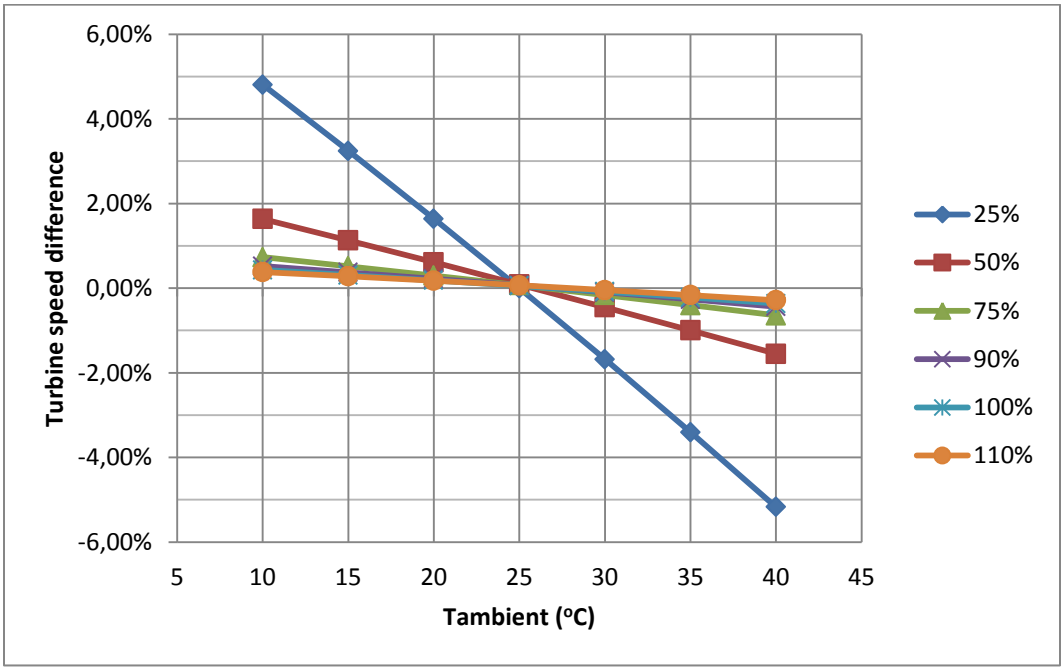
Διάγραμμα 6.23 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εξόδου από τον στρόβιλο συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 6.24 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= - 3,324*10^{-3}*x+0,0823$
- Για το 50% του φορτίου, $y= -1,062*10^{-3}*x+0,0272$
- Για το 75% του φορτίου, $y= - 0,459*10^{-3}*x+0,0121$
- Για το 90% του φορτίου, $y= - 0,320*10^{-3}*x+0,0085$
- Για το 100% του φορτίου, $y=- 0,264*10^{-3}*x+0,007$
- Για το 110% του φορτίου, $y= - 0,222*10^{-3}*x+0,0061$

Η κλίση των μεταβολών της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή, παρατηρείται ότι δεν είναι ίση για όλα τα φορτία. Όσο αυξάνεται το φορτίο μειώνεται η κλίση των μεταβολών, και στα υψηλά φορτία δεν γίνεται αισθητή η διαφορά της. Αυτό οφείλεται στο ότι για την διόρθωση της στην θερμοκρασία αναφοράς που έχει οριστεί, υπεισέρχεται και η πίεση σάρωσης, που και αυτή δεν έχει ίση κλίση για όλα τα φορτία, όπως σχολιάστηκε παραπάνω.

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή δίνεται από την εξίσωση: $y= - 0,942*10^{-3}*x+0,0239$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 42,1%. Επειδή η κλίση της ευθείας για το 25% του φορτίου είναι τουλάχιστον τριπλάσια από τις υπόλοιπες, η γραμμή τάσης για φορτία άνω του 50% διαμορφώνεται ως εξής: $y= -0,466*10^{-3}*x+0,0122$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 70%.



Διάγραμμα 6.24 Ποσοστιαία μεταβολή της Ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 6.18 έως 6.24, τα συμπεράσματα για την επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι τα ακόλουθα:

- Για τη πίεση καύσης βλέπουμε ότι η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών δεν μεταβάλλεται με το φορτίο. Έτσι για όλα τα φορτία η μείωση της πίεσης καύσης είναι περίπου 1,1%, για αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 5 ^{o}C
- Για την πίεση συμπίεσης, αντίστοιχα με την πίεση καύσης, οι καμπύλες των ποσοστιαίων μεταβολών έχουν την ίδια κλίση, σε όλο το εύρος του φορτίου. Άρα συμπεραίνεται ότι για αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 5°C, η πίεση καύσης μειώνεται κατά 1,47%
- Στην πίεση σάρωσης παρατηρείται ότι για φορτία άνω του 75% οι καμπύλες των ποσοστιαίων μεταβολών έχουν περίπου την ίδια κλίση. Στο 50% διαφέρει ελάχιστα, ενώ στο 25% έχει σχεδόν τριπλάσια κλίση από τα υπόλοιπα και σχεδόν διπλάσια από το 50% του φορτίου. Έτσι για το 25% του φορτίου έχουμε μείωση της πίεσης σάρωσης κατά 4,61%. Στο 50% του φορτίου η αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας κατά 5 ^{o}C, επιφέρει μείωση στην πίεση σάρωσης κατά 2,61%. Στο 75% μειώνεται κατά 2,05%. Στο 90% του φορτίου η μείωση είναι 1,93%. Στο 100% μειώνεται κατά 1,87% και στο 110% του φορτίου καταλήγει η μείωση να είναι περίπου 1,84%
- Η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο από του κυλίνδρους μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας. Κατά συνέπεια, για το 25% του φορτίου αυξάνεται κατά 2,55%, για αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 5 ^{o}C. Στο 110% του φορτίου η αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 5 ^{o}C , επιφέρει αύξηση 2,19% στη θερμοκρασία στην έξοδο του κυλίνδρου. Τα υπόλοιπα φορτία κυμαίνονται ανάμεσα στο 2,55% και 2,19%
- Όμοια με την προηγούμενη κλίση της θερμοκρασίας καυσαερίων, έτσι και η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών της θερμοκρασίας στην είσοδο του στροβίλου μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο. Για το 25% του φορτίου αυξάνεται κατά 2,47%, ενώ στο 110% του φορτίου αυξάνεται κατά 2,07%. Τα υπόλοιπα φορτία κυμαίνονται μεταξύ του 2,47% και του 2,07%
- Στην έξοδο του στροβίλου η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας των καυσαερίων, αυξάνεται όταν ο κινητήρας μεταβαίνει από το 50% στο 90% του φορτίου. Από το 90% και έπειτα μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο. Άρα η ποσοστιαία αύξηση της θερμοκρασίας είναι 3,66% για το 50% του φορτίου. Στο 90% είναι 3,72% και καταλήγει στο 110% να αυξάνεται κατά 3,47% για αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 5 ^{o}C
- Η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο. Στο 25% του φορτίου μειώνεται κατά 1,62, για αύξηση της θερμοκρασίας ατμόσφαιρας κατά 5 ^{o}C. Στο 50% του φορτίου η μείωση της ταχύτητας περιστροφής είναι περίπου 0,52%. Στα υπόλοιπα φορτία η μείωση της ταχύτητας του στροβιλοπληρωτή είναι περίπου 0,16% για αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά 5 ^{o}C

Κεφάλαιο 7

Επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα

7.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα διερευνηθεί πώς επιδρά η πίεση περιβάλλοντος στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα, με χρήση προσομοίωσης και με τις σχέσεις διόρθωσης που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.

Η διερεύνηση θα γίνει για τιμές πίεσης από 940 mbar έως 1060 mbar ανά 20mbar, κρατώντας σταθερές τις τιμές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα.

Ως συνθήκες αναφοράς του περιβάλλοντος για τη μεταβολή των παραμέτρων επιλέχθηκαν οι συνθήκες που επικρατούσαν όταν διεξήχθησαν οι εργοστασιακές δοκιμές (πίνακας 7.1) που είναι:

Load (%)	Tambient (^oC)	Pambient (mbar)	Twater (^oC)
25	25	1021	18
50	25,8	1021	19
75	26,5	1021	23,5
90	27	1021	27
100	27	1021	30
110	28	1021	33,5

Πίνακας 7.1 Συνθήκες των shop tests

7.2 Διερεύνηση της επίδρασης της πίεσης περιβάλλοντος με χρήση του προσομοιωτή

Έχοντας επιλέξει από το κύριο παράθυρο εργασίας του λογισμικού την επιλογή «simulator» και στη συνέχεια την υποεπιλογή «engine simulation» καθορίζεται στο 100% η λειτουργία των υποσυστημάτων του κινητήρα, αφού θεωρείται πως δεν υπάρχει κάποια βλάβη.

Έπειτα εμφανίζεται το παράθυρο «engine operating conditions» “εικόνα 6.1” και επιλέγεται να γίνει προσομοίωση του υπερπληρωτή από το λογισμικό. Με αυτή την επιλογή το λογισμικό εκτιμάει τους βαθμούς απόδοσης του

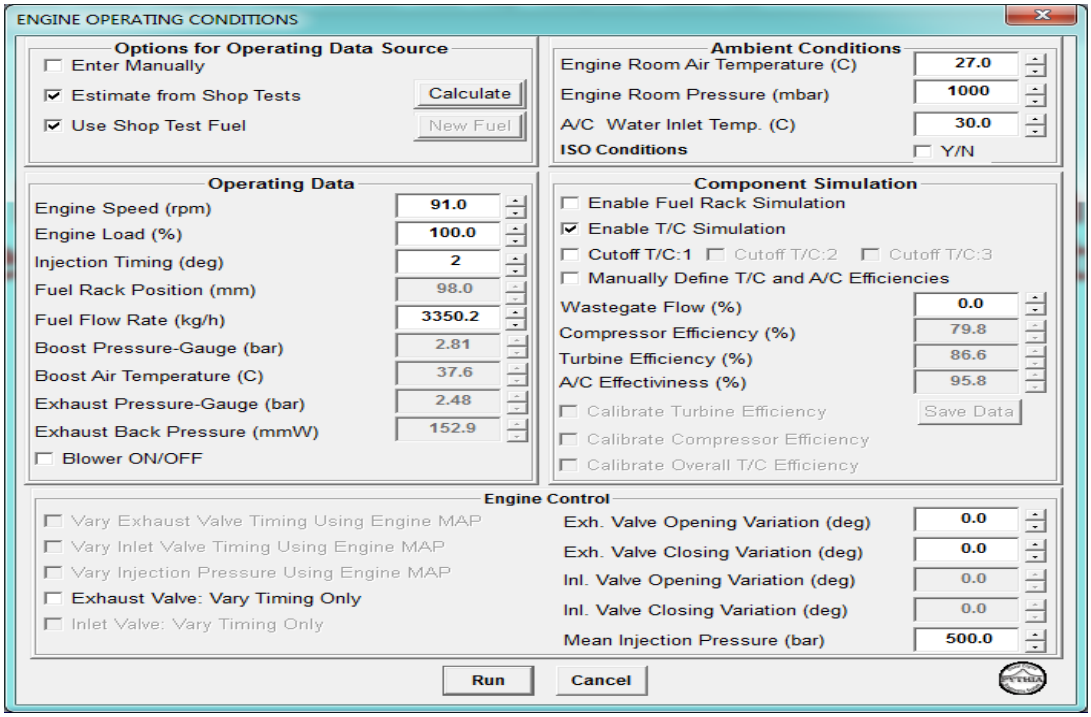
στροβίλου, του συμπιεστή και του ψυγείου αέρα. Επίσης υπολογίζονται από το λογισμικό οι τιμές της πίεσης σάρωσης, της θερμοκρασίας σάρωσης, της πίεσης στον οχετό εξαγωγής και της πίεσης μετά τον στρόβιλο.

Εν συνεχεία γίνεται η επιλογή να εκτιμήσει το λογισμικό τις παραμέτρους λειτουργίας, με βάση τις μετρήσεις των εργοστασιακών δοκιμών και να χρησιμοποιηθεί το ίδιο καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές.

Ακολούθως επιλέγεται το φορτίο ή οι στροφές που λειτουργεί ο κινητήρας. Επιλέχθηκε το φορτίο και για τα φορτία που υπάρχουν δεδομένα από τις εργοστασιακές δοκιμές είναι το 25%,50%,75%, 90%,100% και 110%. Στο κάθε φορτίο που εισήχθηκε επιλέχτηκε η επιλογή «calculate» και εκτιμήθηκαν από το λογισμικό η προπορεία έγχυσης καυσίμου, η συνολική κατανάλωση καυσίμου, καθώς και η θέση του κανόνα. Επίσης υπολογίσθηκαν οι παράμετροι που αναφέρθηκαν στη προσομοίωση του υπερπληρωτή.

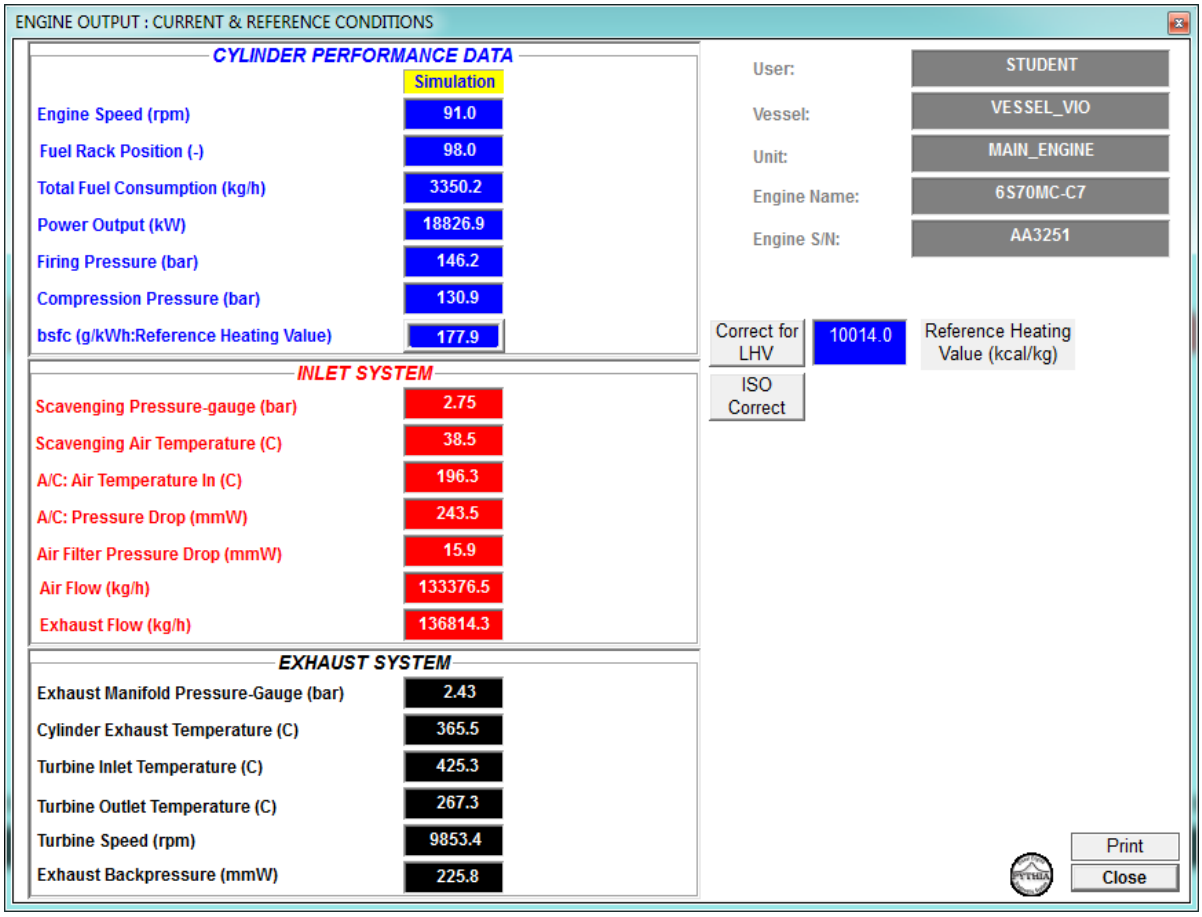
Με την επιλογή «calculate» καθορίζονται από το λογισμικό οι περιβαλλοντικές συνθήκες οι οποίες είναι ίδιες με αυτές που υπήρχαν όταν πραγματοποιήθηκαν οι εργοστασιακές δοκιμές. Για το κάθε φορτίο διεξήχθη προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα για πίεση περιβάλλοντος από 940mbar έως 1060mbar ανά 20mbar, κρατώντας σταθερές τις τιμές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου στο εκάστοτε φορτίο.

Ακολουθεί ενδεικτικό παράδειγμα της προσομοίωσης για το 100% του φορτίου και πίεση περιβάλλοντος 1000 mbar (εικόνα 7.1).



Εικόνα 7.1 Καθορισμός των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα για το 100% του φορτίου και πίεση περιβάλλοντος 1000 mbar

Επιλέγοντας την επιλογή «Run» ξεκινά η διαδικασία της προσομοίωσης και μετά το πέρας αυτής εμφανίζονται τα παρακάτω αποτελέσματα (εικόνα 7.2)



Εικόνα 7.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας του κινητήρα για το 100% του φορτίου και πίεση περιβάλλοντος 1000 mbar

Ακολουθούν πίνακες των αποτελεσμάτων προσομοίωσης για όλα τα φορτία στις πιέσεις περιβάλλοντος που προαναφέραμε.

Για το 25% του φορτίου με $T_{ambient}$=25 ^oC και T_{water}=18 ^oC

$P_{ambient}$ (mbar)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
940	4742,2	77,5	48,9	184,8		9,55
960	4743,5	77,8	49,7	184,8		9,58
980	4759,1	78,5	50,2	184,2		9,65
1000	4773	79,1	50,8	183,6		9,66
1020	4779,2	79,7	51,5	183,4		9,74
1040	4790,6	80,3	52,1	183		9,76
1060	4804,5	80,9	52,8	182,4		9,91
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
940	0,41	18,7	65,8	81,8	2,2	9,74
960	0,43	18,7	64,7	82,2	2,2	9,77
980	0,45	18,7	63,9	83,4	2,2	9,83
1000	0,47	18,7	62,9	83,8	2,2	9,84
1020	0,49	18,8	62,1	85,1	2,2	9,93
1040	0,5	18,8	61,3	85,6	2,2	9,94
1060	0,52	18,8	60,4	86,2	2,2	9,96
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
940	0,32	238	275,8	241,6	4703,4	30,4
960	0,33	238,1	276,5	242,2	4655	30,7
980	0,35	237	273,9	241,2	4621,8	31,3
1000	0,37	236,6	273,3	241,5	4575,2	31,5
1020	0,39	235,5	271,5	240,3	4541,9	32,2
1040	0,4	235,4	271,1	240,5	4502,1	32,5
1060	0,42	234,8	270,4	240,6	4459,3	32,8

Πίνακας 7.2 Για το 25% του φορτίου

Για το 50% του φορτίου με $T_{ambient}$=25,8 ^oC και T_{water}=19 ^oC

$P_{ambient}$ (mbar)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
940	9026,1	102,9	72	179,4		8,16
960	9036,7	103,4	72,6	179,2		8,22
980	9050,2	104	73,4	179		8,30
1000	9061,6	104,6	74,1	178,7		8,36
1020	9082,5	105,2	74,8	178,3		8,40
1040	9089	105,5	75,2	178,2		8,43
1060	9098,2	106	75,9	178		8,60
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
940	1,08	25,2	114,4	150	3,7	8,34
960	1,1	25,1	112,7	151,4	3,8	8,40
980	1,11	25,1	111,1	153	3,9	8,48
1000	1,14	25	109,5	154,5	3,9	8,54
1020	1,16	25	107,8	155,5	4	8,57
1040	1,18	24,9	106,2	156,2	4	8,61
1060	1,2	24,8	104,7	157,4	4,1	8,66
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
940	0,91	289,9	337,9	255,8	6923,6	78,3
960	0,93	288,1	335,6	255,1	6887,5	79,4
980	0,95	286	332,8	253,7	6856,1	80,9
1000	0,97	284	330,4	252,6	6824,8	82,3
1020	0,98	282,8	328,9	252,6	6784,9	83,2
1040	1	282	327,6	252,8	6746,9	83,9
1060	1,01	280,3	325,6	252,2	6712,7	85

Πίνακας 7.3 Για το 50% του φορτίου

Για το 75% του φορτίου με $T_{ambient}$=26,5 ^oC και T_{water}=23,5 ^oC

$P_{ambient}$ (mbar)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
940	13859	130,7	97,7	176,4		7,28
960	13875,1	131,3	98,6	176,2		7,33
980	13890,8	132	99,5	176		7,39
1000	13938	133	100,6	175,4		7,43
1020	13954,4	133,7	101,5	175,2		7,50
1040	13957	134	102,2	175,1		7,55
1060	13970,1	134,7	103	175		7,61
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
940	1,82	34,2	160,4	201	7,8	7,46
960	1,85	34	158,3	202,4	7,9	7,51
980	1,87	33,9	156,3	204	8,1	7,57
1000	1,9	33,7	154,3	205,4	8,3	7,61
1020	1,92	33,5	152,3	207	8,5	7,67
1040	1,94	33,3	150,5	208,3	8,7	7,73
1060	1,97	33,2	148,7	209,5	8,9	7,78
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
940	1,58	333,8	388,2	263,6	8517,7	137,6
960	1,6	331,4	385,4	262,6	8483,5	139,7
980	1,62	329,2	382,5	261,6	8455	142
1000	1,65	326	379,5	260,2	8421,8	144,2
1020	1,67	323,7	376,6	259,1	8391,4	146,6
1040	1,69	322	374	258	8361	148,6
1060	1,71	320,3	371,7	257,4	8331,5	150,6

Πίνακας 7.4 Για το 75% του φορτίου

Για το 90% του φορτίου με $T_{ambient}$=27 ^oC και T_{water}=27 ^oC

$P_{ambient}$ (mbar)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
940	16831,3	139,6	115,4	176,9		7,02
960	16848,4	140,2	116,2	176,8		7,06
980	16867	140,8	117,1	176,6		7,11
1000	16870,4	141,2	117,8	176,5		7,17
1020	16886,8	141,9	118,7	176,4		7,22
1040	16902,5	142,4	119,6	176,2		7,27
1060	16916,4	143	120,4	176		7,31
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
940	2,31	38,2	186,7	226,1	11,6	7,20
960	2,34	37,9	184,4	227,2	11,9	7,24
980	2,36	37,9	182	228,5	12,1	7,29
1000	2,39	37,3	179,8	229,7	12,4	7,35
1020	2,41	37	177,5	230,9	12,6	7,40
1040	2,43	36,7	175,5	232	12,9	7,44
1060	2,46	36,4	173,4	233	13,1	7,50
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
940	2,03	358	416,8	268,1	9391,7	182,1
960	2,05	355,4	413,9	267,3	9356,5	184,5
980	2,07	353	411	266,3	9326,1	187,3
1000	2,09	351	408	265,5	9258,8	189,9
1020	2,12	348,6	405	264,4	9258,7	192,5
1040	2,14	346,4	402,3	263,6	9228,3	194,9
1060	2,16	344,4	399,9	262,9	9197,9	197,3

Πίνακας 7.5 Για το 90% του φορτίου

Για το 100% του φορτίου με $T_{ambient}$=27 ^oC και T_{water}=30 ^oC

$P_{ambient}$ (mbar)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
940	18779,6	144,7	128,7	178,4		6,96
960	18794,8	145,2	129,4	178,3		7,00
980	18810,6	145,7	130,1	178,1		7,04
1000	18826,9	146,2	130,9	177,9		7,08
1020	18844	146,7	131,8	177,8		7,13
1040	18857,9	147,3	132,5	177,7		7,17
1060	18863,9	147,8	133,4	177,6		7,23
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
940	2,68	39,6	203,7	240,9	15,1	7,15
960	2,7	39,2	201,2	241,7	15,4	7,19
980	2,73	38,9	198,7	242,6	15,7	7,23
1000	2,75	38,5	196,3	243,5	15,9	7,27
1020	2,77	38,1	193,8	244,5	16,2	7,31
1040	2,79	37,8	191,6	245,3	16,5	7,35
1060	2,82	37,4	189,4	246,5	16,9	7,40
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
940	2,37	372,1	433,1	268,5	9951,2	218,2
960	2,39	369,9	430,5	268,2	9918	220,6
980	2,41	367,7	428	267,8	9885,7	223,1
1000	2,43	365,5	425,3	267,3	9853,4	225,8
1020	2,45	363,2	422,5	266,7	9819,2	228,5
1040	2,46	361	420	266	9788,8	231,1
1060	2,49	359	417	265	9765	234,6

Πίνακας 7.6 Για το 100% του φορτίου

Για το 110% του φορτίου με $T_{ambient}$=28 ^oC και T_{water}=33,5 ^oC

$P_{ambient}$ (mbar)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
940	20997,5	152,1	140,7	177,9		6,77
960	21007,6	152,3	141,1	177,8		6,79
980	21031,9	152,8	141,7	177,6		6,81
1000	21035,6	153,1	142,3	177,6		6,85
1020	21050,3	153,5	142,9	177,4		6,88
1040	21065,4	154	143,6	177,3		6,92
1060	21085,4	154,6	144,6	177,2		6,97
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
940	3,03	40,2	219,3	251,5	18,7	6,94
960	3,05	39,9	216,6	252	18,9	6,96
980	3,06	39,6	213,9	252,4	19,1	6,99
1000	3,08	39,2	211,4	253,2	19,5	7,03
1020	3,1	38,8	208,8	253,8	19,7	7,06
1040	3,12	38,4	206,5	254,4	20	7,09
1060	3,14	37,9	204,1	255,3	20,4	7,14
$P_{ambient}$ (mbar)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
940	2,69	384,5	446,7	268,4	10412,9	252,9
960	2,7	383,1	445	269,2	10381,6	254,7
980	2,71	380,9	442,6	269,3	10339,8	256,4
1000	2,73	379,4	440,6	269,5	10317,9	259,3
1020	2,74	377,5	438,4	269,6	10282,8	261,6
1040	2,76	375,6	436	269,4	10254,3	264,2
1060	2,78	372,8	432,8	268,2	10224,9	268

Πίνακας 7.7 Για το 110% του φορτίου

Στο πίνακα 7.8 παρουσιάζεται η προσομοίωση των εργοστασιακών δοκιμών.

Load (%)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
25	4779,2	79,7	51,5	183,4		9,74
50	9082,5	105,2	74,8	178,3		8,40
75	13954,4	133,7	101,5	175,2		7,50
90	16886,8	141,9	118,7	176,4		7,22
100	18844	146,7	131,8	177,8		7,13
110	21050,3	153,5	142,9	177,4		6,88
Load (%)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
25	0,49	18,8	62,1	85,1	2,2	9,93
50	1,16	25	107,8	155,5	4	8,57
75	1,92	33,5	152,3	207	8,5	7,67
90	2,41	37	177,5	230,9	12,6	7,40
100	2,77	38,1	193,8	244,5	16,2	7,31
110	3,1	38,8	208,8	253,8	19,7	7,06
Load (%)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
25	0,39	235,5	271,5	240,3	4541,9	32,2
50	0,98	282,8	328,9	252,6	6784,9	83,2
75	1,67	323,7	376,6	259,1	8391,4	146,6
90	2,12	348,6	405	264,4	9258,7	192,5
100	2,45	363,2	422,5	266,7	9819,2	228,5
110	2,74	377,5	438,4	269,6	10282,8	261,6

Πίνακας 7.8 Προσομοίωση των shop tests

Ακολουθούν διαγράμματα που δείχνουν την επί τοις εκατό μεταβολή των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος από τη διερεύνηση που προηγήθηκε, με αναφορά την προσομοίωση των παραμέτρων από τις εργοστασιακές δοκιμές.

Επίσης βρέθηκε η συσχέτιση που εκφράζει τη μεταβολή των παραμέτρων, για όλα τα φορτία, με τη μορφή ευθείας "y= A*x+B" όπου ο συντελεστής «A» καθορίζει την κλίση της ευθείας και ο σταθερός όρος «B» προσδιορίζει το σημείο στο οποίο η ευθεία τέμνει τον άξονα των τεταγμένων. Ως «χ» ορίζεται η πίεση περιβάλλοντος (σε bar) για την οποία θα υπολογιστεί η μεταβολή. Ο αριθμός «y» που θα βρεθεί, πολλαπλασιάζεται με 100% και δίνει τη ποσοστιαία μεταβολή της παραμέτρου από το σημείο αναφοράς.

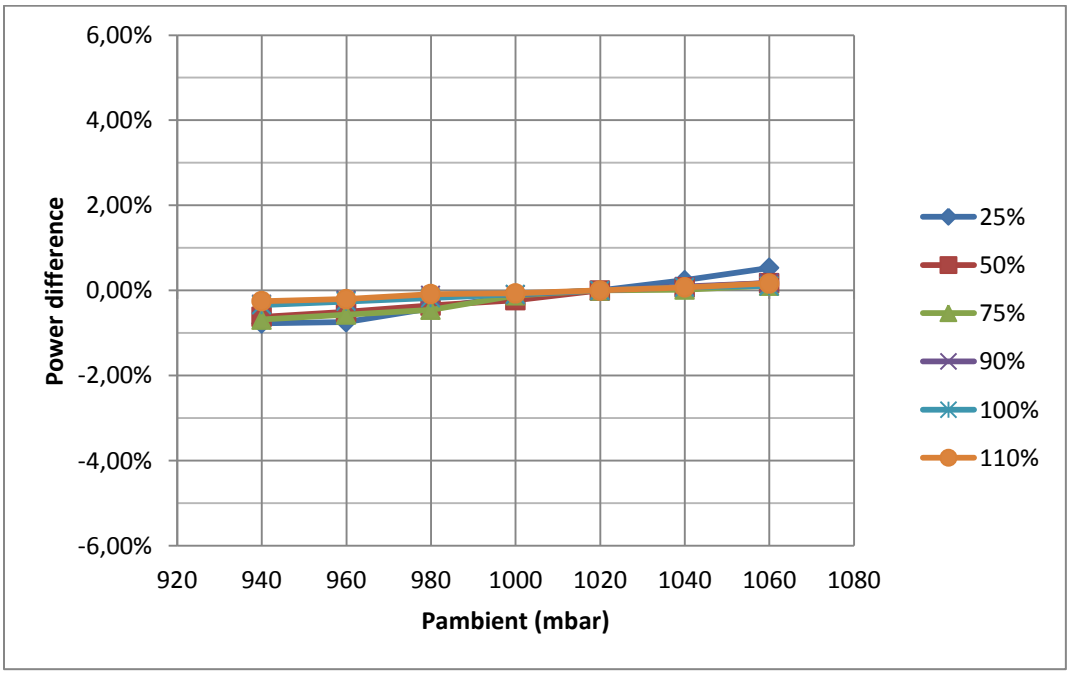
Επομένως για να βρεθεί η τιμή της παραμέτρου στην πίεση περιβάλλοντος που έχει ορισθεί ως πίεση αναφοράς, χρησιμοποιείται η σχέση: $A_{corrector}=A_{measurement} / (1+y)$, όπου $A_{corrector}$ είναι η τιμή της παραμέτρου στην πίεση αναφοράς και $A_{measurement}$ η τιμή της παραμέτρου στις διάφορες πιέσεις περιβάλλοντος. Ο συντελεστής "y" όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι η μεταβολή της παραμέτρου στις αντίστοιχες πιέσεις περιβάλλοντος.

Επίσης βρέθηκε και η μέση συσχέτιση για την μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα, η οποία όμως έχει μικρότερο ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές, σε σχέση με τις συσχετίσεις που βρέθηκαν για το κάθε φορτίο ξεχωριστά. Αυτό οφείλεται στο ότι όσο απομακρυνόμαστε από τη πίεση αναφοράς τόσο αυξάνεται το εύρος των μεταβολών.

Στο διάγραμμα 7.1 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της ισχύς για κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 94%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσης για κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0,1125*x-0,1144
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,0694*x-0,0715
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,0718*x-0,0742
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,0405*x-0,0412
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,0391*x-0,0401
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,0337*x-0,0343

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ισχύος δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 0,0612*x-0,0626 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 76%.

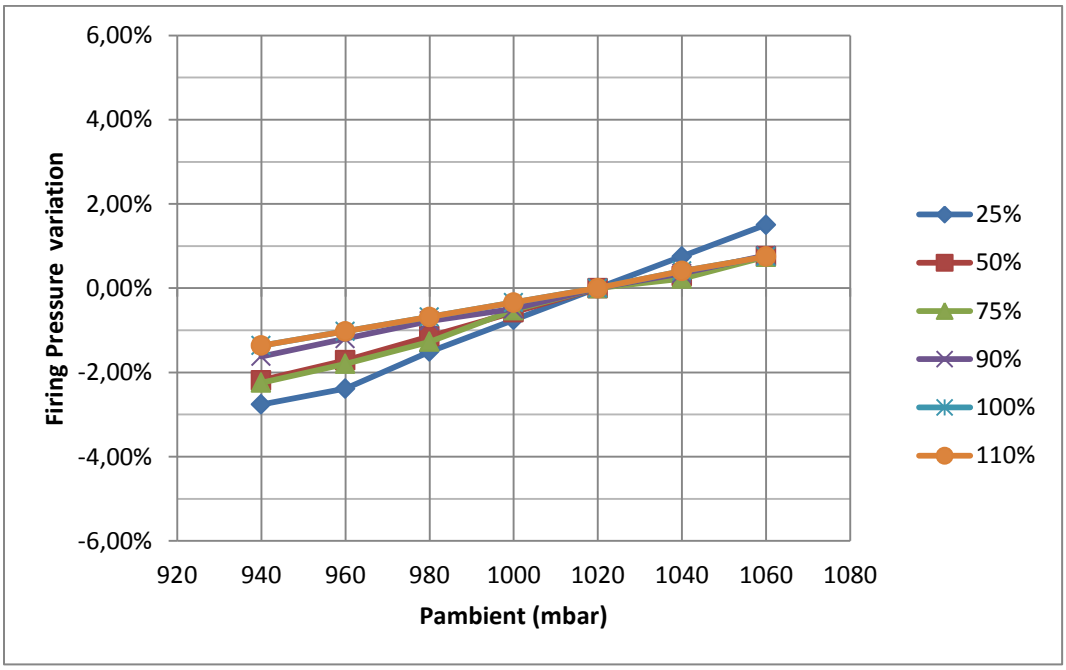


Διάγραμμα 7.1 Ποσοστιαία μεταβολή της Ισχύς συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσης για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές που υπερβαίνει το 98%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0,3674*x-0,3748
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,2495*x-0,256
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,2551*x-0,262
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,1976*x-0,2018
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,1765*x-0,1797
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,1349*x-0,1369

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσεως δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 0,2302*x-0,2352 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 86,3%.

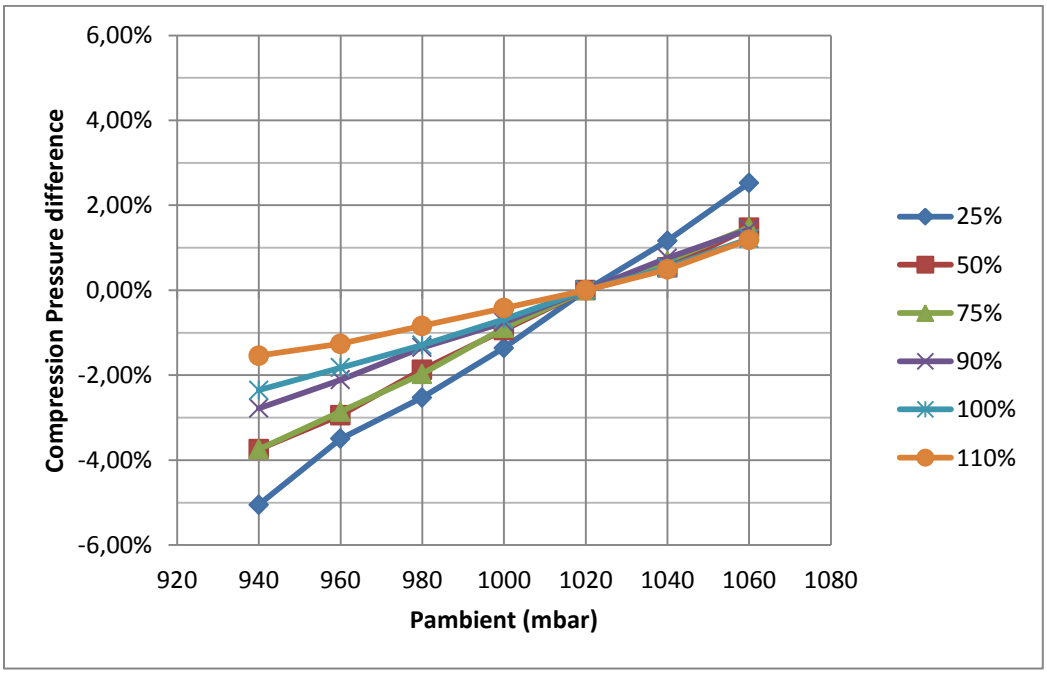


Διάγραμμα 7.2 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης Καύσεως συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.3 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως για όλα τα φορτία. Η μεταβολή μπορεί να θεωρηθεί γραμμική με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 98%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για το κάθε φορτίο είναι:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0,6172*x-0,6297
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,4369*x-0,4476
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,4416*x-0,452
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,352*x-0,3589
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,2981*x-0,3044
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,2237*x-0,2271

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 03949*x-0,4033 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 87,5%.

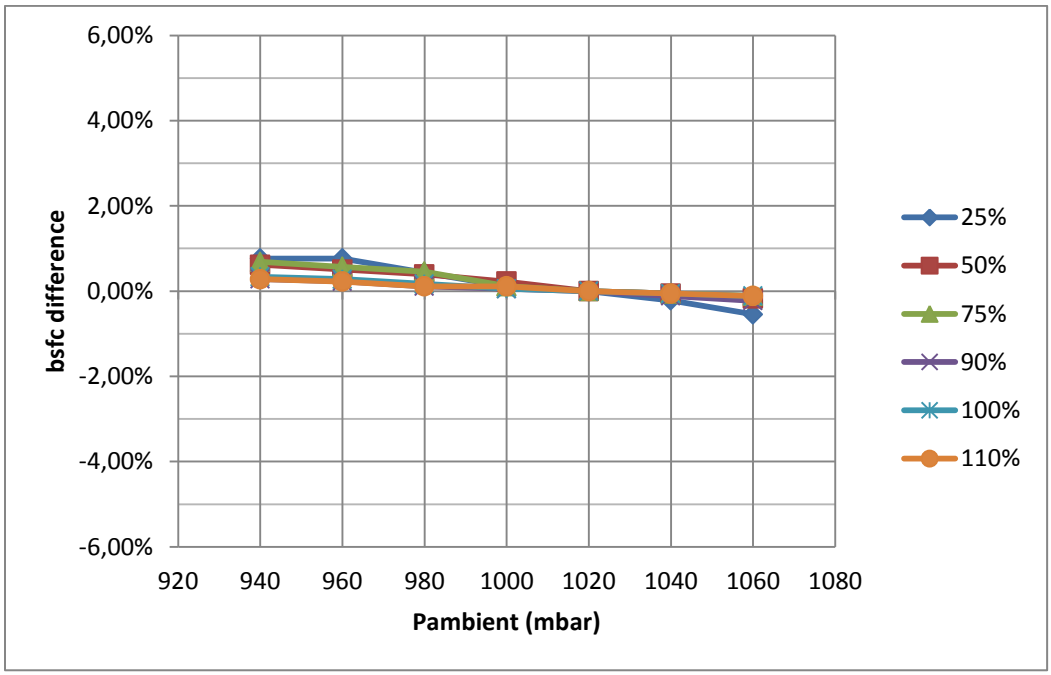


Διάγραμμα 7.3 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης συμπιέσεως συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο επόμενο διάγραμμα 7.4 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 94%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων των φορτίων:

- Για το 25% του φορτίου, y= -0,1129*x+0,1148
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,0691*x+0,0713
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,0734*x+0,0758
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,0415*x+0,0402
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,0392*x+0,0401
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,0332*x+0,034

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου δίνεται από την γραμμή τάσης: y= -0,0616*x-+-0,063 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 75,6%.



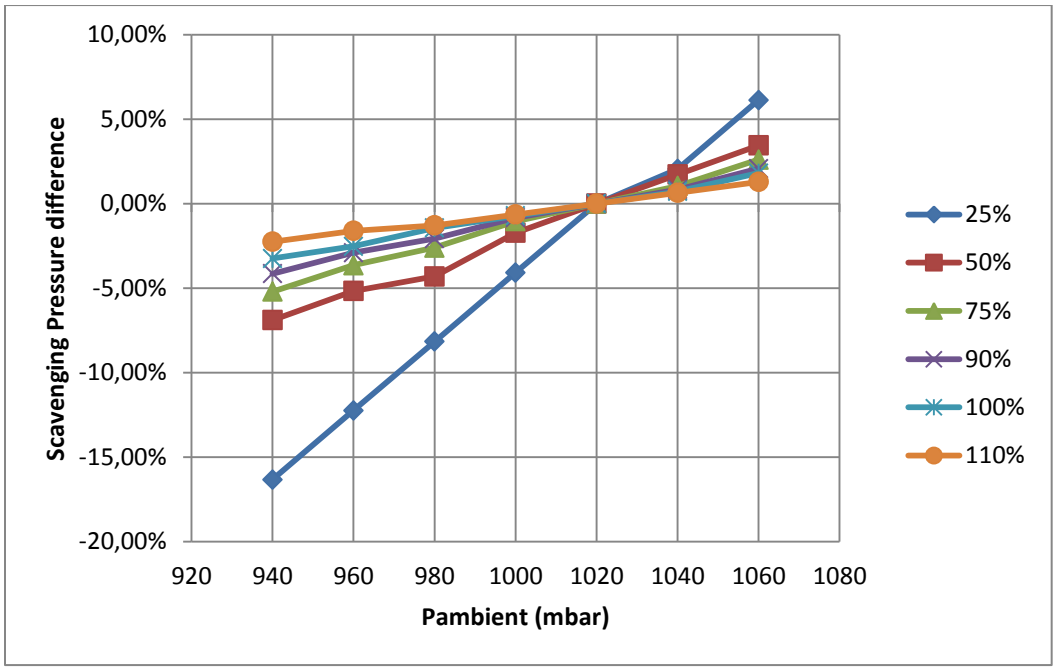
Διάγραμμα 7.4 Ποσοστιαία μεταβολή της Ειδικής Κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

` Στο διάγραμμα 7.5 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Οι γραμμές τάσεων για τα φορτία έχουν ως εξής:

- Για το 25% του φορτίου, y= 1,856*x-1,9052
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,8775*x-0,8959
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,6324*x-0,6451
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,5039*x-0,5139
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,4126*x-0,4203
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,2938*x-0,2993

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 0,7631*x-0,78 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 59,3%.

Επειδή η κλίση της ευθείας στο 25% του φορτίου είναι τουλάχιστον διπλάσια από την κλίση των υπόλοιπων φορτίων, για φορτία άνω του 50% η μέση γραμμή τάσης διαμορφώνεται ως εξής: y= 0,544*x-0,5549 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 84,5%.

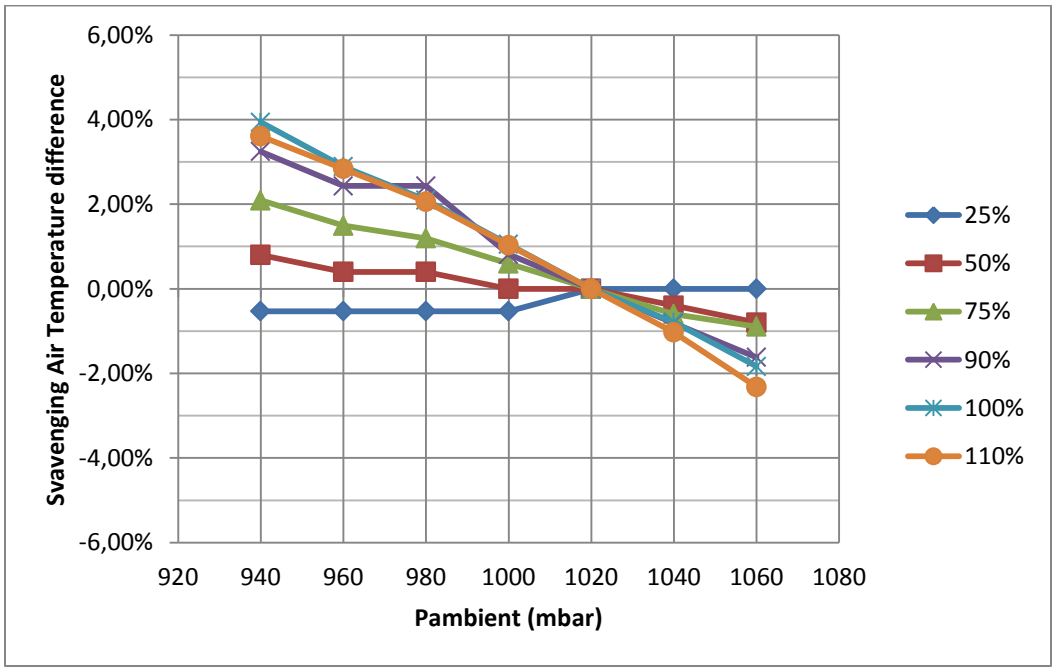


Διάγραμμα 7.5 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης σάρωσης συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.6 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης. Η καμπύλη των μεταβολών για το 25% του φορτίου μπορεί να θεωρηθεί γραμμική με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 75% και τα υπόλοιπα φορτία με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 95%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για το κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0,057*x-0,06
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,1214*x+0,122
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,2559*x+0,2614
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,4199*x+0,4292
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,4781*x+0,4886
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,4925*x+0,5013

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης δίνεται από την γραμμή τάσης: y= -0,2851*x+0,2904 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 58,6%.

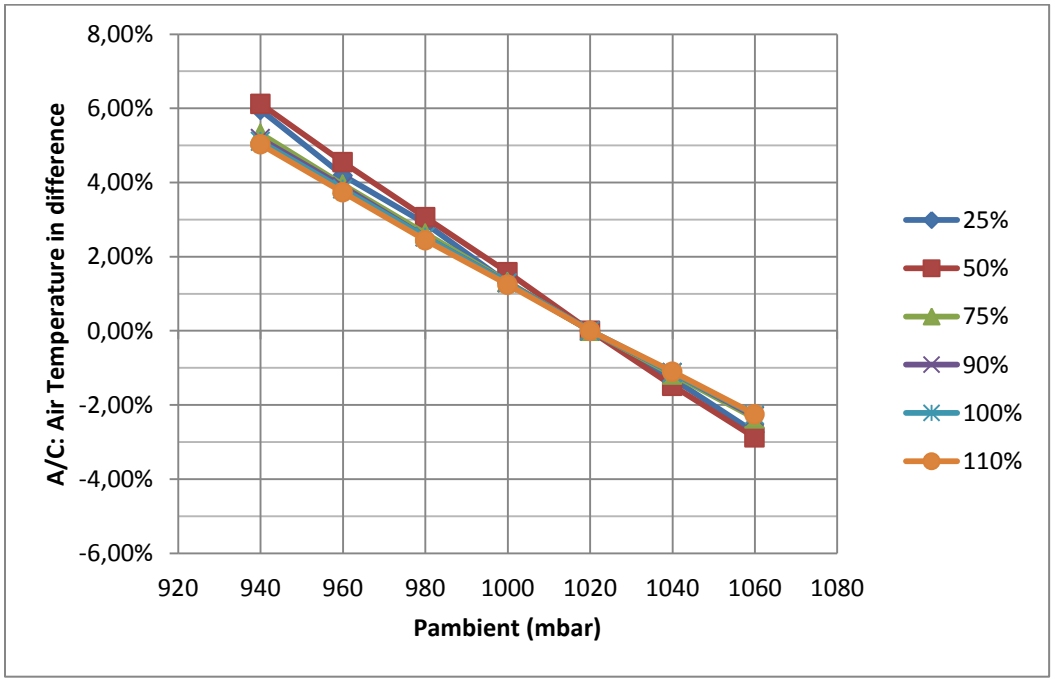


Διάγραμμα 7.6 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας σάρωσης συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εισαγωγής του αέρα στο ψυγείο αέρα για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με σχεδόν απόλυτη ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές που ξεπερνάει το 99,9%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσης για το κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, y= -0,7131*x+0,7279
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,7521*x+0,7677
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,6414*x+0,6551
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,6258*x+0,6393
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,6174*x+0,6307
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,6064*x+0,6194

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εισαγωγής του αέρα στο ψυγείο του αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: y= -0,6593*x+0,6733 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99,1%.

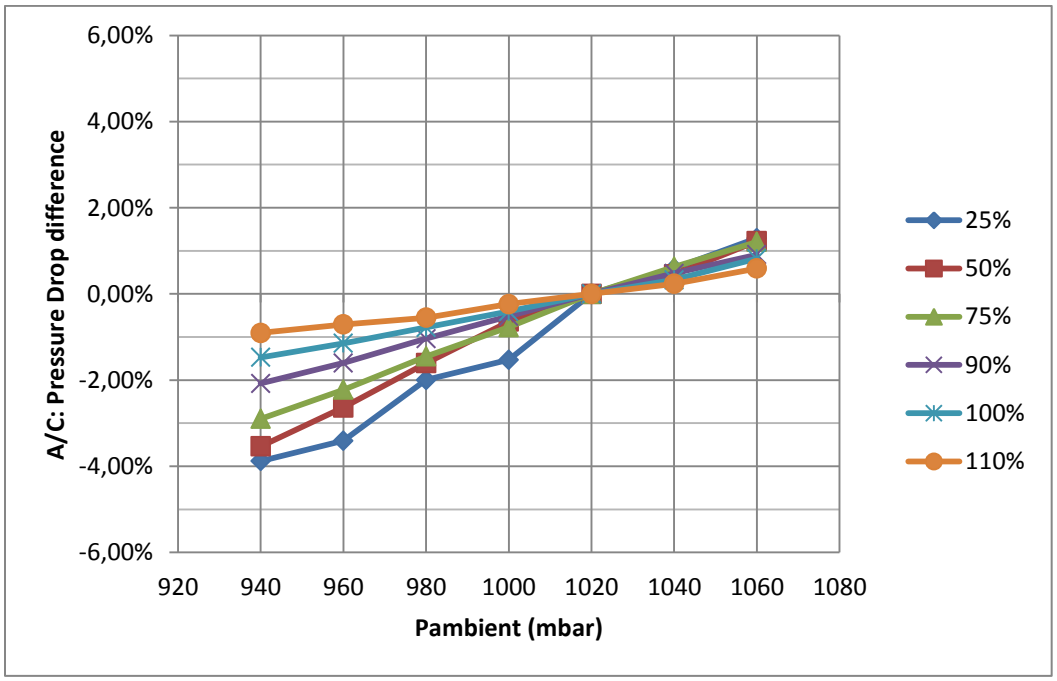


Διάγραμμα 7.7 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας του αέρα στην είσοδο του ψυγείου του αέρα συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.8 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο ψυγείο του αέρα για το κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 98,5% και οι γραμμές τάσεων για το κάθε φορτίο είναι:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0,4553*x-0,4681
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,3939*x-0,4035
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,3477*x-0,3555
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,2529*x-0,2584
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,1892*x-0,193
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,1238*x-0,1261

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο ψυγείο του αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 0,2938*x-0,3008 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 80%.

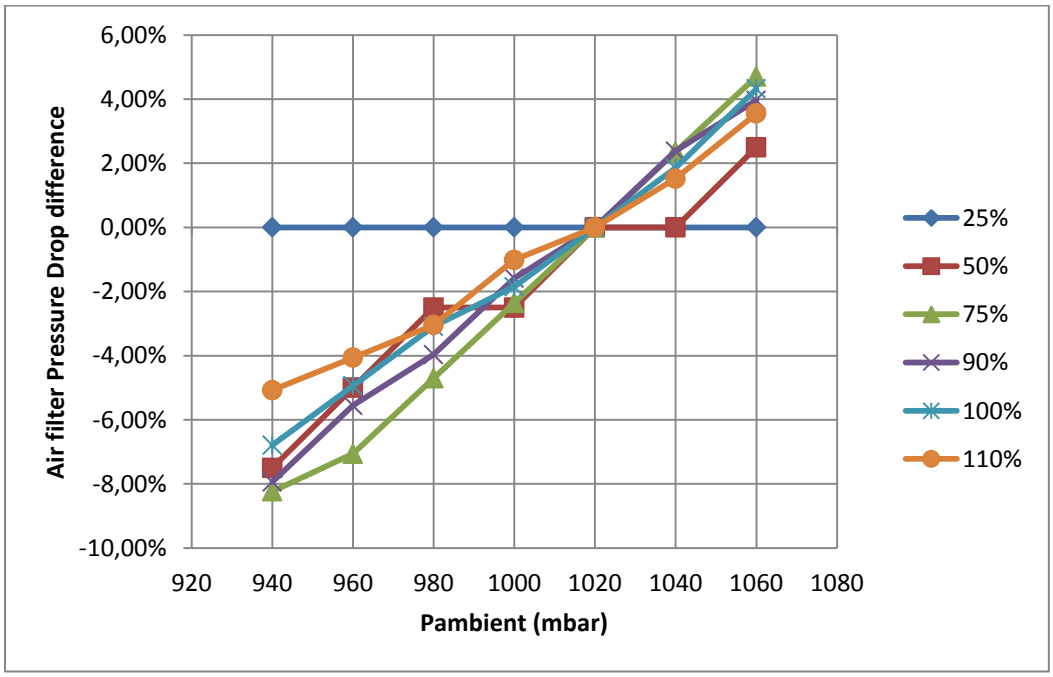


Διάγραμμα 7.8 Ποσοστιαία μεταβολή της Πτώσης της Πίεσης στο ψυγείο του αέρα συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.9 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή για την πτώση της πίεσης στο φίλτρο του αέρα. Όλες οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 95%. Στο 25% παρατηρείται ότι δεν μεταβάλλεται καθόλου η πτώση της πίεσης στο φίλτρο του αέρα για τις πιέσεις περιβάλλοντος που επιλέχθηκαν. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,7589*x-0,7804
- Για το 75% του φορτίου, y= 1,1134*x-1,1353
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,9921*x-1,0102
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,8929*x-0,9078
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,7161*x-0,7277

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο φίλτρο του αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 0,7456*x-0,7602 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 76,4%.

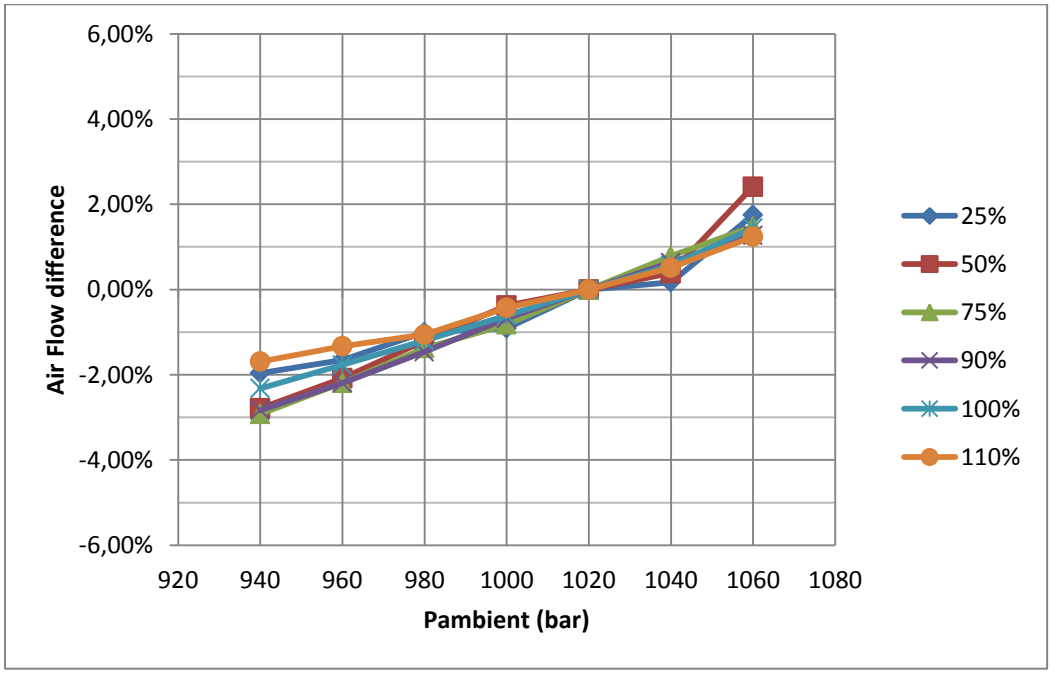


Διάγραμμα 7.9 Ποσοστιαία μεταβολή της Πτώσης της Πίεσης στο φίλτρο του αέρα συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.10 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αέρα για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές, για φορτία άνω του 75%, μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%, ενώ για το 25% του φορτίου με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 92% και το 50% του φορτίου με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 95%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για το κάθε φορτίο είναι:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0,2819*x-0,2871
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,3883*x-0,3935
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,3666*x-0,3738
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,3468*x-0,3543
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,3064*x-0,3119
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,2416*x-0,2456

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 0,3219*x-0,3277 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 94,3%.

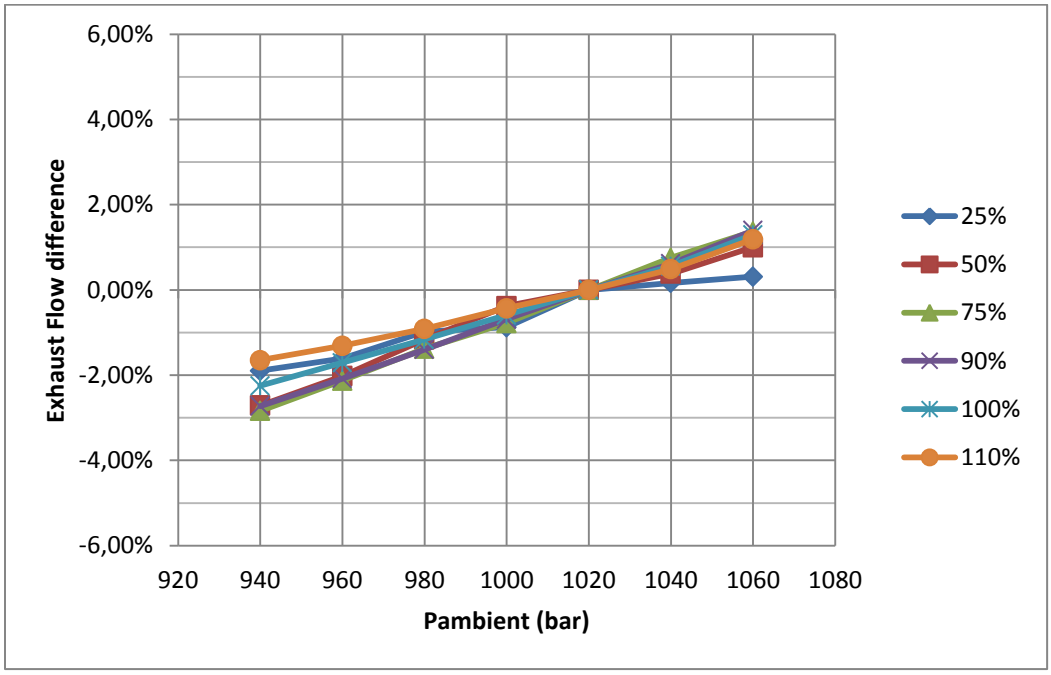


Διάγραμμα 7.10 Ποσοστιαία μεταβολή της Ποσότητας του αέρα συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας των καυσαερίων για όλα τα φορτία του κινητήρα. Οι μεταβολές, για φορτία άνω του 50% μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 96%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για το κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0,199*x-0,206
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,3054*x-0,3123
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,353*x-0,3602
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,3421*x-0,3491
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,2915*x-0,297
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,2325*x-2363

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας καυσαερίων δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 0,2873*x-0,2935 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 94,5%.



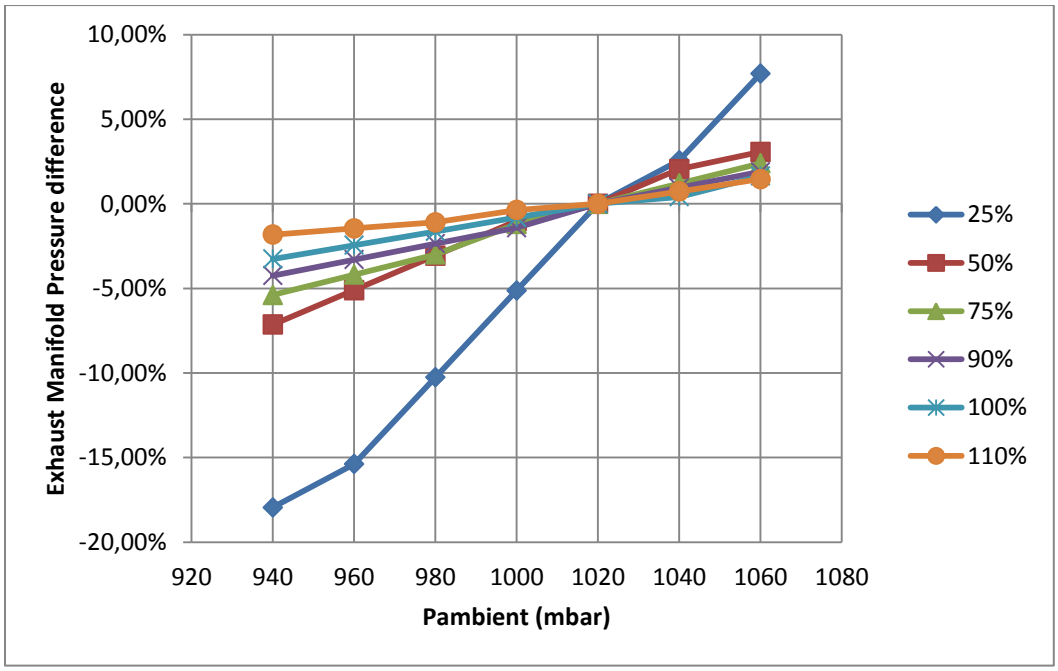
Διάγραμμα 7.11 Ποσοστιαία μεταβολή της Ποσότητας των καυσαερίων συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.12 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης στον οχετό εξαγωγής γα κάθε φορτίο. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 98%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για το κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, y= 2,1978*x-2,2527
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,8564*x-0,8724
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,663*x-0,6775
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,5222*x-0,5344
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,3936*x-0,4023
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,2737*x-0,2774

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης στον οχετό εξαγωγής δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 0,8178*x-0,8361 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 52,6%.

Επειδή η κλίση της ευθείας για το 25% του φορτίου είναι τουλάχιστον διπλάσια από την κλίση των υπολοίπων φορτίων, η γραμμή τάσης για φορτία άνω του 50% διαμορφώνεται ως εξής: y= 0,5418*x-0,5528 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 83,9%.

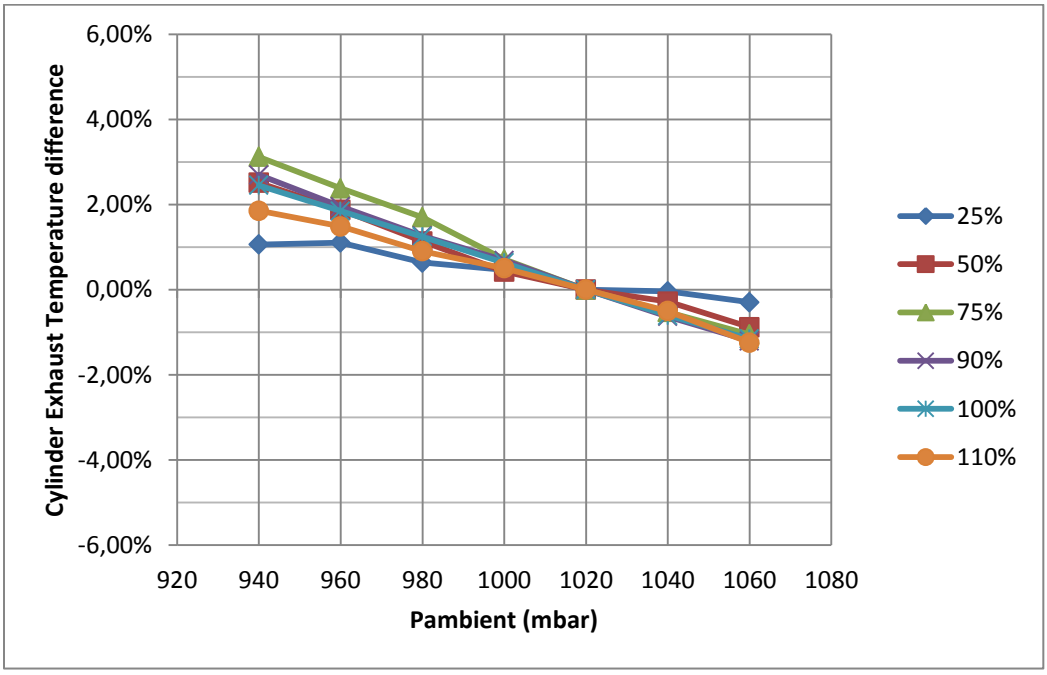


Διάγραμμα 7.12 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης στον οχετό εξαγωγής συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο επόμενο διάγραμμα 7.13 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου. Οι μεταβολές, για όλα τα φορτία, μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 96%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για τα φορτία:

- Για το 25% του φορτίου, y= -0,1251*x+0,1293
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,2791*x+0,2859
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,3575*x+0,3665
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,3237*x+0,3305
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,3029*x+0,3092
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,2531*x+0,2574

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου από τον κύλινδρο δίνεται από την γραμμή τάσης: y= -0,2736*x+0,2798 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 90,5%.

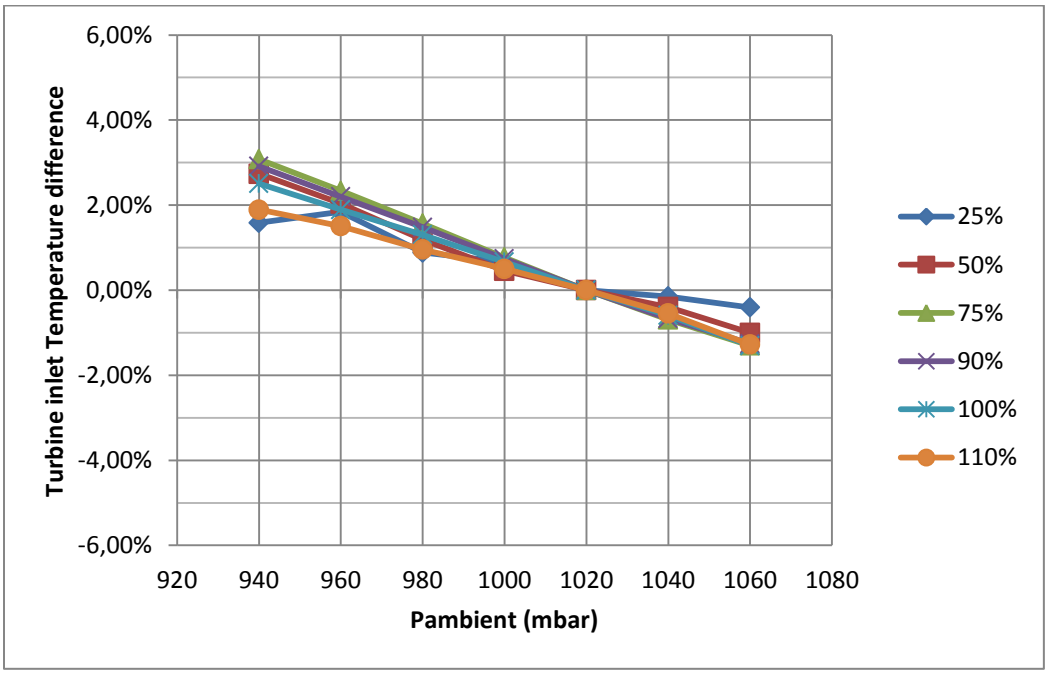


Διάγραμμα 7.13 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο παρακάτω διάγραμμα 7.14 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου. Οι μεταβολές, για φορτία άνω του 50%, μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%, και για το 25% του φορτίου θεωρούνται γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 93%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για τα φορτία:

- Για το 25% του φορτίου, y= -0,1934*x+0,1997
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,3084*x+0,3156
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,3708*x+0,379
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,3523*x+0,36
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,3161*x+0,3225
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,2603*x+0,2646

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου στον στρόβιλο δίνεται από την γραμμή τάσης: y= -0,3002*x+0,3069 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 94,4%.

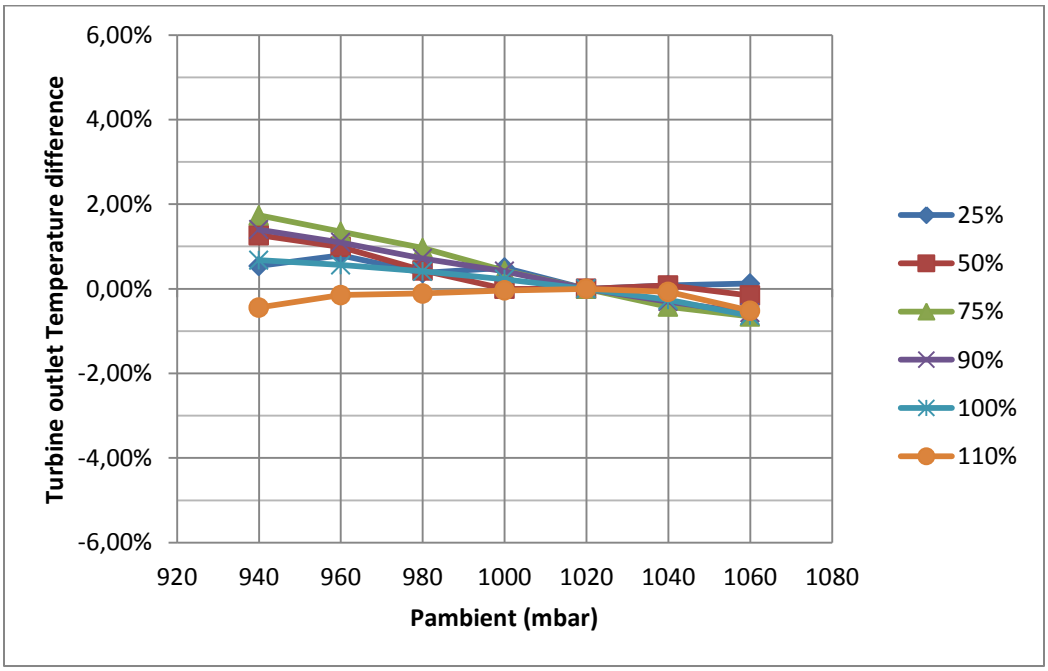


Διάγραμμα 7.14 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας στην είσοδο του στροβίλου συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.15 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου. Οι γραμμές τάσεων για τα φορτία έχουν ως εξής:

- Για το 25% του φορτίου, y= -0,0542*x+0,1293 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 67%
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,1166*x+0,2859 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 83%
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,2088*x+0,3665 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99%
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,1682*x+0,3305 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99%
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,1071*x+0,3092 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 96%
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,0007*x+0,2574 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μικρότερο του 1%. Αυτό οφείλεται σε μικρές υπερεκτιμήσεις ή υποεκτιμήσεις από το λογισμικό που φτάνουν περίπου μέχρι 2°C, οι οποίες και είναι αμελητέες.

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από τον στρόβιλο δίνεται από την γραμμή τάσης:
y= -0,1091*x+0,1116 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 57%.

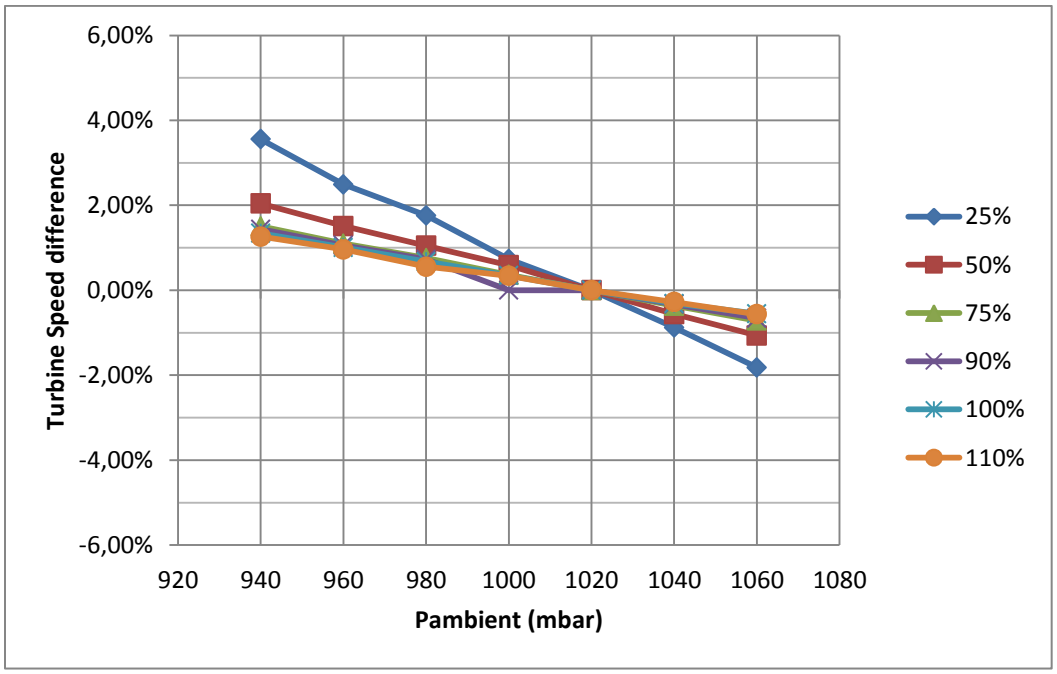


Διάγραμμα 7.15 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας στην έξοδο του στροβίλου συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο επόμενο διάγραμμα 7.16 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή. Οι μεταβολές, για όλα τα φορτία, μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 97%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για τα φορτία:

- Για το 25% του φορτίου, y= -0,4396*x+0,4479
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,2593*x+0,2644
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,1845*x+0,1883
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,1746*x+0,1778
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,1607*x+0,1643
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,1521*x+0,1553

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή δίνεται από την γραμμή τάσης: y= -0,2284*x+0,233 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 80,7%.

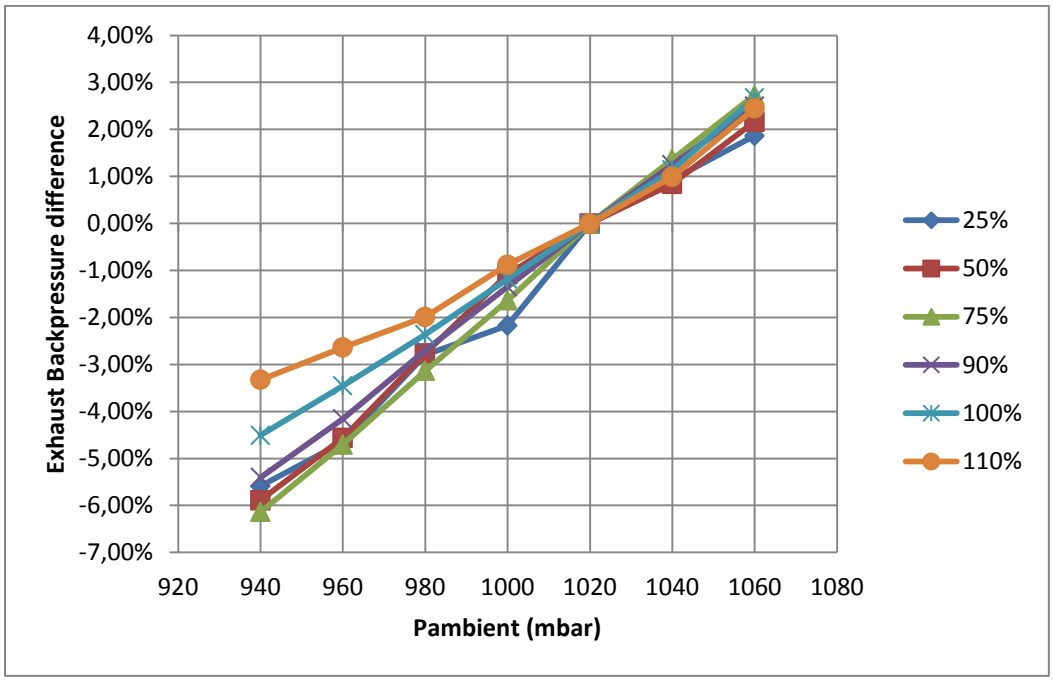


Διάγραμμα 7.16 Ποσοστιαία μεταβολή της Ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.17 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης μετά τον στρόβιλο για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 98%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για τα φορτία:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0,6488x-0,6666
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,6739*x-0,6901
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,7479*x-0,7644
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,6642*x-0,6783
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,5908*x-0,6018
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,4744*x-0,4821

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης μετά τον στρόβιλο δίνεται από την γραμμή τάσης: y= 0,6334*x-0,6472 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 95,8%.



Διάγραμμα 7.17 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης μετά τον στρόβιλο συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 7.1 έως 7.17 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα για την επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας το λογισμικό προσομοίωσης:

Οι ποσοστιαίες μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές, με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 90%, με εξαίρεση κάποια φορτία ορισμένων παραμέτρων. Η κλίση των μεταβολών εξαρτάται από το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα.

Η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής της πίεσης σάρωσης και της πίεσης στον οχετό εξαγωγής μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα. Αντίστοιχα και η κλίση των μεταβολών της ταχύτητας περιστροφής του υπερπληρωτή και της πτώσης της πίεσης στο ψυγείο του αέρα μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο.

Η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας σάρωσης αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο.

Η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής της ισχύος και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου για φορτία άνω του 75% μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο. Από το 50% στο 75% του φορτίου η κλίση αυξάνεται. Αντίστοιχες διακυμάνσεις έχει και η κλίση της πίεσης συμπιέσεως και της μεγίστης πίεσης καύσεως.

Στη θερμοκρασία μετά το κύλινδρο και πριν τον στρόβιλο, η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής έχει αυξητική τάση μέχρι το 75% του φορτίου. Μετά από αυτό το φορτίο η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής μειώνεται. Όμοιες μεταβολές της κλίσης παρατηρούνται στην πίεση μετά τον στρόβιλο, στη πτώση πίεσης στο φίλτρο του αέρα, στη θερμοκρασία εισαγωγής του αέρα στο ψυγείο του αέρα και στις παροχές αέρα και καυσαερίων.

Η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας των καυσαερίων έχει αυξητική τάση για φορτία μέχρι 75%. Μετά από το 75% του φορτίου η κλίση των μεταβολών μειώνεται.

Στο παρακάτω πίνακα δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα, για όλα τα φορτία, για αύξηση της πίεσης περιβάλλοντος κατά 20mbar.

Load (%)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
25	0,22%	0,72%	1,31%	-0,22%		0,63%
50	0,13%	0,50%	0,89%	-0,13%		0,88%
75	0,13%	0,51%	0,89%	-0,13%		0,75%
90	0,08%	0,40%	0,72%	-0,08%		0,70%
100	0,07%	0,36%	0,60%	-0,07%		0,64%
110	0,07%	0,27%	0,46%	-0,07%		0,49%

Load (%)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
25	4,26%	0,09%	-1,39%	0,89%	0,00%	0,37%
50	1,81%	-0,27%	-1,44%	0,81%	1,77%	0,63%
75	1,35%	-0,49%	-1,24%	0,70%	2,30%	0,72%
90	1,07%	-0,79%	-1,21%	0,51%	2,10%	0,70%
100	0,86%	-0,94%	-1,19%	0,39%	1,94%	0,60%
110	0,60%	-0,97%	-1,17%	0,25%	1,49%	0,48%
Load (%)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
25	4,93%	-0,22%	-0,33%	-0,07%	-0,87%	1,30%
50	1,79%	-0,56%	-0,61%	-0,24%	-0,51%	1,40%
75	1,35%	-0,68%	-0,71%	-0,39%	-0,37%	1,55%
90	1,05%	-0,64%	-0,68%	-0,32%	-0,35%	1,37%
100	0,84%	-0,59%	-0,62%	-0,22%	-0,31%	1,23%
110	0,55%	-0,51%	-0,52%	-0,01%	-0,30%	0,98%

Πίνακας 7.9 Ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα για αύξηση 20mbar της πίεσης περιβάλλοντος

7.3 Διερεύνηση της επίδρασης της πίεσης περιβάλλοντος με χρήση των συσχετίσεων

Στην παράγραφο αυτή θα διεξαχθεί διερεύνηση της επίδρασης της πίεσης περιβάλλοντος στις παραμέτρους του κινητήρα, με βάση τις συσχετίσεις που δόθηκαν από τον κατασκευαστικό οίκο, και αναλύθηκαν στο κεφαλαίο 3. Προς υπενθύμιση οι σχέσεις αυτές είναι:

Για τις πιέσεις

$$P_{ref}= P_{meas}*(corrector+1)+corrector$$

Και ο corrector έχει τις τιμές

- Για την πίεσης καύσης corrector= ΔP_{amb}*0.75*0.00022
- Για την πίεση συμπίεσης corrector= ΔP_{amb}*0.75*0.000301
- Για την πίεση σάρωσης corrector= ΔP_{amb}*0.75*0.000293

Για τις θερμοκρασίες καυσαερίων

T_{ref}= T_{meas}*(corrector+1)+corrector*273,15

Και ο corrector έχει τις τιμές

- Για την έξοδο του κυλίνδρου corrector= -ΔP_{amb}*0.75*0.000225
- Για την είσοδο στο στρόβιλο corrector= -ΔP_{amb}*0.75*0.000225
- Για την έξοδο από το στρόβιλο corrector= -ΔP_{amb}*0.75*0.000037

Για την ταχύτητα του στροβιλοπληρωτή

n_{ref}= n_{meas}*corrector

και ο corrector έχει την τιμή

$$\sqrt{\frac{Pamb.meas * [(\Delta \mathrm{Pamb} * 0.75 * 0.000293 + 1) * \mathrm{Pscav.meas} + \Delta \mathrm{Pamb} * 0.75 * 0.000293]}{Pamb.ref * Pscav.meas}}$$

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις υπολογίστηκε ποιες θα ήταν οι τιμές των παραμέτρων (δηλαδή οι μετρημένες) όταν ως αναφορά είναι οι μετρήσεις των εργοστασιακών δοκιμών. Ακολουθούν πίνακες για τη διερεύνηση της πίεσης περιβάλλοντος από 940 mbar έως 1060 mbar ανά 20 mbar για τα αντίστοιχα φορτία.

Για το 25% του φορτίου με $T_{ambient}$=25 ^oC και T_{water}=18 ^oC

Pambient (mbar)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
940	73,99	47,12	0,38	281,38	304,90	233,14	4180,55
960	74,24	47,33	0,38	279,49	302,93	232,86	4169,50
980	74,48	47,55	0,39	277,61	300,97	232,58	4159,16
1000	74,74	47,77	0,39	275,75	299,03	232,29	4149,48
1020	75,00	48,00	0,40	273,80	297,00	232,00	4140,00
1040	75,24	48,21	0,41	272,05	295,18	231,73	4132,00
1060	75,50	48,44	0,41	270,22	293,27	231,45	4124,13

Πίνακας 7.10 Για το 25% του φορτίου

Για το 50% του φορτίου με $T_{ambient}$=25,8 ^oC και T_{water}=19 ^oC

Pambient (mbar)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
940	103,79	72,65	1,05	310,68	361,68	261,20	7013,20
960	104,13	72,98	1,06	308,69	359,51	260,90	6969,03
980	104,48	73,31	1,07	306,71	357,36	260,61	6926,65
1000	104,83	73,65	1,08	304,75	355,23	260,31	6885,97
1020	105,20	74,00	1,09	302,70	353,00	260,00	6845,00
1040	105,54	74,32	1,10	300,86	351,00	259,72	6809,39
1060	105,89	74,67	1,11	298,93	348,91	259,42	6773,34

Πίνακας 7.11 Για το 50% του φορτίου

Για το 75% του φορτίου με $T_{ambient}$=26,5 ^oC και T_{water}=23,5 ^oC

Pambient (mbar)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
940	133,19	106,83	1,98	319,10	371,82	231,13	8908,89
960	133,63	107,31	1,99	317,08	369,62	230,85	8844,34
980	134,08	107,79	2,00	315,07	367,43	230,57	8782,22
1000	134,53	108,28	2,02	313,08	365,26	230,29	8722,42
1020	135,00	108,80	2,03	311,00	363,00	230,00	8662,00
1040	135,43	109,27	2,04	309,13	360,97	229,73	8609,32
1060	135,89	109,78	2,06	307,18	358,84	229,46	8555,83

Πίνακας 7.12 Για το 75% του φορτίου

Για το 90% του φορτίου με $T_{ambient}$=27 ^oC και T_{water}=27 ^oC

Pambient (mbar)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
940	143,75	123,23	2,48	342,62	397,16	228,13	9652,83
960	144,23	123,78	2,49	340,52	394,88	227,85	9580,78
980	144,71	124,34	2,51	338,43	392,61	227,57	9511,40
1000	145,19	124,90	2,52	336,36	390,35	227,29	9444,57
1020	145,70	125,50	2,54	334,20	388,00	227,00	9377,00
1040	146,17	126,04	2,55	332,26	385,89	226,74	9318,06
1060	146,66	126,62	2,57	330,23	383,68	226,46	9258,15

Πίνακας 7.13 Για το 90% του φορτίου

Για το 100% του φορτίου με $T_{ambient}$=27 ^oC και T_{water}=30 ^oC

Pambient (mbar)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
940	148,19	134,72	2,75	362,89	419,47	241,16	10065,03
960	148,68	135,32	2,77	360,72	417,11	240,87	9989,03
980	149,17	135,93	2,79	358,57	414,76	240,58	9915,84
1000	149,67	136,55	2,80	356,43	412,43	240,30	9845,32
1020	150,20	137,20	2,82	354,20	410,00	240,00	9774,00
1040	150,68	137,80	2,84	352,19	407,82	239,73	9711,77
1060	151,19	138,43	2,85	350,10	405,53	239,45	9648,51

Πίνακας 7.14 Για το 100% του φορτίου

Για το 110% του φορτίου με $T_{ambient}$=28 ^oC και T_{water}=33,5 ^oC

Pambient (mbar)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
940	153,22	142,67	3,03	383,98	449,88	257,19	10486,13
960	153,73	143,31	3,05	381,74	447,42	256,90	10406,21
980	154,24	143,96	3,06	379,52	444,97	256,60	10329,23
1000	154,76	144,61	3,08	377,31	442,54	256,31	10255,04
1020	155,30	145,30	3,10	375,00	440,00	256,00	10180,00
1040	155,80	145,93	3,12	372,93	437,72	255,72	10114,51
1060	156,32	146,60	3,14	370,76	435,34	255,43	10047,92

Πίνακας 7.15 Για το 110% του φορτίου

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις από τις εργοστασιακές δοκιμές:

Load (%)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
25	75	48	0,4	273,8	297	232	4140
50	105,2	74	1,09	302,7	353	260	6845
75	135	108,8	2,03	311	363	230	8662
90	145,7	125,5	2,54	334,2	388	227	9377
100	150,2	137,2	2,82	354,2	410	240	9774
110	155,3	145,3	3,1	375	440	256	10180

Πίνακας 7.16 Εργοστασιακές δοκιμές

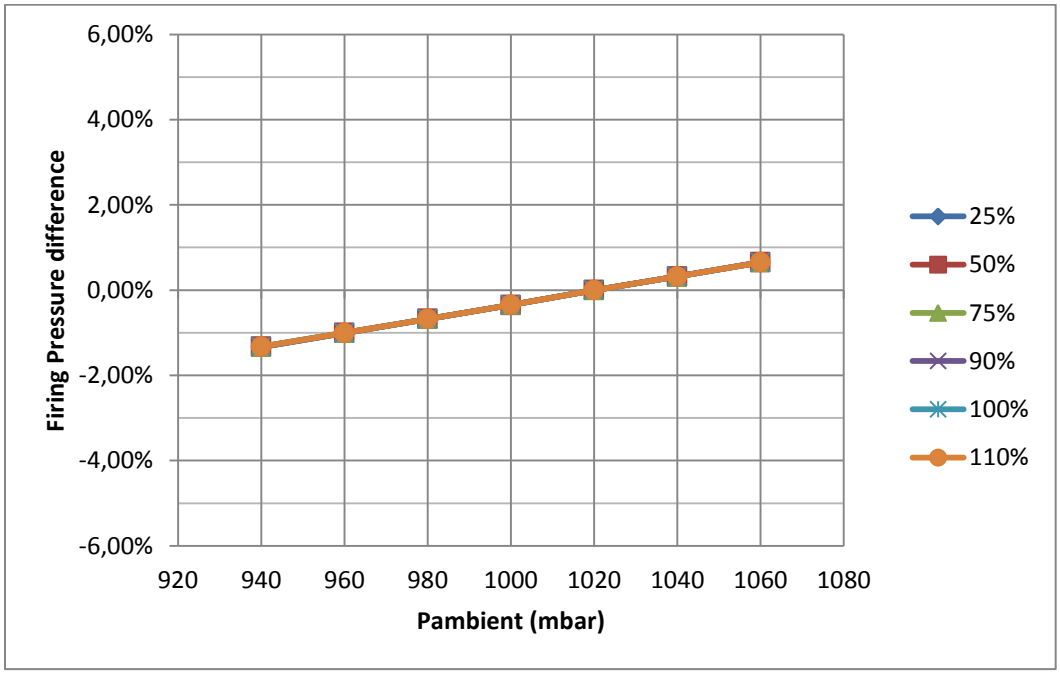
Ακολουθούν διαγράμματα που δείχνουν την επί τοις εκατό μεταβολή των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος, από τη διερεύνηση που προηγήθηκε, με αναφορά τις τιμές των παραμέτρων από τις εργοστασιακές δοκιμές.

Επίσης αναλύοντας περαιτέρω τις συσχετίσεις που παρουσιάσθηκαν στην αρχή της παραγράφου 7.3, για όλο το εύρος του φορτίου, βρέθηκε η τελική μορφή της ευθείας που εκφράζει τη μεταβολή των παραμέτρων, στη μορφή: "y= A*x+B" όπου ο συντελεστής «A» καθορίζει την κλίση της ευθείας και ο σταθερός όρος «B» προσδιορίζει το σημείο στο οποίο η ευθεία τέμνει τον άξονα των τεταγμένων. Ως «χ» ορίζεται η πίεση περιβάλλοντος (σε bar) για την οποία θα υπολογιστεί η μεταβολή. Ο αριθμός «y» που θα βρεθεί, πολλαπλασιάζεται με 100% και δίνει τη ποσοστιαία μεταβολή της παραμέτρου από το σημείο αναφοράς.

Επομένως για να βρεθεί η τιμή της παραμέτρου στην πίεση περιβάλλοντος που έχει ορισθεί ως πίεση αναφοράς, χρησιμοποιείται η σχέση: $A_{corrector}=A_{measurement} / (1+y)$, όπου $A_{corrector}$ είναι η τιμή της παραμέτρου στην πίεση αναφοράς και $A_{measurement}$ η τιμή της παραμέτρου στις διάφορες πιέσεις περιβάλλοντος. Ο συντελεστής "y" όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι η μεταβολή της παραμέτρου στις αντίστοιχες πιέσεις περιβάλλοντος.

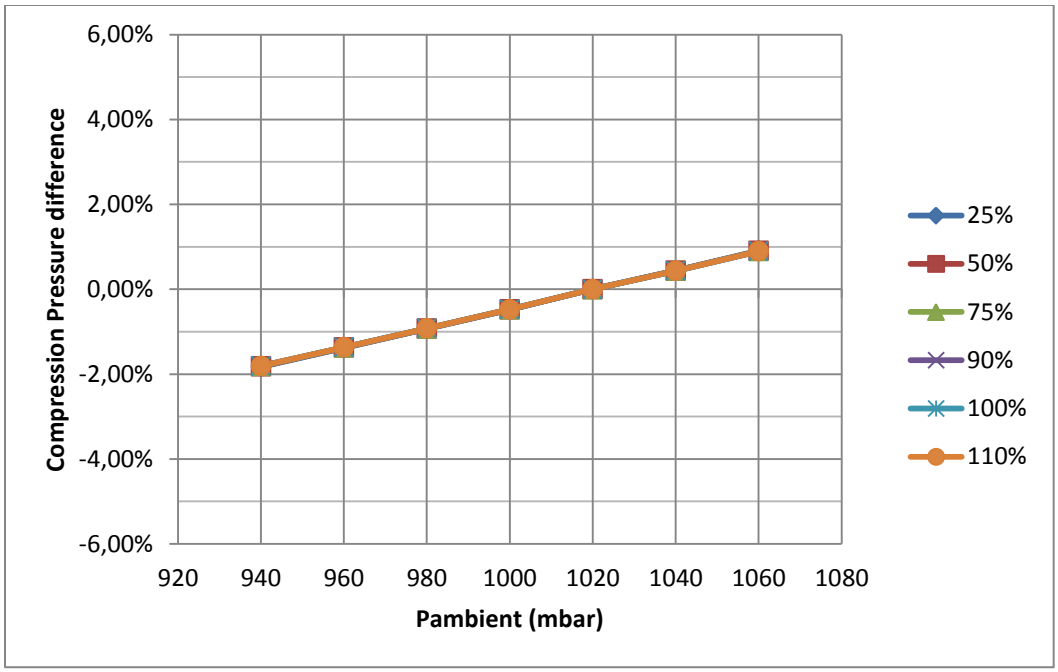
Επίσης βρέθηκε και η μέση συσχέτιση για την μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα.

Στο διάγραμμα 7.18 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσεως για όλα τα φορτία. Παρατηρείται ότι όλες οι μεταβολές ταυτίζονται και συνεπώς προκύπτει η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης καύσεως, που είναι: y= 0,165*x-0,169 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99,99%.



Διάγραμμα 7.18 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης καύσεως συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο επόμενο 7.19 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως για κάθε φορτίο. Και εδώ αντίστοιχα με την πίεση καύσεως οι μεταβολές ταυτίζονται και η μέση συσχέτιση δίνεται από την εξίσωση:
y= 0,226*x-0,2312 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99,99%.



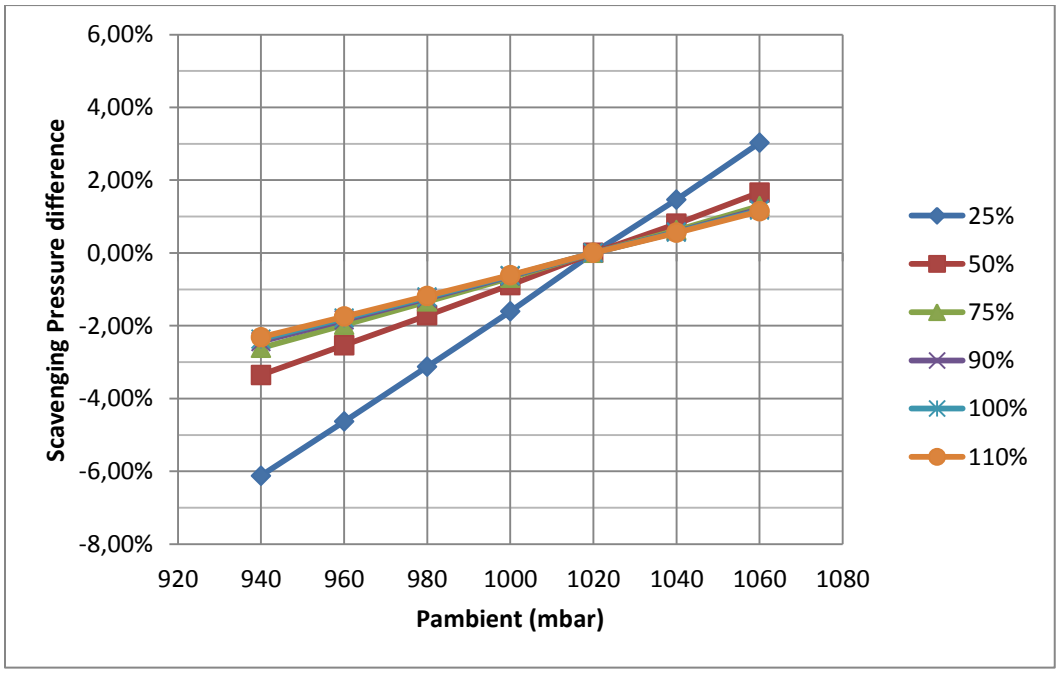
Διάγραμμα 7.19 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης συμπιέσεως συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.20 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, y= 0,736x-0,7793
- Για το 50% του φορτίου, y= 0,4183*x-0,4269
- Για το 75% του φορτίου, y= 0,3256*x-0,3323
- Για το 90% του φορτίου, y= 0,304*x-0,3103
- Για το 100% του φορτίου, y= 0,2955*x-0,3016
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,2885*x-0,2945

Οι ποσοστιαίες μεταβολές της πίεσης σάρωσης, παρατηρείται ότι δεν ταυτίζονται, όπως είχε συμβεί στην πίεση καύσεως και συμπιέσεως. Αυτό οφείλεται στο μικρό μέγεθος της πίεσης σάρωσης (κυμαίνεται από 0,3 έως 3,5 bar). Όσο αυξάνεται το φορτίο μειώνεται η κλίση των μεταβολών.

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης δίνεται από την εξίσωση: y= 0,399*x-0,4075 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 81,6%. Η μέση συσχέτιση για φορτία άνω του 50% είναι: y= 0,326*x-0,3331 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 97,4%.

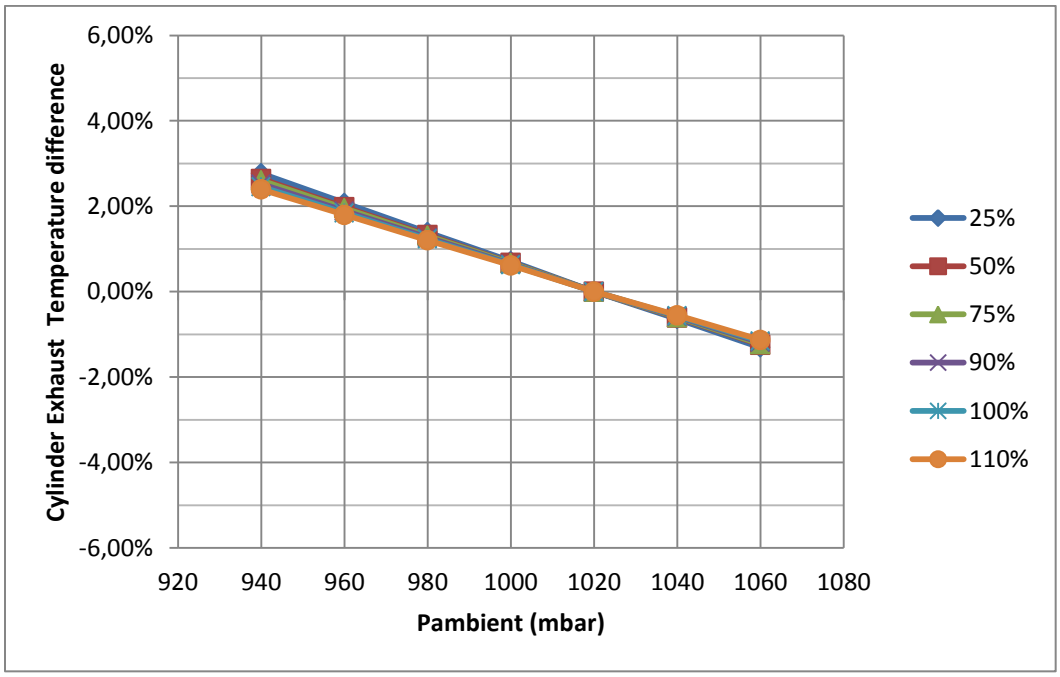


Διάγραμμα 7.20 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης σάρωσης συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.21 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, y= -0,3401x+0,3473
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,3239*x+0,3307
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,3198*x+0,3265
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,3094*x+0,3159
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,3016*x+0,3079
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,2943*x+0,3005

Όπως παρατηρείται οι κλίσεις των ευθειών διαφέρουν ελάχιστα, οπότε και η μέση συσχέτιση για τη μεταβολή της θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου, προσεγγίζει σε ποσοστό 99,7% τις υπολογισμένες τιμές και δίνεται από την εξίσωση: y= -0,315*x+0,3225

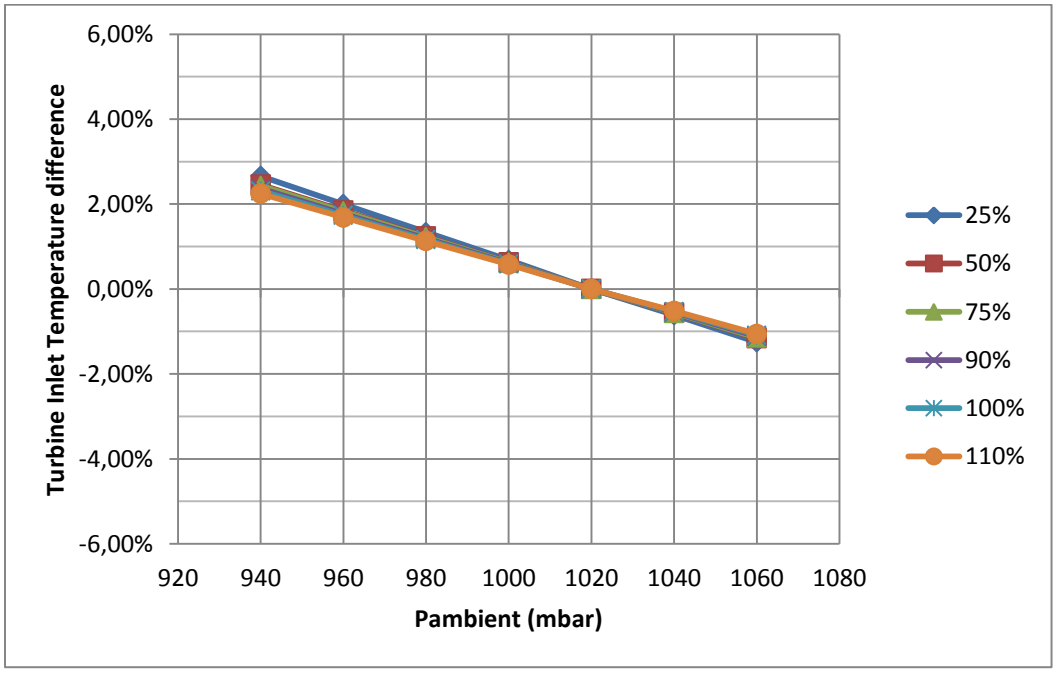


Διάγραμμα 7.21 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εξόδου από τον κύλινδρο συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.22 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου για κάθε φορτίο. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

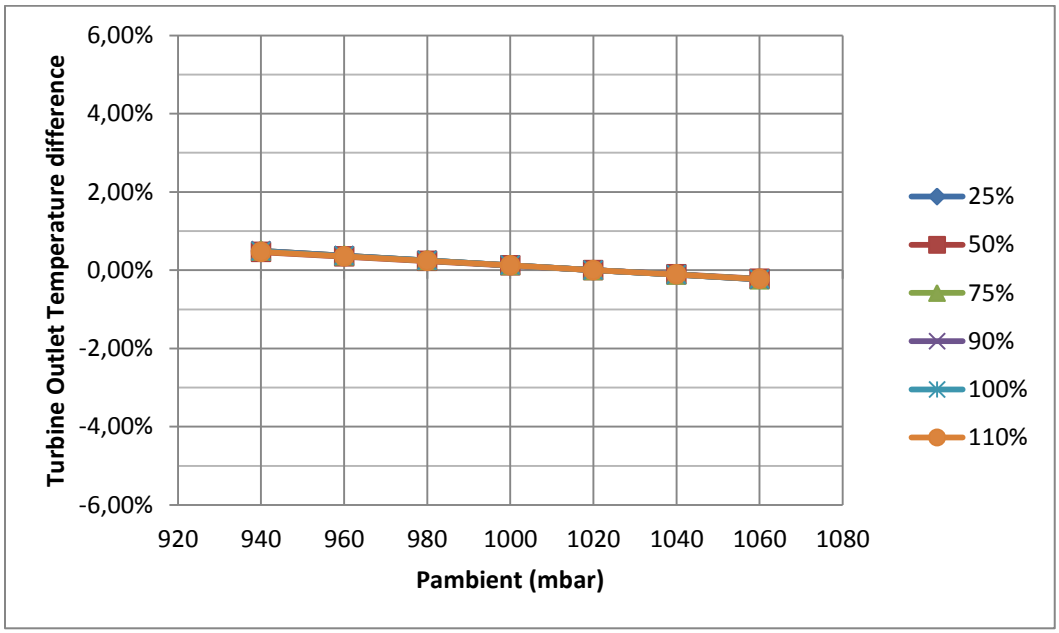
- Για το 25% του φορτίου, y= -0,3269x+0,3337
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,302*x+0,3084
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,2984*x+0,3047
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,2901*x+0,2962
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,2837*x+0,2897
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,276*x+0,2818

Και σε αυτή τη παράμετρο οι κλίσεις διαφέρουν ελάχιστα, και η μέση συσχέτιση για τη ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου είναι: y= -0,296*x+0,3024 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99,6%.



Διάγραμμα 7.22 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εισόδου στο στρόβιλο συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.23 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές είναι σχεδόν ταυτόσημες για όλο το εύρος του φορτίου, συνεπώς η μέση συσχέτιση προσεγγίζει τις υπολογισμένες τιμές σε ποσοστό 99,9%. Η εξίσωση της μέσης συσχέτισης είναι: y= -0,0595*x+0,607.



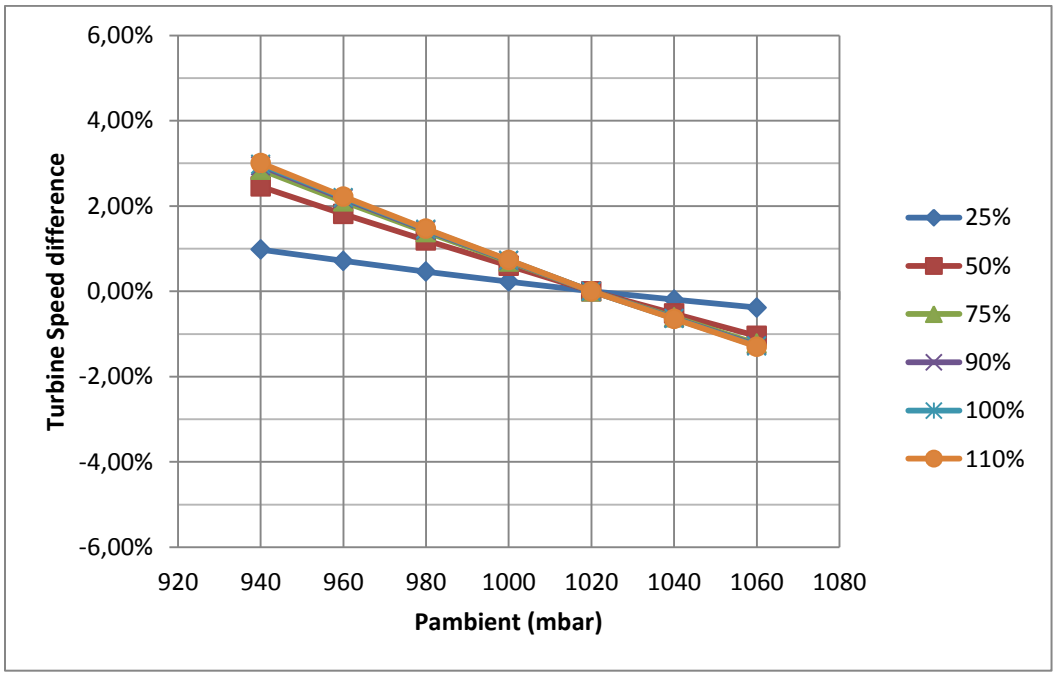
Διάγραμμα 7.23 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εξόδου από τον στρόβιλο συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 7.24 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή για κάθε φορτίο. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, y= -0,1136x+0,1162
- Για το 50% του φορτίου, y= -0,2923*x+0,2987
- Για το 75% του φορτίου, y= -0,34*x+0,3475
- Για το 90% του φορτίου, y= -0,3511*x+0,3588
- Για το 100% του φορτίου, y= -0,3555*x+0,3633
- Για το 110% του φορτίου, y= -0,3591x+0,367

Η κλίση των μεταβολών της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή, παρατηρείται ότι δεν είναι ίση για όλα τα φορτία. Όσο αυξάνεται το φορτίο αυξάνεται η κλίση των μεταβολών, και στα υψηλά φορτία διαφέρουν ελάχιστα. Αυτό οφείλεται στο ότι για την διόρθωση της στην πίεση αναφοράς που έχει οριστεί, υπεισέρχεται και η πίεση σάρωσης, που και αυτή δεν έχει ίση κλίση για όλα τα φορτία, όπως σχολιάστηκε παραπάνω.

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή δίνεται από την εξίσωση: y= -0,302*x+0,3086 με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 90,2%.



Διάγραμμα 7.24 Ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει της Πίεσης περιβάλλοντος

Παρατηρώντας τα διάγραμμα 7.18 έως 7.24 βλέπουμε πως όλες οι μεταβολές είναι γραμμικές. Αναλυτικότερα για την επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας τις συσχετίσεις:

- Για την πίεση καύσης όλες οι κλίσεις των ποσοστιαίων μεταβολών των φορτίων ταυτίζεται, εφόσον οι διαφορές που παρατηρούνται είναι μέχρι 0,02%. Η αύξηση της πίεσης ατμόσφαιρας κατά 20mbar επιφέρει αύξηση της πίεσης καύσης περίπου 0,34%
- Στην πίεση συμπίεσης οι κλίσεις των ποσοστιαίων μεταβολών των φορτίων, είναι σχεδόν ταυτόσημες με τις διαφορές να είναι στο 0,04%. Για αύξηση της πίεσης της ατμόσφαιρας κατά 20mbar έχουμε αύξηση της πίεσης συμπίεσης 0,46%
- Για την πίεση σάρωσης δεν βλέπουμε να ταυτίζονται οι κλίσεις των ποσοστιαίων μεταβολών. Αυτό οφείλεται στη μικρή τιμή της που κυμαίνεται από 0,3 έως 3,5 bar, στη παρούσα διπλωματική εργασία. Η κλίση παρουσιάζει μειωτική τάση, καθώς αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα. Έτσι για το 25% του φορτίου αύξηση 20mbar της πίεσης περιβάλλοντος επιφέρει αύξηση 1,59%. Στο 50% του φορτίου αύξηση 20mbar προκαλεί αύξηση της πίεσης σάρωσης κατά 0,86%. Για τα υπόλοιπα φορτία η αύξηση της πίεσης σάρωσης είναι περίπου 0,62% για αύξηση της πίεσης περιβάλλοντος κατά 20mbar
- Η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών της θερμοκρασίας των καυσαερίων μετά τον κύλινδρο μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα. Οι μεταβολές που υφίσταται η θερμοκρασία των καυσαερίων μετά τον κύλινδρο για το 25% του φορτίου είναι 0,67% για αύξηση της πίεσης περιβάλλοντος κατά 20mbar. Στο 110% του φορτίου η αύξηση της πίεσης περιβάλλοντος επιφέρει μείωση της θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου κατά 0,58%. Τα υπόλοιπα φορτία είναι μεταξύ των παραπάνω
- Η μείωση της θερμοκρασίας στην είσοδο του στροβίλου είναι σχεδόν αντίστοιχη με αυτή της θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου, αφού διορθώνονται με τον ίδιο συντελεστή. Έτσι για αύξηση της πίεσης περιβάλλοντος κατά 20mbar, η θερμοκρασία στην είσοδο του στροβίλου μειώνεται κατά 0,64% για το 25% του φορτίου. Στο 110% του φορτίου η μείωση είναι 0,54%. Συνεπώς η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο του κινητήρα.
- Η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας των καυσαερίων είναι ίση για όλο το εύρος του φορτίου. Η θερμοκρασία στην έξοδο του στροβίλου μειώνεται ελάχιστα από την αύξηση της πίεσης της ατμόσφαιρας. Σε όλο το εύρος του φορτίου η μείωση κυμαίνεται περίπου 0,11%
- Στην ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών αυξάνεται όσο αυξάνεται το φορτίο του κινητήρα. Η ταχύτητα του στροβιλοπληρωτή στο 25% του φορτίου μειώνεται κατά 0,23% ενώ αυξάνεται η πίεση περιβάλλοντος κατά 20mbar. Όσο αυξάνεται το φορτίο αυξάνεται και η μεταβολή. Έτσι στο 50% του φορτίου η μεταβολή είναι περίπου 0,57% και καταλήγει στο 110% του φορτίου να είναι 0,7%

Κεφάλαιο 8

Επίδραση της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα

8.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα διερευνηθεί πώς επιδρά η θερμοκρασία νερού στην είσοδο του ψυγείου του αέρα στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα, με χρήση προσομοίωσης και με τις σχέσεις διόρθωσης που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.

Η διερεύνηση θα γίνει για τιμές θερμοκρασίας νερού από 10 ^{o}C έως 40 ^{o}C ανά 5 ^{o}C, κρατώντας σταθερές τις τιμές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της πίεσης περιβάλλοντος.

Ως συνθήκες αναφοράς για τη μεταβολή των παραμέτρων επιλέχτηκαν οι συνθήκες που επικρατούσαν όταν διεξήχθησαν οι εργοστασιακές δοκιμές (πίνακας 8.1) που είναι:

Load (%)	Tambient (^{o}C)	Pambient (mbar)	Twater (^{o}C)
25	25	1021	18
50	25,8	1021	19
75	26,5	1021	23,5
90	27	1021	27
100	27	1021	30
110	28	1021	33,5

Πίνακας 8.1 Συνθήκες των shop tests

8.2 Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα με χρήση του προσομοιωτή

Αρχικά από το κύριο παράθυρο εργασίας του λογισμικού γίνεται η επιλογή «simulator» και έπειτα η επιλογή «engine simulation» και επιλέγεται η λειτουργία των υποσυστημάτων του κινητήρα στο 100%.

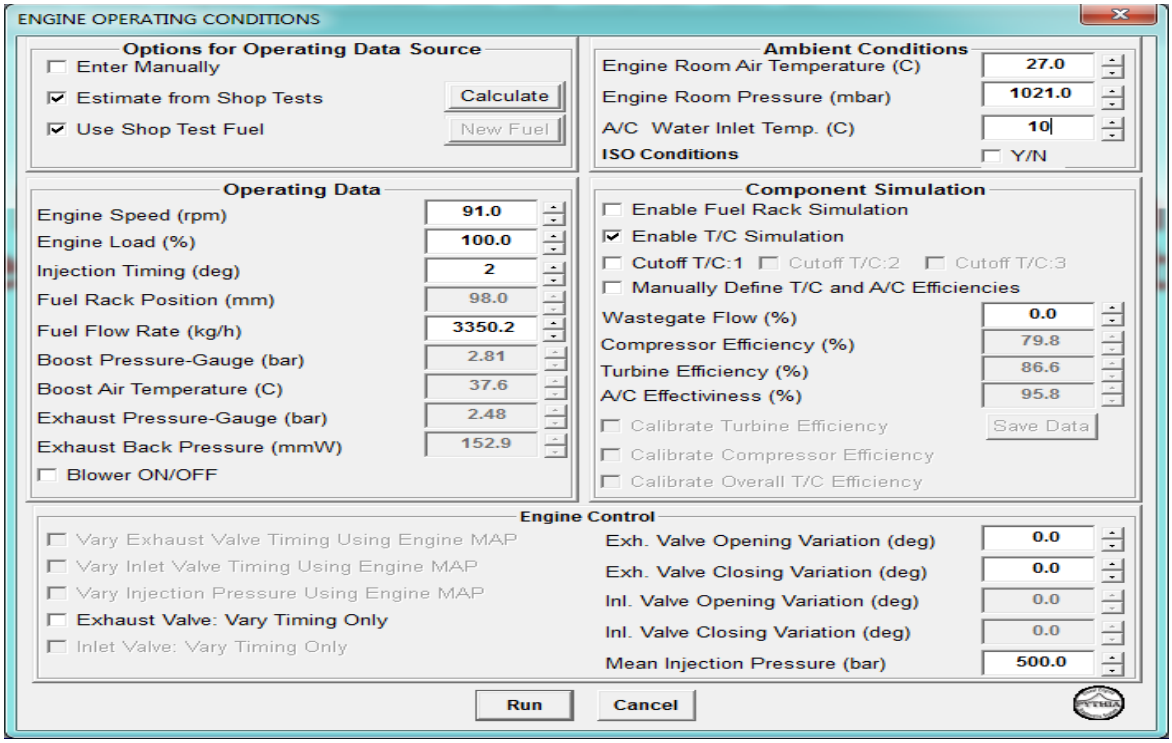
Έπειτα στο παράθυρο που εμφανίζεται (εικόνα 8.1) επιλέγεται η δυνατότητα προσομοίωσης του υπερπληρωτή. Με αυτή την επιλογή το λογισμικό εκτιμάει τις τιμές της θερμοκρασίας σάρωσης, της πίεσης σάρωσης, την πίεση στον οχετό εξαγωγής και την πίεση μετά τον στρόβιλο. Επίσης υπολογίζεται και οι βαθμοί απόδοσης του συμπιεστή, του στροβίλου και του ψυγείου αέρα.

Επίσης επιλέγεται να γίνει εκτίμηση κάποιων παραμέτρων από το λογισμικό με βάση τις εργοστασιακές δοκιμές. Επίσης επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί το ίδιο καύσιμο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές.

Στη συνέχεια επιλέγεται οι στροφές ή το φορτίο που λειτουργεί ο κινητήρας. Επιλέχθηκε το φορτίο, και τα φορτία για τα οποία υπάρχουν μετρήσεις από τις εργοστασιακές δοκιμές είναι τα: 25%,50%,75%, 90%,100% και 110%. Επιλέγοντας την επιλογή «calculate» το λογισμικό υπολογίζει τις τιμές που προαναφέραμε στην προσομοίωση του υπερπληρωτή, αλλά και τις τιμές της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου, την θέση του κανόνα και την προπορεία έγχυσης καυσίμου.

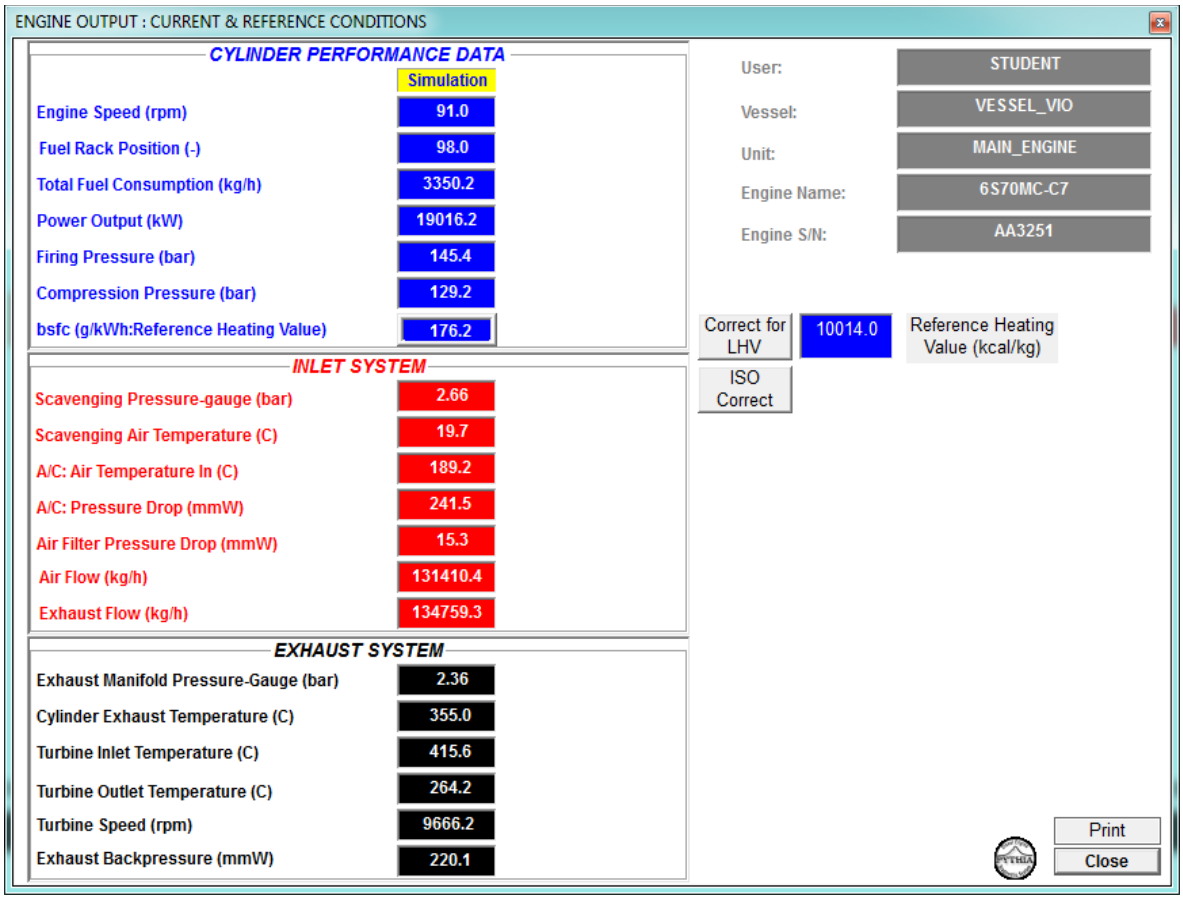
Η επιλογή «calculate» καθορίζει και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες είναι ίδιες με αυτές που υπήρχαν όταν πραγματοποιήθηκαν οι εργοστασιακές δοκιμές. Κρατώντας λοιπόν σταθερές τις τιμές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της πίεσης περιβάλλοντος στο αντίστοιχο φορτίο, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση λειτουργίας του κινητήρα για θερμοκρασία νερού στην είσοδο του ψυγείου από 10°C έως 40°C ανά 5°C για όλα τα φορτία.

Ακολουθεί ενδεικτικό παράδειγμα για το 100% του φορτίου και θερμοκρασία νερού 10 ^{o}C (εικόνα 8.1).



Εικόνα 8.1 Καθορισμός των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα για το 100% του φορτίου και θερμοκρασία νερού 10 ^{o}C

Επιλέγοντας την επιλογή «Run» ξεκινά η διαδικασία της προσομοίωσης και μετά την ολοκλήρωση της εξάγονται τα αποτελέσματα των λειτουργικών παραμέτρων που είναι τα ακόλουθα (εικόνα 8.2)



Εικόνα 8.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης λειτουργίας του κινητήρα για το 100% του φορτίου και θερμοκρασία νερού 10 ^{o}C

Ακολουθούν πίνακες των αποτελεσμάτων προσομοίωσης για όλα τα φορτία στις θερμοκρασίες νερού που προαναφέραμε.

Για το 25% του φορτίου με $T_{ambient}$=25 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

T_{water} (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	4815,5	79,8	51,4	182		9,53
15	4789,2	79,6	51,4	183		9,63
20	4777,4	79,8	51,6	183,5		9,77
25	4748,7	79,6	51,6	184,6		9,89
30	4730,4	79,6	51,6	185,3		9,99
35	4709	79,6	51,7	186,1		10,16
40	4689,5	79,5	51,8	186,9		10,27
T_{water} (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	0,47	10,8	61,1	83,3	2,2	9,71
15	0,48	15,8	61,6	83,9	2,2	9,81
20	0,49	20,8	62,3	85,4	2,2	9,96
25	0,5	25,7	62,8	86,2	2,2	10,07
30	0,51	30,6	63,4	86,9	2,2	10,17
35	0,52	35,6	64,1	88,5	2,2	10,35
40	0,53	40,5	64,7	89,3	2,2	10,46
T_{water} (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	0,38	233	269,9	239,5	4478,3	31,3
15	0,38	235,3	271,7	241	4509,6	31,6
20	0,39	236,2	272,2	240,8	4555,2	32,4
25	0,4	238,5	274,2	242,2	4589,4	32,8
30	0,4	240,9	276,1	243,7	4624,6	33,2
35	0,41	241,9	276,5	243,3	4672,1	34,1
40	0,42	244,1	278,4	244,6	4708,2	34,5

Πίνακας 8.2 Για το 25% του φορτίου

Για το 50% του φορτίου με $T_{ambient}$=25,8 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

T_{water} (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	9133,4	105	74,4	177,3		8,26
15	9094,3	105	74,5	178,1		8,35
20	9065,7	105	74,7	178,7		8,41
25	9033,4	104,9	74,8	179,3		8,47
30	9007,2	105,1	75,1	179,8		8,56
35	8982,6	105,2	75,4	180,3		8,64
40	8955,5	105,3	75,6	180,9		8,72
T_{water} (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	1,13	16,4	106,1	153,9	3,9	8,44
15	1,15	21,2	107	154,8	4	8,53
20	1,16	25,9	107,9	155,4	4	8,59
25	1,18	30,7	108,8	156	4	8,65
30	1,2	35,4	109,8	157,2	4,1	8,73
35	1,21	40,2	110,9	158,3	4,1	8,82
40	1,23	45	111,8	159,3	4,2	8,90
T_{water} (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	0,96	278,8	325,4	250,8	6720,3	81,7
15	0,98	280,7	327	251,5	6754,5	82,6
20	0,98	283,5	329,5	253,2	6787,8	83,1
25	0,99	286,3	331,9	254,8	6821	83,7
30	1,01	288,4	333,7	255,6	6861,8	84,7
35	1,02	290,3	335,1	256	6899,8	85,8
40	1,03	292,6	336,9	256,9	6936,9	86,8

Πίνακας 8.3 Για το 50% του φορτίου

Για το 75% του φορτίου με $T_{ambient}$=26,5 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

T_{water} (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	14045,1	133,2	100,6	174		7,34
15	14019,5	133,5	101	174,4		7,39
20	13951,3	133,3	101,1	175,2		7,47
25	13919	133,4	101,4	175,6		7,53
30	13880,7	133,5	101,6	176,1		7,58
35	13845	133,7	102	176,5		7,64
40	13807,9	133,8	102,3	177		7,70
T_{water} (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	1,86	20,9	149,5	204,6	8,2	7,52
15	1,89	25,6	150,5	205,4	8,3	7,57
20	1,91	30,2	151,6	206,4	8,4	7,65
25	1,93	34,9	152,6	207,2	8,5	7,70
30	1,95	39,6	153,7	207,9	8,6	7,75
35	1,97	44,2	154,7	208,8	8,8	7,82
40	1,99	48,9	155,8	209,6	8,9	7,88
T_{water} (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	1,63	318,1	371,4	256,6	8287,8	142,9
15	1,64	319,8	373,4	257,6	8326,8	144,2
20	1,66	322,6	375,1	258,4	8364,8	145,7
25	1,67	324,9	377	259,2	8399	146,9
30	1,69	327,5	379,5	260,7	8439,8	148,1
35	1,7	329,6	381	261,3	8473	149,5
40	1,72	332	383	262,2	8512	150,9

Πίνακας 8.4 Για το 75% του φορτίου

Για το 90% του φορτίου με $T_{ambient}$=27 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

T_{water} (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	17060,2	141,6	117,2	174,6		7,02
15	16992,1	141,5	117,8	175,3		7,09
20	16967,1	141,8	118,4	175,5		7,13
25	16928,9	142,1	118,8	175,9		7,19
30	16850,1	141,8	118,8	176,7		7,25
35	16814,3	142,1	119,3	177,1		7,31
40	16773,3	142,3	119,7	177,5		7,37
T_{water} (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	2,33	21,2	173,8	228,3	12,1	7,20
15	2,35	25,8	174,8	229	12,2	7,26
20	2,38	30,5	176	229,8	12,4	7,31
25	2,4	35,1	177,1	230,6	12,6	7,37
30	2,43	39,8	178,2	231,1	12,7	7,42
35	2,45	44,4	179,3	232,1	12,9	7,49
40	2,48	49	180,4	232,9	13,1	7,55
T_{water} (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	2,06	340,5	398,7	261,8	9134,2	186,8
15	2,07	343,3	400,6	262,5	9168,4	188,3
20	2,09	345	402,4	263,3	9205,5	190
25	2,11	347	404,2	264	9244,4	191,9
30	2,12	350,7	406,8	265,6	9280,5	192,9
35	2,15	352,3	407,9	265,6	9318,5	195,3
40	2,16	354,5	409,8	266,5	9357,5	197

Πίνακας 8.5 Για το 90% του φορτίου

Για το 100% του φορτίου με $T_{ambient}$=27 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

T_{water} (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	19016,2	145,4	129,2	176,2		6,91
15	18973,6	145,8	130	176,6		6,97
20	18944,3	146,3	130,8	176,8		7,02
25	18872,9	146,4	131,2	177,5		7,09
30	18844	146,7	131,8	177,8		7,13
35	18805,2	147,1	132,4	178,2		7,19
40	18727,6	147	132,6	178,9		7,26
T_{water} (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	2,66	19,7	189,2	241,5	15,3	7,09
15	2,69	24,3	190,4	242,4	15,6	7,14
20	2,72	28,9	191,5	243,2	15,8	7,20
25	2,74	33,5	192,6	244	16,1	7,26
30	2,77	38,1	193,8	244,5	16,2	7,31
35	2,8	42,7	195	245,3	16,5	7,37
40	2,83	47,3	196,1	246	16,7	7,44
T_{water} (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	2,36	355	415,6	264,2	9666,2	220,1
15	2,38	357,2	417,3	264,8	9709,9	222,5
20	2,41	358,8	418,7	265,2	9749,2	224,8
25	2,43	361	420,3	265,7	9786	227
30	2,45	363,2	422,5	266,7	9819,2	228,5
35	2,47	365,2	424	267	9859,1	231
40	2,49	369,7	425,9	267,8	9900,9	233,3

Πίνακας 8.6 Για το 100% του φορτίου

Για το 110% του φορτίου με $T_{ambient}$=28 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

T_{water} (^oC)	**Power** (kw)	P_{firing} (bar)	$P_{compression}$ (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
10	21305,1	151,4	138,6	175,3		6,62
15	21266,2	151,9	139,6	175,6		6,67
20	21188,3	152,4	140,7	176,3		6,74
25	21137,7	152,8	141,5	176,7		6,79
30	21101,6	153,4	142,5	177		6,84
35	21058,8	153,9	143,4	177,4		6,90
40	20981,2	154,1	144,1	178		6,96
T_{water} (^oC)	$P_{scavenge}$ (bar)	$T_{scavevge}$ (^oC)	**A/C:**$T_{air.in}$ (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
10	2,96	17,3	203,6	250,7	18,4	6,79
15	2,99	21,9	204,6	251,4	18,7	6,85
20	3,02	26,4	205,6	252	19	6,91
25	3,05	31	206,8	252,7	19,3	6,97
30	3,08	35,6	207,9	253,3	19,5	7,02
35	3,11	40,1	209,1	254	19,8	7,08
40	3,14	44,7	210,3	254,7	20,1	7,14
T_{water} (^oC)	$P_{manifold}$ (bar)	$T_{cylinder}$ (^oC)	$T_{turbine.in}$ (^oC)	$T_{turbine.out}$ (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	P_{back} (mmW)
10	2,64	369,1	431,4	267,8	10107	249,9
15	2,66	370,2	432,1	267,6	10138,4	252,5
20	2,68	371,7	433,7	268	10174,5	254,9
25	2,71	373,6	435,2	268,4	10213,4	257,5
30	2,73	375,2	436,5	268,7	10249,5	260
35	2,76	377	438	269	10288,5	262,7
40	2,78	379,6	439,7	269,5	10328,4	265,4

Πίνακας 8.7 Για το 110% του φορτίου

Στο πίνακα 8.8 παρουσιάζεται η προσομοίωση των εργοστασιακών δοκιμών.

Load (%)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
25	4779,2	79,7	51,5	183,4		9,74
50	9082,5	105,2	74,8	178,3		8,40
75	13954,4	133,7	101,5	175,2		7,50
90	16886,8	141,9	118,7	176,4		7,22
100	18844	146,7	131,8	177,8		7,13
110	21050,3	153,5	142,9	177,4		6,88
Load (%)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
25	0,49	18,8	62,1	85,1	2,2	9,93
50	1,16	25	107,8	155,5	4	8,57
75	1,92	33,5	152,3	207	8,5	7,67
90	2,41	37	177,5	230,9	12,6	7,40
100	2,77	38,1	193,8	244,5	16,2	7,31
110	3,1	38,8	208,8	253,8	19,7	7,06
Load (%)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
25	0,39	235,5	271,5	240,3	4541,9	32,2
50	0,98	282,8	328,9	252,6	6784,9	83,2
75	1,67	323,7	376,6	259,1	8391,4	146,6
90	2,12	348,6	405	264,4	9258,7	192,5
100	2,45	363,2	422,5	266,7	9819,2	228,5
110	2,74	377,5	438,4	269,6	10282,8	261,6

Πίνακας 8.8 Προσομοίωση των shop tests

Ακολουθούν διαγράμματα που δείχνουν την επί τοις εκατό μεταβολή των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου, από τη διερεύνηση που προηγήθηκε, με αναφορά την προσομοίωση των παραμέτρων από τις εργοστασιακές δοκιμές.

Επίσης βρέθηκε η συσχέτιση που εκφράζει τη μεταβολή των παραμέτρων, για όλα τα φορτία, με τη μορφή ευθείας "y= A*x+B" όπου ο συντελεστής «A» καθορίζει την κλίση της ευθείας και ο σταθερός όρος «B» προσδιορίζει το σημείο στο οποίο η ευθεία τέμνει τον άξονα των τεταγμένων. Ως «χ» ορίζεται η θερμοκρασία νερού (σε ^oC) για την οποία θα υπολογιστεί η μεταβολή. Ο αριθμός «y» που θα βρεθεί, πολλαπλασιάζεται με 100% και δίνει τη ποσοστιαία μεταβολή της παραμέτρου από το σημείο αναφοράς

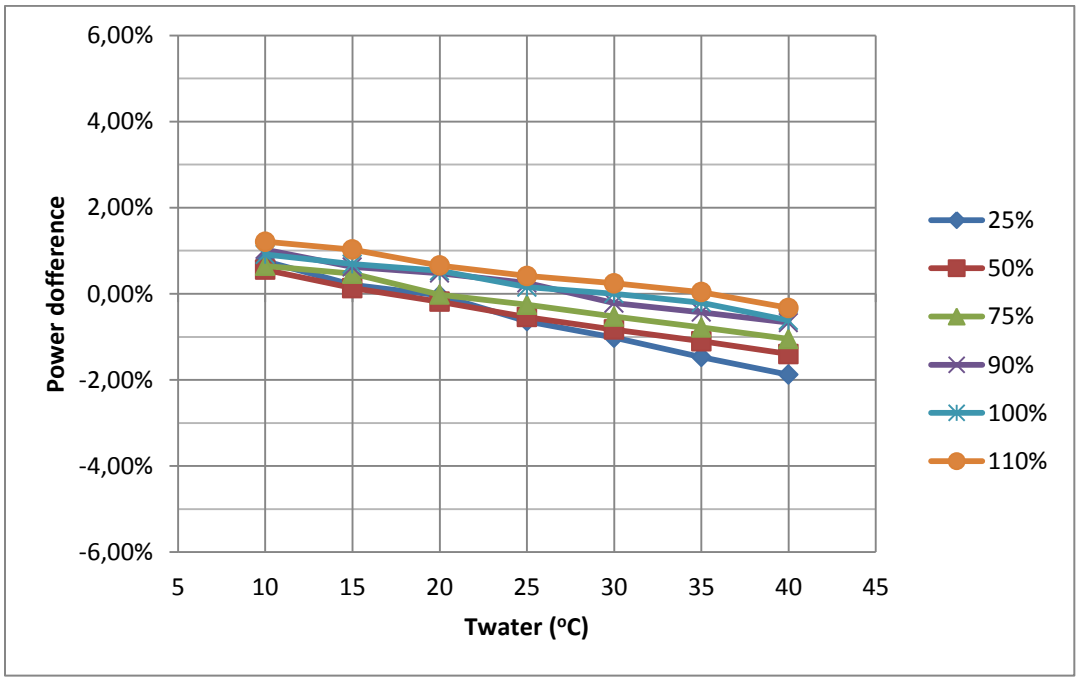
.Επομένως για να βρεθεί η τιμή της παραμέτρου στην θερμοκρασία νερού στην είσοδο του ψυγείου του αέρα, που έχει ορισθεί ως θερμοκρασία αναφοράς, χρησιμοποιείται η σχέση: $A_{corrector}=A_{measurement} / (1+y)$,
όπου $A_{corrector}$ είναι η τιμή της παραμέτρου στην θερμοκρασία αναφοράς και $A_{measurement}$ η τιμή της παραμέτρου στις διάφορες θερμοκρασίες του νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα. Ο συντελεστής “y” όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι η μεταβολή της παραμέτρου στις αντίστοιχες θερμοκρασίες νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα.

Επίσης βρέθηκε και η μέση συσχέτιση για την μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα, η οποία όμως έχει μικρότερο ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές, σε σχέση με τις συσχετίσεις που βρέθηκαν για το κάθε φορτίο ξεχωριστά. Αυτό οφείλεται αφενός στο ότι όσο απομακρυνόμαστε από τη θερμοκρασία αναφοράς τόσο αυξάνεται το εύρος των μεταβολών και αφετέρου στο ότι κάθε φορτίο έχει διαφορετικές συνθήκες αναφοράς.

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ισχύος για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 98%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων των φορτίων:

- Για το 25% του φορτίου, $y= - 0,875*10^{-3}*x+0,0161$
- Για το 50% του φορτίου, $y= - 0,641*10^{-3}*x+0,0112$
- Για το 75% του φορτίου, $y= - 0,579*10^{-3}*x+0,0123$
- Για το 90% του φορτίου, $y= - 0,564*10^{-3}*x+0,0156$
- Για το 100% του φορτίου, $y= - 0,494*10^{-3}*x+0,0144$
- Για το 110% του φορτίου, $y= - 0,499*10^{-3}*x+0,0172$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ισχύος δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= -0,609*10^{-3}*x+0,0145$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 70%.

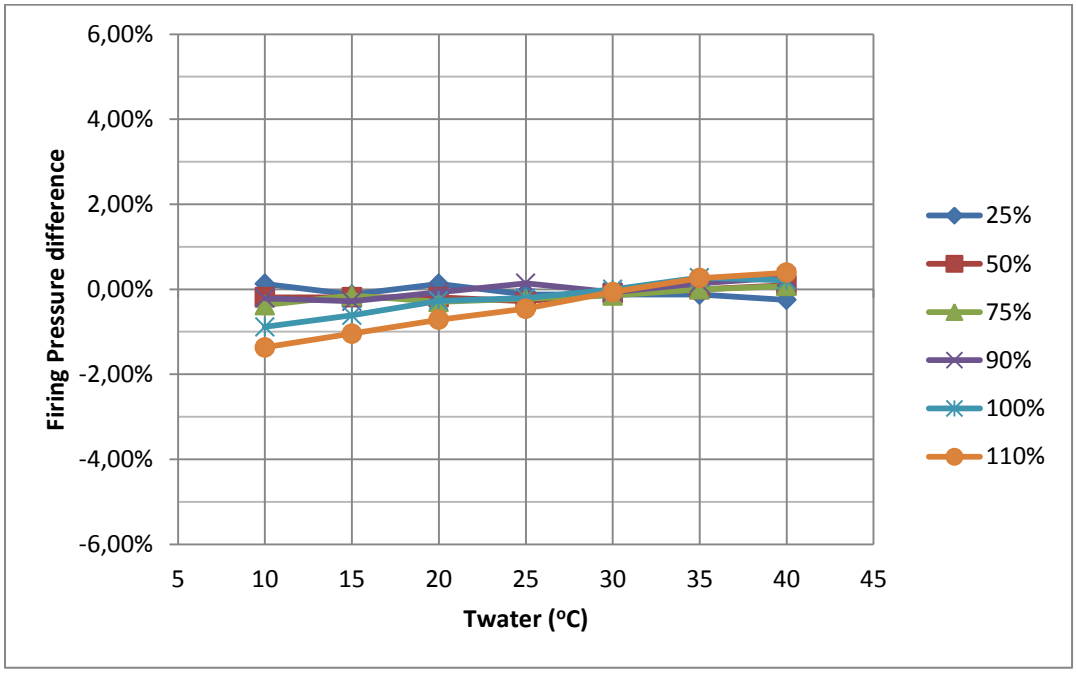


Διάγραμμα 8.1 Ποσοστιαία μεταβολή της Ισχύος συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.2 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσεως για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσεων για τα φορτία είναι οι εξής:

- Για το 25% του φορτίου, $y= - 0,098*10^{-3}*x+0,0017$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 56%
- Για το 50% του φορτίου, $y= 0,095*10^{-3}*x-0,0036$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 61%
- Για το 75% του φορτίου, $y= 0,128*10^{-3}*x-0,0048$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 77%
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,166*10^{-3}*x-0,0043$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 77%
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,379*10^{-3}*10^{-3}*x-0,0116$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 94%
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,609*10^{-3}*x-0,0195$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 99%

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσεως δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 0,213*10^{-3}*x-0,007$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 37,7%. Το μικρό ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές οφείλεται σε υποεκτιμήσεις ή υπερεκτιμήσεις από το λογισμικό που φτάνουν περίπου το 0,5bar και θεωρείται αμελητέα.

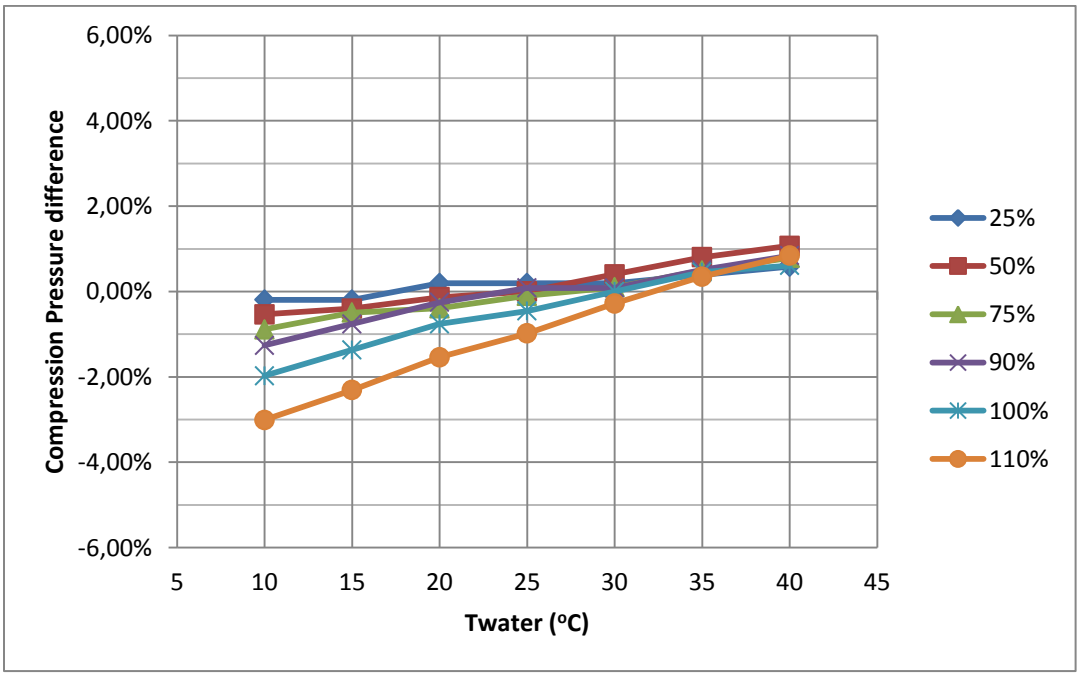


Διάγραμμα 8.2 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης καύσης συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.3 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως για όλα τα φορτία. Όλες οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 90%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 0,249*10^{-3}*x-0,0046$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 0,554*10^{-3}*x-0,0121$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 0,535*10^{-3}*x-0,0141$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,656*10^{-3}*x-0,0175$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,867*10^{-3}*x-0,0267$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,295*10^{-3}*x-0,0423$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 0,693*10^{-3}*x-0,0195$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 63%.

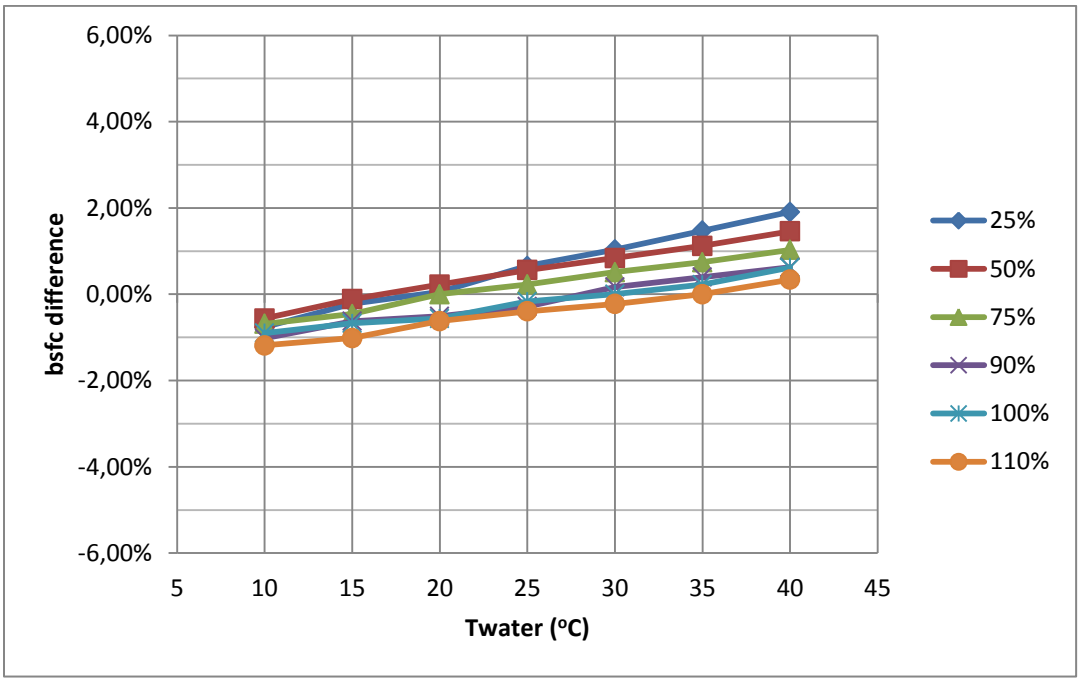


Διάγραμμα 8.3 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης συμπιέσεως συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο επόμενο διάγραμμα δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές για όλα τα φορτία με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 98%. Οι γραμμές τάσεων για τα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 0,884*10^{-3}*x-0,0162$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 0,653*10^{-3}*x-0,0113$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 0,575*10^{-3}*x-0,0124$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,547*10^{-3}*x-0,0154$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,494*10^{-3}*x-0,0144$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,499*10^{-3}*x-0,0169$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 0,609*10^{-3}*x-0,0144$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 69%.

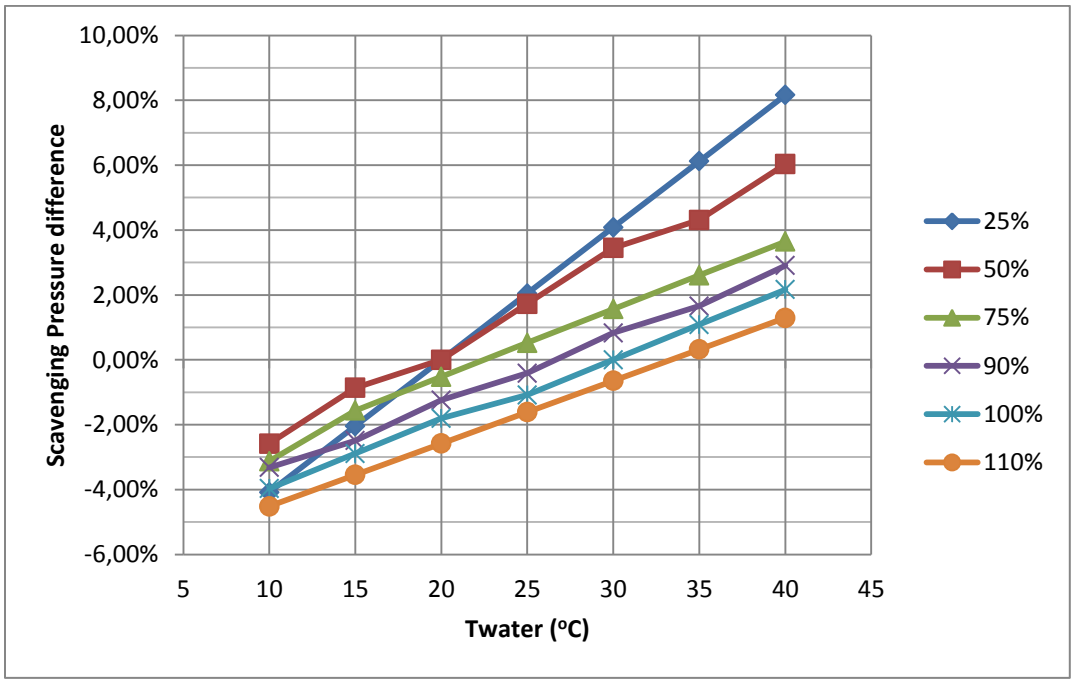


Διάγραμμα 8.4 Ποσοστιαία μεταβολή της Ειδικής Κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.5 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές σε όλο το εύρος του φορτίου με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για τα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 4,082*10^{-3}*x-0,0816$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 2,832*10^{-3}*x-0,0536$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 2,195*10^{-3}*x-0,0504$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 2,075*10^{-3}*x-0,0548$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 2,011*10^{-3}*x-0,0596$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,936*10^{-3}*x-0,0645$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 2,522*10^{-3}*x-0,0608$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 73%.



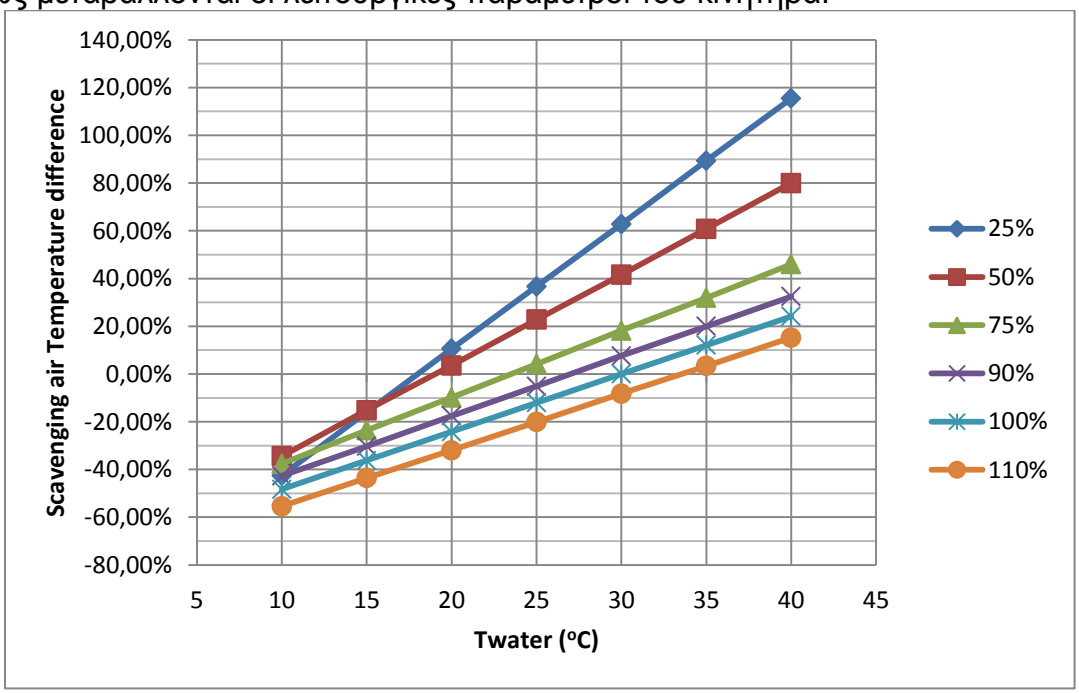
Διάγραμμα 8.5 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης σάρωσης συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο επόμενο διάγραμμα δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές είναι γραμμικές για όλα τα φορτία και οι γραμμές τάσεως είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 52,62*10^{-3}*x-0,9493$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 38,08*10^{-3}*x-0,7247$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 27,85*10^{-3}*x-0,6544$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 25,07*10^{-3}*x-0,6779$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 24,15*10^{-3}*x-0,7244$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 23,53*10^{-3}*x-0,7892$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 31,88*10^{-3}*x-0,753$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 67%.

Οι μεταβολές που παρατηρούνται είναι μεγάλες καθώς η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου και η θερμοκρασία σάρωσης είναι άμεσα συνδεδεμένες. Ορισμένοι κατασκευαστές αντί της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου χρησιμοποιούν τη θερμοκρασία σάρωσης για να μελετήσουν πως μεταβάλλονται οι λειτουργικές παράμετροι του κινητήρα.

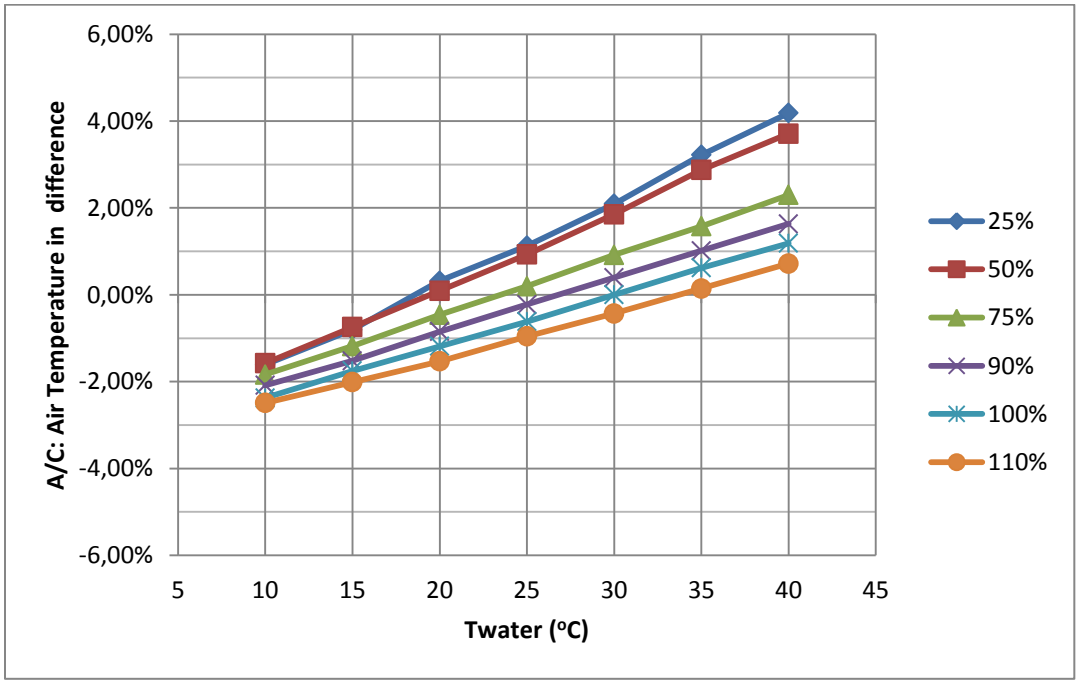


Διάγραμμα 8.6 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας σάρωσης συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.7 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην είσοδο του ψυγείου αέρα για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές για όλο το εύρος του φορτίου με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99,8%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσης για τα φορτία:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 1,944*10^{-3}*x-0,0364$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 1,776*10^{-3}*x-0,0342$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,379*10^{-3}*x-0,0323$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 1,247*10^{-3}*x-0,0335$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 1,187*10^{-3}*x-0,0356$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,074*10^{-3}*x-0,0362$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην είσοδο του ψυγείου αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης:
$y= 1,434*10^{-3}*x-0,0347$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 74%.

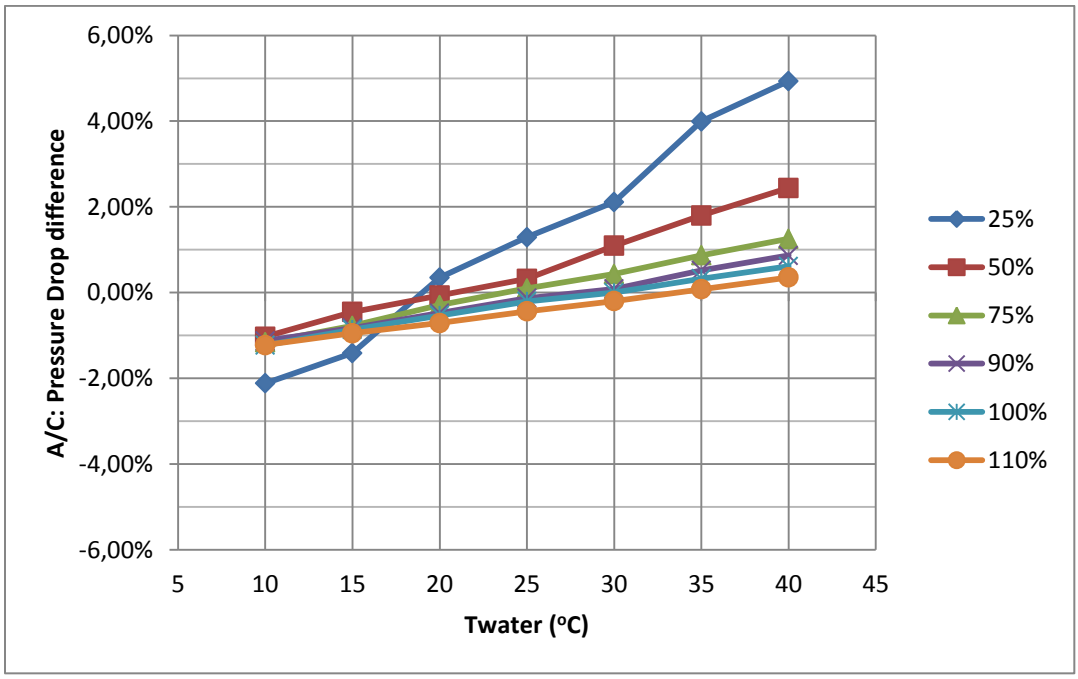


Διάγραμμα 8.7 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας του αέρα στην είσοδο του ψυγείου του αέρα συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο παρακάτω διάγραμμα 8.8 δίνεται η μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο ψυγείο του αέρα για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές σε όλο το εύρος του φορτίου, με προσέγγιση στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερη του 98,5%. Οι γραμμές τάσεων είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 2,409*10^{-3}*x-0,0471$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 1,148*10^{-3}*x-0,0228$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 0,804*10^{-3}*x-0,0195$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,659*10^{-3}*x-0,018$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,602*10^{-3}*x-0,0177$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,521*10^{-3}*x-0,0174$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο ψυγείο του αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 1,024*10^{-3}*x-0,0238$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 58,8%.

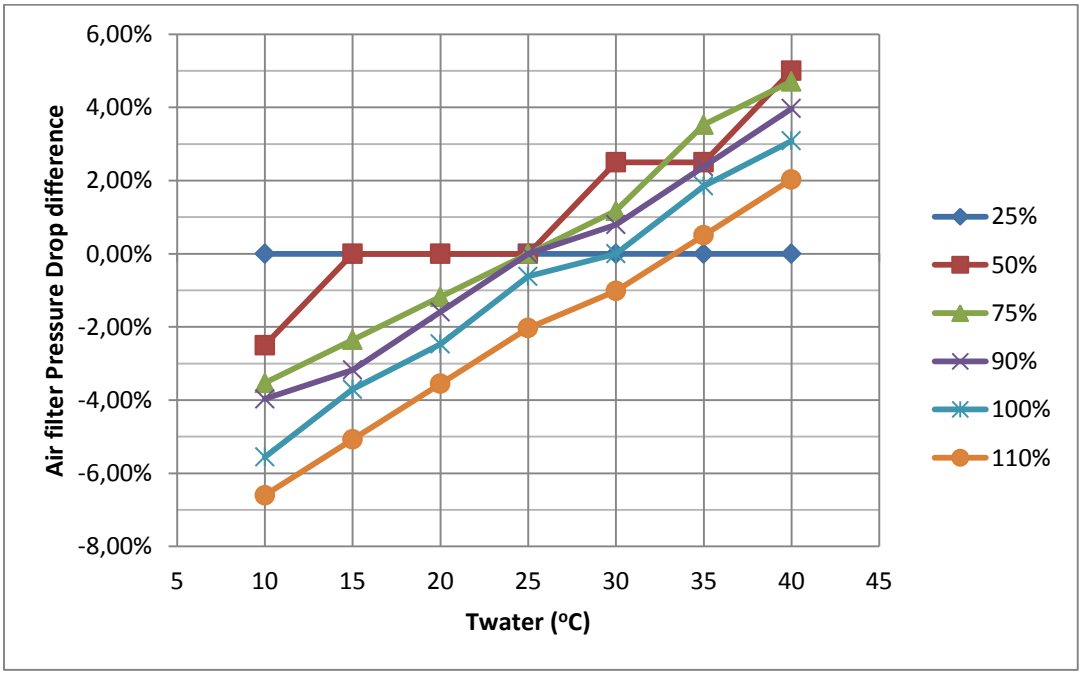


Διάγραμμα 8.8 Ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της Πίεσης στο ψυγείο του αέρα συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.9 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο φίλτρο του αέρα. Στο 25% του φορτίου η συγκεκριμένη παράμετρος δεν μεταβάλλεται, και στα υπόλοιπα φορτία οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 90%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για τα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 0$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 2,143*10^{-3}*x-0,0429$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 2,773*10^{-3}*10^{-3}*x-0,066$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 2,664*x-0,0689$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 2,822*10^{-3}*x-0,0811$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 2,828*10^{-3}*x-0,0932$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της πίεσης στο φίλτρο του αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 2,205*10^{-3}*x-0,0587$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 68,1%.

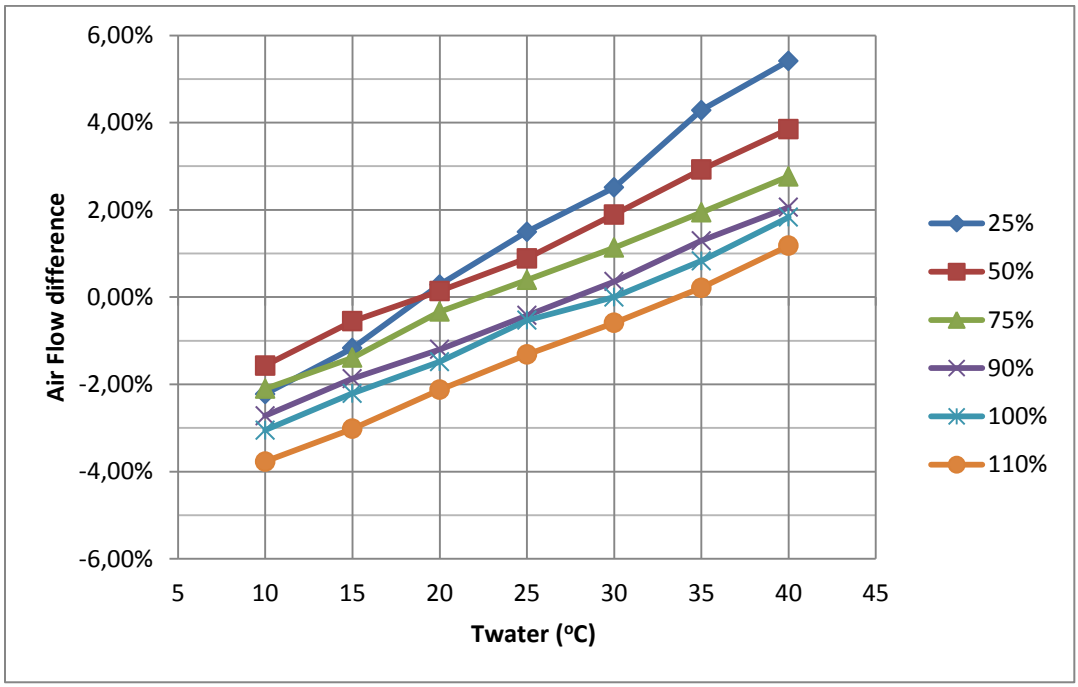


Διάγραμμα 8.9 Ποσοστιαία μεταβολή της πτώσης της Πίεσης στο φίλτρο του αέρα συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αέρα για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές και το ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές ξεπερνά το 99,5%. Οι γραμμές τάσεων για κάθε φορτίο είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 2,575*10^{-3}*x-0,0492$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 1,783*10^{-3}*x-0,0338$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,623*10^{-3}*x-0,0371$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 1,588*10^{-3}*x-0,0433$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 1,586*10^{-3}*x-0,0462$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,632*10^{-3}*x-0,0543$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της παροχής αέρα δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 1,798*10^{-3}*x-0,044$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 74,3%.

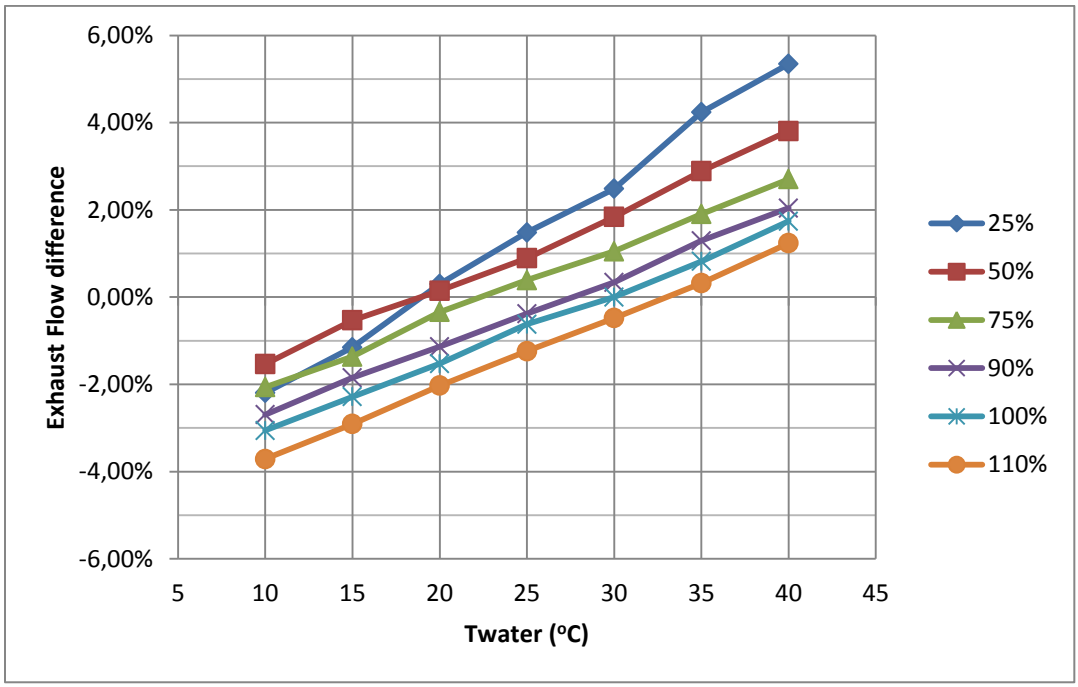


Διάγραμμα 8.10 Ποσοστιαία μεταβολή της Ποσότητας του αέρα συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.11 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας καυσαερίων για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές για όλο το εύρος του φορτίου και η προσέγγιση στις υπολογισμένες τιμές ξεπερνά το 99,6%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για τα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 2,542*10^{-3}*x-0,0485$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 1,755*10^{-3}*x-0,0331$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,588*10^{-3}*x-0,0365$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 1,568*10^{-3}*x-0,0426$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 1,580*10^{-3}*x-0,0465$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,633*10^{-3}*x-0,0534$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας των καυσαερίων δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 1,777*10^{-3}*x-0,0434$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 74,7%.

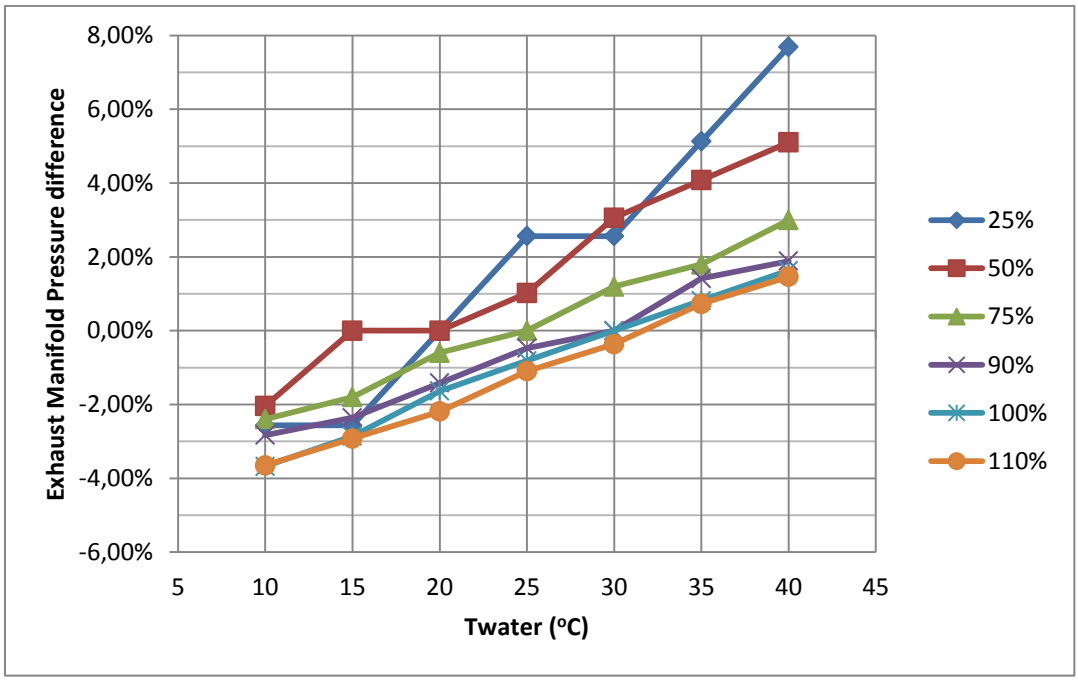


Διάγραμμα 8.11 Ποσοστιαία μεταβολή της Ποσότητας των καυσαερίων συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης στον οχετό εξαγωγής για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 96%. Οι γραμμές τάσεων για όλα τα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 3,480*10^{-3}*x-0,0687$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 2,332*10^{-3}*x-0,0423$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,796*10^{-3}*x-0,0432$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 1,651*10^{-3}*x-0,0467$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 1,778*10^{-3}*x-0,0538$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,747*10^{-3}*x-0,0551$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης στον οχετό εξαγωγής δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 2,131*10^{-3}*x-0,0516$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 70,3%.

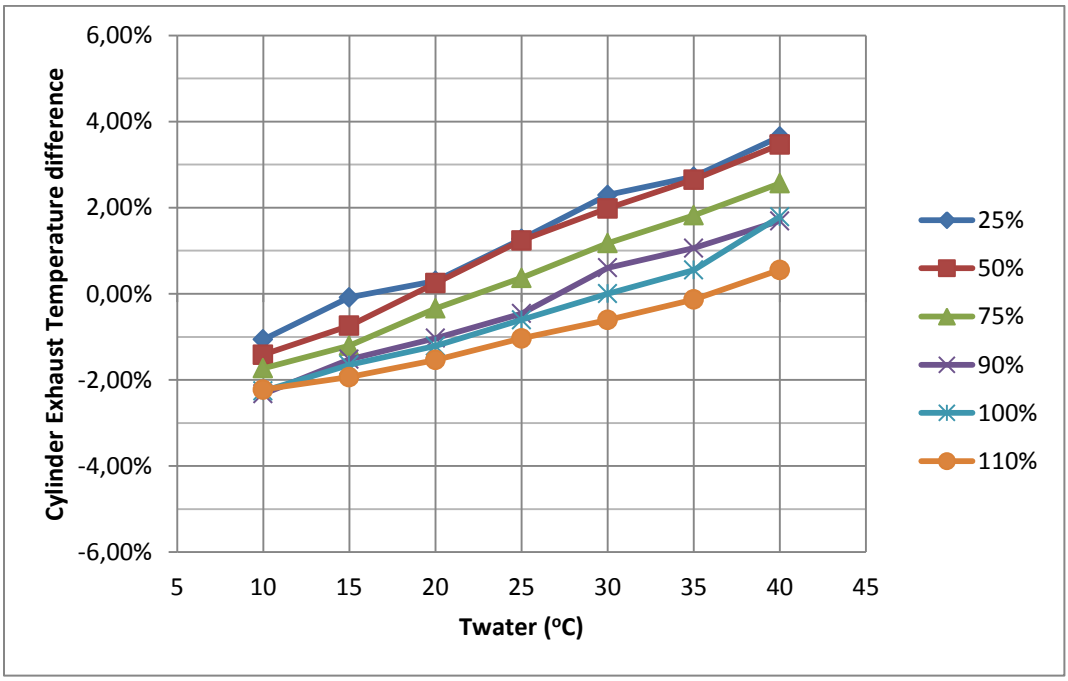


Διάγραμμα 8.12 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης στον οχετό εξαγωγής συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην έξοδο από τον κύλινδρο για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστο προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο από 98%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για κάθε φορτίο:

- Για το 25% του φορτίου, y= 1,553*x-0,0258
- Για το 50% του φορτίου, y= 1,654*x-0,0308
- Για το 75% του φορτίου, y= 1,461*x-0,0327
- Για το 90% του φορτίου, y= 1,346*x-0,0365
- Για το 100% του φορτίου, y= 1,268*x-0,0366
- Για το 110% του φορτίου, y= 0,919*x-0,0329

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 1,367*10^{-3}*x-0,0325$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 71,3%.

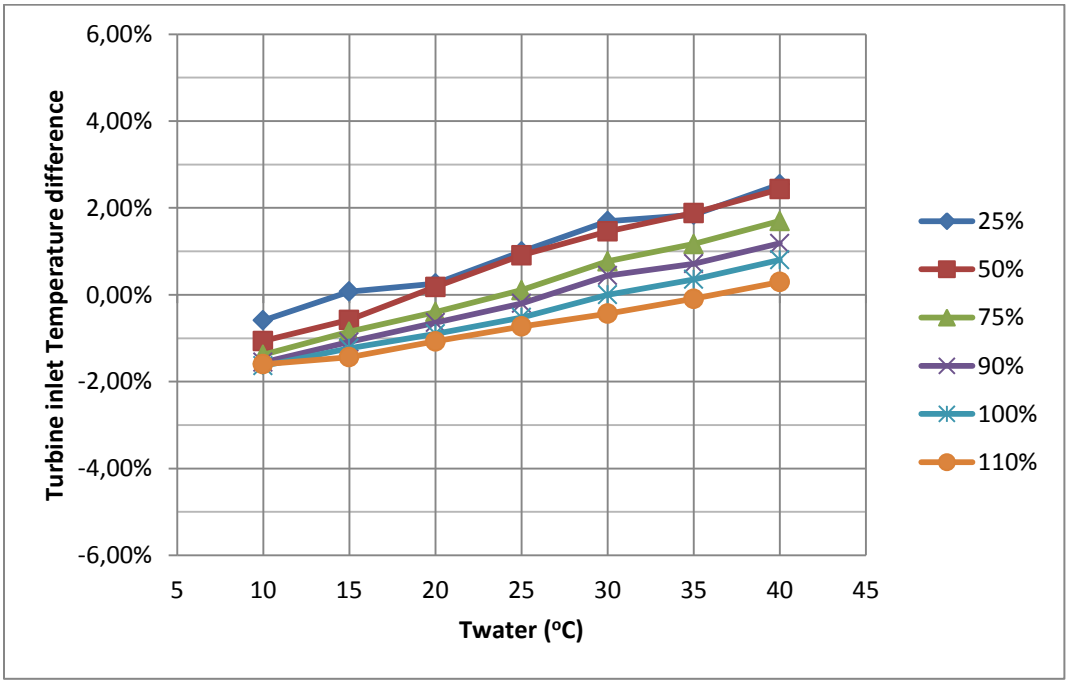


Διάγραμμα 8.13 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας στην έξοδο του κυλίνδρου συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην είσοδο του στροβίλου για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές για όλο το εύρος του φορτίου, και η προσέγγιση στις υπολογισμένες τιμές ξεπερνά το 98%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για τα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 1,026*10^{-3}*x-0,0159$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 1,192*10^{-3}*x-0,0223$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,032*10^{-3}*x-0,0242$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,922*10^{-3}*x-0,0247$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,813*10^{-3}*x-0,0248$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,644*10^{-3}*x-0,0233$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην είσοδο του στροβίλου δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 0,938*10^{-3}*x-0,0225$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 68,3%.

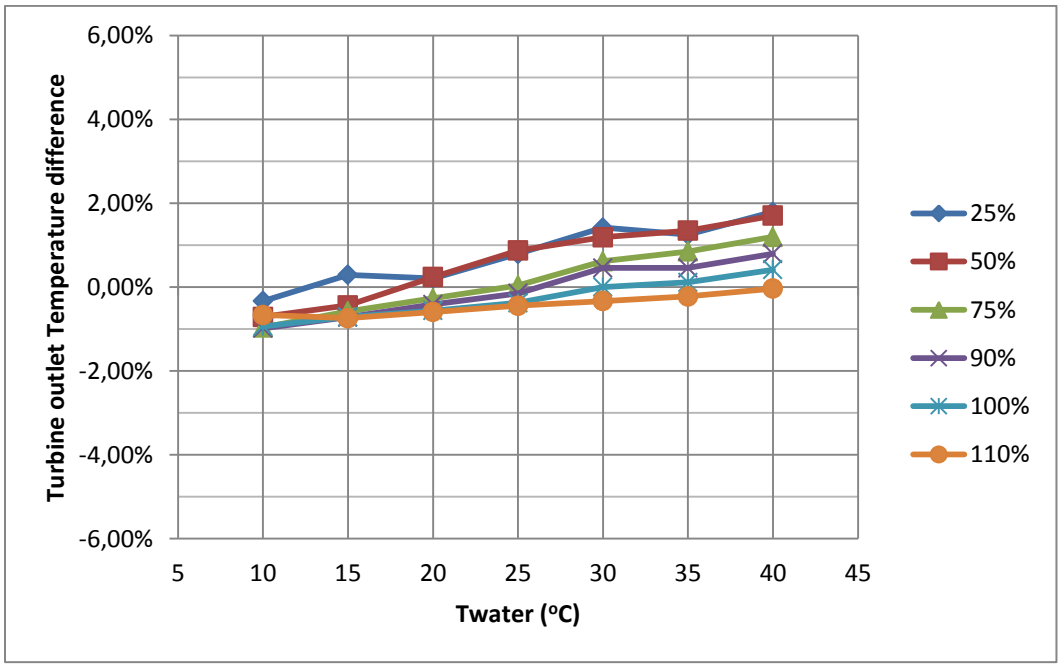


Διάγραμμα 8.14 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας στην είσοδο του στροβίλου συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.15 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου από τον στρόβιλο για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 94%. Οι γραμμές τάσεων για τα φορτία είναι οι εξής:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 0,678*10^{-3}*x-0,0092$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 0,840*10^{-3}*x-0,015$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 0,731*10^{-3}*x-0,017$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,611*10^{-3}*x-0,0161$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,447*10^{-3}*x-0,0141$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,228*10^{-3}*x-0,01$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας στην έξοδο του στροβίλου δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 0,589*10^{-3}*x-0,0136$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 59%.

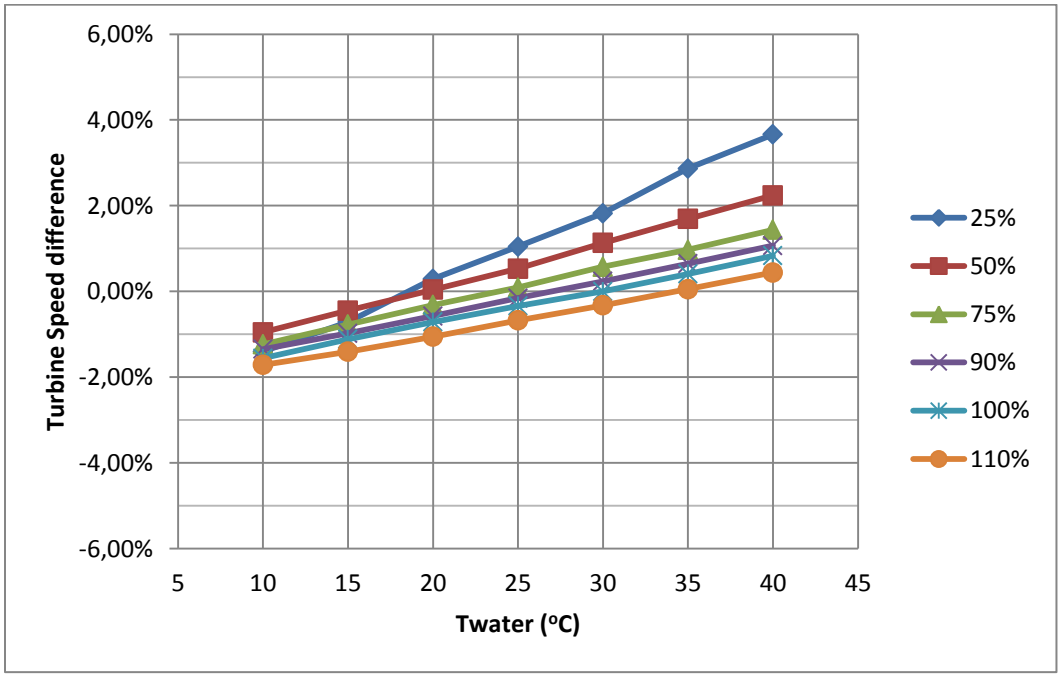


Διάγραμμα 8.15 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας στην έξοδο του στροβίλου συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.16 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές, για όλο το εύρος του φορτίου, μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές με ποσοστο προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 99,8%. Αναλυτικότερα οι γραμμές τάσεων για τα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 1,705*10^{-3}*x-0,0318$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 1,068*10^{-3}*x-0,0206$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 0,885*10^{-3}*x-0,0211$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,806*10^{-3}*x-0,0217$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,780*10^{-3}*x-0,0231$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,722*10^{-3}*x-0,0247$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 0,994*10^{-3}*x-0,0238$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 68,2%.

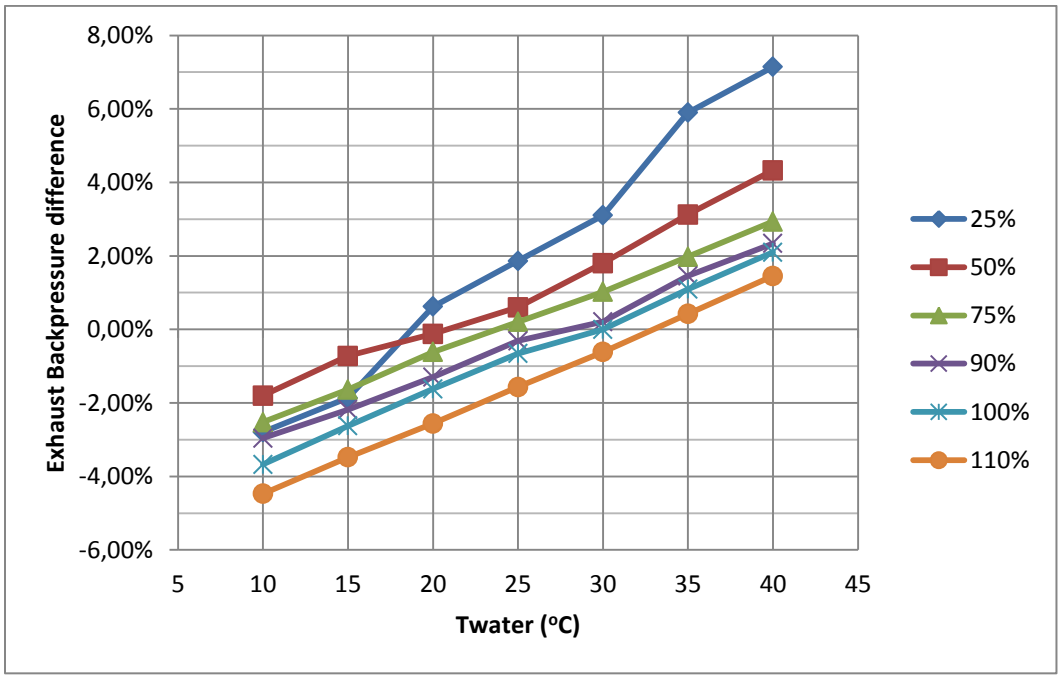


Διάγραμμα 8.16 Ποσοστιαία μεταβολή της Ταχύτητας του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.17 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης μετά τον στρόβιλο για όλα τα φορτία. Οι μεταβολές μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές για όλο το εύρος του φορτίου, με προσέγγιση στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερη του 98,5%. Οι γραμμές τάσεων για κάθε φορτία είναι οι εξής:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 3,416*10^{-3}*x-0,0654$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 2,001*10^{-3}*x-0,0397$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,803*10^{-3}*x-0,0431$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 1,762*10^{-3}*x-0,048$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 1,885*10^{-3}*x-0,0548$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,966*10^{-3}*x-0,0646$

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης μετά τον στρόβιλο δίνεται από την γραμμή τάσης: $y= 2,139*10^{-3}*x-0,0526$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 72,5%.



Διάγραμμα 8.17 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης μετά τον στρόβιλο συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 8.1 έως 8.17 μπορούμε να βγάλουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα για την επίδραση της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου του αέρα, με χρήση του προσομοιωτή :

Οι ποσοστιαίες μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα, μπορούν να θεωρηθούν γραμμικές, με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές μεγαλύτερο του 95%, με εξαίρεση κάποια φορτία της μεγίστης πίεσης καύσεως. Η κλίση των μεταβολών εξαρτάται από το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα.

Στις περισσότερες παραμέτρους η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής μειώνεται, όσο αυξάνεται το φορτίο λειτουργίας του κινητήρα. Αυτές είναι η ισχύς, η ειδική κατανάλωση καυσίμου, η πίεση σάρωσης, η θερμοκρασία σάρωσης, η θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του ψυγείου αέρα, η πτώση της πίεσης στο ψυγείο του αέρα και η ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή.

Σε κάποιες παραμέτρους η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής παρουσιάζει ορισμένες ιδιομορφίες. Όπως η παροχή αέρα και καυσαερίων, που όσο αυξάνεται το φορτίο μειώνεται, αλλα για φορτία άνω του 90% η κλίση παρουσιάζει αυξητική τάση. Το ίδιο συμβαίνει και με την πίεση στον οχετό εξαγωγής και την πίεση μετά τον στρόβιλο.

Η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολων των καυσαερίων μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο. Ωστόσο από το 25% στο 50% του φορτίου η κλίση εμφανίζει αυξητική τάση.

Στις πιέσεις συμπιέσεως και καύσεως η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής εμφανίζει αυξήτική τάση όταν ο κινητήρας εργάζεται σε υψηλοτέρα φορτία.

Τέλος η κλίση της πτώσης της πίεσης στο φίλτρο του αέρα παρουσιάζει αυξήτική τάση, όσο αυξάνεται το φορτίο λειουργίας εκτός από όταν γίνεται μετάβαση από το 50% στο 75% του φορτίου.

Στο παρακάτω πίνακα φαίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα για το κάθε φορτίο, για αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου κατά 5 ^{o}C

Load (%)	**Power** (kw)	**P_{firing}** (bar)	**$P_{compression}$** (bar)	**Bsfc** (g/kwh)		**Air flow** (g/kwh)
25	-0,44%	-0,06%	0,13%	0,45%		1,28%
50	-0,33%	0,05%	0,27%	0,34%		0,91%
75	-0,28%	0,08%	0,28%	0,29%		0,82%
90	-0,28%	0,08%	0,35%	0,28%		0,81%
100	-0,25%	0,18%	0,44%	0,25%		0,83%
110	-0,25%	0,30%	0,66%	0,26%		0,85%

Load (%)	**$P_{scavenge}$** (bar)	**$T_{scavevge}$** (^oC)	**A/C:$T_{air.in}$** (^oC)	**A/C:Pressure drop** (mmW)	**Air filter Pressure Drop** (mmW)	**Exhaust flow** (g/kwh)
25	2,08%	35,47%	0,97%	1,18%	0,00%	1,27%
50	1,45%	23,76%	0,89%	0,58%	1,27%	0,90%
75	1,15%	18,81%	0,70%	0,41%	1,40%	0,80%
90	1,06%	18,45%	0,63%	0,33%	1,36%	0,80%
100	1,05%	19,57%	0,60%	0,31%	1,50%	0,82%
110	1,00%	21,82%	0,54%	0,27%	1,51%	0,85%
Load (%)	**$P_{manifold}$** (bar)	**$T_{cylinder}$** (^oC)	**$T_{turbine.in}$** (^oC)	**$T_{turbine.out}$** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)	**P_{back}** (mmW)
25	1,72%	0,79%	0,52%	0,35%	0,85%	1,67%
50	1,20%	0,82%	0,58%	0,40%	0,53%	1,03%
75	0,91%	0,72%	0,52%	0,36%	0,45%	0,92%
90	0,80%	0,68%	0,46%	0,30%	0,41%	0,90%
100	0,91%	0,68%	0,41%	0,23%	0,40%	0,99%
110	0,87%	0,47%	0,32%	0,11%	0,36%	1,02%

Πίνακας 8.9 Ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων για αύξηση 5^oC της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα

8.3 Διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα με χρήση των συσχετίσεων

Στην παράγραφο αυτή θα διεξαχθεί διερεύνηση της επίδρασης της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου του αέρα στις παραμέτρους του κινητήρα, με βάση τις συσχετίσεις που δόθηκαν από τον κατασκευαστικό και αναλύθηκαν στο κεφαλαίο 3. Προς υπενθύμιση οι σχέσεις αυτές είναι:

Για την πίεση

$$P_{ref}= P_{meas}*(corrector+1)+corrector$$

Και ο corrector έχει τις τιμές

- Για την πίεσης καύσης corrector= ΔT_{water}*0.00081
- Για την πίεση συμπίεσης corrector= ΔT_{water}*0.00153
- Για την πίεση σάρωσης corrector= ΔT_{water}*0.00222

Για τις θερμοκρασίες καυσαερίων

T_{ref}= T_{meas}*(corrector+1)+corrector*273,15

Και ο corrector έχει τις τιμές

- Για την έξοδο του κυλίνδρου corrector= ΔT_{water}*0.00059
- Για την είσοδο στο στρόβιλο corrector= ΔT_{water}*0.00059
- Για την έξοδο από το στρόβιλο corrector= ΔT_{water}*0.00018

Για την ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοπληρωτή

n_{ref}= n_{meas}*corrector

και ο corrector έχει την τιμή

$$\sqrt{[\frac{(\Delta Twater * 0.00222 + 1) * Pscav.meas + \Delta Twater * 0.00222}{Pscav.meas}]}$$

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις υπολογίσαμε ποιες θα ήταν οι τιμές των παραμέτρων (δηλαδή οι μετρημένες) όταν ως reference έχουμε τις εργοστασιακές δοκιμές. Ακολουθούν πίνακες για τη διερεύνηση της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου από 10 ^{o}C έως 40 ^{o}C ανά 5 ^{o}C για τα αντίστοιχα φορτία.

Για το 25% του φορτίου με $T_{ambient}$=25 ^{o}C και $P_{ambient}$=1021 mbar

Twater (^{o}C)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^{o}C)	**Ttur.in** (^{o}C)	**Ttur.out** (^{o}C)	**Turbine speed** (rpm)
10	74,51	47,41	0,38	271,23	294,32	231,27	4012,74
15	74,82	47,78	0,39	272,83	295,99	231,73	4092,22
20	75,12	48,15	0,41	274,45	297,67	232,18	4171,90
25	75,43	48,53	0,42	276,07	299,36	232,64	4251,81
30	75,75	48,92	0,44	277,70	301,07	233,09	4332,00
35	76,06	49,31	0,45	279,34	302,78	233,55	4412,52
40	76,38	49,71	0,47	280,99	304,50	234,01	4493,41

Πίνακας 8.10 Για το 25% του φορτίου

Για το 50% του φορτίου με $T_{ambient}$=25,8 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

Twater (^oC)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
10	104,43	72,98	1,05	299,66	349,69	259,14	6716,38
15	104,86	73,54	1,07	301,34	351,53	259,62	6787,51
20	105,29	74,11	1,09	303,04	353,37	260,10	6859,45
25	105,72	74,69	1,12	304,75	355,22	260,58	6932,23
30	106,15	75,28	1,14	306,46	357,09	261,06	7005,86
35	106,59	75,88	1,17	308,19	358,97	261,54	7080,38
40	107,04	76,49	1,19	309,92	360,86	262,02	7155,81

Πίνακας 8.11 Για το 50% του φορτίου

Για το 75% του φορτίου με $T_{ambient}$=26,5 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

Twater (^oC)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
10	133,53	106,58	1,94	306,39	357,97	228,78	8473,49
15	134,07	107,39	1,97	308,09	359,83	229,23	8542,51
20	134,62	108,22	2,01	309,80	361,69	229,68	8612,46
25	135,17	109,05	2,04	311,52	363,56	230,14	8683,38
30	135,72	109,90	2,07	313,25	365,45	230,59	8755,28
35	136,28	110,77	2,11	314,99	367,35	231,04	8828,20
40	136,84	111,64	2,14	316,74	369,25	231,50	8902,17

Πίνακας 8.12 Για το 75% του φορτίου

Για το 90% του φορτίου με $T_{ambient}$=27 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

Twater (^oC)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
10	143,71	122,29	2,41	328,17	381,43	225,47	9138,39
15	144,29	123,22	2,45	329,93	383,35	225,92	9207,40
20	144,87	124,16	2,49	331,70	385,28	226,37	9277,37
25	145,46	125,11	2,52	333,48	387,22	226,82	9348,33
30	146,06	126,08	2,56	335,28	389,17	227,27	9420,31
35	146,66	127,07	2,60	337,08	391,14	227,72	9493,34
40	147,26	128,07	2,64	338,89	393,11	228,17	9567,45

Πίνακας 8.13 Για το 90% του φορτίου

Για το 100% του φορτίου με $T_{ambient}$=27 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

Twater (^oC)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
10	147,79	133,10	2,66	346,89	402,03	238,16	9490,90
15	148,38	134,10	2,70	348,70	404,01	238,62	9560,18
20	148,99	135,12	2,74	350,52	405,99	239,08	9630,44
25	149,59	136,15	2,78	352,36	407,99	239,54	9701,71
30	150,2	137,2	2,82	354,2	410	240	9774
35	150,81	138,27	2,86	356,06	412,02	240,46	9847,35
40	151,43	139,35	2,91	357,92	414,05	240,93	9921,80

Πίνακας 8.14 Για το 100% του φορτίου

Για το 110% του φορτίου με $T_{ambient}$=28 ^oC και $P_{ambient}$=1021 mbar

Twater (^oC)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
10	152,38	140,22	2,90	366,14	430,25	253,77	9843,51
15	152,99	141,27	2,94	368,00	432,30	254,24	9913,23
20	153,61	142,34	2,98	369,88	434,36	254,72	9983,94
25	154,23	143,42	3,02	371,77	436,44	255,19	10055,66
30	154,86	144,52	3,07	373,66	438,53	255,67	10128,43
35	155,49	145,64	3,11	375,57	440,63	256,14	10202,26
40	156,13	146,77	3,16	377,49	442,75	256,62	10277,20

Πίνακας 8.15 Για το 110% του φορτίου

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι μετρήσεις από τις εργοστασιακές δοκιμές:

Load (%)	**Pfire** (bar)	**Pcom** (bar)	**Pscav** (bar)	**Tcyl** (^oC)	**Ttur.in** (^oC)	**Ttur.out** (^oC)	**Turbine speed** (rpm)
25	75	48	0,4	273,8	297	232	4140
50	105,2	74	1,09	302,7	353	260	6845
75	135	108,8	2,03	311	363	230	8662
90	145,7	125,5	2,54	334,2	388	227	9377
100	150,2	137,2	2,82	354,2	410	240	9774
110	155,3	145,3	3,1	375	440	256	10180

Πίνακας 8.16 Εργοστασιακές δοκιμές

Ακολουθούν διαγράμματα που δείχνουν την επί τοις εκατό μεταβολή των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου, από τη διερεύνηση που προηγήθηκε, με αναφορά τις τιμές των παραμέτρων από τις εργοστασιακές δοκιμές.

Επίσης αναλύοντας περαιτέρω τις συσχετίσεις που παρουσιάσθηκαν στην αρχή της παραγράφου 8.3, για όλο το εύρος του φορτίου, βρέθηκε η τελική μορφή της ευθείας που εκφράζει τη μεταβολή των παραμέτρων, στη μορφή: "y= A*x+B" όπου ο συντελεστής «A» καθορίζει την κλίση της ευθείας και ο σταθερός όρος «B» προσδιορίζει το σημείο στο οποίο η ευθεία τέμνει τον άξονα των τεταγμένων. Ως «χ» ορίζεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου (σε ^{o}C) για την οποία θα υπολογιστεί η μεταβολή. Ο αριθμός «y» που θα βρεθεί, πολλαπλασιάζεται με 100% και δίνει τη ποσοστιαία μεταβολή της παραμέτρου από το σημείο αναφοράς.

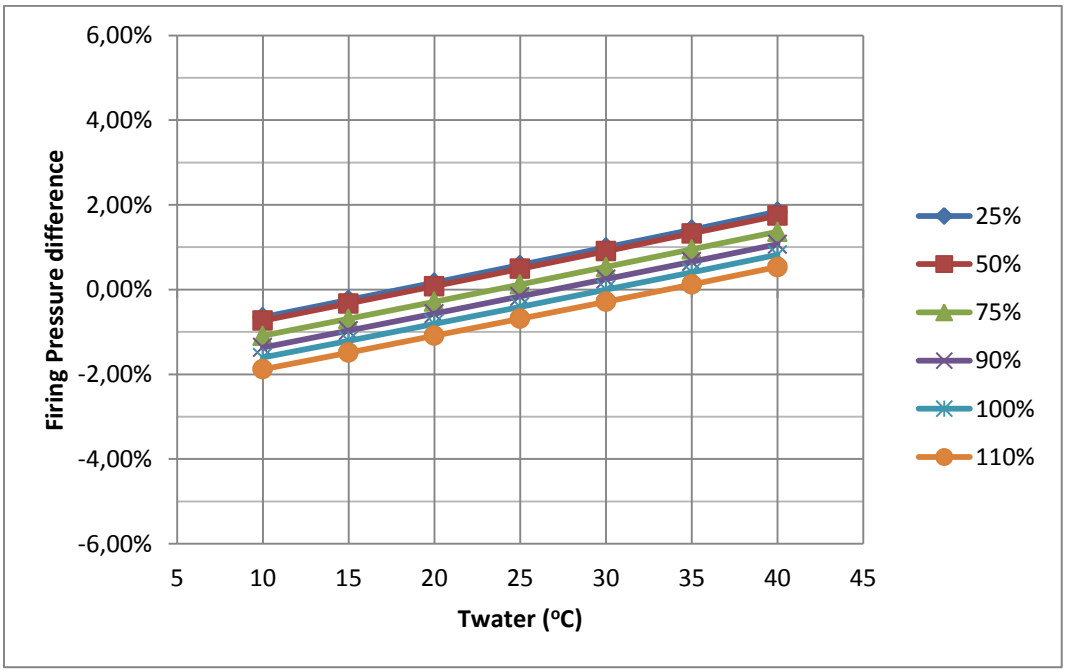
Επομένως για να βρεθεί η τιμή της παραμέτρου στην θερμοκρασία νερού στην είσοδο του ψυγείου του αέρα, που έχει ορισθεί ως θερμοκρασία αναφοράς, χρησιμοποιείται η σχέση: $A_{corrector}=A_{measurement} / (1+y)$,
όπου $A_{corrector}$ είναι η τιμή της παραμέτρου στην θερμοκρασία αναφοράς και $A_{measurement}$ η τιμή της παραμέτρου στις διάφορες θερμοκρασίες του νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα. Ο συντελεστής "y" όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι η μεταβολή της παραμέτρου στις αντίστοιχες θερμοκρασίες νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα.

Επίσης βρέθηκε και η μέση συσχέτιση για την μεταβολή των παραμέτρων του κινητήρα, η οποία όμως έχει μικρότερο ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές, λόγω το ότι κάθε φορτίο έχει διαφορετική θερμοκρασία αναφοράς.

Στο διάγραμμα 8.18 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσεως για κάθε φορτίο. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 0,817*10^{-3}*x-0,0149$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 0,817*10^{-3}*x-0,0156$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 0,817*10^{-3}*x-0,0192$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,817*10^{-3}*x-0,0219$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,817*10^{-3}*x-0,0242$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,817*10^{-3}*x-0,0269$

Η κλίση των μεταβολών είναι ίση για όλα τα φορτία, αλλά αλλάζει το σημείο το οποίο τέμνει τον άξονα των τεταγμένων. Η μέση συσχέτιση προσεγγίζει τις υπολογισμένες τιμές σε ποσοστό 76,1% και η εξίσωση της είναι:
$y= 0,817*10^{-3}*x-0,0205$.

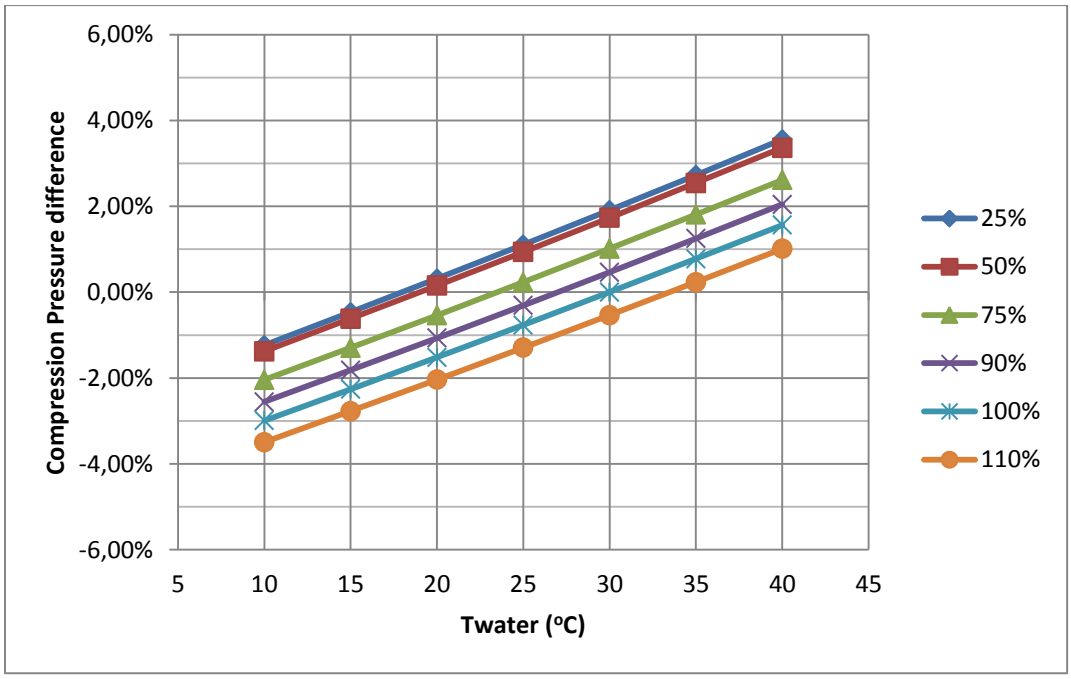


Διάγραμμα 8.18 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης καύσεως συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.19 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 1,547*10^{-3}*x-0,0286$
- Για το 50% του φορτίου, $y=1,547*10^{-3}*x-0,0299$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,547*10^{-3}*x-0,0362$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 1,547*10^{-3}*x-0,0412$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 1,547*10^{-3}*x-0,0454$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,547*10^{-3}*x-0,0502$

Η κλίση των μεταβολών της πίεσης συμπιέσεως είναι σχεδόν ίση για όλα τα φορτία. Η μέση συσχέτιση εκφράζεται από την εξίσωση: $y= 1,547*10^{-3}*x-0,0502$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 76%.



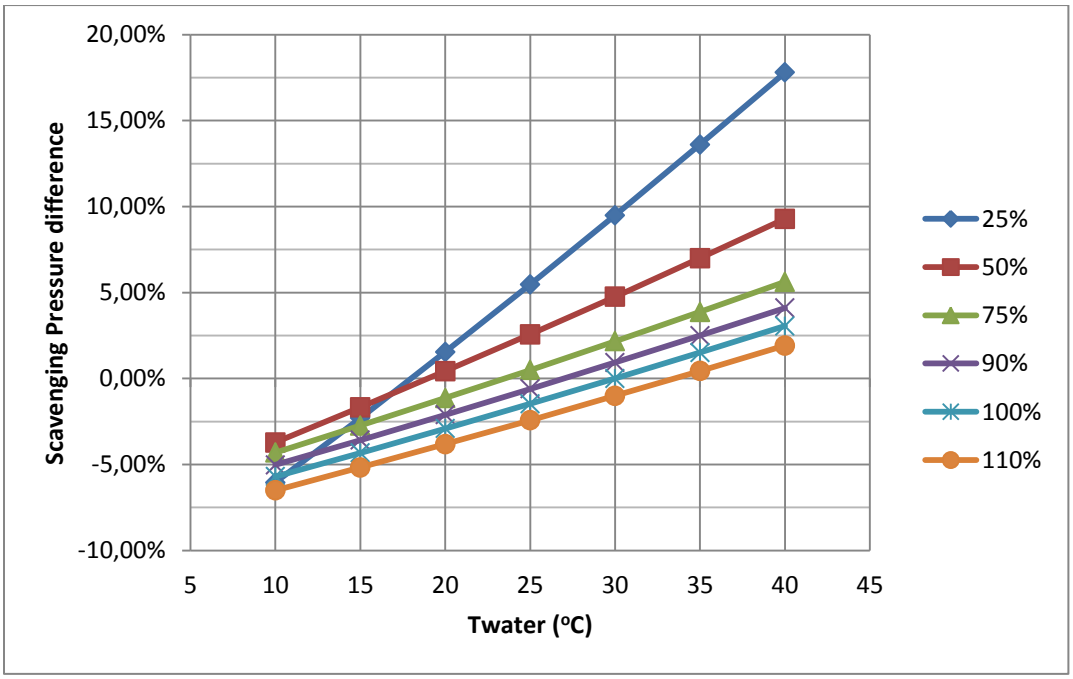
Διάγραμμα 8.19 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης συμπιέσεως συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο παρακάτω διάγραμμα 8.20 απεικονίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης για κάθε φορτίο. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 7,949*10^{-3}*x-0,1422$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 4,336*10^{-3}*x-0,0818$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 3,308*10^{-3}*x-0,077$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 3,042*10^{-3}*x-0,0815$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 2,918*10^{-3}*x-0,0871$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 2,806*10^{-3}*x-0,0938$

Η κλίση των μεταβολών της πίεσης σάρωσης, παρατηρείται ότι δεν είναι ίση για όλα τα φορτία, όπως είχε συμβεί στην πίεση καύσεως και συμπιέσεως. Αυτό οφείλεται στη μικρή τιμή της πίεσης σάρωσης σε σχέση με τις τιμές της πίεσης καύσης και συμπίεσης. Όσο αυξάνεται το φορτίο μειώνεται η κλίση των μεταβολών, και στα υψηλά φορτία η διαφορά κλίσης είναι ελάχιστη.

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης δίνεται από την εξίσωση: $y= 4,06*10^{-3}*x+0,0939$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 61%.

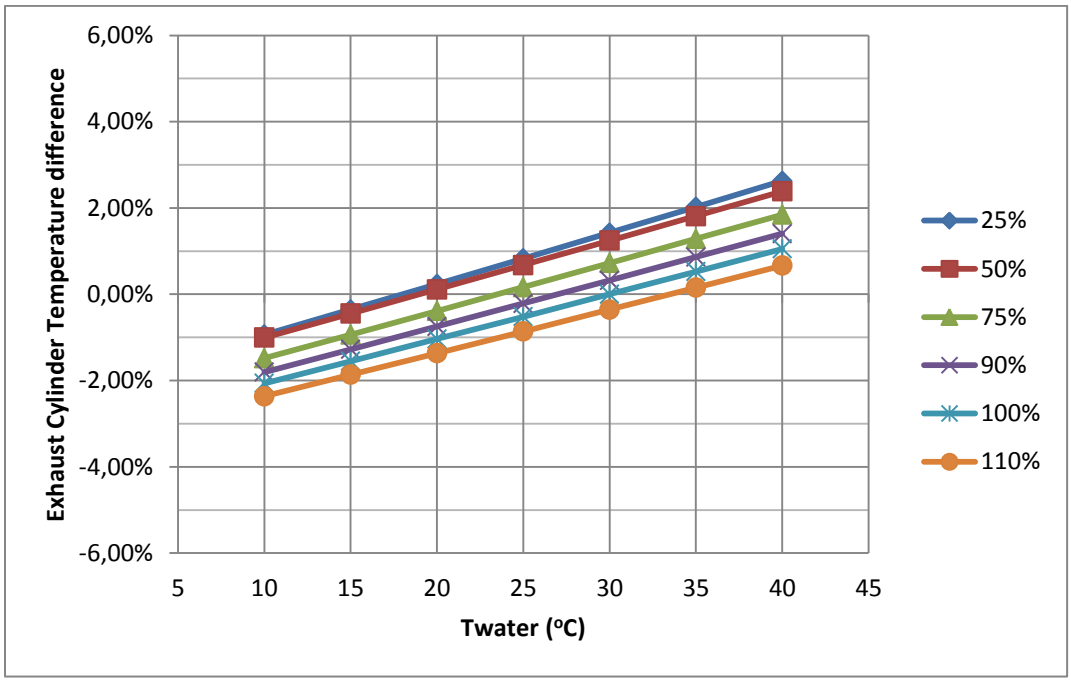


Διάγραμμα 8.20 Ποσοστιαία μεταβολή της Πίεσης σάρωσης συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.21 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου για κάθε φορτίο. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 1,188*10^{-3}*x-0,0214$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 1,130*10^{-3}*x-0,0214$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,110*10^{-3}*x-0,026$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 1,069*10^{-3}*x-0,0288$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 1,039*10^{-3}*x-0,0311$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,009*10^{-3}*x-0,0338$

Οι κλίσεις των καμπυλών μειώνονται ελάχιστα καθώς αυξάνεται το φορτίο. Συνεπώς μπορεί να δοθεί μέση συσχέτιση η οποία προσεγγίζει τις υπολογισμένες τιμές σε ποσοστό 76% και εκφράζεται από την εξίσωση $y= 1,091*10^{-3}*x-0,0271$.

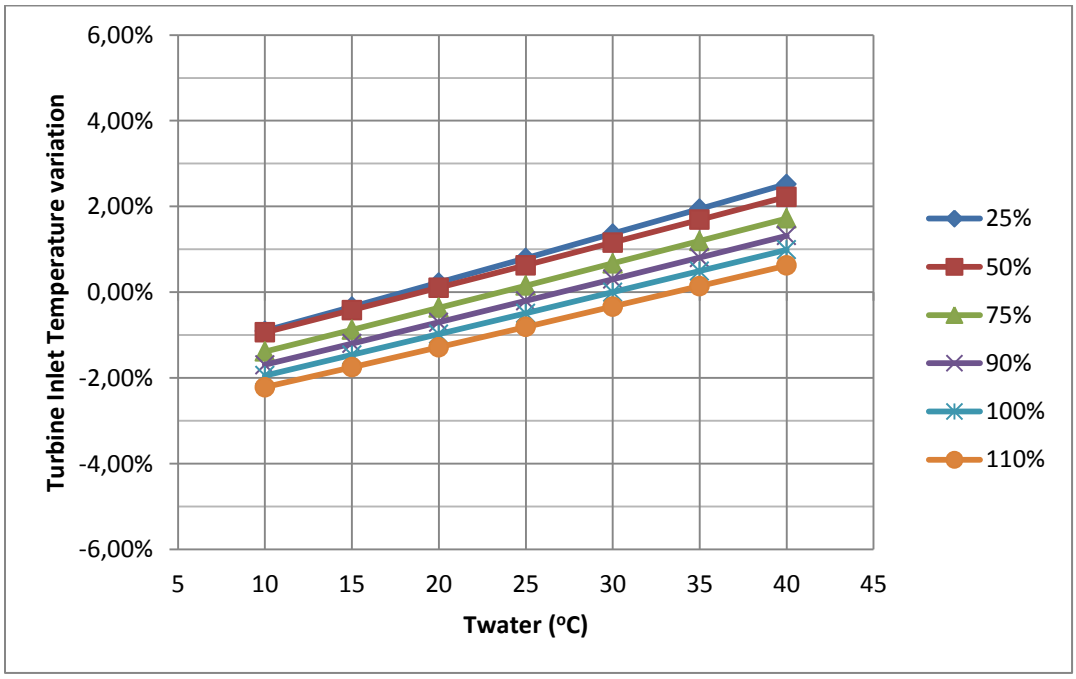


Διάγραμμα 8.21 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εξόδου από τον κύλινδρο συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο επόμενο διάγραμμα 8.22 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου για όλο το εύρος του φορτίου. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 1,142*10^{-3}*x-0,0205$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 1,054*10^{-3}*x-0,02$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,036*10^{-3}*x-0,0243$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 1,003*10^{-3}*x-0,027$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,977*10^{-3}*x-0,0293$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,947*10^{-3}*x-0,0317$

Αντίστοιχα με την θερμοκρασία στην έξοδο του κυλίνδρου, και εδώ η κλίση μειώνεται ελάχιστα καθώς αυξάνεται το φορτίο. Η μέση συσχέτιση της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου είναι: $y= 1,026*10^{-3}*x-0,0255$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 75,9%.

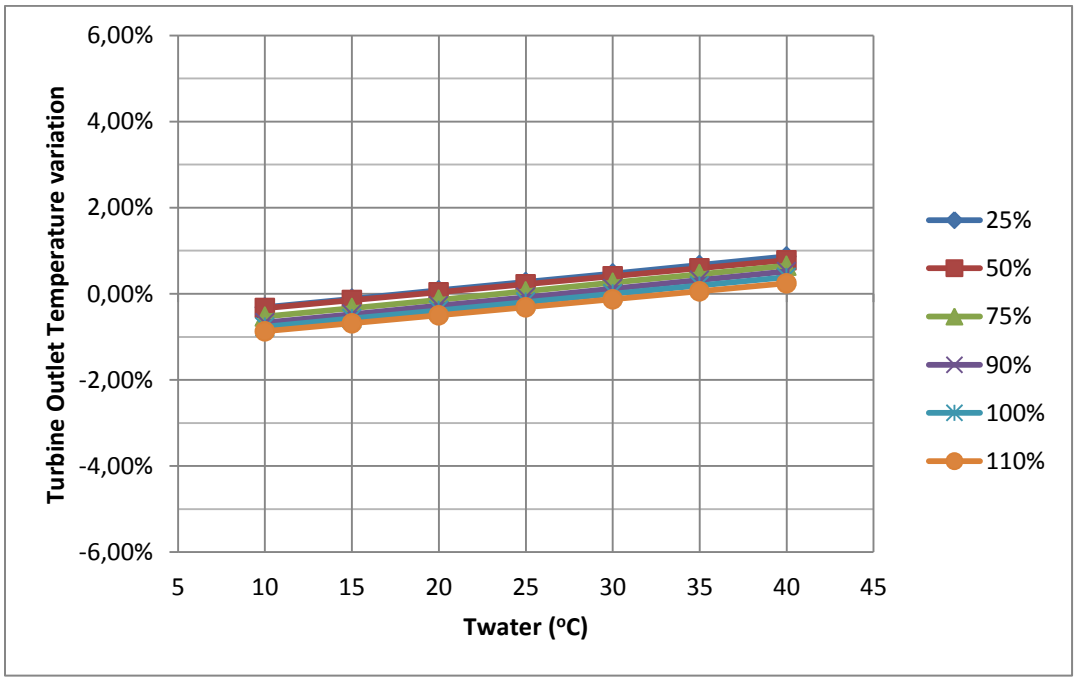


Διάγραμμα 8.22 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εισόδου στο στρόβιλο συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.23 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου για όλα τα φορτία. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 0,385*10^{-3}*x-0,0071$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 0,385*10^{-3}*x-0,007$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 0,385*10^{-3}*x-0,0093$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 0,385*10^{-3}*x-0,0107$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 0,385*10^{-3}*x-0,0115$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 0,385*10^{-3}*x-0,0124$

Η κλίση των μεταβολών της θερμοκρασίας εξόδου από το στρόβιλο είναι ίσες για όλα τα φορτία. Η μέση συσχέτιση προσεγγίζει σε ποσοστό 77% τις υπολογισμένες τιμές και εκφράζεται από την εξίσωση: $y= 0,385*10^{-3}*x-0,0097$.



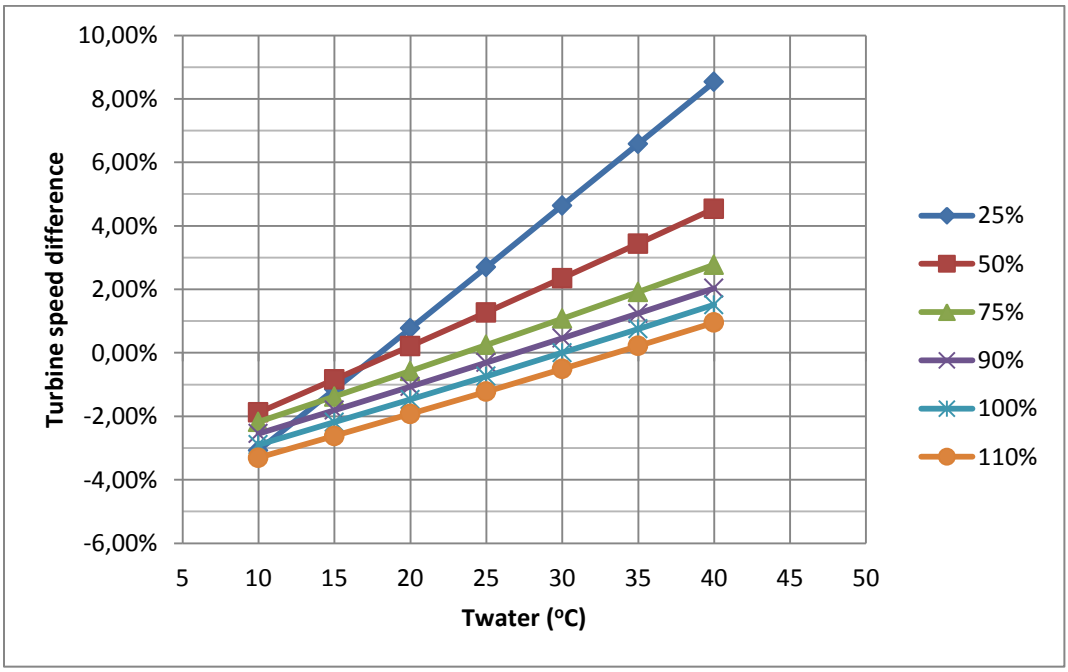
Διάγραμμα 8.23 Ποσοστιαία μεταβολή της Θερμοκρασίας εξόδου από τον στρόβιλο συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Στο διάγραμμα 8.24 δίνεται η ποσοστιαία μεταβολή ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή για κάθε φορτίο. Οι γραμμές τάσης που δείχνουν τις μεταβολές στα αντίστοιχα φορτία είναι:

- Για το 25% του φορτίου, $y= 3,869*10^{-3}*x-0,0696$
- Για το 50% του φορτίου, $y= 2,139*10^{-3}*x-0,0405$
- Για το 75% του φορτίου, $y= 1,649*10^{-3}*x-0,0385$
- Για το 90% του φορτίου, $y= 1,525*10^{-3}*x-0,041$
- Για το 100% του φορτίου, $y= 1,469*10^{-3}*x-0,0439$
- Για το 110% του φορτίου, $y= 1,419*10^{-3}*x-0,0475$

Η κλίση των μεταβολών της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή, παρατηρείται ότι δεν είναι ίση για όλα τα φορτία. Όσο αυξάνεται το φορτίο μειώνεται η κλίση των μεταβολών, και στα υψηλά φορτία η διαφορά της είναι ελάχιστη. Αυτό οφείλεται στο ότι για την διόρθωση της στην θερμοκρασία αναφοράς του νερού στην είσοδο του ψυγείου που έχει οριστεί, υπεισέρχεται και η πίεση σάρωσης, που και αυτή δεν έχει ίση κλίση για όλα τα φορτία, όπως σχολιάστηκε παραπάνω.

Η μέση συσχέτιση για την ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή δίνεται από την εξίσωση: $y= 2,012*10^{-3}*x-0,0468$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 61,9%. Επειδή η κλίση της ευθείας για το 25% του φορτίου είναι σχεδόν διπλάσια από το 50% του φορτίου και μεγαλύτερη για τα υπόλοιπα φορτία, η γραμμή τάσης για φορτία άνω του 50% διαμορφώνεται ως εξής: $y= 1,641*10^{-3}*x-0,0423$ με ποσοστό προσέγγισης στις υπολογισμένες τιμές 76,9%.



Διάγραμμα 8.24 Ποσοστιαία μεταβολή της Ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει της Θερμοκρασίας του νερού

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 8.18 έως 8.24, που δείχνουν τη μεταβολή κάποιων παραμέτρων του κινητήρα με χρήση των συσχετίσεων, μπορούμε να βγάλουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα για την επίδραση της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου:

- Για την μεγίστη πίεση καύσης βλέπουμε ότι οι ευθείες των φορτίων έχουν σχεδόν την ίδια κλίση. Δεν ταυτίζονται όπως στο αντίστοιχο διάγραμμα για την επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος, λόγω ότι κάθε φορτίο έχει διαφορετική θερμοκρασία αναφοράς νερού στην είσοδο του ψυγείου, ενώ στην πίεση ήταν η ίδια 1021mbar. Για αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου κατά 5 ^{o}C, η πίεση καύσης αυξάνεται κατά 0,41% περίπου
- Για την πίεση συμπίεσης, αντίστοιχα με την πίεση καύσης, οι ευθείες των φορτίων έχουν την ίδια κλίση. Η πίεση συμπίεσης αυξάνεται κατά 0,79% για όλο το εύρος των φορτίων, όταν η πίεση της ατμόσφαιρας αυξάνεται κατά 200mbar
- Η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών της πίεσης σάρωσης εμφανίζει μειωτική τάση με την αύξηση του φορτίου. Η πίεση σάρωσης στο 25% του φορτίου, για αύξηση της θερμοκρασίας νερού κατά 5 ^{o}C, αυξάνεται περίπου κατά 4,08%. Για φορτίο 50% η αύξηση της πίεσης σάρωσης είναι περίπου 2,21% ενώ στα υπόλοιπα φορτία αυξάνεται περίπου 1,5% για αύξηση της θερμοκρασίας νερού 5 ^{o}C
- Στην θερμοκρασία στην έξοδο των κυλίνδρων η κλίση των μεταβολών εμφανίζει ελαφρώς μειωτική τάση με την αύξηση του φορτίου. Επομένως, στο 25% του φορτίου αυξάνεται περίπου 0,6%, για αύξηση της θερμοκρασίας νερού κατά 5 ^{o}C. Στο 50% του φορτίου η αύξηση είναι περίπου 0,56%. Στα υπόλοιπα φορτία, για αύξηση της θερμοκρασίας νερού κατά 5 ^{o}C, αυξάνεται η θερμοκρασία μετά το κύλινδρο αυξάνεται κατά 0,6%
- Αντίστοιχα με την θερμοκρασία στην έξοδο του κυλίνδρου, έτσι και η κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου εμφανίζει αρνητική τάση με την αύξηση του φορτίου. Η θερμοκρασία στην είσοδο του στροβίλου αυξάνεται κατά 0,57%, για αύξηση της θερμοκρασίας νερού κατά 5 ^{o}C, στο 25% του φορτίου. Στο 110% του φορτίου η αύξηση είναι 0,48% και στα υπόλοιπα φορτία η αύξηση κυμαίνεται από 0,5% έως 0,53%
- Η κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου παραμένει σταθερή σε όλο το εύρος του φορτίου. Η θερμοκρασία στην έξοδο του στροβίλου αυξάνεται κατά 0,2%, όταν η θερμοκρασία νερού αυξάνεται 5 ^{o}C
- Η κλίση των μεταβολών της ταχύτητας του υπερπληρωτή μειώνεται όσο αυξάνεται το φορτίο του κινητήρα. Για το 25% του φορτίου αυξάνεται κατά 1,97%, για αύξηση της θερμοκρασίας νερού κατά 5 ^{o}C. Στο 50% του φορτίου η αύξηση είναι 1,09% και στα υπόλοιπα φορτία η αύξηση είναι περίπου 0,78% για αύξηση της θερμοκρασίας νερού κατά 5 ^{o}C

Κεφάλαιο 9

Σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τα αποτελέσματα των συσχετίσεων

9.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθεί η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη λειτουργική συμπεριφορά ναυτικών κινητήρων diesel με χρήση προσομοίωσης και συσχετίσεων. Στόχος της είναι να διερευνηθεί αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί προσομοίωση, διότι σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχουν συσχετίσεις από τους κατασκευαστές.

Γι αυτό το λόγο θα ακολουθήσει σύγκριση των μέσων ποσοστιαίων μεταβολών που προβλέπονται από το λογισμικό προσομοίωσης, με τις μέσες ποσοστιαίες μεταβολές που υπολογίσθηκαν από τις συσχετίσεις του κατασκευαστικού οίκου. Η σύγκριση θα γίνει μέσω των μέσων συσχετίσεων όπως υπολογίσθηκαν στα κεφάλαια 6,7 και 8. Οι παράμετροι που θα συγκριθούν είναι οι ακόλουθοι:

- Μεγίστη πίεση καύσεως (bar)
- Πίεση συμπιέσεως (bar)
- Πίεση σαρώσεως (bar)
- Θερμοκρασία στην έξοδο του κυλίνδρου (^oC)
- Θερμοκρασία στην είσοδο του στροβίλου (^oC)
- Θερμοκρασία στην έξοδο του στροβίλου (^oC)
- Ταχύτητα του στροβιλοπληρωτή (rpm)

Θα συγκριθούν μόνο αυτοί οι παράμετροι, επειδή γι αυτές έχουν δοθεί συσχετίσεις από την κατασκευάστρια εταιρεία. Να θυμίσουμε ότι δίνεται και η συσχέτιση της παροχής του αέρα αναρροφήσεως, για την οποία όμως δεν έχουμε τις τιμές της στις εργοστασιακές δοκιμές.

Η σύγκριση θα γίνει σε τρεις διαφορετικές παραγράφους, όσοι είναι και παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στη λειτουργική συμπεριφορά ενός κινητήρα diesel, και αυτοί είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η πίεση περιβάλλοντος και η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου.

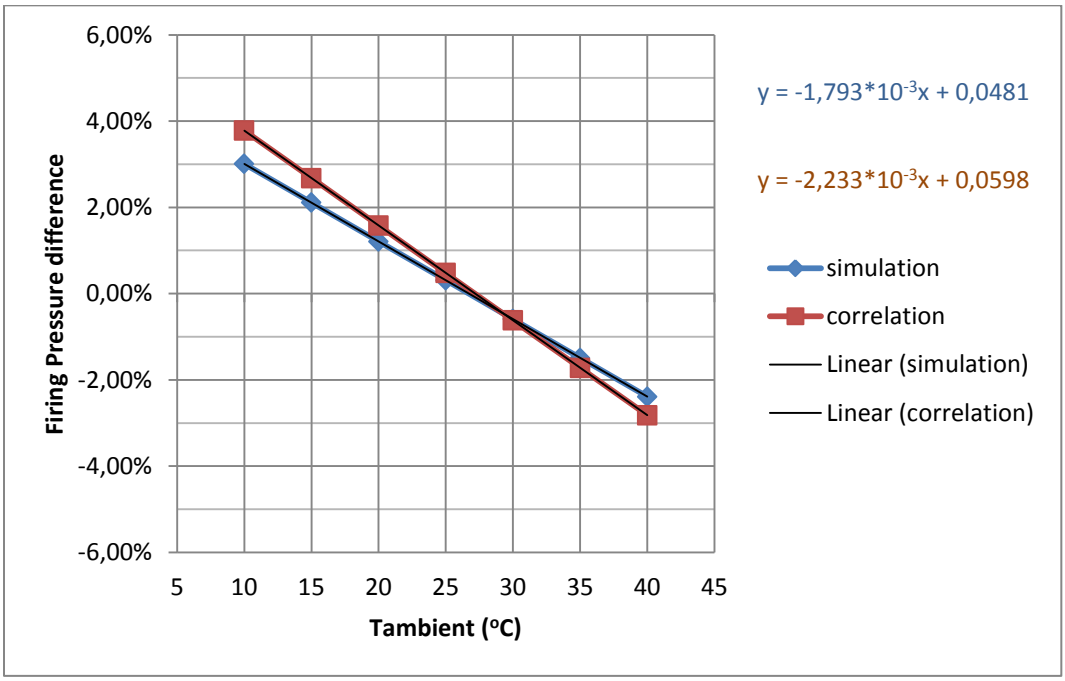
Από τα παρακάτω προκύπτει το συμπέρασμα, ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για να μελετηθεί πως μεταβάλλονται οι λειτουργικοί παράμετροι του κινητήρα όταν μεταβάλλονται οι περιβαλλοντικές συνθήκες.

9.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων υπό την επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης καύσεως. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τη χρήση του προσομοιωτή είναι $y=-1,793*10^{-3}*x+0,0481$ και από την χρήση των συσχετίσεων $y=-2,233*10^{-3}*x+0,0598$. Το λογισμικό υποεκτιμά την κλίση της μέσης ποσοστιαίας μεταβολής κατά 19,7% και το σημείο που τέμνει τον άξονα των τεταγμένων κατά 19,6%. Η διαφορά είναι ελάχιστη και φτάνει έως 1,5bar.

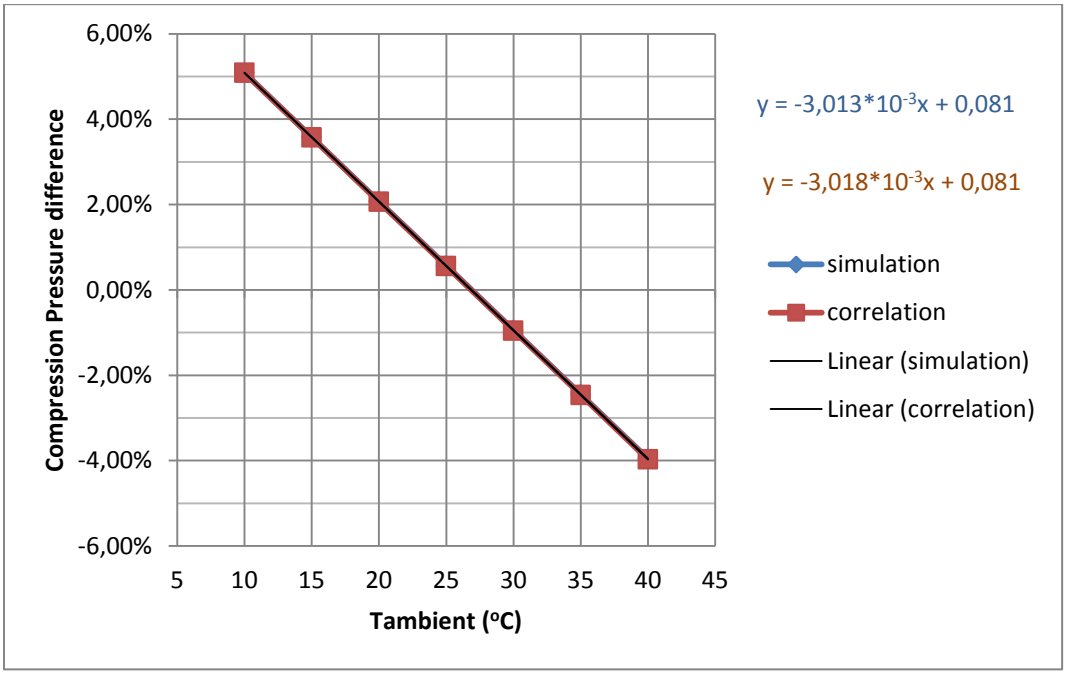
Για να γίνει πιο κατανοητή η διαφορά παρατίθεται ένα παράδειγμα: θεωρείται πίεση καύσης αναφοράς ίση με 150bar.Η τιμή που προβλέπει η μέση συσχέτιση του προσομοιωτή για θερμοκρασία περιβάλλοντος $10^{o}C$ είναι 154,5bar, και η τιμή που υπολογίζεται από τη μέση συσχέτιση των συσχετίσεων είναι 155,6bar. Η διαφορά του είναι 1,1bar η οποία και θεωρείται αμελητέα.

Κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για τον υπολογισμό της μεγίστης πίεσης καύσεως.



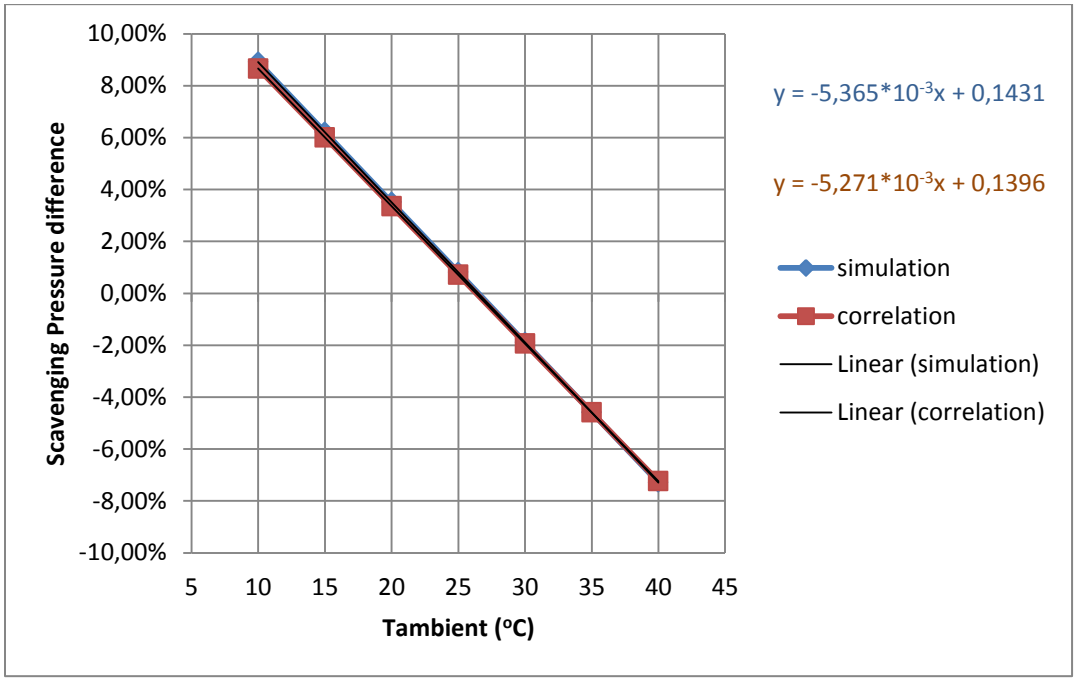
Διάγραμμα 9.2.1 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της μεγίστης Πίεσης καύσεως συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 9.2.2 δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τη χρήση του προσομοιωτή είναι $y=-3,013*10^{-3}*x+0,081$ και από την χρήση των συσχετίσεων $y=-3,018*10^{-3}*x+0,081$. Το λογισμικό υποεκτιμά την κλίση της μέσης ποσοστιαίας μεταβολής κατά 0,2%, η οποία και θεωρείται αμελητέα, και το σημείο στο οποίο τέμνει τον άξονα των τεταγμένων κατά 0%. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για τη συγκεκριμένη παράμετρο.



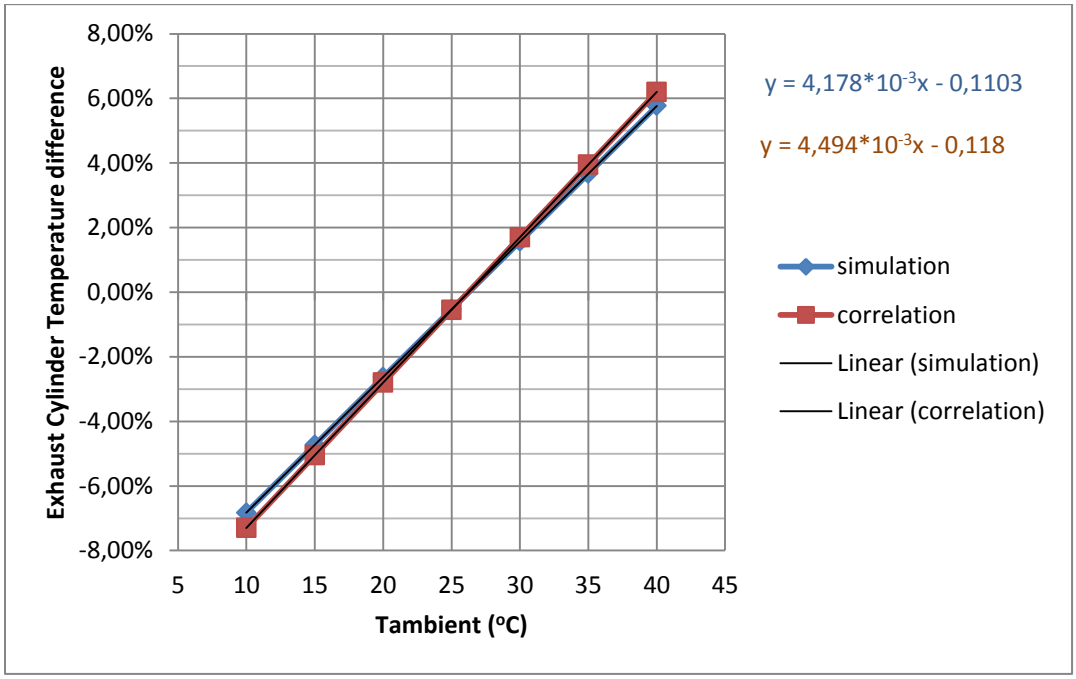
Διάγραμμα 9.2.2 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Πίεσης συμπιέσεως συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο επόμενο γράφημα δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τη χρήση του προσομοιωτή είναι $y=-5,365*10^{-3}*x+0,1431$ και από την χρήση των συσχετίσεων $y=-5,271*10^{-3}*x+0,1396$. Το λογισμικό υπερεκτιμά την κλίση της μέσης ποσοστιαίας μεταβολής κατά 1,8% και το σημείο που τέμνει τον άξονα των τεταγμένων κατά 2,5%, οι οποίες και είναι ελάχιστες. Άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για τη πίεση σάρωσης.



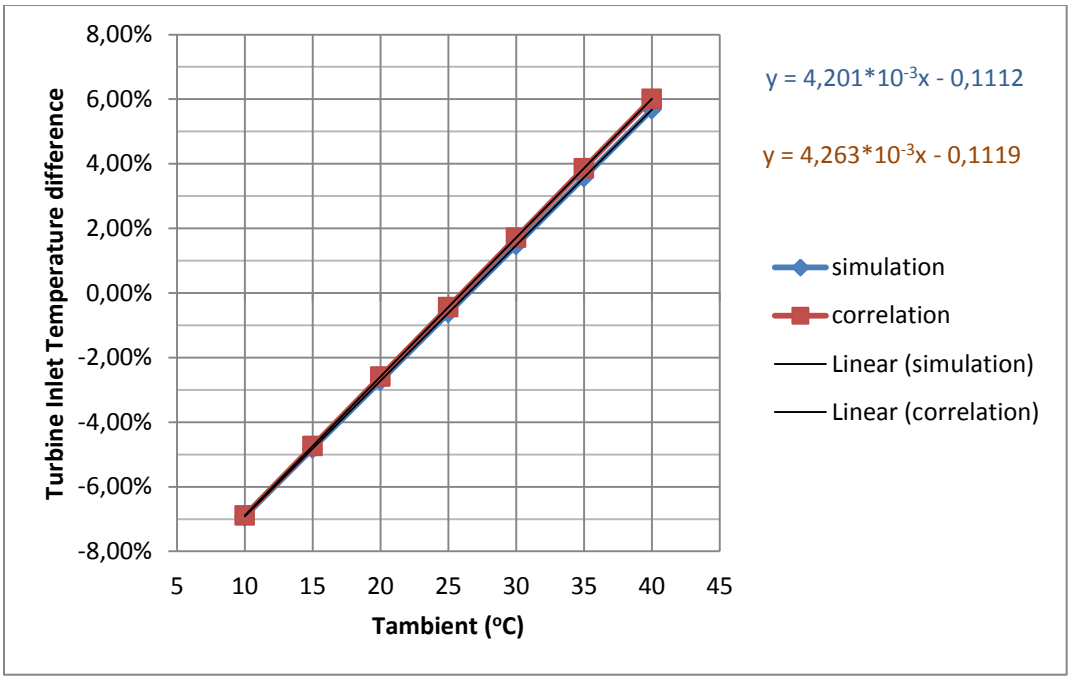
Διάγραμμα 9.2.3 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Πίεσης σάρωσης συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 9.2.4 απεικονίζεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο από τον κύλινδρο. Η μέση συσχέτιση από τη χρήση του λογισμικού δίνεται από την εξίσωση $y= 4,178*10^{-3}*x-0,1103$ και από την χρήση των συσχετίσεων $y= 4,494*10^{-3}*x-0,118$. Η μέση κλίση υποεκτιμάται από το λογισμικό κατά 7% και το σημείο το οποίο τέμνει τον άξονα των τεταγμένων κατά 6,5%. Η διαφορά των κλίσεων θεωρείται αμελητέα και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής γι αυτή τη παράμετρο.



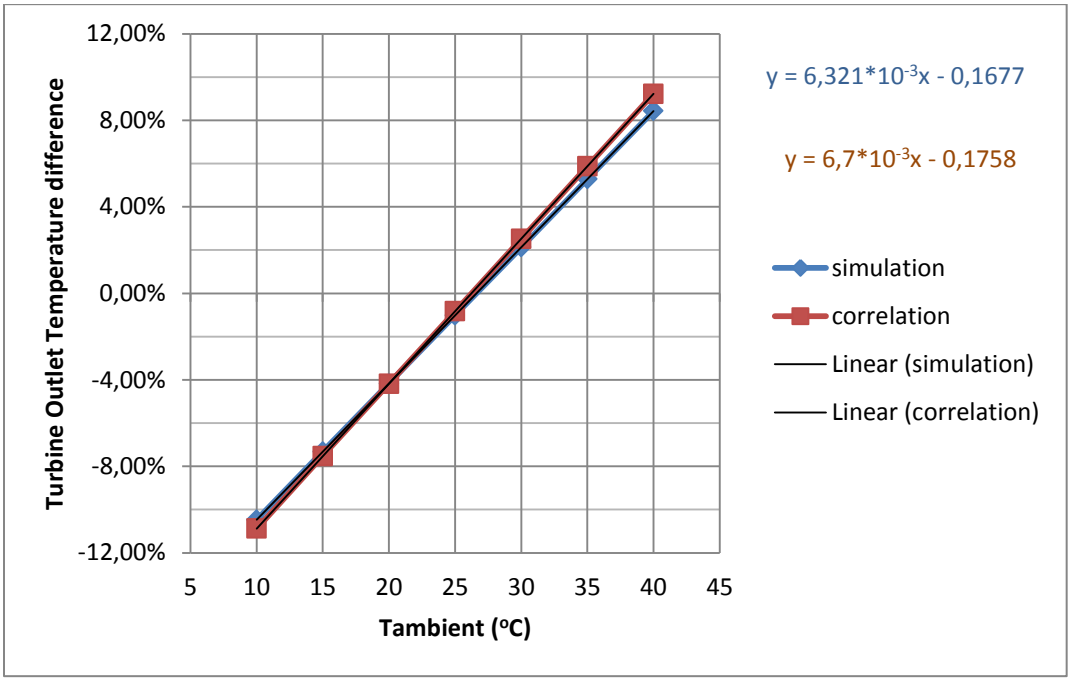
Διάγραμμα 9.2.4 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο επόμενο γράφημα 9.2.5 δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου. Η μέση συσχέτιση από τη χρήση του προσομοιωτή είναι y= 4,201*10^{-3}*x-0,1112 και από τη χρήση των συσχετίσεων είναι y= 4,263*10^{-3}*x-0,1119. Η μέση κλίση υποεκτιμάται από το λογισμικό μόλις κατά 1,45% και το σημείο όπου τέμνει τον άξονα των τεταγμένων κατά 0,6%. Οι διαφορές είναι μηδαμινές. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό γι αυτή τη παράμετρο λειτουργίας.



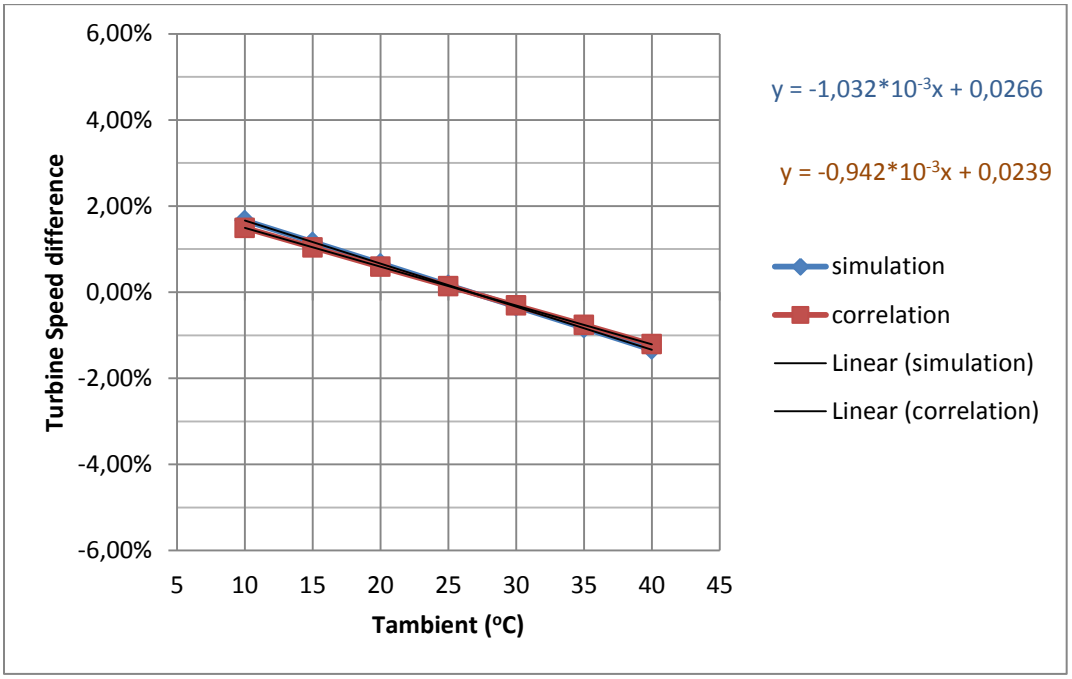
Διάγραμμα 9.2.5 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Το διάγραμμα 9.2.6 απεικονίζει τη μέση ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τη χρήση του λογισμικού δίνεται από την εξίσωση $y= 6,321*10^{-3}*x-0,1677$ και η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τις συσχετίσεις είναι $y= 6,7*10^{-3}*x-0,1758$. Αντίστοιχα με τις υπόλοιπες θερμοκρασίες καυσαερίων, η μέση κλίση υποεκτιμάται ελάχιστα από το λογισμικό σε ποσοστό 5,6% και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για αυτή τη παράμετρο.



Διάγραμμα 9.2.6 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Στο επόμενο γράφημα δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα οι δύο συσχετίσεις διαφέρουν ελάχιστα. Η μέση κλίση υπερεκτιμάται από το λογισμικό κατά 9,5%, και το σημείο το οποίο τέμνει τον άξονα των τεταγμένων κατά 11%. Εφόσον η διαφορά κλίσης που παρατηρείται είναι ελάχιστη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για την ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοπληρωτή.

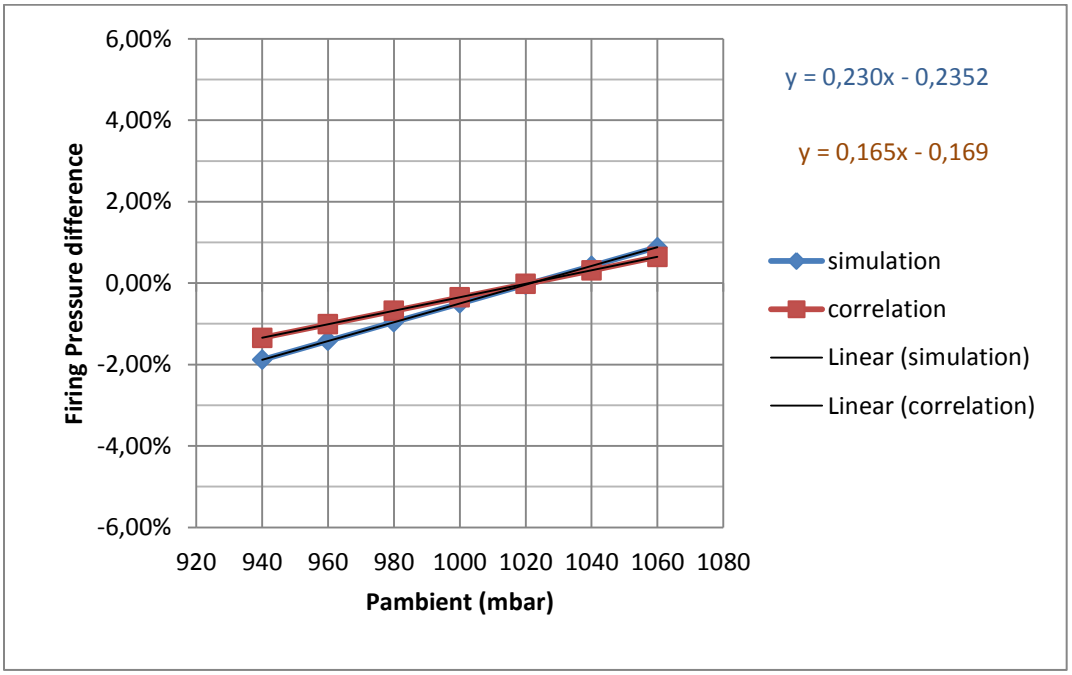


Διάγραμμα 9.2.7 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα 9.2.1 έως 9.2.7 συμπεραίνεται ότι οι διαφορές της κλίσης των μέσων συσχετίσεων θεωρούνται αμελητέες. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής, για να μελετηθεί σε τι ποσοστό μεταβάλλονται οι λειτουργικές παράμετροι του κινητήρα, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος.

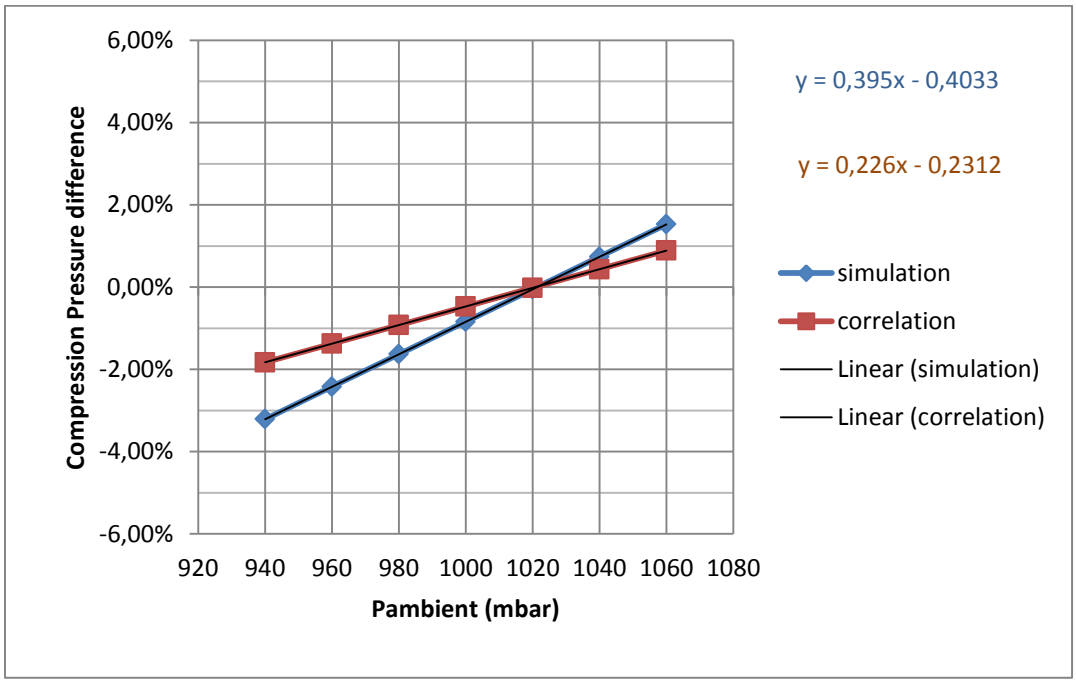
9.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων υπό την επίδραση της πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 9.3.1 δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσεως. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από το τη χρήση των αποτελεσμάτων του λογισμικού είναι y= 0,230*x-0,2352 και από τη χρήση των συσχετίσεων y= 0,165*x-0,169. Η μέση κλίση υπερεκτιμάται από το λογισμικό κατά 39% και το σημείο το οποίο τέμνει τον άξονα των τεταγμένων κατά 40%. Η διαφορά των κλίσεων είναι μικρή και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για τη μεγίστη πίεση καύσεως.



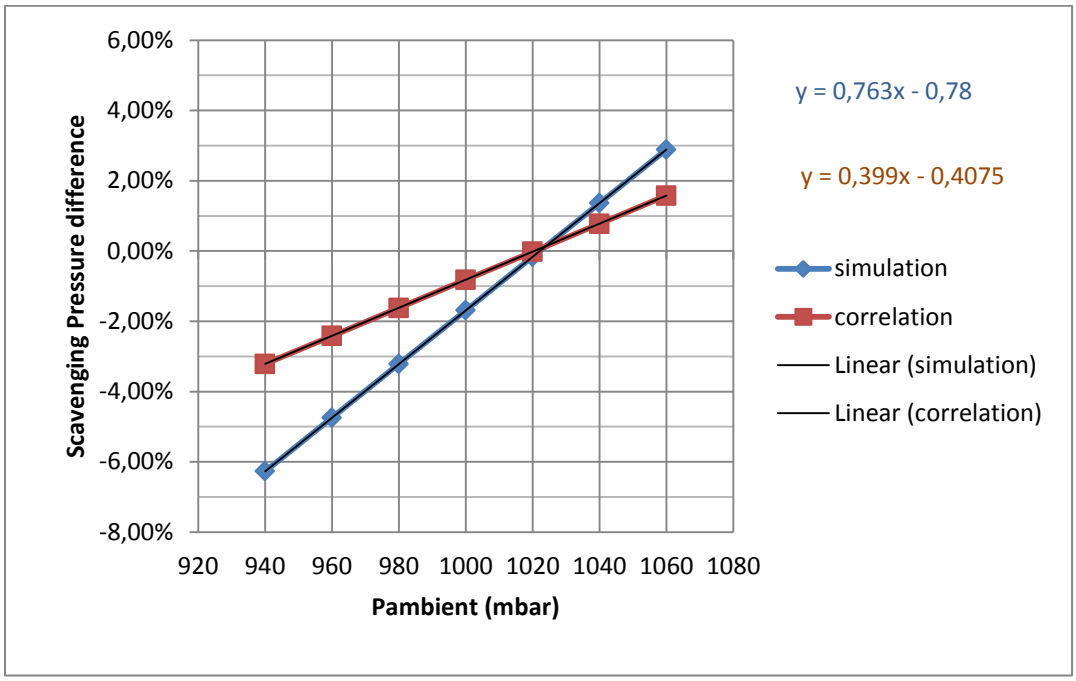
Διάγραμμα 9.3.1 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της μεγίστης Πίεσης καύσεως συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος

Στο παρακάτω γράφημα 9.3.2 απεικονίζεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως. Η μέση συσχέτιση από τη χρήση του προσομοιωτή είναι y= 0,395*x-0,4033 και από τις συσχετίσεις y= 0,226*x-0,2312. Το λογισμικό υπερεκτιμά την μέση κλίση κατά 74%. Αυτή η υπερεκτίμηση της μέσης μεταβολής, οδηγεί σε υπερεκτίμηση της απόλυτης τιμής της πίεσης συμπιέσεως κατά το μέγιστο 2bar, η οποία και θεωρείται μικρή αναλογικά με τις τιμές που λαμβάνει η πίεση συμπίεσης. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για αυτή τη παράμετρο.



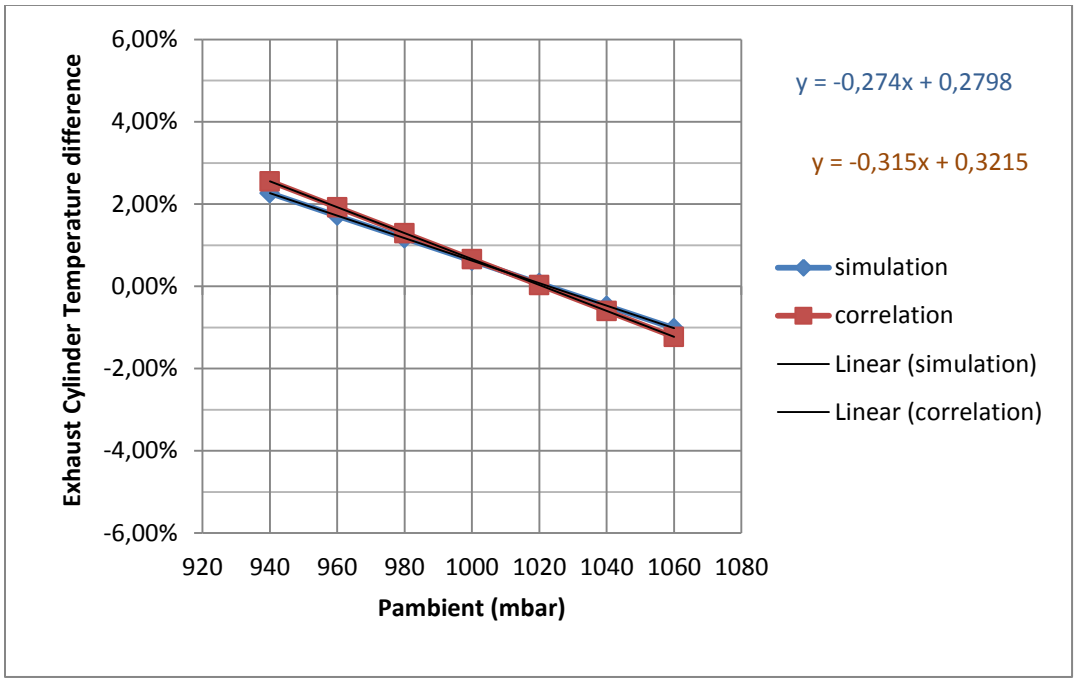
Διάγραμμα 9.3.2 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Πίεσης συμπιέσεως συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος

Το διάγραμμα 9.3.3 απεικονίζει τη μέση ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης. Η μέση συσχέτιση που υπολογίστηκε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι y= 0,763*x-0,78, και η μέση συσχέτιση που υπολογίσθηκε από τις συσχετίσεις είναι y= 0,399*x-0,4075. Η κλίση της μέσης ποσοστιαίας μεταβολής υπερεκτιμάται από το λογισμικό κατά 90%. Οι τιμές της πίεσης σάρωσης στη παρούσα διπλωματική εργασία κυμαίνονται από 0,3bar έως 3,5bar. Όποτε η υπερεκτίμηση από το λογισμικό κυμαίνεται από 0,01bar έως 0,1bar η οποία και είναι ελάχιστη. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για την πίεση σάρωσης.



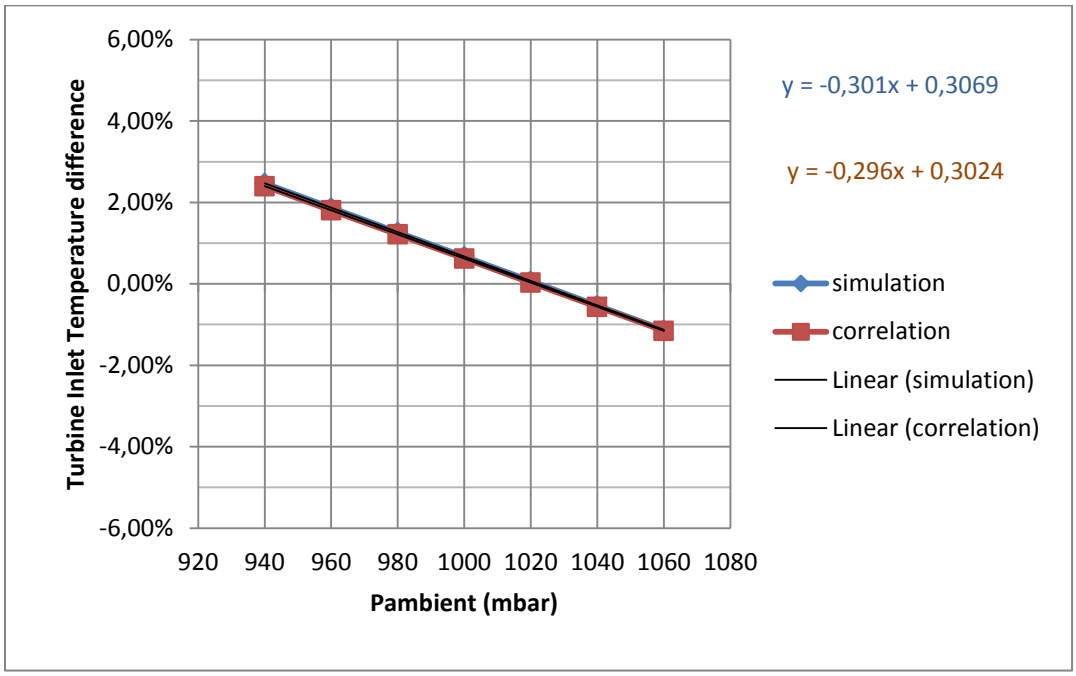
Διάγραμμα 9.3.3 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Πίεσης σάρωσης συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος

Στο παρακάτω γράφημα δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο από τον κύλινδρο. Η μέση συσχέτιση που υπολογίσθηκε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι y= -0,274*x+0,2798 και από τη χρήση συσχετίσεων y= -0,315*x+0,3215. Το λογισμικό υποεκτιμά την μέση κλίση των ποσοστιαίων μεταβολών κατά 13% το οποίο και είναι αμελητέο, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα. Κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για την θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου.



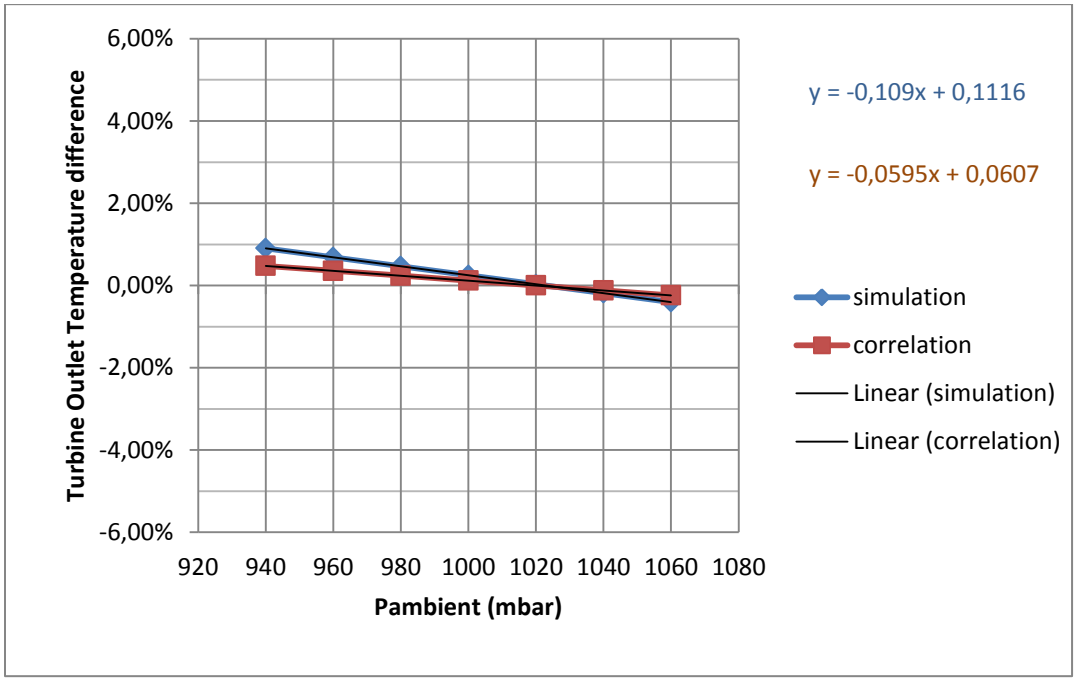
Διάγραμμα 9.3.4 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 9.3.5 δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τα αποτελέσματα του λογισμικού είναι y= -0,301*x+0,3069, και από τις συσχετίσεις είναι y= -0,296*x+0,3024. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα οι δύο καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό για αυτή τη παράμετρο.



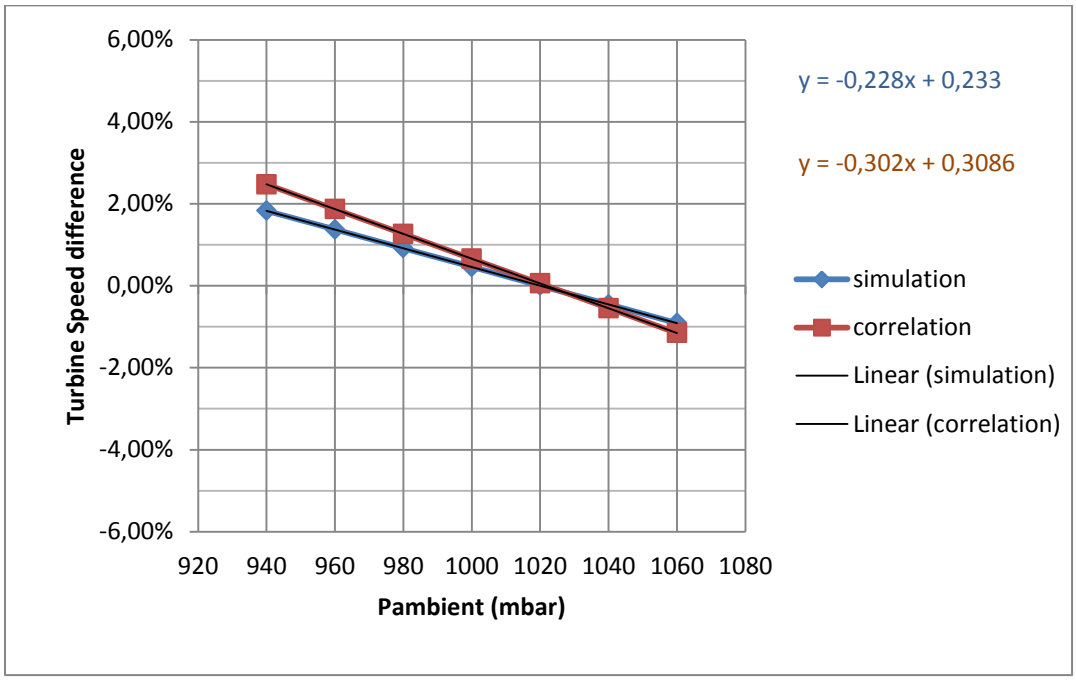
Διάγραμμα 9.3.5 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο από το στρόβιλο. Το λογισμικό υπερεκτιμά τη μέση κλίση κατά 83,2% σε σχέση με αυτή που προέκυψε από τις συσχετίσεις. Αυτή η υπερεκτίμηση επιφέρει μεταβολή στην απόλυτη τιμή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου έως 1,5^{o}C, η οποία και θεωρείται ασήμαντη. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό γι αυτή τη παράμετρο.



Διάγραμμα 9.3.6 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος

Στο διάγραμμα 9.3.7 απεικονίζεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι y= -0,228*x+0,233 και από τις συσχετίσεις y= -0,302*x+0,3086. Το λογισμικό υποεκτιμά την μέση κλίση κατά 24,5% η οποία και είναι ελάχιστη. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για την συγκεκριμένη παράμετρο.

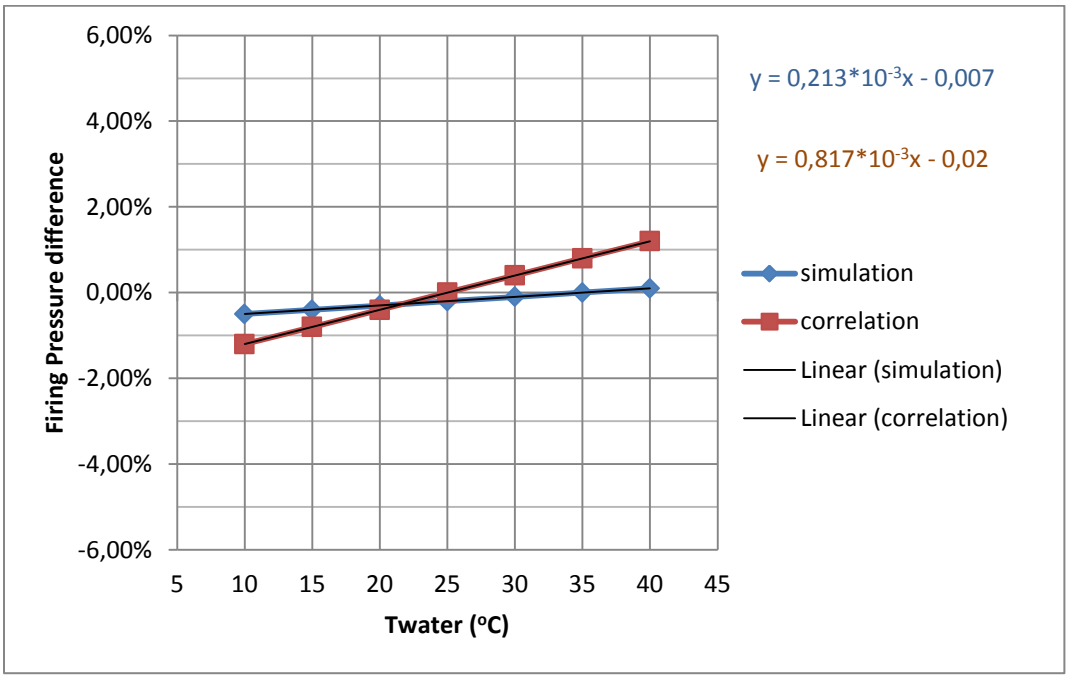


Διάγραμμα 9.3.7 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει της πίεσης περιβάλλοντος

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 9.3.1 έως 9.3.7 συμπεραίνεται ότι οι διαφορές της κλίσης των μέσων συσχετίσεων είναι μικρές σε κάποιες παραμέτρους, και σε άλλες είναι αμελητέες. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής, για να μελετηθεί σε τι ποσοστό μεταβάλλονται οι λειτουργικές παράμετροι του κινητήρα, όταν μεταβάλλεται η πίεση περιβάλλοντος.

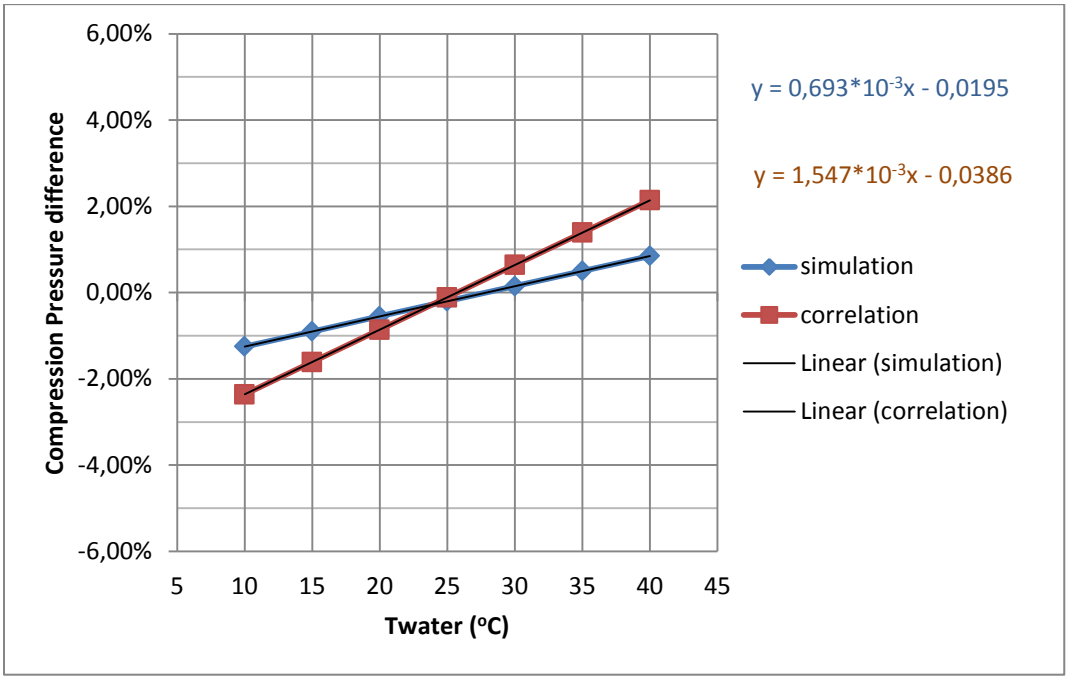
9.4 Σύγκριση των αποτελεσμάτων υπό την επίδραση της θερμοκρασίας νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα

Στο διάγραμμα 9.4.1 παρουσιάζεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της μεγίστης πίεσης καύσης. Η μέση συσχέτιση που προκύπτει από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι y= 0,213*10^{-3}*x-0,007 και από τις συσχετίσεις y= 0,817*10^{-3}*x-0,02. Η μέση κλίση υποεκτιμάται από το λογισμικό κατά 74%. Αυτή η υποεκτίμηση από το λογισμικό οδηγεί σε υποεκτίμηση της απόλυτης τιμής της πίεσης καύσης κατά το μέγιστο 2,5bar η οποία και θεωρείται ελάχιστη. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για την μεγίστη πίεση καύσης.



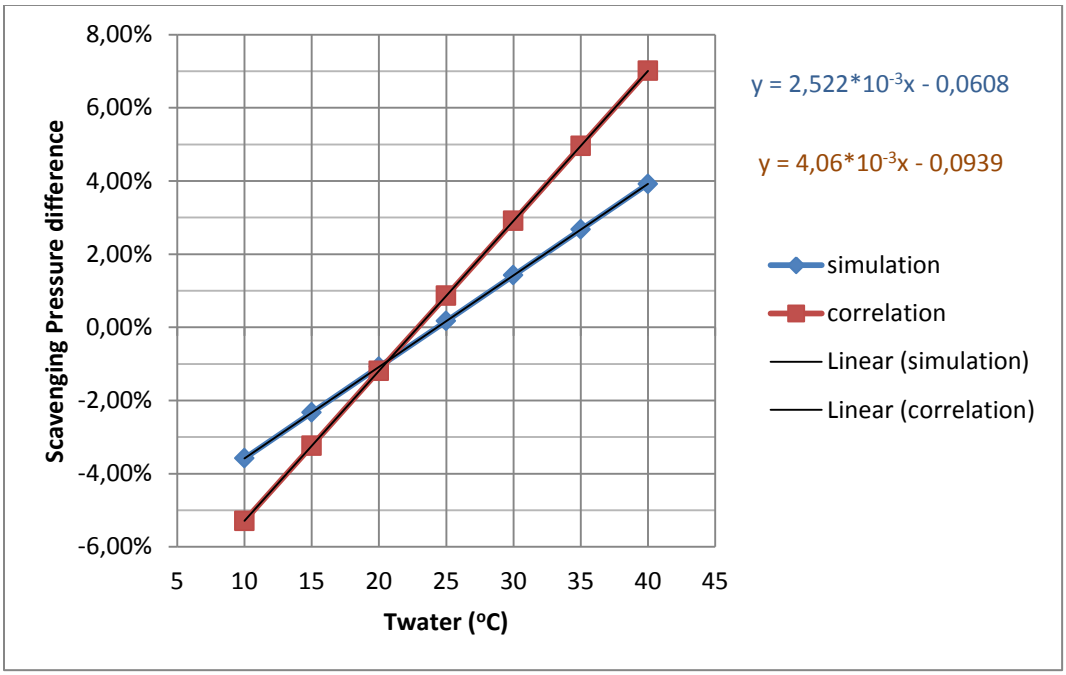
Διάγραμμα 9.4.1 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της μεγίστης Πίεσης καύσεως συναρτήσει της θερμοκρασίας νερού

Στο γράφημα 9.4.2 απεικονίζεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης συμπιέσεως. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τα αποτελέσματα του λογισμικού είναι y= 0,693*10^{-3}*χ-0,0195, και από τη χρήση των συσχετίσεων y= 1,547*10^{-3}*χ-0,0386. Η μέση κλίση υποεκτιμάται από το λογισμικό κατά 55% και αυτή η υποεκτίμηση επιφέρει υπερεκτίμηση της απόλυτης τιμής της πίεσης συμπιέσεως κατά το μέγιστο 2bar η οποία και θεωρείται ελάχιστη. Άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για τη συγκεκριμένη παράμετρο.



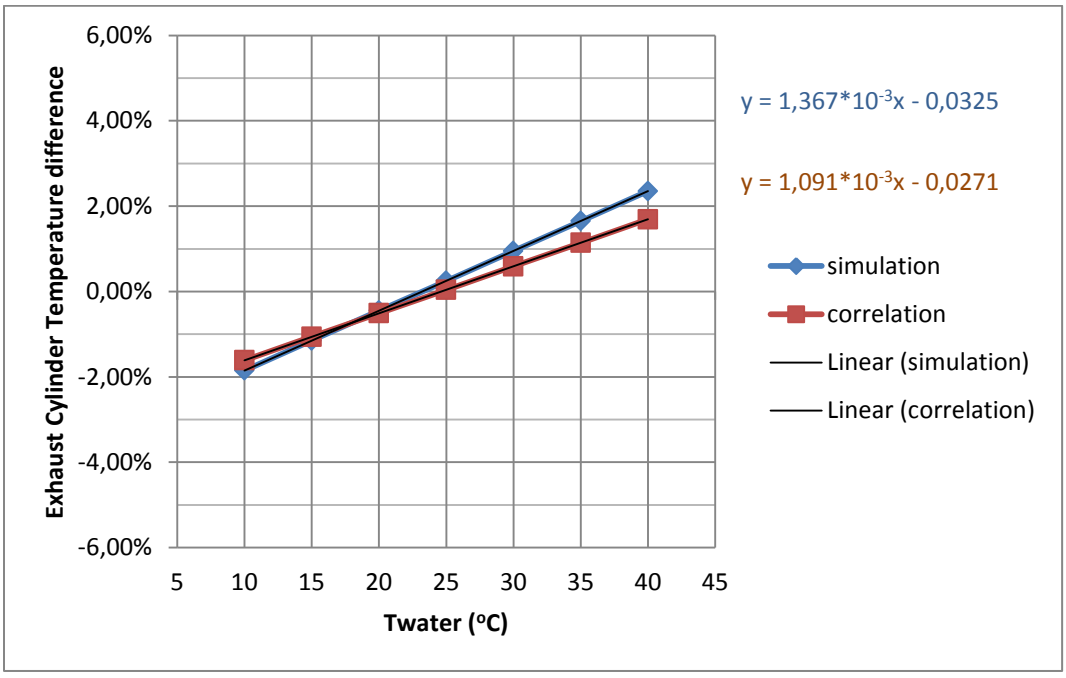
Διάγραμμα 9.4.2 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Πίεσης συμπιέσεως συναρτήσει της θερμοκρασίας νερού

Στο επόμενο διάγραμμα 9.4.3 δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της πίεσης σάρωσης. Η μέση συσχέτιση που προκύπτει από τα αποτελέσματα του λογισμικού είναι y= 2,522*10^{-3}*χ-0,0608, και από την χρήση των συσχετίσεων y= 4,06*10^{-3}*χ-0,0939. Το λογισμικό υποεκτιμά τη μέση κλίση των μέσων μεταβολών σε ποσοστό 37,9%. Η υποεκτίμηση αυτή από το λογισμικό οδηγεί σε υποεκτίμηση της απόλυτης τιμής της πίεσης σάρωσης κατά το μέγιστο 0,1bar, η οποία θεωρείται αμελητέα διαφορά. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για την πίεση σάρωσης.



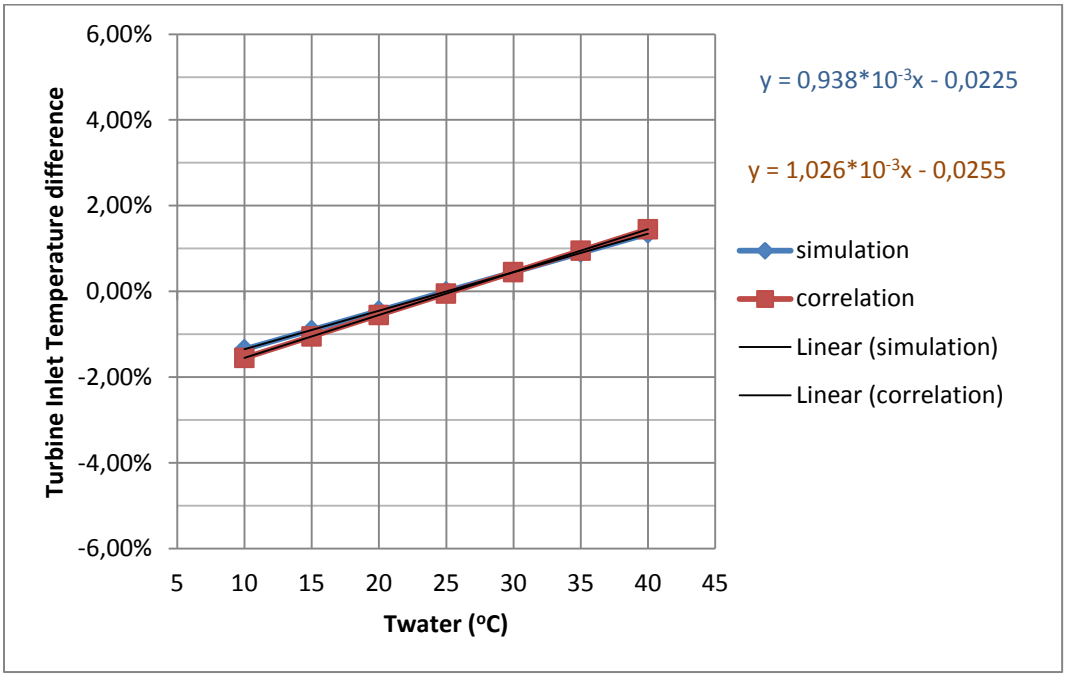
Διάγραμμα 9.4.3 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Πίεσης σάρωσης συναρτήσει της θερμοκρασίας νερού

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τα αποτελέσματα του λογισμικού είναι $y= 1,367*10^{-3}*χ-0,0325$, και από τη χρήση των συσχετίσεων είναι $y= 1,091*10^{-3}*χ-0,0271$. Το λογισμικό υπερεκτιμά τη μέση κλίση των μέσων ποσοστιαίων μεταβολών κατά 25%. Αυτή η υπερεκτίμηση από το λογισμικό επιφέρει υπερεκτίμηση της απόλυτης τιμής της θερμοκρασίας των καυσαερίων μετά το κύλινδρο κατά το μέγιστο $2^{o}C$, η οποία και θεωρείται αμελητέα. Συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για τη συγκεκριμένη παράμετρο.



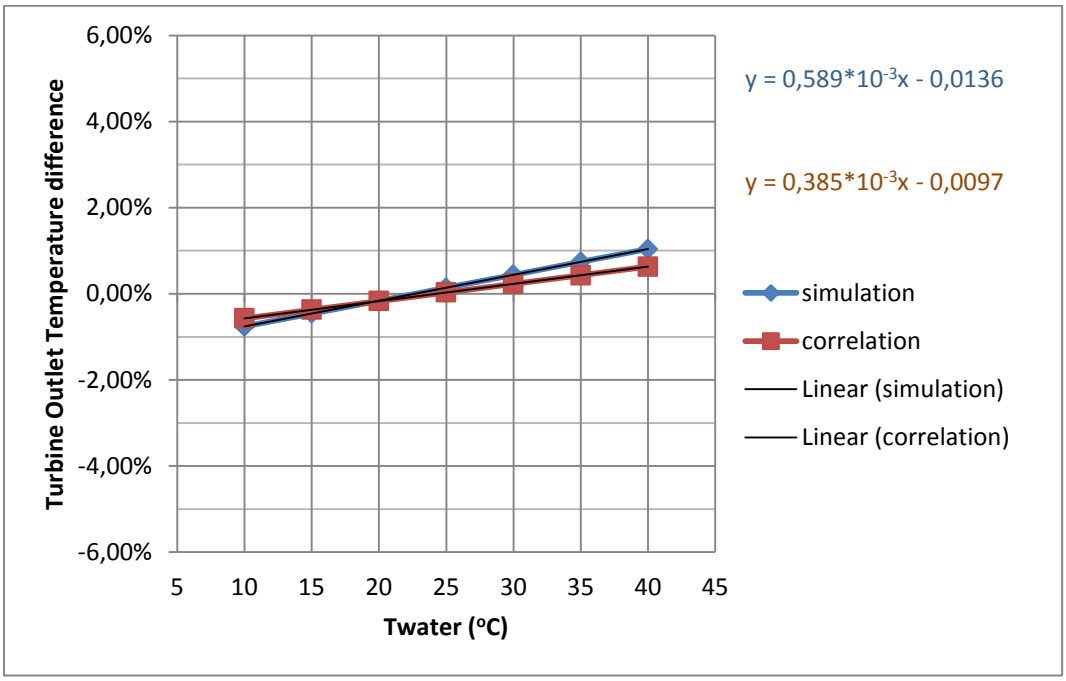
Διάγραμμα 9.4.4 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του κυλίνδρου συναρτήσει της θερμοκρασίας νερού

Στο διάγραμμα 9.4.5 απεικονίζεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου. Όπως φαίνεται και από το γράφημα οι μέσες συσχετίσεις που προέκυψαν είναι σχεδόν ταυτόσημες. Άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για την θερμοκρασία των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου.



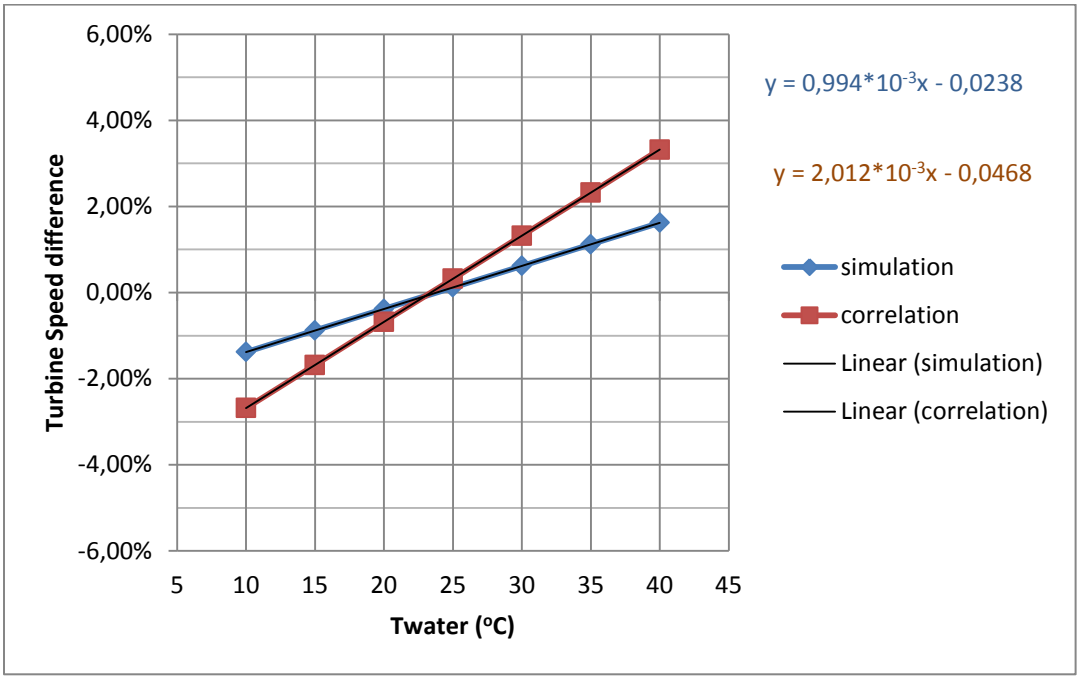
Διάγραμμα 9.4.5 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Θερμοκρασίας των καυσαερίων στην είσοδο του στροβίλου συναρτήσει της θερμοκρασίας νερού

Στο επόμενο γράφημα δίνεται η μέση ποσοστιαία μεταβολή της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου. Η μέση συσχέτιση που προκύπτει από τα αποτελέσματα του λογισμικού είναι y= 0,589*10^{-3}*χ-0,0136 και από τη χρήση των συσχετίσεων y= 0,385*10^{-3}*χ-0,0097. Το λογισμικό υπερεκτιμά την μέση κλίση κατά 52%. Αυτή η υπερεκτίμηση από το λογισμικό επιφέρει υπερεκτίμηση της απόλυτης τιμής της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου κατά το μέγιστο 1°C, που θεωρείται αμελητέα διαφορά. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής γι αυτή τη παράμετρο.



Διάγραμμα 9.4.6 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου συναρτήσει της θερμοκρασίας νερού

Το διάγραμμα 9.4.7 απεικονίζει τη μέση ποσοστιαία μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή. Η μέση συσχέτιση που προέκυψε από τα αποτελέσματα του λογισμικού είναι y= 0,994*10^{-3}*χ-0,0238 και από τη χρήση των συσχετίσεων y= 2,012*10^{-3}*χ-0,0468. Η μέση κλίση υποεκτιμάται από το λογισμικό κατά 50%. Η απόλυτη τιμή της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή, στην παρούσα διπλωματική εργασία, κυμαίνεται περίπου από 4000rpm έως 10200rpm. Άρα η υποεκτίμηση του λογισμικού κυμαίνεται 60rpm έως 160rpm. Οι διαφορές είναι μικρές αναλογικά με τις τιμές που λαμβάνει η ταχύτητα περιστροφής του στροβιλοπληρωτή και κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για τη συγκεκριμένη παράμετρο.



Διάγραμμα 9.4.7 Σύγκριση της ποσοστιαίας μεταβολής της Ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή συναρτήσει της θερμοκρασίας νερού

Παρατηρώντας τα διαγράμματα 9.4.1 έως 9.4.7 προκύπτει το συμπέρασμα ότι το λογισμικό σε κάποιες παραμέτρους υπερεκτιμά την μέση ποσοστιαία μεταβολή και σε κάποιες άλλες την υποεκτιμά. Ωστόσο οι αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι μικρές, και κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής για να διερευνηθεί πως μεταβάλλονται οι λειτουργικές παράμετροι του κινητήρα, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου.

Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να μελετηθεί η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στη λειτουργική συμπεριφορά ναυτικών κινητήρων diesel με χρήση προσομοίωσης και συσχετίσεων. Στόχος της ήταν να διαπιστωθεί αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό προσομοίωσης, επειδή σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχουν συσχετίσεις από του κατασκευαστικούς οίκους.

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το διαγνωστικό λογισμικό Pythia EDS-VI, αφού πρώτα διεξήχθη προσομοίωση των εργοστασιακών δοκιμών, για να διαπιστωθεί η προβλεπτική ικανότητα του λογισμικού. Από την προσομοίωση αυτή το λογισμικό κρίθηκε ως αξιόπιστο για τη παρούσα διερεύνηση που είναι η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Στη συνέχεια έγινε προσομοίωση της επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και διαπιστώθηκε ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία οι πιέσεις μειώνονται και οι θερμοκρασίες αυξάνονται. Η ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας μειώνεται ελάχιστα και η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται ελάχιστα. Οι παροχές αέρα και καυσαερίων μειώνονται και η ταχύτητα του στροβιλοπληρωτή μειώνεται και αυτή. Τα ποσοστά μεταβολής ποικίλουν ανάλογα με την παράμετρο και το φορτίο που μελετάται. Η ποσοστιαία μεταβολή των παραμέτρων έγινε με αναφορά την προσομοίωση των εργοστασιακών δοκιμών με σκοπό να διαπιστωθεί η μεταβολή. Στη συνέχεια διερευνήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος με χρήση των συσχετίσεων, για ορισμένες παραμέτρους του κινητήρα. Εδώ διαπιστώθηκε η γραμμικότητα των μεταβολών και έγινε επαλήθευση της μονοτονίας των παραμέτρων.

Ακολουθεί η προσομοίωση της επίδρασης της πίεσης περιβάλλοντος, η οποία όσο αυξάνεται επιφέρει αντίθετα αποτελέσματα από την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, εκτός από την ταχύτητα του στροβιλοπληρωτή. Δηλαδή οι πιέσεις αυξάνονται και οι θερμοκρασίες μειώνονται. Οι παροχές αέρα και καυσαερίων αυξάνονται. Η ειδική κατανάλωση καυσίμου μειώνεται και η ισχύς του κινητήρα αυξάνεται. Η ταχύτητα του στροβιλοπληρωτή μειώνεται, όπως μειώνεται και στην αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Στη συνέχεια γίνεται διερεύνηση με χρήση των συσχετίσεων που τα αποτελέσματα των μεταβολών των παραμέτρων είναι παρόμοια με αυτά της προσομοίωσης.

Τελευταία περιβαλλοντική συνθήκη που επηρεάζει την λειτουργία του κινητήρα είναι η θερμοκρασία του νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα. Από τη διερεύνηση της που προηγήθηκε βλέπουμε ότι όσο αυξάνεται, αυξάνονται όλες οι παράμετροι του κινητήρα εκτός της ισχύος η οποία μειώνεται. Ακολούθησε η διερεύνηση με χρήση συσχετίσεων που τα αποτελέσματα ήταν παραπλήσια για τις μεταβολές των παραμέτρων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας έγινε σύγκριση των μέσων συσχετίσεων των ποσοστιαίων μεταβολών που υπολογίστηκαν από τη χρήση του προσομοιωτή, με τις μέσες συσχετίσεις των ποσοστιαίων μεταβολών που προέκυψαν από τις συσχετίσεις του κατασκευαστικού οίκου.

Στη σύγκριση που προηγήθηκε, διαπιστώθηκε ότι το λογισμικό προβλέπει σχεδόν με απόλυτη ακρίβεια τις μέσες ποσοστιαίες μεταβολές όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αναλυτικότερα, η κλίση των μέσων ποσοστιαίων μεταβολών της πίεσης σάρωσης και πίεσης συμπίεσης, που υπολογίσθηκε από τα αποτελέσματα του λογισμικού, διαφέρει κατά λιγότερο από 2% από την κλίση των μέσων ποσοστιαίων μεταβολών που υπολογίσθηκε από τις συσχετίσεις. Οι κλίσεις των μέσων ποσοστιαίων μεταβολών για τις θερμοκρασίες των καυσαερίων υποεκτιμώνται από το λογισμικό κατά το μέγιστο 7%. Η μέση κλίση της ποσοστιαίας μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής του στροβιλοπληρωτή υπερεκτιμάται από το λογισμικό κατά 9,5%, η οποία και οδηγεί σε ελάχιστη υπερεκτίμηση της απόλυτης τιμής της. Η κλίση της μεγίστης πίεσης καύσης εμφανίζει την μεγαλύτερη απόκλιση, η οποία και είναι 19,7%. Η διαφορά αυτή υποεκτιμά την απόλυτη τιμή της μεγίστης πίεσης καύσης κατά λιγότερο από 1,5bar η οποία και θεωρείται αποδεκτή.

Όσον αφορά την μεταβολή της πίεσης περιβάλλοντος, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στις κλίσεις των μέσων ποσοστιαίων μεταβολών, είναι μεγαλύτερες από αυτές που εμφανίζονται στην θερμοκρασία περιβάλλοντος, αλλά οδηγούν σε μικρή μεταβολή των παραμέτρων. Πιο συγκεκριμένα, η κλίση της μεγίστης πίεσης καύσεως υπερεκτιμάται κατά 39%, η κλίση της πίεσης συμπιέσεως υπερεκτιμάται κατά 74% και η κλίση της πίεσης σάρωσης κατά 90%. Οι υπερεκτιμήσεις αυτές οδηγούν σε υπερεκτίμηση των απόλυτων τιμών των παραμέτρων, αλλά η υπερεκτίμηση αυτή δεν υπερβαίνει το 1bar, 2bar kai 0,1bar αντίστοιχα. Η κλίση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο των κυλίνδρων υποεκτιμάται από το λογισμικό κατά 13%. Στην είσοδο του στροβίλου υπάρχει σχεδόν ταύτιση της κλίσης, καθώς το λογισμικό την υπερεκτιμά κατά 1,7%. Η κλίση της θερμοκρασίας των καυσαερίων στην έξοδο του στροβίλου υπερεκτιμάται από το λογισμικό κατά 83,2%. Ωστόσο η απόκλιση αυτή οδηγεί σε πολύ μικρή υπερεκτίμηση της θερμοκρασίας που φτάνει κατά το μέγιστο 1,5 ^{o}C. Η κλίση της μέσης ποσοστιαίας μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής του υπερπληρωτή υποεκτιμάται από το λογισμικό κατά 25%, η οποία όμως δεν προκαλεί σημαντική μεταβολή της απόλυτης τιμής της.

Όμοια με την μεταβολή της πίεσης περιβάλλοντος, και στη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού στην είσοδο του ψυγείου αέρα, οι αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι μεγαλύτερες απ’ ότι στην μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αλλά κυμαίνονται σε αποδεκτά επίπεδα. Ειδικότερα, η κλίση των μέσων ποσοστιαίων μεταβολών της μεγίστης πίεσης καύσεως υποεκτιμάται κατά 74%, η κλίση της πίεσης συμπιέσεως υποεκτιμάται κατά 55% και η κλίση της πίεσης σάρωσης υποεκτιμάται κατά 38%. Οι υποεκτιμήσεις αυτές οδηγούν σε υποεκτίμηση των απόλυτων τιμών των παραμέτρων, όμως η υποεκτίμηση αυτή δεν είναι μεγαλύτερη από 2,5bar, 2bar kai 0,1bar αντίστοιχα. Η κλίση της μέσης ποσοστιαίας μεταβολής της θερμοκρασίας τω καυσαερίων στην έξοδο των κυλίνδρων υπερεκτιμάται από το λογισμικό κατά 25%. Η υπερεκτίμηση αυτή οδηγεί σε υπερεκτίμηση της απόλυτης τιμής της κατά το μέγιστο 2 ^{o}C. Στη θερμοκρασία στην είσοδο του στροβίλου η κλίση της μέσης ποσοστιαίας μεταβολής υποεκτιμάται από το λογισμικό κατά 8,6%, η οποία και είναι πάρα πολύ μικρή. Στην έξοδο του στροβίλου η κλίση της θερμοκρασίας των

καυσαερίων υπερεκτιμάται από το λογισμικό κατά 52% και επιφέρει αύξηση της απόλυτης τιμής της θερμοκρασίας κατά το μέγιστο 1 ^{o}C. Η κλίση της μέσης ποσοστιαίας μεταβολής της ταχύτητας περιστροφής του υπερπληρωτή υποεκτιμάται από το λογισμικό κατά 50%, και στα πλαίσια της παρούσας έρευνας η υποεκτίμηση αυτή είναι 160rpm όταν ο στροβιλοπληρωτής περιστρέφεται με 10200rpm, η οποία και θεωρείται αμελητέα.

Συνεπώς το λογισμικό προβλέπει με ικανοποιητική ακρίβεια τις μέσες ποσοστιαίες μεταβολές των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της επίδρασης των περιβαλλοντικών συνθηκών στη λειτουργική συμπεριφορά κινητήρων diesel, όταν δεν δίνονται συσχετίσεις από τους κατασκευαστές.

Βιβλιογραφία

[1] ‘Αρχές εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.’ Κ.Δ. Ρακόπουλος «εκδόσεις Φούντας»

[2] ‘Μ.Ε.Κ. ΙΙ’ Κ.Δ. Ρακόπουλος «εκδόσεις Φούντας»

[3] ‘Εναλλαγή αερίων και υπερπλήρωση Μ.Ε.Κ.’ Κ.Δ. Ρακόπουλος, Ε.Γ. Γιακουμής «εκδόσεις Φούντας»

[4] ‘Pythia EDS-VI user manual’ Δ.Θ. Χουντάλας

[5] ‘MAN B&W S60MC-C7’ Project guide

[6] ‘Camshaft Controlled Two-Stroke Engines’ MAN B&W

[7] ‘Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation of MAN B&W Two-stroke Engines’

[8] ‘Correction of Performance Parameters’ HYUNDAI MAN B&W

[9] ‘How Ambient Conditions Affect Turbocharger Performance’ ABB Turbo systems Ltd

[10] ‘Motori Endotermici’ (in Italian), Giacosa D., 1986

[11] ‘Internal Combustion Engine Fundamentals’ Heywood J. B., 1989

[12] ‘The Internal Combustion Engine in Theory and Practice’ Taylor, 1992

[13] ‘Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engines’ Pulkrabek W. W., 1997

[14] Factors Affecting Car Fuel Consumption’ Redsell M., 1993

[15] ‘Correction of Engine Power Correction Factors for Varying Atmospheric Conditions’ Sodre J. R., Soares S. M. C., 2003