



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ**  
**ΔΙΧΡΟΝΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΝΤΗΖΕΛ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ**  
**ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΘΑΛΑΣΣΗΣ**  
**ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΧΑΜΗΛΑ ΦΟΡΤΙΑ**

**Χριστίνα Παπαγεωργίου**

**Επιβλέπων**

**Καθ. Δημήτριος Θ. Χουντάλας**

**Αθήνα, 2013**



## Περιεχόμενα

ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ “SLOW STEAMING CONCEPT” (ΑΡΓΗ ΠΛΕΥΣΗ) .....	8
2. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ SLOW STEAMING ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ12	
3. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ SLOW STEAMING ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ .....	17
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI).....	23
5. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ SLOW STEAMING ΜΕ ΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	26
5.1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ .....	26
6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	31
7. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ .....	37
7.1. Εισαγωγή.....	37
7.2. Συγκριτική Αξιολόγηση Τιμών από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και τις Δοκιμές Θαλάσσης. 38	
8. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ .....	51
8.1. Εισαγωγή.....	51
8.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης των Εργοστασιακών Δοκιμών Χρησιμοποιώντας Προσομοίωση Υπερπληρωτή .....	52
8.2.1. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου.....	52
8.2.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου.....	54
8.2.3. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου.....	55
8.2.4. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου.....	57
8.2.5. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου.....	58
8.2.6. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου.....	60
8.3. Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Εργοστασιακές Δοκιμές .....	61
9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ70	
9.1. Εισαγωγή.....	70
9.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης των Δοκιμών Θαλάσσης Χρησιμοποιώντας Προσομοίωση Υπερπληρωτή .....	71



9.2.1.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 70% του φορτίου.....	71
9.2.2.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 80% του Φορτίου.....	73
9.2.3.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του φορτίου.....	75
9.2.4.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 105% του Φορτίου.....	76
9.3.	Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Δοκιμές Θαλάσσης .....	78
<b>10.</b>	<b>ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ .....</b>	<b>86</b>
10.1.	Εισαγωγή .....	86
10.2.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης των Εργοστασιακών Δοκιμών Χωρίς τη Χρήση Προσομοίωσης Υπερπληρωτή .....	87
10.2.1.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου.....	87
10.2.2.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου.....	89
10.2.3.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου.....	90
10.2.4.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου.....	92
10.2.5.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για 100% του Φορτίου.....	93
10.2.6.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου.....	95
10.3.	Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Εργοστασιακές Δοκιμές.....	96
<b>11.</b>	<b>ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ</b>	<b>100</b>
11.1.	Εισαγωγή .....	100
11.2.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης των Δοκιμών Θαλάσσης Χωρίς τη Χρήση Προσομοίωσης Υπερπληρωτή .....	101
11.2.1.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 70% του Φορτίου.....	101
11.2.2.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 80% του Φορτίου.....	103
11.2.3.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου.....	104
11.2.4.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 105% του Φορτίου.....	106
11.3.	Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Δοκιμές Θαλάσσης .....	107
<b>12.</b>	<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ.....</b>	<b>111</b>
12.1.	Εισαγωγή .....	111



<b>12.2.</b>	<b>Αποτελέσματα Λογισμικού Χρησιμοποιώντας Προσομοίωση Υπερπληρωτή .....</b>	<b>112</b>
12.2.1.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 20% του Φορτίου .....	112
12.2.2.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου .....	114
12.2.3.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου .....	116
12.2.4.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου .....	117
12.2.5.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου .....	119
12.2.6.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου .....	120
12.2.7.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου .....	122
<b>12.3.</b>	<b>Αποτελέσματα Λογισμικού Χωρίς τη Χρήση Προσομοίωσης Υπερπληρωτή.....</b>	<b>123</b>
12.3.1.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 10% του Φορτίου .....	123
12.3.2.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 15% του Φορτίου .....	126
12.3.3.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 20 % του Φορτίου .....	127
12.3.4.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου .....	129
12.3.5.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου .....	130
12.3.6.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75 % του Φορτίου .....	132
12.3.7.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου .....	133
12.3.8.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου .....	135
12.3.9.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου .....	136
<b>12.4.</b>	<b>Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Εργοστασιακές Δοκιμές .....</b>	<b>138</b>
<b>13.</b>	<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΗΣ .....</b>	<b>147</b>
<b>13.1.</b>	<b>Εισαγωγή .....</b>	<b>147</b>
<b>13.2.</b>	<b>Αποτελέσματα Λογισμικού Χρησιμοποιώντας Προσομοίωση Υπερπληρωτή .....</b>	<b>148</b>
13.2.1.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 20% του Φορτίου .....	148
13.2.2.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου .....	150
13.2.3.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου .....	151
13.2.4.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου .....	153
13.2.5.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου .....	154
13.2.6.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου .....	156
13.2.7.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου .....	157
<b>13.3.</b>	<b>Αποτελέσματα Λογισμικού Χωρίς τη Χρήση Προσομοίωσης Υπερπληρωτή.....</b>	<b>159</b>
13.3.1.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 10% του Φορτίου .....	159
13.3.2.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 15% του Φορτίου .....	161





13.3.3.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 20% του Φορτίου.....	163
13.3.4.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου.....	164
13.3.5.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου.....	166
13.3.6.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου.....	167
13.3.7.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου.....	169
13.3.8.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου.....	170
13.3.9.	Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου.....	172
13.4.	Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Δοκιμές Θαλάσσης .....	173
14.	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	183
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	187



*Προσομοίωση Λειτουργικής Συμπεριφοράς Δίχρονου Ναυτικού Κινητήρα Ντήζελ με Βάση τις  
Εργοστασιακές Δοκιμές και τις Δοκιμές Θαλάσσης με Έμφαση στα Χαμηλά Φορτία*

---



## **ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία προσεγγίζει σε πρώτο επίπεδο σε θεωρητική βάση τη δυνατότητα λειτουργίας ενός ναυτικού κινητήρα σε χαμηλό φορτίο και κατά συνέπεια σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής εκτός του πεδίου σχεδιασμού του. Πρόκειται για μια σύγχρονη στρατηγική με σκοπό το περιορισμό της ημερήσιας κατανάλωσης καυσίμου με συνέπεια την μείωση κόστους αλλά και τον περιορισμό των απόλυτων τιμών των εκπεμπόμενων ρύπων.

Γίνεται αναφορά στις σημερινές διατάξεις που ενισχύουν τη χρήση του παραπάνω μέτρου με στόχο την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης αλλά και σε νέους δείκτες που έχουν εισαχθεί στη ναυτιλία με σκοπό την «ποσοτικοποίηση» της απόδοσης του κάθε πλοίου λειτουργώντας και ως μέτρο σύγκρισης. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά σε τροποποιήσεις που έχουν προταθεί κυρίως από τους κατασκευαστές των κινητήρων για την καλύτερη δυνατή εφαρμογή του μέτρου και την αντιστάθμιση τυχόν προβλημάτων που θα μπορούσαν να προκύψουν κατά την λειτουργία του κινητήρα σε σημεία εκτός σχεδιασμού (περιοχές χαμηλού φορτίου). Για τη διερεύνηση γίνεται χρήση ειδικού λογισμικού προσομοίωσης ναυτικών κινητήρων Ντήζελ που έχει ενσωματωθεί σε διαγνωστικό λογισμικό που έχει αναπτυχθεί από τον Καθ. κ. Δ. Χουντάλα.

Στη συνέχεια, προσεγγίζεται θεωρητικά το διαγνωστικό λογισμικό και κυρίως η δυνατότητα της προσομοίωσης που παρέχει. Κάνοντας χρήση πραγματικών μετρήσεων για διαφορετικά φορτία του κινητήρα προσδιορίζονται οι καμπύλες τάσης των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα που καθιστούν εφικτή την εκτίμηση τους σε όλο το εύρος φορτίου έως και τα χαμηλά. Πρόκειται για μια σημαντική διερεύνηση διότι δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για τις λειτουργικές παραμέτρους σε περιοχές χαμηλού φορτίου.

Τέλος γίνεται προσδιορισμός των λειτουργικών παραμέτρων των αντίστοιχων σημείων από το διαγνωστικό πρόγραμμα ΡΥΤΗΙΑ-V με χρήση της προσομοίωσης. Στη παρούσα εργασία εξετάζονται δύο μεθοδολογίες όσον αφορά στη περιγραφή της λειτουργίας του υπερπληρωτή. Στη πρώτη χρησιμοποιούνται λειτουργικά δεδομένα του υπερπληρωτή (πίεση σάρωσης κλπ) που εκτιμώνται με τη χρήση των μετρημένων τιμών των επίσημων δοκιμών και στη δεύτερη προσομοιώνεται η λειτουργία του υπερπληρωτή χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της λειτουργικής ομοιότητας. Αυτό είναι πρακτικά αναγκαίο διότι δεν υπάρχουν διαθέσιμοι χάρτες λειτουργίας για το συμπιεστή και το στρόβιλο. Ο τελικός στόχος είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις αντίστοιχες μετρήσεις και η εξακρίβωση



*Προσομοίωση Λειτουργικής Συμπεριφοράς Δίχρονου Ναυτικού Κινητήρα Ντήζελ με Βάση τις  
Εργοστασιακές Δοκιμές και τις Δοκιμές Θαλάσσης με Έμφαση στα Χαμηλά Φορτία*

---

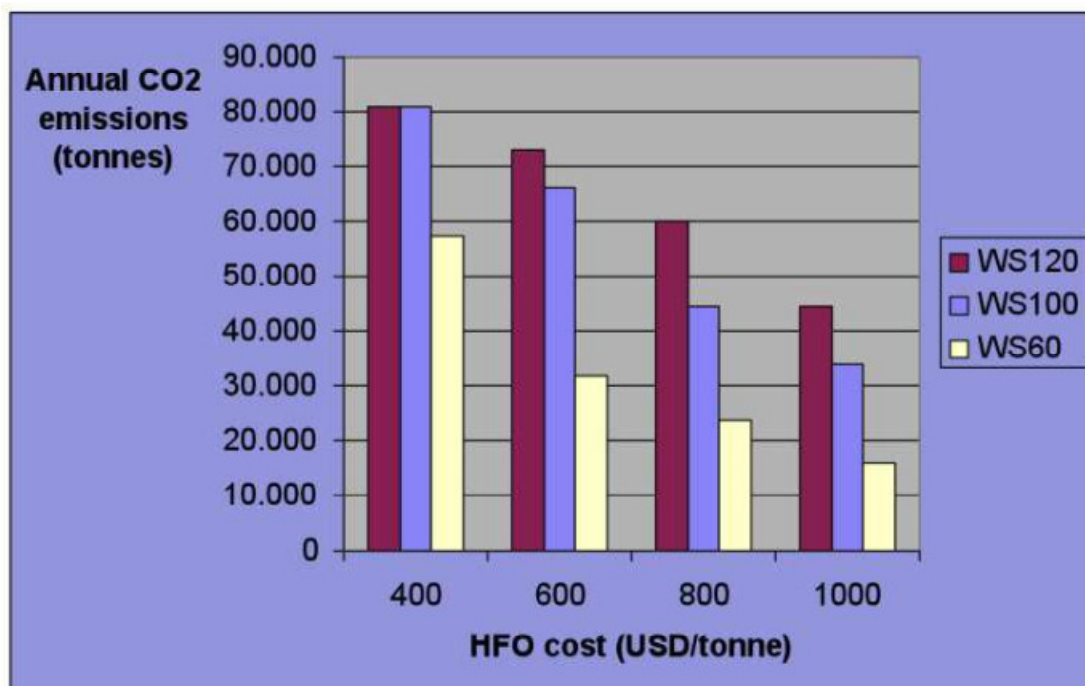
της δυνατότητας λειτουργίας του λογισμικού για τον προσδιορισμό σημείων λειτουργίας για χαμηλά φορτία.



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ “SLOW STEAMING CONCEPT” (ΑΡΓΗ ΠΛΕΥΣΗ)

Η αργή πλεύση ή «slow steaming» διεθνώς είναι μια επιχειρησιακή στρατηγική κατά την οποία ένα πλοίο ταξιδεύει με ταχύτητα χαμηλότερη από αυτή του μέσου όρου στα διάφορα σκέλη ενός ταξιδιού. Η τακτική αυτή προτάθηκε με κύριο στόχο τη μείωση της απόλυτης κατανάλωσης καυσίμου γεγονός που συνεπάγεται τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα (**Σχήμα 1.1**).

Το slow steaming υιοθετήθηκε το 2008, όταν η τιμή του πετρελαίου εκτοξεύτηκε και ως συνέπεια και τα λειτουργικά έξοδα των πλοίων. Σε αυτό ώθησε και η αυξανόμενη ανησυχία στην ναυτιλιακή κοινότητα για την μόλυνση του περιβάλλοντος και τις κλιματολογικές αλλαγές λόγω των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και των άλλων ρυπαντών που είναι ανάλογες με την ποσότητα καυσίμου που καίγεται. Παράδειγμα αποτελούν πλοία που ταξίδευαν με ταχύτητες 22-25 κόμβους που πλέον την έχουν μειώσει στους 18-20 κόμβους ενώ σε κάποιες περιπτώσεις ακόμη χαμηλότερα στους 8-12 κόμβους (super slow steaming).

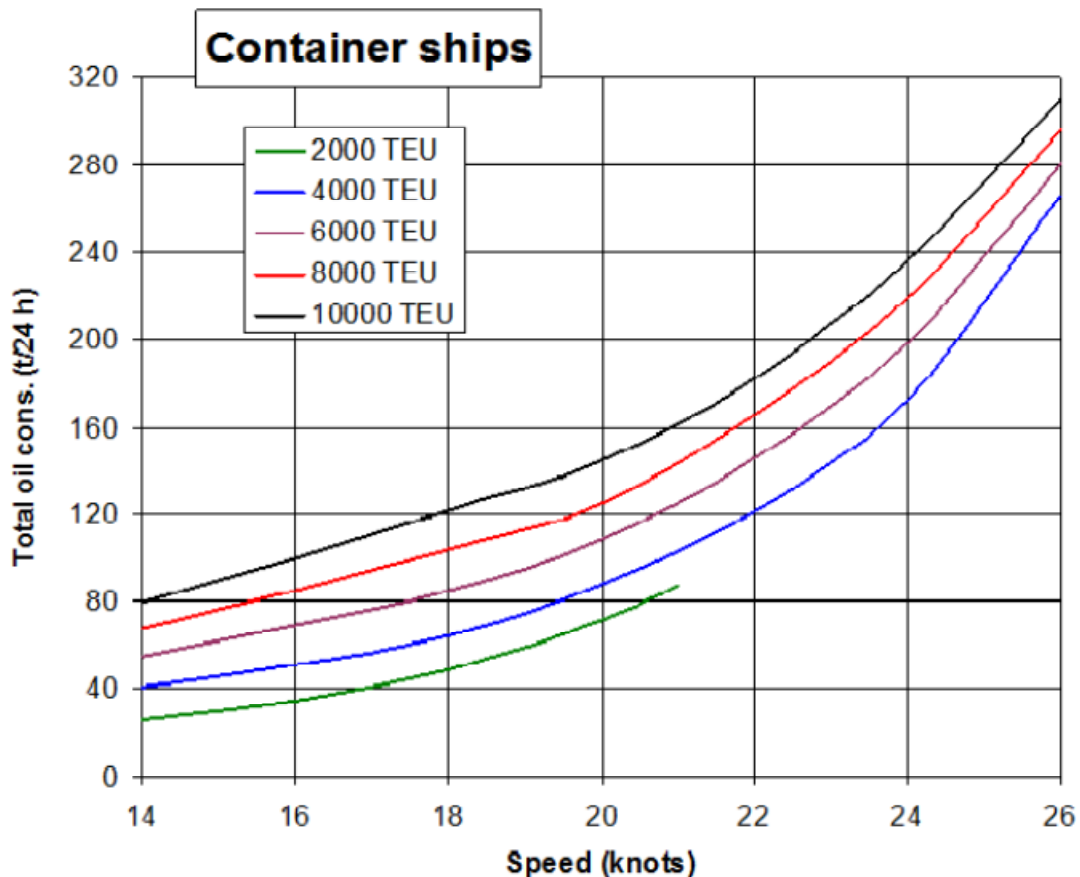


Σχήμα 1.1: Επίδραση της τιμής του καυσίμου στις ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub>

Παράδειγμα εφαρμογής της ανωτέρω στρατηγικής είναι η Maersk η οποία στην έκθεσή της αναφέρει ότι την τριετία από το 2007 έως το 2010 οι εκπομπές CO<sub>2</sub> στα πλοία της μειώθηκαν κατά 14,5% ανά



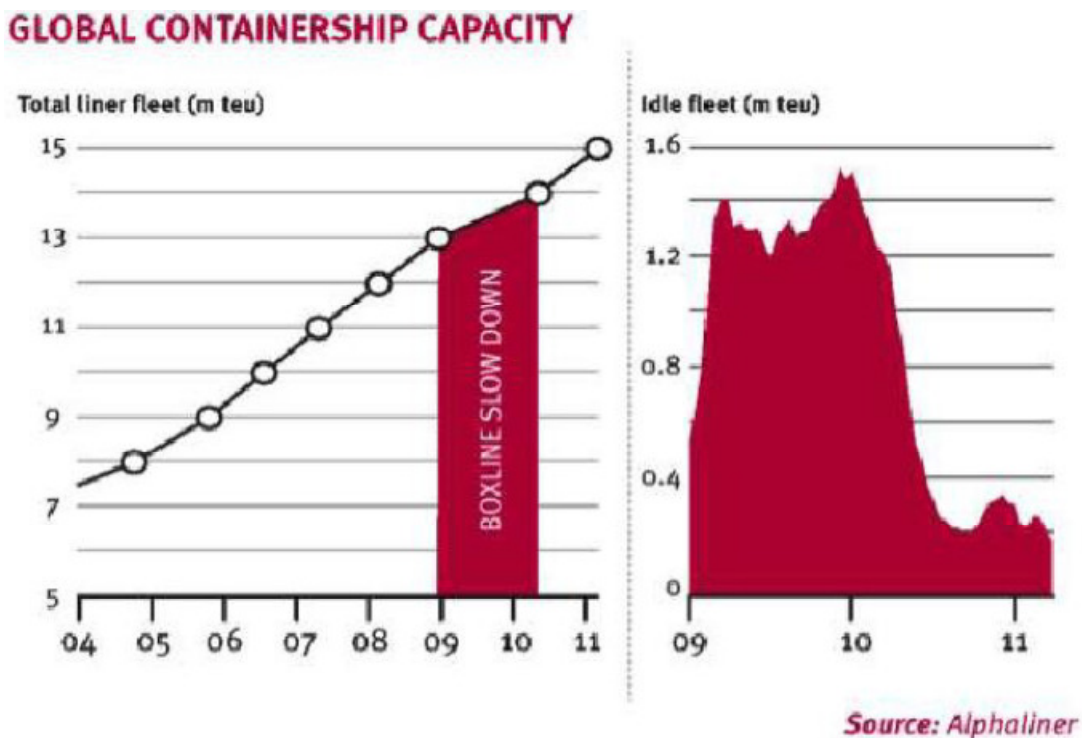
εμπορευματοκιβώτιο (αφορά πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων όπως εικονίζεται και στο Σχήμα 1.2) βελτιώνοντας έτσι την λειτουργική αποδοτικότητά τους, το οποίο και ευθύνεται για τελική μείωση των εκπομπών κατά 7% μέσα σε διάστημα 18 μηνών. Για παράδειγμα, ένα πλοίο μεταφοράς Ε/Κ με χωρητικότητα 8000 Ε/Κ και ταχύτητα 21 κόμβους χρειάζεται 125 τόνους καυσίμου για να διανύσει 500 μίλια ενώ μειώνοντας την ταχύτητα του στους 15 κόμβους χρειάζεται μόλις 80 τόνους για την ίδια απόσταση. Ο εκπρόσωπος της Maersk Cerup Simonsen δήλωσε πως «όταν η ταχύτητα μειώνεται περίπου κατά 20% η κατανάλωση μειώνεται περίπου κατά 40% ανά μίλι. Η εισαγωγή του στη ναυτιλία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στις μέρες μας και ακόμη δεν έχουμε συνειδητοποιήσει τη δυναμική αυτού του εγχειρήματος».



Σχήμα 1.2: Συνολική κατανάλωση καυσίμου σε συνάρτηση με την ταχύτητα

Σε μεγάλο βαθμό η βιομηχανία έχει αγκαλιάσει τη συγκεκριμένη μέθοδο καθώς σύμφωνα με τον Νορβηγικό Νηογνώμονα περίπου το 80% των διαδρομών από Ασία για Ευρώπη πραγματοποιείται από πλοία που την εφαρμόζουν. Έτσι η πλειοψηφία των υπηρεσιών της διαδρομής αυτής γίνεται με ταχύτητες 17-19 κόμβους.

Άλλος σημαντικός παράγοντας που συνέβαλε στην υιοθέτηση του slow steaming από τις ναυτιλιακές εταιρίες ήταν η πλεονάζουσα μεταφορική ικανότητα στη ναυτιλιακή βιομηχανία ως αποτέλεσμα της οικονομικής κρίσης της εποχής. Στα χρόνια της οικονομικής άνθησης και ευημερίας μέχρι το 2007, οι ναυτιλιακές εταιρίες αύξησαν σημαντικά την χωρητικότητα τους στον τομέα των Ε/Κ σε όλες τις κύριες διαδρομές ώστε η προσφορά των πλοίων να ισορροπήσει με τη ζήτηση. Όμως αυτή η αυξανόμενη χωρητικότητα αποδείχτηκε πως είναι δύσκολο να διαχειριστεί από τη στιγμή που συνέπεσε με τη μεγαλύτερη οικονομική ύφεση που γνώρισε ο κόσμος μετά τον 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο. Έτσι αποτέλεσμα της πλεονάζουσας μεταφορικής ικανότητας ήταν πολλά πλοία να παραμείνουν παροπλισμένα. Σύμφωνα με το Συμβούλιο Βαλτικής και Διεθνούς Ναυτιλίας (Baltic and International Maritime Council-BIMCO), υπολογιζόταν ότι περισσότερα από 300 πλοία θα αποσυρθούν προσωρινά από την αγορά ώστε η προσφορά να ισορροπήσει με τη ζήτηση και αποτραπεί η περαιτέρω πτώση των ναύλων. Τελικά, 140 πλοία παρέμειναν αδρανή με αποτέλεσμα οι ναύλοι να πέσουν 10-11% από τότε. Με την εφαρμογή όμως slow steaming λοιπόν ο αριθμός των αδρανών πλοίων μειώθηκε καθώς ο χρόνος ταξιδιού αυξήθηκε και απαιτούνται πλέον περισσότερα πλοία για την κάλυψη των αναγκών του εμπορίου.



Σχήμα 1.3: Χωρητικότητα πλοίων μεταφοράς Ε/Κ για την περίοδο 2004-11 και μέγεθος παροπλισμένων πλοίων από το 2009 και μετά (σε εκατομμύρια Ε/Κ)



Όμως, για την εφαρμογή του “slow steaming concept” υπάρχουν και διαφορετικές απόψεις. Έτσι, απόψεις τάσσονται κατά της εφαρμογής δηλώνοντας πως δεν είναι υπέρ των συμφερόντων των ιδιοκτητών των φορτίων καθώς η παράδοση τους καθυστερεί. Η Maersk απορρίπτει τις παραπάνω κριτικές δηλώνοντας πως η χαμηλότερη ταχύτητα δεν συνεπάγεται απαραίτητα καθυστερημένη παράδοση καθώς αποφεύγεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση εντός των λιμανιών και βελτιώνεται ο προγραμματισμός του ταξιδιού.

Επιπλέον, γνώμες στηρίζουν πως τα οφέλη που σημειώθηκαν και θα σημειωθούν κατά την περίοδο εφαρμογής του slow steaming, θα διασφαλίσουν ότι οι φορείς της ναυτιλίας δε θα επιδιώξουν να επιστρέψουν στα προηγούμενα δεδομένα υψηλών ταχυτήτων όταν η αγορά ορθοποδήσει. Αντίθετα με αυτή την άποψη, υπάρχει η πεποίθηση ότι όταν η αγορά ανακάμψει και η πλεονάζουσα μεταφορική ικανότητα μειωθεί, θα επιστρέψουμε στις υψηλές ταχύτητες του παρελθόντος.

Είναι σαφές ότι οι πλοιοκτήτριες εταιρίες έχουν τεράστια οφέλη με την εφαρμογή του slow steaming καθώς η εξοικονόμηση στα καύσιμα είναι μεγαλύτερη από το πρόσθετο κόστος λόγω της χρησιμοποίησης επιπλέον πλοίων. Είναι απίθανο, καθώς φαίνεται, η τιμή του πετρελαίου να μειωθεί με την πάροδο του χρόνου σε τέτοιο βαθμό ώστε το slow steaming να είναι αντιοικονομικό. Υπάρχει ένα νεκρό σημείο στην τιμή του πετρελαίου κάτω από την οποία η στρατηγική της αργής πλεύσης δεν είναι βιώσιμη σε βάθος χρόνου. Η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στα επίπεδα που έχουν φθάσει σήμερα, μπορεί να διατηρηθεί για τιμή καυσίμου που κυμαίνεται στα 350-400\$/ton. Έτσι, εάν οι τιμές των καυσίμων μειωθούν ενώ οι ναύλοι αυξηθούν, το κίνητρο για να ταξιδεύει ένα πλοίο σε μέγιστη ταχύτητα θα αυξηθεί. Όσο οι ναύλοι πέφτουν, το slow steaming θα παραμείνει βιώσιμο εάν οι τιμές των καυσίμων παραμείνουν υψηλές ή εάν εφαρμοστούν δυναμικές λύσεις όπως η επιβολή φορολογικών εισφορών και ορίων εκπομπών ρύπων.

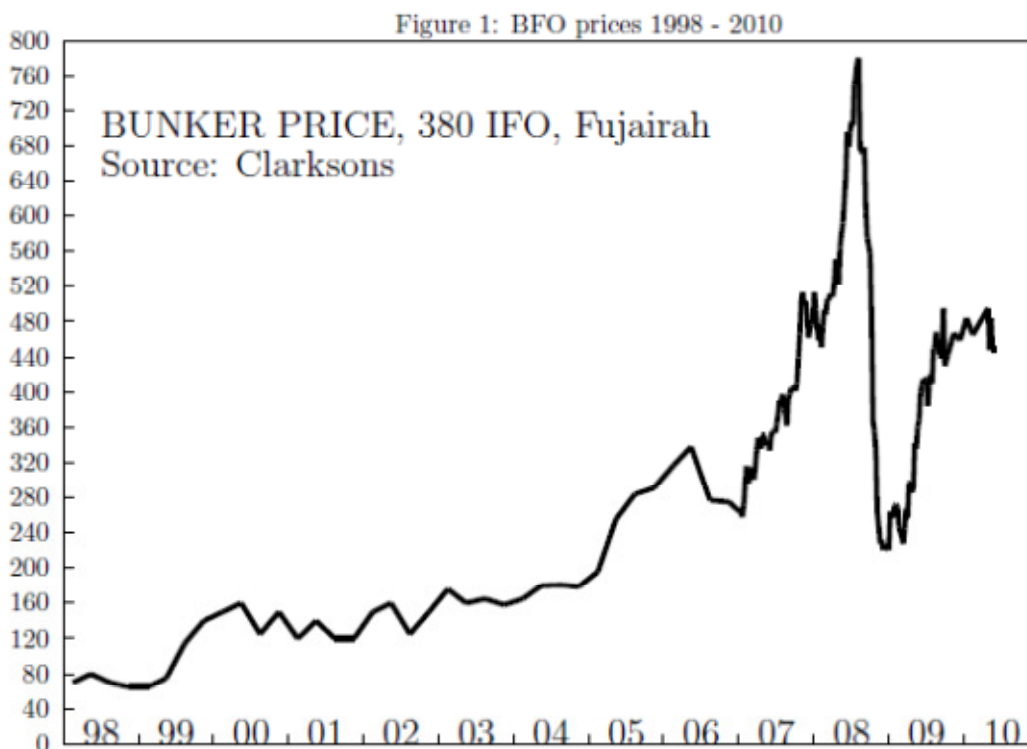
Είναι προφανές ότι το slow steaming θα παραμείνει σαν στρατηγική για όσο διάστημα είναι λογικό για όλους τους εμπλεκόμενους, καθώς είναι καλύτερο για τον πελάτη, για τον πλανήτη και για τις επιχειρήσεις τους.





## 2. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ SLOW STEAMING ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Η τιμή των καυσίμων είχε μεγάλες διακυμάνσεις από το 1998 μέχρι και τις μέρες μας. Το 1998 η τιμή για το βαρύ πετρέλαιο (BFO) ήταν σε χαμηλά επίπεδα, της τάξεως των 50\$/ton. Από τα μέσα του 1999 μέχρι το 2005 η τιμή κυμαινόταν μεταξύ 120 και 180\$/ton. Η ραγδαία αύξηση των τιμών ξεκίνησε το 2005, φθάνοντας στα υψηλότερα επίπεδα που έχουν καταγραφεί περίπου στα μέσα του 2008, αγγίζοντας τα 800\$/ton. Στα τέλη του 2008 και λόγω της οικονομικής κρίσης, οι τιμές του BFO μειώθηκαν απότομα φθάνοντας τα 225\$/ton στις αρχές του 2009, από όπου και ξεκίνησε πάλι σταδιακή αύξηση για να φθάσει τα 450\$/ton. Ένας πολύ χονδρικός κανόνας είναι ότι η τιμή του BFO σε τόνους είναι περίπου πέντε ή έξι φορές η τιμή του αργού πετρελαίου σε βαρέλια. Στο **Σχήμα 2.1** που ακολουθεί φαίνεται η πορεία της τιμής του πετρελαίου από το 1998 έως το 2010.

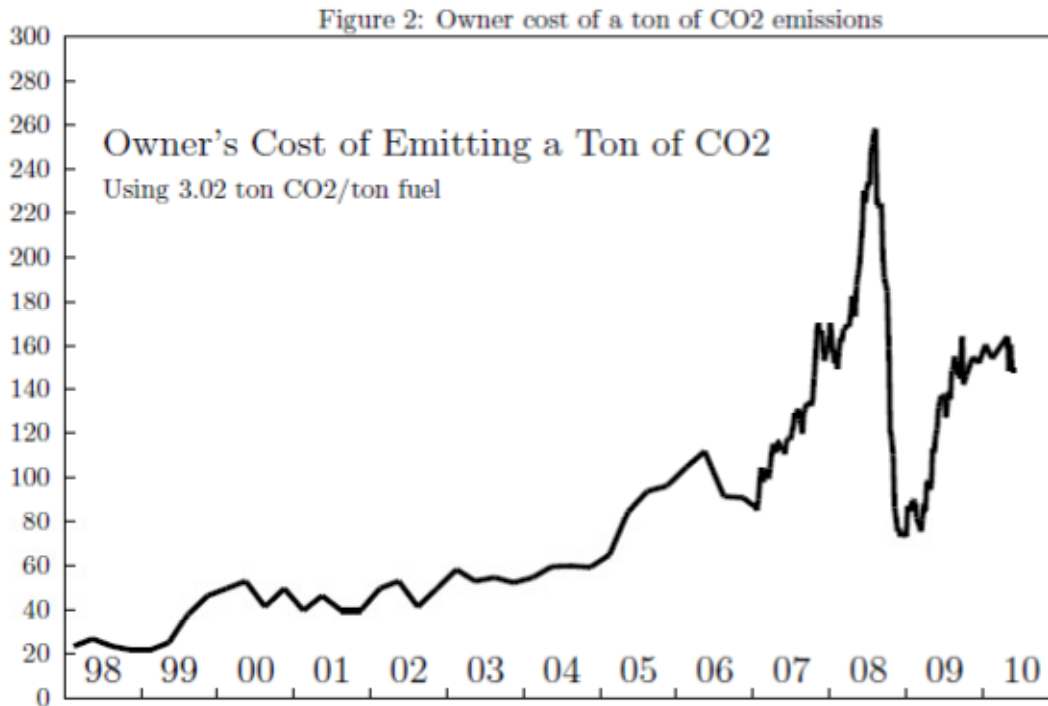


Σχήμα 2.1: Διακύμανση της τιμής του BFO σε \$ από το 1998 έως το 2010

Όταν ο ιδιοκτήτης αγοράζει ένα τόνο BFO, αγοράζει αναλογικά πάνω από τρεις τόνους εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Για τον πλοιοκτήτη, το κόστος ενός τόνου εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι περίπου το ένα τρίτο της τιμής του καυσίμου που αγοράζει. Το 1998, αυτό το κόστος ήταν λίγο πάνω

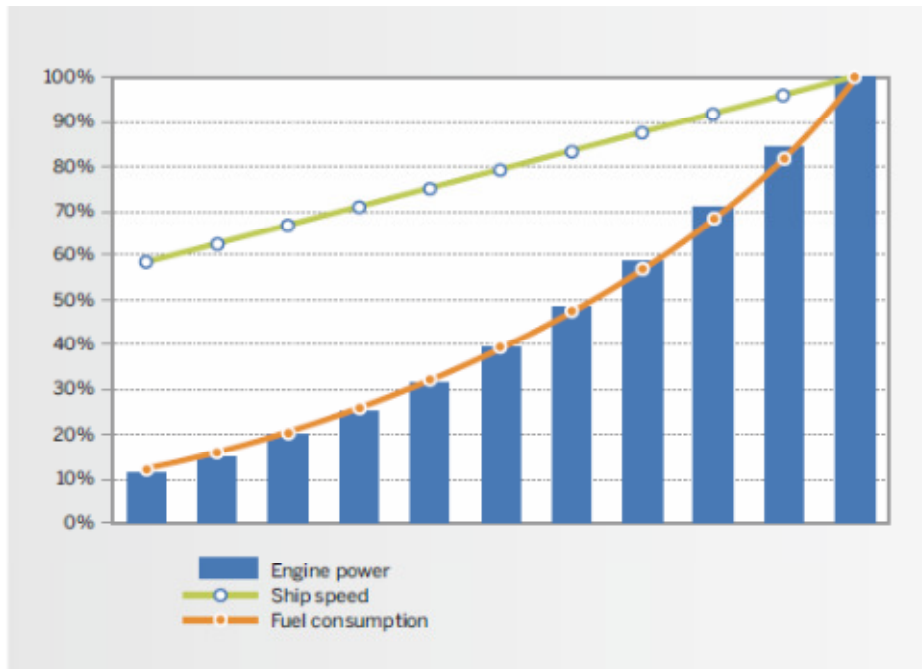


από 20\$/ton CO<sub>2</sub> ενώ το 1999 ανέβηκε στα 50\$/ton. Στο **Σχήμα 2.2** που ακολουθεί φαίνεται το κόστος για κάθε τόνο CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται.



*Σχήμα 2.2: Κόστος για κάθε τόνο εκπομπής CO<sub>2</sub>*

Ο μεγαλύτερος παράγοντας κόστους για τα εμπορικά πλοία, και ειδικά για τα πλοία μεταφοράς Ε/Κ είναι το καύσιμο ενώ σημαντική μείωση μπορεί να γίνει μόνο με τη μείωση της ταχύτητας. Το τυπικό σύστημα πρόωσης για τα μεγαλύτερα εμπορικά πλοία είναι ο δίχρονος κινητήρας Ντήζελ που δίνει κίνηση στην προπέλα σταθερού βήματος μέσω άξονα. Έτσι η ταχύτητα του πλοίου μειώνεται μέσω της μείωσης της ταχύτητας της μηχανής και της προπέλας. Η ισχύς που χρειάζεται από την κύρια μηχανή ωστόσο συσχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με την ταχύτητα του πλοίου όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.3**.



Σχήμα 2.3: Συσχέτιση μεταξύ ταχύτητας πλοίου, απαιτούμενης ισχύος κινητήρα και κατανάλωσης καυσίμου

Ένα παράδειγμα για την εξοικονόμηση καυσίμου αποτελεί το γεγονός πως όταν μειωθεί η ονομαστική ταχύτητα ενός εμπορικού πλοίου από τους 27 στους 22 κόμβους (-19%) θα μειωθεί η ισχύς του κινητήρα στο 42% της ονομαστικής ισχύος του (CMCR). Το τελικό αποτέλεσμα εξοικονόμησης καυσίμου ωριαία είναι 58%. Παραπάνω μείωση στους 18 κόμβους οδηγεί σε 75% εξοικονόμηση καυσίμου. Αυτή όμως η μειωμένη ταχύτητα οδηγεί σε αύξηση του μέσου χρόνου ενός ταξιδιού, έτσι τώρα η εξοικονόμηση καυσίμου για παράδειγμα για ένα ταξίδι Ασία-Ευρώπη-Ασία μειώνεται στο 45% στους 22 κόμβους ή στο 59% στους 18 κόμβους. Οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές και ποικίλουν ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες σε κάθε ταξίδι, το βάρος του φορτίου του πλοίου αλλά και με άλλους παράγοντες.

Όσον αφορά την ειδική κατανάλωση καυσίμου ισχύουν τα ακόλουθα:

Ως γενικός κανόνας, η ισχύς του κινητήρα συνδέεται με την ταχύτητα του πλοίου εκθετικά (Τρίτη δύναμη). Αυτό σημαίνει ότι μείωση 10% της ταχύτητας τα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση κατά 27% (προσεγγιστικά) των απαιτήσεων σε ισχύ του άξονα. Ωστόσο, ένα πλοίο που ταξιδεύει 10% πιο αργά θα χρειαστεί 11% περισσότερο χρόνο για να καλύψει μια συγκεκριμένη απόσταση. Εάν αυτό ληφθεί υπόψη έναν νέος γενικός κανόνας μπορεί να συνταχθεί, όπου πλέον η τέταρτη δύναμη συνδέει την ταχύτητα με την κατανάλωση καυσίμου, έτσι ώστε μείωση της ταχύτητας κατά 10% θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ισχύος του κινητήρα κατά 19%. Έτσι επειδή οι παραπάνω σχέσεις είναι κυρτές συναρτήσεις, η πλεύση με σταθερή ταχύτητα απαιτεί λιγότερα καύσιμα από το να πλέει με αυξομειούμενη ταχύτητα ακόμα και αν η μέση ταχύτητα παραμένει ίδια.



Είναι όμως γνωστό ότι η κατανάλωση καυσίμου είναι το γινόμενο της ισχύος και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου η οποία επηρεάζεται από το φορτίο. Το εύρος όμως της μεταβολής της δεν μπορεί να επηρεάσει την απόλυτη ωριαία κατανάλωση στο βαθμό που την επηρεάζει η απόλυτη ισχύς. Επομένως είναι σαφές ότι πρωταρχική επίδραση έχει η ισχύς λειτουργίας του κινητήρα.

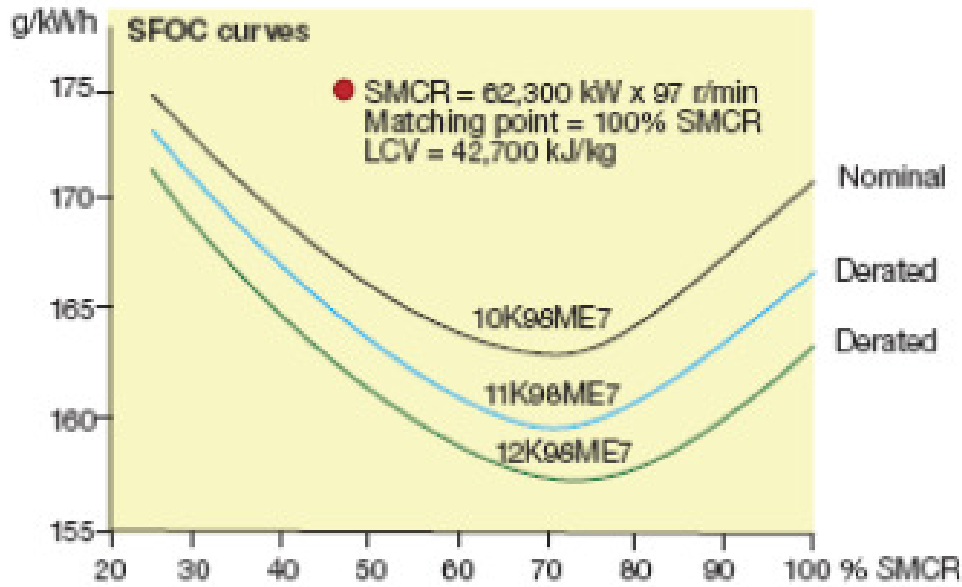
Εξετάζοντας το παραπάνω πρέπει να γίνει αναφορά και στα δύο είδη κινητήρων Ντήζελ που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία, τους δίχρονους και τους τετράχρονους κινητήρες λόγω των διαφορετικών αρχών λειτουργίας. Γενικά, οι τετράχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε μικρότερα πλοία ενώ οι δίχρονοι σε μεγαλύτερα.

Τυπικές εφαρμογές κινητήρων είναι οι παρακάτω:

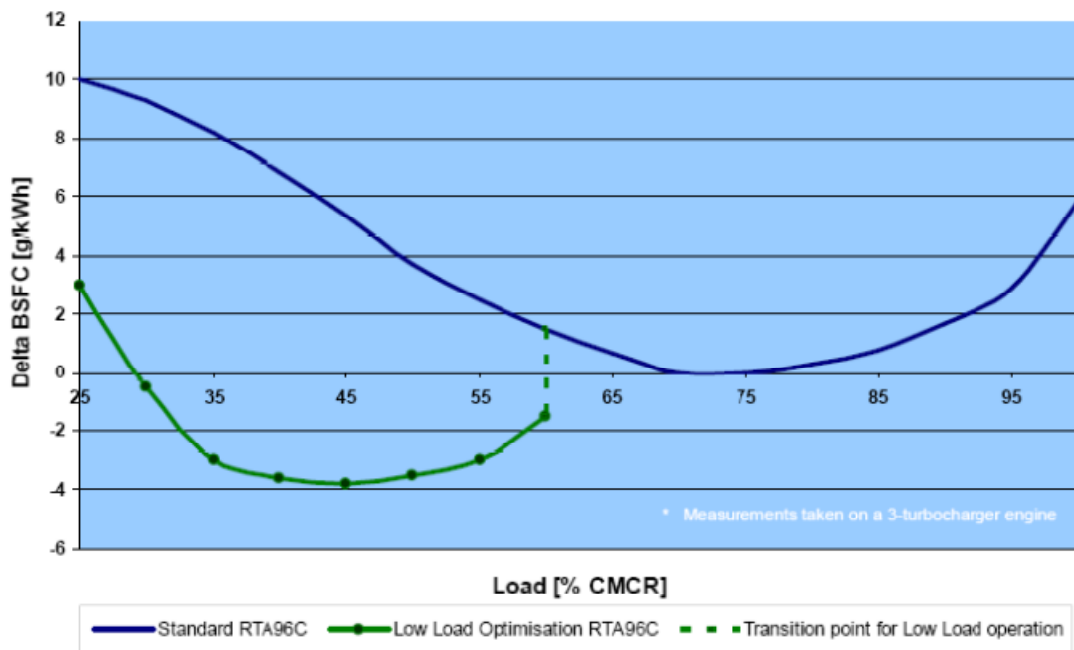
- 4-χρονός: container feeder, επιβατηγά, μικρά bulker και tanker.
- 2-χρονός: container panamax και post-panamax, μεγάλα bulker και tanker.

Από το 100% του φορτίου (maximum continuous rating (MCR)) έως και το 50% του φορτίου η διακύμανση της χαμηλότερης κατανάλωσης είναι κοντά στο 3% τη στιγμή που η ειδική κατανάλωση καυσίμου στο ονομαστικό φορτίο είναι αντίστοιχα 190 g/kWh και 200 g/kWh. Στη περιοχή αυτή φορτίου ο παραπάνω γενικός κανόνας μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς σημαντικές διαφορές. Στο 25% του φορτίου η ειδική κατανάλωση αυξάνεται κατά ποσοστό 10-15% πάνω από τη βέλτιστη ειδική κατανάλωση. Έτσι, ο κινητήρας χρησιμοποιεί περίπου 10-15% περισσότερο καύσιμο για κάθε μονάδα ισχύος. Κάτω από το 25% του φορτίου, είναι διαθέσιμα πολύ λίγα στοιχεία για την ειδική κατανάλωση οπότε και ο γενικός κανόνας δεν μπορεί να εφαρμοστεί ως έχει απαιτώντας τροποποιήσεις.

Από στοιχεία δοκιμών γίνεται η γενίκευση ότι για λειτουργία σε 25% MCR θα πραγματοποιηθεί αύξηση της ειδικής κατανάλωσης της τάξης του 10% για 2-χρονο κινητήρα (190 g/kWh) και 15% για 4-χρονο (200 g/kWh). Στο **Σχήμα 2.4** και στο **Σχήμα 2.5** απεικονίζονται οι διακυμάνσεις της κατανάλωσης καυσίμου ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα. Οι τιμές έχουν ληφθεί από φυλλάδια κατασκευαστών.



Σχήμα 2.4: Παράδειγμα σχέσης ανάμεσα στο φορτίο του κινητήρα και της ειδικής κατανάλωσης για 2-χρονο κινητήρα (Πηγή: MAN)



Σχήμα 2.5: Παράδειγμα σχέσης μεταξύ φορτίου κινητήρα και ειδικής κατανάλωσης για δίχρονο κινητήρα (Πηγή: Wärtsilä)



### **3. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ SLOW STEAMING ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας (IMO), η παγκόσμια ναυτιλία είναι υπεύθυνη για 870 Mt CO<sub>2</sub> για το 2009, τιμή που αντιστοιχεί στο 2,7% των αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμια κλίμακα ενώ αναμένεται να αυξηθεί στους 2000-3000 Mt CO<sub>2</sub> .

Μέχρι τώρα οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την παγκόσμια εμπορική ναυτιλία είναι ελεύθερες και δεν υπάρχουν κανονισμοί για τον περιορισμό τους. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο, από τους στόχους του οποίου έχει εξαιρεθεί η ναυτιλία, πρέπει να ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα από βιομηχανίες και άλλες δραστηριότητες για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και κυρίως του CO<sub>2</sub> που ευθύνεται σε μεγαλύτερο βαθμό για την ανάπτυξη του φαινομένου. Είναι σαφές λοιπόν ότι η περίοδος έλλειψης κανονισμών στη ναυτιλία είναι πολύ κοντά στο τέλος της δεδομένου ότι η αύξηση της θερμοκρασίας πρέπει να διατηρηθεί κάτω από τους 2 °C (Copenhagen Accord).

Για την μείωση των εκπομπών διαφορετικά μέτρα μπορούν να παρθούν ενώ μια κατηγορία μέτρων είναι η βελτίωση της απόδοσης του πλοίου, η οποία σύμφωνα με προβλέψεις θα φτάσει το 25-45% έως το 2030. Τα μέτρα αυτά παρατίθενται στο παρακάτω **Πίνακα 3.1** με το εκτιμώμενο μέγεθος μείωσης των εκπομπών χρησιμοποιώντας πρακτικές και τεχνολογία που είναι γνωστή στις μέρες μας.



Σχέδιο (νεότευκτα πλοία)	Μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> (τόνοι/μίλια)	Συνδυασμός	Συνδυασμός
Ιδέα, ταχύτητα και ικανότητα	2% έως 50% *	10% έως 50%	25% έως 75%
Γάστρα και υπερκατασκευή	2% έως 20%		
Ισχύς και συστήματα πρόωσης	5% έως 15%		
Χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα καύσιμα	1% έως 15% **		
Ανανεώσιμη ενέργεια	1% έως 10%		
Μείωση καυσαερίων CO <sub>2</sub>	0%		
<b>Λειτουργία(όλα τα πλοία)</b>			
Διαχείριση στόλου, logistics & κίνητρα	5% έως 50%	10% έως 50%	
Βελτιστοποίηση ταξιδιού	1% έως 10%	10% έως 50%	
Διαχείριση ενέργειας	1% έως 10%		

\* μείωση αυτού του επιπέδου απαιτεί μείωση της επιχειρησιακής ταχύτητας

\*\* οι τιμές αυτές βασίζονται στη χρησιμοποίηση Φυσικού Αερίου για καύσιμο

**Πίνακας 3.1:** Εκτίμηση μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub> χρησιμοποιώντας γνωστή τεχνολογία και πρακτικές

Είναι προφανές ότι ένα πλοίο μπορεί να μειώσει την ενεργειακή του απόδοση μειώνοντας απλά την ταχύτητα του. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η κατανάλωση καυσίμου και η ταχύτητα συνδέονται με την τρίτη δύναμη οπότε μια μείωση της ταχύτητας κατά 10% αντιστοιχεί σε μείωση 27% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανά μονάδα χρόνου ενώ σε μείωση 19% ανά μονάδα απόστασης. Στην πραγματικότητα, η μείωση των εκπομπών θα είναι λίγο μεγαλύτερη από το 19% ανά μονάδα απόστασης καθώς μόνο ένα μέρος του ταξιδιού πραγματοποιείται με βέλτιστη ταχύτητα.

Όμως για να είναι δυνατή η εφαρμογή της αρχής του slow steaming, θα πρέπει να συνυπολογίσουμε τις περιορισμούς γύρω από την ελάχιστη δυνατή ταχύτητα. Η τελευταία περιορίζεται:

- Από το ότι η ζήτηση για μεταφορά κάθε χρόνο πρέπει να ικανοποιείται
- Από την προσφορά των πλοίων
- Από την μέγιστη μεταφορική ικανότητα τους
- Από το γεγονός ότι μπορεί να προκληθεί βλάβη στη μηχανή όταν το φορτίο είναι πολύ χαμηλό.



Η σχέση μεταξύ της πραγματικής και της μέγιστης ταχύτητας του πλοίου, και του φορτίου της μηχανής είναι η ακόλουθη:

$$\text{Ισχύς Κινητήρα} \sim (\text{πραγματική ταχύτητα} / \text{μέγιστη ταχύτητα})^3$$

Ο μέσος όρος της μέγιστης ταχύτητας ανά κατηγορία πλοίου (ανάλογα με το μέγεθος) υπολογίστηκε από τον μέσο όρο του φορτίου της κύριας μηχανής και από την μέση ταχύτητα όπως αυτή δόθηκε σε έκθεση του 2007 από τον Διεθνή Οργανισμό Ναυτιλίας.

Η μέγιστη μείωση του φορτίου που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση του slow steaming χωρίς να έχουν ληφθεί μέτρα που αφορούν μετασκευές δεν μπορεί να γενικευθεί. Ωστόσο, μπορεί να γίνει υπόθεση για τις παρακάτω τιμές όπως αυτές έχουν προκύψει κατόπιν έρευνας σε συγκεκριμένα πλοία της εταιρίας GL Market Intelligence όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.1**:

- 10% μέγιστη δυνατή μείωση του φορτίου από την ονομαστική τιμή για τετράχρονο κινητήρα
- 40% μέγιστη δυνατή μείωση του φορτίου από την ονομαστική τιμή για δίχρονο κινητήρα

	<b>Tanker</b>	<b>Bulkers</b>	<b>Container ships</b>
2008	0-0.5%	4%	8%
2009	12%	17%	15-16%
2010	16-21%	17-27%	15-18%
2011	16-20%	17-29%	11-16%
2012	16-18%	17-28%	4-16%
2013 (for container only)	-	-	2-16%

*Σχήμα 3.1: Μέγιστη δυνατή μείωση της ταχύτητας όταν δεν γίνεται χρήση μετασκευών για slow steaming*

Το 2008 η δυνατότητα εφαρμογής του slow steaming ήταν σχετικά μικρή, ειδικά για τα δεξαμενόπλοια ενώ για ορισμένους τύπους δεξαμενόπλοιων δεν έχει προσδιορισθεί ακόμη όριο για τη μείωση της ταχύτητας. Κατά συνέπεια, η μικρή μείωση της ταχύτητας θα μπορούσε ακόμη και να οδηγήσει σε αύξηση των εκπομπών τις οποίες όμως θα μπορούσε να αντισταθμίσει η υψηλότερη ειδική κατανάλωση. Από το 2009 έως το 2012 το slow steaming γνώρισε μεγαλύτερη εφαρμογή που κυμαίνεται από 12-20% για τα δεξαμενόπλοια, 17-29% για τα φορτηγά πλοία και 4-16% για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

Για τον ακριβή προσδιορισμό των εκπομπών εκτός από την μείωση της ταχύτητας θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η μείωση της ειδικής κατανάλωσης (Specific Fuel Oil Consumption). Ως γνωστό η μικρότερη τιμή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου βρίσκεται κοντά στο 85% του φορτίου του κινητήρα. Όμως, επειδή για μη πολύ χαμηλή ταχύτητα περιστροφής προκύπτουν μη ρεαλιστικές τιμές





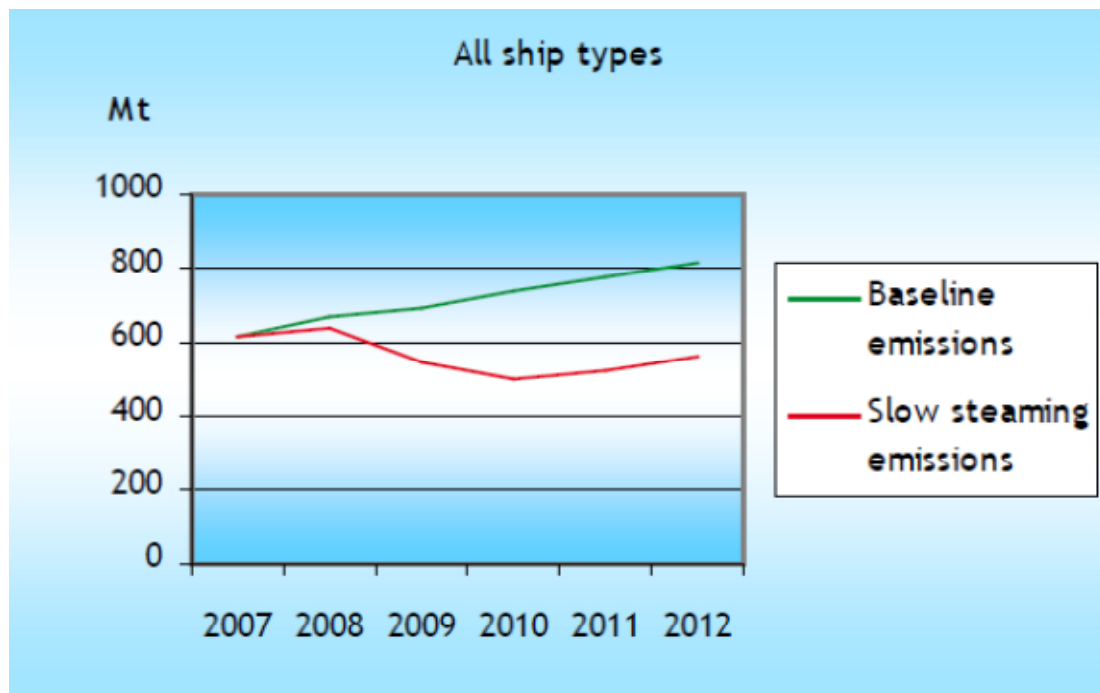
για την ειδική κατανάλωση καυσίμου με χρήση απλής παρεμβολής ή προεκβολής θα πρέπει να διερευνηθεί ένας διαφορετικός τρόπος εκτίμησης ή να γίνει χρήση ενός άνω ορίου. Το όριο αυτό είναι ~210 g/kWh για ένα δίχρονο κινητήρα ενώ για τετράχρονο κινητήρα ~ 275 g/kWh για πλοία με μέση ισχύ κυρίας μηχανής μικρότερη των 4 MW και 235 g/kWh για ισχύ κυρίας μηχανής μεγαλύτερη των 4 MW (Διεθνής Οργανισμός Ναυτιλίας, 2009).

Οι εκπομπές υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση και αφορούν εκπομπές της κύριας μηχανής:

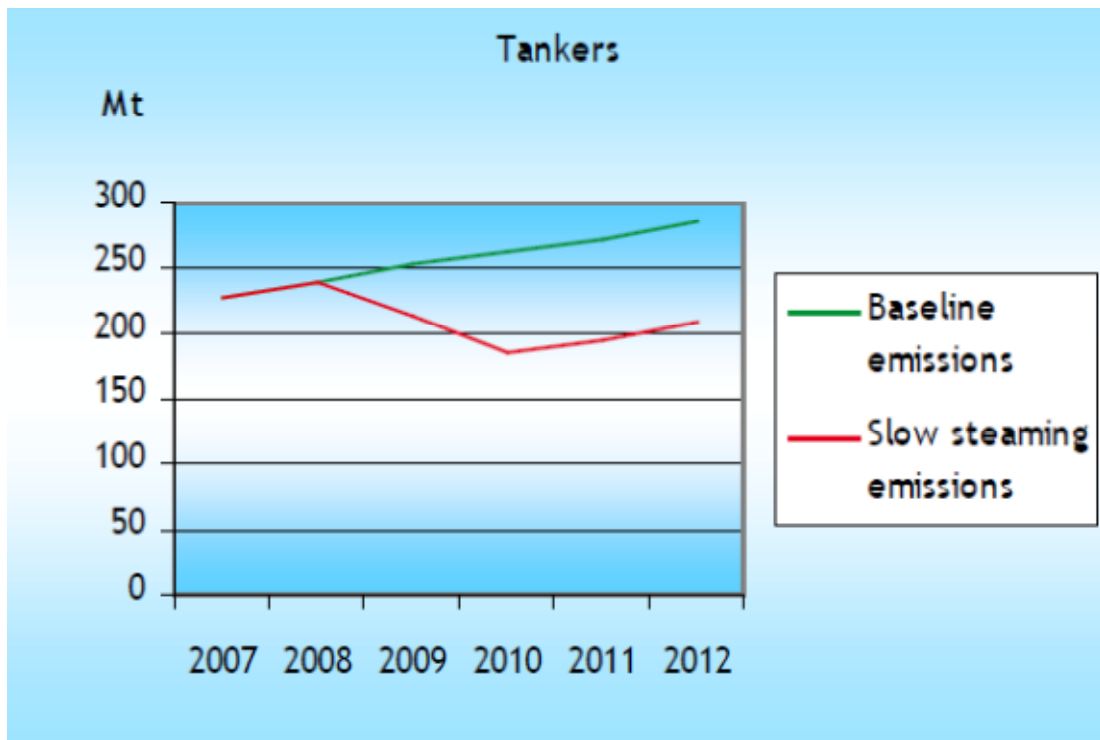
$$Emissions = SFOC * Power * EngineLoad * DaysAtSea * 24$$

Όπου Emissions είναι οι εκπομπές των κυρίων μηχανών για ένα πλοίο, SFOC είναι η ειδική κατανάλωση καυσίμου, Power είναι η ισχύς των κυρίων μηχανών, EngineLoad είναι το φορτίο των κύριων μηχανών και DaysAtSea\*24 είναι οι ετήσιες ώρες λειτουργίας του πλοίου.

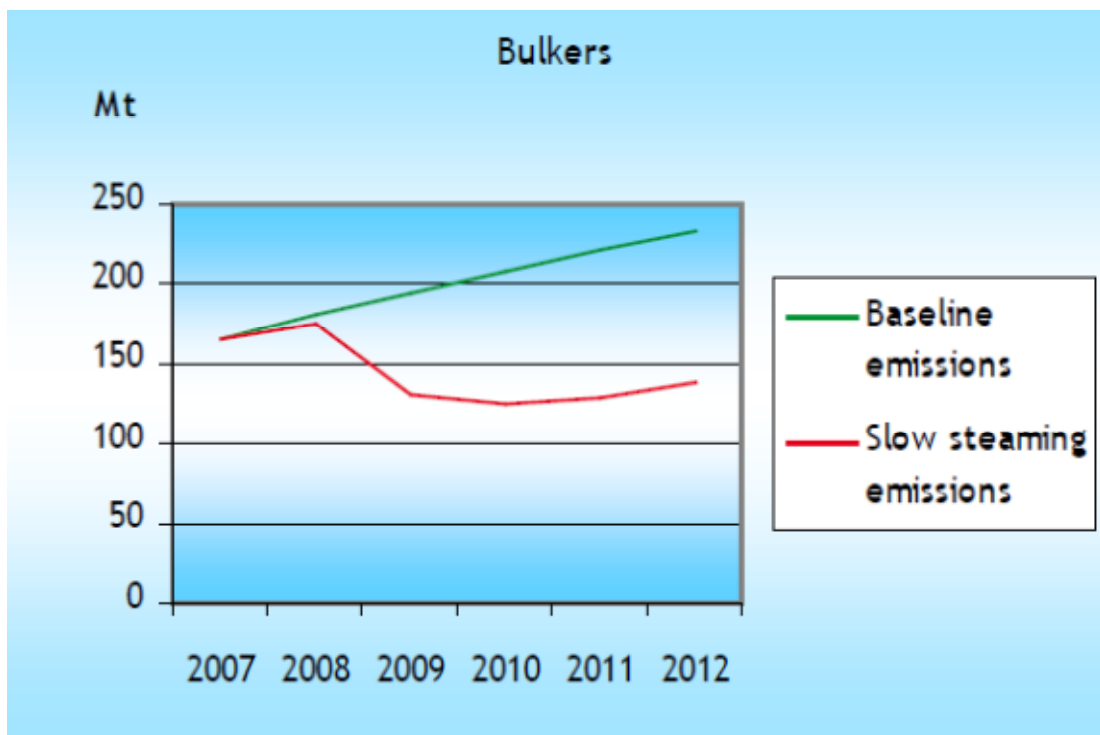
Προκύπτουν τελικά τα παρακάτω διαγράμματα για το Σχήμα 3.2, Σχήμα 3.3, Σχήμα 3.4 και Σχήμα 3.5 όπου απεικονίζονται οι εκπομπές CO<sub>2</sub> με και χωρίς την εφαρμογή του slow steaming για διαφορετικούς τύπους πλοίων:



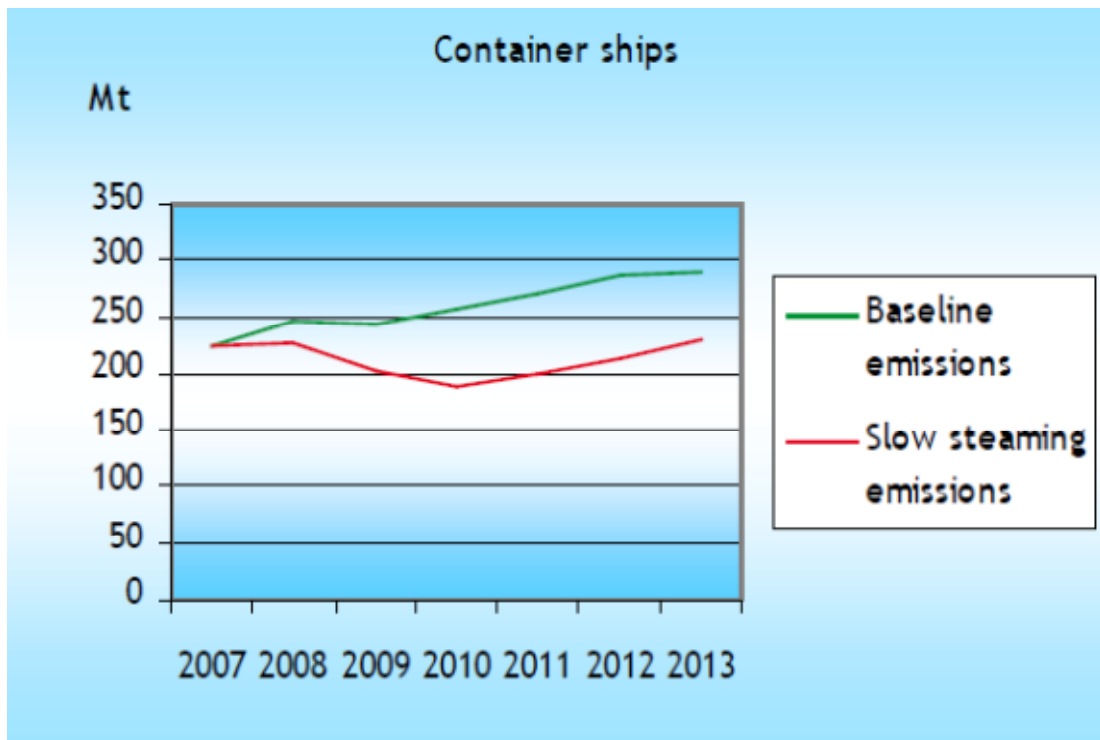
Σχήμα 3.2



Σχήμα 3.3



Σχήμα 3.4



Σχήμα 3.5

Η σχετική μείωση ανά χρόνο για τα δεξαμενόπλοια, για πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου και για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κυμαίνεται από 4-33% ενώ η απόλυτη μείωση από 27 έως 255 Mt. Η μέγιστη απόλυτη μείωση παρατηρείται για 2012 και αγγίζει τους 245 Mt. Αυτό αντιστοιχεί σε μια σχετική μείωση κοντά στο 32%.



## 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI)

Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης σχεδιασμού (EEDI) για τα νέα πλοία είναι σημαντικό τεχνικό μέτρο και στοχεύει στην προώθηση της χρήσης ενεργειακά αποδοτικότερου (λιγότερου ρυπογόνου) εξοπλισμού και κινητήρων. Έτσι από τον Ιανουάριο του 2013, μετά από το πέρας δύο χρόνων κατά την διάρκεια των οποίων τα πλοία θα πρέπει να έχουν φτάσει στα επίπεδα αναφοράς για τον αντίστοιχο τύπο τους (χρονικό διάστημα το οποίο θα συρρικνώνεται σταδιακά κάθε πέντε χρόνια), ο δείκτης αυτός θα τεθεί σε εφαρμογή και αναμένεται να ενισχύσει τον καινοτομικό σχεδιασμό και την τεχνική ανάπτυξη όλων των στοιχείων που επηρεάζουν την απόδοση του καυσίμου από το στάδιο του σχεδιασμού.

Ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης είναι μη δεσμευτικός, και αποτελεί έναν μηχανισμό βασισμένο στην απόδοση ενώ αφήνει την επιλογή τεχνολογιών που θα χρησιμοποιηθούν κατά την διάρκεια σχεδιασμού του πλοίου στην βιομηχανία. Εφόσον το απαιτούμενο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης επιτυγχάνεται, σχεδιαστές και κατασκευαστές πλοίων είναι ελεύθεροι να χρησιμοποιούν τις πιο οικονομικά αποδοτικές λύσεις με στόχο την συμμόρφωση το πλοίου με τους κανονισμούς.

Το σημαντικότερο είναι ότι ο δείκτης παρέχει την δυνατότητα «ποσοτικοποίησης» της απόδοσης του κάθε πλοίου ενώ αποτελεί και μέτρο σύγκρισης μεταξύ τους. Εκφράζεται σε γραμμάρια διοξειδίου του άνθρακα(CO<sub>2</sub>) ανά τόνο-μίλι ενώ όσο πιο μικρός είναι τόσο μεγαλύτερη είναι η ενεργειακή απόδοση του πλοίου. Υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο με βάση τις τεχνικές παραμέτρους σχεδιασμού για το δεδομένο πλοίο:

Ο αρχικός τύπος ήταν (Σχέση 4.1):

$$EEDI = \frac{\text{ΕΚΠΟΜΠΕΣ } CO_2(g)}{\text{ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ (tonne * nm)}}$$

Και τελικά ο τύπος έγινε (Σχέση 4.2) :



$$EEDI = \frac{\left( \prod_{j=1}^n f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE*})}{f_i \cdot f_c \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}} +$$

$$+ \frac{\left( \left( \prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left( \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME**} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

Όπου

- $C_F$  : συντελεστής μετατροπής μεταξύ της καταναλώσεως καυσίμου και των εκπομπών CO<sub>2</sub>
- $V_{ref}$  : η ταχύτητα του πλοίου
- $P$  : ισχύς κυρίας και βοηθητικών μηχανών
- $P_{ME}$  : ισχύς κυρίων μηχανών
- $P_{PTI}$  : ισχύς γεννήτριας του άξονα
- $P_{eff}$  : ισχύς εξόδου καινοτόμων μηχανολογικών κατασκευών για την ενεργειακή απόδοση
- $P_{AEff}$  : μείωση ισχύος βοηθητικών μηχανών
- $P_{AE}$  : ισχύς βοηθητικών μηχανών
- $SFC$  : ειδική κατανάλωση καυσίμου
- $j$  : συντελεστής διόρθωσης για τα συγκεκριμένα στοιχεία σχεδιασμού του πλοίου
- $f_w$  : συντελεστής καιρού
- $f_{eff}$  : συντελεστής διαθεσιμότητας καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης
- $f_i$  : συντελεστής χωρητικότητας
- $f_c$  : συντελεστής διόρθωσης χωρητικότητας (κυβικά)
- $L_{pp}$  : μήκος πλοίου μεταξύ των καθέτων

Αξίζει να τονισθεί ότι η Σχέση 4.2 εξαρτάται από την μεταφορική ικανότητα του πλοίου κυρίως όμως παρατηρείται, όπως φαίνεται και στη Πίνακα 4.1, πως αυτή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις μεταβολές της ταχύτητας καθώς η απαιτούμενη ισχύς είναι ανάλογη της ταχύτητας υψωμένη στην τρίτη δύναμη. Είναι σαφές λοιπόν ότι τα μέτρα θα έχουν σαν άμεση συνέπεια τη μείωση της απαιτούμενης ισχύος, μειώνουν τον EEDI και άρα αυξάνουν την φιλικότητα προς το περιβάλλον.



DRY BULK CARRIERS							
SIZE		DWT	V (knots)	MCR (kW)	EEDI	DENMARK BASELINE	GREECE BASELINE
Handysize	15-35	28,052	14.00	6,209	7.571	7.171*	7.146*
Handymax	35-60	51,721	14.47	8,609	5.509	5.244*	5.335*
Panamax	60-85	76,120	14.44	9,982	4.349	4.303*	4.435
Post Panamax	85-120	91,310	14.38	11,684	4.240	3.920*	4.066*
Capesize	>120	182,469	14.70	17,234	3.033	2.751*	2.920*

**Πίνακας 4.1:** Παράδειγμα για την μεταβολή του δείκτη ενεργειακής απόδοσης σχεδιασμού ανάλογα με την αλλαγή της ταχύτητας

Σύμφωνα με τη γνώμη πολλών μελών της ναυτιλίας, το αν το κριτήριο που χρησιμοποιείται για το ποίο πλοίο είναι αποδοτικό ή όχι, βασίζεται σε μία εσφαλμένη θεώρηση. Από τη σχέση που δίνει τον δείκτη μπορεί να παρατηρηθεί ότι η βέλτιστη τιμή της ταχύτητας είναι μηδέν, καθώς αυτή θα πετύχει τη μικρότερη δυνατή τιμή του EEDI η οποία θα είναι και μηδέν. Αυτό όμως είναι πρακτικά αδύνατο καθώς δεν θα μεταφέρεται εμπόρευμα. Επίσης ο μηδενισμός του παρανομαστή θα οδηγούσε σε αδυναμία επίλυσης της **Σχέσης 4.2**. Θεωρητικά, μία αυθαίρετη χαμηλή τιμή της ταχύτητας δίνει μια ελάχιστη τιμή του δείκτη αλλά οι παρενέργειες από μια τέτοια κίνηση μπορεί να είναι σημαντικές.

Υπάρχει ο κίνδυνος ότι η επιβολή μιας μέγιστης τιμής του δείκτη, μπορεί να μετατοπίσει το επίκεντρο προσοχής από την σχεδίαση βέλτιστων μορφών γάστρας και συστημάτων πρόωσης σε εφαρμογή απλά χαμηλότερων ταχυτήτων ώστε να ικανοποιηθεί ο δείκτης. Η επιβολή ενός άνω ορίου ταχύτητας θα μετριάσει την κατασκευή πλοίων μειωμένης ισχύος τα οποία, στην προσπάθειά τους να διατηρήσουν την ταχύτητά τους σε δυσμενείς συνθήκες ταξιδιού, θα εκπέμπουν δυσανάλογα μεγάλες ποσότητες αερίων. Επίσης, κάθε απόπειρα μείωσης της ταχύτητας θα πρέπει να εφαρμόζεται με μεγάλη προσοχή καθώς μπορεί να υπάρχουν άλλες παρενέργειες όπως μείωση της δυνατότητας ελιγμών και της ασφάλειας ναυσιπλοΐας, αύξηση των ναύλων, αύξηση του αριθμού των πλοίων για κάλυψη των αναγκών του εμπορίου, αύξηση αποθεματικού κόστους ακόμα και στροφή σε άλλα μέσα μεταφορών όπως φορτηγά και τρένα που θα οδηγήσουν σε αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι η μείωση της ταχύτητας δεν είναι μόνο επιτακτική ανάγκη για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου αλλά και προτεινόμενο όσο και προφανές μέτρο για την συμμόρφωση στους σύγχρονους κανονισμούς ναυσιπλοΐας, καθιστώντας την παρουσία του slow steaming όχι και τόσο παροδική.



## **5. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ SLOW STEAMING ΜΕ ΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ**

Τα πλοία έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ώστε να λειτουργούν σε ένα συγκεκριμένο εύρος φορτίου και ταχύτητας, στο οποίο η συνολική απόδοση του συστήματος βελτιστοποιείται. Η βέλτιστη περιοχή φορτίου του κινητήρα κυμαίνεται από 70-85%. Η απόδοση του καυσίμου, οι λειτουργικές παράμετροι, οι υπερπληρωτές, τα συστήματα ψύξης, τα βοηθητικά συστήματα, οι λέβητες καυσαερίων, και ούτω καθεξής, έχουν επιλεγεί με βάση αυτό το συγκεκριμένο εύρος λειτουργίας. Είναι φυσικό λοιπόν, ότι όταν ο κινητήρας δουλεύει σε ένα εύρος φορτίου κάτω ή ακόμη και πολύ πιο κάτω από το 60%, η απόδοση του συστήματος να μην είναι πλέον βελτιστοποιημένη. Δεδομένου ότι η βιομηχανία δεν είχε εφαρμόσει το slow steaming κατά την διάρκεια των προηγούμενων 20 ετών, κανείς δεν είχε επαρκή εμπειρία και γνώση για την συνεχή λειτουργία του κινητήρα σε χαμηλό φορτίο ως αφορά την σύγχρονη γενιά κινητήρων. Έτσι, οι τεχνικοί και οι κατασκευαστές κινητήρων ήταν αρχικά διστακτικοί με την όλη ιδέα.

Με βάση τις σύγχρονες απαιτήσεις και τις ανησυχίες των ενδιαφερόμενων γύρω από το slow steaming διάφορες κατασκευαστικές εταιρίες (όπως η Wartsila, MAN κτλ) προχώρησαν στην διερεύνηση τους.

Σε γενικές γραμμές, εξήχθη το συμπέρασμα ότι οι σύγχρονοι κινητήρες είναι δυνατό να λειτουργήσουν αξιόπιστα σε όλο το εύρος φορτίου μεταξύ 10% έως 100% χωρίς σημαντικές τροποποιήσεις, με την προϋπόθεση ότι λαμβάνονται υπόψη διάφορες προφυλάξεις. Με την τήρηση αυτών των συστάσεων, οι δυνητικοί κίνδυνοι μπορούν να μετριασθούν.

### **5.1. ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ**

Σε όλο το εύρος του χαμηλού φορτίου είναι δυνατό να παρατηρηθούν διαφορετικά προβλήματα. Οι πιθανές συνέπειες της συνεχούς λειτουργίας με μειωμένο φορτίο χωρίς να έχουν ληφθεί υπόψη τα απαραίτητα μέτρα είναι τα ακόλουθα:

#### **ΧΑΜΗΛΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ**

- Οι βοηθητικοί φυσητήρες αποτελούν μέρος του 2-X κινητήρα. Η λειτουργία τους ξεκινά πριν ξεκινήσει η λειτουργία του κινητήρα και είναι απαραίτητοι για την παροχή αέρα έκπλυσης για ασφαλή εκκίνηση.



- Υπάρχει αναγκαιότητα για τη συνεχή λειτουργία τους.
- Όμως στη περίπτωση αυτή η παροχή του αέρα είναι μικρότερη της απαιτούμενης με αποτέλεσμα το σχηματισμό εξανθρακωμάτων, τη θερμική φόρτιση λόγω της μικρής παροχής αέρα και τη αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα στη βαλβίδα εξαγωγής κλπ.

#### ΑΤΕΛΗΣ ΚΑΥΣΗ

- Κακή ατμοποίηση καυσίμου.
- Αύξηση σχηματισμού εκπομπών CO και HC.
- Μεγαλύτερη ρύπανση του κινητήρα και αυξημένες εναποθέσεις άνθρακα.

#### ΔΙΑΒΡΩΣΗ

- Προκαλείται από την συμπύκνωση διαβρωτικών ατμών λόγω της χρήσης καυσίμου με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο.
- Πιθανή όταν παρατηρούνται πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του κινητήρα κατά την διάρκεια λειτουργίας σε πολύ χαμηλό φορτίο.

#### ΡΥΠΑΝΣΗ

- Αφορά τα συστήματα εξαγωγής καυσαερίων, τους υπερπληρωτές, τους λέβητες καυσαερίων αλλά του χώρου για τον αέρα σάρωσης εξαιτίας της περίσσειας ελαίου λίπανσης για τον κύλινδρο.

Εκτός από τα παραπάνω προβλήματα που σχετίζονται με τον κινητήρα, προβληματισμοί έχουν εκφραστεί για τις απώλειες απόδοσης (π.χ. της έλικας, των υπερπληρωτών, των γεννητριών του άξονα, των συστημάτων ανάκτησης θερμότητας) και της γενικής κατάστασης του πλοίου (π.χ. αύξηση ρύπανσης της γάστρας και της προπέλας εξαιτίας της μειωμένης ταχύτητας).

Ως αποτέλεσμα των ανωτέρω πρέπει να εφαρμοσθούν ειδικά μέτρα για να διασφαλιστεί η αξιόπιστη συνεχής λειτουργία σε χαμηλό φορτίο ή σε πολύ χαμηλό φορτίο (ultra load). Εν συντομία τα συνιστώμενα μέτρα έχουν ως εξής:

- Συχνός έλεγχος της κατάστασης του ακροφυσίου του εγχυτήρα.
- Διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών του καυσίμου με στόχο την επίτευξη χαμηλότερου ιξώδους.
- Διατήρηση του νερού ψύξης χαμηλής θερμοκρασίας (LT cooling water) κοντά στους 36 °C με στόχο να διατηρείται η βέλτιστη θερμοκρασία του αέρα σάρωσης.





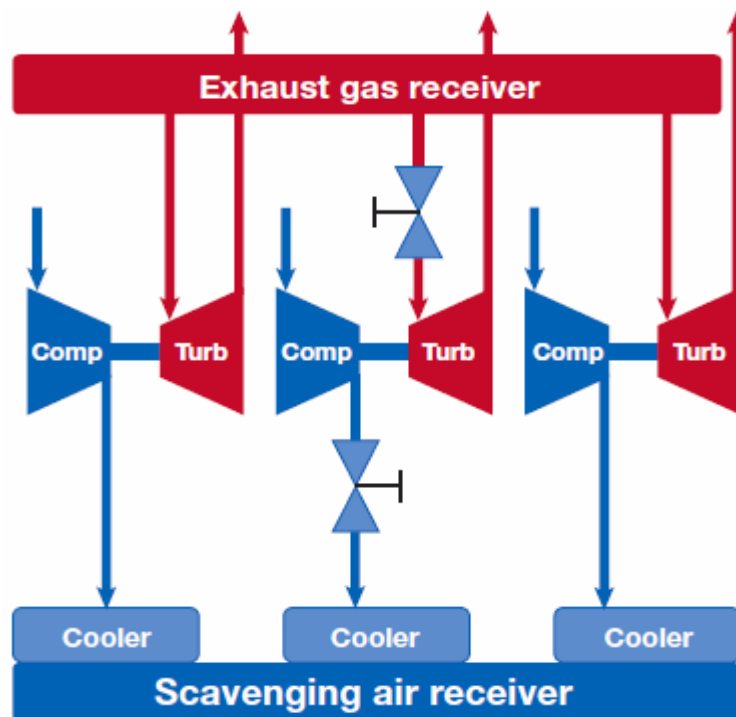
- Διατήρηση της θερμοκρασίας του μανδύα ψύξης νερού που αφορά στη ψύξη των χιτωνίων (jacket cooling water temperature) στο ανώτερο όριο(85-95 °C) καθώς βοηθάει στην μείωση της συμπύκνωσης και των θερμικών καταπονήσεων.
- Συνήθως ο ρυθμός τροφοδοσίας ελαίου του κυλίνδρου εξαρτάται από το φορτίο και δεν απαιτείται διόρθωση. Ωστόσο, οι συχνές επιθεωρήσεις των εμβόλων είναι απαραίτητες με στόχο να αποφεύγεται η περίσσεια ελαίου ή η έλλειψη. Σε μια τέτοια περίπτωση μια προσωρινή αύξηση του ποσοστού ελαίου λίπανσης του κυλίνδρου θα βοηθούσε στην σταθεροποίηση της κατάστασης.
- Διατήρηση της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων μετά τους κυλίνδρους πάνω από τους 250°C προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος διάβρωσης. Εάν η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων πέσει κάτω από αυτή την τιμή τότε το φορτίο του κινητήρα θα πρέπει να αυξηθεί.
- Υψηλές θερμοκρασίες εξόδου καυσαερίων, άνω των 450°C, θα πρέπει να αποφεύγονται μετά ή πριν την λειτουργία των βοηθητικών φυσητήρων. Αυτό μπορεί να προκαλέσει την διάβρωση ή ακόμα και την καύση των εδρών των βαλβίδων εξαγωγής. Ένα μέτρο θα μπορούσε να ήταν η συνεχής λειτουργία των βοηθητικών φυσητήρων.
- Μια άλλη ανησυχία είναι η συσσώρευση άκαυστου καυσίμου και λιπαντικού ελαίου στις σωληνώσεις εξαγωγής, καθώς τέτοιες επικαθίσεις μπορούν να αναφλεγούν σε απότομη αύξηση του φορτίου. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μια σοβαρή βλάβη του υπερπληρωτή λόγω της απότομης αύξησης της ταχύτητας. Ως μέτρο, προτείνεται η αύξηση του φορτίου κινητήρα περιοδικά (δύο φορές την εβδομάδα) όσο το δυνατόν υψηλότερα (τουλάχιστον στο 70%) το λιγότερο για μία ώρα την ημέρα με στόχο την απομάκρυνση των συσσωρευμένων εναποθέσεων. Ενώ ο κινητήρας λειτουργεί σε αυτά τα αυξημένα φορτία, θα πρέπει να καθαρίζεται ο υπερπληρωτής και ο οικονομητήρας για να μειωθεί η ρύπανση.
- Η απότομη αύξηση του φορτίου με στόχο τον καθαρισμό των εξόδων των καυσαερίων θα πρέπει να ελαχιστοποιείται καθώς θέτει σε κίνδυνο την λειτουργία των κυλίνδρων. Όταν είναι απαραίτητο να αυξηθεί το φορτίο μετά από ένα μεγάλο διάστημα λειτουργίας σε χαμηλό φορτίο θα πρέπει να ακολουθείται η ακόλουθη διαδικασία (**Σχήμα 5.1**).

ΑΥΞΗΣΗ ΦΟΡΤΙΟΥ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
από 10% έως 40% του φορτίου	30 λεπτά
από 40% έως 75% του φορτίου	60 λεπτά

Σχήμα 5.1

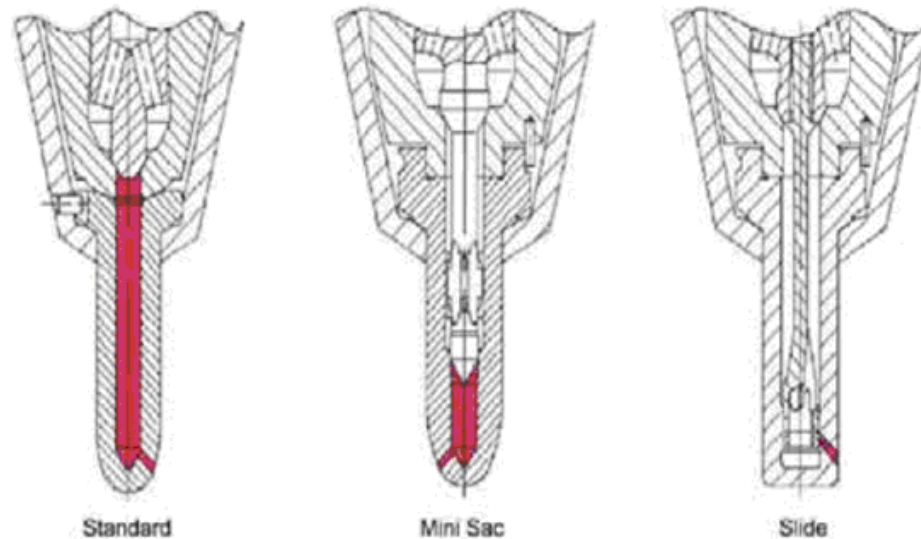
Εκτός από τα ανωτέρω μέτρα που αφορούν την λειτουργία του κινητήρα και των διαφόρων βοηθητικών συστημάτων έχουν προταθεί και μέτρα που αφορούν σε μετασκευές πάνω στο ήδη υπάρχον σύστημα:

- Μια πρόταση αφορά στην εγκατάσταση υπερπληρωτών με δυνατότητα αποκοπής μερικών σε αντιστοιχία με το φορτίο (**Σχήμα 5.2**). Η εφαρμογή είναι εφικτή για μηχανές με 3 ή 4 υπερπληρωτές ή σε ειδικές περιπτώσεις με δύο υπερπληρωτές. Έτσι, το σύστημα αυτό διευρύνει την δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας σε χαμηλά φορτία και μειώνει σημαντικά την ειδική κατανάλωση καυσίμου. Η εξοικονόμηση καυσίμου επιτυγχάνεται με τη διακοπή λειτουργίας ενός από τους υπερπληρωτές που οδηγεί σε αύξηση του αέρα σάρωσης και τελικά σε μεγαλύτερες πιέσεις καύσεως. Η διακοπή αυτή γίνεται με τη χρήση ενός ελεγχόμενου και πλήρως αυτοματοποιημένου συστήματος. Το φορτίο για το οποίο θα γίνει διακοπή λειτουργίας του υπερπληρωτή και η εξοικονόμηση καυσίμου εξαρτάται από τον αριθμό των υπερπληρωτών. Εκτός από την μείωση στην ειδική κατανάλωση καυσίμου (Brake Specific Fuel Consumption), η λύση αυτή παρέχει πλήρη ελευθερία αφού ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει από 10% έως 100% του φορτίου και μειώνει τον κίνδυνο ρύπανσης και θερμικών καταπονήσεων των στοιχείων του. Η λύση προτιμάται για συνεχή λειτουργία του κινητήρα σε συνθήκες μειωμένου φορτίου.



Σχήμα 5.2: Σύστημα διακοπής λειτουργίας υπερπληρωτών με τρεις υπερπληρωτές.

- Μια άλλη πρόταση αφορά στην εγκατάσταση ακροφυσίων ολίσθησης (slide-type fuel valves) για την έγχυση καυσίμου (Σχήμα 5.3). Σε σύγκριση με τα κοινά ακροφύσια τα ακροφύσια slide-type fuel valves έχουν συμβάλει στην βελτίωση της ποιότητας της έγχυσης και στη μείωση της ρύπανσης του θαλάμου καύσης λόγω του παραμένου καυσίμου στη βελόνα του εγχυτήρα (sac volume). Έχουν αποδείξει επίσης ότι είναι κατάλληλες για την εφαρμογή του slow steaming.



*Σχήμα 5.3: Σύγκριση των διαφορών για τα διάφορα είδη βαλβίδων έγχυσης καυσίμου*

- Ένας κινητήρας θα μπορούσε να εφοδιαστεί με ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα έγχυσης λιπαντικού. Στα προηγούμενα συστήματα λίπανσης δεν ήταν πάντα εφικτό να επιτευχθεί ο σωστός χρονισμός και η διανομή του λιπαντικού ελαίου. Με ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα είναι δυνατό να εντοπιστεί η βέλτιστη χρονικά έγχυση ελαίου.
- Σημαντική είναι επίσης, κατά την διάρκεια του slow steaming, και όχι μόνο, η χρήση ενός συστήματος παρακολούθησης των θερμοκρασιών των χιτωνίων, των πιέσεων των κυλίνδρων αλλά και άλλων παραμέτρων που σχετίζονται με την καύση. Αναλύει τα δεδομένα βοηθώντας στην κατανόηση της απόδοσης του κινητήρα και προειδοποιεί έγκαιρα σε περίπτωση που τα μετρούμενα μεγέθη ξεπεράσουν τα ανώτερα ή κατώτερα όρια.

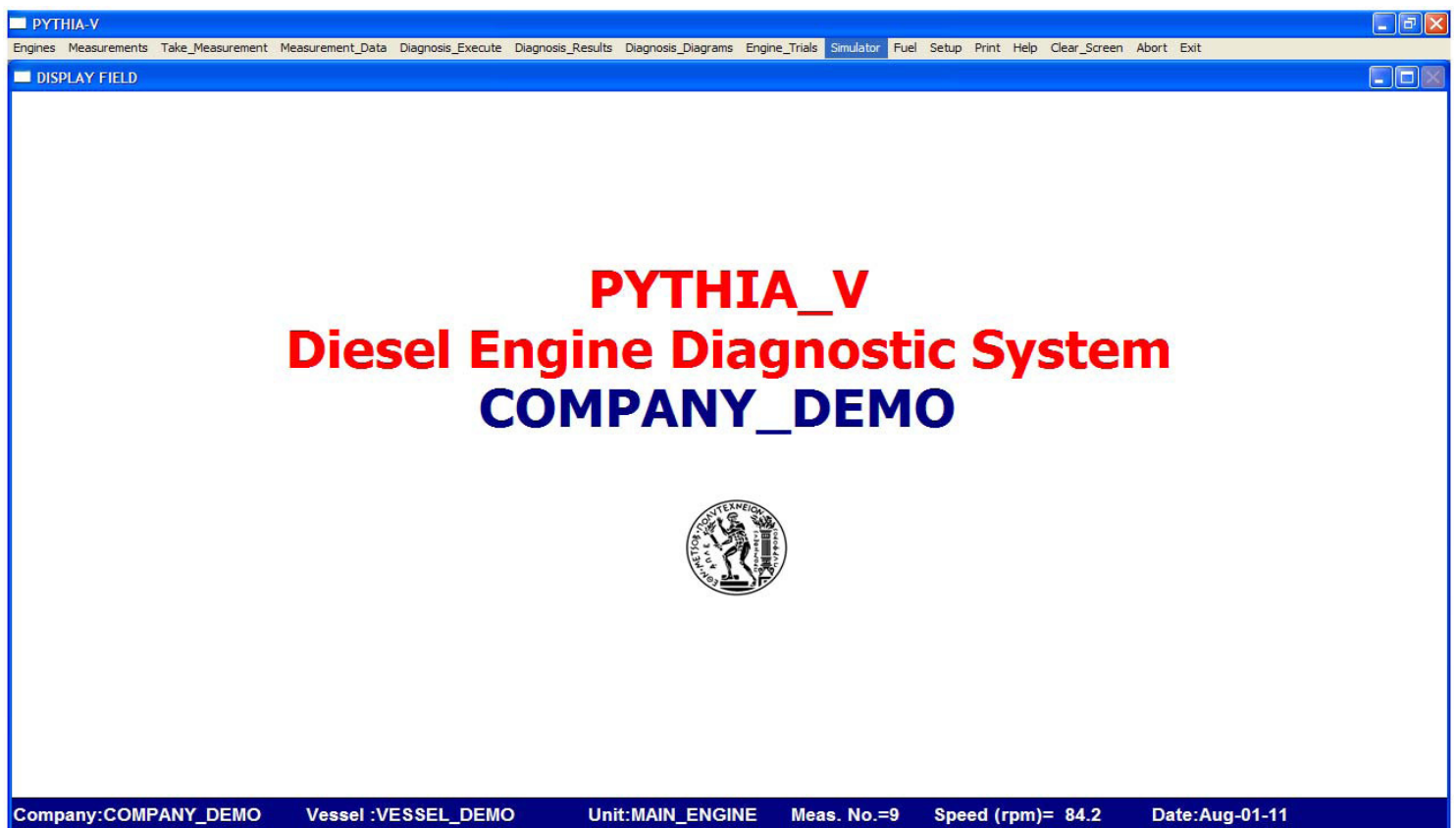


## 6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας του κινητήρα και τον προσδιορισμό των λειτουργικών παραμέτρων του για ένα εύρος φορτίων είναι ενσωματωμένο σε ένα διαγνωστικό σύστημα κινητήρων Ντήζελ που έχει σχεδιασθεί να λαμβάνει μετρήσεις από τις κύριες και από τις βοηθητικές μηχανές, πραγματοποιεί επεξεργασία των μετρήσεων και λειτουργεί διαγνωστικά.

Ένα από τα βασικά του εργαλεία είναι η δυνατότητα προσομοίωσης. Για την βαθμονόμηση του το σύστημα βασίζεται σε μετρήσεις που έχουν ληφθεί από τον κινητήρα σε εργοστασιακές συνθήκες αλλά και σε μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη διάρκεια των δοκιμών πλεύσης (shop test και sea trial αντίστοιχα). Στη συνέχεια το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της λειτουργίας του κινητήρα σε διάφορες συνθήκες χρησιμοποιώντας τις βασικές αρχές της θερμοδυναμικής.

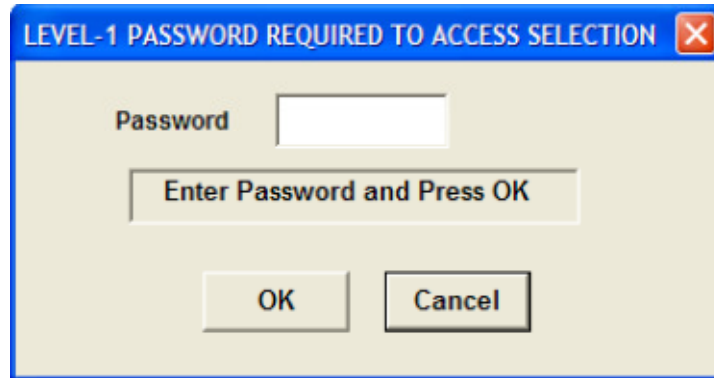
Στο **Σχήμα 6.1** που ακολουθεί παρουσιάζεται το αρχικό περιβάλλον του λογισμικού που επιτρέπει την προσομοίωση του κινητήρα.



Σχήμα 6.1: Επιλογή προσομοιωτή (simulator)



Στη συνέχεια ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει τον κωδικό όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6.2**.



*Σχήμα 6.2: Εισαγωγή κωδικού πρόσβασης*

Η επιλογή αυτή επιτρέπει την εκτίμηση της απόδοσης του κινητήρα χρησιμοποιώντας τον κώδικα προσομοίωσης. Ο χρήστης μέσω της οθόνης του **Σχήματος 6.3** καθορίζει την κατάσταση των υποσυστημάτων του κινητήρα για την πιθανή προσομοίωση βλάβης του κινητήρα. Η επιλογή είναι διαθέσιμη με ειδικούς όρους.



Cylinder Condition	
Compression Condition (%)	100.0
Exhaust Port Condition (%)	100.0

Fuel System	
Injector Condition (%)	100.0
Fuel Pump Condition (%)	100.0

Air Induction System	
Compressor Condition (%)	100.0
Air Cooler Efficiency (%)	100.0
Air Cooler Pressure Drop (%)	100.0
Air Filter Condition (%)	100.0

Exhaust System	
Turbine Condition (%)	100.0
Turbine Inlet Nozzle Area (%)	100.0
Exhaust Pipe Condition (%)	100.0

OK Cancel

Σχήμα 6.3: Καθορισμός της κατάστασης του υποσυστήματος για προσομοίωση

Στη συνέχεια, ο χρήστης παρέχει τα δεδομένα λειτουργίας του κινητήρα μέσω της οθόνης του Σχήματος 6.4. Επιλέγοντας το «Calc» το σύστημα κάνει χρήση των δεδομένων λειτουργίας από τις επίσημες εργοστασιακές δοκιμές (shop test) για τις συγκεκριμένες στροφές του κινητήρα της κύριας μηχανής («rpm», M/E) ή για συγκεκριμένο φορτίο («load%, D/G) ώστε να προσδιορίσει τα βασικά δεδομένα της λειτουργίας τα οποία στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει.

Είναι εφικτό να γίνει προσομοίωση της λειτουργίας του υπερπληρωτή (T/C operation) ή της λειτουργίας του κανόνα πετρελαίου (Rack). Για την τελευταία περίπτωση η ποσότητα του καυσίμου που θα εγχυθεί καθορίζεται από την θέση λειτουργίας του κανόνα πετρελαίου (Rack). Η χρήση της προσομοίωσης του υπερπληρωτή ή της λειτουργίας του κανόνα πετρελαίου εξαρτάται από την διαμόρφωση του παρεχόμενου λογισμικού και την διαθεσιμότητα των δεδομένων για βαθμονόμηση.



Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	91.0
Engine Load (%)	100.0
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	102.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	3420.9

Options for Operating Data Source	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

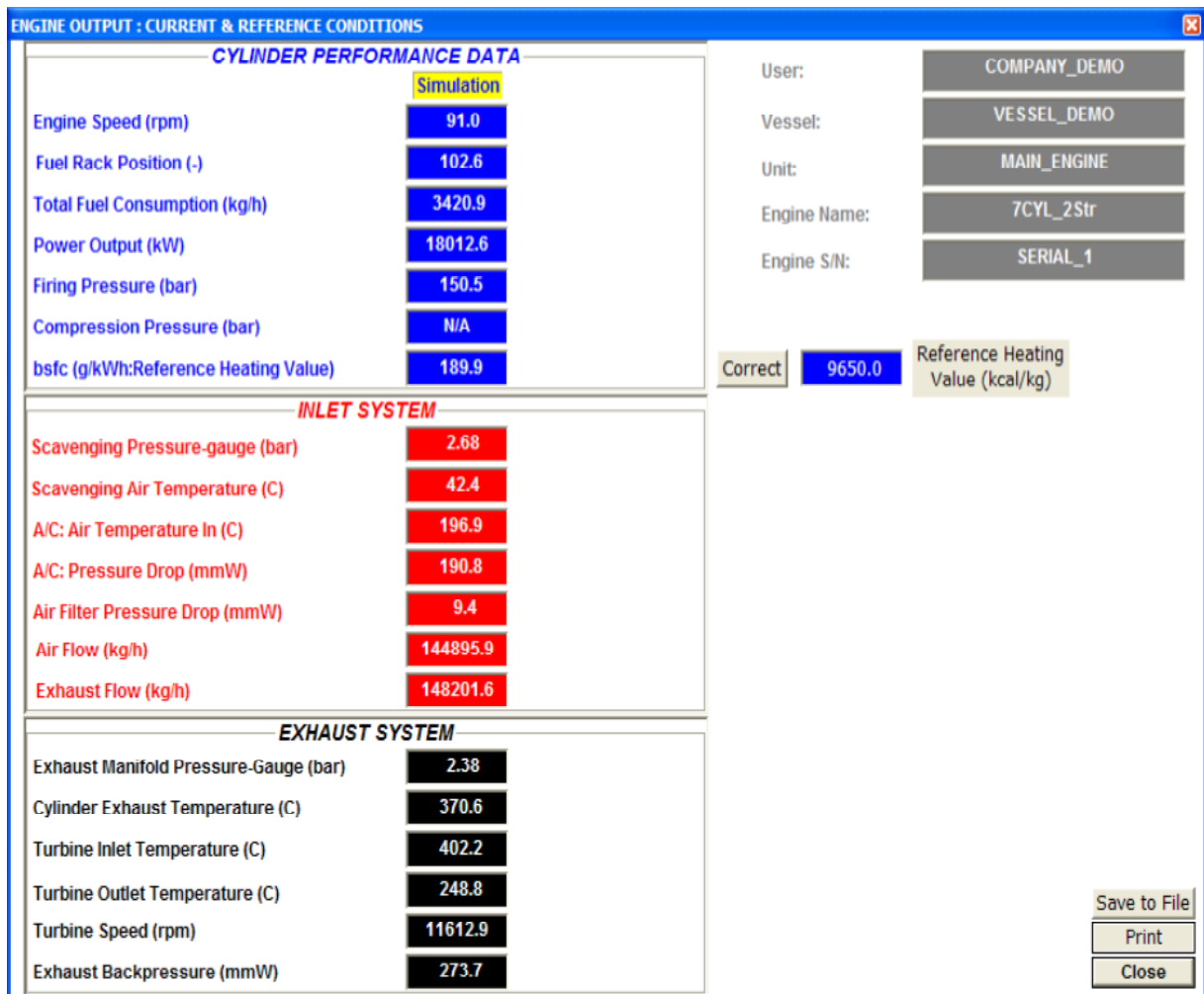
Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input checked="" type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	34.4
Room Pressure (mbar)	1009.4
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.2
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.80
Boost Air Temperature (C)	42.2
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.48
Exhaust Back Pressure (mmW)	297.4

Σχήμα 6.4: Καθορισμός των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα για την προσομοίωση

Στη συνέχεια εκτελείται η προσομοίωση και παρέχει μετά την σύγκλιση τα λειτουργικά δεδομένα του κινητήρα για το καθορισμένο σημείο λειτουργίας, Σχήμα 6.5.





Σχήμα 6.5: Αποτέλεσμα προσομοίωσης

Δεν θα πρέπει να παραληφθεί ότι για την προσέγγιση της προσομοίωσης σε όσο το δυνατόν πραγματικά αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η επιλογή «Fuel» από το βασικό περιβάλλον του λογισμικού. Η επιλογή αυτή χρησιμοποιείται για την παροχή των ιδιοτήτων του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Σε περίπτωση που οι τιμές αυτές δεν είναι γνωστές τότε από το σύστημα θα γίνει χρήση τυπικών τιμών. Επιλέγοντας το καύσιμο εμφανίζεται η οθόνη του Σχήματος 6.6. Ο χρήσης μπορεί να εισάγει την πυκνότητα, τη θερμογόνο δύναμη αλλά και την θερμοκρασία του καυσίμου. Οι απολύτως απαραίτητη τιμή είναι αυτή της θερμογόνου δύναμης και στη συνέχεια αυτή της πυκνότητας του καυσίμου.





FUEL MASS AND/OR ATOM COMPOSITION

Fuel Properties

Fuel Density	950	◀	▢	▶
Heating Value	9650	◀	▢	▶
Fuel Temperature	0	◀	▢	▶

Save Cancel

Σχήμα 6.6: Καθορισμός των ιδιοτήτων του καυσίμου



## **7. ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ**

### **7.1. Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η συσχέτιση των τιμών των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα για διάφορες ταχύτητες όπως αυτές προκύπτουν από τις εργοστασιακές αλλά και τις δοκιμές θαλάσσης (shop test και sea trial αντίστοιχα).

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζονται τα σημεία που προέρχονται από πραγματικές δοκιμές που αφορούν δίχρονο κινητήρα Diesel πλοίου μεταφοράς χύδην εμπορεύματος. Από τα σημεία αυτά γίνεται ο προσδιορισμός της γραμμής τάσης που θα βοηθήσει στον καθορισμό των σημείων λειτουργίας για χαμηλές ταχύτητες και χαμηλά φορτία, σημεία για τα οποία δεν υπάρχουν δοκιμές. Η προσέγγιση αυτή είναι σημαντική διότι πέραν αυτού οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται και από ένα πλοϊκό προσομοιωτή που βασίζεται στη τεχνική της προσέγγισης και της παρεμβολής. Το πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι ότι η χρήση απλής μαθηματικής παρεμβολής παρέχει συνήθως τιμές παραμέτρων χωρίς φυσική σημασία.

Οι τιμές του άξονα της ταχύτητας περιστροφής όσον αφορά τα διαγράμματα ξεκινούν από την τιμή 20 rpm προσεγγίζοντας έτσι την τιμή 22,7 rpm που αποτελεί την χαμηλότερη ταχύτητα στην οποία μπορεί να λειτουργήσει κινητήρας. Τονίζεται ότι στις επίσημες εργοστασιακές δοκιμές η ελάχιστη ταχύτητα περιστροφής είναι αυτή που αντιστοιχεί σε φορτίο 25% δηλαδή σημαντικά υψηλότερη. Ως αποτέλεσμα αυτού δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρημένες τιμές λειτουργικής συμπεριφοράς σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής.

Προκύπτουν έτσι τα ακόλουθα διαγράμματα πάνω στα οποία σημειώνονται οι εξισώσεις των γραμμών τάσεως αλλά και οι μετρημένες τιμές των λειτουργικών σημείων όσον αφορά για το shop test για 25%, για 50%, για 75%, για 90%, για 100% και για 110% του φορτίου και για το sea trial για 50 rpm, για 80,42 rpm, για 84.82 rpm, για 84.9 rpm, για 90,21 rpm, για 90,35 rpm, για 92,33 rpm, για 92,54 rpm.



## **7.2. Συγκριτική Αξιολόγηση Τιμών από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και τις Δοκιμές Θαλάσσης**

Στα Σχήματα 7.1 έως 7.23 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών όσο και των Δοκιμών Θαλάσσης για τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του. Επίσης σημειώνονται οι αντίστοιχες εξισώσεις των γραμμών τάσεως. Προκύπτουν από την σύγκριση των καμπυλών τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Όσον αφορά την πραγματική και την ενδिकνύμενη ισχύ του κινητήρα, τα αποτελέσματα των Θαλάσσιων Δοκιμών συμπίπτουν με αυτά των Εργοστασιακών. Το ίδιο ισχύει για την μέγιστη πίεση καύσης και την πίεση συμπίεσεως.

Όσον αφορά την μέση ενδικνύμενη πίεση, τα αποτελέσματα των Θαλάσσιων Δοκιμών είναι μεγαλύτερα από αυτά των Εργοστασιακών Δοκιμών κατά ποσοστό 28% ενώ για την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων, οι τιμές των Εργοστασιακών Δοκιμών ξεπερνούν αυτές των Δοκιμών Θαλάσσης κατά ποσοστό 5%.

Τα αποτελέσματα που αφορούν στην πίεση του οχετού εξαγωγής των κυλίνδρων καθώς και στην ταχύτητα περιστροφής του υπερπληρωτή συμπίπτουν για τις Δοκιμές.

Οι τιμές των Εργοστασιακών Δοκιμών για την θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή είναι μεγαλύτερες από αυτές των Θαλάσσιων Δοκιμών κατά 9%. Επίσης, όσον αφορά την θερμοκρασία καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή τα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών είναι μεγαλύτερα από αυτά των Θαλάσσιων Δοκιμών κατά 6%.

Όσον αφορά την πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα, τα αποτελέσματα των Εργοστασιακών και των Θαλάσσιων Δοκιμών πρακτικά συμπίπτουν.

Για την πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα ισχύει:

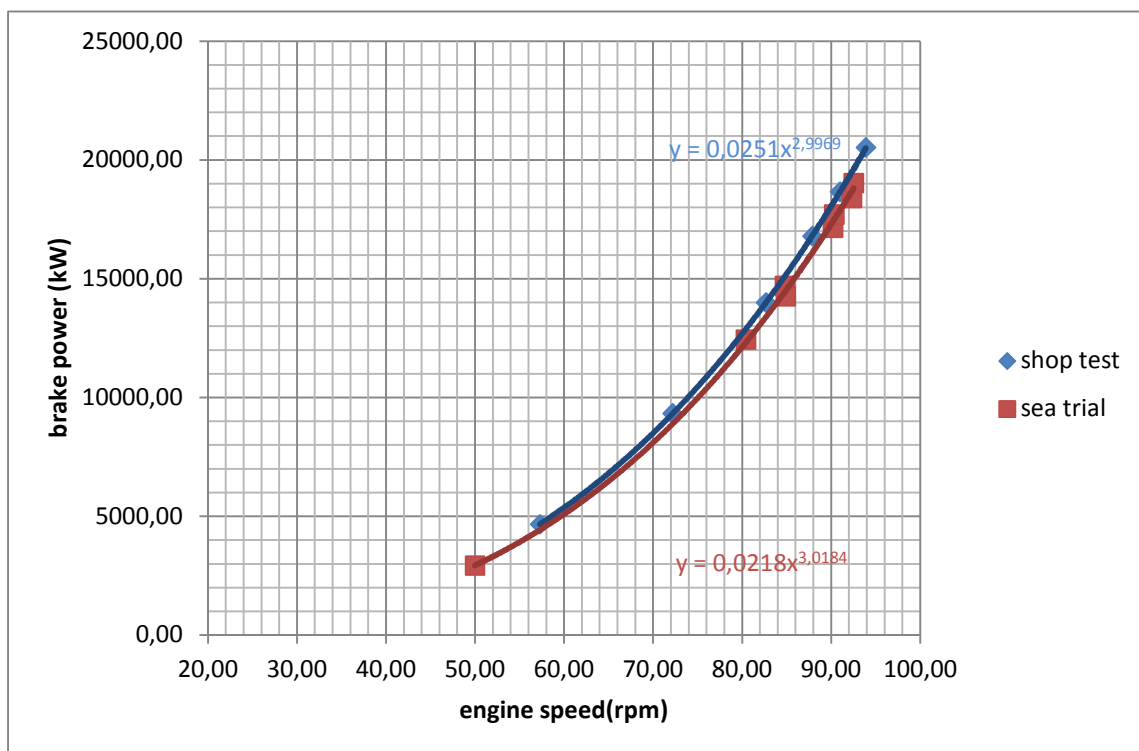
- Για φορτία του κινητήρα κάτω από 60%, οι τιμές των Θαλάσσιων Δοκιμών είναι μεγαλύτερες από αυτές των Εργοστασιακών κατά ποσοστό 30%.
- Για τα υπόλοιπα φορτία, τα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών ξεπερνούν αυτά των Θαλάσσιων κατά 15%.



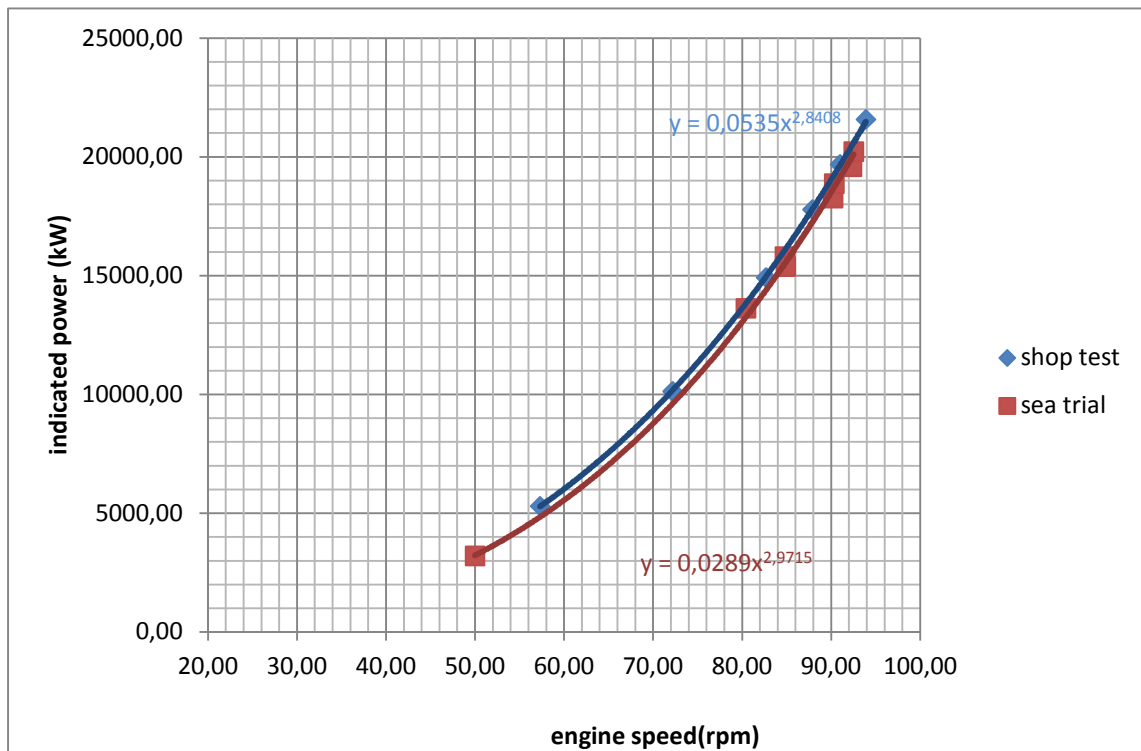
Όσον αφορά την θερμοκρασία εξόδου αέρα στο ψυγείο αέρα, τα αποτελέσματα των Θαλάσσιων Δοκιμών ξεπερνούν τα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών κατά μέσο όρο 23% ενώ για την πίεση σάρωσης τα αποτελέσματα συμπίπτουν.

Για την θερμοκρασία σάρωσης, οι τιμές των Δοκιμών Θαλάσσης ξεπερνούν τις αντίστοιχες των Εργοστασιακών Δοκιμών κατά μέσο όρο 21%.

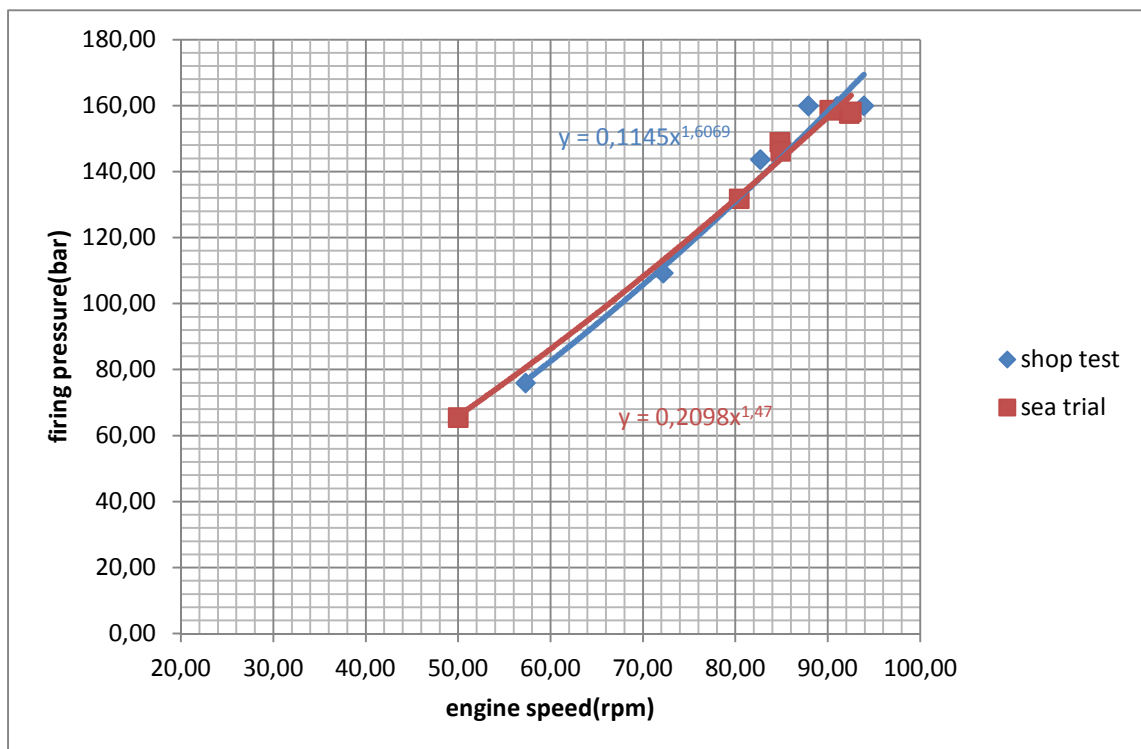
Τέλος, όσον αφορά την απόλυτη αλλά και την ειδική κατανάλωση καυσίμου, οι εξισώσεις των γραμμών τάσεως των Εργοστασιακών και των Θαλάσσιων Δοκιμών συμπίπτουν.



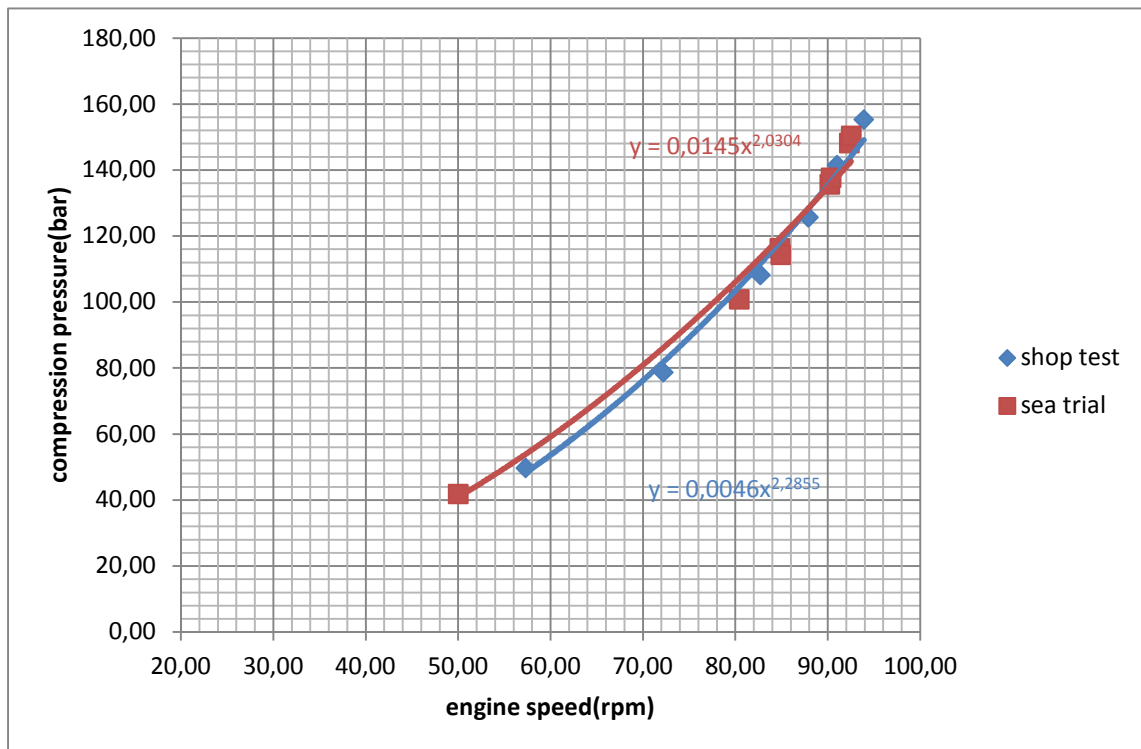
Σχήμα 7.1: Μεταβολή της πραγματικής ισχύος (πέδη) συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



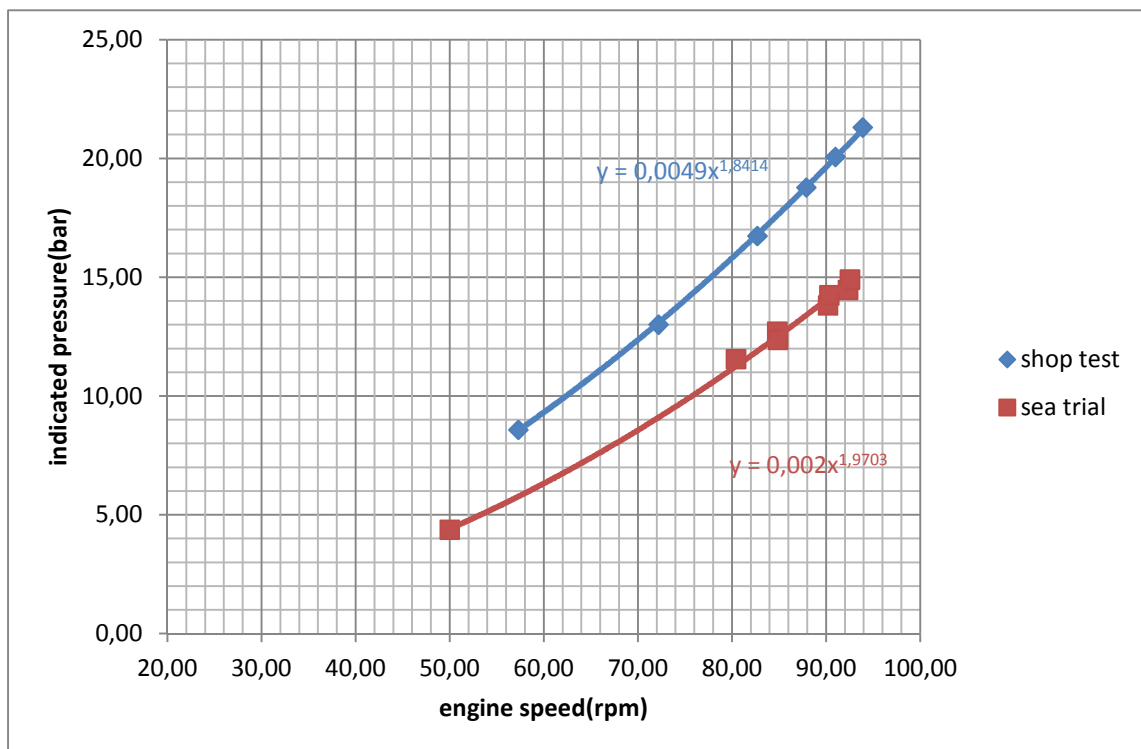
Σχήμα 7.2: Μεταβολή της ενδिकνόμενης ισχύος συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



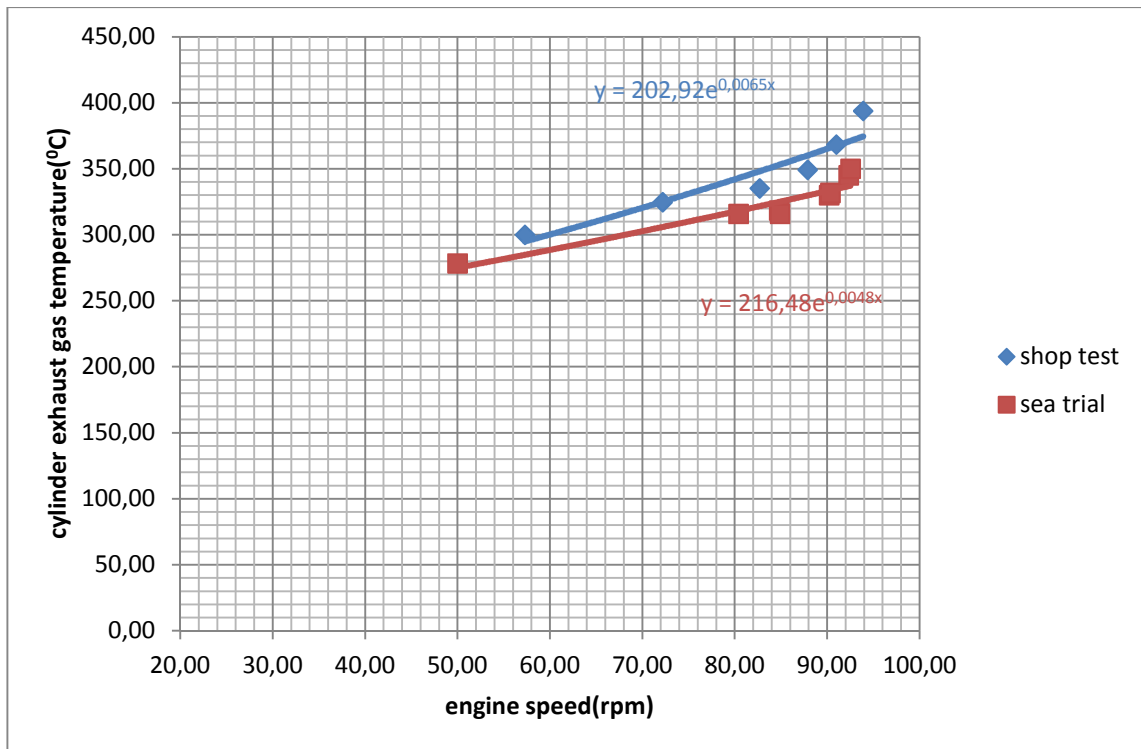
Σχήμα 7.3: Μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



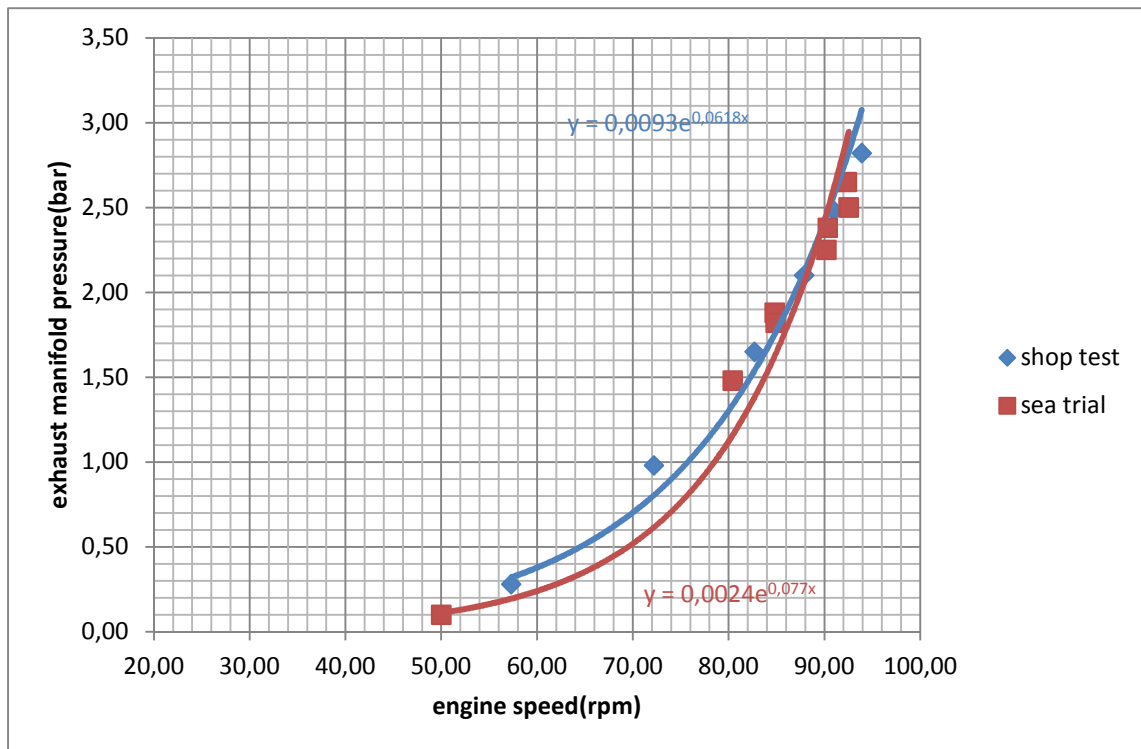
Σχήμα 7.4: Μεταβολή της πίεσης συμπίεσεως συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



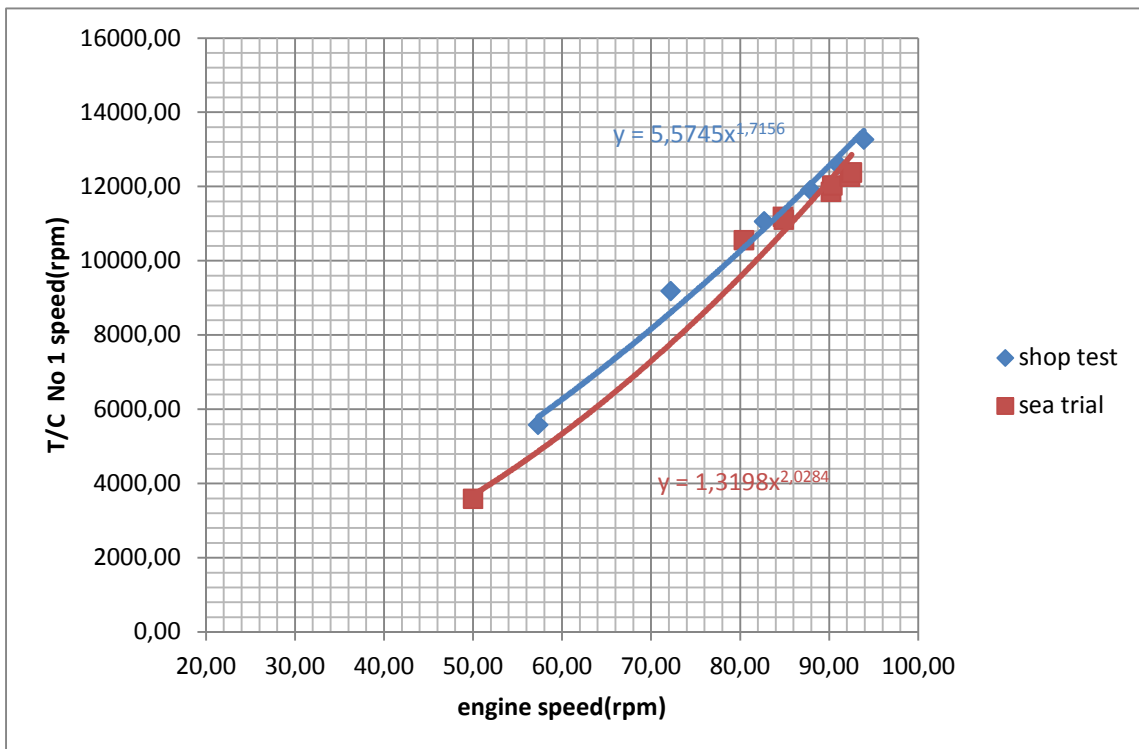
Σχήμα 7.5: Μεταβολή της μέσης ενδिकνόμενης πίεσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



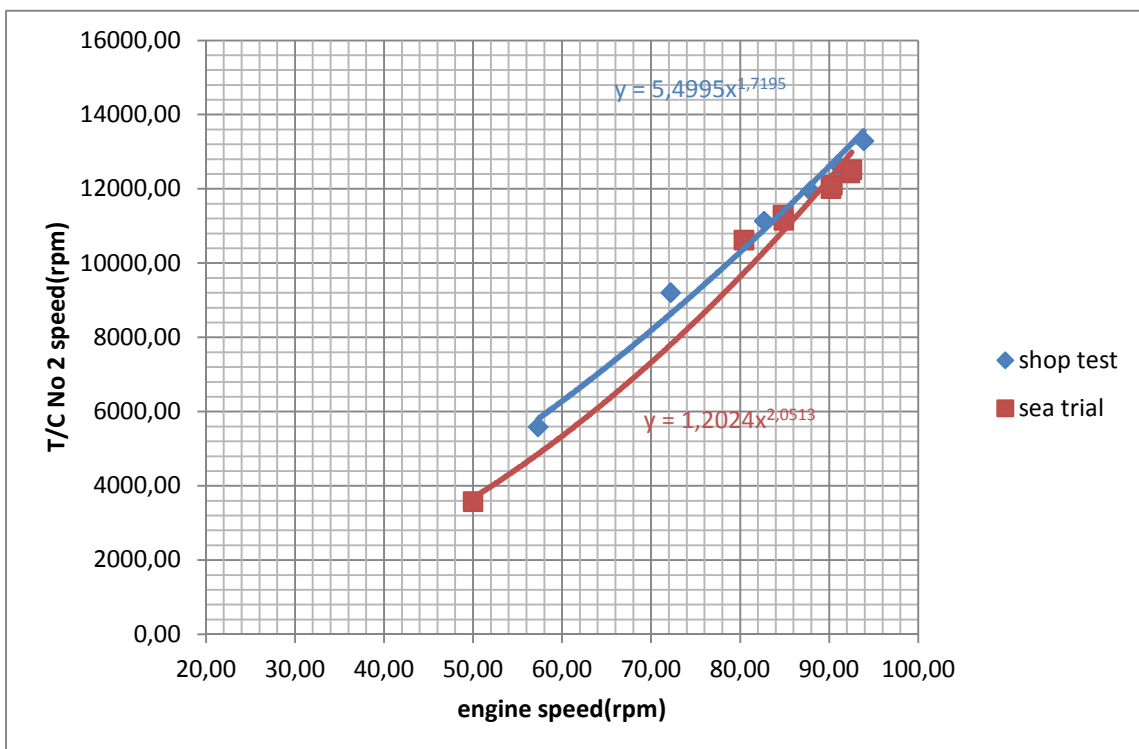
Σχήμα 7.6: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



Σχήμα 7.7: Μεταβολή της πίεσης του οχετού εξαγωγής συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα

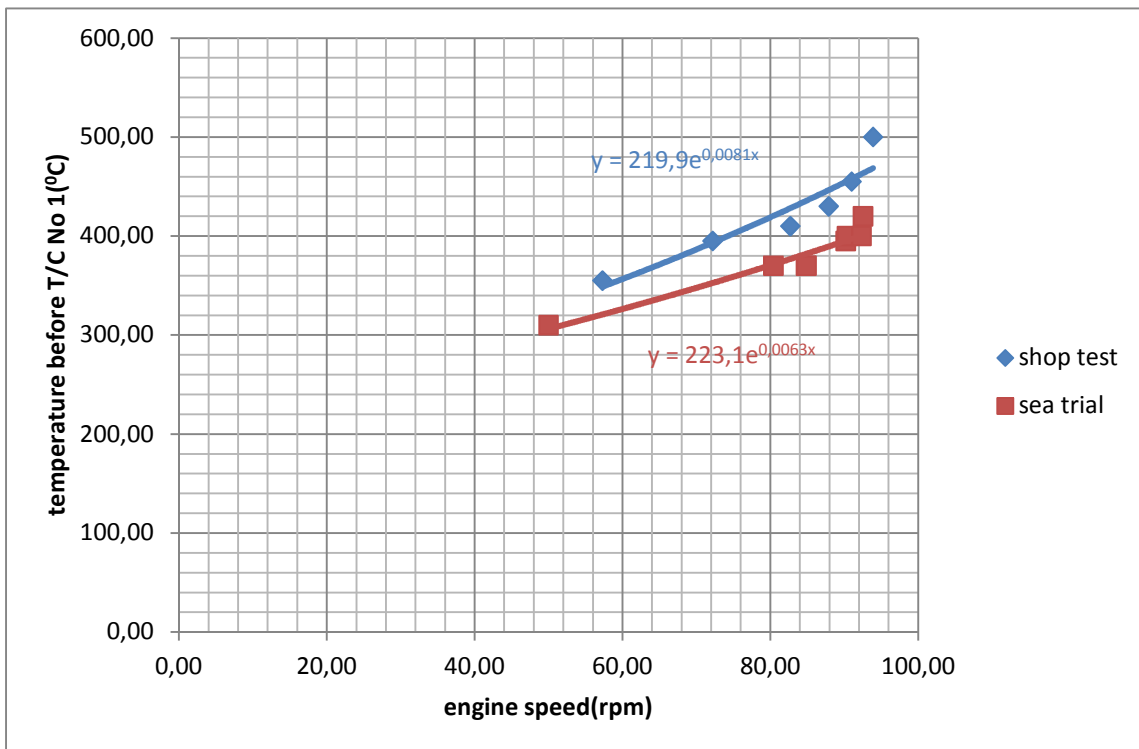


Σχήμα 7.8: Μεταβολή της ταχύτητας του υπερπληρωτή «1» συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα

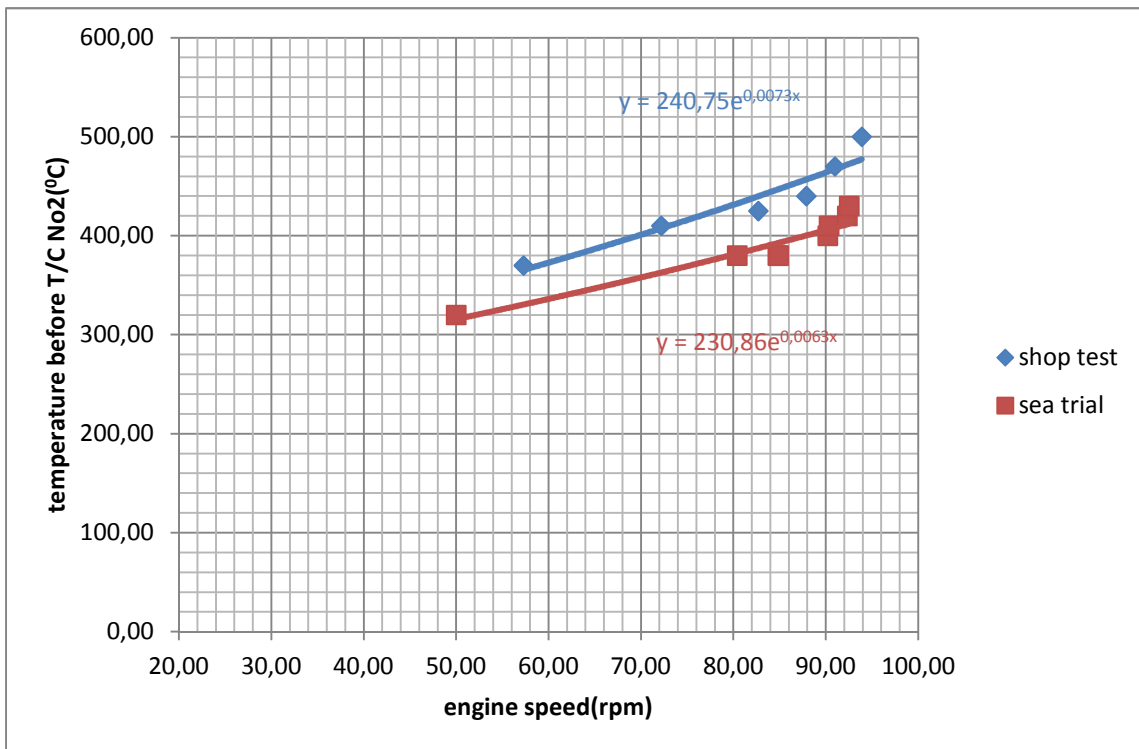


Σχήμα 7.9: Μεταβολή της ταχύτητας του υπερπληρωτή «2» συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα

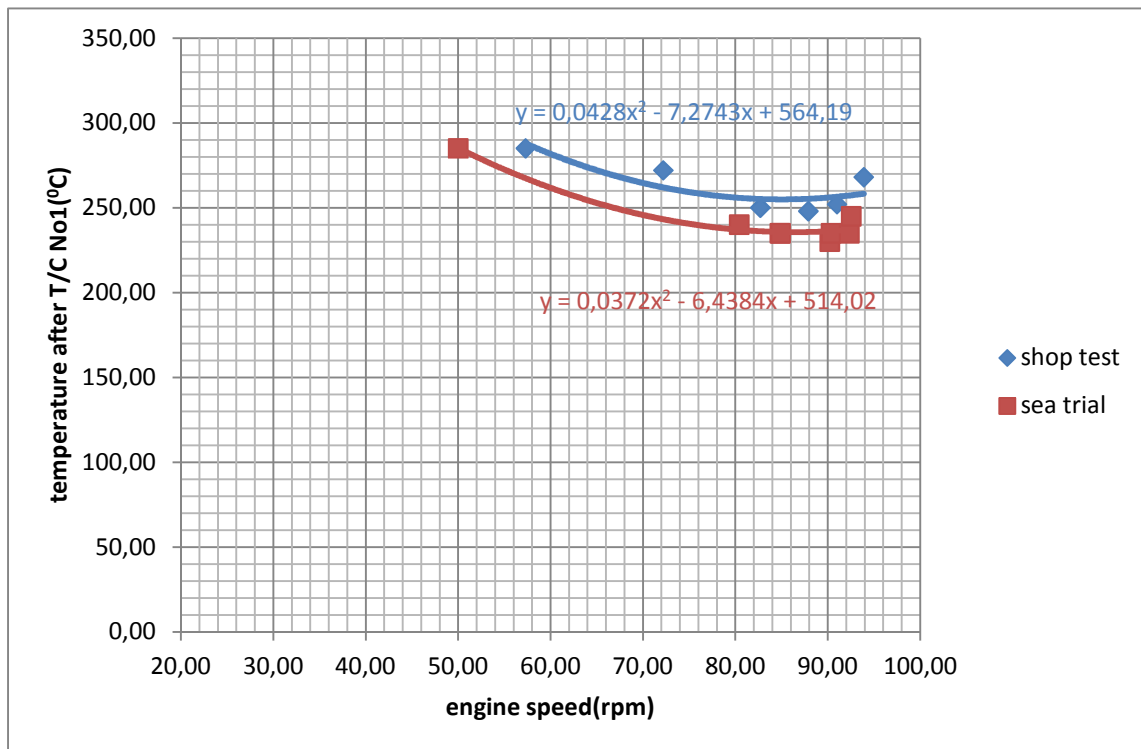




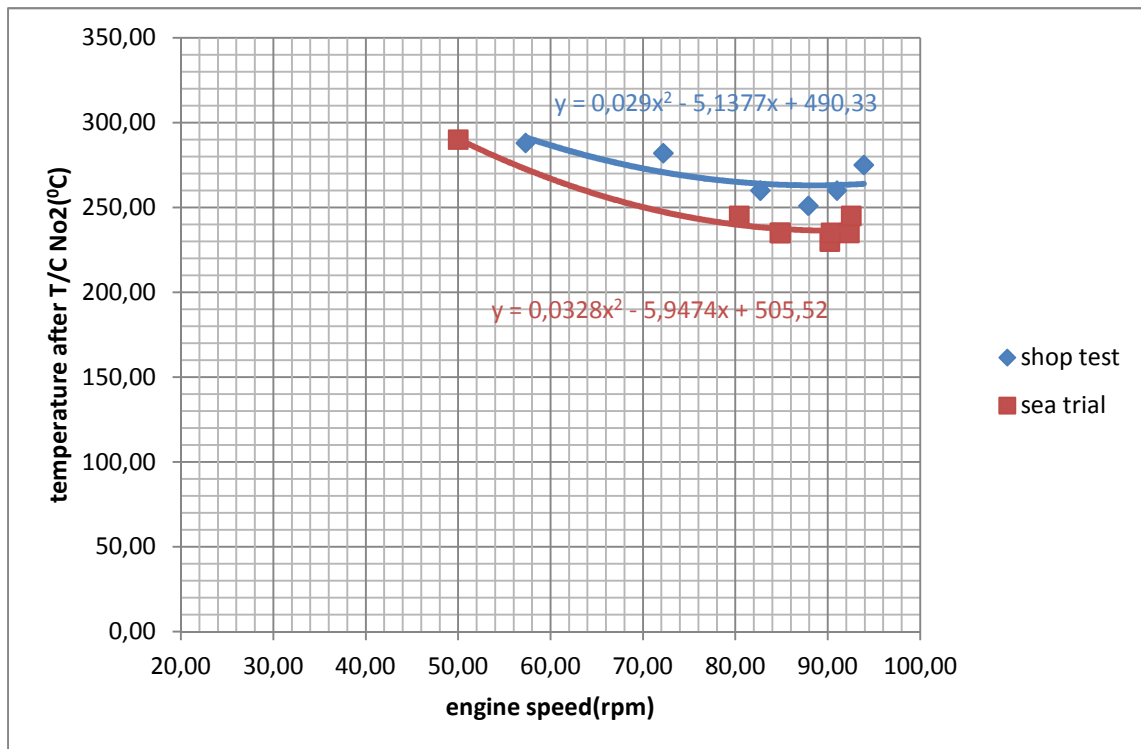
Σχήμα 7.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου στην είσοδο του πρώτου υπερπληρωτή συναρτήσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



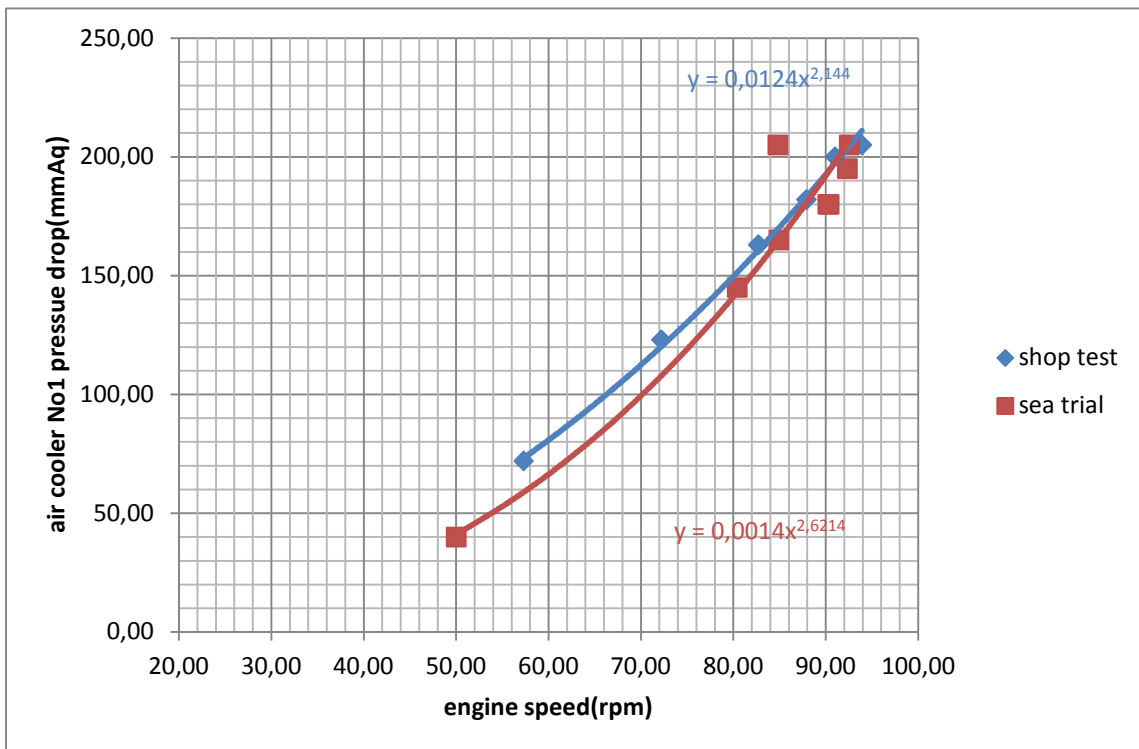
Σχήμα 7.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου στην είσοδο του δεύτερου υπερπληρωτή συναρτήσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινήρα



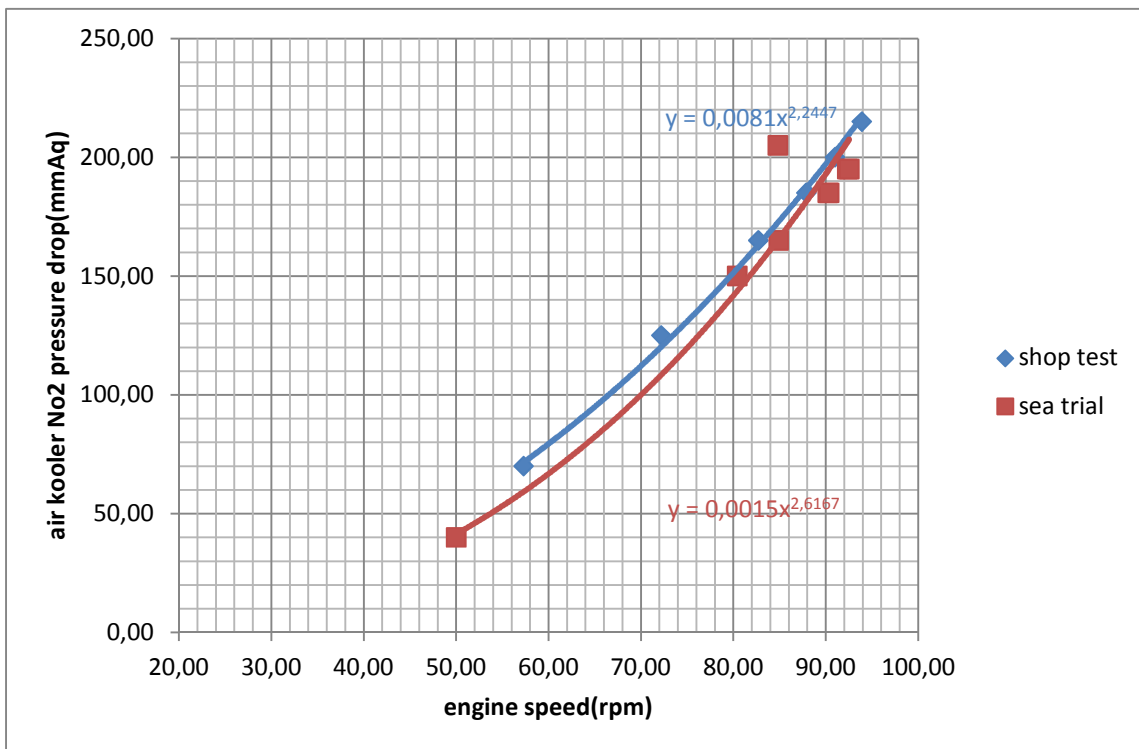
Σχήμα 7.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου μετά τον πρώτο υπερπληρωτή συναρτήσσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



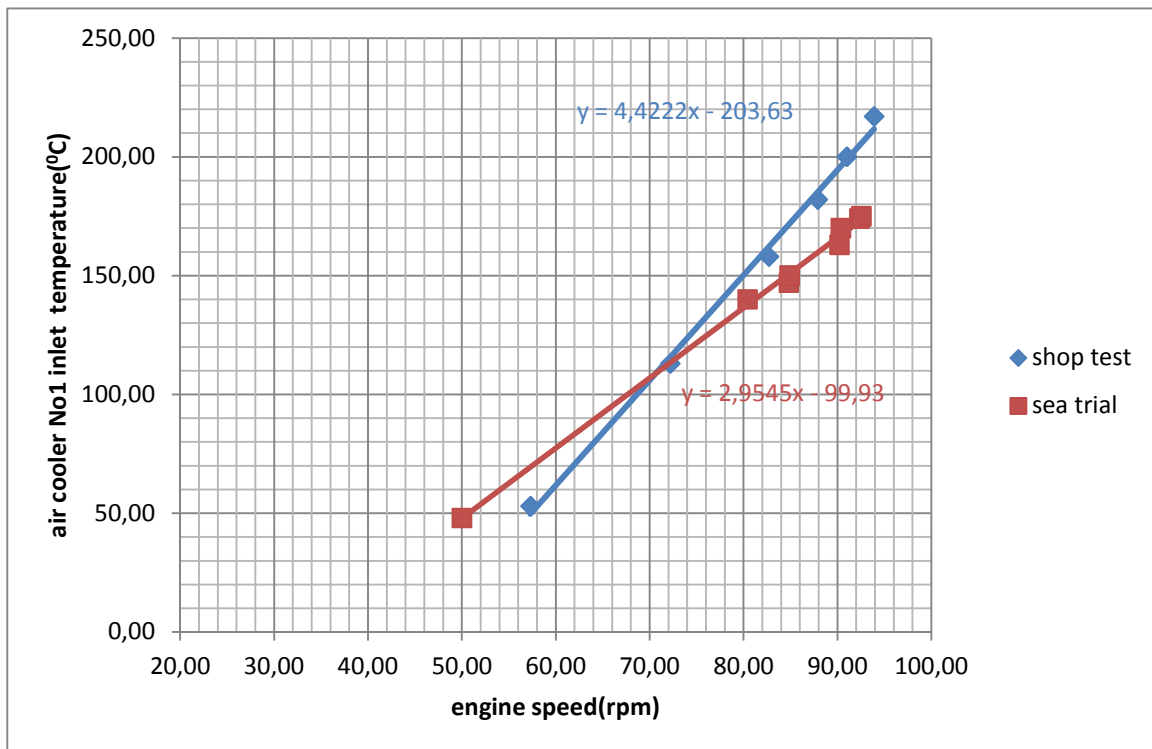
Σχήμα 7.13: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου μετά τον δεύτερο υπερπληρωτή συναρτήσσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



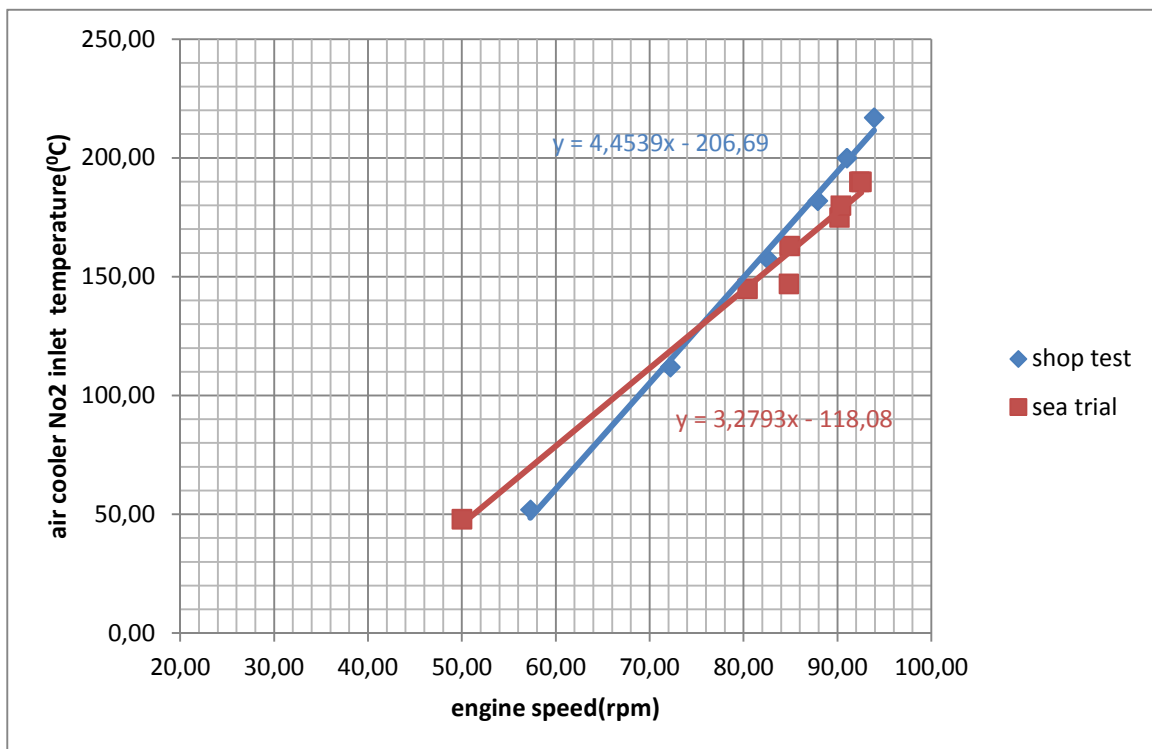
Σχήμα 7.14: Μεταβολή της πτώσης πίεσης στο πρώτο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



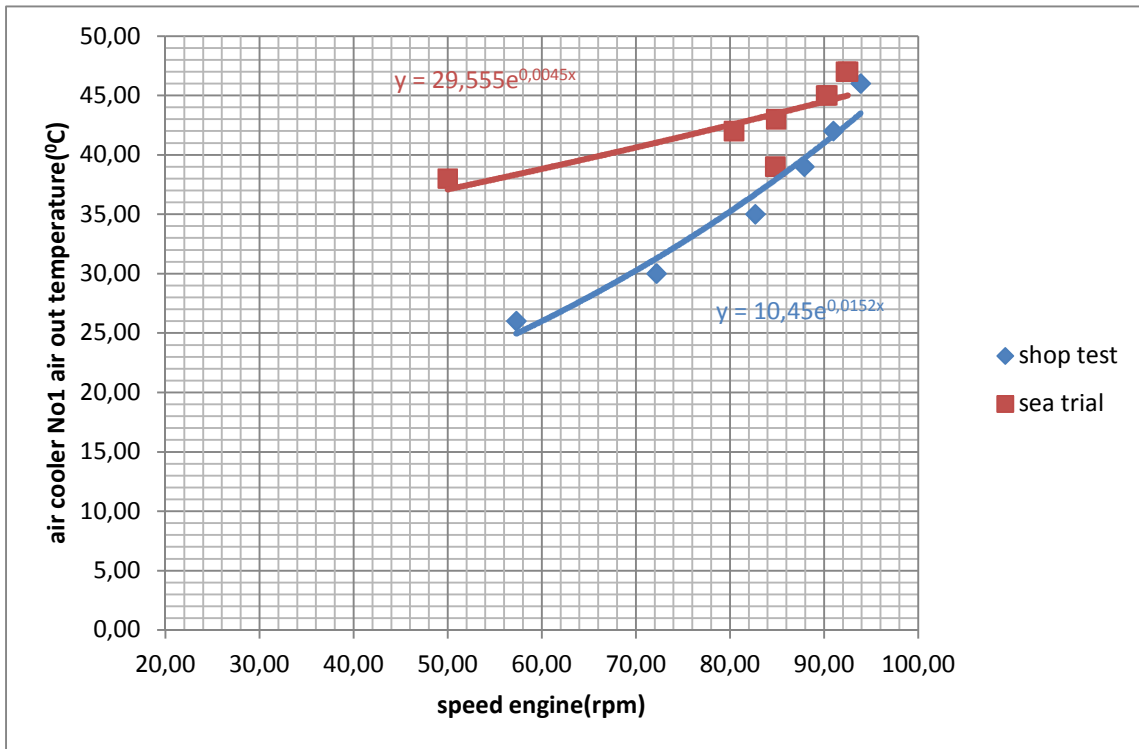
Σχήμα 7.15: Μεταβολή της πτώσης πίεσης στο δεύτερο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



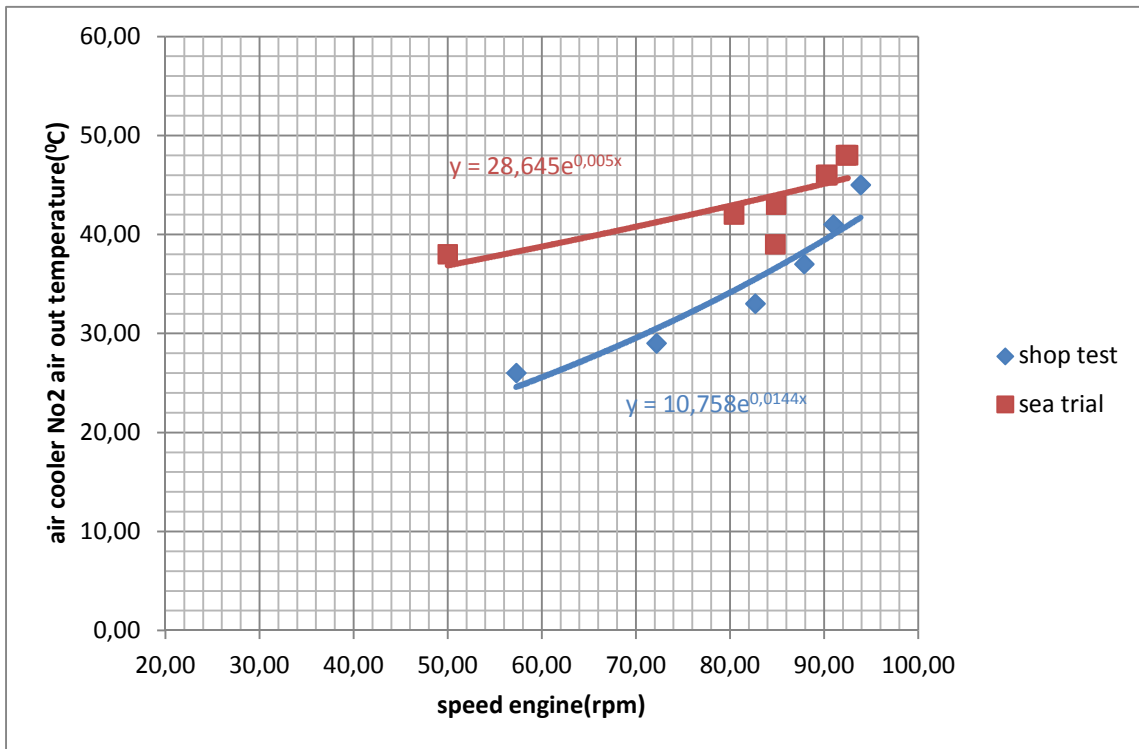
Σχήμα 7.16: Μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου αέρα στο πρώτο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



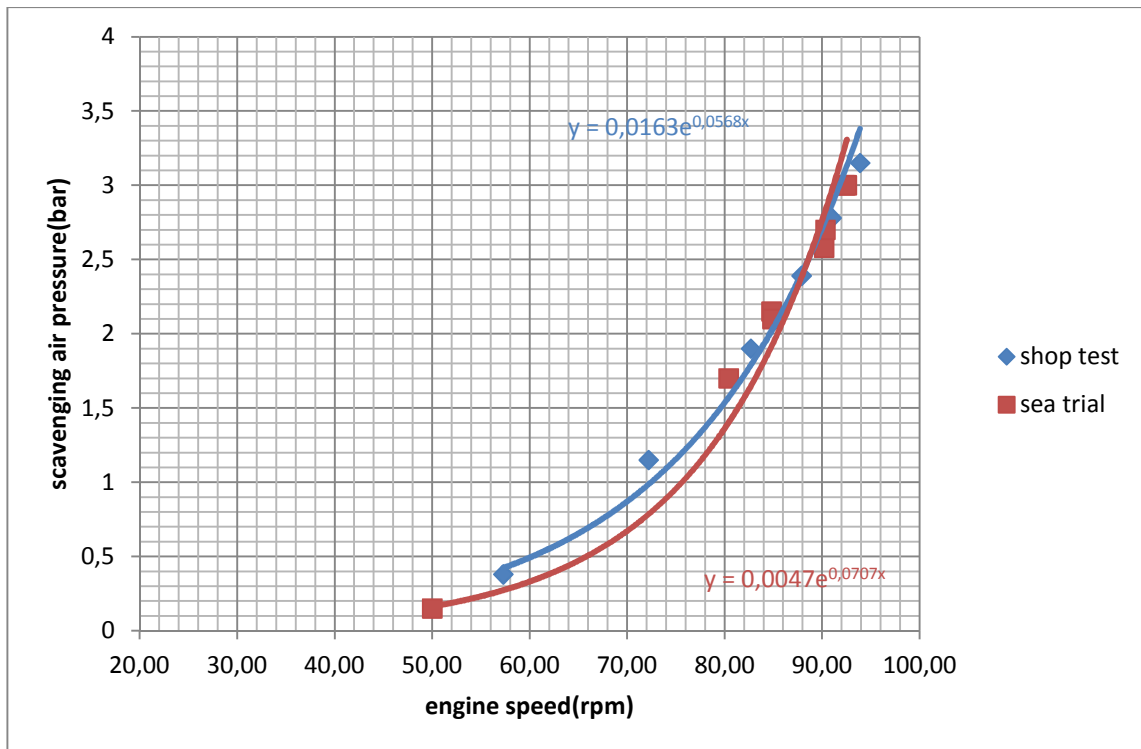
Σχήμα 7.17: Μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου αέρα στο δεύτερο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



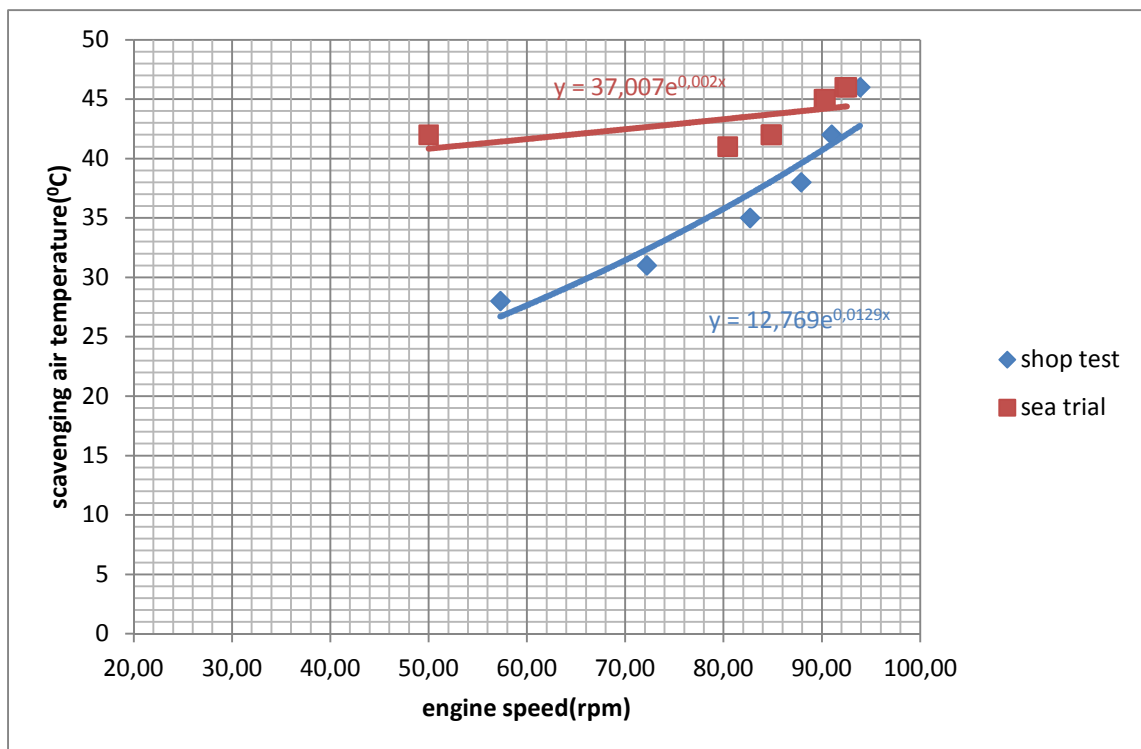
Σχήμα 7.18: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου αέρα στο πρώτο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



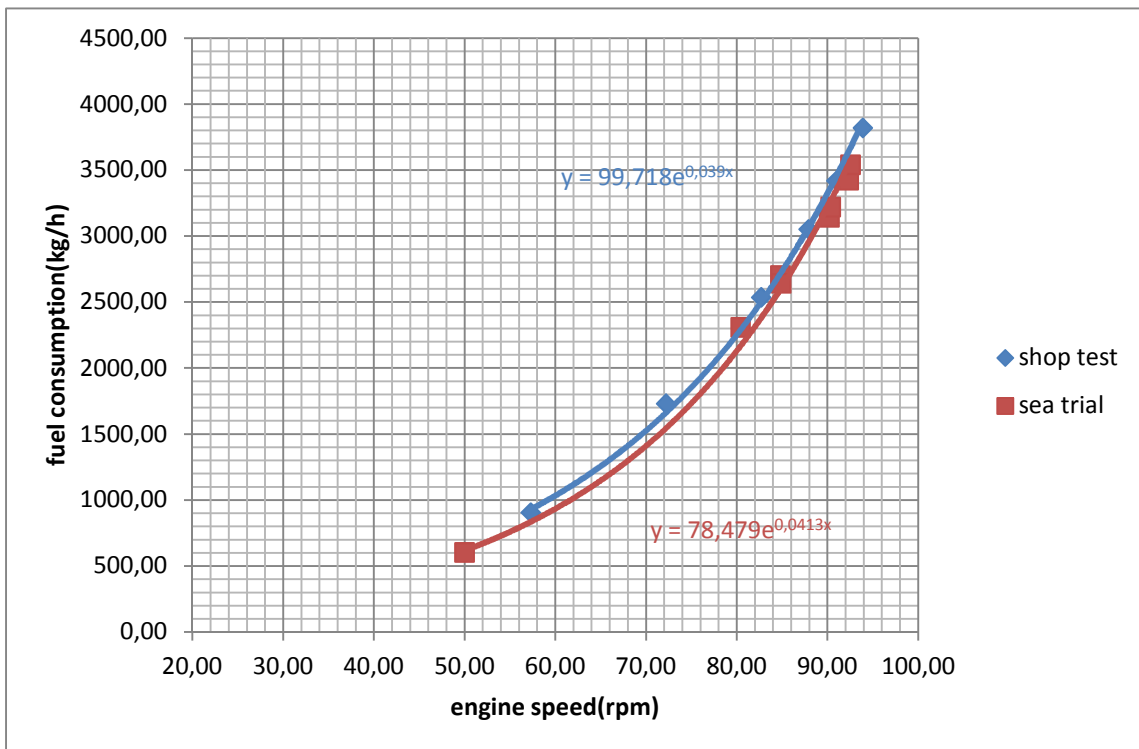
Σχήμα 7.19: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου αέρα στο δεύτερο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



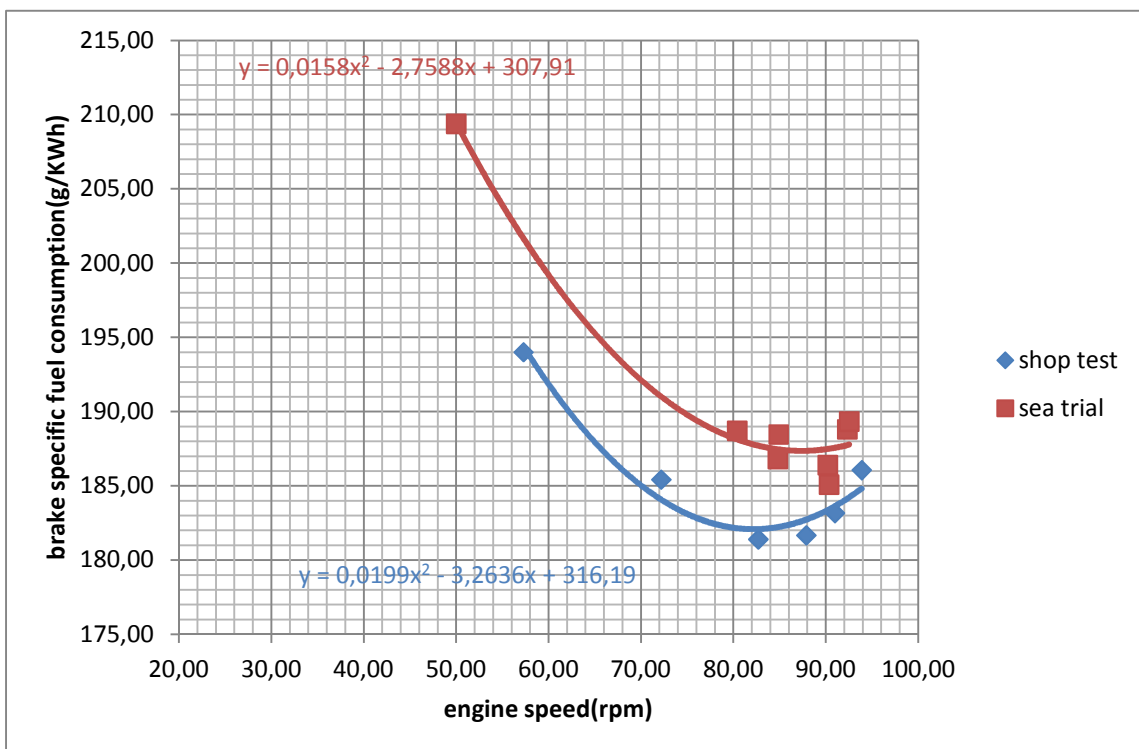
Σχήμα 7.20: Μεταβολή της πίεσης σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



Σχήμα 7.21: Μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



Σχήμα 7.22: Μεταβολή της κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



Σχήμα 7.23: Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα



## **8. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ**

### **8.1. Εισαγωγή**

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται παρουσίαση των τιμών που αφορούν στα κύρια λειτουργικά δεδομένα του κινητήρα όπως αυτές προέκυψαν από την χρήση του προσομοιωτή με τις τιμές που μετρήθηκαν κατά την διάρκεια των Εργοστασιακών Δοκιμών.

Αρχικά πριν την εκτέλεση της προσομοίωσης καθορίζονται οι ιδιότητες του καυσίμου όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 6.6**. Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί προσομοίωση με χρήση του λογισμικού. Στο πρώτο στάδιο της λειτουργίας της προσομοίωσης και στο παράθυρο του λογισμικού «ENGINE OPERATING CONDITIONS», γίνεται εισαγωγή των τιμών των παραμέτρων λειτουργίας απαραίτητων για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου και η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου για το αντίστοιχο φορτίο όπως μετρήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές. Δεν πραγματοποιείται εισαγωγή των τιμών που αφορούν στον υπερπληρωτή, της θερμοκρασίας σάρωσης και της πίεσης σάρωσης καθώς γίνεται πρόβλεψη αυτών από το λογισμικό αυτόματα (“enable T/C Simulation”).

Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα και θα πραγματοποιηθεί αξιολόγηση τους σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των εργοστασιακών δοκιμών. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- η συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total Fuel Consumption (kg/h))
- η ισχύς του κινητήρα (Power Output (kW))
- η μέγιστη πίεση καύσης (Firing Pressure (bar))
- η ειδική κατανάλωση καυσίμου (bsfc (gr/kWh))
- η πίεση συμπίεσεως (Compression Pressure (bar))
- η πίεση σάρωσης (Scavenging Pressure-gauge (bar))
- η θερμοκρασία σάρωσης (Scavenging Air Temperature (°C))
- η θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα (A/C: Air Temperature In (°C))
- η πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar))
- η θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων (Cylinder Exhaust Temperature (°C))
- η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή (Turbine Inlet Temperature (°C))
- η ταχύτητα περιστροφής του στροβίλου (Turbine Speed (rpm)) και





- η πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Backpressure (mmW)).

## **8.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης των Εργοστασιακών Δοκιμών Χρησιμοποιώντας Προσομοίωση Υπερπληρωτή**

Στην υποπαράγραφο αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως προκύπτουν από το λογισμικό καθώς και οι αντίστοιχες συνθήκες λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση. Τα αποτελέσματα αυτά αξιολογούνται στη συνέχεια σε σχέση με τα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών.

### **8.2.1. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου**

Στο πρώτο στάδιο της προσομοίωσης (**Σχήμα 8.1**) καθορίζεται η τιμή του φορτίου (Engine Load %). Κατόπιν, για την εξαγωγή τιμών όσο το δυνατόν πιο κοντά στις πραγματικές τιμές γίνεται εισαγωγή της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως αυτή μετρήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές για το 25% του φορτίου αλλά και μείωση της προπορείας έγχυσης καυσίμου από 1 deg ,που έχει καταχωρηθεί ήδη από το λογισμικό, σε 2 deg. Επίσης, επιλέγεται η εισαγωγή των δεδομένων λειτουργίας από τις εργοστασιακές δοκιμές (Define Operating Data from Shop Tests) και η εισαγωγή δεδομένων που αφορούν στον υπερπληρωτή από το λογισμικό (Enable T/C Simulation). Ως αποτέλεσμα δεν χρειάζεται να γίνει εισαγωγή των δεδομένων αυτών από τον χρήστη. Στη συνέχεια πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (**Σχήμα 8.2**) για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 25%.



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	57.3
Engine Load (%)	25.0
Injection Timing (deg)	2
Fuel Rack Position (mm)	52.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	905

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc..**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	27.5
Room Pressure (mbar)	1019.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.0

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	0.36
Boost Air Temperature (C)	26.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.28
Exhaust Back Pressure (mmW)	9.9

**OK** **Cancel**

Σχήμα 8.1

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	57.3
Fuel Rack Position (-)	52.2
Total Fuel Consumption (kg/h)	905.0
Power Output (kW)	4575.7
Firing Pressure (bar)	80.4
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	197.8

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	0.41
Scavenging Air Temperature (C)	25.6
A/C: Air Temperature In (C)	62.8
A/C: Pressure Drop (mmW)	76.1
Air Filter Pressure Drop (mmW)	1.5
Air Flow (kg/h)	46266.5
Exhaust Flow (kg/h)	49448.9

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.33
Cylinder Exhaust Temperature (C)	280.2
Turbine Inlet Temperature (C)	312.2
Turbine Outlet Temperature (C)	278.3
Turbine Speed (rpm)	5908.3
Exhaust Backpressure (mmW)	16.3

User:

Vessel:

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

**Save to File**

**Print**

**Close**

Σχήμα 8.2



### 8.2.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου

Αρχικά, γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου για το οποίο ζητείται πρόβλεψη από το λογισμικό για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα. Επίσης, για το 50% του φορτίου εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως αυτή μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation). Ως αποτέλεσμα δεν χρειάζεται να εισαχθούν τα δεδομένα που αφορούν στην θερμοκρασία σάρωσης (Boost Pressure-Gauge (bar)), στην πίεση σάρωσης (Boost Air Temperature (°C)), στην πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge (bar)) και στην πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Back Pressure (mmW)) (Σχήμα 8.3). Στη συνέχεια, πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα (Σχήμα 8.4).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	72.2
Engine Load (%)	49.9
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	70.0
Fuel Flow Rate (kg/h)	1730

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	29.8
Room Pressure (mbar)	1011.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.2
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	1.15
Boost Air Temperature (C)	30.1
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.98
Exhaust Back Pressure (mmW)	71.6

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

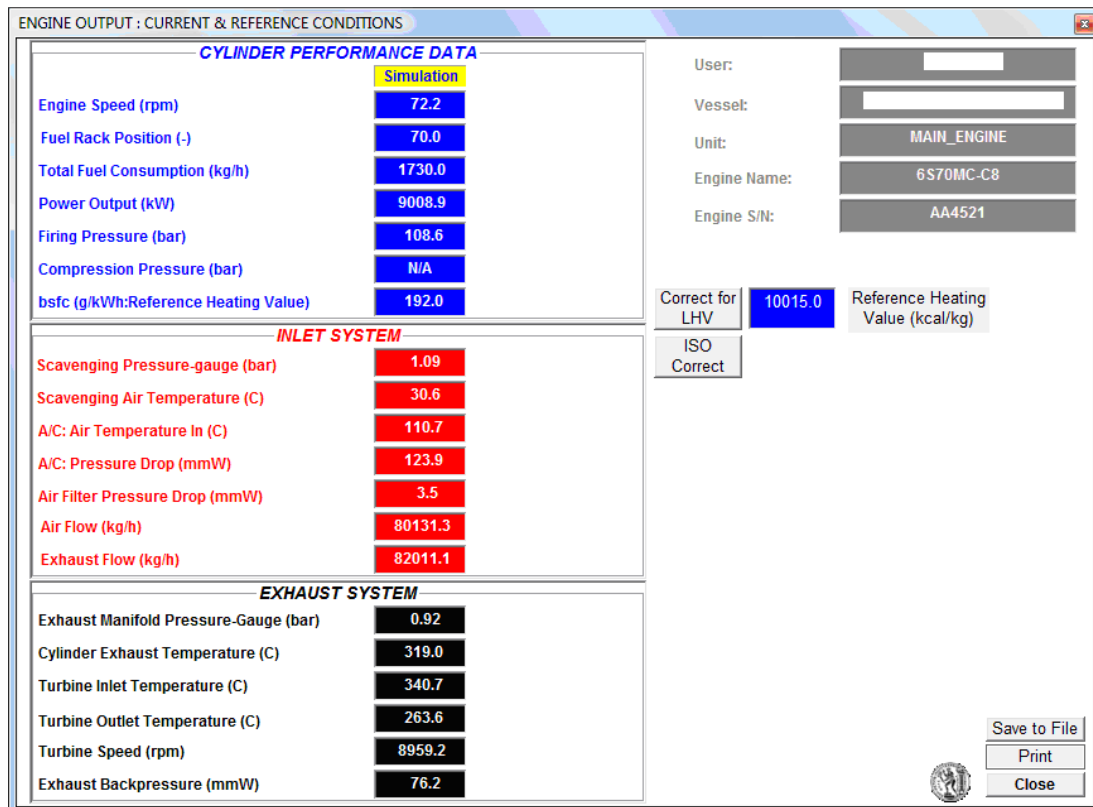
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 8.3



Σχήμα 8.4

### 8.2.3. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου

Αρχικά γίνεται προσδιορισμός της τιμής του φορτίου (Engine Load (%)). Για την καλύτερη προσέγγιση των μετρημένων τιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως αυτή μετρήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές για το 75% του φορτίου και αυξάνεται η προπορεία έγχυσης καυσίμου από -1 deg σε 0 deg. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 8.5). Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 75% του φορτίου (Σχήμα 8.6).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	82.7
Engine Load (%)	75.1
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	84.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	2535

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	32.3
Room Pressure (mbar)	1010.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	26.3

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	1.90
Boost Air Temperature (C)	34.9
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.64
Exhaust Back Pressure (mmW)	175.0

OK Cancel

Σχήμα 8.5

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation

Engine Speed (rpm)	82.7
Fuel Rack Position (-)	84.6
Total Fuel Consumption (kg/h)	2535.0
Power Output (kW)	14101.0
Firing Pressure (bar)	142.8
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	179.8

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	1.96
Scavenging Air Temperature (C)	37.6
A/C: Air Temperature In (C)	159.8
A/C: Pressure Drop (mmW)	165.1
Air Filter Pressure Drop (mmW)	6.6
Air Flow (kg/h)	114006.8
Exhaust Flow (kg/h)	116463.6

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	1.71
Cylinder Exhaust Temperature (C)	343.5
Turbine Inlet Temperature (C)	373.0
Turbine Outlet Temperature (C)	252.1
Turbine Speed (rpm)	10828.9
Exhaust Backpressure (mmW)	175.5

User: [ ]  
Vessel: [ ]  
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

Σχήμα 8.6



#### 8.2.4. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου

Για να γίνει η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης από το λογισμικό πρέπει να πραγματοποιηθεί εισαγωγή των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα. Έτσι, εισάγεται η τιμή του φορτίου (Engine Load (%)) και για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)). Επίσης, αυξάνεται η προπορεία έγχυσης καυσίμου από -2 deg που είναι η αρχική τιμή που προτείνεται από το λογισμικό σε -1 deg. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 8.7). Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 90% του φορτίου (Σχήμα 8.9).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	87.9
Engine Load (%)	90.1
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	94.9
Fuel Flow Rate (kg/h)	3051

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	33.6
Room Pressure (mbar)	1009.7
A/C Water Inlet Temp. (C)	28.6
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.42
Boost Air Temperature (C)	39.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.12
Exhaust Back Pressure (mmW)	247.0

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

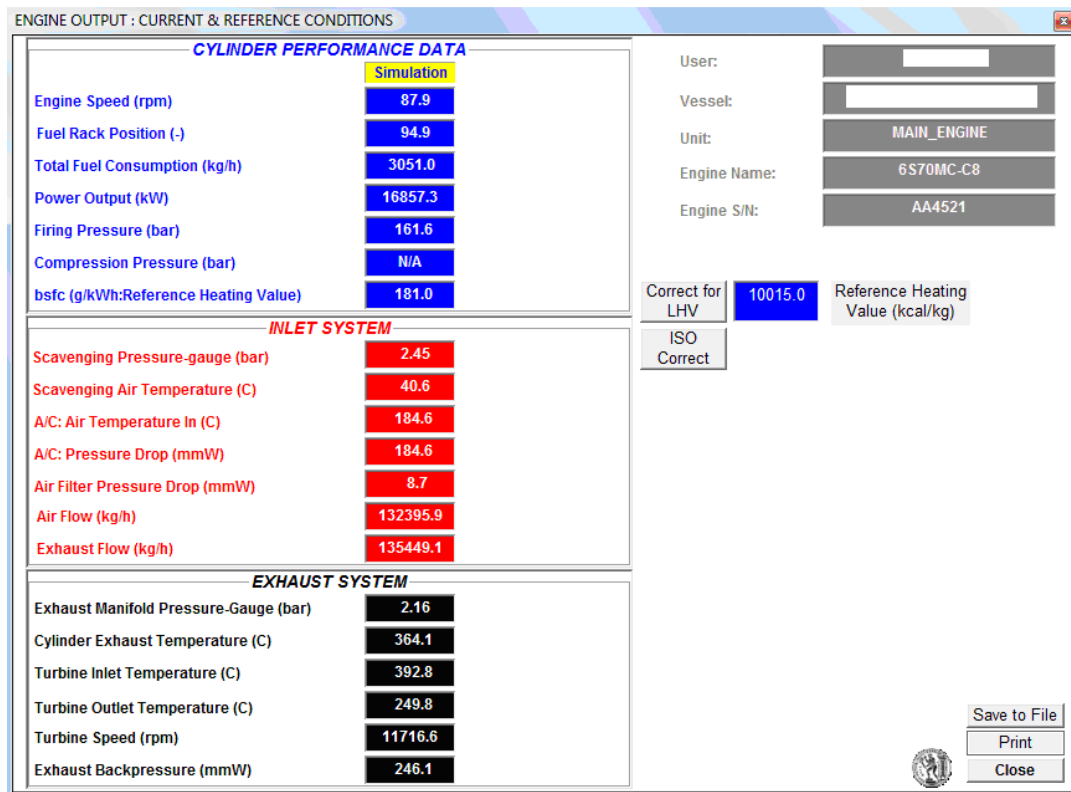
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 8.7



Σχήμα 8.8

### 8.2.5. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο του λογισμικού για την προσομοίωση του κινητήρα γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου. Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 8.9). Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 100% του φορτίου (Σχήμα 8.10).





**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	91.0
Engine Load (%)	100.0
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	102.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	3418

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	34.4
Room Pressure (mbar)	1009.4
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.2

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	2.80
Boost Air Temperature (C)	42.2
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.47
Exhaust Back Pressure (mmW)	297.4

OK Cancel

Σχήμα 8.9

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	91.0
Fuel Rack Position (-)	102.6
Total Fuel Consumption (kg/h)	3418.0
Power Output (kW)	18803.2
Firing Pressure (bar)	160.0
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	181.8

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	2.86
Scavenging Air Temperature (C)	41.9
A/C: Air Temperature In (C)	203.7
A/C: Pressure Drop (mmW)	198.8
Air Filter Pressure Drop (mmW)	10.5
Air Flow (kg/h)	147080.6
Exhaust Flow (kg/h)	150376.5

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	2.54
Cylinder Exhaust Temperature (C)	376.5
Turbine Inlet Temperature (C)	409.3
Turbine Outlet Temperature (C)	249.3
Turbine Speed (rpm)	12394.6
Exhaust Backpressure (mmW)	310.7

User: [ ]  
Vessel: [ ]  
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

Σχήμα 8.10





### 8.2.6. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου

Για την προσομοίωση λειτουργίας του κινητήρα από το λογισμικό, αρχικά εισάγεται η τιμή του φορτίου (Engine Load (%)). Επίσης, εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation). Ως αποτέλεσμα δεν χρειάζεται να εισαχθούν τα δεδομένα που αφορούν στην θερμοκρασία σάρωσης (Boost Pressure-Gauge (bar)), στην πίεση σάρωσης (Boost Air Temperature (°C)), στην πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge (bar)) και στην πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Back Pressure (mmW)) (Σχήμα 8.11). Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 110% του φορτίου (Σχήμα 8.12).

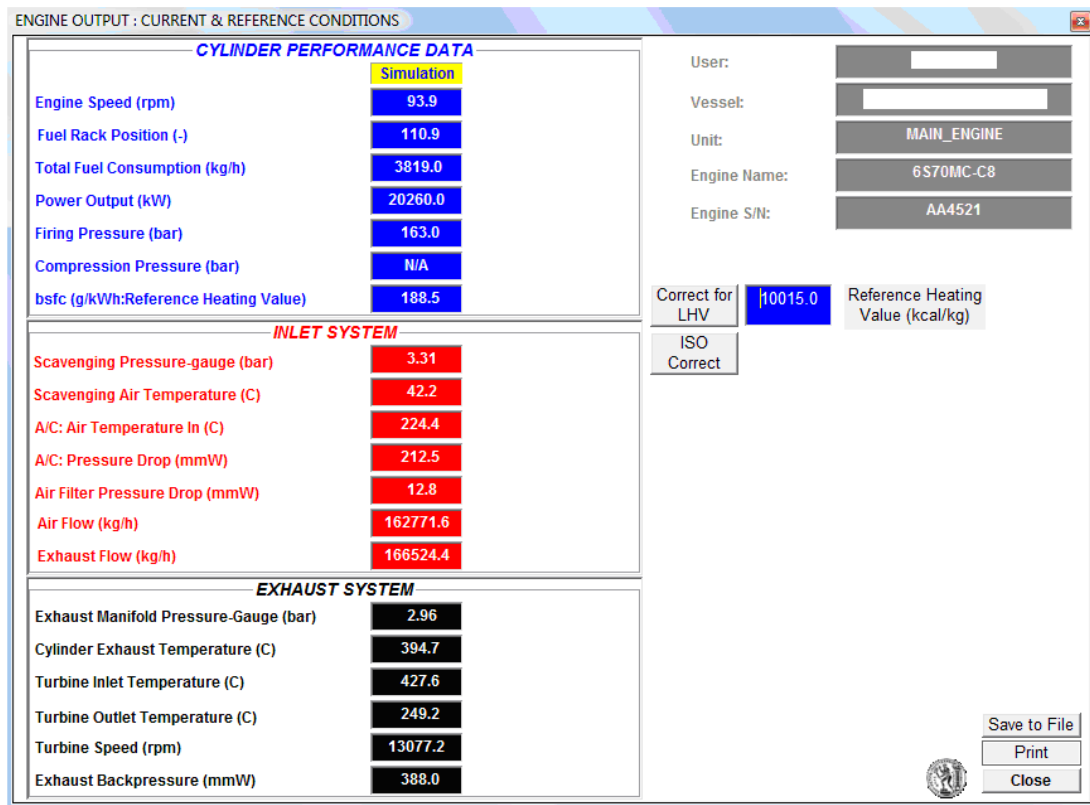
Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	93.9
Engine Load (%)	109.9
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	110.9
Fuel Flow Rate (kg/h)	3819.0

Options for Operating Data Source	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input checked="" type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	35.2
Room Pressure (mbar)	1008.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	31.7
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	3.20
Boost Air Temperature (C)	45.9
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.86
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

Σχήμα 8.11



Σχήμα 8.12

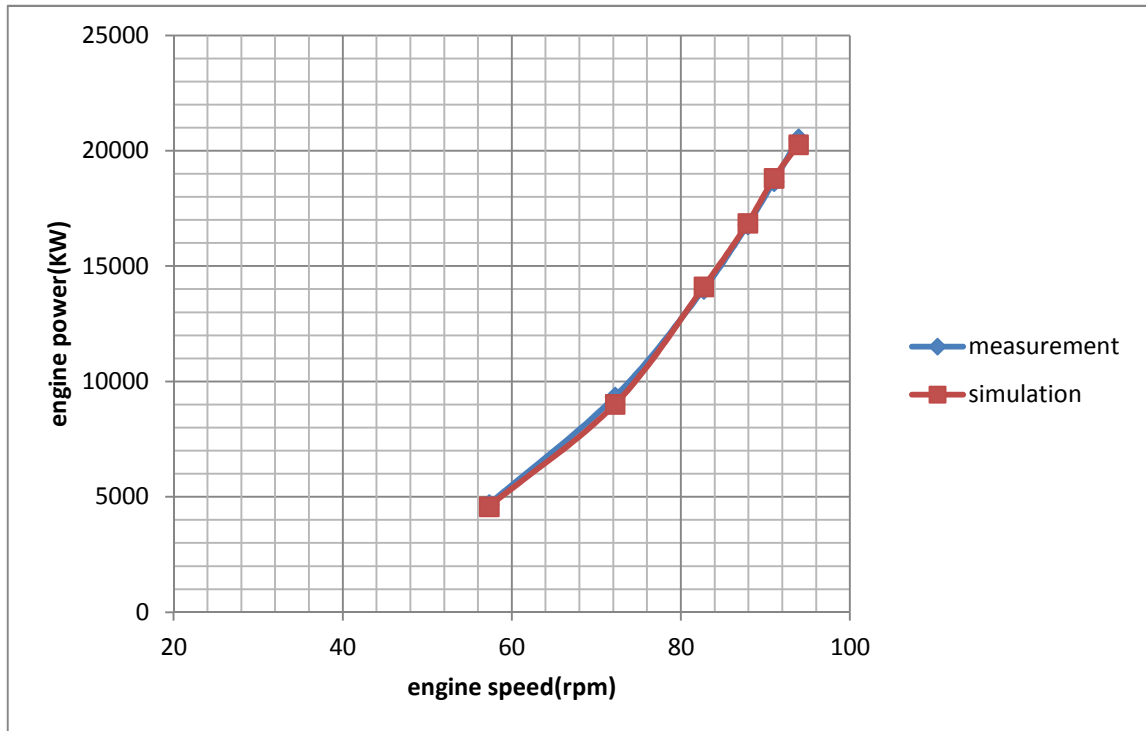
### 8.3. Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Εργοστασιακές Δοκιμές

Στην **Παράγραφο 8.3.** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα όπως αυτά προέκυψαν στην **Παράγραφο 8.2** σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των Εργοστασιακών Δοκιμών. Οι παράμετροι αυτές είναι:

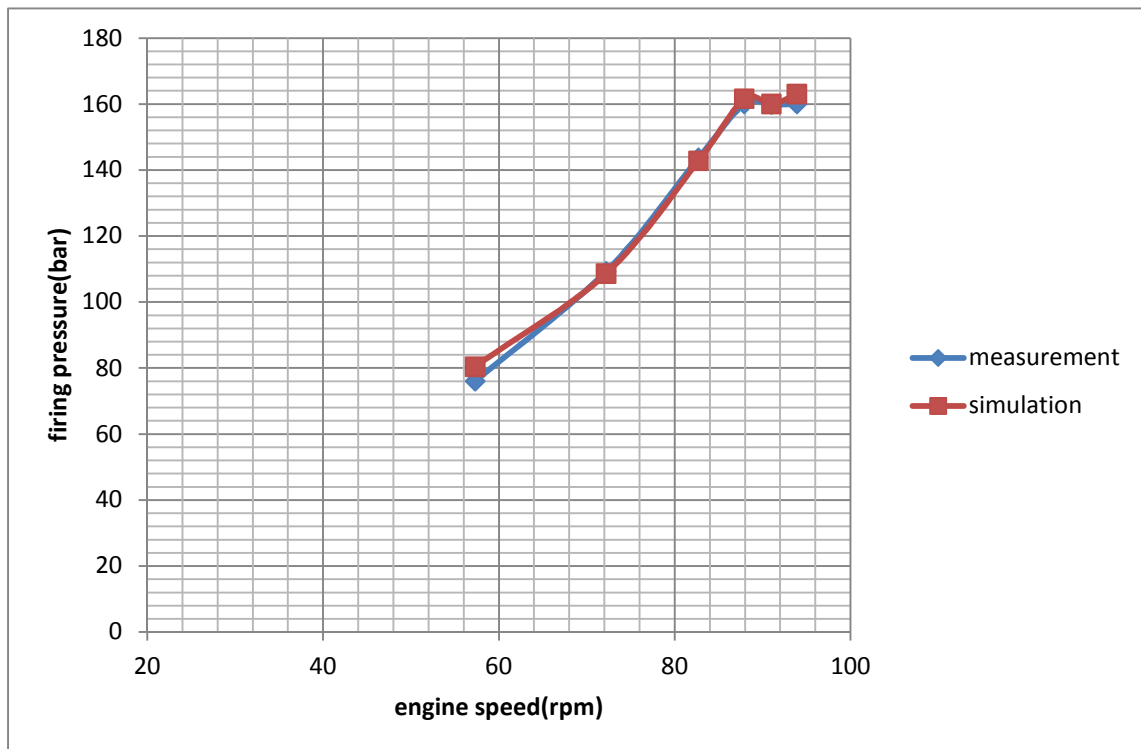
- Η ισχύς του κινητήρα
- Η μέγιστη πίεση καύσης
- Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων
- Η πίεση του οχετού εξαγωγής
- Η ταχύτητα του υπερπληρωτή
- Η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή
- Η θερμοκρασία καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή
- Η πίεση καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή
- Η πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα
- Η θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα



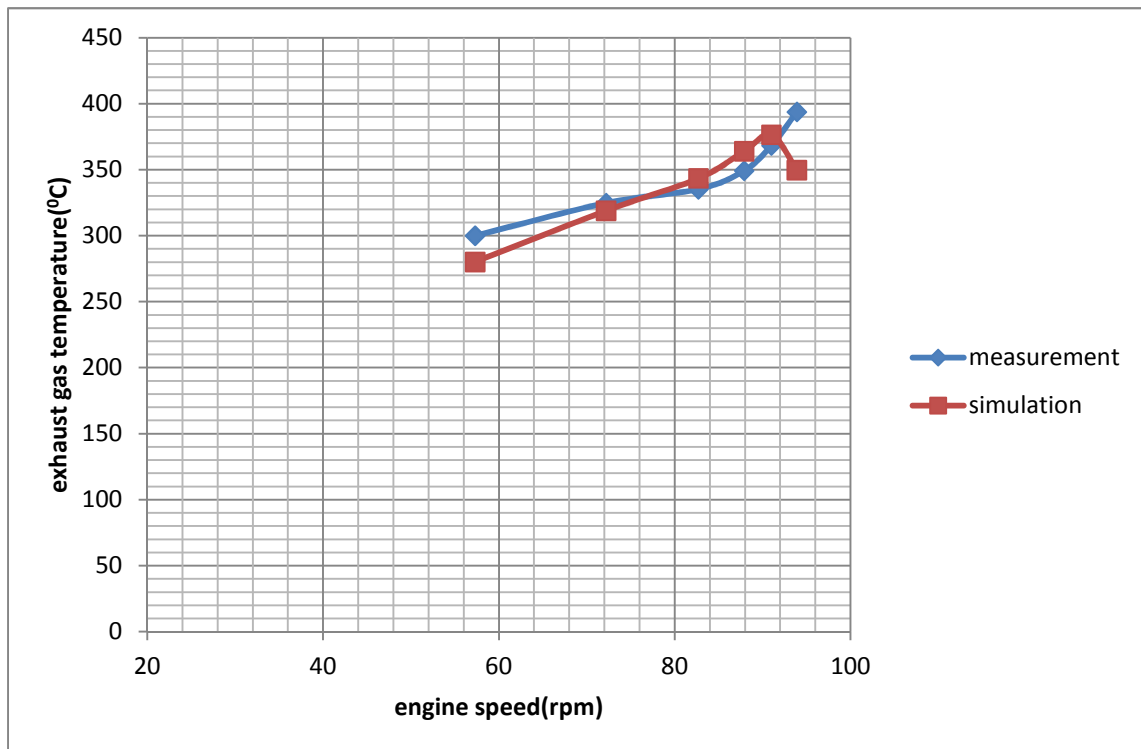
- Η θερμοκρασία σάρωσης
- Η πίεση σάρωσης
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου



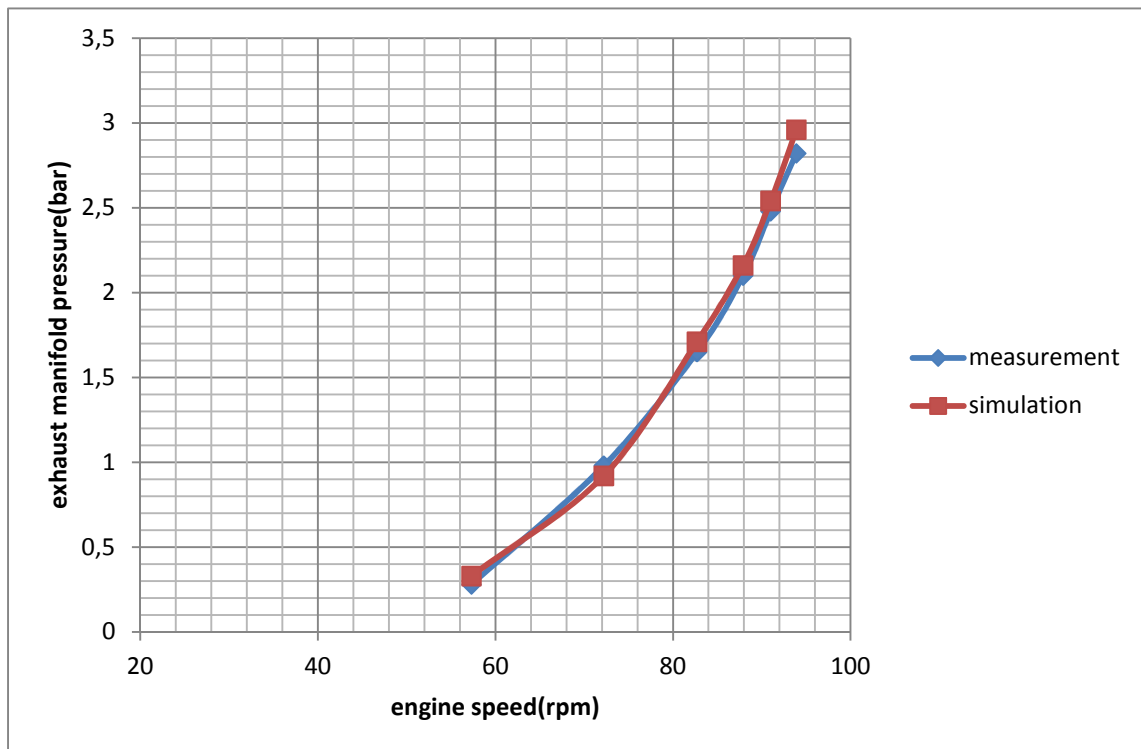
Σχήμα 8.13: Μεταβολή ισχύος κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



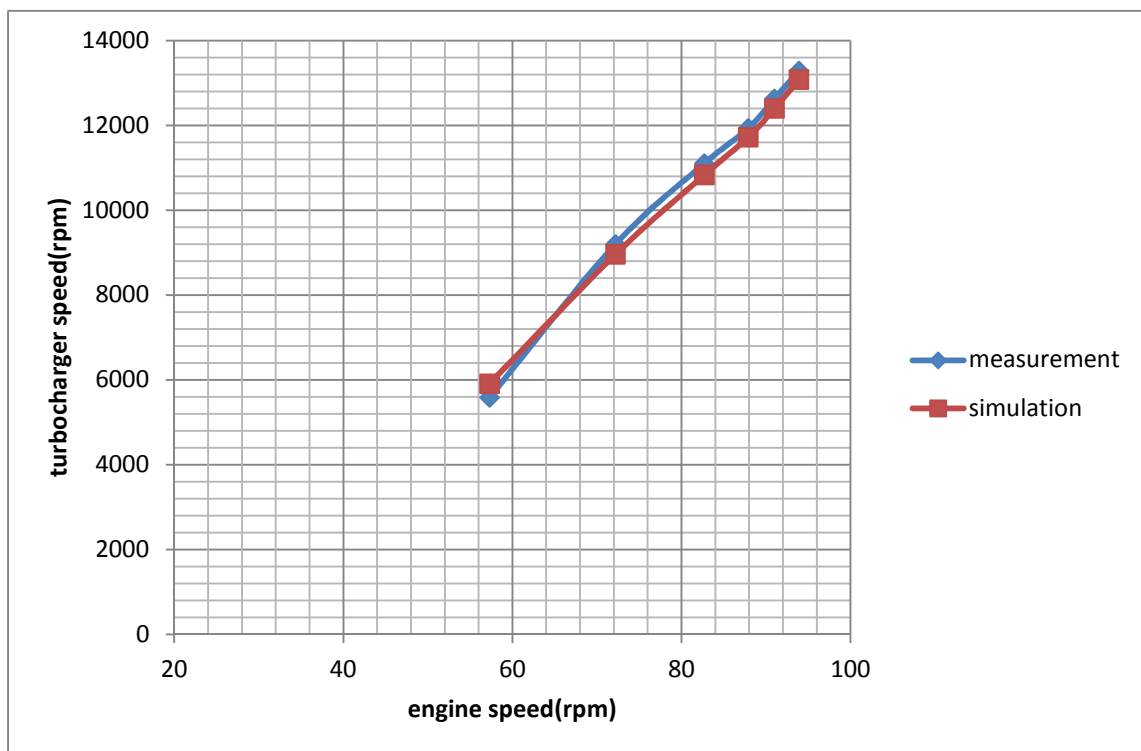
Σχήμα 8.14: Μεταβολή της μεγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



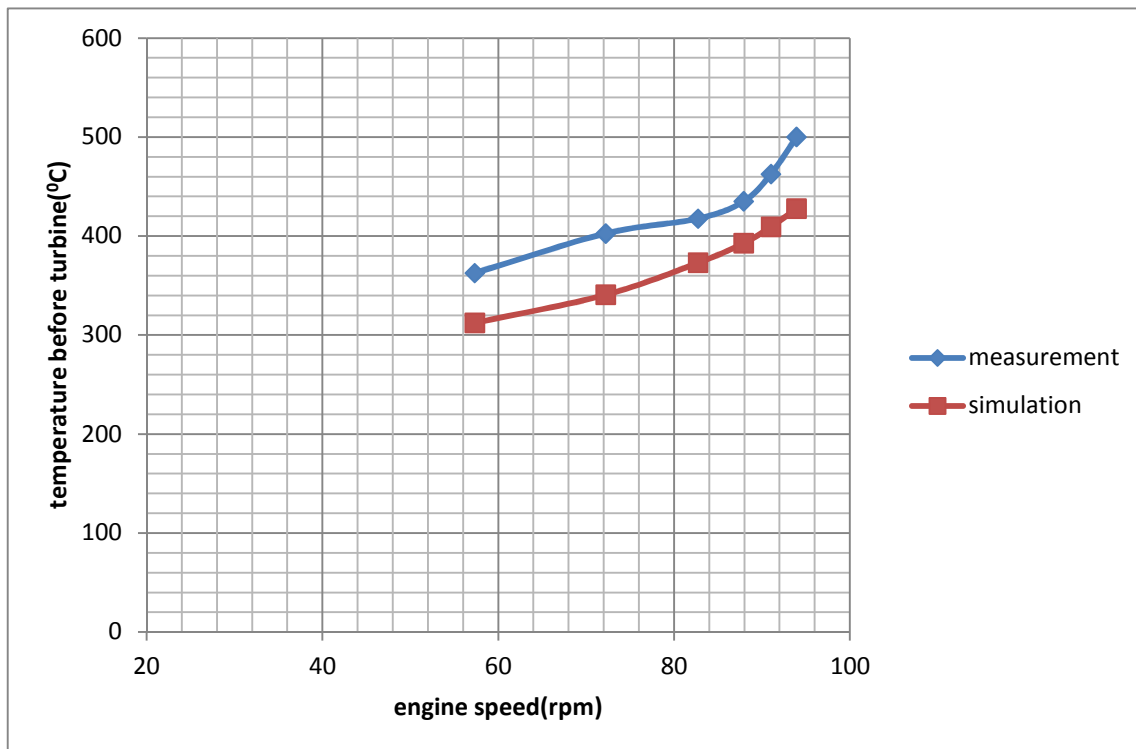
Σχήμα 8.15: Μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



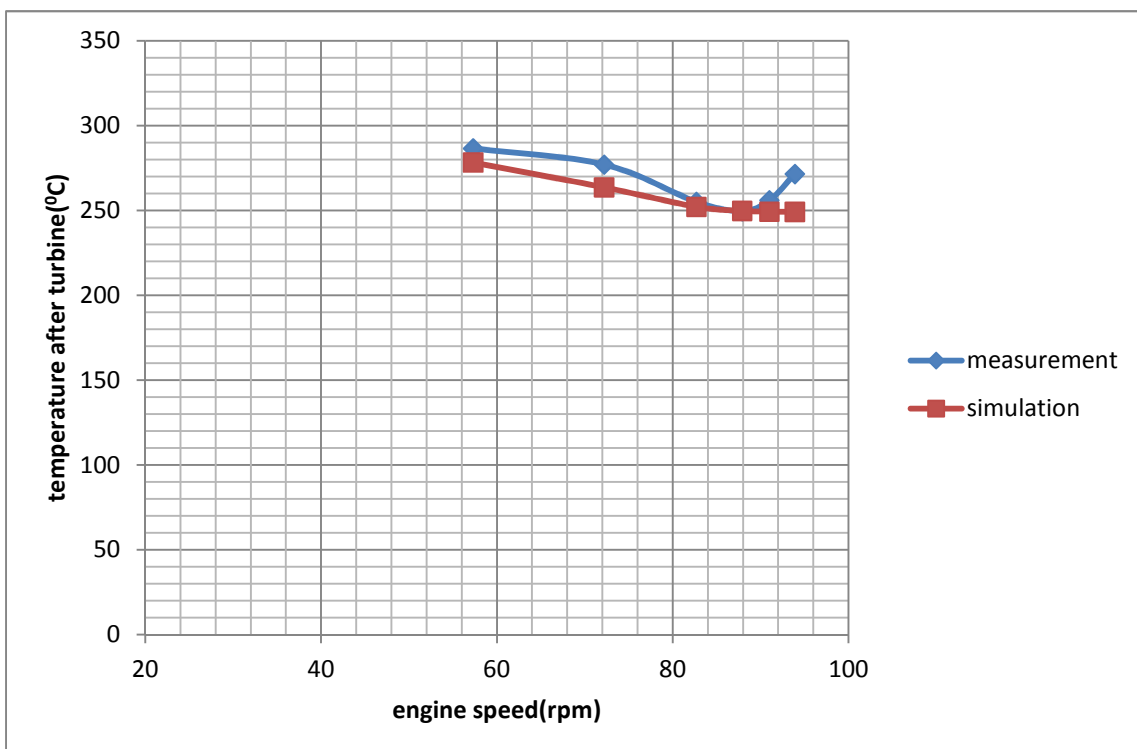
Σχήμα 8.16: Μεταβολή της πίεσης του οχετού εξαγωγής συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



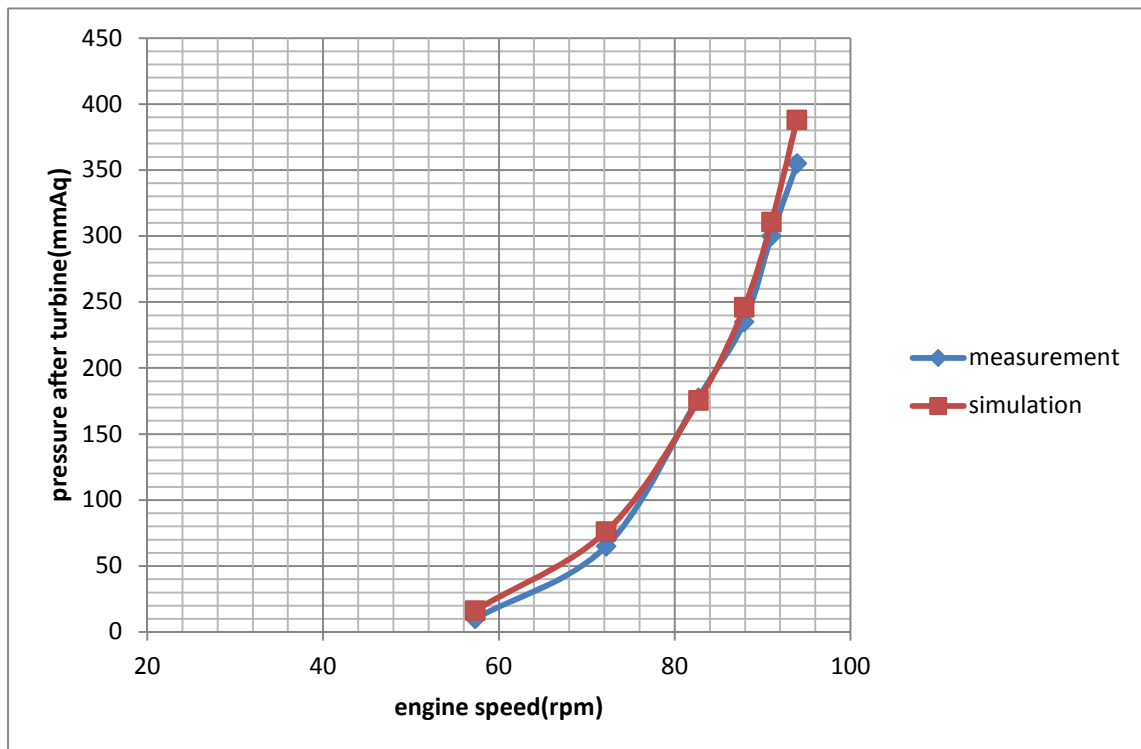
Σχήμα 8.17: Μεταβολή της ταχύτητας του υπερπληρωτή (μέσος όρος για τους δύο υπερπληρωτές) συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



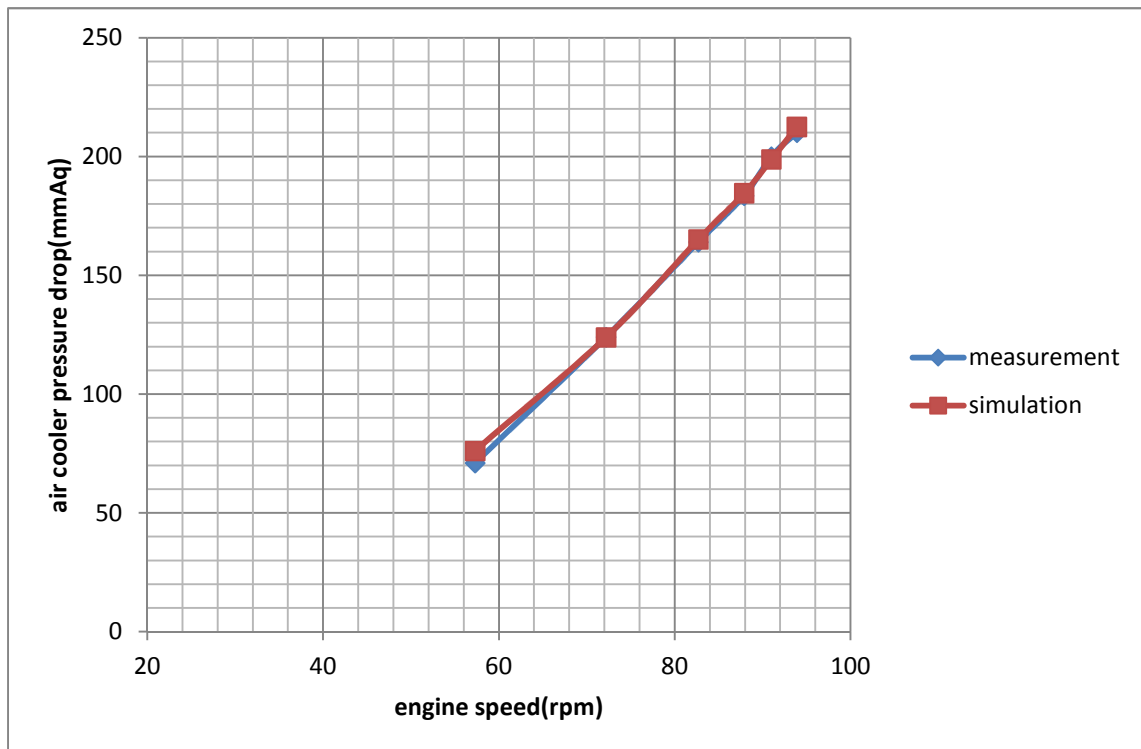
Σχήμα 8.18: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή συναρτήσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



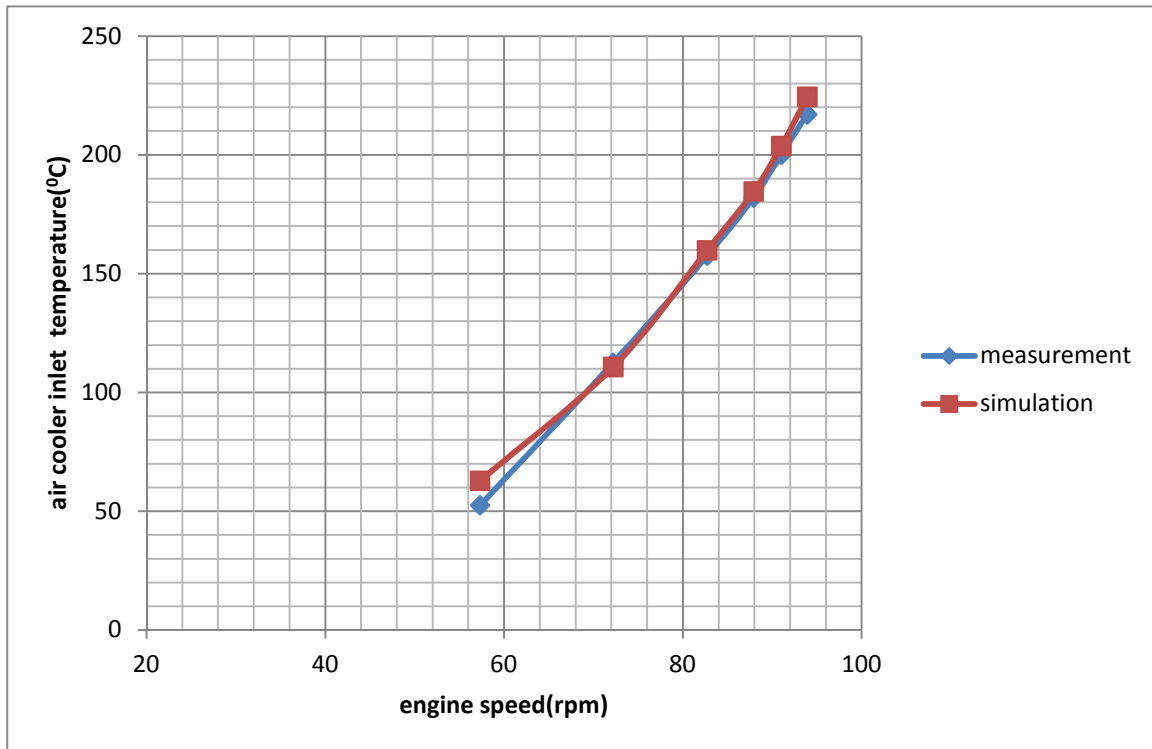
Σχήμα 8.19: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή συναρτήσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



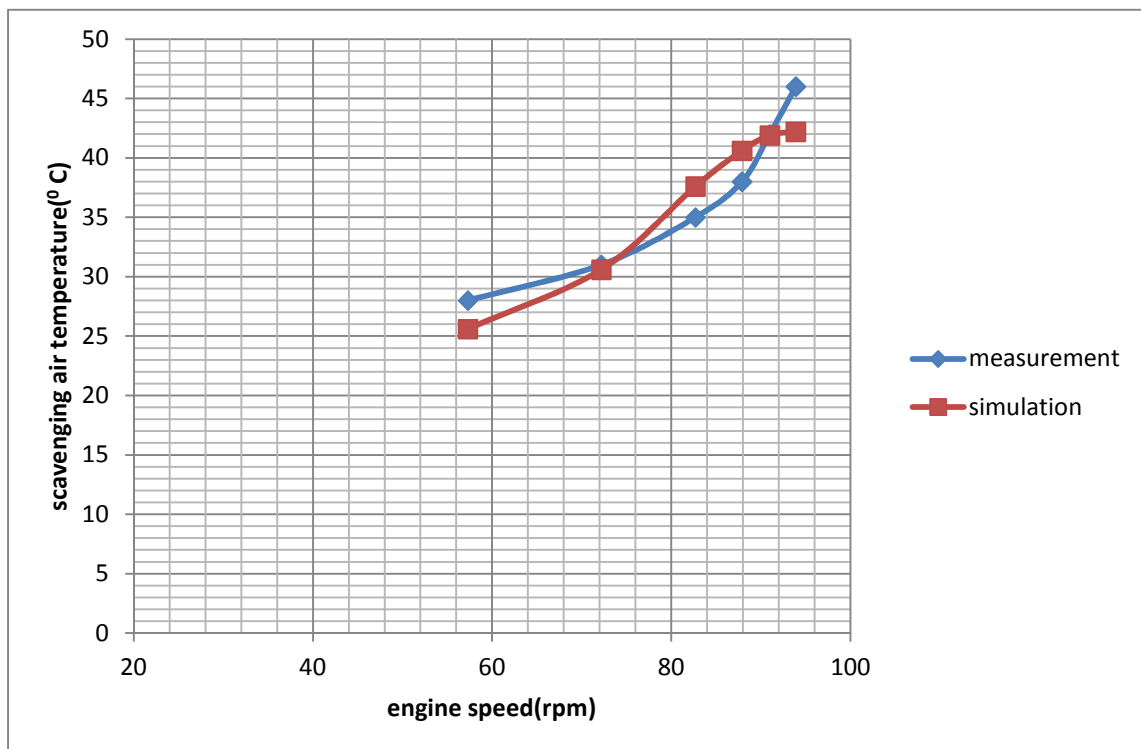
Σχήμα 8.20: Μεταβολή της πίεσης μετά τον υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 8.21: Μεταβολή της πτώσης πίεσης στο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης

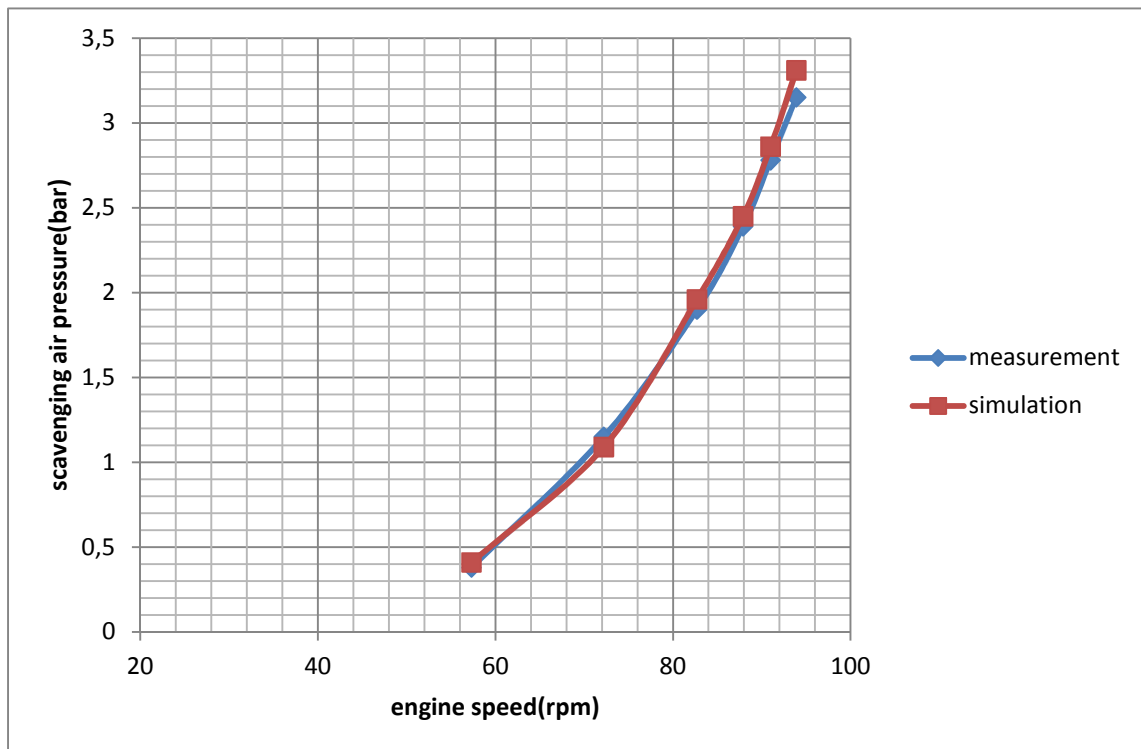


Σχήμα 8.22: Μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης

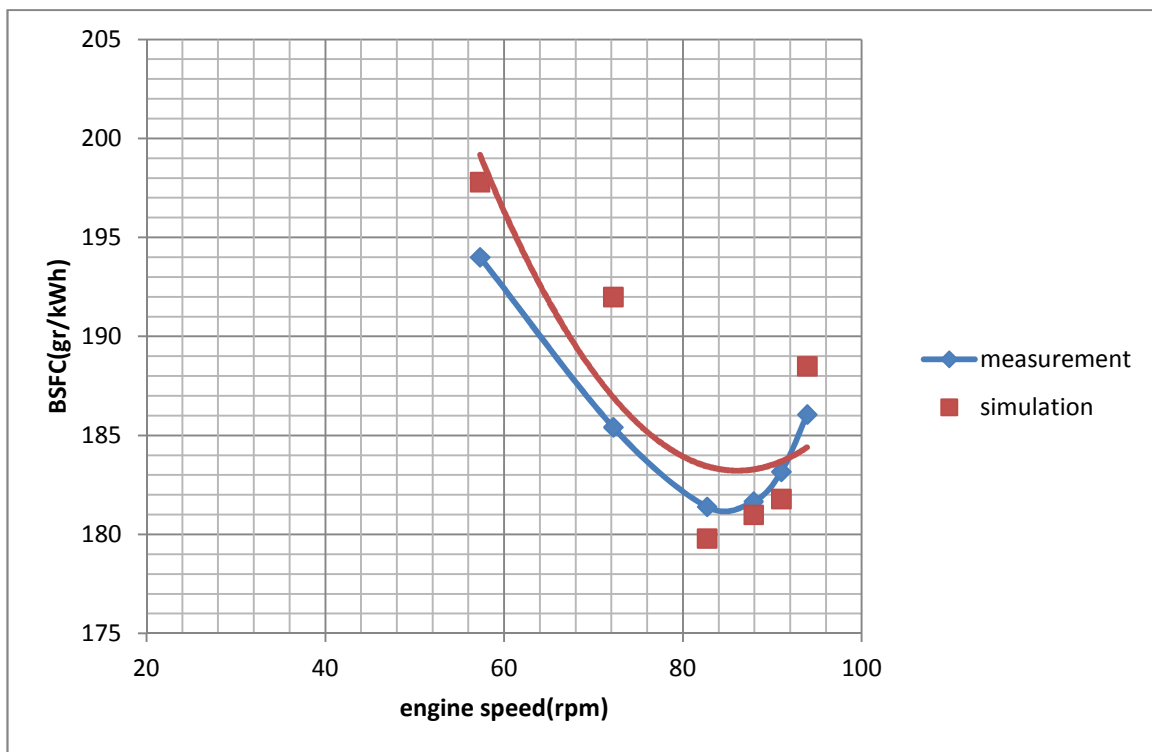


Σχήμα 8.23: Μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης





Σχήμα 8.24: Μεταβολή της πίεσης σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 8.25: Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Παρατηρώντας τα Σχήματα 8.13 έως 8.25 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα για την δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού:

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για την ισχύ του κινητήρα η δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού λειτουργεί πολύ καλά καθώς τα αποτελέσματα της συμπίπτουν με αυτά των μετρημένων τιμών. Το ίδιο ισχύει και για την μέγιστη πίεση καύσης.

Όσον αφορά την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων η προσομοίωση λειτουργεί ικανοποιητικά με εξαίρεση τις τιμές για φορτία άνω του 100% . Συγκεκριμένα για εύρος φορτίου άνω του 100% το λογισμικό υποτιμά τις τιμές των Εργοστασιακών Δοκιμών κατά ποσοστό 12%. Αυτό οφείλεται στα παρακάτω:

- Ελαφρά υπερεκτίμηση της πίεσης εισαγωγής δηλαδή μεγαλύτερη παροχή αέρα (scavenging air pressure).
- Υποεκτίμηση της θερμοκρασίας του αέρα μετά το ψυγείο (scavenging air temperature).

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του λογισμικού είναι ικανοποιητικά όσον αφορά την πίεση του οχετού εξαγωγής. Έτσι, η καμπύλη της μεταβολής της πίεσης του οχετού εξαγωγής συμπίπτει με αυτή των Εργοστασιακών Δοκιμών. Η προσομοίωση λειτουργεί πολύ καλά δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα και για την ταχύτητα του υπερπληρωτή.

Όσον αφορά την θερμοκρασία του καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή, το λογισμικό υποεκτιμά τα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών κατά το ποσοστό του 15%. Επίσης, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την θερμοκρασία του καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή προσεγγίζουν πολύ καλά τα αντίστοιχα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών.

Η προσομοίωση προβλέπει ικανοποιητικά όσον αφορά τα αποτελέσματα της πτώσης πίεσης μετά τον υπερπληρωτή, την πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα και την θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα. Για τα παραπάνω μεγέθη παρατηρείται σύμπτωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με αυτά των Εργοστασιακών Δοκιμών.

Όσον αφορά την θερμοκρασία σάρωσης, το λογισμικό εκτίμα ικανοποιητικά για φορτία έως και 100%. Για εύρος φορτίου άνω του 100% το λογισμικό υποτιμά τις μετρημένες τιμές κατά ποσοστό 8%.

Τέλος, η προσομοίωση λειτουργεί πολύ καλά όσον αφορά την πίεση σάρωσης και την ειδική κατανάλωση καυσίμου προσεγγίζοντας τις αντίστοιχες τιμές των Εργοστασιακών Δοκιμών.



## 9. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ

### 9.1. Εισαγωγή

Στην Παράγραφο αυτή πραγματοποιείται σύγκριση των τιμών που προκύπτουν από την προσομοίωση για τις ταχύτητες και τα αντίστοιχα φορτία για τα οποία έγιναν οι μετρήσεις κατά την διάρκεια των Δοκιμών Θαλάσσης (Sea Trial) με τις αντίστοιχες μετρημένες τιμές. Πρόκειται για μια σύγκριση η οποία είναι απαραίτητη καθώς η πραγματική λειτουργία του κινητήρα ακολουθεί τις συνθήκες των δοκιμών θαλάσσης. Οι τιμές των λειτουργικών παραμέτρων των Δοκιμών Θαλάσσης ελήφθησαν στη διάρκεια των δοκιμών σε Ναυπηγείο στη Κορέα.

Αρχικά, για την πρόβλεψη των τιμών για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα καθορίζονται οι ιδιότητες του καυσίμου δηλαδή η τιμή της πυκνότητας και της θερμογόνου δύναμης όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 6.6**.

Στη συνέχεια γίνεται προσομοίωση με χρήση του λογισμικού. Στο πρώτο στάδιο της λειτουργίας της προσομοίωσης και στο παράθυρο του λογισμικού “ENGINE OPERATING CONDITIONS” γίνεται εισαγωγή των τιμών των παραμέτρων λειτουργίας απαραίτητων για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμή του φορτίου και η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου για το αντίστοιχο φορτίο όπως μετρήθηκε στις δοκιμές θαλάσσης. Δεν πραγματοποιείται εισαγωγή των τιμών που αφορούν στον υπερπληρωτή, της θερμοκρασίας σάρωσης και της πίεσης σάρωσης καθώς θα γίνει πρόβλεψη αυτών από το λογισμικό αυτόματα (Enable T/C Simulation). Επίσης, δεν πραγματοποιείται εισαγωγή των τιμών που αφορούν στην ταχύτητα του κινητήρα (Engine Speed (rpm)), στην προπορεία έγχυσης καυσίμου (Injection Timing (deg)) και στη θέση του κανόνα καυσίμου (Fuel Rack Position (mm)) (“Define Operating Data from Shop Tests”) καθώς και στις συνθήκες περιβάλλοντος (Ambient Conditions).

Κατόπιν στο παράθυρο του λογισμικού “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS” προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα ενώ σε επόμενο στάδιο θα πραγματοποιηθεί αξιολόγηση τους σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των εργοστασιακών δοκιμών. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- η συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total Fuel Consumption (kg/h))
- η ισχύς του κινητήρα (Power Output (kW))



- η μέγιστη πίεση καύσης (Firing Pressure (bar))
- η ειδική κατανάλωση καυσίμου (bsfc (gr/kWh))
- η πίεση συμπίεσεως (Compression Pressure (bar))
- η πίεση σάρωσης (Scavenging Pressure-gauge (bar))
- η θερμοκρασία σάρωσης (Scavenging Air Temperature (°C))
- η θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα (A/C: Air Temperature In (°C))
- η πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar))
- η θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων (Cylinder Exhaust Temperature (°C))
- η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή (Turbine Inlet Temperature (°C))
- η ταχύτητα περιστροφής του στροβίλου (Turbine Speed (rpm)) και
- η πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Backpressure (mmW)).

## **9.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης των Δοκιμών Θαλάσσης Χρησιμοποιώντας Προσομοίωση Υπερπληρωτή**

Στην παρούσα υποπαράγραφο απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως προκύπτουν από το λογισμικό καθώς και οι αντίστοιχες συνθήκες λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση. Τα αποτελέσματα αυτά αξιοποιούνται στη συνέχεια για να γίνει αξιολόγηση του λογισμικού προσομοίωσης.

### **9.2.1. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 70% του φορτίου**

Στο αρχικό παράθυρο της λειτουργίας προσομοίωσης του λογισμικού γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου (Engine Load (%)) για το οποίο ζητούνται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Δοκιμών Θαλάσσης εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως μετρήθηκε στις Δοκιμές Θαλάσσης. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (Define Operating Data from Shop Tests) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation). Ως αποτέλεσμα δεν χρειάζεται να εισαχθούν τα δεδομένα που αφορούν στην θερμοκρασία σάρωσης (Boost Pressure-Gauge (bar)), στην πίεση σάρωσης (Boost Air Temperature (°C)), στην πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge (bar)) και στην πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Back Pressure (mmW)) (Σχήμα 9.1). Στη συνέχεια, επιλέγοντας OK προκύπτουν



τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 70% του φορτίου (Σχήμα 9.2).

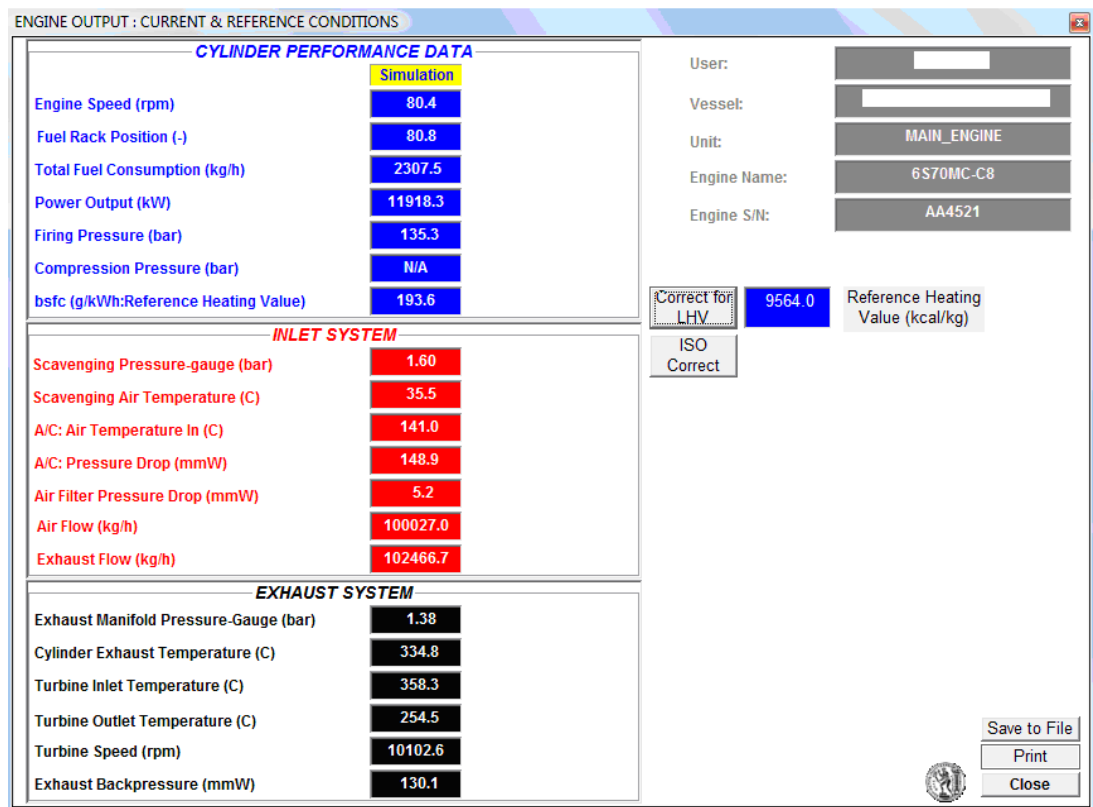
Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	80.4
Engine Load (%)	69.0
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	80.8
Fuel Flow Rate (kg/h)	2307.5

Options for Operating Data Source	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input checked="" type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	31.7
Room Pressure (mbar)	1010.1
A/C Water Inlet Temp. (C)	25.5
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	1.70
Boost Air Temperature (C)	33.5
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.47
Exhaust Back Pressure (mmW)	147.5

Σχήμα 9.1



Σχήμα 9.2

### 9.2.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 80% του Φορτίου

Στο παράθυρο της προσομοίωσης “ENGINE OPERATING CONDITIONS” εισάγεται η τιμή της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα για την οποία πραγματοποιήθηκε μέτρηση των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα κατά την διάρκεια των Δοκιμών Θαλάσσης. Επίσης, εισάγεται η αντίστοιχη τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) από τις Δοκιμές Θαλάσσης με στόχο την καλύτερη δυνατή προσέγγιση των μετρημένων τιμών από την προσομοίωση. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (Define Operating Data from Shop Tests) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 9.3). Στη συνέχεια, πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 80% του φορτίου (Σχήμα 9.4).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	84.8
Engine Load (%)	80.9
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	88.4
Fuel Flow Rate (kg/h)	2701.2

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	32.8
Room Pressure (mbar)	1009.9
A/C Water Inlet Temp. (C)	27.2

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	2.09
Boost Air Temperature (C)	36.3
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.82
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

OK Cancel

Σχήμα 9.3

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	84.8
Fuel Rack Position (-)	88.4
Total Fuel Consumption (kg/h)	2701.2
Power Output (kW)	14281.6
Firing Pressure (bar)	146.3
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	189.1

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	2.00
Scavenging Air Temperature (C)	38.6
A/C: Air Temperature In (C)	162.7
A/C: Pressure Drop (mmW)	166.9
Air Filter Pressure Drop (mmW)	6.7
Air Flow (kg/h)	115682.9
Exhaust Flow (kg/h)	118374.5

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	1.75
Cylinder Exhaust Temperature (C)	346.5
Turbine Inlet Temperature (C)	374.2
Turbine Outlet Temperature (C)	251.2
Turbine Speed (rpm)	10918.2
Exhaust Backpressure (mmW)	181.8

User: [ ]

Vessel: [ ]

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

Save to File

Print

Close

Σχήμα 9.4





### 9.2.3. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του φορτίου

Αρχικά, στο παράθυρο της προσομοίωσης “ENGINE OPERATING CONDITIONS” εισάγεται η τιμή της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα (Engine Speed (rpm)) για την οποία ζητούνται οι παράμετροι λειτουργίας του. Επίσης, εισάγεται η αντίστοιχη τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) από τις Δοκιμές Θαλάσσης με στόχο την καλύτερη δυνατή προσέγγιση των μετρημένων τιμών από την προσομοίωση. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (Define Operating Data from Shop Tests) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 9.5). Οι υπόλοιπες παράμετροι λειτουργίας που εμφανίζονται στο παράθυρο καθορίζονται αυτόματα από το λογισμικό. Στη συνέχεια, πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο παράθυρο “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS” που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 100% του φορτίου (Σχήμα 9.6).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	90.2
Engine Load (%)	97.4
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	100.5
Fuel Flow Rate (kg/h)	3141.6

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	34.2
Room Pressure (mbar)	1009.5
A/C Water Inlet Temp. (C)	29.7
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.69
Boost Air Temperature (C)	41.3
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.38
Exhaust Back Pressure (mmW)	284.0

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

Component Simulation

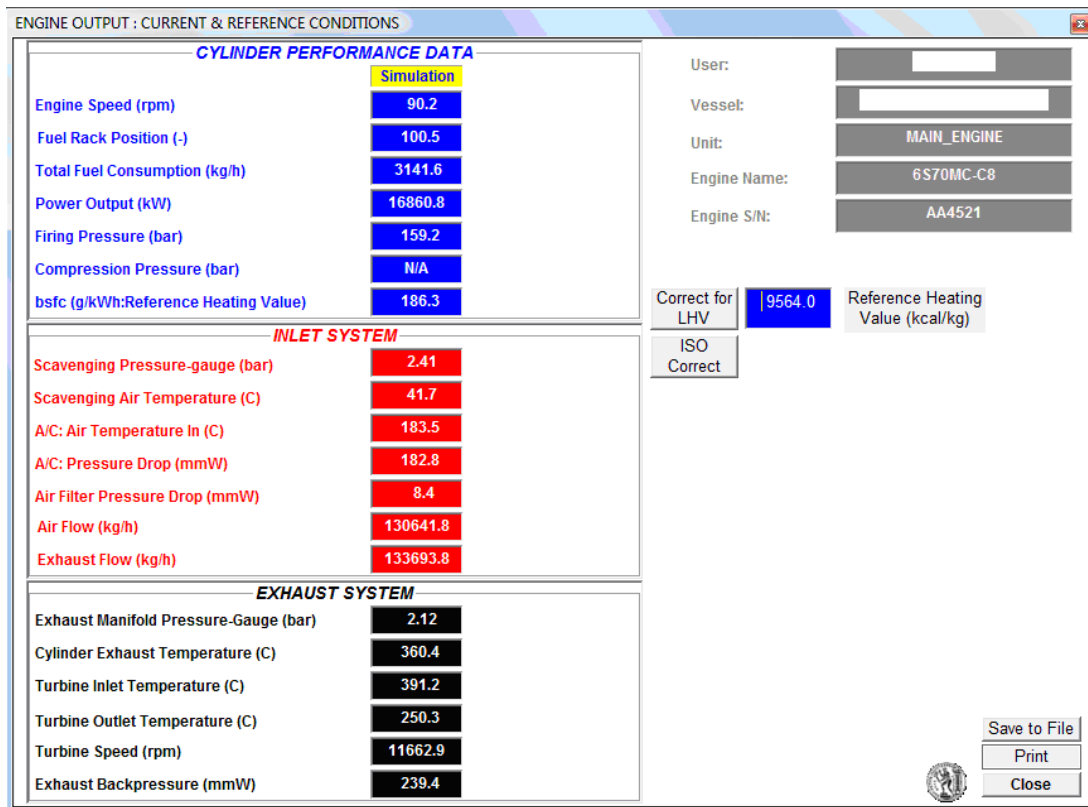
Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 9.5





Σχήμα 9.6

#### 9.2.4. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 105% του Φορτίου

Σε πρώτο στάδιο, γίνεται εισαγωγή των δεδομένων που είναι απαραίτητα για την λειτουργία της προσομοίωσης του κινητήρα (Σχήμα 9.7). Συγκεκριμένα, εισάγεται η τιμή της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα, η οποία αντιστοιχεί σε φορτίο 105%. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (Define Operating Data from Shop Tests) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation). Συνεπώς, το φορτίο του κινητήρα, η προπορεία έγχυσης καυσίμου, η κατανάλωση καυσίμου αλλά και οι λειτουργικές παράμετροι που αφορούν στον υπερπληρωτή (Boost Air/Exhaust) εισάγονται αυτόματα από το λογισμικό. Κατόπιν, πραγματοποιείται διόρθωση της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου με στόχο την καλύτερη προσέγγιση των μετρήσεων από τις Δοκιμές Θαλάσσης. Τέλος, πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 105% του φορτίου (Σχήμα 9.8).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	92.3
Engine Load (%)	104.3
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	106.1
Fuel Flow Rate (kg/h)	3422.1

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	34.8
Room Pressure (mbar)	1009.2
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.8

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	2.97
Boost Air Temperature (C)	43.8
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.64
Exhaust Back Pressure (mmW)	319.9

OK Cancel

Σχήμα 9.7

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	92.3
Fuel Rack Position (-)	106.1
Total Fuel Consumption (kg/h)	3422.1
Power Output (kW)	17939.7
Firing Pressure (bar)	157.4
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	190.8

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	2.71
Scavenging Air Temperature (C)	42.8
A/C: Air Temperature In (C)	198.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	193.7
Air Filter Pressure Drop (mmW)	9.8
Air Flow (kg/h)	141633.1
Exhaust Flow (kg/h)	144994.6

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	2.40
Cylinder Exhaust Temperature (C)	372.9
Turbine Inlet Temperature (C)	403.8
Turbine Outlet Temperature (C)	249.8
Turbine Speed (rpm)	12174.3
Exhaust Backpressure (mmW)	286.5

User: [ ]  
Vessel: [ ]  
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

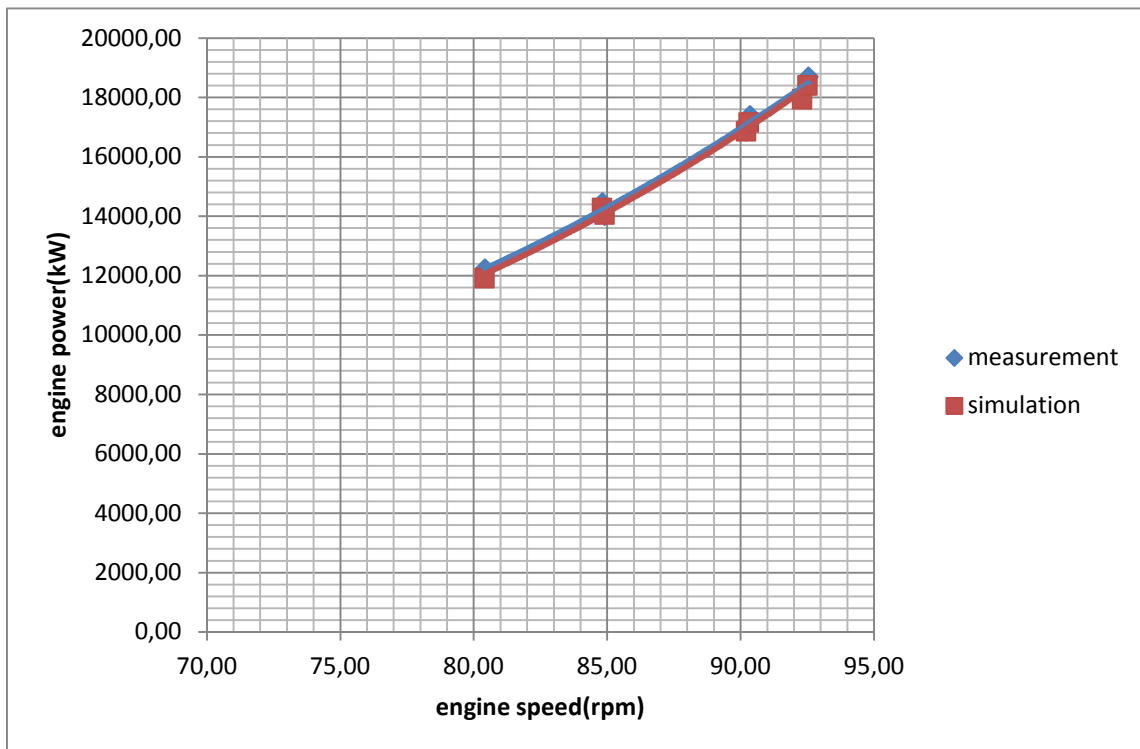
Σχήμα 9.8



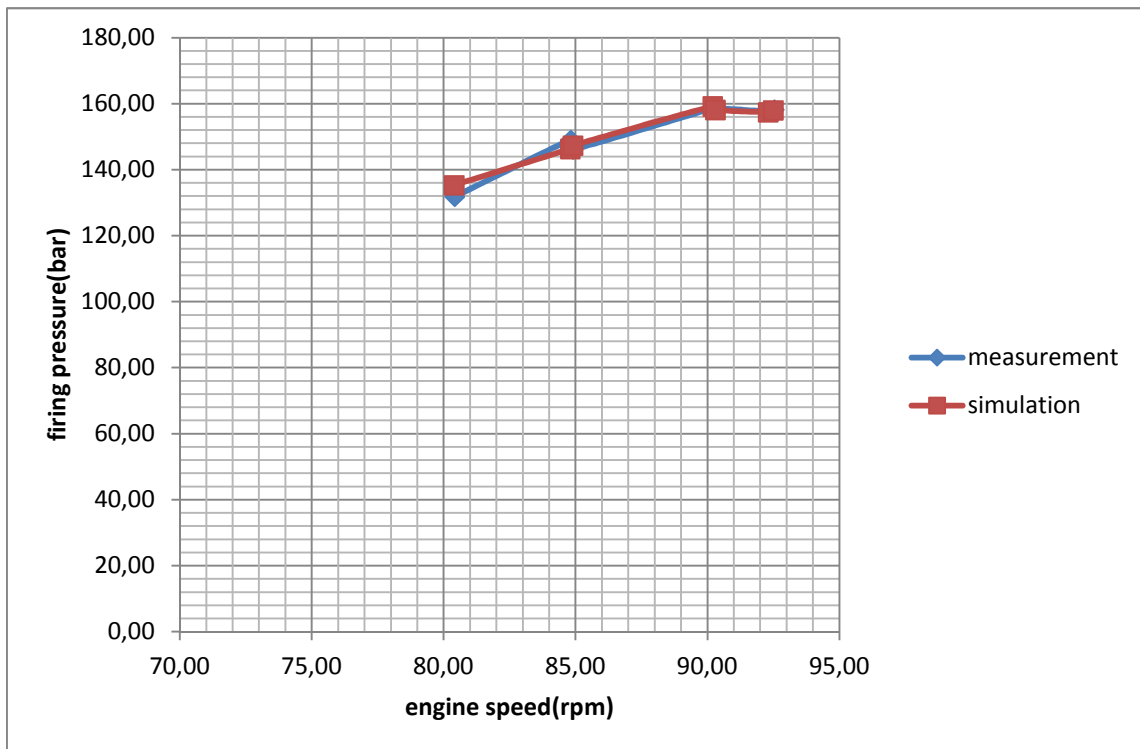
### **9.3. Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Δοκιμές Θαλάσσης**

Στην **Παράγραφο 9.3.** απεικονίζονται σε διαγράμματα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα όπως αυτά προέκυψαν στην **Παράγραφο 9.2.** σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των Δοκιμών Θαλάσσης. Οι παράμετροι αυτές είναι:

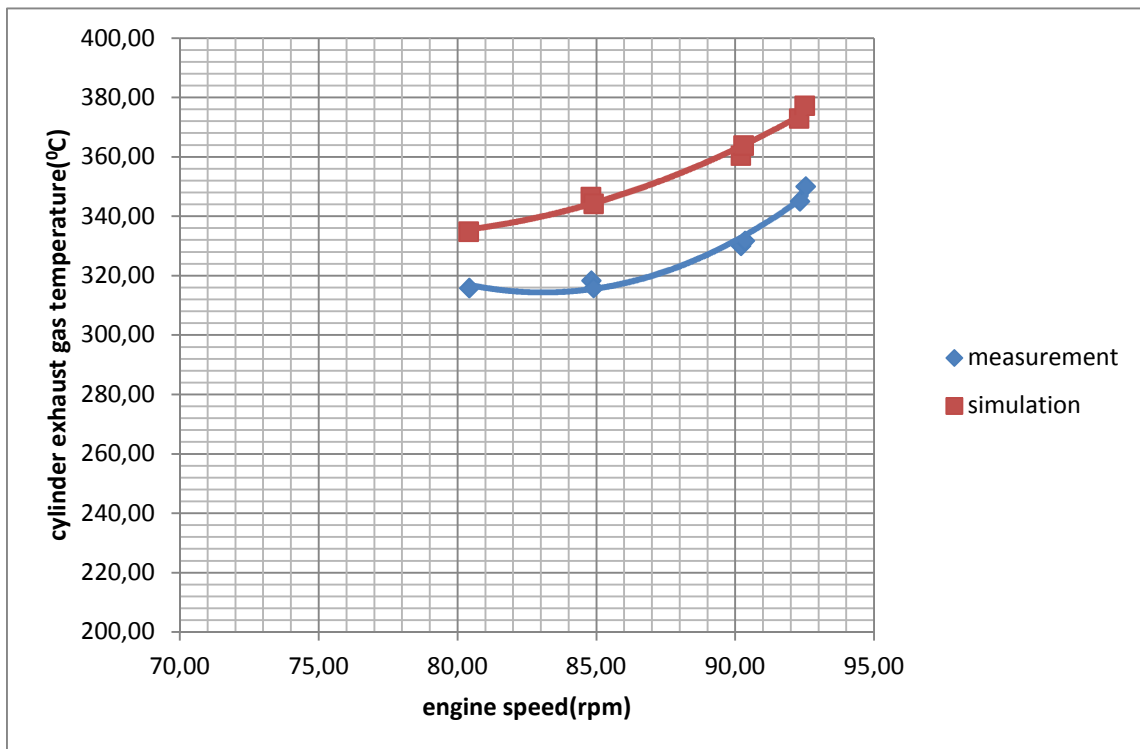
- Η ισχύς του κινητήρα
- Η μέγιστη πίεση καύσης
- Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων
- Η πίεση του οχετού εξαγωγής
- Η ταχύτητα του υπερπληρωτή
- Η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή
- Η θερμοκρασία καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή
- Η πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα
- Η θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα
- Η θερμοκρασία σάρωσης
- Η πίεση σάρωσης
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου



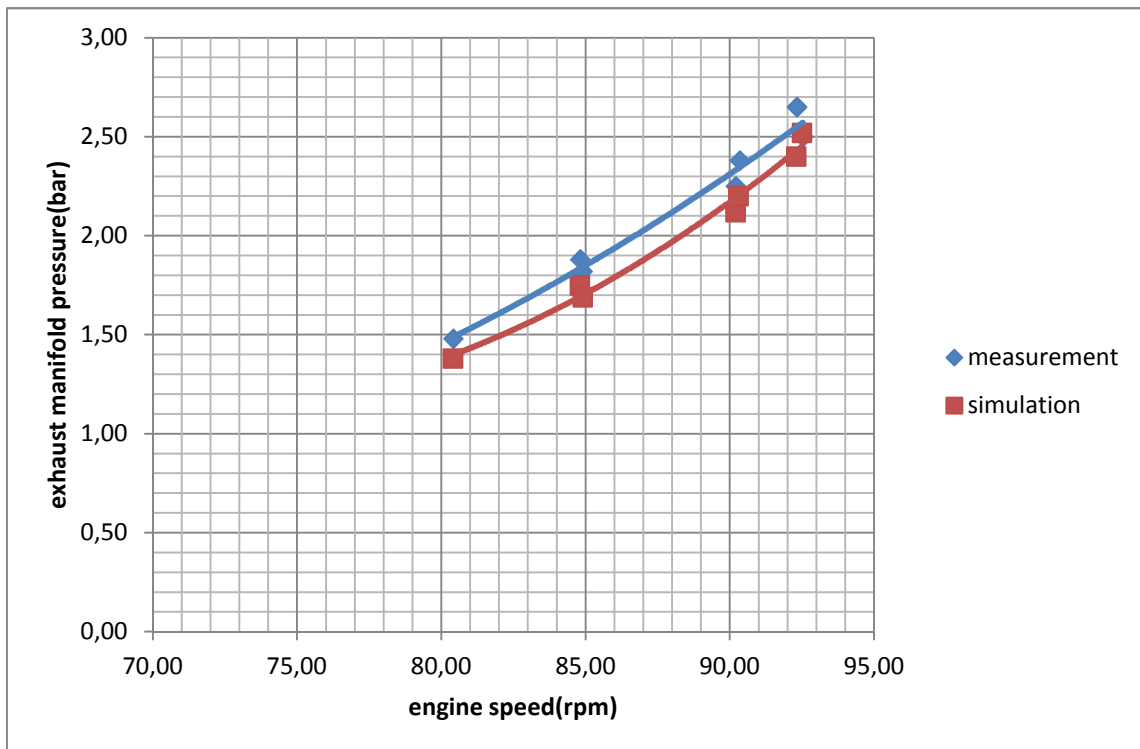
Σχήμα 9.9: Μεταβολή ισχύος του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



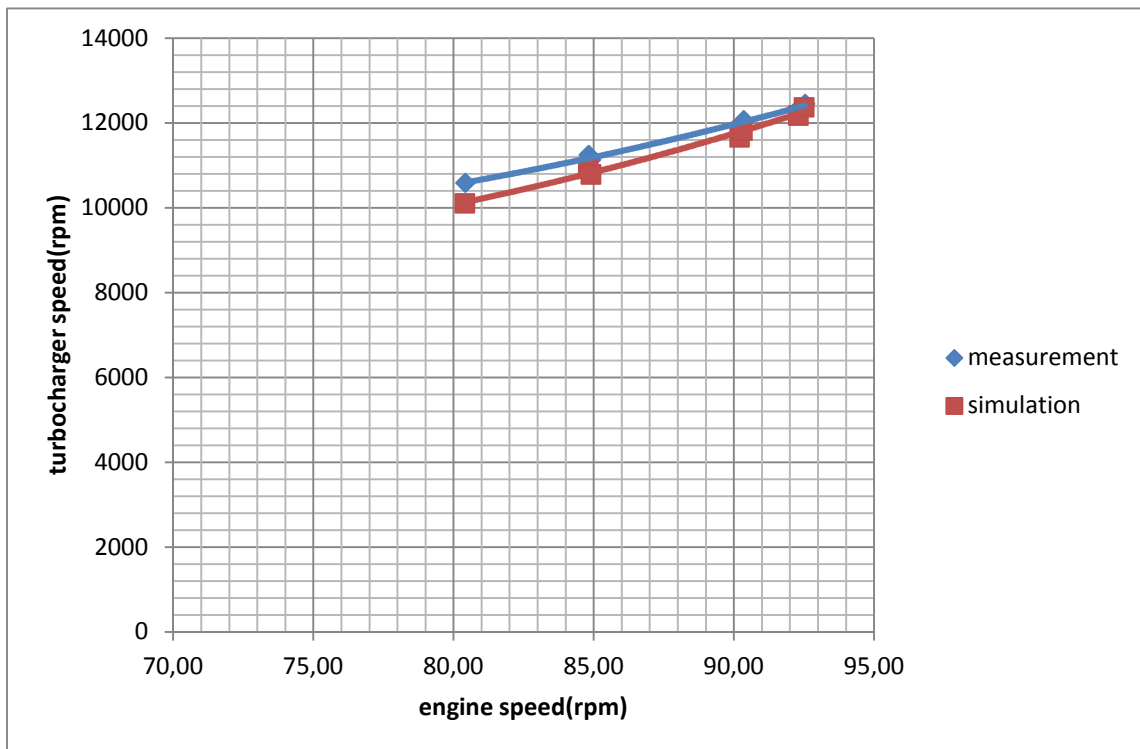
Σχήμα 9.10: Μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



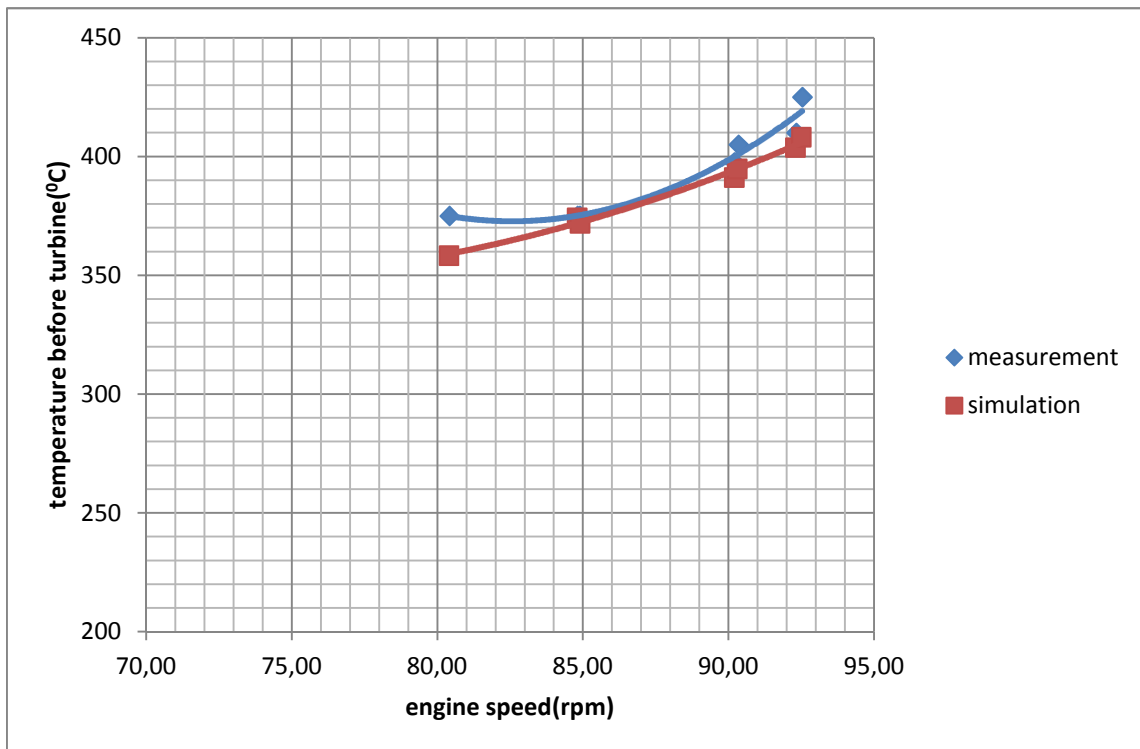
Σχήμα 9.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων των κύλινδρων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



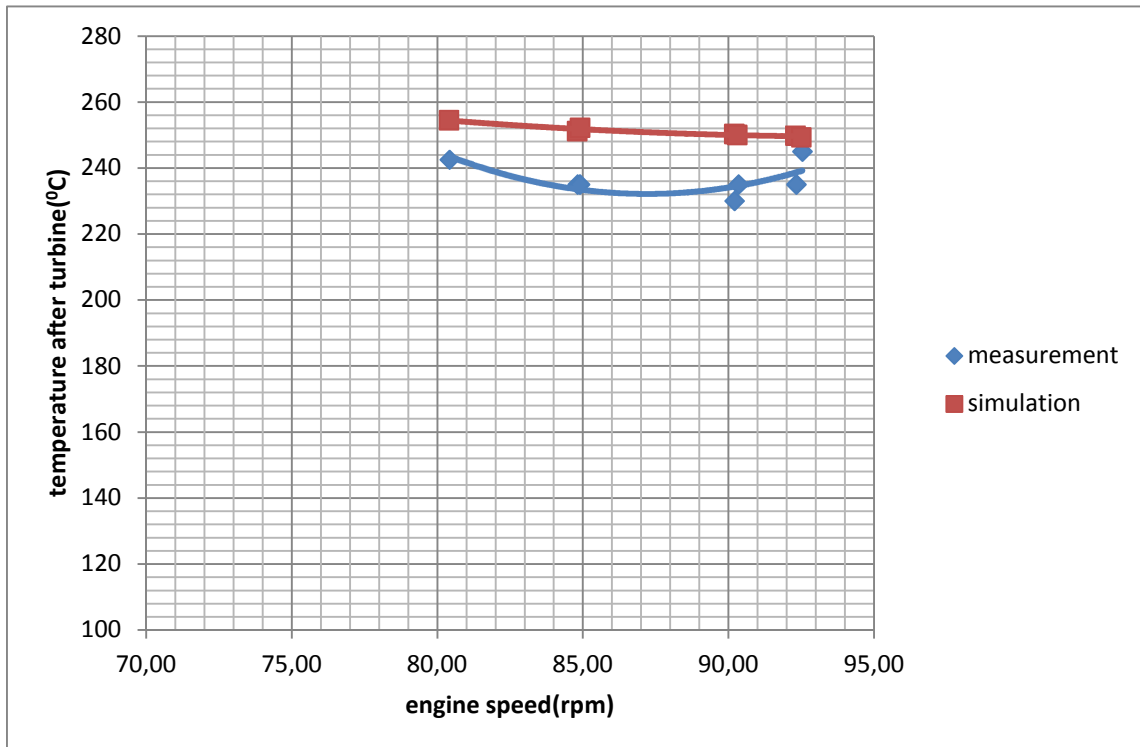
Σχήμα 9.12: Μεταβολή της πίεσης του οχετού εξαγωγής συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



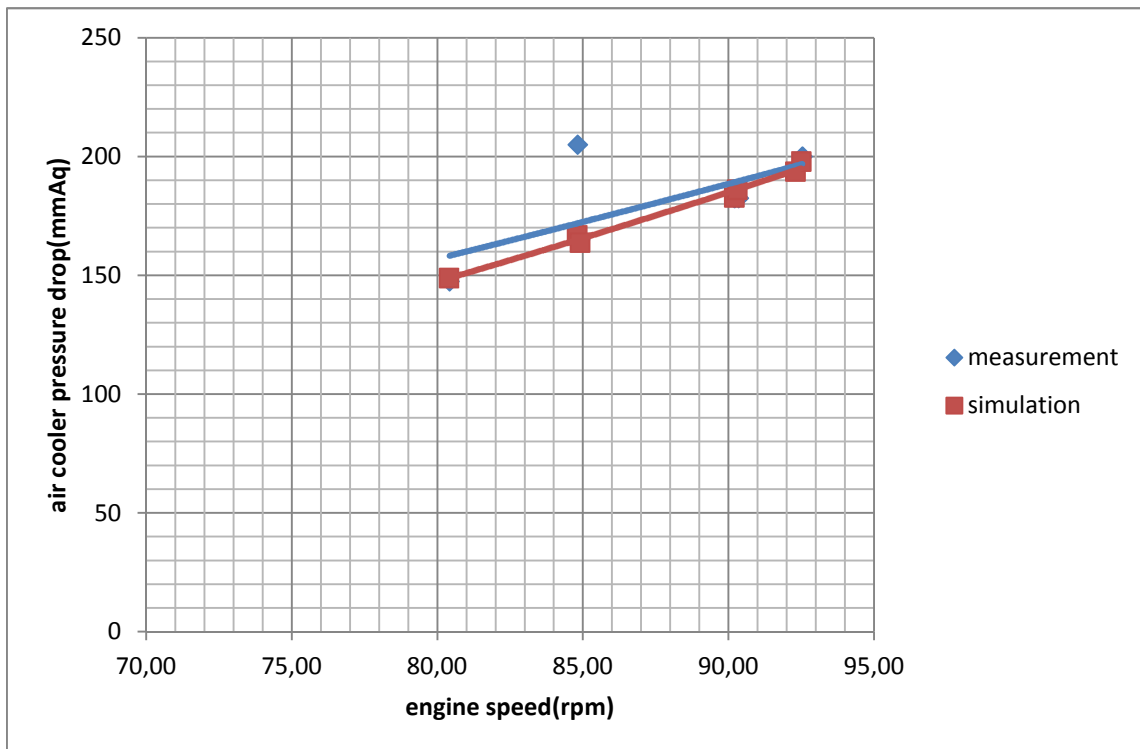
Σχήμα 9.13: Μεταβολή της ταχύτητας του υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



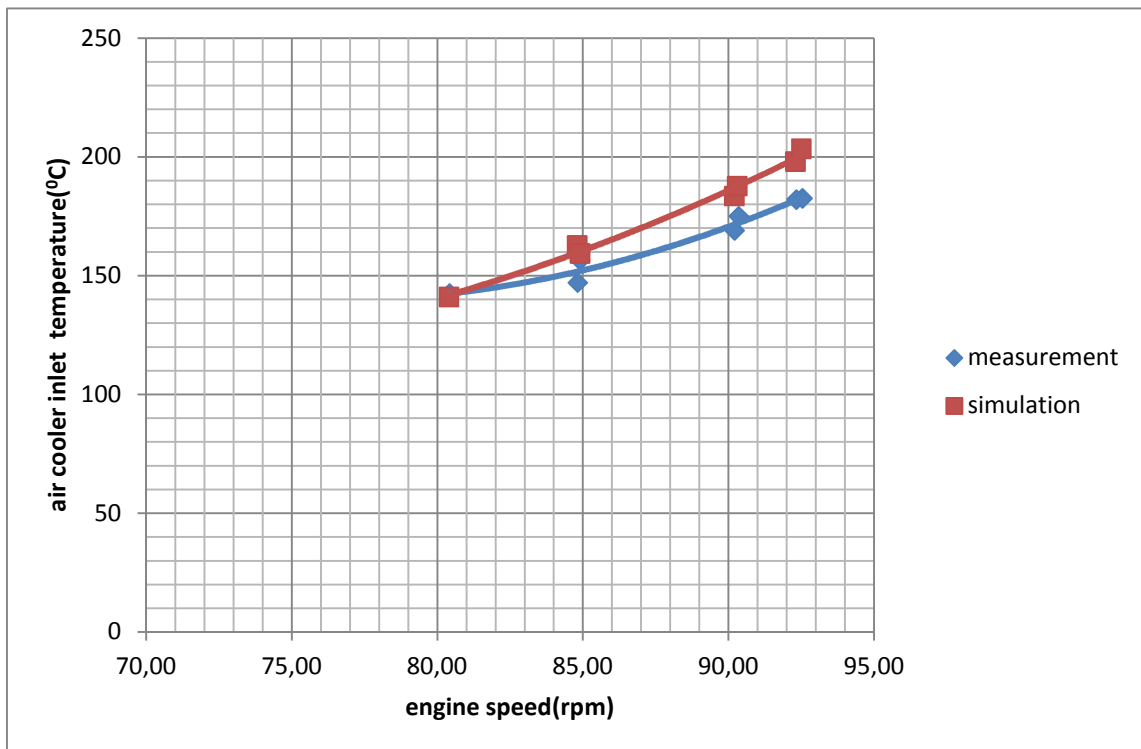
Σχήμα 9.14: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



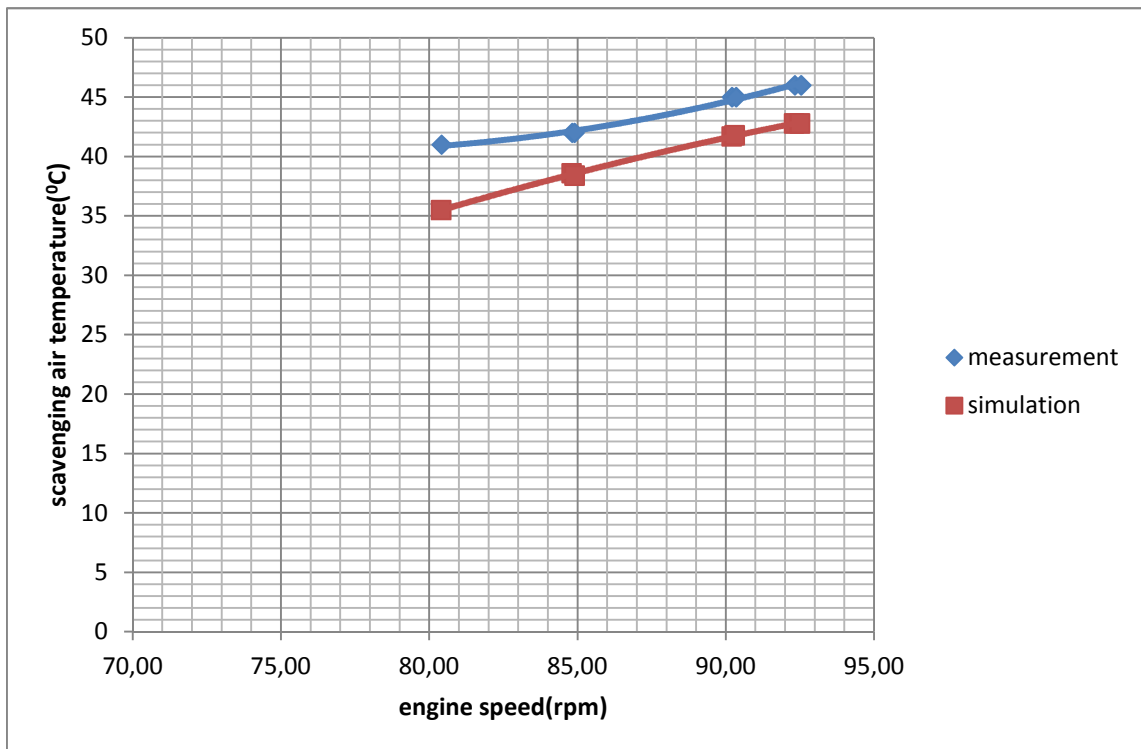
Σχήμα 9.15: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 9.16: Μεταβολή της πτώσης πίεσης στο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης

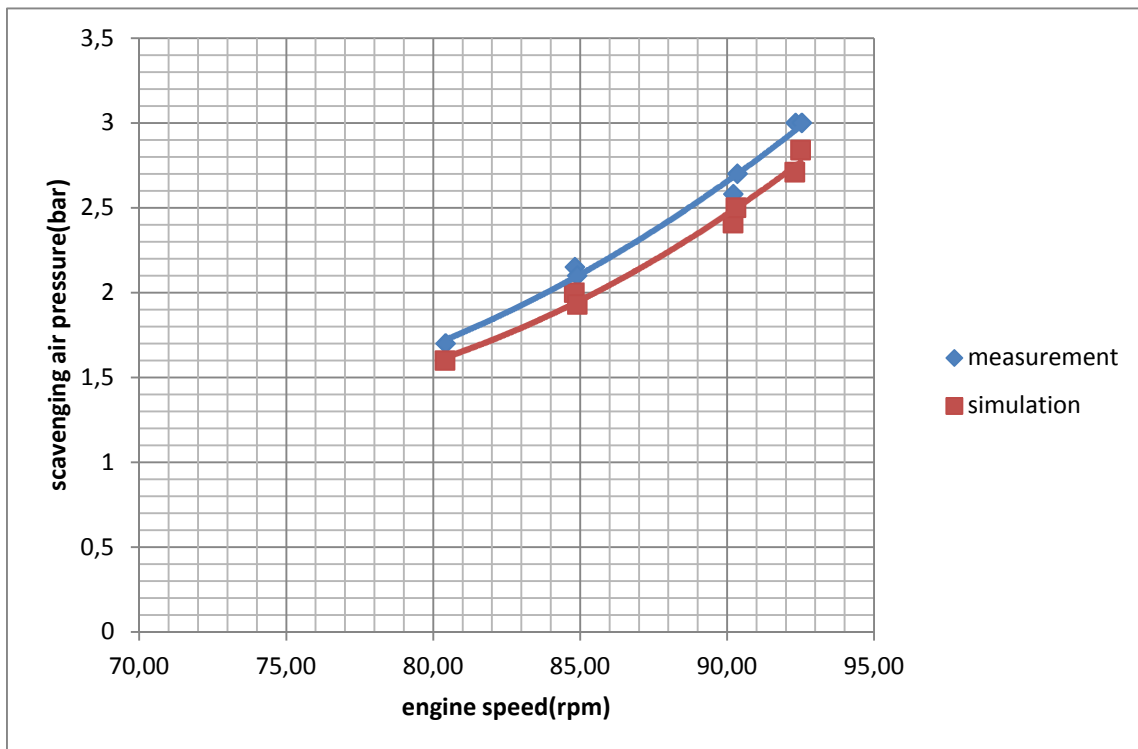


Σχήμα 9.17: Μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης

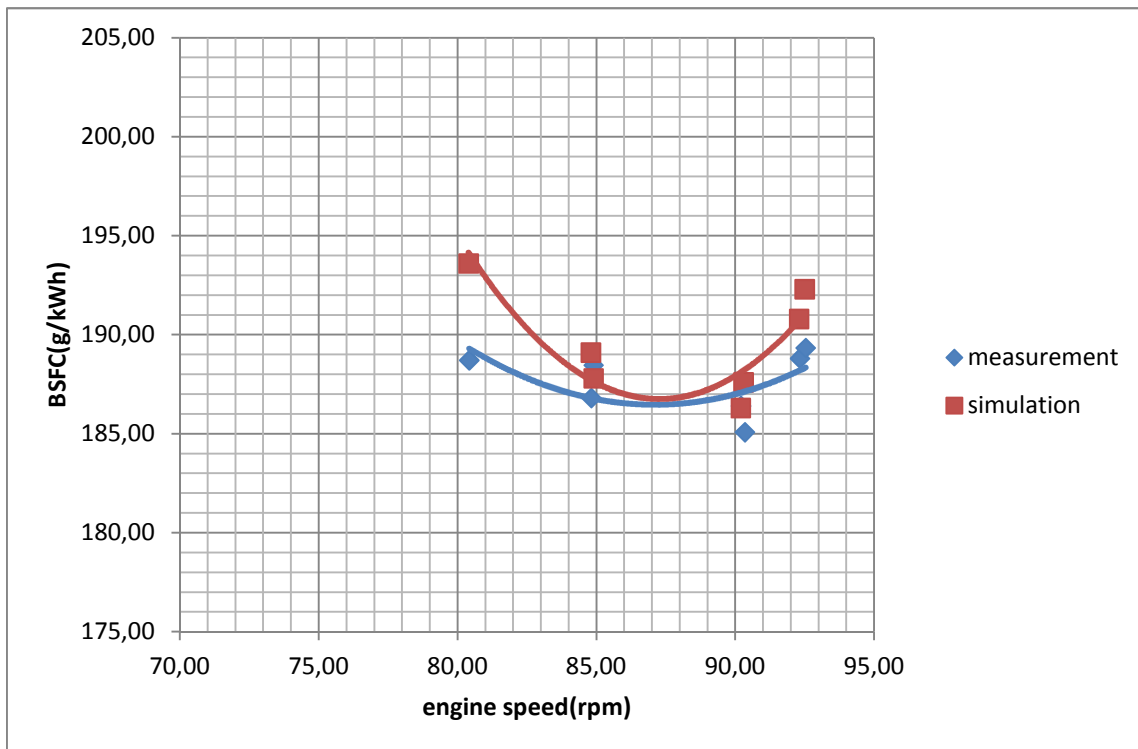


Σχήμα 9.18: Μεταβολή της θερμοκρασίας σαρώσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης





Σχήμα 9.19: Μεταβολή της πίεσης σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 9.20: Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



Για τα Σχήματα 9.9 έως 9.19 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα για την δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού:

Όσον αφορά την ισχύ του κινητήρα, η δυνατότητα προσομοίωσης λειτουργεί ικανοποιητικά καθώς τα αποτελέσματα της συμπίπτουν με αυτά των Δοκιμών Θαλάσσης. Ισχύει το ίδιο και για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την μέγιστη πίεση καύσης.

Όσον αφορά την θερμοκρασία καυσαερίων των κυλίνδρων, το λογισμικό υπερεκτιμά τις μετρημένες τιμές κατά το ποσοστό 9%. Επίσης, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την πίεση του οχετού εξαγωγής προσεγγίζουν πολύ καλά τα αντίστοιχα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του λογισμικού για την ταχύτητα του υπερπληρωτή ταυτίζονται με αυτά των Δοκιμών Θαλάσσης. Το ίδιο ισχύει και για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις τιμές της πτώσης πίεσης στο ψυγείο αέρα.

Όσον αφορά την θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή, παρατηρείται ότι το λογισμικό υποεκτιμά τα αποτελέσματα των μετρημένων τιμών για τα φορτία του κινητήρα 70% και 105%. Το ποσοστό της υποτίμησης προσεγγίζει το 8%.

Όσον αφορά την θερμοκρασία καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή, το λογισμικό υπερεκτιμά τις μετρημένες τιμές των Δοκιμών Θαλάσσης κατά το ποσοστό 6%.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα και για την θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα συμπίπτουν με αυτά των Θαλάσσιων Δοκιμών. Έτσι, η προσομοίωση λειτουργεί πολύ καλά δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα.

Για την θερμοκρασία σάρωσης, η προσομοίωση του λογισμικού υποεκτιμά τις μετρημένες τιμές κατά 8,5% ενώ για την πίεση σάρωσης κατά 7%.

Τέλος, όσον αφορά την ειδική κατανάλωση καυσίμου, η λειτουργία της προσομοίωσης είναι ικανοποιητική καθώς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προσεγγίζουν ικανοποιητικά αυτά των Θαλάσσιων Δοκιμών.



## **10.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ**

### **10.1.Εισαγωγή**

Σε αυτή την παράγραφο πραγματοποιείται σύγκριση των τιμών για τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα όπως προκύπτουν από το λογισμικό χωρίς όμως να γίνεται χρήση της δυνατότητας προσομοίωσης του υπερπληρωτή, με τις μετρημένες τιμές για τα αντίστοιχα φορτία από των Εργοστασιακών Δοκιμών. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται η συγκεκριμένη σύγκριση είναι διότι το λογισμικό χρησιμοποιεί την αρχή της λειτουργικής ομοιότητας για να προσεγγίζει τις χαρακτηριστικές του υπερπληρωτή. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει μια αβεβαιότητα, κυρίως στις ακραίες περιοχές φορτίου για τις προβλεπόμενες τιμές.

Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε να γίνει χρήση της προσομοίωσης με καθορισμό της πίεσης του αέρα σάρωσης και της θερμοκρασίας του αέρα σάρωσης που επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργική συμπεριφορά του κινητήρα χρησιμοποιώντας τις τιμές των επίσημων δοκιμών. Έτσι, στο παράθυρο του λογισμικού “ENGINE OPERATING CONDITIONS” ορίζονται οι τιμές των παραμέτρων που αφορούν στον υπερπληρωτή όπως αυτές μετρήθηκαν στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Η εισαγωγή αυτών των δεδομένων πραγματοποιείται ενεργοποιώντας την δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από το χρήστη (define operating data manually).

Έτσι, καθορίζεται από τον χρήστη για το αντίστοιχο φορτίο η τιμή της κατανάλωση καυσίμου (fuel flow rate), η προπορεία έγχυσης καυσίμου (Injection Timing (deg)), η πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), η θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), η πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και η πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure).

Κατά συνέπεια λόγω της μη θεώρησης της προσομοίωσης του υπερπληρωτή το λογισμικό δεν παρέχει αποτελέσματα για τα ακόλουθα μεγέθη:

- Θερμοκρασία μετά τον υπερπληρωτή
- Πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα
- Θερμοκρασία αέρα σαρώσεως
- Πίεση αέρα σαρώσεως
- Θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα



- Ταχύτητα του υπερπληρωτή

## **10.2.Αποτελέσματα Προσομοίωσης των Εργοστασιακών Δοκιμών Χωρίς τη Χρήση Προσομοίωσης Υπερπληρωτή**

Στην υποπαράγραφο αυτή εμφανίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως προκύπτουν από το λογισμικό καθώς και οι αντίστοιχες συνθήκες λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση. Στην συνέχεια ακολουθεί σύγκριση τους με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των Δοκιμών Θαλάσσης και αξιολόγηση της προβλεπτικής ικανότητας του λογισμικού.

### **10.2.1. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου**

Στο παράθυρο “ENGINE OPERATING CONDITIONS” (**Σχήμα 10.1**) γίνεται η εισαγωγή δεδομένων έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα προσομοίωσης που εμφανίζονται στο παράθυρο “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS” (**Σχήματος 10.2**). Έτσι, πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (25%), αλλαγή της προπορείας έγχυσης καυσίμου από 1 deg, που είναι η τιμή που προτείνεται από το λογισμικό, σε 2 deg και εισαγωγή της τιμής κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως έχει μετρηθεί για το αντίστοιχο φορτίο στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Επίσης εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 25% του φορτίου όπως αυτές μετρήθηκαν στις Εργοστασιακές Δοκιμές και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure).

Στο **Σχήμα 10.2** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 25%. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- η συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total Fuel Consumption (kg/h))
- η ισχύς του κινητήρα (Power Output (kW))
- η μέγιστη πίεση καύσης (Firing Pressure (bar))
- η ειδική κατανάλωση καυσίμου (bsfc (gr/kWh))
- η πίεση σάρωσης (Scavenging Pressure-gauge (bar))
- η θερμοκρασία σάρωσης (Scavenging Air Temperature (°C))
- η πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar))



- η θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων (Cylinder Exhaust Temperature (°C))
- η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή (Turbine Inlet Temperature (°C))
- η πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Backpressure (mmW))

**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	57.3
Engine Load (%)	25.0
Injection Timing (deg)	2
Fuel Rack Position (mm)	52.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	905

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	27.5
Room Pressure (mbar)	1019.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.0

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	0.38
Boost Air Temperature (C)	28.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.28
Exhaust Back Pressure (mmW)	10.0

OK Cancel

Σχήμα 10.1

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Engine Speed (rpm)	57.3
Fuel Rack Position (-)	52.2
Total Fuel Consumption (kg/h)	905.0
Power Output (kW)	4521.3
Firing Pressure (bar)	79.3
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	200.2

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	0.38
Scavenging Air Temperature (C)	28.0
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	43968.3
Exhaust Flow (kg/h)	47134.1

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.31
Cylinder Exhaust Temperature (C)	289.9
Turbine Inlet Temperature (C)	324.2
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	10.0

User:   
Vessel:   
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

Σχήμα 10.2



### 10.2.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου

Στο πρώτο στάδιο της προσομοίωσης (Σχήμα 10.3) εισάγεται η τιμή του φορτίου (Engine Load %). Κατόπιν, για την εξαγωγή τιμών όσο το δυνατόν πιο κοντά στις πραγματικές τιμές γίνεται εισαγωγή της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως αυτή μετρήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές για το 50% του φορτίου. Επίσης, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually). Έτσι, για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Εργοστασιακών Δοκιμών. Στη συνέχεια πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (Σχήμα 10.4) για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 25%.

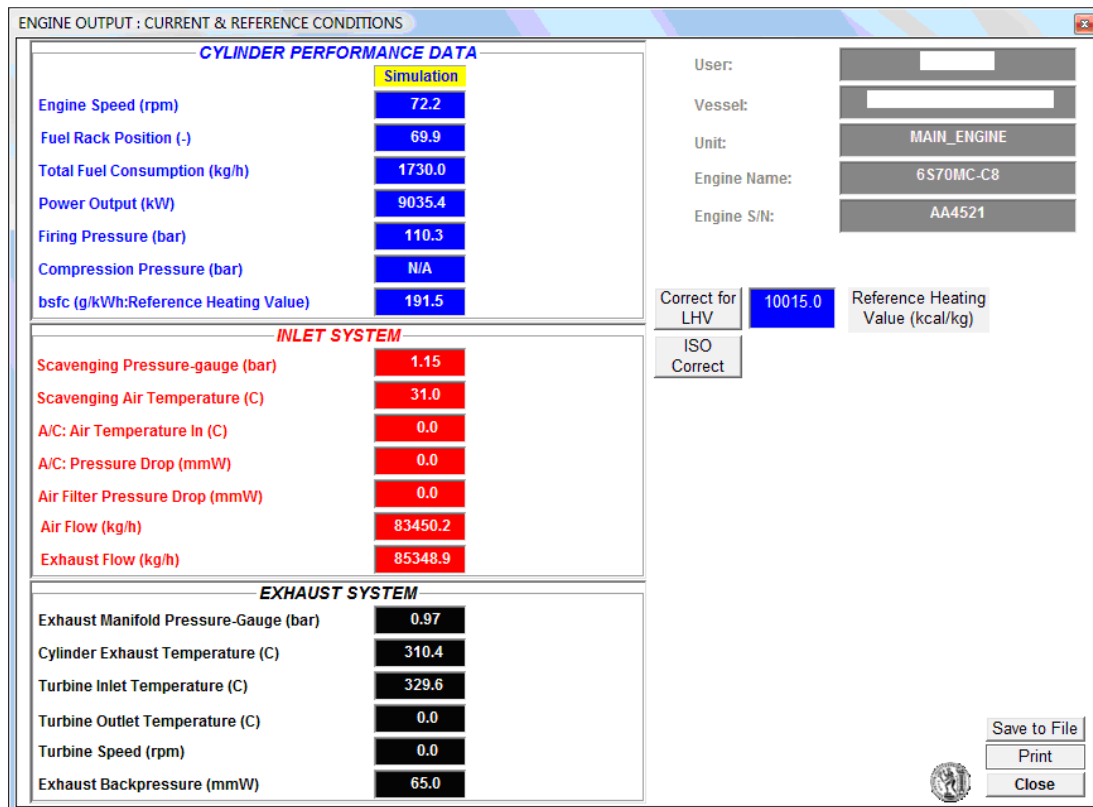
Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	72.2
Engine Load (%)	49.9
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	69.9
Fuel Flow Rate (kg/h)	1730

Options for Operating Data Source	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	29.8
Room Pressure (mbar)	1011.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.2
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	1.15
Boost Air Temperature (C)	31
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.98
Exhaust Back Pressure (mmW)	65

Σχήμα 10.3



Σχήμα 10.4

### 10.2.3. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου

Για να γίνει η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης από το λογισμικό πρέπει να πραγματοποιηθεί εισαγωγή των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα. Έτσι εισάγεται η τιμή του φορτίου (Engine Load (%)) και η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)). Κατόπιν, αυξάνεται η προπορεία έγχυσης καυσίμου από -2 deg που είναι η αρχική τιμή που προτείνεται από το λογισμικό, σε -1 deg. Στη συνέχεια, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually) και για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Εργοστασιακών Δοκιμών (Σχήμα 10.5). Τέλος, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 75% του φορτίου (Σχήμα 10.6).





**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	82.7
Engine Load (%)	75
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	84.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	2535

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	32.3
Room Pressure (mbar)	1010.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	26.3

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	1.90
Boost Air Temperature (C)	35.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.65
Exhaust Back Pressure (mmW)	177.5

**OK** **Cancel**

Σχήμα 10.5

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation

Engine Speed (rpm)	82.7
Fuel Rack Position (-)	84.6
Total Fuel Consumption (kg/h)	2535.0
Power Output (kW)	14045.6
Firing Pressure (bar)	141.1
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	180.5

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	1.90
Scavenging Air Temperature (C)	35.0
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	111435.9
Exhaust Flow (kg/h)	113902.3

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	1.66
Cylinder Exhaust Temperature (C)	347.0
Turbine Inlet Temperature (C)	377.1
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	177.5

User:   
Vessel:   
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

**Save to File**  
**Print**  
**Close**

Σχήμα 10.6





#### 10.2.4. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο της προσομοίωσης “ENGINE OPERATING SPEED” πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (Engine Load (%)), της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως αυτή μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές και αύξηση της προπορείας έγχυσης καυσίμου από -2 deg σε -1 deg. Κατόπιν, αφού ενεργοποιηθεί η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually), εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 90% του φορτίου όπως αυτές μετρήθηκαν στις Εργοστασιακές Δοκιμές και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure) (Σχήμα 10.7). Τελικά, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα (Σχήμα 10.8).

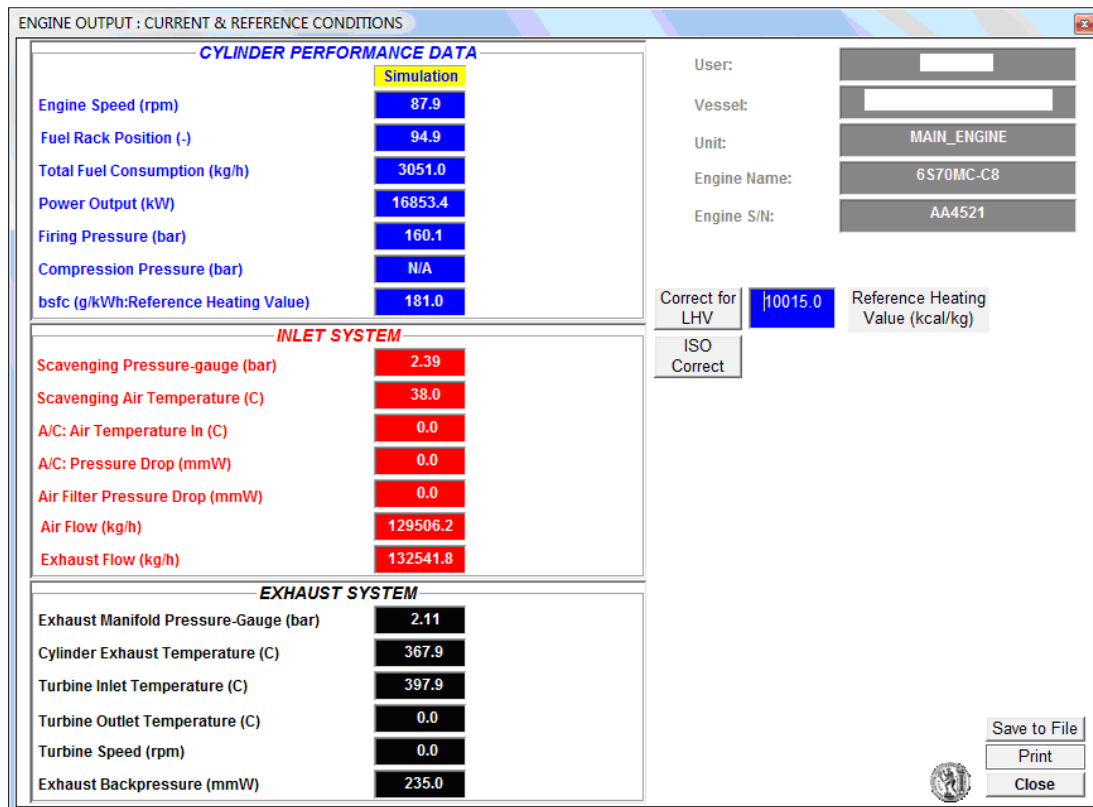
Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	87.9
Engine Load (%)	90
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	94.9
Fuel Flow Rate (kg/h)	3051

Options for Operating Data Source	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	33.6
Room Pressure (mbar)	1009.7
A/C Water Inlet Temp. (C)	28.6
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.39
Boost Air Temperature (C)	38
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.10
Exhaust Back Pressure (mmW)	235

Σχήμα 10.7



Σχήμα 10.8

#### 10.2.5. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για 100% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο του λογισμικού για την προσομοίωση του κινητήρα γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου (**Engine Load (%)**). Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Στη συνέχεια, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually) και για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Εργοστασιακών Δοκιμών (Σχήμα 10.9). Τέλος, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 100% του φορτίου (Σχήμα 10.10).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	91.0
Engine Load (%)	100.0
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	102.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	3418

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	34.4
Room Pressure (mbar)	1009.4
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.2

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	2.78
Boost Air Temperature (C)	42
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.48
Exhaust Back Pressure (mmW)	300

OK Cancel

Σχήμα 10.9

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	91.0
Fuel Rack Position (-)	102.6
Total Fuel Consumption (kg/h)	3418.0
Power Output (kW)	18758.9
Firing Pressure (bar)	157.9
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	182.2

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	2.78
Scavenging Air Temperature (C)	42.0
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	143180.3
Exhaust Flow (kg/h)	146461.1

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	2.47
Cylinder Exhaust Temperature (C)	383.7
Turbine Inlet Temperature (C)	417.8
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	300.0

User: [ ]

Vessel: [ ]

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

Save to File

Print

Close

Σχήμα 10.10



#### 10.2.6. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου

Αρχικά, στο παράθυρο “ENGINE OPERATING CONDITIONS” (Σχήμα 10.11) γίνεται η εισαγωγή δεδομένων έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα προσομοίωσης που εμφανίζονται στο παράθυρο “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS” (Σχήματος 10.12). Έτσι, πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (110%) και εισαγωγή της τιμής κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)). Επίσης εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 110% του φορτίου όπως αυτές μετρήθηκαν στις Εργοστασιακές Δοκιμές και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure). Στο Σχήμα 10.12 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 110%.

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	93.9
Engine Load (%)	110.0
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	102.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	3819

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	34.4
Room Pressure (mbar)	1009.4
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.2
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	3.15
Boost Air Temperature (C)	46
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.82
Exhaust Back Pressure (mmW)	355

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

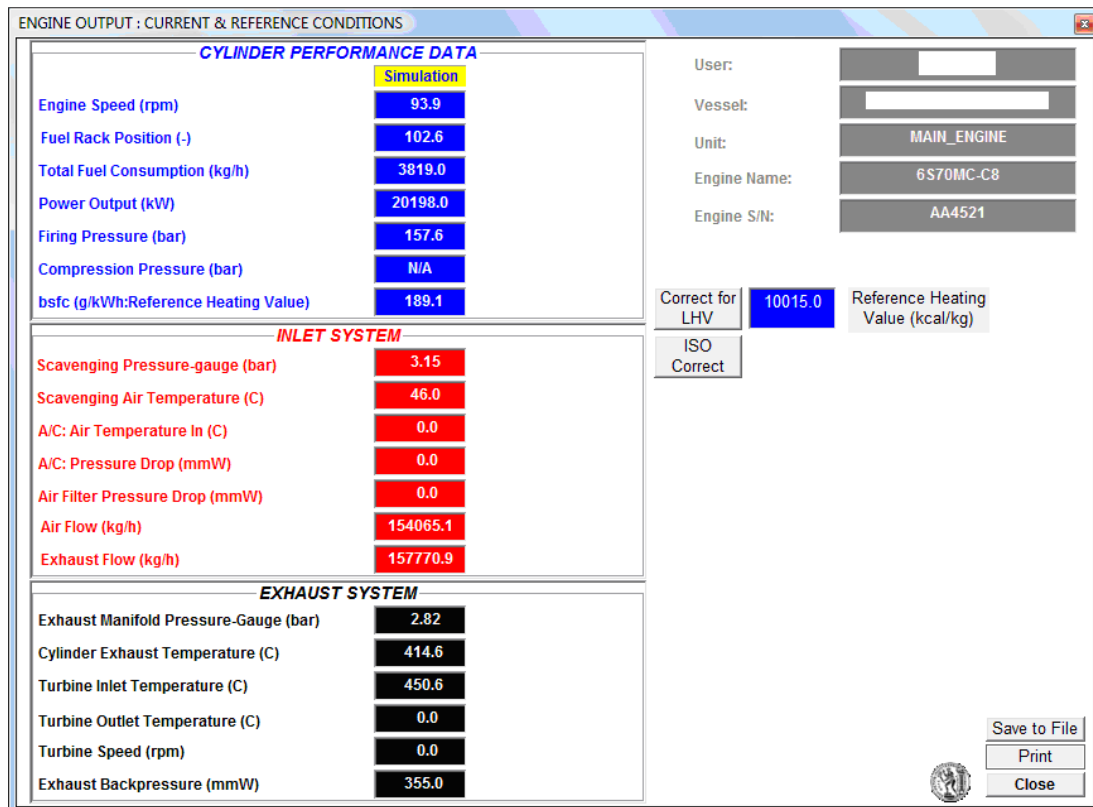
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 10.11

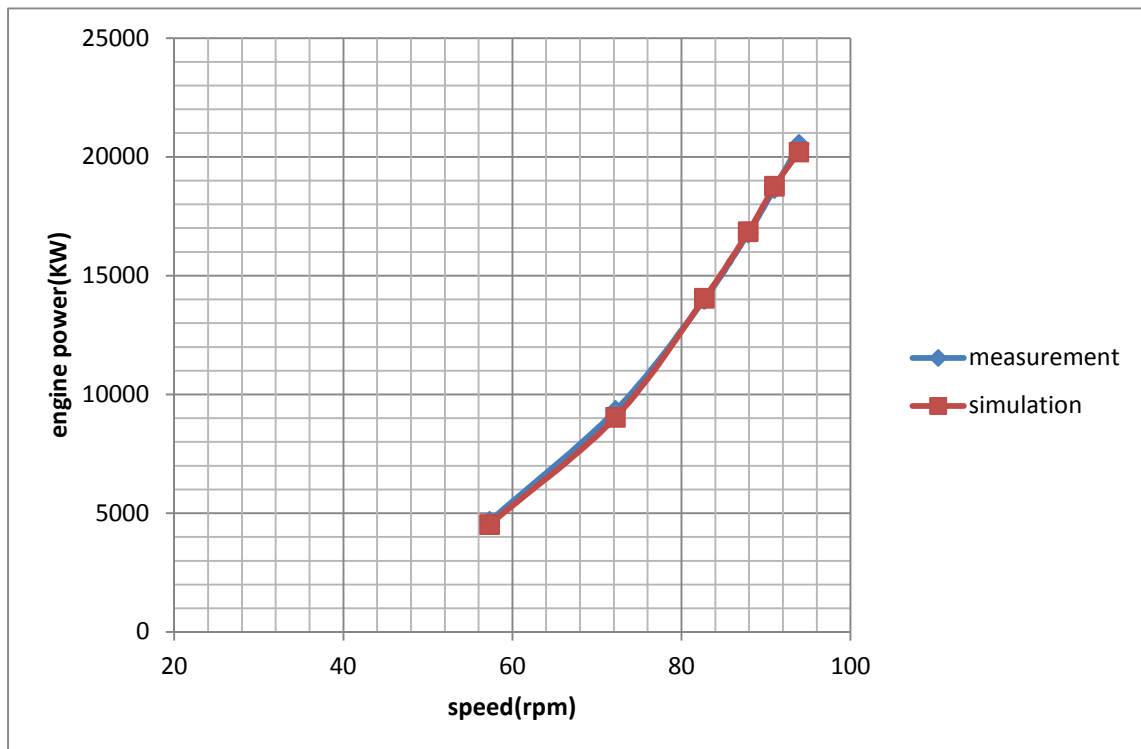


Σχήμα 10.12

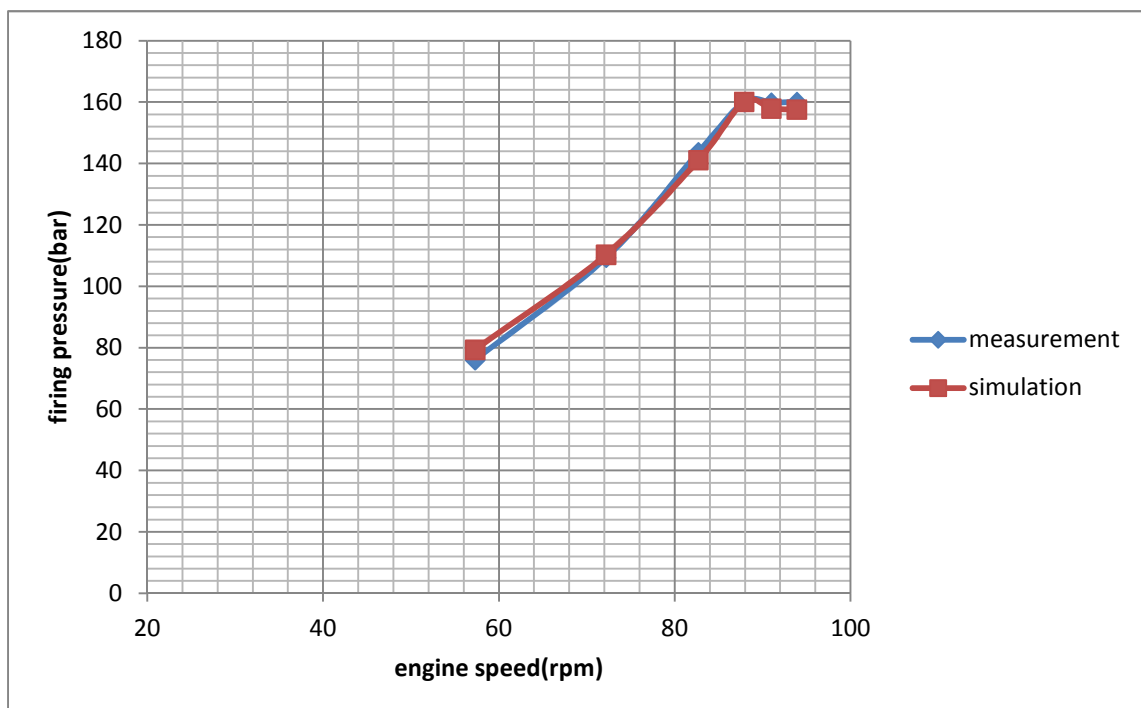
### 10.3. Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Εργοστασιακές Δοκιμές

Στην **Παράγραφο 10.3**, απεικονίζονται σε διαγράμματα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα όπως αυτά προέκυψαν στην **Παράγραφο 10.2**, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των Εργασιακών Δοκιμών. Οι παράμετροι αυτές είναι:

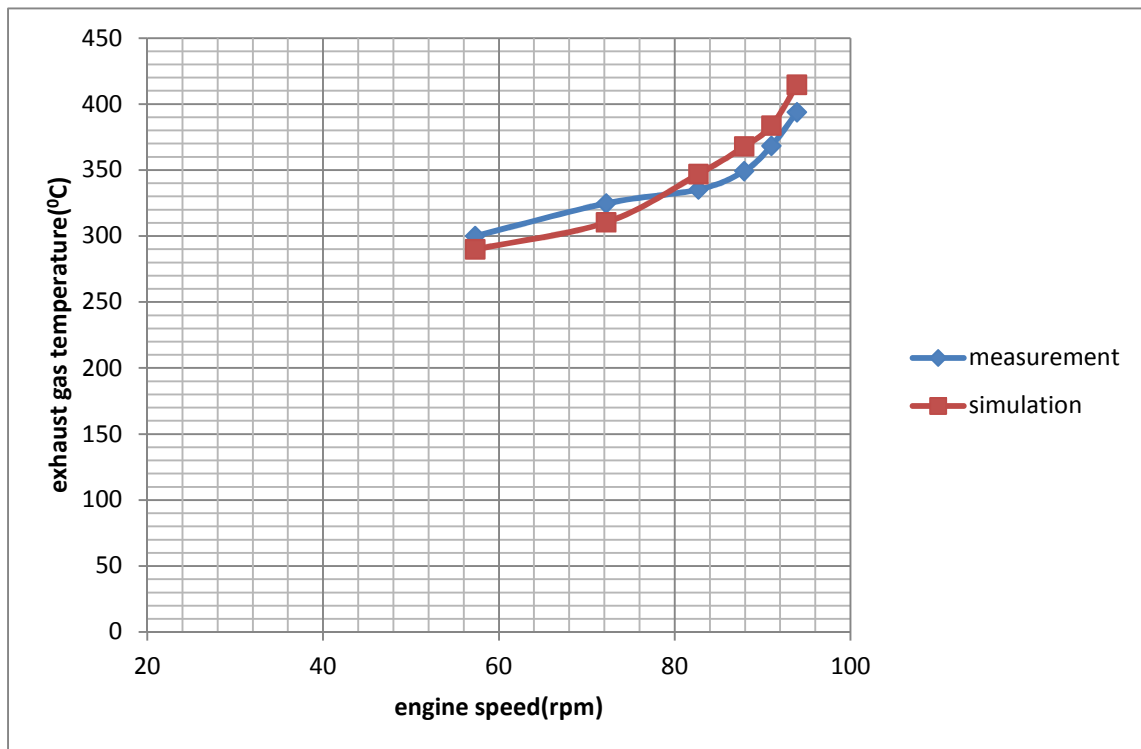
- Η ισχύς του κινητήρα
- Η μέγιστη πίεση καύσης
- Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων
- Η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου



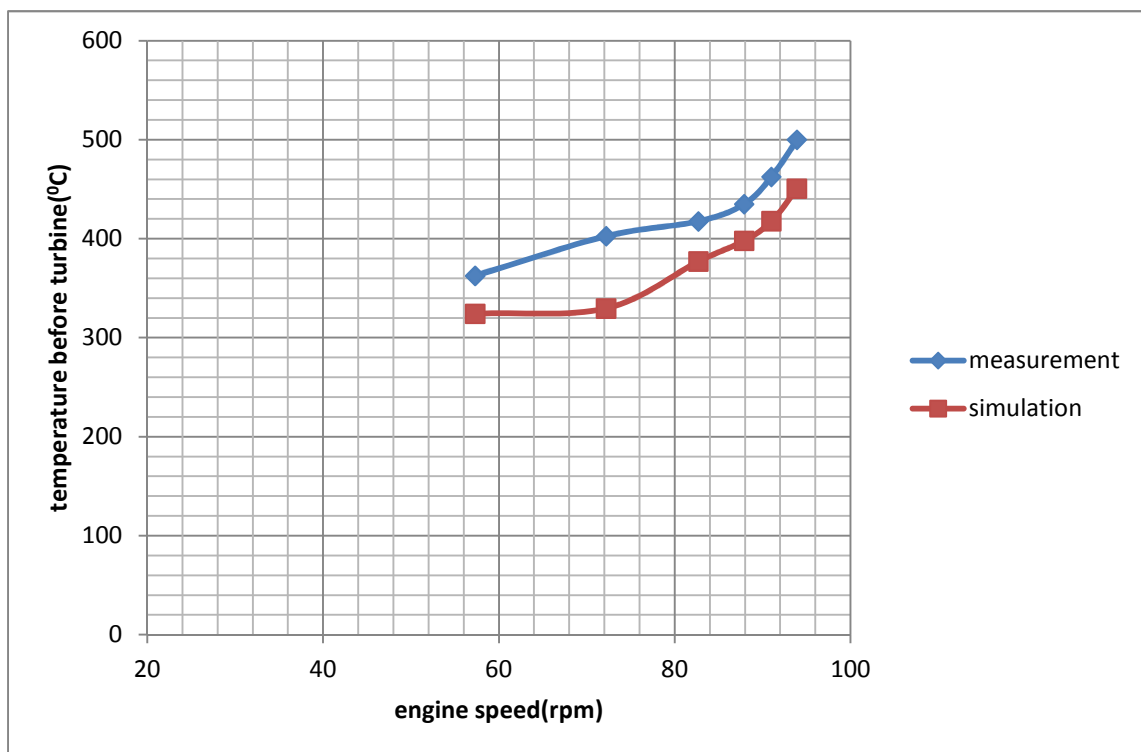
Σχήμα 10.13: Μεταβολή της ισχύος του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



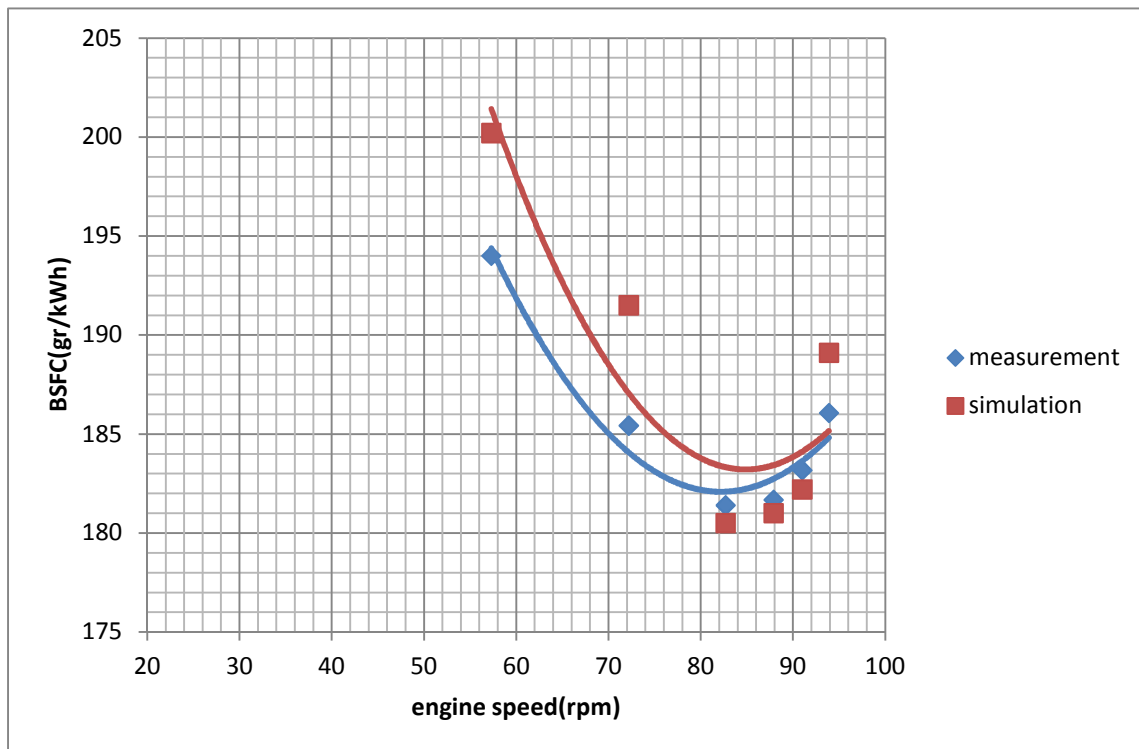
Σχήμα 10.14: Μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 10.15: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 10.16: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 10.17: Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα για τις τιμές κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 10.13 έως 10.17 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα για την δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού:

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για την ισχύ του κινητήρα η δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού λειτουργεί πολύ καλά καθώς τα αποτελέσματα της συμπίπτουν με αυτά των μετρημένων τιμών. Το ίδιο ισχύει και για την μέγιστη πίεση καύσης.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων είναι αξιόπιστα καθώς οι τιμές της προσομοίωσης συμπίπτουν με αυτές των μετρημένων τιμών.

Επίσης, όσον αφορά την θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή, οι τιμές όπως προέκυψαν από την προσομοίωση διαφέρουν από τις μετρημένες τιμές κατά το ποσοστό του 11%.

Τέλος, η προσομοίωση λειτουργεί ικανοποιητικά και για την πρόβλεψη των τιμών της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου. Έτσι, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προσεγγίζουν αυτά των Εργοστασιακών Δοκιμών καθώς η διαφορά τους κατά μέσο όρο δεν ξεπερνά το 2%.





## **11.ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗ**

### **11.1.Εισαγωγή**

Στη παράγραφο αυτή πραγματοποιείται σύγκριση των τιμών για τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα όπως προκύπτουν από λογισμικό χωρίς όμως να γίνεται χρήση της δυνατότητας προσομοίωσης του υπερπληρωτή, με τις μετρημένες τιμές για τα αντίστοιχα φορτία από των Δοκιμών Θαλάσσης, με στόχο τη διερεύνηση της αξιοπιστίας λειτουργίας του λογισμικού.

Αρχικά εισάγεται η τιμή της θερμογόνου δύναμης και της πυκνότητας του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε στις Δοκιμές Θαλάσσης στο παράθυρο του λογισμικού “FUEL MASS AND/OR ATOM COMPOSITION”. Στη συνέχεια, στο παράθυρο του λογισμικού “ENGINE OPERATING CONDITIONS” ορίζονται οι τιμές των παραμέτρων που αφορούν στον υπερπληρωτή όπως αυτές μετρήθηκαν στις Δοκιμές Θαλάσσης. Η εισαγωγή αυτών των δεδομένων πραγματοποιείται ενεργοποιώντας την δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από το χρήστη (define operating data manually).

Έτσι, καθορίζεται από τον χρήστη για το αντίστοιχο φορτίο η τιμή της κατανάλωση καυσίμου (fuel flow rate), η προπορεία έγχυσης καυσίμου (Injection Timing (deg)), η πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), η θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), η πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και η πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure).

Κατά συνέπεια λόγω της μη θεώρησης της προσομοίωσης του υπερπληρωτή το λογισμικό δεν παρέχει αποτελέσματα για τα ακόλουθα μεγέθη:

- Θερμοκρασία μετά τον υπερπληρωτή
- Πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα
- Θερμοκρασία αέρα σαρώσεως
- Πίεση αέρα σαρώσεως
- Θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα
- Ταχύτητα του υπερπληρωτή



## **11.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης των Δοκιμών Θαλάσσης Χωρίς τη Χρήση Προσομοίωσης Υπερπληρωτή**

Στην υποπαράγραφο αυτή απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως προκύπτουν από το λογισμικό καθώς και οι αντίστοιχες συνθήκες λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση. Τα αποτελέσματα αυτά αξιολογούνται στη συνέχεια με βάση τα αποτελέσματα των Δοκιμών Θαλάσσης.

### **11.2.1. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 70% του Φορτίου**

Στο **Σχήμα 11.1** γίνεται η εισαγωγή δεδομένων έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα προσομοίωσης του **Σχήματος 11.2**. Έτσι, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή της τιμής ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα (80,42 rpm) και εισαγωγή της τιμής κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως έχει μετρηθεί για την αντίστοιχη ταχύτητα στις Δοκιμές Θαλάσσης. Επίσης εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε φορτίο του κινητήρα 70% όπως αυτές μετρήθηκαν στις Δοκιμές Θαλάσσης και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure).

Στο **Σχήμα 11.2** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- η συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total Fuel Consumption (kg/h))
- η ισχύς του κινητήρα (Power Output (kW))
- η μέγιστη πίεση καύσης (Firing Pressure (bar))
- η ειδική κατανάλωση καυσίμου (bsfc (gr/kWh))
- η πίεση σάρωσης (Scavenging Pressure-gauge (bar))
- η θερμοκρασία σάρωσης (Scavenging Air Temperature (°C))
- η πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar))
- η θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων (Cylinder Exhaust Temperature (°C))
- η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή (Turbine Inlet Temperature (°C))
- η πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Backpressure (mmW))



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	80.4
Engine Load (%)	69.0
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	80.8
Fuel Flow Rate (kg/h)	2307.5

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	31.7
Room Pressure (mbar)	1010.1
A/C Water Inlet Temp. (C)	25.5

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	1.70
Boost Air Temperature (C)	41.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.48
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

OK Cancel

Σχήμα 11.1

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	80.4
Fuel Rack Position (-)	80.8
Total Fuel Consumption (kg/h)	2307.5
Power Output (kW)	11938.4
Firing Pressure (bar)	138.0
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	193.3

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	1.70
Scavenging Air Temperature (C)	41.0
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	105016.8
Exhaust Flow (kg/h)	107461.1

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	1.47
Cylinder Exhaust Temperature (C)	327.2
Turbine Inlet Temperature (C)	348.0
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	0.0

User:   
Vessel:   
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

Σχήμα 11.2



### 11.2.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 80% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο της προσομοίωσης “ENGINE OPERATING SPEED” πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα (Engine Speed (rpm)) και της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως αυτή μετρήθηκε στις Δοκιμές Θαλάσσης. Κατόπιν, αφού ενεργοποιηθεί η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually), εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 80% του φορτίου όπως αυτές μετρήθηκαν στις Δοκιμές Θαλάσσης και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure) (Σχήμα 11.3). Τελικά, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα (Σχήμα 11.4).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	84.8
Engine Load (%)	80.9
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	80.8
Fuel Flow Rate (kg/h)	2701.2

Options for Operating Data Source	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

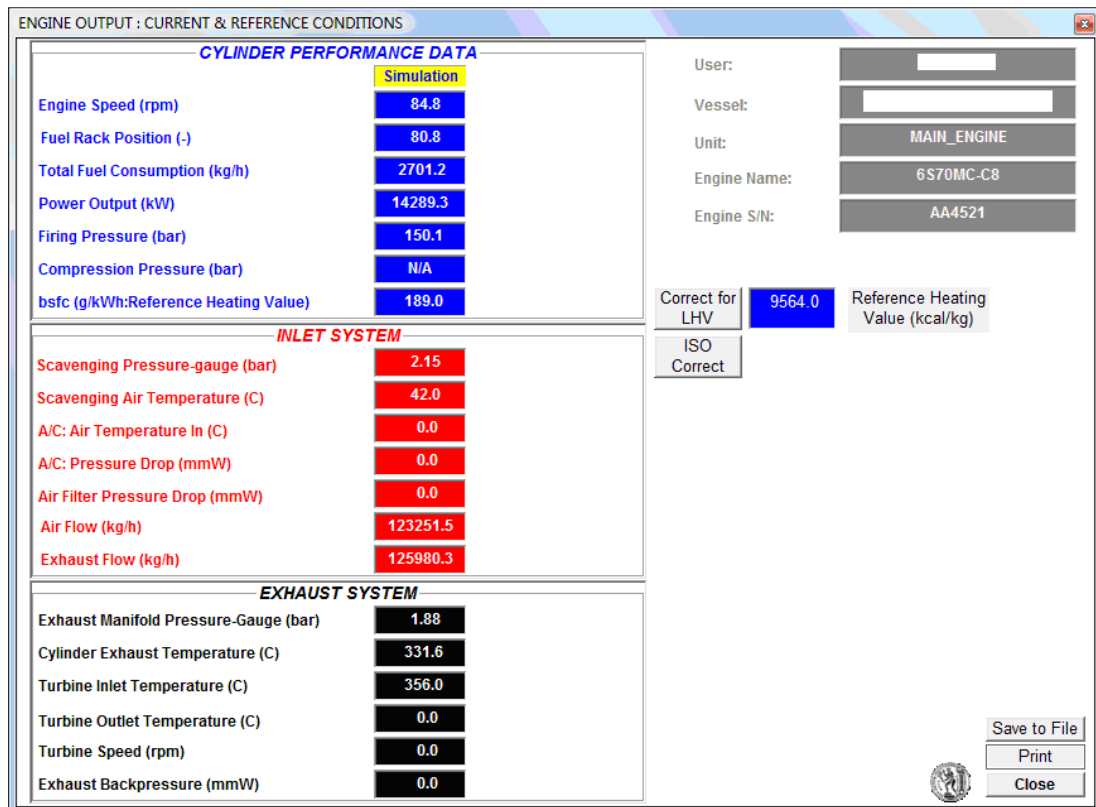
  

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	31.7
Room Pressure (mbar)	1010.1
A/C Water Inlet Temp. (C)	25.5
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.15
Boost Air Temperature (C)	42
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.88
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

Σχήμα 11.3



Σχήμα 11.4

### 11.2.3. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου

Στο πρώτο στάδιο της προσομοίωσης (Σχήμα 11.5) καθορίζεται η τιμή της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα (Engine Speed (rpm)). Κατόπιν, για την εξαγωγή τιμών όσο το δυνατόν πιο κοντά στις πραγματικές τιμές γίνεται εισαγωγή της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως αυτή μετρήθηκε στις Δοκιμές Θαλάσσης για το 100% του φορτίου. Επίσης, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually). Έτσι, για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Εργοστασιακών Δοκιμών. Στη συνέχεια επιλέγοντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (Σχήμα 11.6) για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 100%.



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	90.2
Engine Load (%)	97.4
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	80.8
Fuel Flow Rate (kg/h)	3141.6

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	31.7
Room Pressure (mbar)	1010.1
A/C Water Inlet Temp. (C)	25.5

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	2.58
Boost Air Temperature (C)	45
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.25
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

OK Cancel

Σχήμα 11.5

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	90.2
Fuel Rack Position (-)	80.8
Total Fuel Consumption (kg/h)	3141.6
Power Output (kW)	16958.5
Firing Pressure (bar)	163.8
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	185.3

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	2.58
Scavenging Air Temperature (C)	45.0
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	138741.2
Exhaust Flow (kg/h)	141824.3

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	2.27
Cylinder Exhaust Temperature (C)	350.4
Turbine Inlet Temperature (C)	378.6
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	0.0

User:   
Vessel:   
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

Σχήμα 11.6





#### 11.2.4. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 105% του Φορτίου

Για να γίνει η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης από το λογισμικό πρέπει να πραγματοποιηθεί εισαγωγή των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα. Εισάγεται έτσι η τιμή της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα (Engine Speed (rpm)). Επίσης, εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)). Στη συνέχεια, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually) και για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Εργοστασιακών Δοκιμών (Σχήμα 11.7). Τέλος, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 75% του φορτίου (Σχήμα 11.8).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	92.3
Engine Load (%)	104.3
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	80.8
Fuel Flow Rate (kg/h)	3422.1

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	31.7
Room Pressure (mbar)	1010.1
A/C Water Inlet Temp. (C)	25.5
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	3
Boost Air Temperature (C)	46
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.65
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests

Calc.

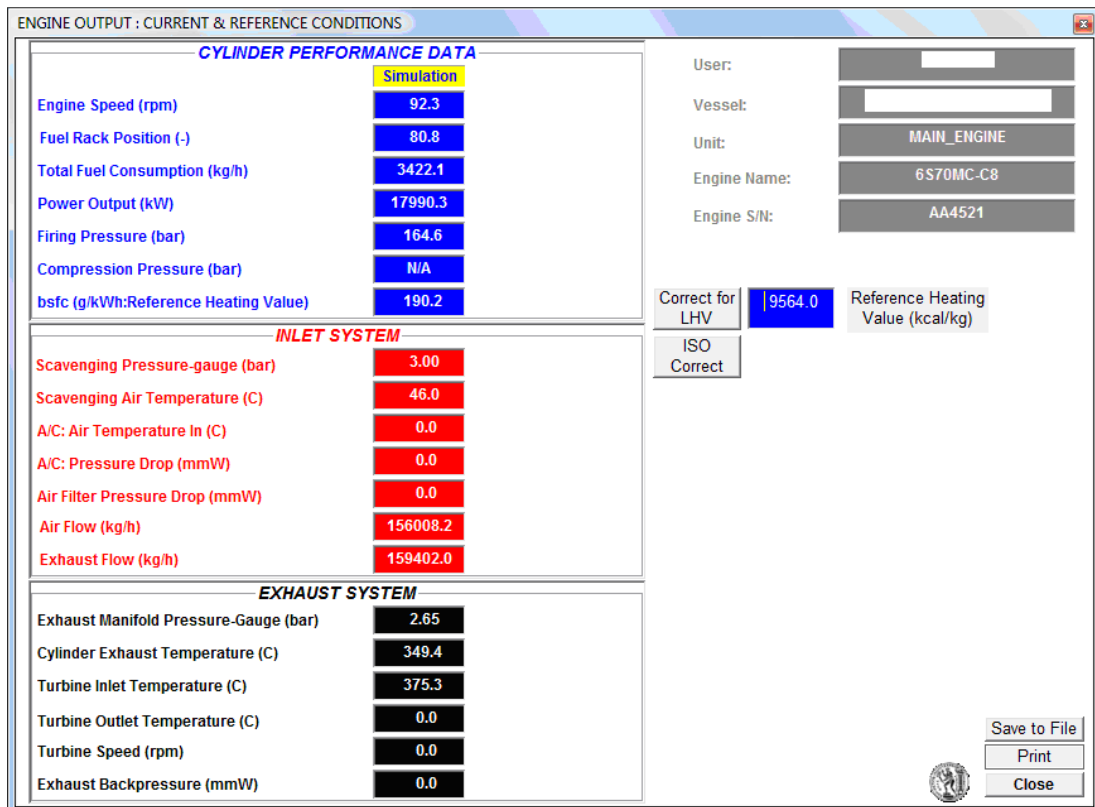
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simualtion

OK Cancel

Σχήμα 11.7



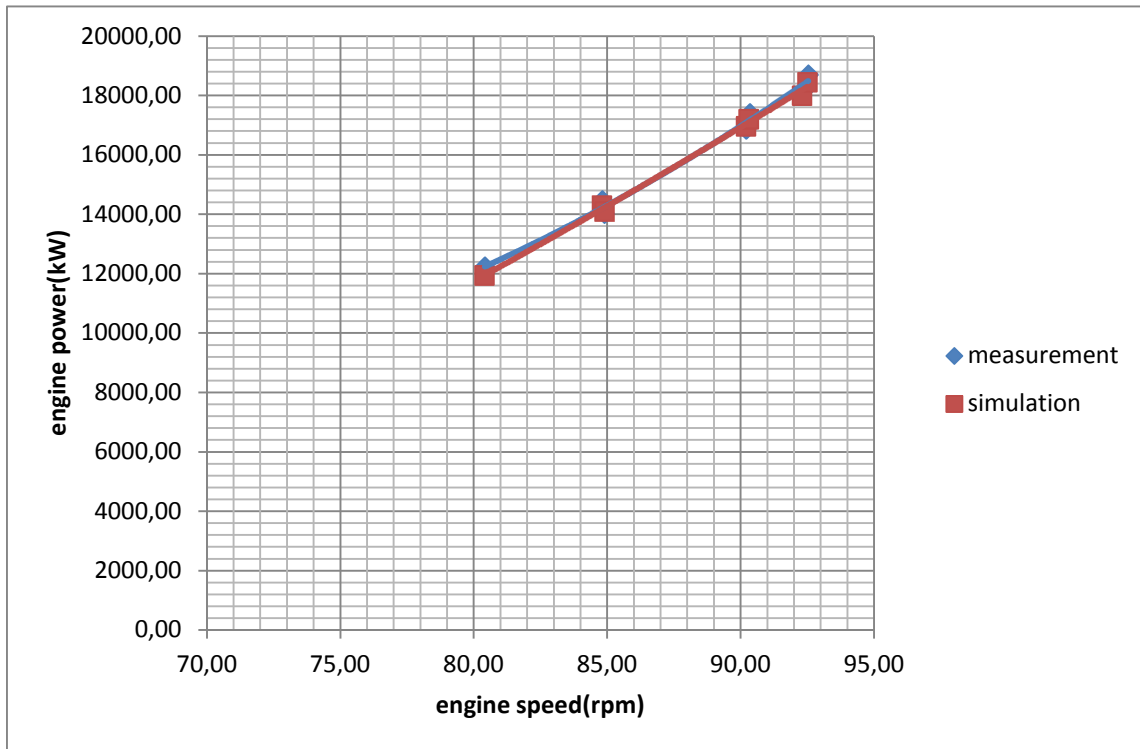
Σχήμα 11.8

### 11.3. Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Δοκιμές Θαλάσσης

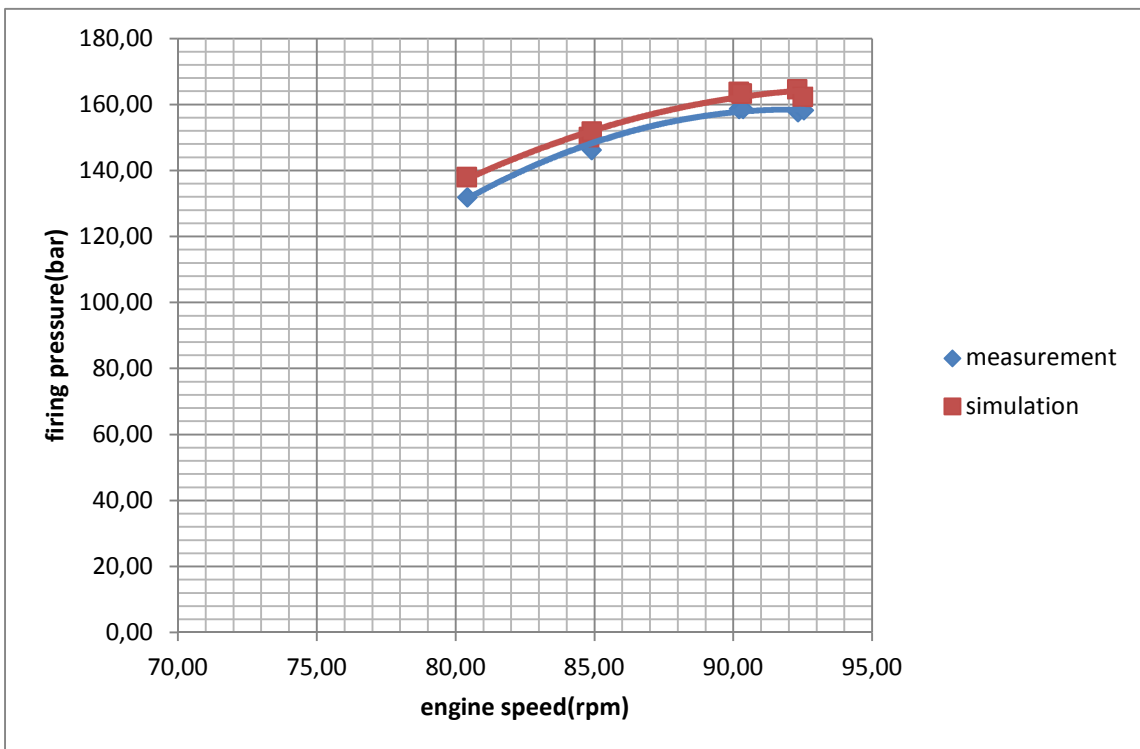
Στην **Παράγραφο 11.3.** παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα όπως αυτά προέκυψαν στην **Παράγραφο 10.2.** σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των Δοκιμών Θαλάσσης. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- Η ισχύς του κινητήρα
- Η μέγιστη πίεση καύσης
- Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων
- Η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου

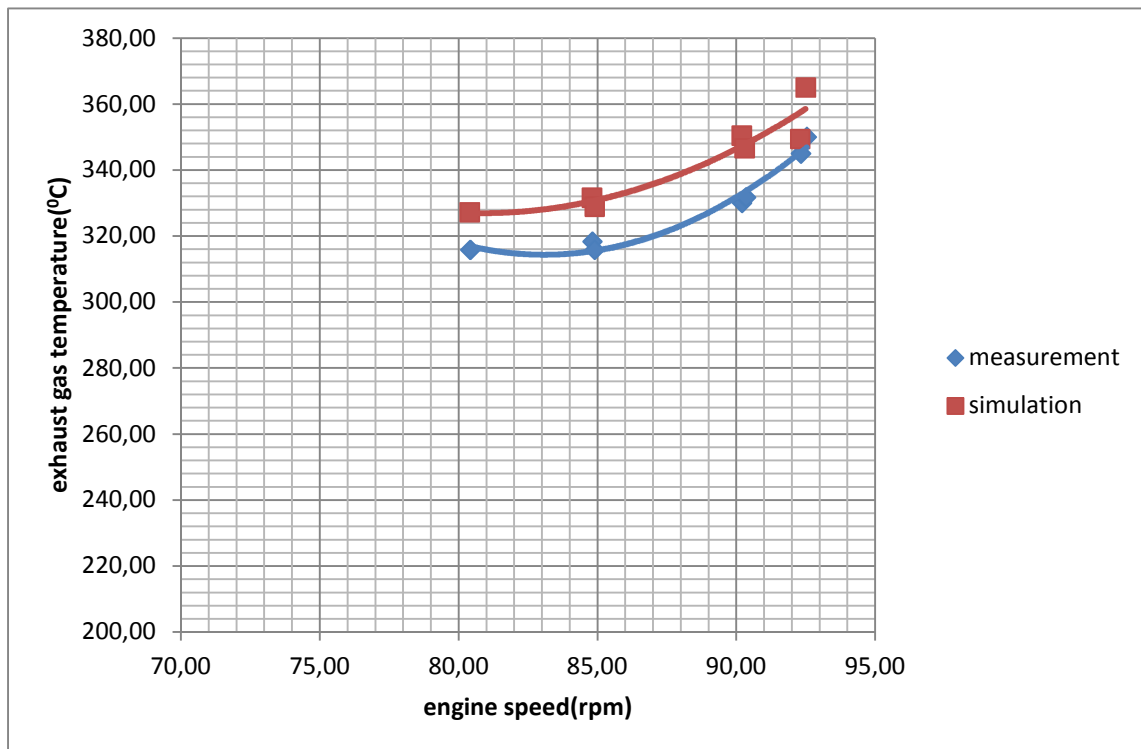




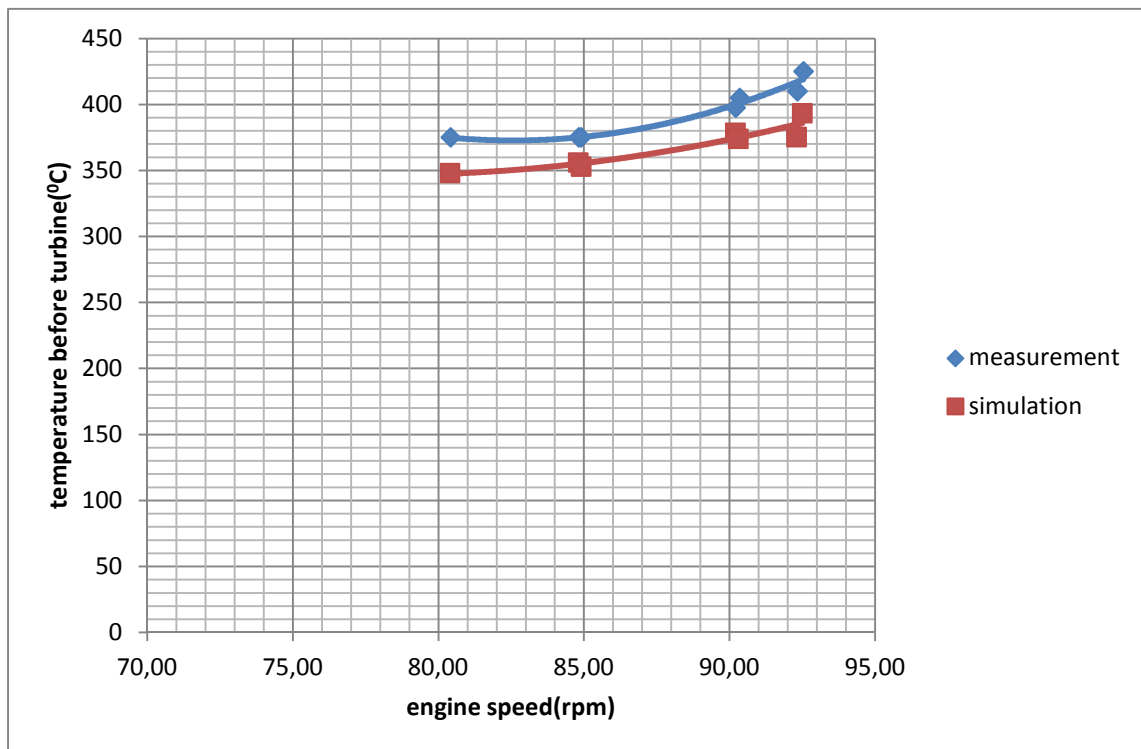
Σχήμα 11.9: Μεταβολή της ισχύος του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



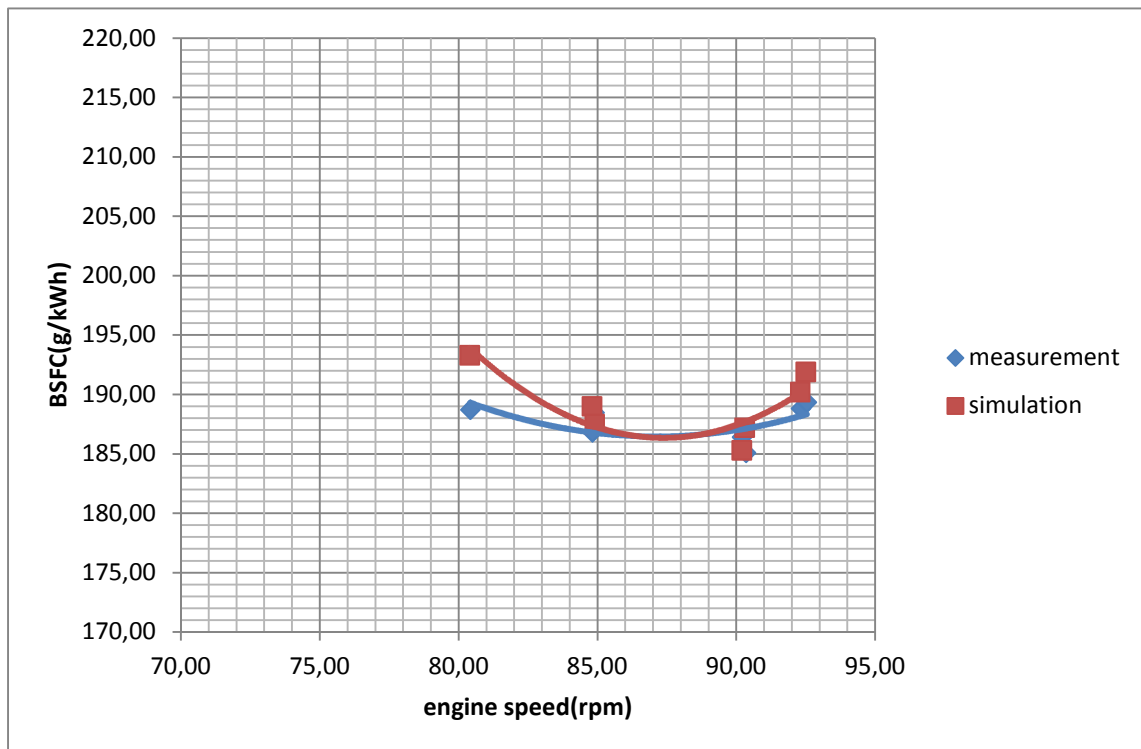
Σχήμα 11.10: Μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 11.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 11.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 11.13: Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 11.9 έως 11.13 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα για την δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού:

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για την ισχύ του κινητήρα η δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού λειτουργεί πολύ καλά καθώς τα αποτελέσματα της συμπίπτουν με αυτά των μετρημένων τιμών. Το ίδιο ισχύει και για την μέγιστη πίεση καύσης.

Όσον αφορά την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων η προσομοίωση λειτουργεί ικανοποιητικά καθώς υπερεκτιμά τις μετρημένες τιμές μόνο κατά ποσοστό 4%.

Για την θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή, το λογισμικό υποεκτιμά τις αντίστοιχες τιμές που μετρήθηκαν κατά την διάρκεια των Δοκιμών Θαλάσσης για όλο το εύρος του φορτίου κατά το ποσοστό του 8%.

Τέλος, όσον αφορά την ειδική κατανάλωση καυσίμου, η δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού λειτουργεί ικανοποιητικά καθώς για φορτία του κινητήρα μεγαλύτερα του 70% τα αποτελέσματα του λογισμικού συμπίπτουν με αυτά των μετρήσεων, ενώ για φορτία μικρότερα του 70% το λογισμικό υπερεκτιμά τις μετρημένες τιμές κατά το ελάχιστο ποσοστό του 2%.



## **12. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ**

### **12.1. Εισαγωγή**

Στην παρούσα Παράγραφο πραγματοποιείται αξιολόγηση των τιμών που προέκυψαν από το λογισμικό για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα, κάνοντας χρήση της δυνατότητας του λογισμικού για προσομοίωση του υπερπληρωτή αλλά και χωρίς αυτήν. Επίσης, πραγματοποιείται προσομοίωση του κινητήρα από το λογισμικό για φορτία κάτω του 25%, όπου δεν υπάρχουν αντίστοιχα αποτελέσματα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές ή τις Δοκιμές Θαλάσσης. Τα φορτία αυτά αντιστοιχούν σε συνθήκες αργής πλεύσης (slow steaming). Έτσι, η καλή λειτουργία της προσομοίωσης και η εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων είναι ιδιαίτερως σημαντική καθώς η εφαρμογή του “slow steaming” γίνεται συνεχώς πιο επιτακτική στα πλαίσια της εξοικονόμησης καυσίμου και της μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων.

Στην Παράγραφο 7 πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των εξισώσεων των γραμμών τάσεων για όλες τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα. Κάνοντας χρήση των εξισώσεων αυτών, μπορεί να προσδιοριστεί η τιμή της παραμέτρου για κάθε φορτίο ή ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Τα αποτελέσματα για χαμηλά φορτία όπως προκύπτουν από τις εξισώσεις των γραμμών τάσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέτρο σύγκρισης για τα αντίστοιχα αποτελέσματα της προσομοίωσης συμβάλλοντας στην όσο το δυνατό καλύτερη αξιολόγηση της προβλεπτικής ικανότητας του λογισμικού.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αφορούν τα ακόλουθα φορτία του κινητήρα:

- 10%
- 15%
- 20%,
- 25%
- 50%
- 75%
- 90%
- 100%
- 110%



Πρέπει να σημειωθεί ότι με τη χρήση της παρούσας έκδοσης του λογισμικού δεν ήταν δυνατή η προσομοίωση του υπερπληρωτή για φορτία κάτω του 20% και για αυτά το λόγο δεν προκύπτουν αποτελέσματα για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα για τα αντίστοιχα φορτία.

## **12.2. Αποτελέσματα Λογισμικού Χρησιμοποιώντας Προσομοίωση Υπερπληρωτή**

Στην υποπαράγραφο αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως προκύπτουν από το λογισμικό καθώς και οι αντίστοιχες συνθήκες λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση. Τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να γίνει αξιολόγηση του λογισμικού προσομοίωσης.

### **12.2.1. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 20% του Φορτίου**

Στο **Σχήμα 12.1** γίνεται η εισαγωγή δεδομένων έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα προσομοίωσης του **Σχήματος 12.2**. Έτσι, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (20%) και εισαγωγή της τιμής κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)). Η τιμή αυτή έχει υπολογιστεί με χρήση της γραμμής τάσης η οποία και έχει προσδιοριστεί στο **Κεφάλαιο 7** για την αντίστοιχη ταχύτητα. Για τα υπόλοιπα δεδομένα δεν χρειάστηκε να γίνει η εισαγωγή καθώς χρησιμοποιήθηκαν οι ήδη καταχωρημένες τιμές των Εργοστασιακών Δοκιμών από το λογισμικό.

Στο **Σχήμα 12.2** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 20%. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- η συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total Fuel Consumption (kg/h))
- η ισχύς του κινητήρα (Power Output (kW))
- η μέγιστη πίεση καύσης (Firing Pressure (bar))
- η ειδική κατανάλωση καυσίμου (bsfc (gr/kWh))
- η πίεση συμπίεσεως (Compression Pressure (bar))
- η πίεση σάρωσης (Scavenging Pressure-gauge (bar))
- η θερμοκρασία σάρωσης (Scavenging Air Temperature (°C))
- η θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα (A/C: Air Temperature In (°C))



- η πίεση του σχετού εξαγωγής (Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar))
- η θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων (Cylinder Exhaust Temperature (°C))
- η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή (Turbine Inlet Temperature (°C))
- η ταχύτητα περιστροφής του στρόβιλου (Turbine Speed (rpm))
- η πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Backpressure (mmW))

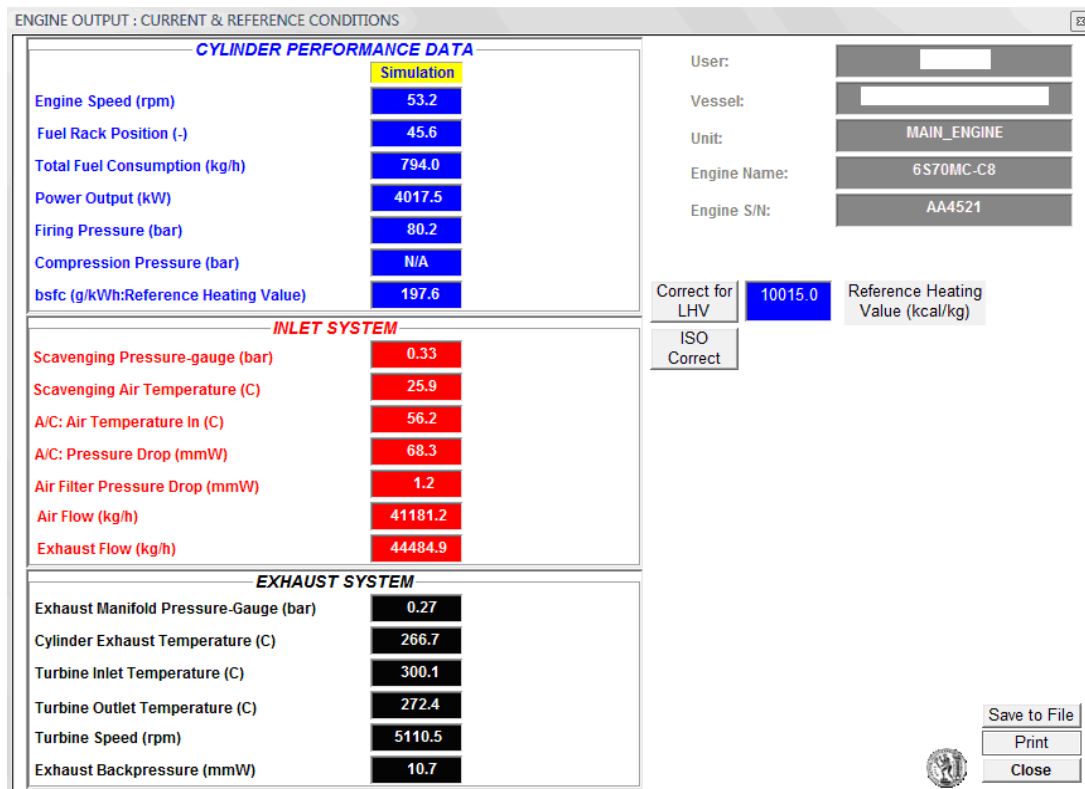
Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	53.2
Engine Load (%)	20.0
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	45.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	794

Options for Operating Data Source	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input checked="" type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	27.3
Room Pressure (mbar)	1023.6
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.9
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	0.11
Boost Air Temperature (C)	24.4
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.04
Exhaust Back Pressure (mmW)	7.9

Σχήμα 12.1



Σχήμα 12.2

### 12.2.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου

Στο πρώτο στάδιο της προσομοίωσης (Σχήμα 12.3) καθορίζεται η τιμή του φορτίου (Engine Load %). Κατόπιν, γίνεται εισαγωγή της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως αυτή μετρήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές για το 25% του φορτίου αλλά και μείωση της προπορείας έγχυσης καυσίμου από 1 deg που έχει καταχωρηθεί ήδη από το λογισμικό σε 2 deg. Επίσης, επιλέγεται η εισαγωγή των δεδομένων λειτουργίας από τις εργοστασιακές δοκιμές (Define Operating Data from Shop Tests) και η εισαγωγή δεδομένων που αφορούν στον υπερπληρωτή από το λογισμικό (Enable T/C Simulation). Στη συνέχεια επιλέγοντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (Σχήμα 12.4) για τις λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 25%.



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	57.3
Engine Load (%)	25.0
Injection Timing (deg)	2
Fuel Rack Position (mm)	52.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	905

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc..**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	27.5
Room Pressure (mbar)	1019.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.0

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	0.36
Boost Air Temperature (C)	26.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.28
Exhaust Back Pressure (mmW)	9.9

**OK** **Cancel**

Σχήμα 12.3

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

	Simulation
Engine Speed (rpm)	57.3
Fuel Rack Position (-)	52.2
Total Fuel Consumption (kg/h)	905.0
Power Output (kW)	4575.7
Firing Pressure (bar)	80.4
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	197.8

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	0.41
Scavenging Air Temperature (C)	25.6
A/C: Air Temperature In (C)	62.8
A/C: Pressure Drop (mmW)	76.1
Air Filter Pressure Drop (mmW)	1.5
Air Flow (kg/h)	46266.5
Exhaust Flow (kg/h)	49448.9

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.33
Cylinder Exhaust Temperature (C)	280.2
Turbine Inlet Temperature (C)	312.2
Turbine Outlet Temperature (C)	278.3
Turbine Speed (rpm)	5908.3
Exhaust Backpressure (mmW)	16.3

User:

Vessel:

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

**Save to File** **Print** **Close**

Σχήμα 12.4





### 12.2.3. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου

Αρχικά, γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου. Επίσης, για το 50% του φορτίου εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως αυτή μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 12.5). Στη συνέχεια, πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα (Σχήμα 12.6).

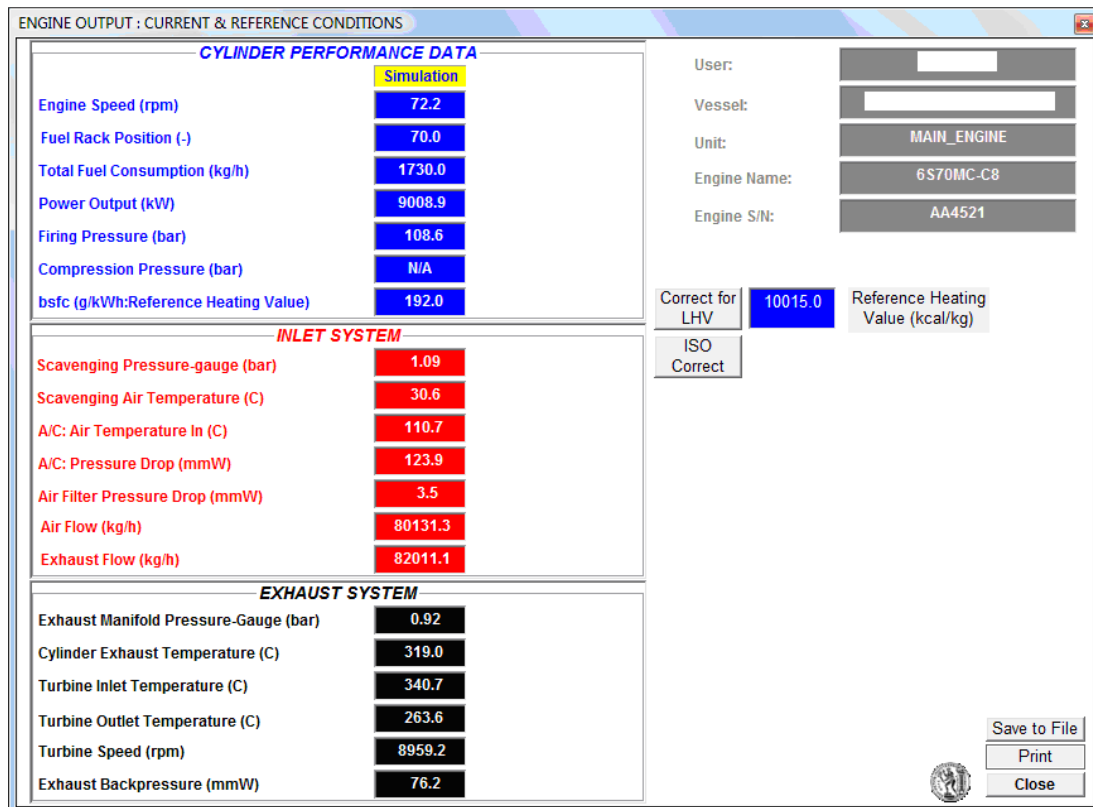
Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	72.2
Engine Load (%)	49.9
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	70.0
Fuel Flow Rate (kg/h)	1730

Options for Operating Data Source	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input checked="" type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	29.8
Room Pressure (mbar)	1011.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.2
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	1.15
Boost Air Temperature (C)	30.1
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.98
Exhaust Back Pressure (mmW)	71.6

Σχήμα 12.5



Σχήμα 12.6

#### 12.2.4. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου

Αρχικά, γίνεται προσδιορισμός της τιμής του φορτίου για το οποίο ζητούνται οι προβλέψεις για τις παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα. Για την καλύτερη προσέγγιση των μετρημένων τιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως αυτή μετρήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές για το 75% του φορτίου και αυξάνεται η προπορεία έγχυσης καυσίμου από -1 deg σε 0 deg. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (Define Operating Data Manually) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 12.7). Στη συνέχεια, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 75% του φορτίου (Σχήμα 12.8).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	82.7
Engine Load (%)	75.1
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	84.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	2535

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	32.3
Room Pressure (mbar)	1010.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	26.3

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	1.90
Boost Air Temperature (C)	34.9
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.64
Exhaust Back Pressure (mmW)	175.0

OK Cancel

Σχήμα 12.7

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	82.7
Fuel Rack Position (-)	84.6
Total Fuel Consumption (kg/h)	2535.0
Power Output (kW)	14101.0
Firing Pressure (bar)	142.8
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	179.8

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	1.96
Scavenging Air Temperature (C)	37.6
A/C: Air Temperature In (C)	159.8
A/C: Pressure Drop (mmW)	165.1
Air Filter Pressure Drop (mmW)	6.6
Air Flow (kg/h)	114006.8
Exhaust Flow (kg/h)	116463.6

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	1.71
Cylinder Exhaust Temperature (C)	343.5
Turbine Inlet Temperature (C)	373.0
Turbine Outlet Temperature (C)	252.1
Turbine Speed (rpm)	10828.9
Exhaust Backpressure (mmW)	175.5

User: [ ]

Vessel: [ ]

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

Save to File

Print

Close

Σχήμα 12.8



### 12.2.5. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου

Για να γίνει η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης από το λογισμικό εισάγονται οι τιμές των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα. Έτσι, εισάγεται η τιμή του φορτίου (Engine Load (%)) δηλαδή 90%. Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) και αυξάνεται η προπορεία έγχυσης καυσίμου από -2 deg που είναι η αρχική τιμή που προτείνεται από το λογισμικό σε -1 deg. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 12.9). Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 90% του φορτίου (Σχήμα 12.10).

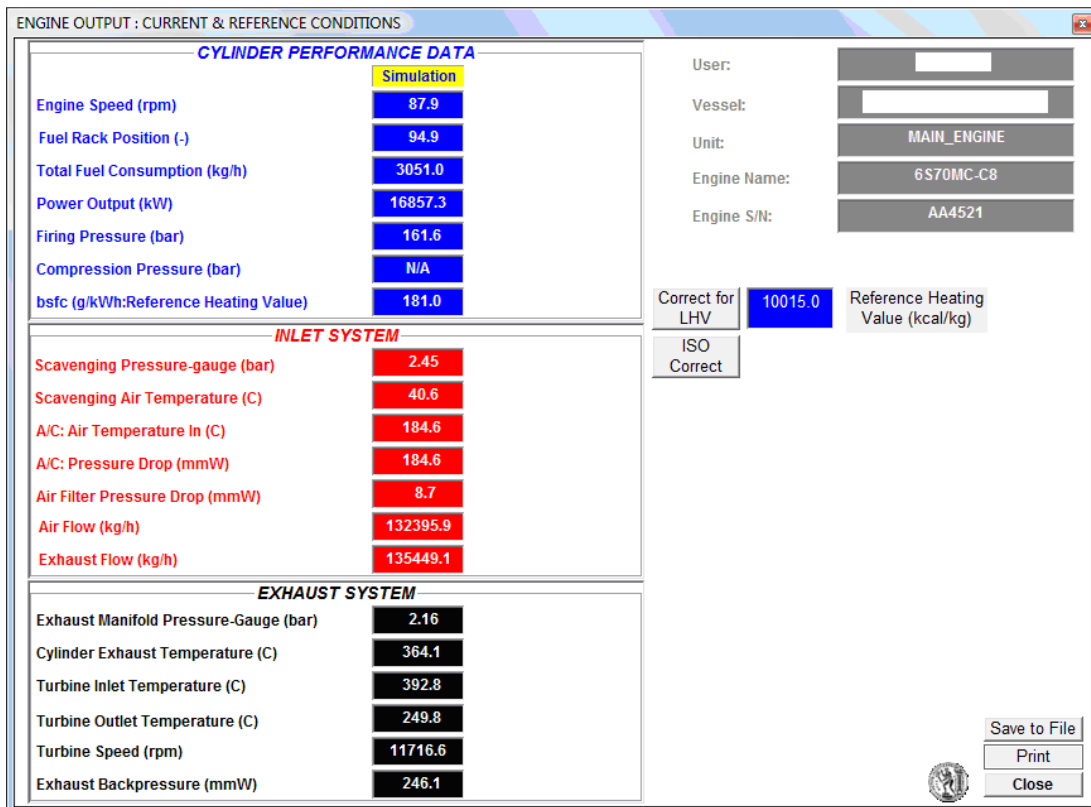
Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	87.9
Engine Load (%)	90.1
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	94.9
Fuel Flow Rate (kg/h)	3051

Options for Operating Data Source	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input checked="" type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	33.6
Room Pressure (mbar)	1009.7
A/C Water Inlet Temp. (C)	28.6
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.42
Boost Air Temperature (C)	39.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.12
Exhaust Back Pressure (mmW)	247.0

Σχήμα 12.9



Σχήμα 12.10

#### 12.2.6. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου

Αρχικά, στο παράθυρο του λογισμικού για την προσομοίωση του κινητήρα γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου. Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (Define Operating Data From Shop Tests) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 12.11). Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 100% του φορτίου (Σχήμα 12.12).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	91.0
Engine Load (%)	100.0
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	102.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	3418

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	34.4
Room Pressure (mbar)	1009.4
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.2

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	2.80
Boost Air Temperature (C)	42.2
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.47
Exhaust Back Pressure (mmW)	297.4

OK Cancel

Σχήμα 12.11

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA** (Simulation)

Engine Speed (rpm)	91.0
Fuel Rack Position (-)	102.6
Total Fuel Consumption (kg/h)	3418.0
Power Output (kW)	18803.2
Firing Pressure (bar)	160.0
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	181.8

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	2.86
Scavenging Air Temperature (C)	41.9
A/C: Air Temperature In (C)	203.7
A/C: Pressure Drop (mmW)	198.8
Air Filter Pressure Drop (mmW)	10.5
Air Flow (kg/h)	147080.6
Exhaust Flow (kg/h)	150376.5

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	2.54
Cylinder Exhaust Temperature (C)	376.5
Turbine Inlet Temperature (C)	409.3
Turbine Outlet Temperature (C)	249.3
Turbine Speed (rpm)	12394.6
Exhaust Backpressure (mmW)	310.7

User: [ ]

Vessel: [ ]

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

Save to File

Print

Close

Σχήμα 12.12





### 12.2.7. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου

Αρχικά, γίνεται η εισαγωγή της τιμής του φορτίου (Engine Load (%)) δηλαδή 110%, για το οποίο ζητούνται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation). Ως συνέπεια, δεν χρειάζεται να εισαχθούν τα δεδομένα που αφορούν στην θερμοκρασία σάρωσης (Boost Pressure-Gauge (bar)), στην πίεση σάρωσης (Boost Air Temperature (°C)), στην πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge (bar)) και στην πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Back Pressure (mmW)) (Σχήμα 12.13). Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 110% του φορτίου (Σχήμα 12.14).

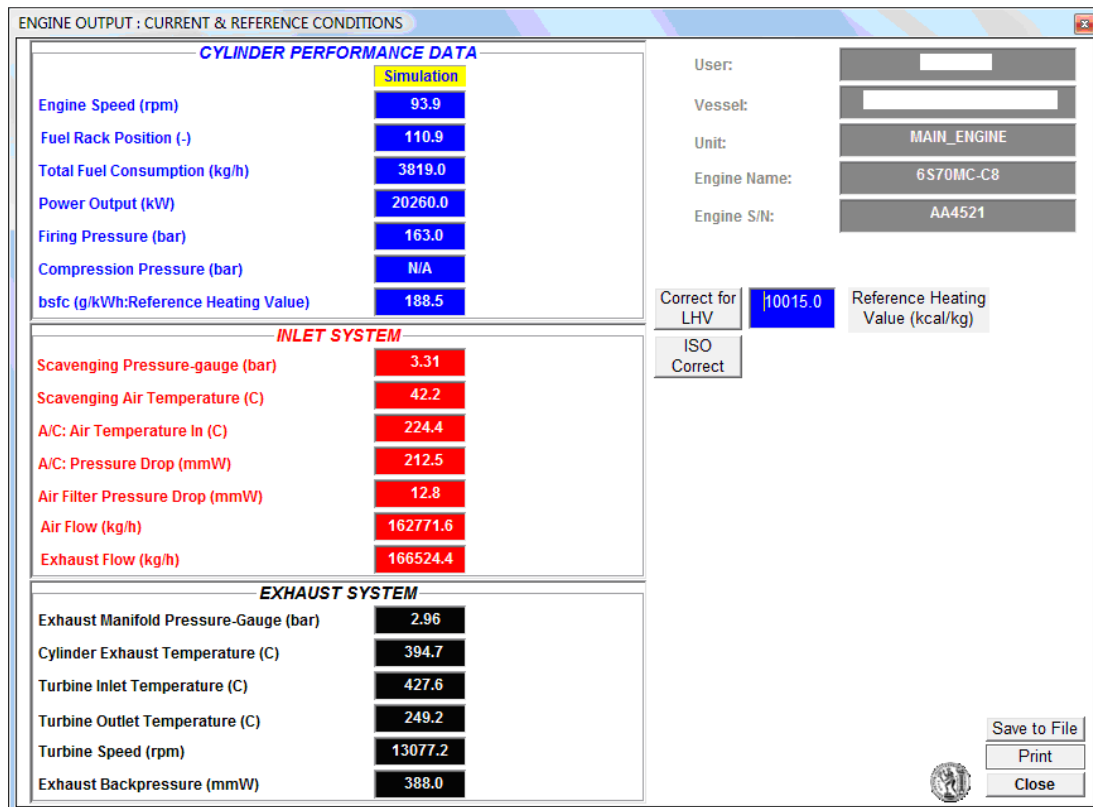
Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	93.9
Engine Load (%)	109.9
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	110.9
Fuel Flow Rate (kg/h)	3819.0

Options for Operating Data Source	
<input type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	Calc.

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input checked="" type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	35.2
Room Pressure (mbar)	1008.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	31.7
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	3.20
Boost Air Temperature (C)	45.9
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.86
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

Σχήμα 12.13



Σχήμα 12.14

### 12.3.Αποτελέσματα Λογισμικού Χωρίς τη Χρήση Προσομοίωσης Υπερπληρωτή

Στην παρούσα υποπαράγραφο απεικονίζονται τα αποτελέσματα του λογισμικού καθώς και οι αντίστοιχες συνθήκες λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση. Σε αυτό το στάδιο, η προσομοίωση πραγματοποιείται και για φορτία του κινητήρα κάτω του 25% για το οποία δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα αυτά αξιοποιούνται στη συνέχεια για να γίνει αξιολόγηση της προβλεπτικής ικανότητας της προσομοίωσης για όλο το εύρος του φορτίου λειτουργίας του κινητήρα.

#### 12.3.1. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 10% του Φορτίου

Στο παράθυρο του λογισμικού “ENGINE OPERATING CONDITIONS” (Σχήμα 12.15) γίνεται η εισαγωγή δεδομένων έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα προσομοίωσης στο παράθυρο “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS” (Σχήματος 12.16). Έτσι, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (10%) και εισαγωγή της τιμής





κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως υπολογίστηκε από την εξίσωση για της γραμμής τάσεως για την αντίστοιχη ταχύτητα. Η γραμμή τάσης έχει σχεδιαστεί με βάση τα μετρημένες τιμές από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (**Σχήμα 7.22**). Επίσης εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 10% του φορτίου όπως αυτές προσδιορίστηκαν από τις γραμμές τάσεως των Εργοστασιακών Δοκιμών στο **Κεφάλαιο 7** για αντίστοιχη ταχύτητα και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure).

Στο **Σχήμα 12.16** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 10%. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- η συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total Fuel Consumption (kg/h))
- η ισχύς του κινητήρα (Power Output (kW))
- η μέγιστη πίεση καύσης (Firing Pressure (bar))
- η ειδική κατανάλωση καυσίμου (bsfc (gr/kWh))
- η πίεση σάρωσης (Scavenging Pressure-gauge (bar))
- η θερμοκρασία σάρωσης (Scavenging Air Temperature (°C))
- η πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar))
- η θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων (Cylinder Exhaust Temperature (°C))
- η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή (Turbine Inlet Temperature (°C))
- η πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Backpressure (mmW))



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	42.2
Engine Load (%)	10.0
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	19.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	517

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

Induction/Exhaust	
<b>Ambient Conditions</b>	
Room Air Temperature (C)	27.8
Room Pressure (mbar)	1043.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	29.0
<b>Boost Air/Exhaust</b>	
Boost Pressure-Gauge (bar)	0.18
Boost Air Temperature (C)	22
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.13
Exhaust Back Pressure (mmW)	29.0

OK Cancel

Σχήμα 12.15

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

CYLINDER PERFORMANCE DATA	
Simulation	
Engine Speed (rpm)	42.2
Fuel Rack Position (-)	19.2
Total Fuel Consumption (kg/h)	517.0
Power Output (kW)	2405.9
Firing Pressure (bar)	70.7
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	214.9

INLET SYSTEM	
Scavenging Pressure-gauge (bar)	0.18
Scavenging Air Temperature (C)	22.0
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	26408.4
Exhaust Flow (kg/h)	30988.7

EXHAUST SYSTEM	
Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.15
Cylinder Exhaust Temperature (C)	242.5
Turbine Inlet Temperature (C)	277.0
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	29.0

User:   
Vessel:   
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

Σχήμα 12.16



### 12.3.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 15% του Φορτίου

Στο πρώτο στάδιο της προσομοίωσης πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου για το οποίο ζητούνται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα. Επίσης, εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως προκύπτει από την εξίσωση της γραμμής τάσης (Σχήμα 7.22). Στη συνέχεια εισάγεται η τιμή της πίεσης του αέρα σάρωσης (Boost Pressure-Gauge (bar)), η θερμοκρασίας του αέρα σάρωσης (Boost Air Temperature (°C)), της πίεσης του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge (bar)) και της πίεσης του καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure (mmW)) (Σχήμα 12.17). Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν από τις εξισώσεις των γραμμών τάσεως για φορτίο 15%. Τέλος, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 15% του φορτίου (Σχήμα 12.18).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	48.4
Engine Load (%)	15
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	19.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	658.5

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests

Calc.

Component Simulation

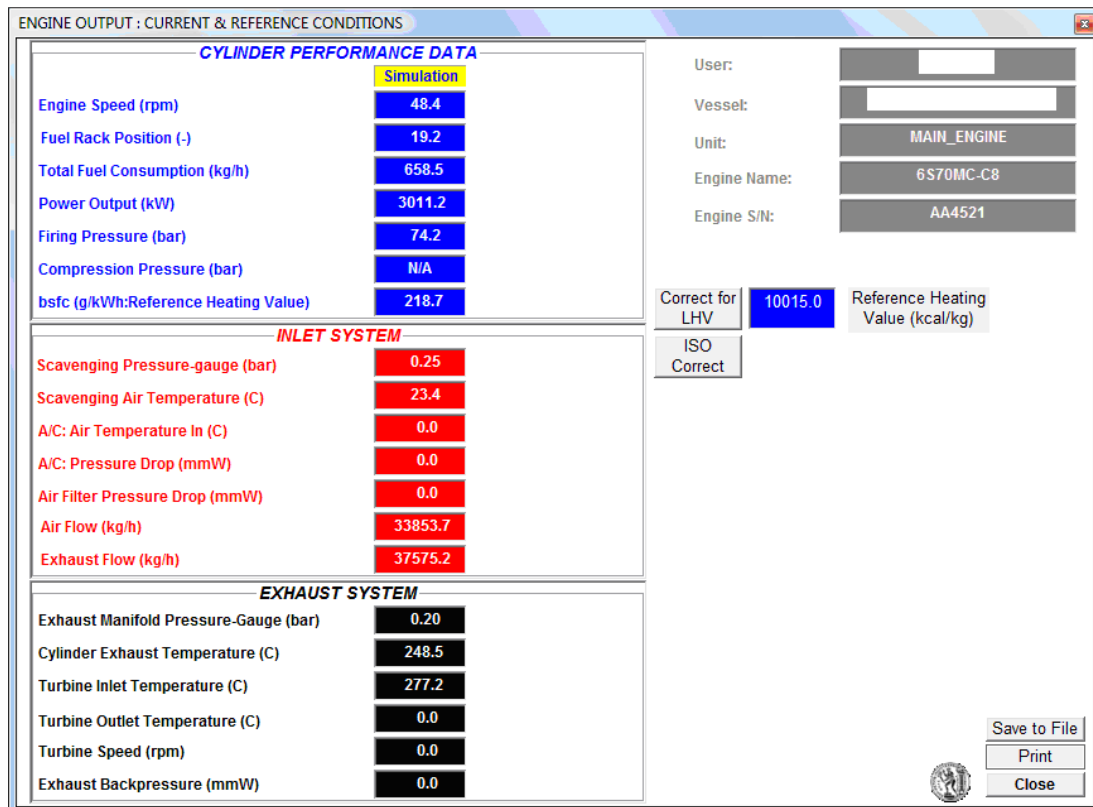
Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	27.8
Room Pressure (mbar)	1043.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	29.0
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	0.25
Boost Air Temperature (C)	23.4
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.18
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

OK Cancel

Σχήμα 12.17



Σχήμα 12.18

### 12.3.3. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 20 % του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο του λογισμικού πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου. Επίσης, εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως προκύπτει από την εξίσωση της γραμμής τάσης για την κατανάλωση καυσίμου (Σχήμα 7.22). Στη συνέχεια εισάγεται η τιμή της πίεσης του αέρα σάρωσης (Boost Pressure-Gauge (bar)), η θερμοκρασία του αέρα σάρωσης (Boost Air Temperature (°C)), της πίεσης του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge (bar)) και της πίεσης του καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure (mmW)) (Σχήμα 12.19) όπως υπολογίστηκαν από τις αντίστοιχες εξισώσεις των γραμμών τάσεως. Τέλος, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 20% του φορτίου (Σχήμα 12.20).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	53.2
Engine Load (%)	20
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	19.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	794

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	27.8
Room Pressure (mbar)	1043.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	29.0

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	0.33
Boost Air Temperature (C)	25.4
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.25
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

**OK** **Cancel**

Σχήμα 12.19

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	53.2
Fuel Rack Position (-)	19.2
Total Fuel Consumption (kg/h)	794.0
Power Output (kW)	3970.6
Firing Pressure (bar)	79.9
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	200.0

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	0.33
Scavenging Air Temperature (C)	25.4
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	39909.3
Exhaust Flow (kg/h)	43233.8

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.27
Cylinder Exhaust Temperature (C)	267.9
Turbine Inlet Temperature (C)	303.0
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	0.0

User:   
Vessel:   
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

**Save to File**  
**Print**  
**Close**

Σχήμα 12.20



#### 12.3.4. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου

Στο παράθυρο “ENGINE OPERATING CONDITIONS”(Σχήμα 12.21) γίνεται η εισαγωγή δεδομένων έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα προσομοίωσης που εμφανίζονται στο παράθυρο “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS”(Σχήματος 12.22). Έτσι, πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (25%), αλλαγή της προπορείας έγχυσης καυσίμου από 1 deg, που είναι η τιμή που προτείνεται από το λογισμικό, σε 2 deg και εισαγωγή της τιμής κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως έχει μετρηθεί για το αντίστοιχο φορτίο στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Επίσης εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 25% του φορτίου όπως αυτές μετρήθηκαν στις Εργοστασιακές Δοκιμές και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure). Έτσι, επιλέγοντας OK προκύπτουν τελικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	57.3
Engine Load (%)	25.0
Injection Timing (deg)	2
Fuel Rack Position (mm)	19.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	905.0

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	27.8
Room Pressure (mbar)	1043.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	29.0
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	0.38
Boost Air Temperature (C)	28.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.28
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests

Calc.

Component Simulation

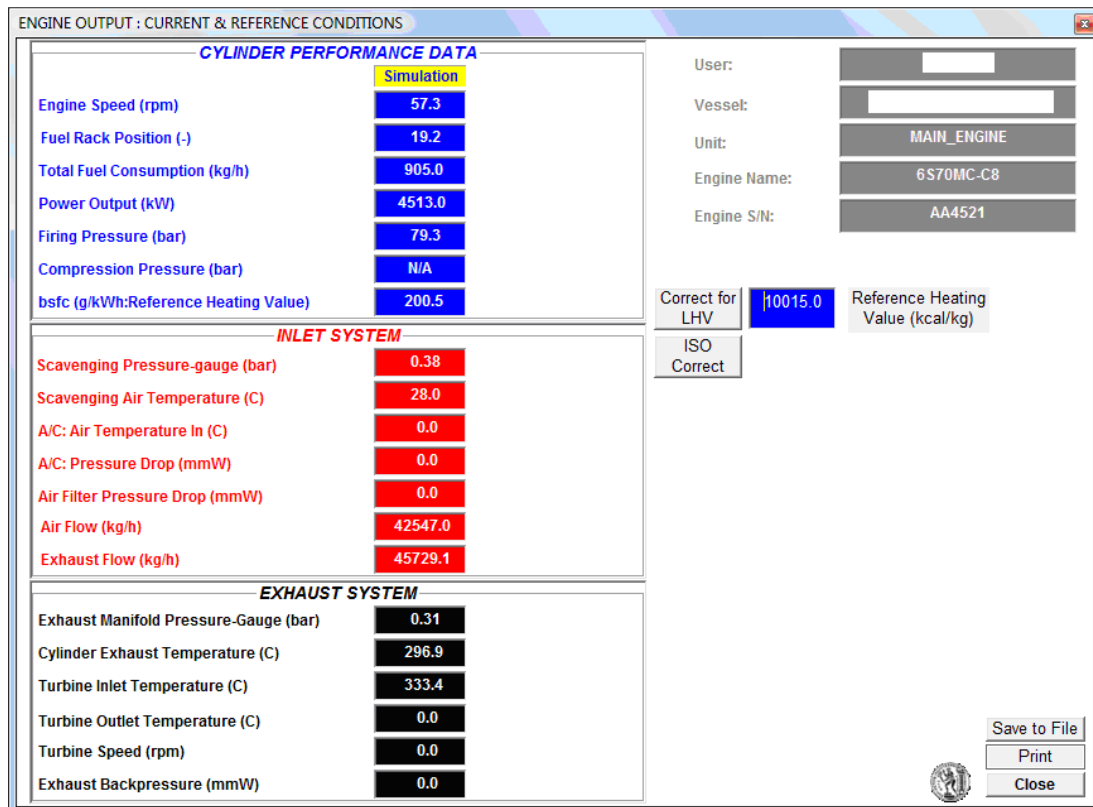
Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 12.21





Σχήμα 12.22

### 12.3.5. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου

Στο πρώτο στάδιο της προσομοίωσης (Σχήμα 12.23) εισάγεται η τιμή του φορτίου (Engine Load %). Κατόπιν, γίνεται εισαγωγή της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως αυτή μετρήθηκε στις εργοστασιακές δοκιμές για το 50% του φορτίου. Επίσης, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually). Έτσι, για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Εργοστασιακών Δοκιμών. Στη συνέχεια, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (Σχήμα 12.24) για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 50%.



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	72.2
Engine Load (%)	49.9
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	70.0
Fuel Flow Rate (kg/h)	1730

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

Induction/Exhaust Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	29.8
Room Pressure (mbar)	1011.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.2

Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	1.15
Boost Air Temperature (C)	31
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.98
Exhaust Back Pressure (mmW)	71.6

OK Cancel

Σχήμα 12.23

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

CYLINDER PERFORMANCE DATA	
Simulation	
Engine Speed (rpm)	72.2
Fuel Rack Position (-)	70.0
Total Fuel Consumption (kg/h)	1730.0
Power Output (kW)	9035.4
Firing Pressure (bar)	110.3
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	191.5

INLET SYSTEM	
Scavenging Pressure-gauge (bar)	1.15
Scavenging Air Temperature (C)	31.0
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	83450.2
Exhaust Flow (kg/h)	85348.9

EXHAUST SYSTEM	
Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.97
Cylinder Exhaust Temperature (C)	310.4
Turbine Inlet Temperature (C)	329.6
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	71.6

User:   
Vessel:   
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

Σχήμα 12.24





### 12.3.6. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75 % του Φορτίου

Για την εκτέλεση της προσομοίωσης από το λογισμικό ζητείται η τιμή του φορτίου (Engine Load (%)). Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) και αυξάνεται η προπορεία έγχυσης καυσίμου από -2 deg που είναι η αρχική τιμή που προτείνεται από το λογισμικό σε -1 deg. Στη συνέχεια, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually) και για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Εργοστασιακών Δοκιμών (Σχήμα 12.25). Τέλος, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 75% του φορτίου (Σχήμα 12.26).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	82.7
Engine Load (%)	75
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	84.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	2535

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	32.3
Room Pressure (mbar)	1010.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	26.3
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	1.90
Boost Air Temperature (C)	35
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.65
Exhaust Back Pressure (mmW)	175.0

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests

Calc.

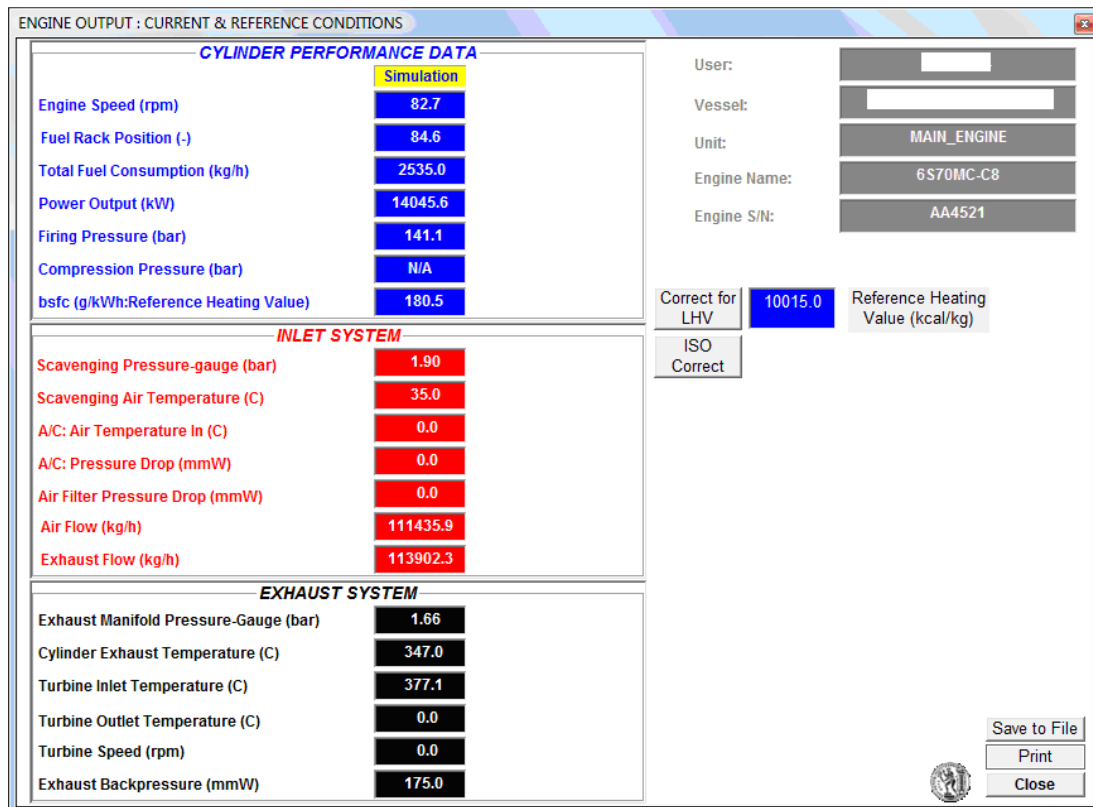
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 12.25



Σχήμα 12.26

### 12.3.7. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο της προσομοίωσης “ENGINE OPERATING SPEED” πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (Engine Load (%)), της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως αυτή μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές και αύξηση της προπορείας έγχυσης καυσίμου από -2 deg σε -1 deg. Κατόπιν, αφού ενεργοποιηθεί η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually), εισάγονται οι τιμές της πίεσης του αέρα σάρωσης (Boost Pressure-Gauge), της θερμοκρασίας του αέρα σάρωσης (Boost Air Temperature), της πίεσης του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και της πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure) (Σχήμα 12.27). Τελικά, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα (Σχήμα 12.28).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	87.9
Engine Load (%)	90
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	94.9
Fuel Flow Rate (kg/h)	3051

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	33.6
Room Pressure (mbar)	1009.7
A/C Water Inlet Temp. (C)	28.6

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	2.39
Boost Air Temperature (C)	38.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.10
Exhaust Back Pressure (mmW)	247.0

**OK** **Cancel**

Σχήμα 12.27

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation

Engine Speed (rpm)	87.9
Fuel Rack Position (-)	94.9
Total Fuel Consumption (kg/h)	3051.0
Power Output (kW)	16853.4
Firing Pressure (bar)	160.1
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	181.0

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	2.39
Scavenging Air Temperature (C)	38.0
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	129506.2
Exhaust Flow (kg/h)	132541.8

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	2.11
Cylinder Exhaust Temperature (C)	367.9
Turbine Inlet Temperature (C)	397.9
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	247.0

User:

Vessel:

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

**Save to File**

**Print**

**Close**

Σχήμα 12.28



### 12.3.8. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο του λογισμικού για την προσομοίωση του κινητήρα γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου (Engine Load (%)). Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως μετρήθηκε στις Εργοστασιακές Δοκιμές. Στη συνέχεια, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually) και για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Εργοστασιακών Δοκιμών (Σχήμα 12.29). Τέλος, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 100% του φορτίου (Σχήμα 12.30).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	91.0
Engine Load (%)	100.0
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	102.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	3418

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	34.4
Room Pressure (mbar)	1009.4
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.2
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.78
Boost Air Temperature (C)	42.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.48
Exhaust Back Pressure (mmW)	297.4

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests

Calc.

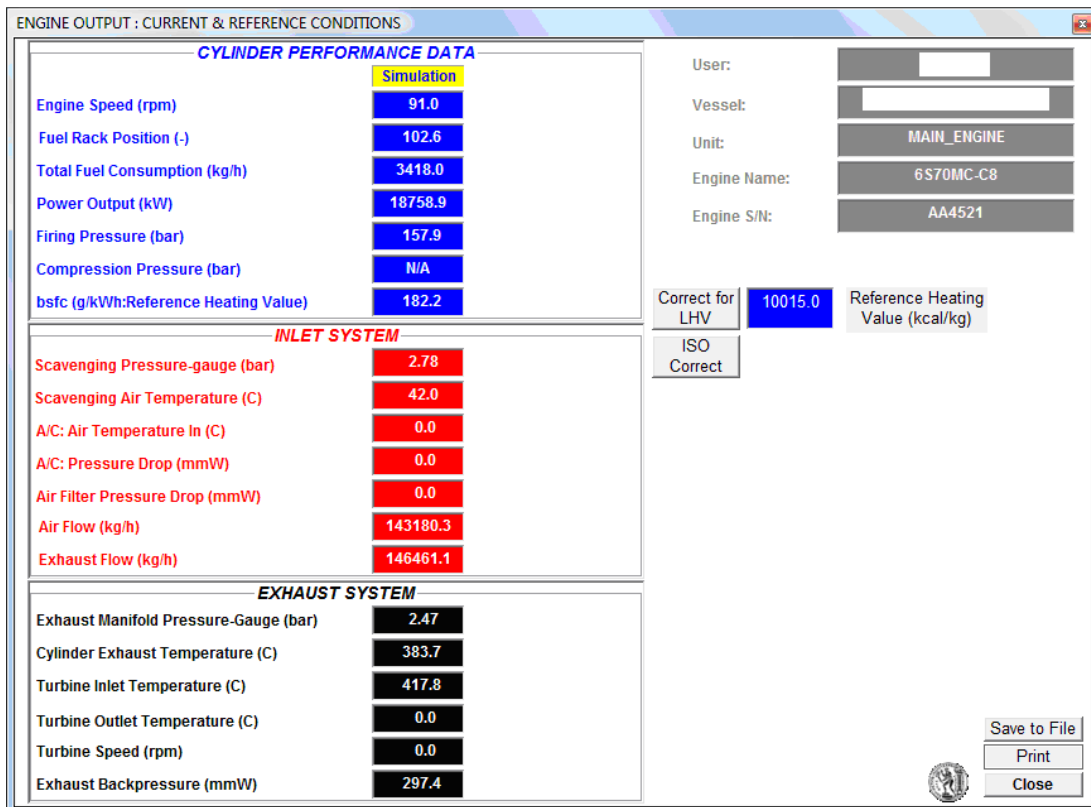
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 12.29



Σχήμα 12.30

### 12.3.9. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου

Αρχικά, στο παράθυρο “ENGINE OPERATING CONDITIONS” (Σχήμα 12.31) γίνεται η εισαγωγή δεδομένων έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα προσομοίωσης που εμφανίζονται στο παράθυρο “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS” (Σχήμα 12.32). Έτσι, πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (110%) και εισαγωγή της τιμής κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)). Επίσης εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 110% του φορτίου όπως αυτές μετρήθηκαν στις Εργοστασιακές Δοκιμές και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure). Στο Σχήμα 12.32 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 110%.



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	93.9
Engine Load (%)	110.0
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	110.9
Fuel Flow Rate (kg/h)	3819

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

Induction/Exhaust	
<b>Ambient Conditions</b>	
Room Air Temperature (C)	35.2
Room Pressure (mbar)	1008.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	31.7
<b>Boost Air/Exhaust</b>	
Boost Pressure-Gauge (bar)	3.15
Boost Air Temperature (C)	46.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.82
Exhaust Back Pressure (mmW)	349.7

OK Cancel

Σχήμα 12.31

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

CYLINDER PERFORMANCE DATA	
Engine Speed (rpm)	93.9
Fuel Rack Position (-)	110.9
Total Fuel Consumption (kg/h)	3819.0
Power Output (kW)	20198.0
Firing Pressure (bar)	157.6
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	189.1

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	3.15
Scavenging Air Temperature (C)	46.0
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	154067.1
Exhaust Flow (kg/h)	157772.9

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	2.82
Cylinder Exhaust Temperature (C)	414.6
Turbine Inlet Temperature (C)	450.5
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	349.7

User: [ ]  
Vessel: [ ]  
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 10015.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

Σχήμα 12.32

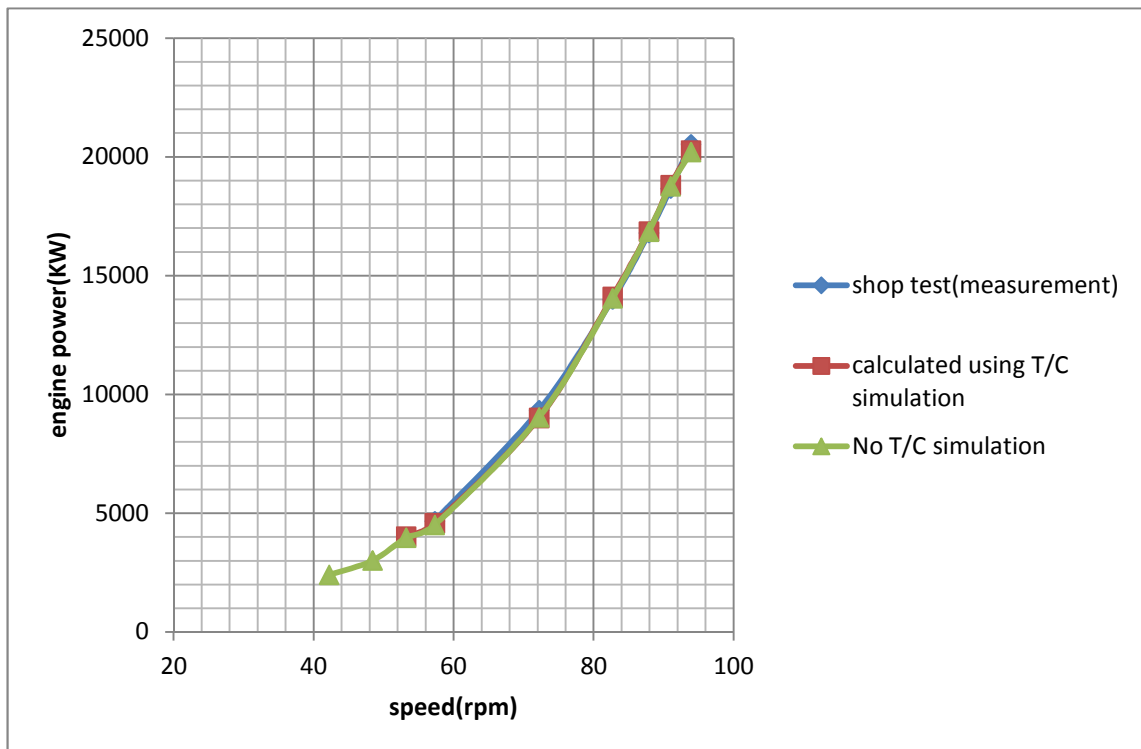


## **12.4. Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Εργοστασιακές Δοκιμές**

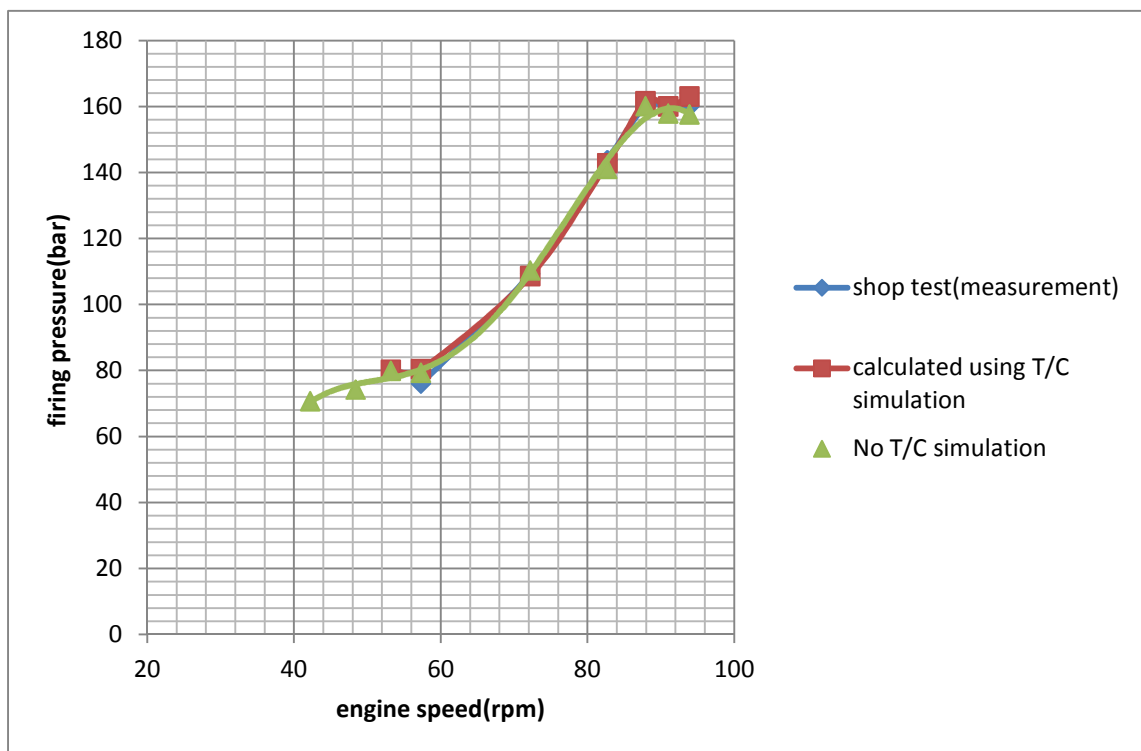
Στην **Παράγραφο 12.4.** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα όπως αυτά προέκυψαν στην **Παράγραφο 12.2** και στην **Παράγραφο 12.3** σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των Εργοστασιακών Δοκιμών. Πλέον στα διαγράμματα εμφανίζονται και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αντιστοιχούν σε χαμηλά φορτία αξιολογώντας στη συνέχεια την προβλεπτική ικανότητα του λογισμικού σε μια περιοχή του φορτίου που δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα. Οι παράμετροι λειτουργίας που παρουσιάζονται στα διαγράμματα είναι:

- Η ισχύς του κινητήρα
- Η μέγιστη πίεση καύσης
- Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων
- Η πίεση του οχετού εξαγωγής
- Η ταχύτητα του υπερπληρωτή
- Η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή
- Η θερμοκρασία καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή
- Η πίεση καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή
- Η πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα
- Η θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα
- Η θερμοκρασία σάρωσης
- Η πίεση σάρωσης
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου



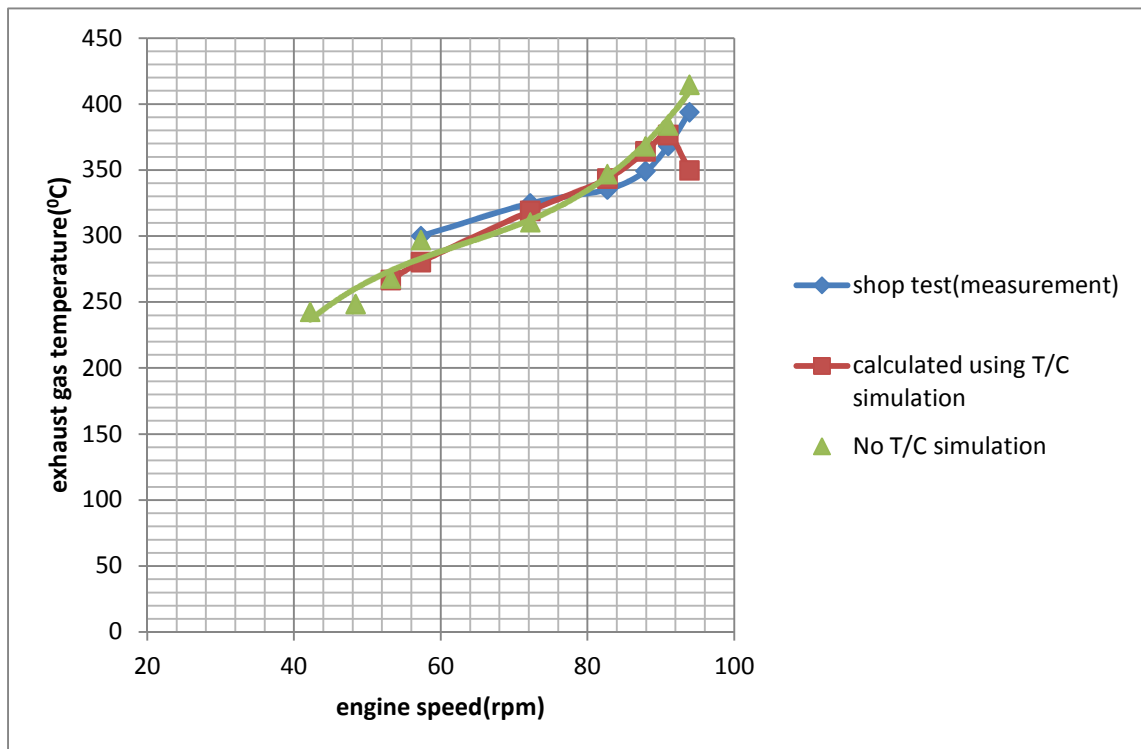


Σχήμα 12.33: Μεταβολή της ισχύος του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης

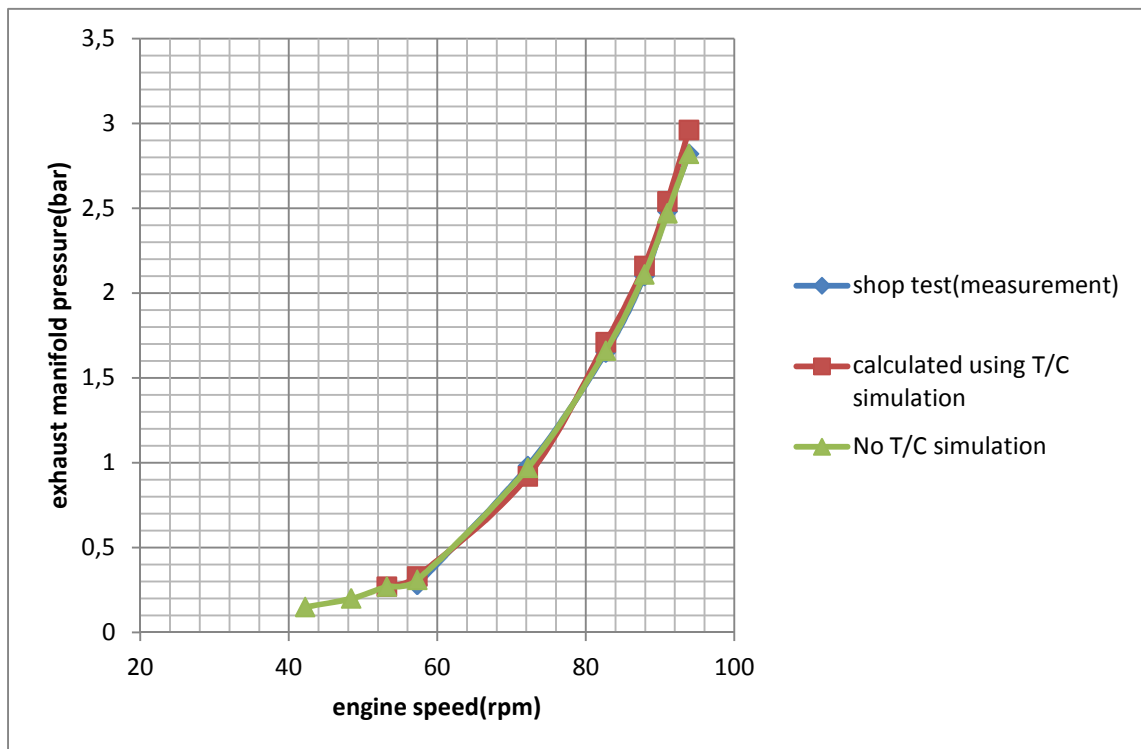


Σχήμα 12.34: Μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης

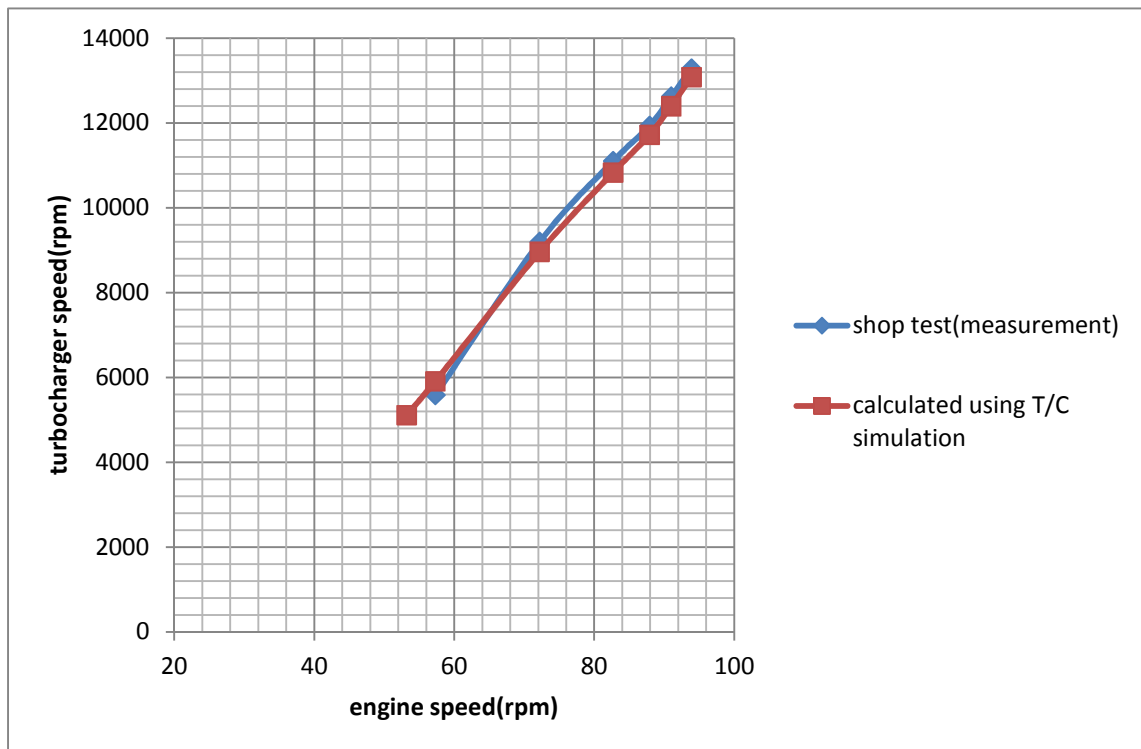




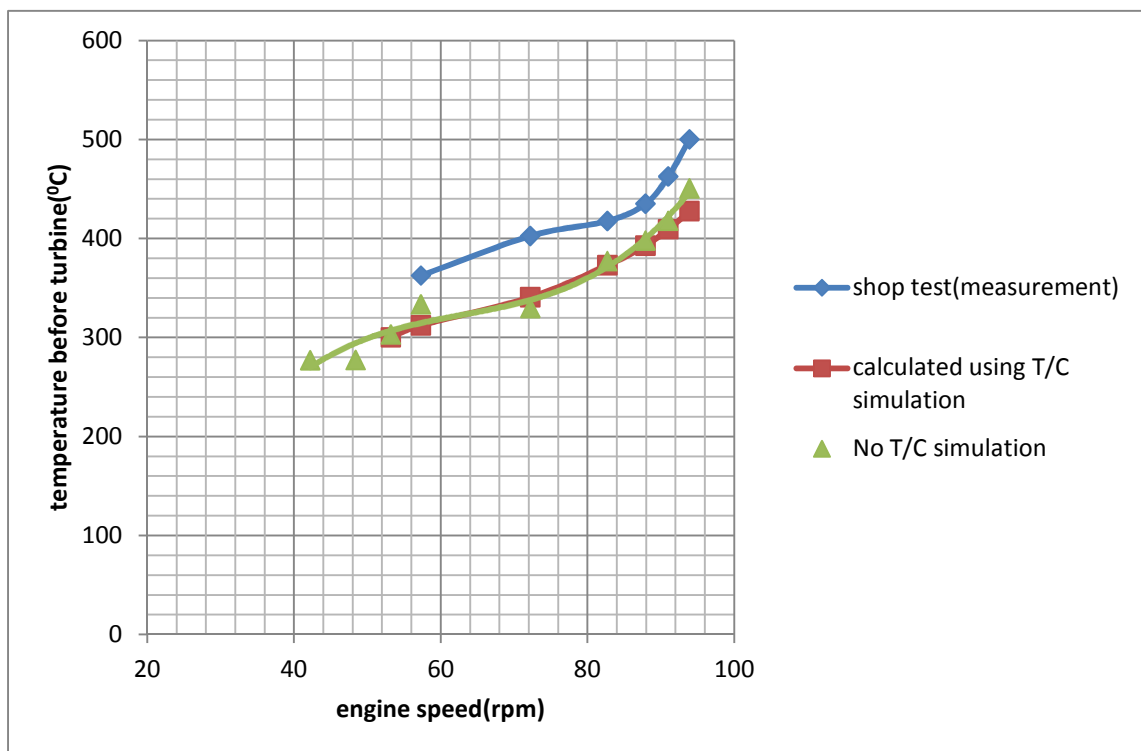
Σχήμα 12.35: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



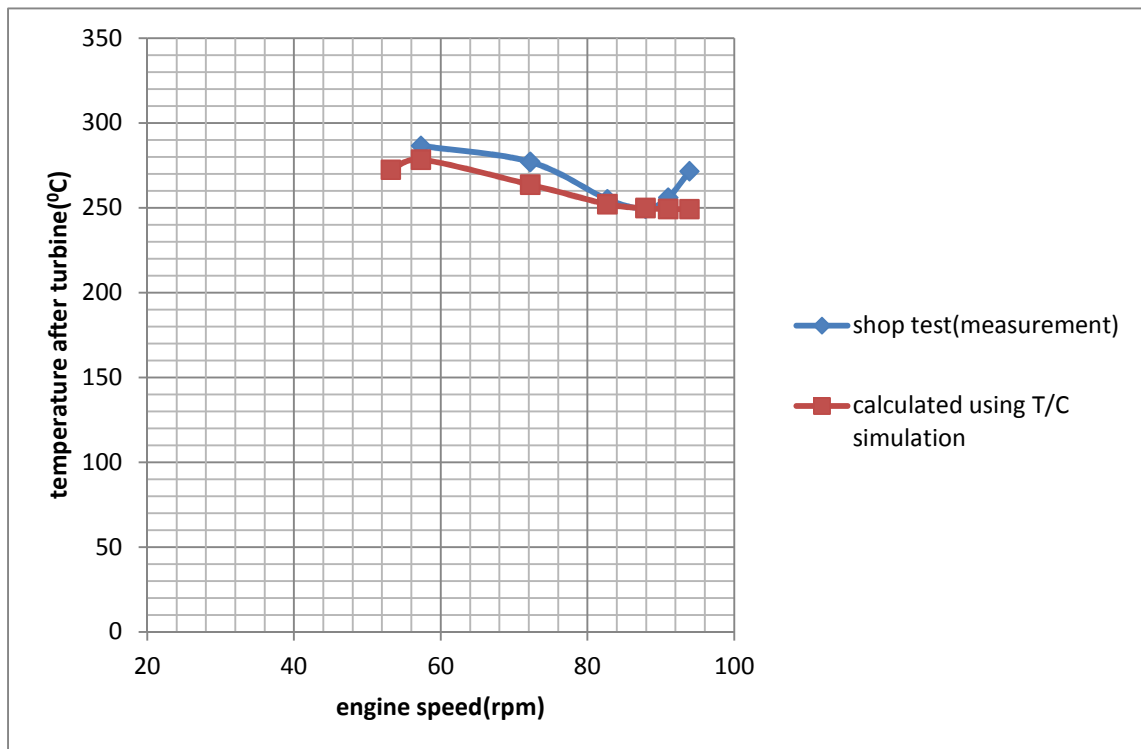
Σχήμα 12.36: Μεταβολή της πίεσης του οχετού εξαγωγής συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



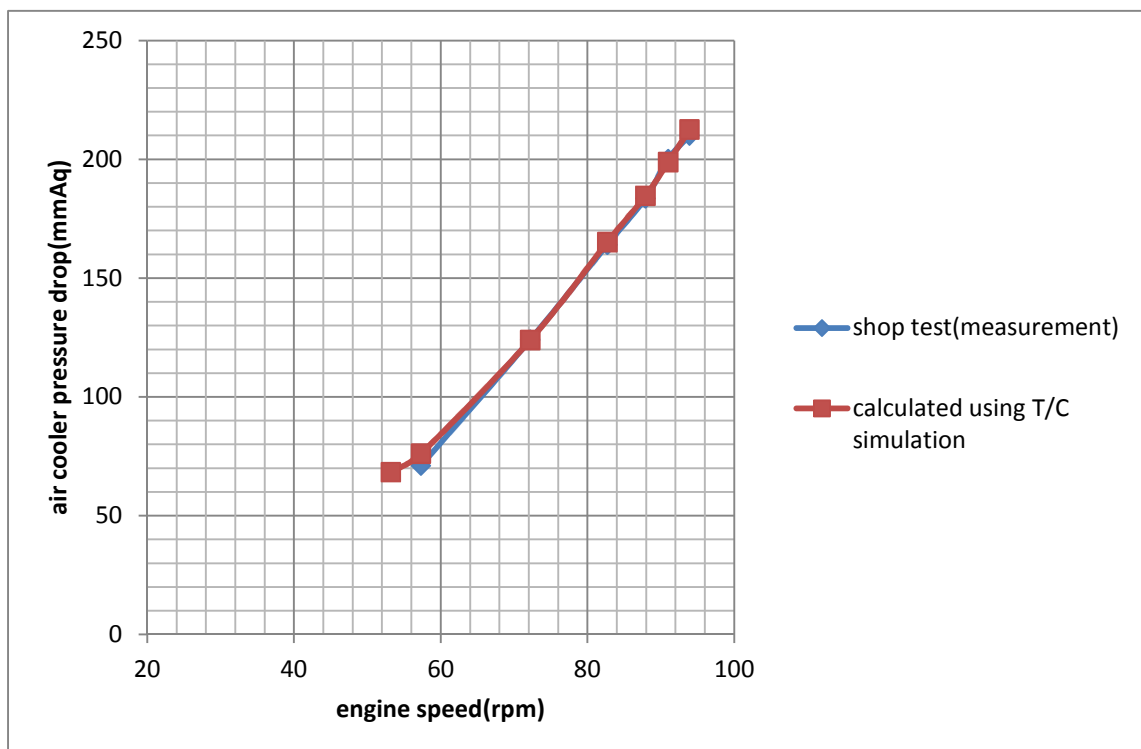
Σχήμα 12.37: Μεταβολή της ταχύτητας του υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



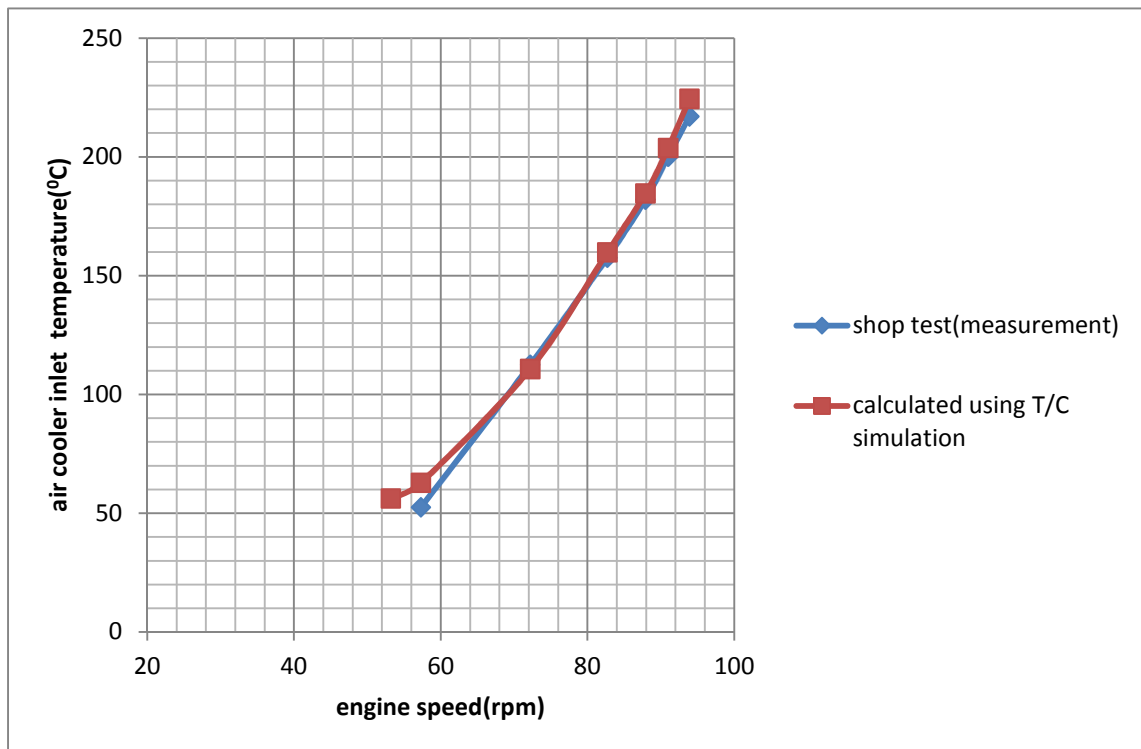
Σχήμα 12.38: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



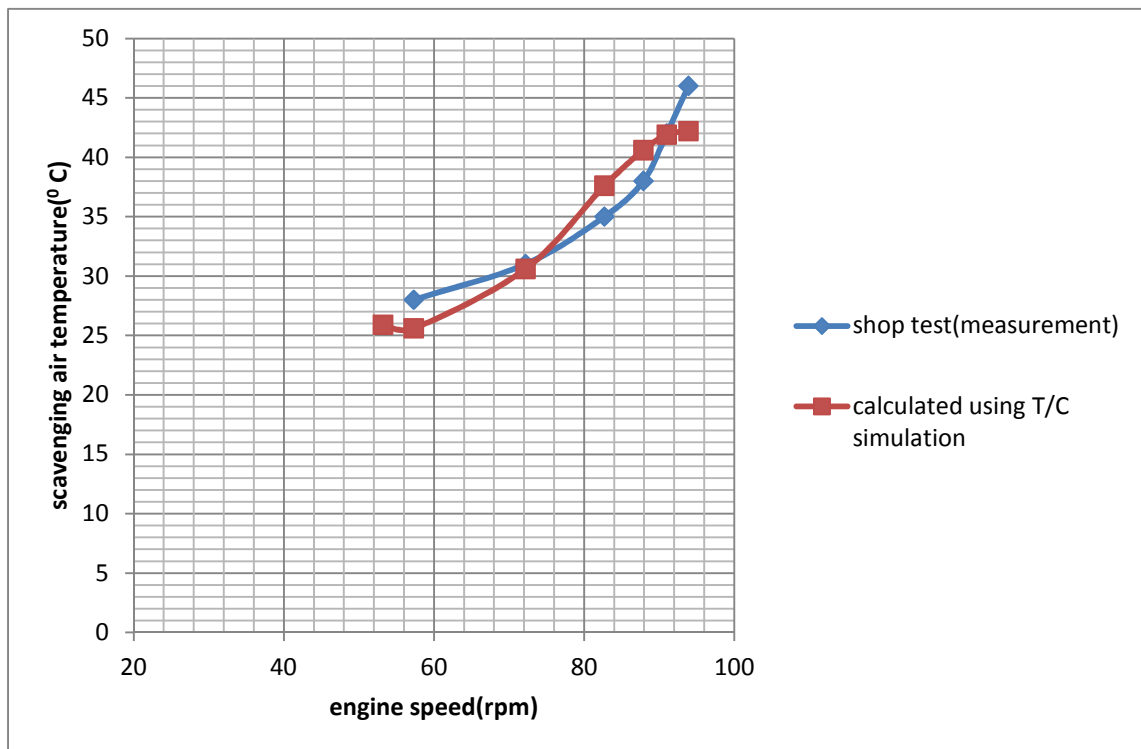
Σχήμα 12.39: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



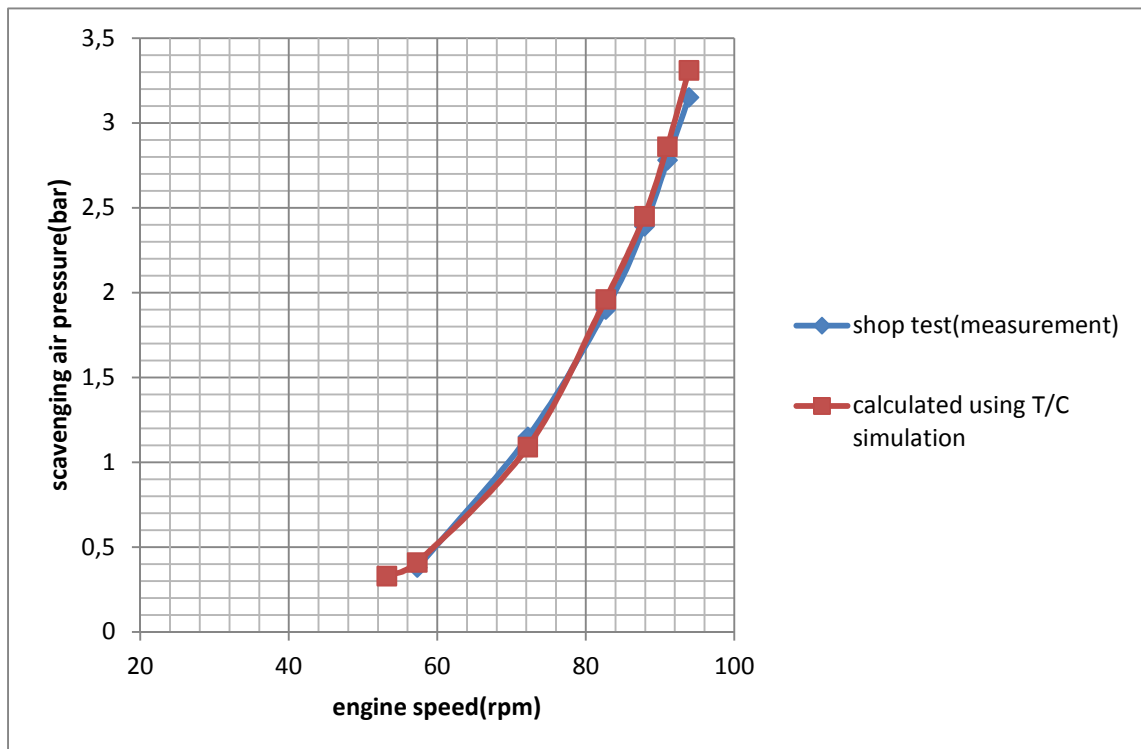
Σχήμα 12.40: Μεταβολή της πτώσης πίεσης στο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



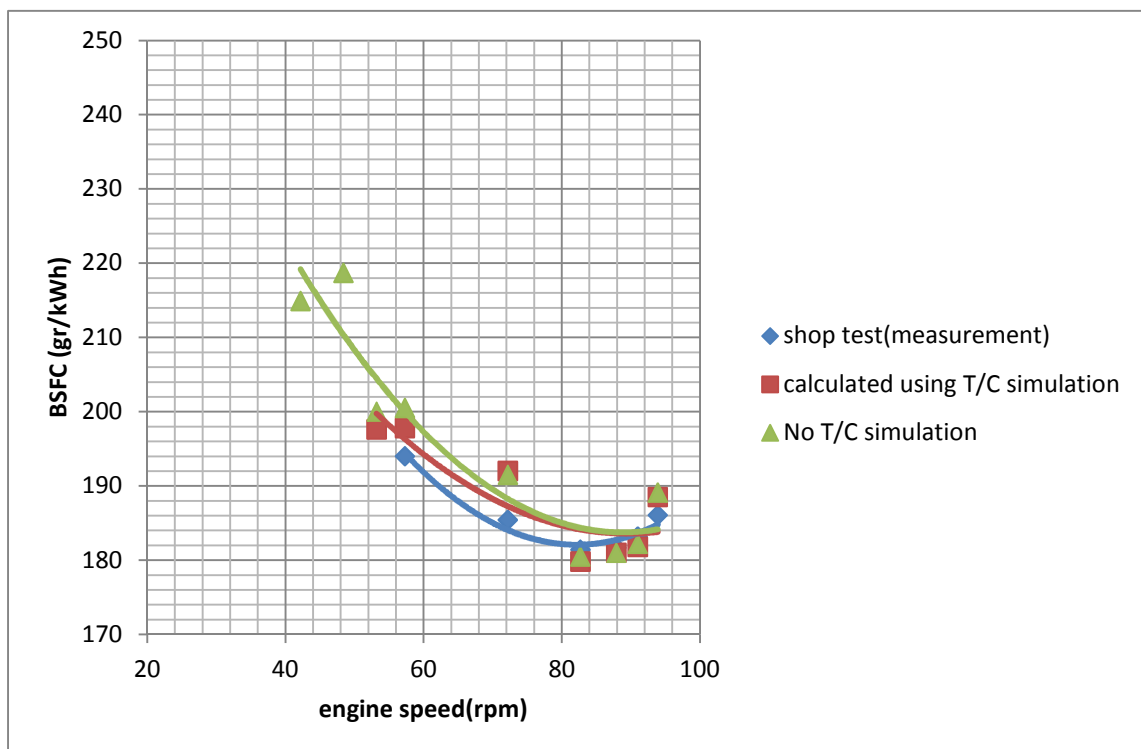
Σχήμα 12.41: Μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 12.42: Μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 12.43: Μεταβολή της πίεσης σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 12.44: Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και το λογισμικό προσομοίωσης



Παρατηρώντας τα Σχήματα 12.33 έως 12.42 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα για την δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού:

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για την ισχύ του κινητήρα η δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού λειτουργεί ικανοποιητικά καθώς τα αποτελέσματα της συμπίπτουν με αυτά των μετρημένων τιμών. Επίσης, το λογισμικό προβλέπει ικανοποιητικά για την περιοχή των χαμηλων φορτίων. Το ίδιο ισχύει και για την μέγιστη πίεση καύσης.

Όσον αφορά στην θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων, για τα αποτελέσματα του λογισμικού που έχουν υπολογιστεί με χρήση της προσομοίωσης του υπερπληρωτή, παρατηρείται ότι η προσομοίωση λειτουργεί καλά με εξαίρεση τις τιμές για φορτία άνω του 100% . Συγκεκριμένα για εύρος φορτίου άνω του 100% το λογισμικό υποτιμά τις τιμές των Εργοστασιακών Δοκιμών κατά ποσοστό 12%. Αυτό οφείλεται στα παρακάτω:

- Ελαφρά υπερεκτίμηση της πίεσης εισαγωγής δηλαδή μεγαλύτερη παροχή αέρα (scavenging air pressure).
- Υποεκτίμηση της θερμοκρασίας του αέρα μετά το ψυγείο (scavenging air temperature).

Το λογισμικό λειτουργεί ικανοποιητικά χωρίς χρήση προσομοίωσης υπερπληρωτή καθώς τα αποτελέσματα που προέκυψαν συμπίπτουν με αυτά των Εργοστασιακών Δοκιμών για μερικό και για πλήρες φορτίο λειτουργίας του κινητήρα.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του λογισμικού είναι ικανοποιητικά όσον αφορά την πίεση του οχετού εξαγωγής. Έτσι, η καμπύλη της μεταβολής της πίεσης του οχετού εξαγωγής συμπίπτει με αυτή των Εργοστασιακών Δοκιμών σε όλο το εύρος φορτίου του κινητήρα. Η προσομοίωση λειτουργεί πολύ καλά δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα και για την ταχύτητα του υπερπληρωτή.

Όσον αφορά την θερμοκρασία του καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή, το λογισμικό υποεκτιμά τα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών κατά το ποσοστό του 12% κατά μέσο όρο για μερικό και πλήρες φορτίο λειτουργίας του κινητήρα.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την θερμοκρασία του καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή προσεγγίζουν πολύ καλά τα αντίστοιχα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών, ενώ αξιόπιστη κρίνεται η προβλεπτική ικανότητα του λογισμικού και για τα φορτία του κινητήρα κάτω του 25%.

Η προσομοίωση προβλέπει ικανοποιητικά όσον αφορά τα αποτελέσματα της πτώσης πίεσης μετά τον υπερπληρωτή, την πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα και την θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα.



*Προσομοίωση Λειτουργικής Συμπεριφοράς Δίχρονου Ναυτικού Κινητήρα Ντήζελ με Βάση τις Εργοστασιακές Δοκιμές και τις Δοκιμές Θαλάσσης με Έμφαση στα Χαμηλά Φορτία*

---

Για τα παραπάνω μεγέθη παρατηρείται σύμπτωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με αυτά των Εργοστασιακών Δοκιμών.

Όσον αφορά την θερμοκρασία σάρωσης, το λογισμικό υποεκτιμά τις μετρήσεις των Εργοστασιακών Δοκιμών για φορτία κάτω του 50% κατά ποσοστό που κυμαίνεται από 10% έως 1%. Για φορτία λειτουργίας του κινητήρα άνω του 50% το λογισμικό υπερεκτιμά τις μετρήσεις κατά ποσοστό 1% έως 7%.

Η λειτουργία προσομοίωσης του λογισμικού προβλέπει ικανοποιητικά όσον αφορά την πίεση σάρωσης καθώς η καμπύλη που αφορά στις Εργοστασιακές Δοκιμές συμπίπτει με αυτή της προσομοίωσης.

Τέλος, όσον αφορά την ειδική κατανάλωση καυσίμου, το λογισμικό λειτουργεί πολύ καλά δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα για μερικό και για πλήρες φορτίο με τις διαφορές των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης από τις μετρημένες τιμές να μην ξεπερνούν το 2%.



## **13. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΕΥΡΟΣ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΘΑΛΑΣΣΗΣ**

### **13.1. Εισαγωγή**

Στην Παράγραφο αυτή γίνεται σύγκριση και αξιολόγηση των τιμών των λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα όπως αυτές προέκυψαν από το λογισμικό με χρήση της προσομοίωσης υπερπληρωτή αλλά και χωρίς αυτή, με τις τιμές αντίστοιχες τιμές όπως αυτές μετρήθηκαν κατά την διάρκεια των Δοκιμών Θαλάσσης. Η αξιολόγηση αυτή είναι ιδιαίτερος σημαντική καθώς η προσομοίωση των Δοκιμών Θαλάσσης αντιστοιχεί σε συνθήκες πραγματικής λειτουργίας του πλοίου.

Η προσομοίωση θα γίνει και για συνθήκες χαμηλού φορτίου του κινητήρα εξακριβώνοντας την δυνατότητα λειτουργίας του προγράμματος και σε αυτό το εύρος του φορτίου για το οποίο δεν έχουν πραγματοποιηθεί Δοκιμές Θαλάσσης. Έτσι, η καλή προβλεπτική ικανότητα του λογισμικού μπορεί να συμβάλει στην σωστή εφαρμογή της αργής πλεύσης (slow steaming). Οι τιμές που προέκυψαν από την προσομοίωση αναφέρονται στα ακόλουθα φορτία του κινητήρα:

- 10%
- 15%
- 20%
- 25%
- 50%
- 75%
- 90%
- 100%
- 110%

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατή η εμφάνιση αποτελεσμάτων από το λογισμικό για φορτία του κινητήρα κάτω του 20% με χρήση της προσομοίωσης υπερπληρωτή. Ως αποτέλεσμα, δεν μπορούν να εξαχθούν αποτελέσματα για τις συγκεκριμένες λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα.





## **13.2. Αποτελέσματα Λογισμικού Χρησιμοποιώντας Προσομοίωση Υπερπληρωτή**

Στην υποπαράγραφο αυτή απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως προκύπτουν από το λογισμικό καθώς και οι αντίστοιχες συνθήκες λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση. Τα αποτελέσματα αυτά αξιοποιούνται στη συνέχεια για να γίνει αξιολόγηση του λογισμικού προσομοίωσης.

### **13.2.1. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 20% του Φορτίου**

Για φορτίο 20% γίνεται εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων στο λογισμικό (**Σχήμα 13.1**). Τα δεδομένα αυτά είναι της τιμής του φορτίου του κινητήρα (Engine Load (%)) και η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως υπολογίστηκε από την γραμμή τάσης της κατανάλωσης καυσίμου για το αντίστοιχο φορτίο. Η εξίσωση της γραμμής τάσης για την κατανάλωση καυσίμου έχει προσδιοριστεί με βάση τις μετρημένες τιμές των Δοκιμών Θαλάσσης (Κεφάλαιο 7). Τα υπόλοιπα στοιχεία συμπληρώνονται αυτόματα από τα δεδομένα του λογισμικού.

Στο **Σχήμα 13.2** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο κινητήρα 20%. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- η συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total Fuel Consumption (kg/h))
- η ισχύς του κινητήρα (Power Output (kW))
- η μέγιστη πίεση καύσης (Firing Pressure (bar))
- η ειδική κατανάλωση καυσίμου (bsfc (gr/kWh))
- η πίεση συμπίεσεως (Compression Pressure (bar))
- η πίεση σάρωσης (Scavenging Pressure-gauge (bar))
- η θερμοκρασία σάρωσης (Scavenging Air Temperature (°C))
- η θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα (A/C: Air Temperature In (°C))
- η πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar))
- η θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων (Cylinder Exhaust Temperature (°C))
- η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή (Turbine Inlet Temperature (°C))
- η ταχύτητα περιστροφής του στροβίλου (Turbine Speed (rpm))
- η πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Backpressure (mmW))



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	53.2
Engine Load (%)	20
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	102.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	706.3

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	34.4
Room Pressure (mbar)	1009.4
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.2

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	2.80
Boost Air Temperature (C)	42.2
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.47
Exhaust Back Pressure (mmW)	297.4

OK Cancel

Σχήμα 13.1

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Engine Speed (rpm)	53.2
Fuel Rack Position (-)	45.6
Total Fuel Consumption (kg/h)	706.3
Power Output (kW)	3320.2
Firing Pressure (bar)	73.8
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	212.7

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	0.23
Scavenging Air Temperature (C)	25.2
A/C: Air Temperature In (C)	47.8
A/C: Pressure Drop (mmW)	55.3
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.9
Air Flow (kg/h)	32856.2
Exhaust Flow (kg/h)	36089.6

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.18
Cylinder Exhaust Temperature (C)	275.4
Turbine Inlet Temperature (C)	313.4
Turbine Outlet Temperature (C)	293.8
Turbine Speed (rpm)	4732.8
Exhaust Backpressure (mmW)	3.5

User:

Vessel:

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

Save to File Print Close

Σχήμα 13.2



### 13.2.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου

Αρχικά, γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου για το οποίο ζητείται πρόβλεψη από το λογισμικό για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα. Επίσης, για το 25% του φορτίου εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως αυτή μετρήθηκε στις Δοκιμές Θαλάσσης. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Δοκιμές Θαλάσσης και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 13.3). Στη συνέχεια, πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την διαφορετικές παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα (Σχήμα 13.4).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	57.3
Engine Load (%)	25.0
Injection Timing (deg)	2
Fuel Rack Position (mm)	52.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	837

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	27.5
Room Pressure (mbar)	1019.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.0
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	0.36
Boost Air Temperature (C)	26.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.28
Exhaust Back Pressure (mmW)	9.9

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

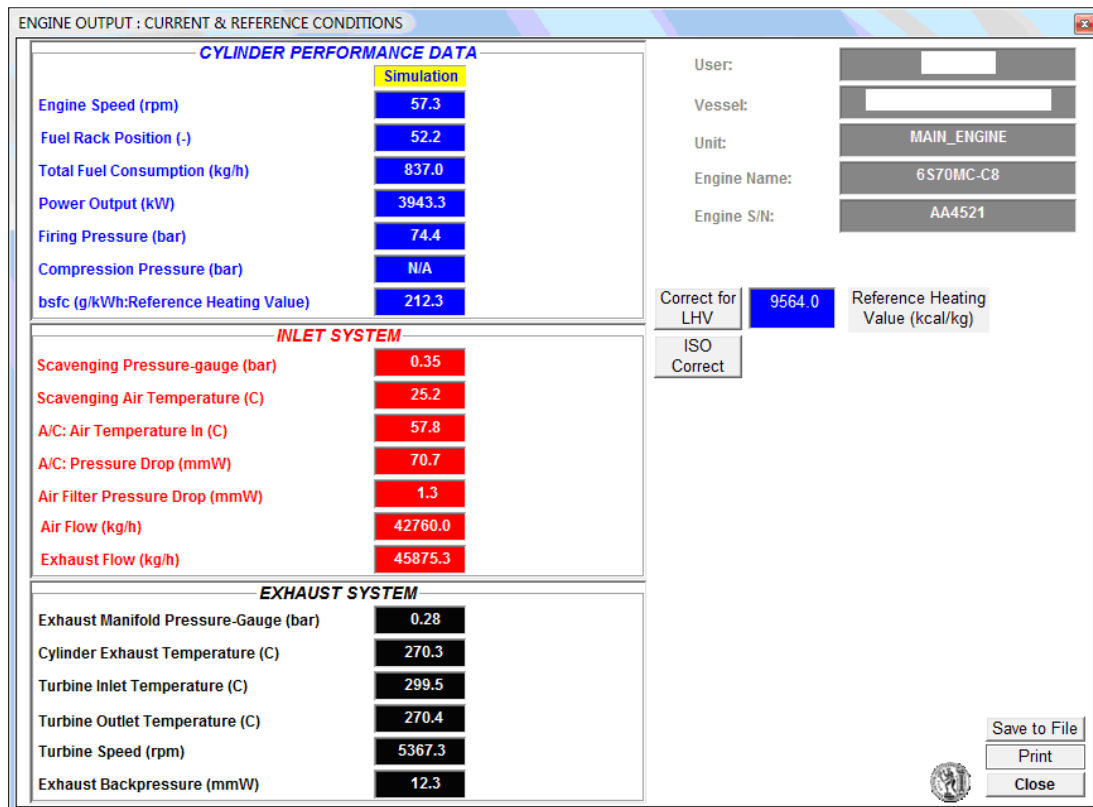
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 13.3



Σχήμα 13.4

### 13.2.3. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου

Αρχικά, στο παράθυρο της προσομοίωσης “ENGINE OPERATING CONDITIONS” εισάγεται η τιμή του φορτίου του κινητήρα. Επίσης, εισάγεται η αντίστοιχη τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) από τις Δοκιμές Θαλάσσης. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (Define Operating Data from Shop Tests) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 13.5). Οι υπόλοιπες παράμετροι λειτουργίας που εμφανίζονται στο παράθυρο καθορίζονται αυτόματα από το λογισμικό. Στη συνέχεια, πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο παράθυρο “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS” που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 50% του φορτίου (Σχήμα 13.6).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	72.2
Engine Load (%)	50
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	70.0
Fuel Flow Rate (kg/h)	1548

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	29.8
Room Pressure (mbar)	1011.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.2

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	1.15
Boost Air Temperature (C)	30.1
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.98
Exhaust Back Pressure (mmW)	71.6

OK Cancel

Σχήμα 13.5

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	72.2
Fuel Rack Position (-)	70.0
Total Fuel Consumption (kg/h)	1548.0
Power Output (kW)	7596.0
Firing Pressure (bar)	97.5
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	203.8

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	0.82
Scavenging Air Temperature (C)	28.9
A/C: Air Temperature In (C)	94.1
A/C: Pressure Drop (mmW)	109.7
Air Filter Pressure Drop (mmW)	2.7
Air Flow (kg/h)	69547.4
Exhaust Flow (kg/h)	71244.6

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.69
Cylinder Exhaust Temperature (C)	307.5
Turbine Inlet Temperature (C)	327.0
Turbine Outlet Temperature (C)	265.7
Turbine Speed (rpm)	8195.6
Exhaust Backpressure (mmW)	53.4

User: [ ]

Vessel: [ ]

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

Save to File

Print

Close

Σχήμα 13.6



#### 13.2.4. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο της λειτουργίας προσομοίωσης του λογισμικού γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου (Engine Load (%)). Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Δοκιμών Θαλάσσης εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως μετρήθηκε στις Δοκιμές Θαλάσσης. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (Define Operating Data from Shop Tests) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation). Ως συνέπεια, δεν χρειάζεται να εισαχθούν τα δεδομένα που αφορούν στην θερμοκρασία σάρωσης (Boost Pressure-Gauge (bar)), στην πίεση σάρωσης (Boost Air Temperature (°C)), στην πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge (bar)) και στην πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Back Pressure (mmW)) (Σχήμα 13.7). Στη συνέχεια, πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 75% του φορτίου (Σχήμα 13.8).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	82.7
Engine Load (%)	75
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	84.5
Fuel Flow Rate (kg/h)	2388.3

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	32.3
Room Pressure (mbar)	1010.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	26.3
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	1.89
Boost Air Temperature (C)	34.9
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.64
Exhaust Back Pressure (mmW)	174.5

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

Component Simulation

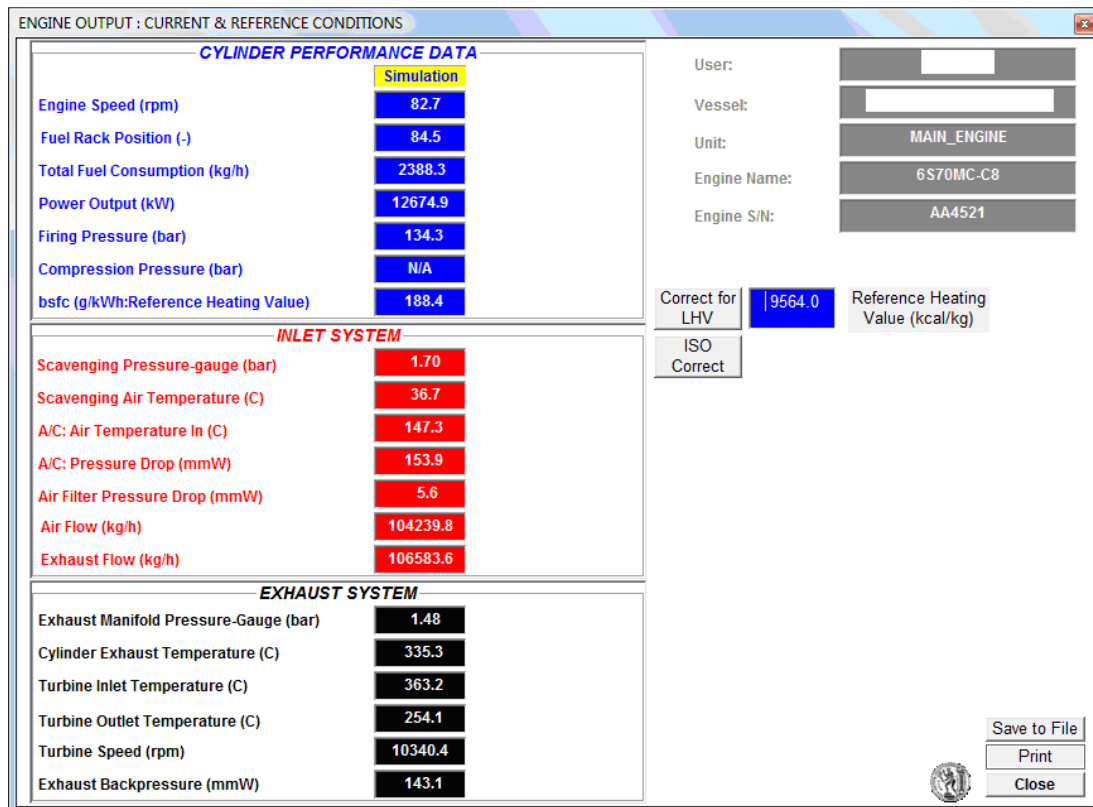
Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 13.7





Σχήμα 13.8

### 13.2.5. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου

Στο παράθυρο της προσομοίωσης “ENGINE OPERATING CONDITIONS” εισάγεται η τιμή του φορτίου του κινητήρα. Επίσης, εισάγεται η αντίστοιχη τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) από τις Δοκιμές Θαλάσσης με στόχο την καλύτερη δυνατή προσέγγιση των μετρημένων τιμών από την προσομοίωση. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές (Define Operating Data from Shop Tests) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 13.9). Οι υπόλοιπες παράμετροι λειτουργίας που εμφανίζονται στο παράθυρο καθορίζονται αυτόματα από το λογισμικό. Στη συνέχεια, πατώντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο παράθυρο “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS” που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 90% του φορτίου (Σχήμα 13.10).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	87.9
Engine Load (%)	90
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	94.8
Fuel Flow Rate (kg/h)	2960.5

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	33.6
Room Pressure (mbar)	1009.7
A/C Water Inlet Temp. (C)	28.6

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	2.41
Boost Air Temperature (C)	39.0
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.12
Exhaust Back Pressure (mmW)	246.5

**OK** **Cancel**

Σχήμα 13.9

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation

Engine Speed (rpm)	87.9
Fuel Rack Position (-)	94.8
Total Fuel Consumption (kg/h)	2960.5
Power Output (kW)	15485.9
Firing Pressure (bar)	151.8
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	191.2

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	2.26
Scavenging Air Temperature (C)	40.4
A/C: Air Temperature In (C)	175.7
A/C: Pressure Drop (mmW)	177.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	7.8
Air Flow (kg/h)	125047.5
Exhaust Flow (kg/h)	128047.0

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	1.98
Cylinder Exhaust Temperature (C)	357.6
Turbine Inlet Temperature (C)	384.8
Turbine Outlet Temperature (C)	250.4
Turbine Speed (rpm)	11383.8
Exhaust Backpressure (mmW)	216.9

User:

Vessel:

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

**Save to File** **Print** **Close**

Σχήμα 13.10





### 13.2.6. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου

Στο παράθυρο του λογισμικού για την προσομοίωση του κινητήρα γίνεται εισαγωγή της τιμής του φορτίου. Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως μετρήθηκε στις Δοκιμές Θαλάσσης. Επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Δοκιμές Θαλάσσης (Define Operating Data From Shop Tests) και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 13.11). Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 100% του φορτίου (Σχήμα 13.12).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	91.0
Engine Load (%)	100
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	102.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	3364.8

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	34.4
Room Pressure (mbar)	1009.4
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.2
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.80
Boost Air Temperature (C)	42.2
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.47
Exhaust Back Pressure (mmW)	297.4

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

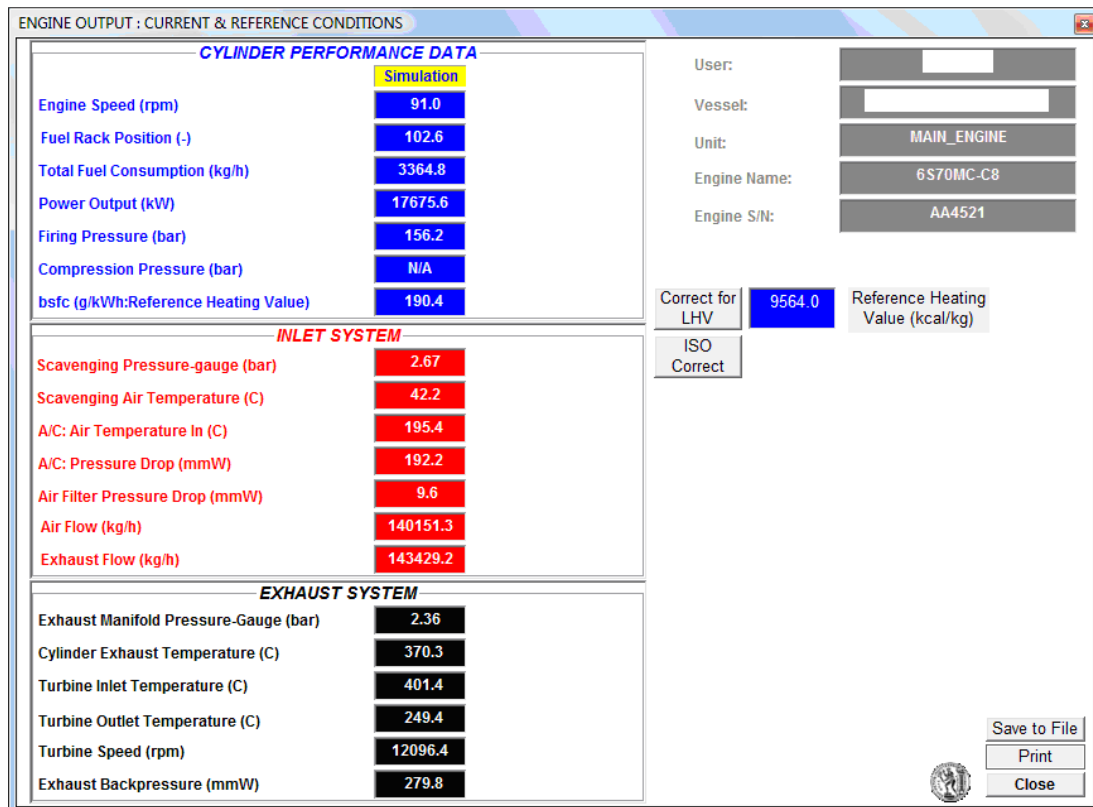
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 13.11



Σχήμα 13.12

### 13.2.7. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου

Αρχικά γίνεται προσδιορισμός της τιμής του φορτίου για το οποίο ζητούνται οι προβλέψεις για τις παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα και αντικατάσταση της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου με την τιμή που μετρήθηκε κατά την διάρκεια των Θαλάσσιων Δοκιμών. Επίσης, επιλέγεται ο προσδιορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τις Εργοστασιακές Δοκιμές και η χρήση της λειτουργίας προσομοίωσης του υπερπληρωτή (Enable T/C Simulation) (Σχήμα 13.13). Στη συνέχεια προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 110% του φορτίου (Σχήμα 13.14).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	93.9
Engine Load (%)	110
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	110.9
Fuel Flow Rate (kg/h)	3793

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	35.2
Room Pressure (mbar)	1008.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	31.7
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	3.20
Boost Air Temperature (C)	45.9
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.86
Exhaust Back Pressure (mmW)	349.7

Options for Operating Data Source:  
 Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

Component Simulation:  
 Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

Buttons: **OK** **Cancel**

Σχήμα 13.13

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

CYLINDER PERFORMANCE DATA	
Simulation	
Engine Speed (rpm)	93.9
Fuel Rack Position (-)	110.9
Total Fuel Consumption (kg/h)	3793.0
Power Output (kW)	19253.8
Firing Pressure (bar)	157.5
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	197.0

INLET SYSTEM	
Scavenging Pressure-gauge (bar)	3.13
Scavenging Air Temperature (C)	42.9
A/C: Air Temperature In (C)	216.5
A/C: Pressure Drop (mmW)	207.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	11.8
Air Flow (kg/h)	156224.8
Exhaust Flow (kg/h)	159967.4

EXHAUST SYSTEM	
Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	2.78
Cylinder Exhaust Temperature (C)	388.4
Turbine Inlet Temperature (C)	419.8
Turbine Outlet Temperature (C)	249.0
Turbine Speed (rpm)	12811.0
Exhaust Backpressure (mmW)	355.4

User: [ ]  
Vessel: [ ]  
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Buttons: **Save to File** **Print** **Close**

Σχήμα 13.14



### 13.3.Αποτελέσματα Λογισμικού Χωρίς τη Χρήση Προσομοίωσης Υπερπληρωτή

Στην υποπαράγραφο αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπως προκύπτουν από το λογισμικό καθώς και οι αντίστοιχες συνθήκες λειτουργίες που χρησιμοποιήθηκαν στη προσομοίωση. Επίσης, η προσομοίωση πραγματοποιείται και για την περιοχή χαμηλού φορτίου, δηλαδή για φορτία του κινητήρα κάτω από το 25% για τα οποία δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρημένες τιμές. Τα αποτελέσματα αυτά αξιοποιούνται στη συνέχεια για να γίνει αξιολόγηση του λογισμικού προσομοίωσης.

#### 13.3.1. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 10% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο του λογισμικού (**Σχήμα 13.15**) γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται από το λογισμικό για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων της προσομοίωσης (**Σχήματος 13.16**).

Έτσι, πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (10%) και εισαγωγή της τιμής κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) υπολογισμένη με χρήση της γραμμής τάσης για την αντίστοιχη ταχύτητα. Η γραμμή τάσης έχει σχεδιαστεί με βάση τα μετρημένα σημεία των Δοκιμών Θαλάσσης (**Κεφάλαιο 7**). Επίσης εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 10% του φορτίου για τον κινητήρα όπως αυτές υπολογίστηκαν από τις εξισώσεις των γραμμών τάσεως, και αφορούν στη πίεση του αέρα σάρωσης (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σάρωσης (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure).

Στο **Σχήμα 13.16** απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 10%. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- η συνολική κατανάλωση καυσίμου (Total Fuel Consumption (kg/h))
- η ισχύς του κινητήρα (Power Output (kW))
- η μέγιστη πίεση καύσης (Firing Pressure (bar))
- η ειδική κατανάλωση καυσίμου (bsfc (gr/kWh))
- η πίεση σάρωσης (Scavenging Pressure-gauge (bar))
- η θερμοκρασία σάρωσης (Scavenging Air Temperature (°C))
- η πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar))



- η θερμοκρασία εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων (Cylinder Exhaust Temperature (°C))
- η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή (Turbine Inlet Temperature (°C))
- η πίεση μετά τον στρόβιλο (Exhaust Backpressure (mmW))

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	42.2
Engine Load (%)	10.0
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	19.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	448.4

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests Calc.

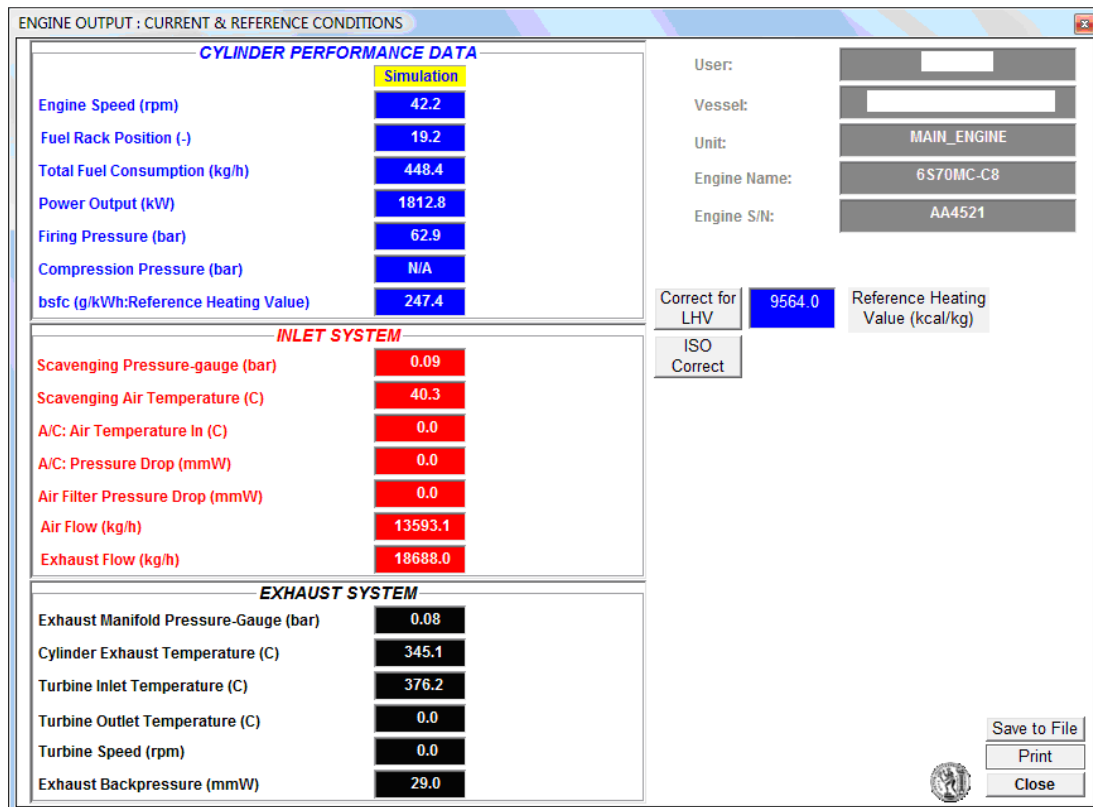
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	27.8
Room Pressure (mbar)	1043.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	29.0
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	0.09
Boost Air Temperature (C)	40.3
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.06
Exhaust Back Pressure (mmW)	29.0

Σχήμα 13.15



Σχήμα 13.16

### 13.3.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 15% του Φορτίου

Αρχικά, πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου για το οποίο ζητούνται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα. Επίσης, εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως προκύπτει από την εξίσωση της γραμμής τάσης (Σχήμα 7.22). Στη συνέχεια εισάγεται η τιμή της πίεσης του αέρα σάρωσης (Boost Pressure-Gauge (bar)), η θερμοκρασίας του αέρα σάρωσης (Boost Air Temperature (°C)), της πίεσης του σχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge (bar)) και της πίεσης του καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure (mmW)) (Σχήμα 13.17). Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν από τις εξισώσεις των γραμμών τάσεως για φορτίο 15%. Τέλος, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 15% του φορτίου (Σχήμα 13.18).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	48.4
Engine Load (%)	15.0
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	35.7
Fuel Flow Rate (kg/h)	579.3

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests Calc.

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

Induction/Exhaust Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	27.3
Room Pressure (mbar)	1031.1
A/C Water Inlet Temp. (C)	25.7

Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	0.14
Boost Air Temperature (C)	40.8
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.1
Exhaust Back Pressure (mmW)	12.8

OK Cancel

Σχήμα 13.17

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

CYLINDER PERFORMANCE DATA	
Engine Speed (rpm)	48.4
Fuel Rack Position (-)	35.7
Total Fuel Consumption (kg/h)	579.3
Power Output (kW)	2555.3
Firing Pressure (bar)	66.9
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	226.7

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	0.14
Scavenging Air Temperature (C)	40.8
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	21857.7
Exhaust Flow (kg/h)	26176.3

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.12
Cylinder Exhaust Temperature (C)	316.6
Turbine Inlet Temperature (C)	356.6
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	12.8

User: [ ]  
Vessel: [ ]  
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Save to File  
Print  
Close

Σχήμα 13.18





### 13.3.3. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 20% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο του λογισμικού πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου. Επίσης, εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως προκύπτει από την εξίσωση της γραμμής τάσης για την κατανάλωση καυσίμου (Σχήμα 7.22) για το 20% του φορτίου του κινητήρα. Στη συνέχεια εισάγεται η τιμή της πίεσης του αέρα σάρωσης (Boost Pressure-Gauge (bar)), η θερμοκρασίας του αέρα σάρωσης (Boost Air Temperature (°C)), της πίεσης του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge (bar)) και της πίεσης του καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure (mmW)) (Σχήμα 13.19) όπως υπολογίστηκαν από τις αντίστοιχες εξισώσεις των γραμμών τάσεως. Έτσι, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 20% του φορτίου (Σχήμα 13.20).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	53.2
Engine Load (%)	20.0
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	45.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	706.3

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	27.3
Room Pressure (mbar)	1023.6
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.9
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	0.20
Boost Air Temperature (C)	41.2
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.14
Exhaust Back Pressure (mmW)	0.0

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests

Calc.

Component Simulation

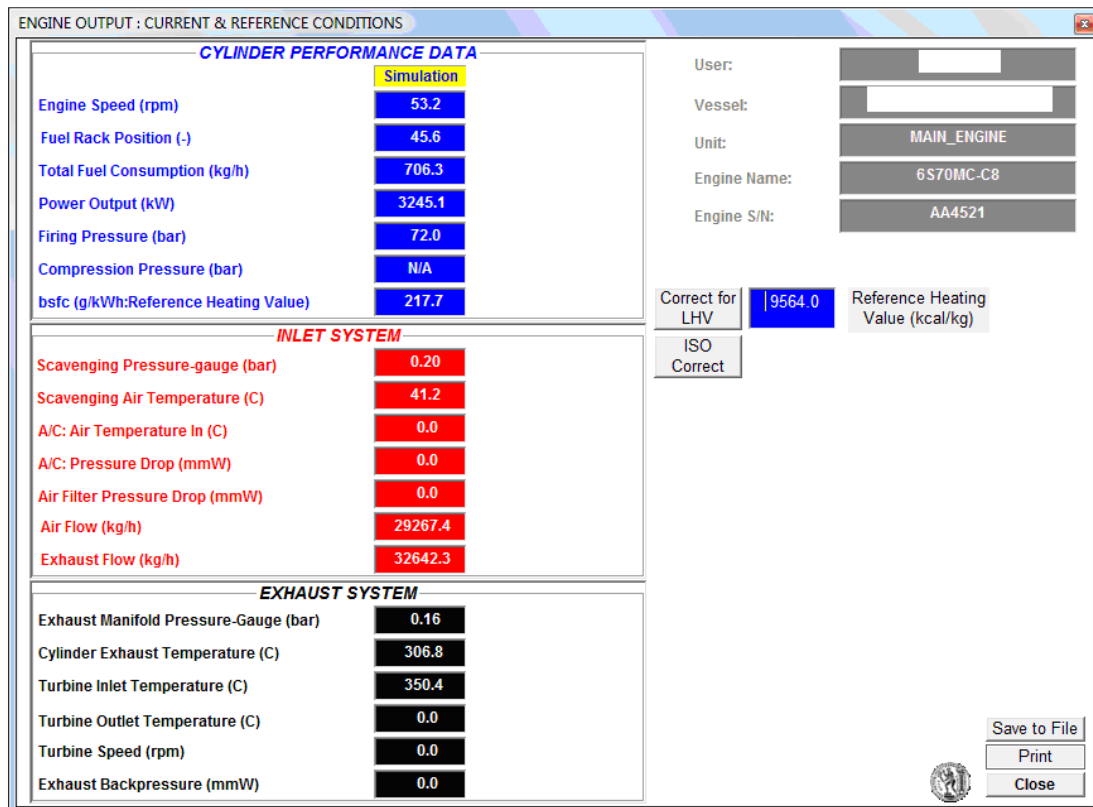
Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 13.19





Σχήμα 13.20

#### 13.3.4. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 25% του Φορτίου

Στο αρχικό παράθυρο της προσομοίωσης “ENGINE OPERATING SPEED” πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (Engine Load (%)) και της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)). Κατόπιν, αφού ενεργοποιηθεί η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually), εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 25% του φορτίου όπως αυτές μετρήθηκαν στις Δοκιμές Θαλάσσης και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεση αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure) (Σχήμα 13.21). Τελικά, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα (Σχήμα 13.22).



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	57.3
Engine Load (%)	25.0
Injection Timing (deg)	2
Fuel Rack Position (mm)	52.2
Fuel Flow Rate (kg/h)	837

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	27.5
Room Pressure (mbar)	1019.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.0

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	0.27
Boost Air Temperature (C)	41.5
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.2
Exhaust Back Pressure (mmW)	9.9

**OK** **Cancel**

Σχήμα 13.21

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Engine Speed (rpm)	57.3
Fuel Rack Position (-)	52.2
Total Fuel Consumption (kg/h)	837.0
Power Output (kW)	3742.1
Firing Pressure (bar)	70.8
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	223.7

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	0.27
Scavenging Air Temperature (C)	41.5
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	35314.2
Exhaust Flow (kg/h)	38437.3

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	0.22
Cylinder Exhaust Temperature (C)	311.4
Turbine Inlet Temperature (C)	349.4
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	9.9

User:

Vessel:

Unit: MAIN\_ENGINE

Engine Name: 6S70MC-C8

Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)

ISO Correct

**Save to File** **Print** **Close**

Σχήμα 13.22



### 13.3.5. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 50% του Φορτίου

Στο πρώτο στάδιο της προσομοίωσης (Σχήμα 13.23) καθορίζεται η τιμή του φορτίου του κινητήρα (Engine Load (%)). Κατόπιν, για την εξαγωγή τιμών όσο το δυνατόν πιο κοντά στις πραγματικές τιμές γίνεται εισαγωγή της τιμής της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)) όπως υπολογίστηκε από την γραμμή τάσης. Επίσης, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually). Έτσι, για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Θαλάσσιων Δοκιμών. Στη συνέχεια επιλέγοντας OK προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (Σχήμα 13.24) για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 100%.

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	72.2
Engine Load (%)	50
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	70.0
Fuel Flow Rate (kg/h)	1548

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	29.8
Room Pressure (mbar)	1011.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	23.2
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	0.77
Boost Air Temperature (C)	42.8
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	0.62
Exhaust Back Pressure (mmW)	71.6

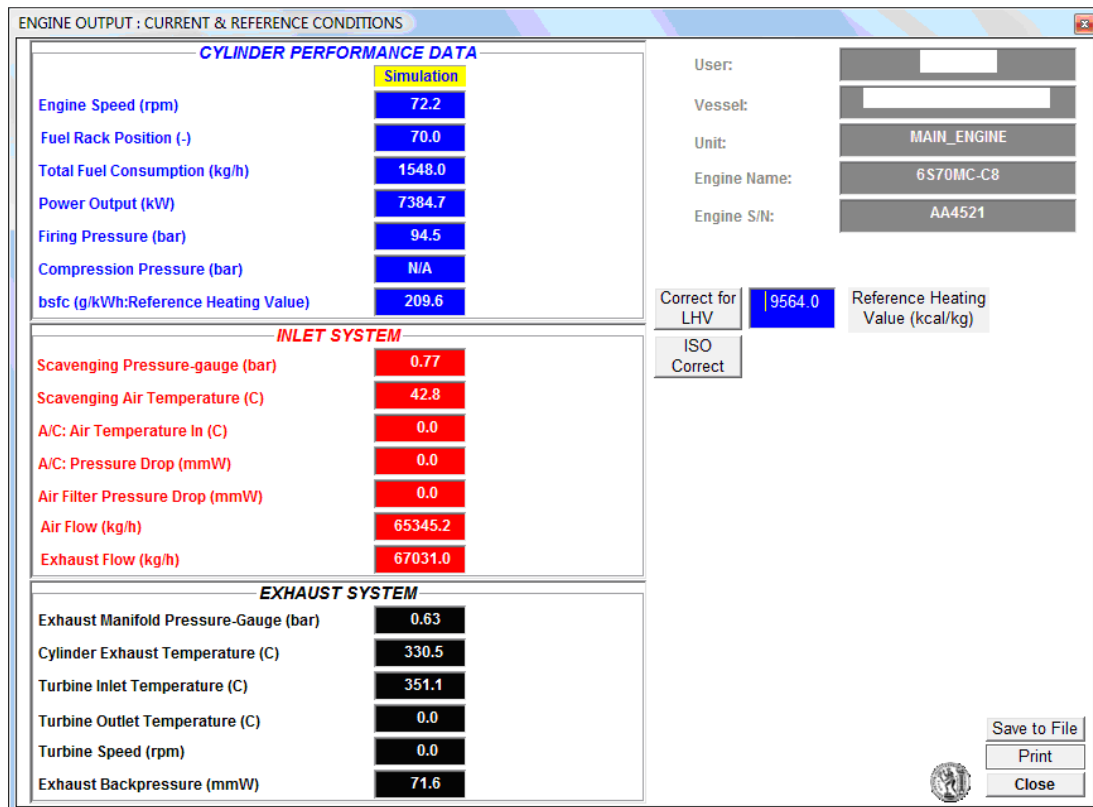
Options for Operating Data Source

- Define Operating Data Manually
- Define Operating Data from Shop Tests

Component Simulation

- Enable Fuel Rack Simulation
- Enable T/C Simulation

Σχήμα 13.23



Σχήμα 13.24

### 13.3.6. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 75% του Φορτίου

Αρχικά, στο παράθυρο “ENGINE OPERATING CONDITIONS”(Σχήμα 13.25) γίνεται η εισαγωγή δεδομένων έτσι ώστε να προκύψουν τα τελικά αποτελέσματα προσομοίωσης που εμφανίζονται στο παράθυρο “ENGINE OUTPUT: CURRENT & REFERENCE CONDITIONS”(Σχήμα 13.26). Έτσι, πραγματοποιείται εισαγωγή της τιμής του φορτίου του κινητήρα (75%) και εισαγωγή της τιμής κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)). Επίσης εισάγονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε 75% του φορτίου όπως αυτές μετρήθηκαν στις Δοκιμές Θαλάσσης και αφορούν στη πίεση του αέρα σαρώσεως (Boost Pressure-Gauge), στη θερμοκρασία του αέρα σαρώσεως (Boost Air Temperature), στη πίεση του οχετού εξαγωγής (Exhaust Pressure-Gauge) και στη πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Exhaust Back Pressure). Στο Σχήμα 12.32 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους για φορτίο 75%.



**ENGINE OPERATING CONDITIONS**

**Main Engine Data**

Engine Speed (rpm)	82.7
Engine Load (%)	75
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	84.5
Fuel Flow Rate (kg/h)	2388.3

**Options for Operating Data Source**

Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests **Calc.**

**Component Simulation**

Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

**Induction/Exhaust**

**Ambient Conditions**

Room Air Temperature (C)	32.3
Room Pressure (mbar)	1010.0
A/C Water Inlet Temp. (C)	26.3

**Boost Air/Exhaust**

Boost Pressure-Gauge (bar)	1.63
Boost Air Temperature (C)	43.6
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	1.4
Exhaust Back Pressure (mmW)	174.5

**OK** **Cancel**

Σχήμα 13.25

**ENGINE OUTPUT : CURRENT & REFERENCE CONDITIONS**

**CYLINDER PERFORMANCE DATA**

Simulation	
Engine Speed (rpm)	82.7
Fuel Rack Position (-)	84.5
Total Fuel Consumption (kg/h)	2388.3
Power Output (kW)	12611.1
Firing Pressure (bar)	131.8
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	189.4

**INLET SYSTEM**

Scavenging Pressure-gauge (bar)	1.63
Scavenging Air Temperature (C)	43.6
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	99399.4
Exhaust Flow (kg/h)	101721.4

**EXHAUST SYSTEM**

Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	1.42
Cylinder Exhaust Temperature (C)	355.8
Turbine Inlet Temperature (C)	385.9
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	174.5

User:   
Vessel:   
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

**Save to File**  
**Print**  
**Close**

Σχήμα 13.26



### 13.3.7. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 90% του Φορτίου

Για να γίνει η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης από το λογισμικό πρέπει να πραγματοποιηθεί εισαγωγή των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα. Οι παράμετροι αυτές είναι η τιμή του φορτίου του κινητήρα (Engine Load (%)). Επίσης, για την καλύτερη προσέγγιση των τιμών των Εργοστασιακών Δοκιμών εισάγεται η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow Rate (kg/h)). Στη συνέχεια, επιλέγεται ο καθορισμός των δεδομένων λειτουργίας από τον χρήστη (Define Operating Data Manually) και για τις τιμές του πεδίου “Boost Air/Exhaust” εισάγονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των Θαλάσσιων Δοκιμών (Σχήμα 13.27). Τέλος, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν στις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα για το 75% του φορτίου (Σχήμα 13.28).

Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	87.9
Engine Load (%)	90
Injection Timing (deg)	-1
Fuel Rack Position (mm)	94.8
Fuel Flow Rate (kg/h)	2960.5

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	33.6
Room Pressure (mbar)	1009.7
A/C Water Inlet Temp. (C)	28.6
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.35
Boost Air Temperature (C)	44.1
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.09
Exhaust Back Pressure (mmW)	246.5

Options for Operating Data Source

Define Operating Data Manually

Define Operating Data from Shop Tests

Calc.

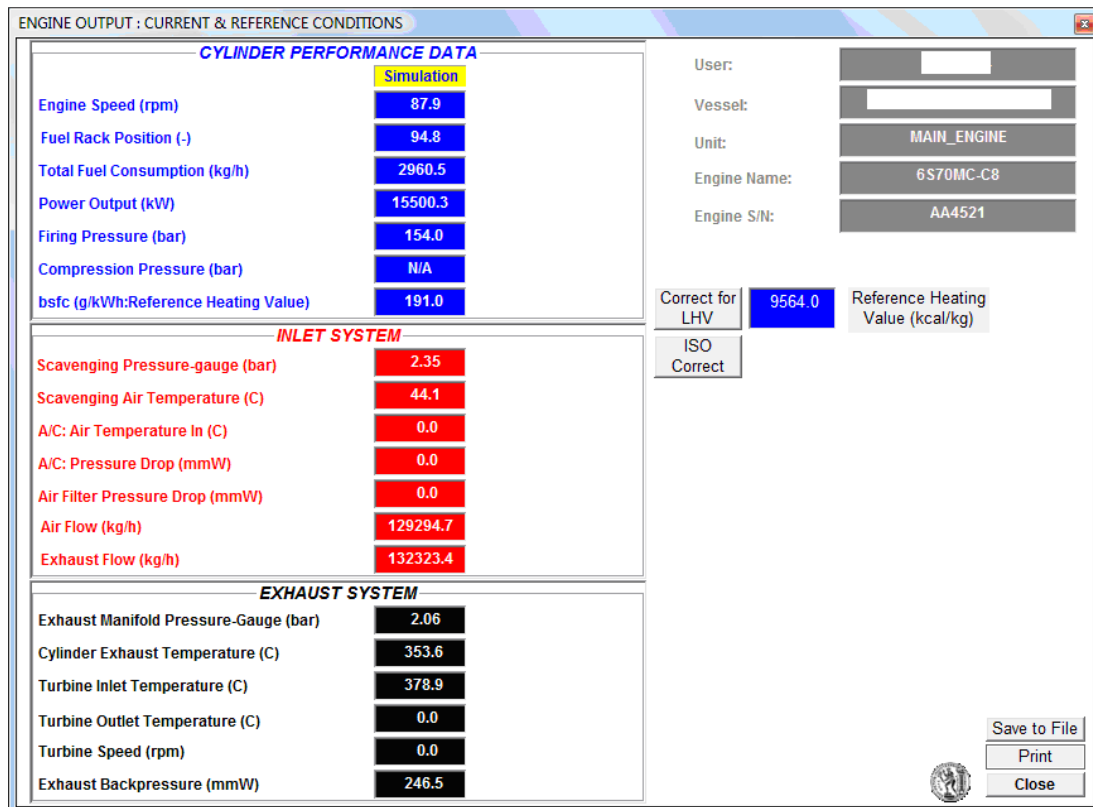
Component Simulation

Enable Fuel Rack Simulation

Enable T/C Simulation

OK Cancel

Σχήμα 13.27



Σχήμα 13.28

### 13.3.8. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 100% του Φορτίου

Για 100% του φορτίου του κινητήρα, γίνεται εισαγωγή των τιμών της θερμοκρασίας σάρωσης, της πίεση σάρωσης, της πίεσης του οχετού των κυλίνδρων και της πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Σχήμα 13.29). Επίσης εισάγεται και η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου όπως υπολογίστηκε από την γραμμή τάσης. Έτσι, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (Σχήμα 13.30).





Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	91.0
Engine Load (%)	100.0
Injection Timing (deg)	0
Fuel Rack Position (mm)	102.6
Fuel Flow Rate (kg/h)	3364.8

Induction/Exhaust Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	34.4
Room Pressure (mbar)	1009.4
A/C Water Inlet Temp. (C)	30.2

Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	2.93
Boost Air Temperature (C)	44.4
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	2.65
Exhaust Back Pressure (mmW)	297.4

Options for Operating Data Source:  
 Define Operating Data Manually  
 Define Operating Data from Shop Tests [Calc.]

Component Simulation:  
 Enable Fuel Rack Simulation  
 Enable T/C Simulation

Buttons: OK, Cancel

Σχήμα 13.29

CYLINDER PERFORMANCE DATA	
Engine Speed (rpm)	91.0
Fuel Rack Position (-)	102.6
Total Fuel Consumption (kg/h)	3364.8
Power Output (kW)	17734.0
Firing Pressure (bar)	162.9
Compression Pressure (bar)	N/A
bsfc (g/kWh:Reference Heating Value)	189.7

INLET SYSTEM	
Scavenging Pressure-gauge (bar)	2.93
Scavenging Air Temperature (C)	44.4
A/C: Air Temperature In (C)	0.0
A/C: Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Filter Pressure Drop (mmW)	0.0
Air Flow (kg/h)	153830.8
Exhaust Flow (kg/h)	157135.9

EXHAUST SYSTEM	
Exhaust Manifold Pressure-Gauge (bar)	2.58
Cylinder Exhaust Temperature (C)	344.1
Turbine Inlet Temperature (C)	370.6
Turbine Outlet Temperature (C)	0.0
Turbine Speed (rpm)	0.0
Exhaust Backpressure (mmW)	297.4

User: [ ]  
Vessel: [ ]  
Unit: MAIN\_ENGINE  
Engine Name: 6S70MC-C8  
Engine S/N: AA4521

Correct for LHV: 9564.0 Reference Heating Value (kcal/kg)  
ISO Correct

Buttons: Save to File, Print, Close

Σχήμα 13.30





### 13.3.9. Αποτελέσματα Προσομοίωσης για το 110% του Φορτίου

Αρχικά, για 110% του φορτίου του κινητήρα, γίνεται εισαγωγή των τιμών της θερμοκρασίας σάρωσης, της πίεση σάρωσης, της πίεσης του οχετού των κυλίνδρων και της πίεσης αντίθλιψης μετά τον υπερπληρωτή (Σχήμα 13.31). Οι τιμές αυτές υπολογίστηκαν από τις εξισώσεις των αντίστοιχων γραμμών τάσεως. Επίσης εισάγεται και η τιμή της κατανάλωσης καυσίμου. Τελικά, προκύπτουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης (Σχήμα 13.32).

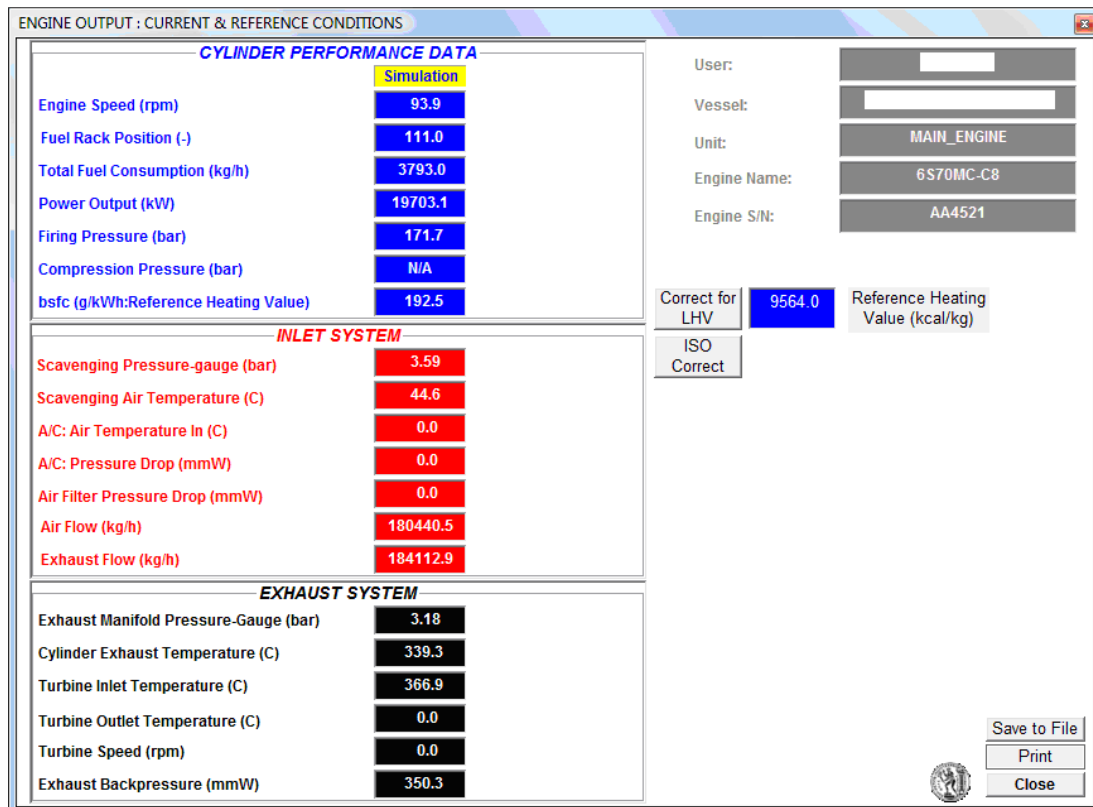
Main Engine Data	
Engine Speed (rpm)	93.9
Engine Load (%)	110
Injection Timing (deg)	1
Fuel Rack Position (mm)	111.0
Fuel Flow Rate (kg/h)	3793

Options for Operating Data Source	
<input checked="" type="checkbox"/> Define Operating Data Manually	Calc.
<input type="checkbox"/> Define Operating Data from Shop Tests	

Component Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable Fuel Rack Simulation	
<input type="checkbox"/> Enable T/C Simulation	

Induction/Exhaust	
Ambient Conditions	
Room Air Temperature (C)	35.2
Room Pressure (mbar)	1008.8
A/C Water Inlet Temp. (C)	31.8
Boost Air/Exhaust	
Boost Pressure-Gauge (bar)	3.59
Boost Air Temperature (C)	44.6
Exhaust Pressure-Gauge (bar)	3.31
Exhaust Back Pressure (mmW)	350.3

Σχήμα 13.31



Σχήμα 13.32

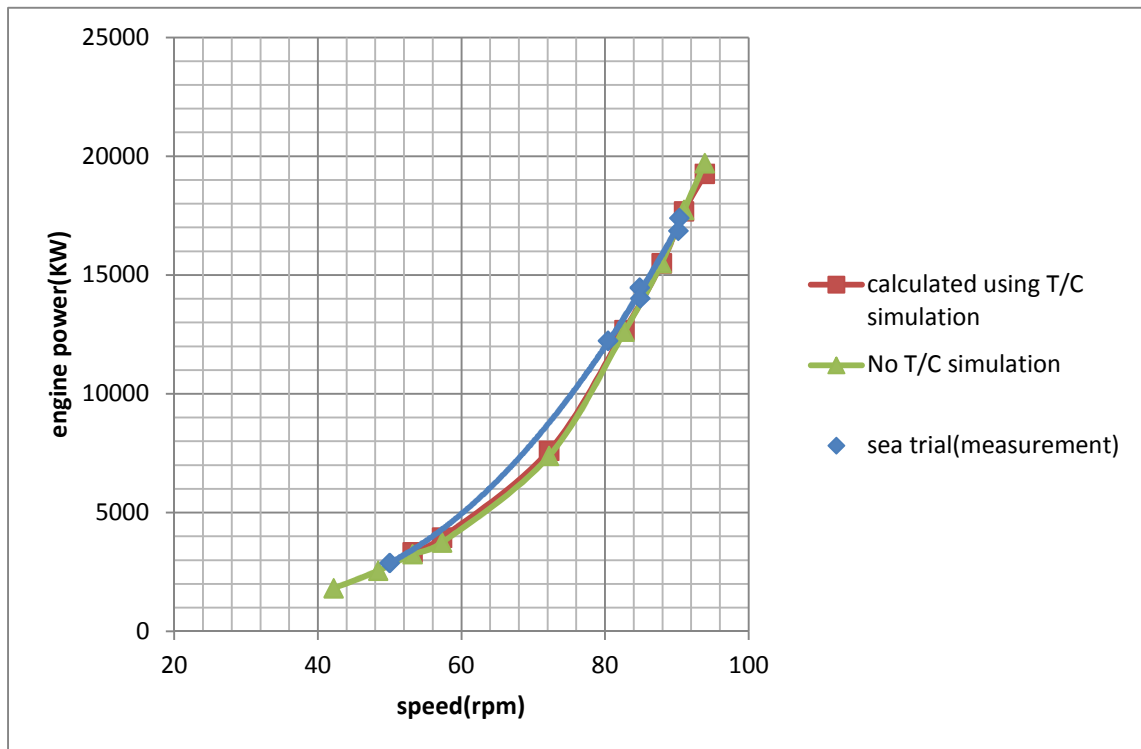
### 13.4. Συγκριτική Αξιολόγηση Προβλέψεων Προσομοίωσης και Μετρημένων Τιμών από τις Δοκιμές Θαλάσσης

Στην **Παράγραφο 13.4.** πραγματοποιείται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για τις διάφορες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα όπως αυτά απεικονίζεται στην **Παράγραφο 13.2** και στην **Παράγραφο 13.3** σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των Δοκιμών Θαλάσσης. Στα διαγράμματα εμφανίζονται και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που αφορούν σε φορτία του κινητήρα κάτω του 25% ενώ πραγματοποιείται αξιολόγηση της προβλεπτικής ικανότητας του λογισμικού για αυτή την περιοχή. Οι παράμετροι λειτουργίας του κινητήρα για τις οποίες πραγματοποιείται αξιολόγηση του λογισμικού είναι οι ακόλουθες:

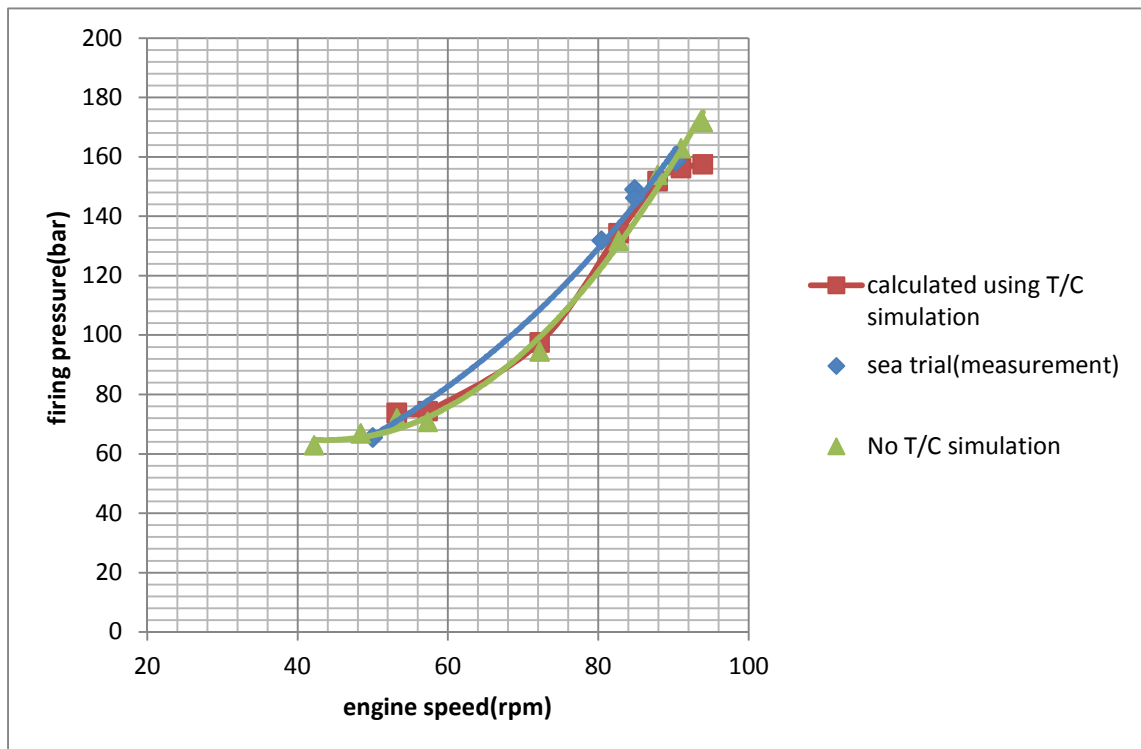
- Η ισχύς του κινητήρα
- Η μέγιστη πίεση καύσης
- Η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων
- Η πίεση του οχετού εξαγωγής των καυσαερίων
- Η ταχύτητα του υπερπληρωτή
- Η θερμοκρασία καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή



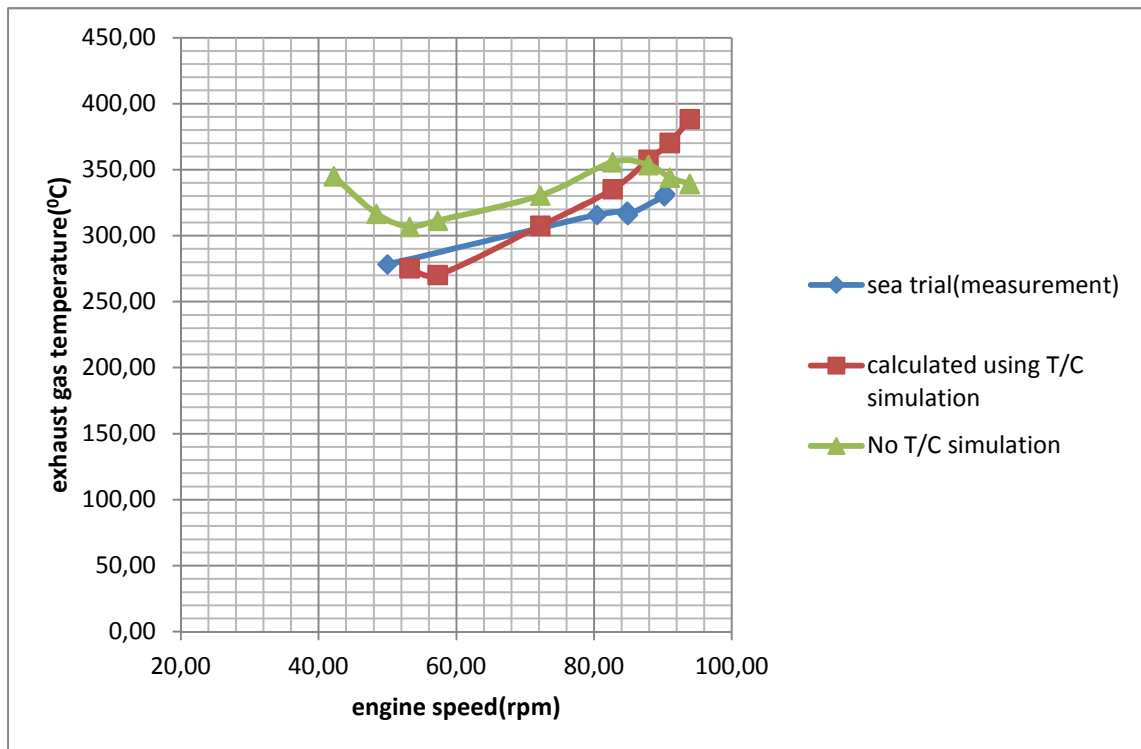
- Η θερμοκρασία καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή
- Η πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα
- Η θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα
- Η θερμοκρασία σάρωσης
- Η πίεση σάρωσης
- Η ειδική κατανάλωση καυσίμου



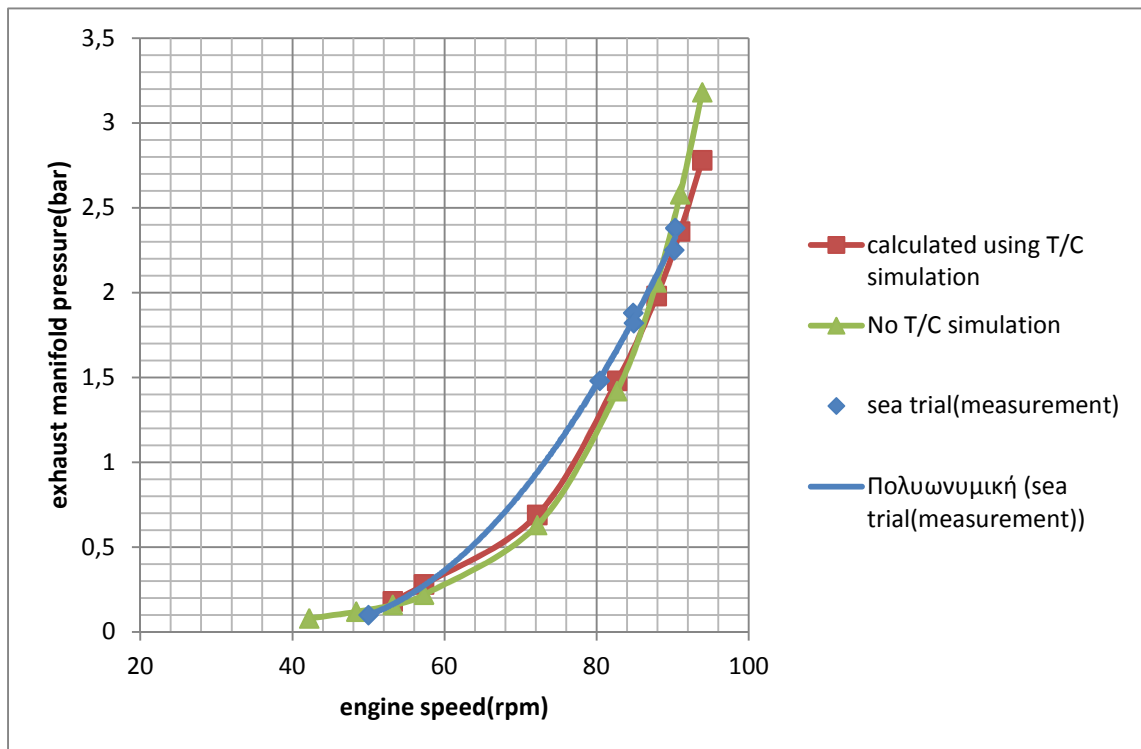
Σχήμα 13.33: Μεταβολή της ισχύος του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



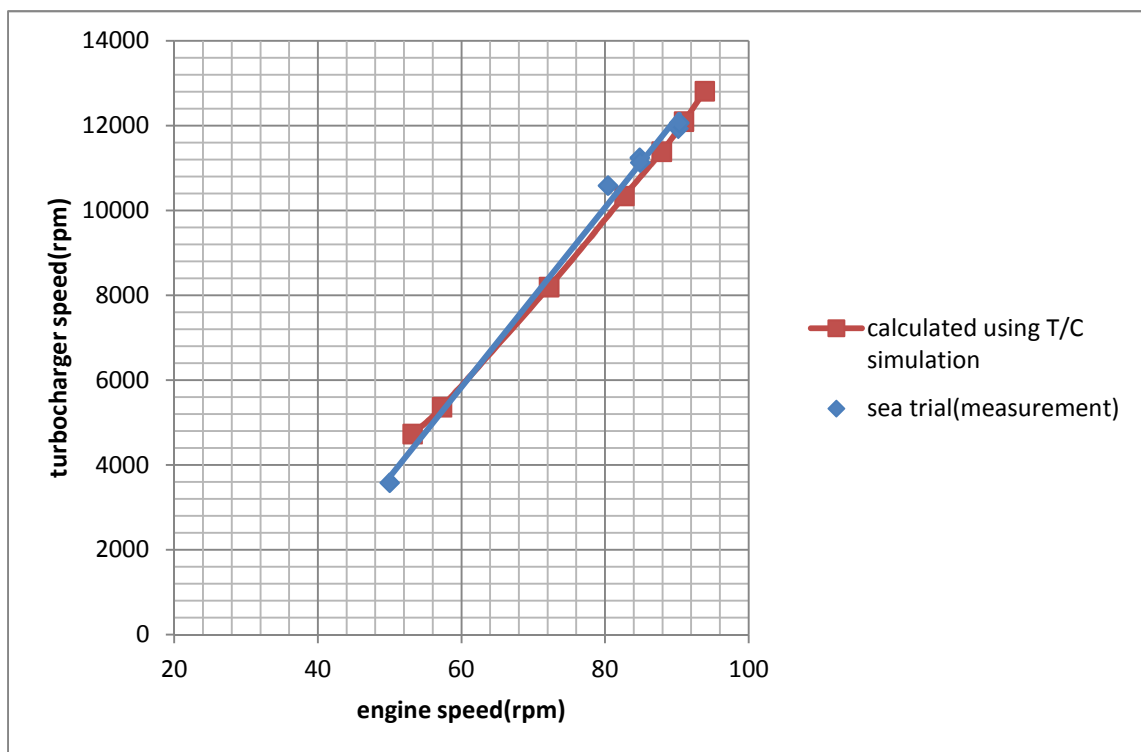
Σχήμα 13.34: Μεταβολή της μέγιστης πίεσης καύσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



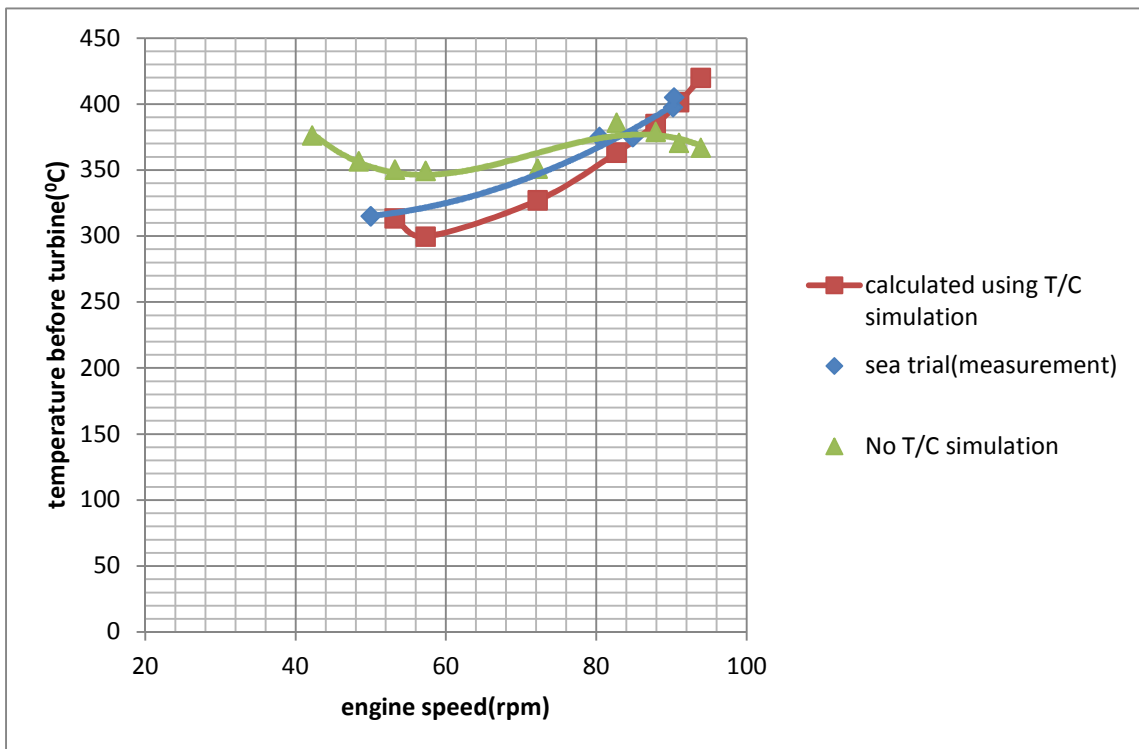
Σχήμα 13.35: Μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου καυσαερίων των κυλίνδρων συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



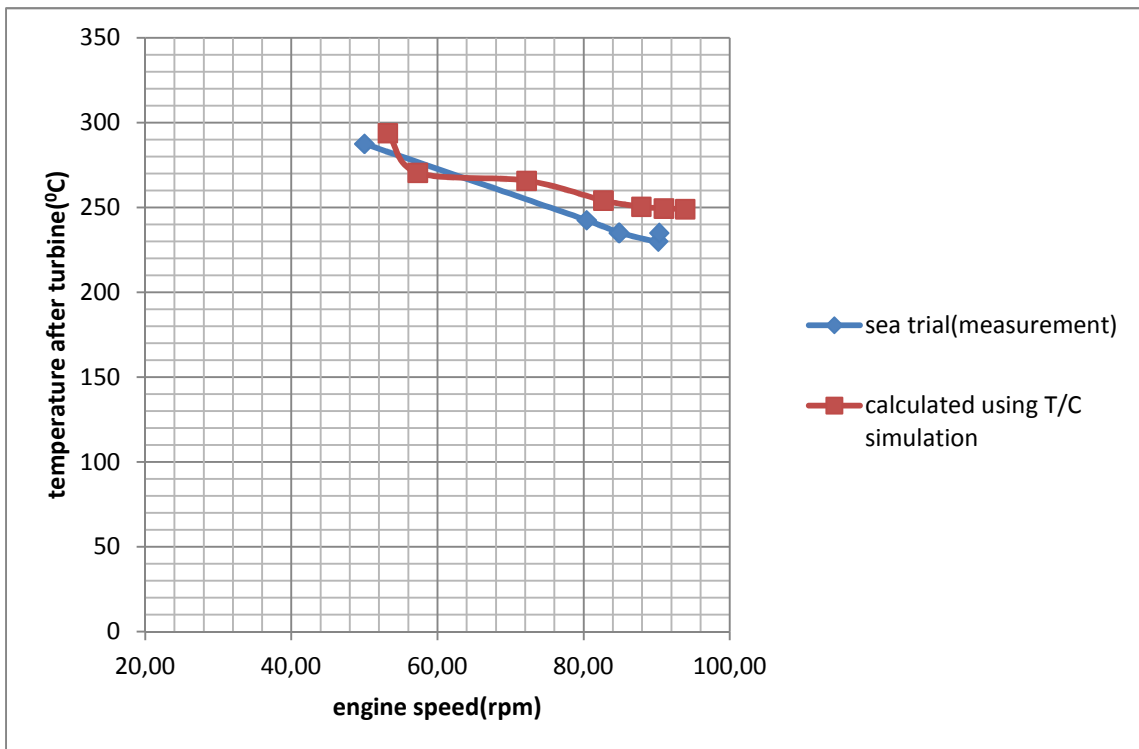
Σχήμα 13.36: Μεταβολή της πίεσης του οχετού εξαγωγής συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



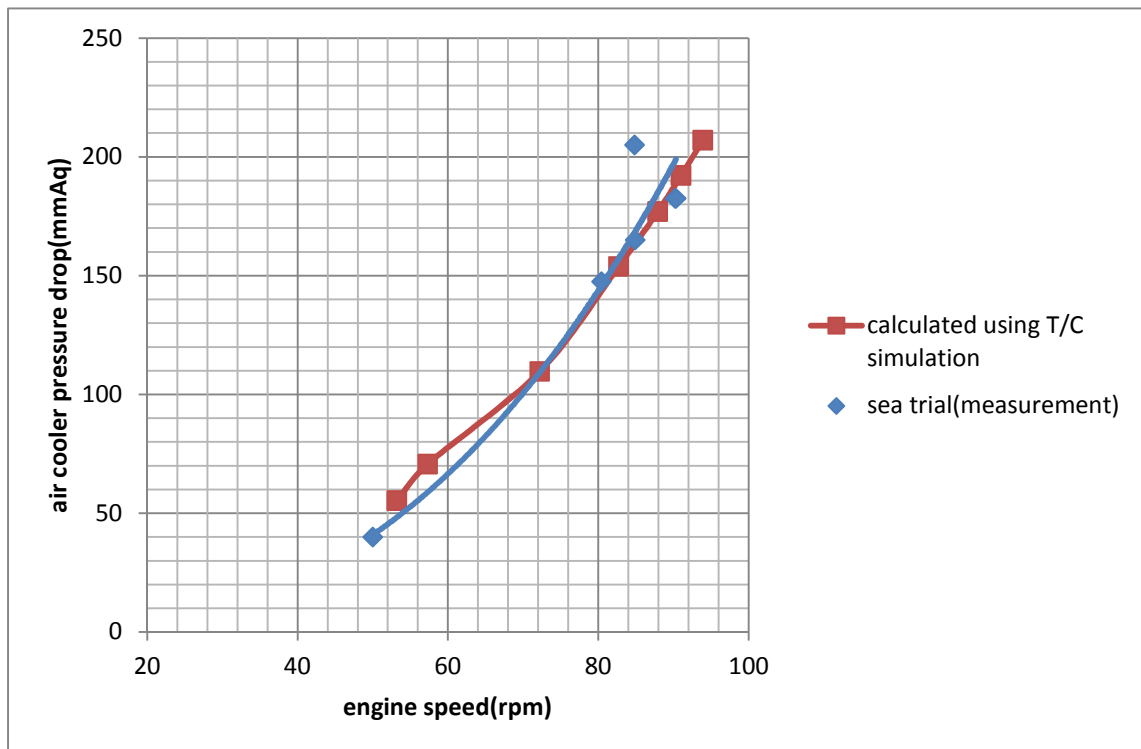
Σχήμα 13.37: Μεταβολή της ταχύτητας υπερπληρωτή συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



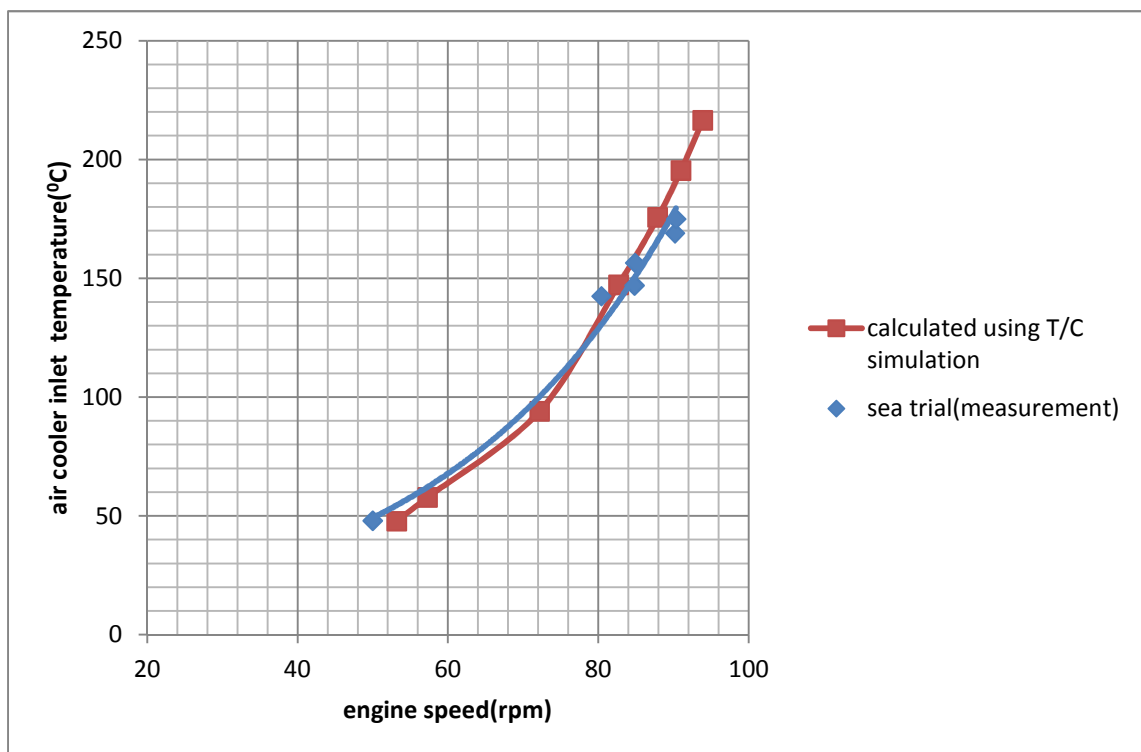
Σχήμα 13.38: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου στην είσοδο του υπερπληρωτή συναρτήσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



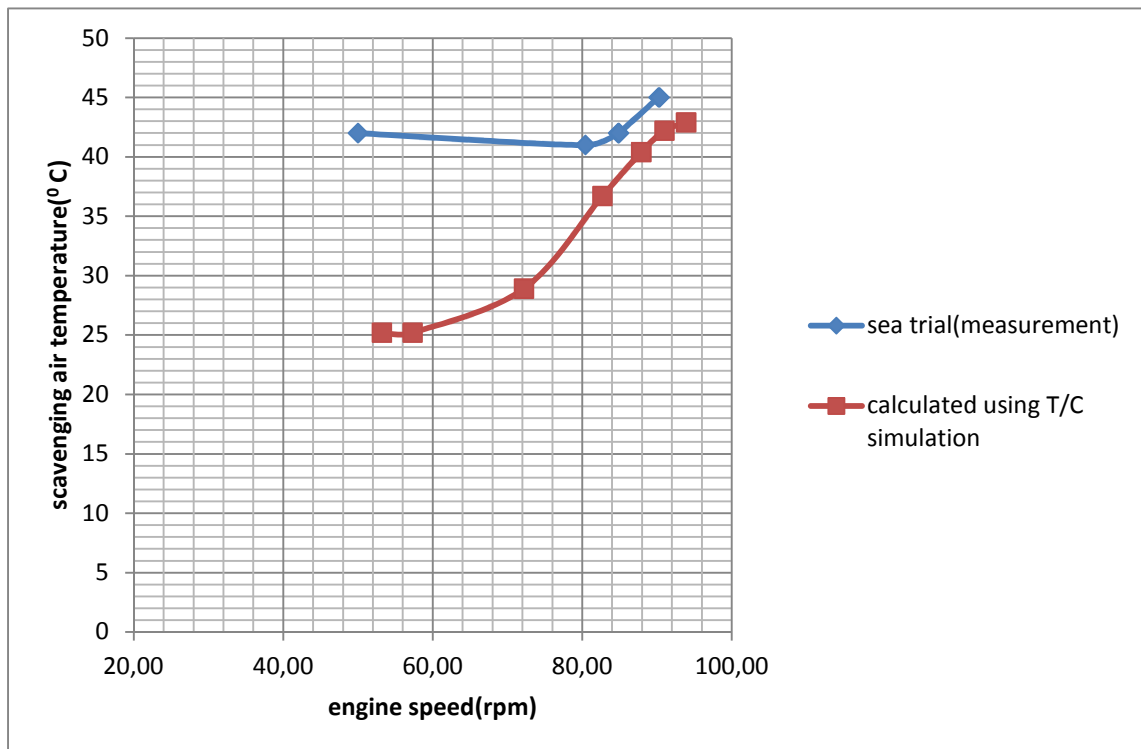
Σχήμα 13.39: Μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή συναρτήσεως της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



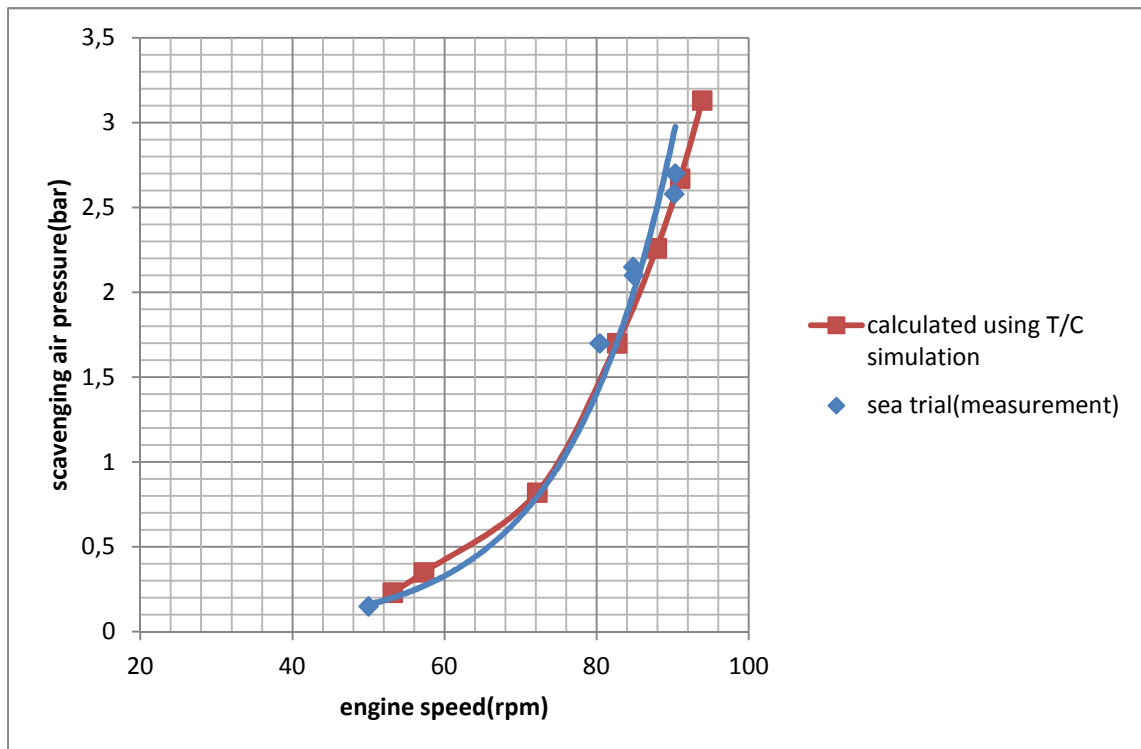
Σχήμα 13.40: Μεταβολή της πτώσης πίεσης στο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 13.41: Μεταβολή της θερμοκρασίας εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης

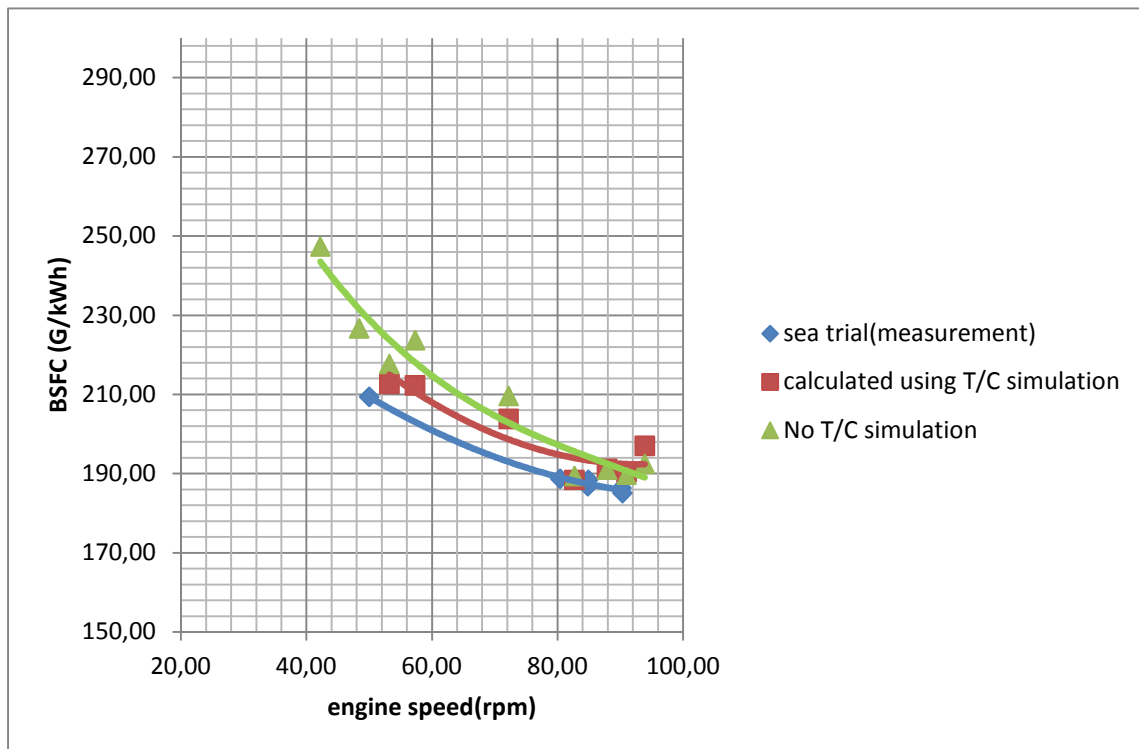


Σχήμα 13.42: Μεταβολή της θερμοκρασίας σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης



Σχήμα 13.43: Μεταβολή της πίεσης σάρωσης συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης





Σχήμα 13.44: Μεταβολή της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα από τις Δοκιμές Θαλάσσης και το λογισμικό προσομοίωσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 13.31 έως 13.44 μπορούμε να εξάγουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα για την δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού:

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για την ισχύ του κινητήρα η δυνατότητα προσομοίωσης του λογισμικού λειτουργεί πολύ καλά καθώς τα αποτελέσματα της συμπίπτουν με αυτά των μετρημένων τιμών. Επίσης, ο λογισμικό λειτουργεί ικανοποιητικά στην περιοχή των χαμηλών φορτίων. Το ίδιο ισχύει και για την μέγιστη πίεση καύσης.

Όσον αφορά την θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων των κυλίνδρων, για τα αποτελέσματα του λογισμικού που προέκυψαν με χρήση της προσομοίωσης του υπερπληρωτή ισχύει ότι:

- Για φορτία του κινητήρα κάτω του 50%, το λογισμικό υποεκτιμά τις μετρημένες τιμές κατά ποσοστό που κυμαίνεται από 7% έως 1%.
- Για φορτία του κινητήρα άνω του 50%, το λογισμικό υπερεκτιμά τα αποτελέσματα των Θαλάσσιων Δοκιμών και η μέγιστη ποσοστιαία διαφορά τους είναι 10%.

Για τα αποτελέσματα του λογισμικού που προέκυψαν κάνοντας χρήση των μετρημένων τιμών για τον υπερπληρωτή ισχύει:



- Για φορτία του κινητήρα από 20% έως 70%, τα αποτελέσματα του λογισμικού υπερεκτιμούν αυτά των Δοκιμών Θαλάσσης κατά ποσοστό 7%.
- Για φορτία του κινητήρα άνω του 70%, το λογισμικό υποεκτιμά τις μετρημένες τιμές κατά ποσοστό 10%
- Για φορτία κάτω του 20%, η προσομοίωση δεν λειτουργεί καλά καθώς υπερεκτιμά τα αποτελέσματα κατά ποσοστό 25%.

Όσον αφορά την πίεση του οχετού εξαγωγής, η προσομοίωση λειτουργεί ικανοποιητικά. Επίσης, παρατηρείται ότι δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα και για τα χαμηλά φορτία λειτουργίας του κινητήρα.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του λογισμικού είναι πολύ καλά όσον αφορά την πίεση του οχετού εξαγωγής. Έτσι, η καμπύλη της μεταβολής της πίεσης του οχετού εξαγωγής συμπίπτει με αυτή των Εργοστασιακών Δοκιμών σε όλο το εύρος φορτίου του κινητήρα. Η προσομοίωση λειτουργεί πολύ καλά δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα και για την ταχύτητα του υπερπληρωτή.

Όσον αφορά την θερμοκρασία εισόδου του καυσαερίου στον υπερπληρωτή, οι τιμές των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, που προέκυψαν με χρήση της προσομοίωσης του υπερπληρωτή, βρίσκονται πολύ κοντά σε αυτά που μετρήθηκαν κατά την διάρκεια των δοκιμών Θαλάσσης. Η μέγιστη ποσοστία διαφορά εντοπίζεται για φορτία κάτω του 75% και εκτιμάται στο 4%.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, χωρίς τη χρήση προσομοίωσης του υπερπληρωτή ισχύει:

- Για φορτία κάτω του 20%, η προσομοίωση υπερεκτιμά τις μετρημένες τιμές των Δοκιμών Θαλάσσης κατά ποσοστό 20%.
- Για φορτία κινητήρα που ξεκινούν από 20% έως 75%, το λογισμικό προβλέπει τη μεταβολή των τιμών.
- Για φορτία άνω του 25%, οι τιμές της προσομοίωσης είναι μικρότερες από αυτές των Δοκιμών κατά ποσοστό 12%.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την θερμοκρασία του καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή προσεγγίζουν πολύ καλά τα αντίστοιχα αποτελέσματα των Εργοστασιακών Δοκιμών.

Η προσομοίωση λειτουργεί ικανοποιητικά όσον αφορά τα αποτελέσματα της πτώσης πίεσης μετά τον υπερπληρωτή, την πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα και την θερμοκρασία εισόδου αέρα στο ψυγείο αέρα. Για τα παραπάνω μεγέθη παρατηρείται σύμπτωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με αυτά των Εργοστασιακών Δοκιμών.



Όσον αφορά την θερμοκρασία σάρωσης, το λογισμικό εκτιμά αξιόπιστα αποτελέσματα για φορτία του κινητήρα άνω του 90%. Για το υπόλοιπο εύρος φορτίου οι τιμές της προσομοίωσης είναι μικρότερες από αυτές των μετρήσεων κατά 40%. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μη ορθή εκτίμηση της αποδοτικότητας του ψυγείου αέρα.

Η λειτουργία προσομοίωσης του λογισμικού λειτουργεί καλά όσον αφορά την πίεση σάρωσης καθώς η καμπύλη που αφορά στις Εργοστασιακές Δοκιμές συμπίπτει με αυτή της προσομοίωσης.

Τέλος, όσον αφορά την ειδική κατανάλωση καυσίμου, το λογισμικό λειτουργεί ικανοποιητικά δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα για μερικό και για πλήρες φορτίο με τις διαφορές των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης από τις μετρημένες τιμές να μην ξεπερνούν το 1.5%.



## **14. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Στη παρούσα εργασία έγινε μια πρώτη διερεύνηση που αφορά στη λειτουργία ενός 2-χρονου ναυτικού κινητήρα σε συνθήκες χαμηλού φορτίου (και άρα ταχύτητας περιστροφής) σύμφωνα με την αρχή του Slow Steaming Concept. Σκοπός της συγκεκριμένης τεχνικής είναι ο περιορισμός της κατανάλωσης καυσίμου όταν αυτή εκφρασθεί σε tn/mile. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε λογισμικό προσομοίωσης ναυτικών κινητήρων Ντήζελ το οποίο πριν εφαρμοστεί στη περιοχή των χαμηλών φορτίων αξιολογήθηκε όσον αφορά στη προβλεπτική του ικανότητα. Η αξιολόγηση βασίστηκε στη σύγκριση με αποτελέσματα δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο εργοστάσιο (Shop Tests) και εν πλω (Sea Trials).

Προς αυτή τη κατεύθυνση πραγματοποιήθηκε ανάλυση των κύριων προκλήσεων που καλείται να αντιμετωπίσει η τεχνική κοινότητα και οι κατασκευαστές όσον αφορά το περιβάλλον και τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα. Ένα βασικό πρόβλημα στη περίπτωση αυτή είναι η ελλιπής γνώση όσον αφορά στις συνθήκες λειτουργίας των κινητήρων στη περιοχή των χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής δηλ πίεση σάρωσης, θερμοκρασία αέρα, παροχή καυσίμου κλπ αλλά και των παραμέτρων που αφορούν στη λειτουργική συμπεριφορά του. Οι τιμές αυτές είναι απαραίτητες για να γίνει προσομοίωση της λειτουργίας τους και να διερευνηθεί η λειτουργική τους συμπεριφορά. Προς αυτή τη κατεύθυνση έγινε επεξεργασία πειραματικών δεδομένων και προσδιορίστηκαν οι καμπύλες τάσης μέσω των οποίων έγινε προσδιορισμός συνθηκών λειτουργίας σε χαμηλά φορτία που στη συνέχεια αξιοποιήθηκαν από λογισμικό προσομοίωσης για τη μελέτη της λειτουργίας σε περιοχή χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής.

Αρχικά, προσδιορίστηκαν οι εξισώσεις των γραμμών τάσεως για τις λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση λογισμικού προσομοίωσης προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχες γραμμές τάσης για τις διάφορες λειτουργικές παραμέτρους του κινητήρα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με δυο τρόπους: Προσομοιώνοντας τη λειτουργία του υπερπληρωτή στη περιοχή χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής και χρησιμοποιώντας τα λειτουργικά δεδομένα που προκύπτουν από τις γραμμές τάσεις των πειραματικών αποτελεσμάτων. Αυτό έγινε διότι η προσομοίωση του υπερπληρωτή δεν έχει τον απαιτούμενο βαθμό αξιοπιστίας στη περιοχή των χαμηλών φορτίων ελλείψει χαρτών.

Λαμβάνοντας ως σημείο αναφοράς την καμπύλη που προκύπτει από τις μετρήσεις έγινε σύγκριση με τα αποτελέσματα που πρόεκυψαν κατά την προσομοίωση αρχικά με προσομοίωση του υπερπληρωτή



δηλαδή προσδιορισμό των παραμέτρων που αφορούν στον υπερπληρωτή από το ίδιο το λογισμικό βασισμένο στις αντίστοιχες δοκιμές του κινητήρα. Όσον αφορά στην προβλεπτική ικανότητα του λογισμικού εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Όσον αφορά την ισχύ του κινητήρα, οι τιμές του λογισμικού προσεγγίζουν με αρκετή ακρίβεια τις μετρημένες τιμές για όλο το εύρος φορτίου. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί στην περιοχή των χαμηλών φορτίων είναι αξιόπιστα.

Όσον αφορά την μέγιστη πίεση καύσης το λογισμικό προβλέπει την μεταβολή των τιμών για πλήρες αλλά και για χαμηλό φορτίο.

Για την μεταβολή της θερμοκρασίας καυσαερίων των κυλίνδρων ισχύει:

- Για φορτία του κινητήρα άνω του 90% το λογισμικό υποεκτιμά τα αποτελέσματα κατά ποσοστό 10%. Αυτό οφείλεται στα ακόλουθα παρακάτω:
  - Ελαφρά υπερεκτίμηση της πίεσης εισαγωγής δηλαδή μεγαλύτερη παροχή αέρα (scavenging air pressure).
  - Υποεκτίμηση της θερμοκρασίας του αέρα μετά το ψυγείο (scavenging air temperature).
- Για φορτία κάτω του 20% δηλαδή για φορτία που αντιστοιχούν σε συνθήκες αργής πλεύσης, η προσομοίωση υπερεκτιμά κατά 25% τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μετρήσεων.
- Για τα υπόλοιπα φορτία η καμπύλη της προσομοίωσης προσεγγίζει την καμπύλη των μετρημένων τιμών.

Όσον αφορά την πίεση του οχετού εξαγωγής των καυσαερίων, οι τιμές της προσομοίωσης ταυτίζονται πρακτικά με αυτές των μετρημένων τιμών. Έτσι, τα αποτελέσματα και για τα μερικά φορτία κρίνονται αξιόπιστα.

Το ίδιο ισχύει και για την ταχύτητα του υπερπληρωτή.

Για την θερμοκρασία εισόδου του καυσαερίου στον υπερπληρωτή ισχύει ότι:

- Για φορτία κινητήρα από 20% έως 75%, η προσομοίωση λειτουργεί ικανοποιητικά δίνοντας αποτελέσματα που συμβαδίζουν με αυτά των μετρήσεων.
- Για φορτία κινητήρα άνω του 75% , το λογισμικό υποτιμά τα αποτελέσματα των Δοκιμών κατά ποσοστό 12%.
- Για φορτία κινητήρα κάτω του 20%, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δεν είναι αξιόπιστα καθώς η διαφορά σε σχέση με την γραμμή τάσης των Δοκιμών βρίσκεται στο 20%.



Όσον αφορά την θερμοκρασία καυσαερίου μετά τον υπερπληρωτή, η καμπύλη της προσομοίωσης ταυτίζεται με αυτή των μετρημένων τιμών ενώ δεν είναι δυνατή η εξαγωγή αποτελεσμάτων για φορτία κάτω του 20%.

Για την πτώση πίεσης στο ψυγείο αέρα, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προσεγγίζουν με ακρίβεια αυτά των μετρήσεων. Σε φορτία κινητήρα κάτω του 20% καθίστανται αδύνατη η σύγκριση ελλείπει πειραματικών δεδομένων

Όσον αφορά την θερμοκρασία σάρωσης, για φορτία κάτω του 90% παρατηρήθηκε υποτίμηση των μετρήσεων κατά 40%. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μη ορθή εκτίμηση της αποδοτικότητας του ψυγείου αέρα. Δεν ήταν δυνατή η εξαγωγή τιμών της παραμέτρου για χαμηλά φορτία του κινητήρα.

Για την πίεση σάρωσης, το λογισμικό εκτιμά ακριβή αποτελέσματα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα των Δοκιμών για φορτία κινητήρα άνω του 20%. Για το υπόλοιπο εύρος φορτίων δεν είναι δυνατή η εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Τέλος, όσον αφορά την ειδική κατανάλωση καυσίμου το λογισμικό προσεγγίζει με αρκετή ακρίβεια τα αποτελέσματα των μετρήσεων για όλο το εύρος φορτίου και προβλέπει τις μεταβολές τους.

Ειδικά για φορτία κάτω του 20% που αποτελεί και βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας παρατηρείται αύξηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου, η οποία ήταν αναμενόμενη σύμφωνα με την γραμμή τάσης των Δοκιμών. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι παρά το γεγονός ότι η ειδική κατανάλωση καυσίμου αυξάνεται, η απόλυτη κατανάλωση καυσίμου (kg/h ή kg/mile) συνεχίζει να μειώνεται καθιστώντας την λειτουργία του κινητήρα σε χαμηλά φορτία συμφέρουσα.

Συνοψίζοντας, η διερεύνηση της λειτουργίας του λογισμικού πραγματοποιήθηκε για όλο το εύρος φορτίου του κινητήρα με έμφαση στα χαμηλά φορτία, καθώς η εφαρμογή του μέτρου αυτού στα πλαίσια της μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου γίνεται συνεχώς πιο επιτακτική. Η διερεύνηση αυτή έδειξε ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι ικανοποιητικά για τις περισσότερες παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα ενώ το παραπάνω συμπέρασμα ισχύει όχι μόνο για τα φορτία για τα οποία υπάρχουν διαθέσιμες μετρημένες τιμές αλλά και για την περιοχή φορτίων κάτω του 25% για την οποία δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα.



*Προσομοίωση Λειτουργικής Συμπεριφοράς Δίχρονου Ναυτικού Κινητήρα Ντήζελ με Βάση τις  
Εργοστασιακές Δοκιμές και τις Δοκιμές Θαλάσσης με Έμφαση στα Χαμηλά Φορτία*

---



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., Κ.Δ. Ρακόπουλος, Εκδόσεις «Γρ. Φούντας», Αθήνα 1998
2. Καύση-Ρύπανση Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., Κ.Δ. Ρακόπουλος, Δ.Θ. Χουντάλας, Εκδόσεις «Γρ. Φούντας», Αθήνα 1998
3. Regulated Slow Steaming in Maritime Transport-An Assessment of Options, Costs and Benefits, Jasper Faber, Dagmar Nelissen, Galen Hon, Haifeng Wang, Mikis Tsimplis, Delf, February 2012
4. From the front lines-Slide Valves: Small Things That Mean a Lot, Royal Belgian Institute of Marine Engineers
5. Slow Steaming Practises in the Global Shipping Industry, MAN PrimeServ, 2012
6. Service Letter SL07-480/SBE: Low Load Operation for MC and ME engines Long Term Operation Mode, Carl-Erik Egeberg, Stig B. Jakobsen, MAN Diesel, Denmark, June 2007
7. Service Letter SL08-501/SBE: Low Load Update Down to 40% load, Mikael C Jensen, Stig B Jakobsen, MAN Diesel, October 2008
8. Service Letter SL09-511/MTS: Low Load Operation 10% to 40% Engine Load, Mikael C Jensen, Stig B Jakobsen, MAN Diesel, May 2009
9. Going Slow to Reduce Emissions-Can the current surplus of maritime transport capacity be turned into an opportunity to reduce GHG emissions?, Seas At Risk
10. Slow steaming-a viable long term option?, Andreas Wiesmann, Wartsila Services, February 2010